

Universität Potsdam
Humanwissenschaftliche Fakultät
Exzellenzbereich Kognitionswissenschaften

Departement für Sport- und Gesundheitswissenschaften
Professur für Trainings- und Bewegungswissenschaft



Prüfungsarbeit zur Erlangung des Bachelors of Arts
„Sporttherapie und Prävention“

Auswirkungen einer Aquafitnessseinheit auf den Blutzuckerspiegel während der körperlichen Belastung

vorgelegt von:	Tanja Fimmel
Abgabetermin:	09.04.2013
Matrikelnummer:	749235
E-Mailadresse:	fimmel@uni-potsdam.de
Erstgutachter:	Dr. Henning Ohlert
Zweitgutachterin:	Dr. Brita Karnahl

Abstract

Die vorliegende Bachelorarbeit befasst sich mit den *akuten* Auswirkungen einer Aquafitness-Trainingseinheit auf den *Blutzuckerspiegel* bei gesunden, trainierten, postmenopausalen Frauen *während* der körperlichen Belastung bei submaximaler Intensität. Im Rahmen einer kleinen Pilotstudie wurde anhand der gemessenen Parameter Herzfrequenz, Laktat und Glucose ermittelt, in welchem Ausmaß die körperliche Betätigung zu einer akuten Absenkung der Glucosekonzentration im Blut beiträgt. Die Ergebnisse zeigen eine belastungsinduzierte, höchst signifikante ($p < 0.001$) Abnahme der Glucosekonzentration um durchschnittlich 21,9% zwischen der Ruhemessung vor Belastungsbeginn und der Messung direkt am Belastungsende. Es gibt einige Hinweise darauf, dass der Glucoseverbrauch bei Aquafitness aufgrund der physikalischen Eigenschaften des Wassers und des höheren Energieaufwands gesteigert ist im Vergleich zu Bewegungsprogrammen an Land.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	II
Inhaltsverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis.....	VI
Tabellenverzeichnis.....	VII
1 Einleitung.....	1
2 Fragestellung und Hypothese	3
3 Theoretischer Hintergrund	4
3.1 Definition der Aquafitness	4
3.2 Eigenschaften des Trainingsmediums Wasser.....	5
3.3 Aquafitness als Sporttherapie	6
3.4 Sportphysiologische Aspekte der Aquafitness.....	7
3.5 Kohlenhydratstoffwechsel	9
3.6 Blutzuckerspiegel	10
4 Methodik.....	12
4.1 Stichprobe	12
4.2 Untersuchungsparameter.....	13
4.3 Untersuchungsablauf	14
4.4 Statistische Auswertung.....	16
5 Ergebnisse.....	17
5.1 Probandinnencharakteristik	17
5.2 Belastungsparameter	18
5.2.1 Herzfrequenz	18
5.2.2 Subjektive Belastungseinschätzung.....	19
5.3 Stoffwechselfparameter	20
5.3.1 Laktatkonzentration	20
5.3.2 Glucosekonzentration.....	21

6	Diskussion	22
7	Fazit.....	31
8	Ausblick	32
	Literaturverzeichnis.....	33
	Anhang.....	36

Abkürzungsverzeichnis

BMI	Body Mass Index
BZ	Blutzucker
BZS	Blutzuckerspiegel
Glu	Glucose
Hf	Herzfrequenz
HKL	Herzkreislauf
HKLS	Herzkreislaufsystem
IGT	Impaired Glucose Tolerance (gestörte Glucosetoleranz)
KH	Kohlenhydrate
KG	Körpergewicht
Lac	Laktat
MW	Mittelwert
SD	Standard Deviation (Standardabweichung)
TE	Trainingseinheit

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Aqua Fitness Kompass.....	4
Abb. 2	Zeitablauf der Energiebereitstellung.....	9
Abb. 3	Zusammenhang zwischen Belastungsanstieg, Energiegewinnung und Laktatkonzentration.....	10
Abb. 4	Reagenzien für Glucose- und Laktatmessung.....	13
Abb. 5	Photometrische Analyse.....	14
Abb. 6	Herzfrequenzmessungen.....	19
Abb. 7	Laktatmessungen.....	20
Abb. 8	Glucosemessungen.....	21
Abb. 9	Vergleich der Hf-Veränderungen.....	23
Abb. 10	Vergleich von Hf und Laktat während der Belastung.....	24
Abb. 11	Laktatkonzentration von M2 und M3.....	25
Abb. 12	Differenzen der Basis-Glucosekonzentration.....	26
Abb. 13	Verlauf der Glucosewerte während einer Trainingseinheit.....	26
Abb. 14	Vergleich der Glucosewerte von M1 zu M2.....	27
Abb. 15	Glucoseanstieg bei 4 Probandinnen während der Belastung.....	28
Abb. 16	Glucoseanstieg bei 6 Probandinnen zum Belastungsende.....	28

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Darstellung des Untersuchungsablaufes.....	15
Tab. 2	Probandinnencharakteristik.....	17
Tab. 3	Ergebnisse der Herzfrequenzmessung.....	18
Tab. 4	Subjektive Belastungseinschätzung.....	19
Tab. 5	Ergebnisse der Laktatmessung.....	20
Tab. 6	Ergebnisse der Glucosemessung.....	21

1 Einleitung

Bereits vor mehr als 4000 Jahren war den Menschen die natürliche Heilkraft des Wassers bekannt. Die sogenannte Hydrotherapie wurde erstmals „[...] im antiken Griechenland [...] zu rein physiologischen Zwecken genutzt [...]“ (Liebich, 1999, S.21). Wasserbäder in kalten Quellen sollten eine gesundheitsfördernde und heilende Wirkung bei unterschiedlichen Krankheiten hervorrufen. Erst Mitte des 17. Jahrhunderts wurde die Wasserheilbehandlung auf Grundlage von Erkenntnissen aus der Antike weiterentwickelt. Das Prinzip „[...] Ärzte heilen, Patienten lassen sich heilen [...]“ (Liebich, 1999, S.25) wurde einem Wandel unterworfen. Die Selbstaktivierung zur Heilung des eigenen Körpers rückte in den Fokus der Therapiemethoden. Als Begründer der Hydrotherapie ist u.a. Sebastian Kneipp (1821-1897) in die Geschichte eingegangen. Kneipp legte mit seiner Therapie des Wassertretens sowie körperkräftigenden Übungen im knietiefen Wasser den Grundstein für die Wassergymnastik. Die Wassergymnastik etablierte sich im Verlauf der Jahrzehnte in Kliniken und Rehabilitationseinrichtungen als Bewegungstherapie für unterschiedlichste Erkrankungen. Anfang der 90-er Jahre kam die sog. Aquafitness als neuer Fitnesstrend aus den USA nach Deutschland (Belz, Glatz & Hofmann, 2003). Aquafitness wird von Oelmann und Wollschläger (2008) als „[...] eine sport- und trainingswissenschaftliche Weiterentwicklung der uns bekannten ‚traditionellen Wassergymnastik‘ [...]“ (S.27) beschrieben. Sie etablierte sich im Gesundheitsbereich als eines der wichtigsten Bestandteile der Primär- und Tertiärprävention und gewinnt als Sporttherapie immer mehr an Popularität (Barbosa et al., 2009).

Die weitverbreitetste Bewegungsform im Wasser ist aber noch immer das Schwimmen, welches sich aufgrund der Belastungsintensität jedoch nicht für alle Personengruppen als Therapie eignet. Aquafitness erweist sich hingegen als geeignetere Alternative, da keine speziellen Schwimmtechniken erforderlich sind. Meredith-Jones et al. (2011) publizieren, dass Bewegungstherapie im Wasser für viele Personengruppen wie Adipöse und Gelenkerkrankte als sichere und effektive Alternative zur gewichtstragenden Bewegungstherapie an Land fungiert. Insbesondere für ältere Menschen ist diese Art der Bewegung therapeutisch förderlich (Takeshima et al., 2002). Daher ist es umso überraschender, dass bislang nur wenige Studien verfügbar sind, welche Aussagen darüber treffen, inwiefern Aquafitness allgemein zur Gesundheitsförderung beiträgt (Meredith-Jones et al., 2011). Selbst in den Publikationen des letzten Jahrzehnts gibt es verhältnismäßig wenig evidenzbasiertes Wissen zu akuten, sondern vor allem zu chronischen Effekten aqualer Bewegungstherapie auf den menschlichen Organismus. Es gibt Untersuchungen zu den *chronischen* Auswirkungen auf das Herzkreislauf-System (HKLS), die Muskelkraft und den Stoffwechsel (Barbosa et al., 2009; Colado et al., 2009; Jones et al., 2009; Meredith-Jones et al., 2011). Die physiologischen Veränderungen wurden besonders bei älteren Frauen und über einen Zeitraum von 8 bis 22 Wochen

untersucht (Campbell et al., 2003; Broman et al., 2006; Lord et al., 2006). Takeshima et al. (2002) belegen anhand einer 12-wöchigen Studie mit postmenopausalen Frauen, dass Bewegung im Wasser zur Verbesserung der Gesundheit, insbesondere des HKLS und der Muskelkraft, beiträgt und daher als Bestandteil einer Bewegungstherapie für ältere Frauen empfohlen wird. Zu *akuten* Effekten von Aquafitness werden insbesondere Studien zu kardiovaskulären und kardiorespiratorischen Veränderungen publiziert.

Trotz optimaler Eigenschaften von Aquafitness als Bewegungstherapie existieren ebenso wenig aktuelle Studien, welche die Effekte auf den *Glucosemetabolismus*, also den Kohlenhydratverbrauch, untersucht haben (Meredith-Jones et al., 2011). Wissenschaftliche Publikationen, welche die akuten Effekte von Aquafitness auf den *Blutzuckerspiegel* nachweislich belegen, konnten trotz zunehmenden Stellenwerts von Aquafitness in der Prävention, Therapie und Rehabilitation nicht gefunden werden. Daher soll die vorliegende Bachelorarbeit als Pilotprojekt dienen, um bei gesunden, postmenopausalen Frauen einen Einblick über die akuten Auswirkungen auf die Glucosekonzentration während einer Aquafitness-Trainingseinheit zu geben.

2 Fragestellung und Hypothese

Die vorliegende Bachelorarbeit befasst sich mit den akuten physiologischen Auswirkungen einer Aquafitnessstrainingseinheit auf den Kohlenhydratmetabolismus von gesunden, trainierten Frauen im Alter von 50 bis 65 Jahren.

Die zentrale Fragestellung dieser Studie beschäftigt sich mit den Veränderungen des Blutzuckerspiegels *während* der körperlichen Belastung im Wasser. Anhand von Glucose- und Laktatmessungen aus arteriellem Blut sowie Herzfrequenzmessungen zu drei unterschiedlichen Messzeitpunkten soll unter Einbeziehung der Belastungsintensität der Frage nachgegangen werden, in welchem Ausmaß die körperliche Belastung bei Aquafitness zu einer Absenkung des Blutzuckerspiegels führt. Die Veränderungen des BZS sollen Aufschluss geben über den Glucoseverbrauch während der körperlichen Belastung im Wasser.

Meine aus bislang veröffentlichten Publikationen abgeleitete Hypothese lautet:

„Der Glucoseverbrauch ist bei körperlicher Aktivität im Wasser höher als bei vergleichbarer körperlicher Aktivitäten an Land.“

Diese Arbeit soll unter Einbeziehung bislang publizierter Studien einen Ausblick geben, ob sich Aquafitness im Vergleich zur herkömmlichen Therapie an Land aufgrund von höherem Glucoseverbrauch als geeignetere *sporttherapeutische* Maßnahme zum Beispiel für Diabetiker und Adipöse durchsetzen könnte.

3 Theoretischer Hintergrund

3.1 Definition der Aquafitness

In der Literatur gibt es eine Vielzahl an Definitionen zu dem Begriff „Aquafitness“. Oelmann und Wollschläger (2008) schreiben in ihrer Publikation, dass sich Aquafitness als Fitnessstraining im Wasser wesentlich von der herkömmlichen Wassergymnastik unterscheidet. Das neue Trainingskonzept dient nicht mehr nur zur Rehabilitation älterer Menschen, sondern eignet sich auch für die Bereiche Freizeit-, Gesundheits- und Leistungssport. Linke und Wollschläger (2011) definieren Aquafitness als ein Ganzkörpertraining in flachem oder tiefem Wasser, welches im präventiven und rehabilitativen Bereich breite Anwendung findet. Das Trainingsangebot der Aquafitness hat sich in den letzten Jahren rasant entwickelt. Hinter dem Sammelbegriff „Aquafitness“ verbergen sich unterschiedliche Bewegungsformen im Wasser. Das Spektrum reicht von der herkömmlichen Wassergymnastik über Joggen (Aqua-jogging), Fahrradfahren (Aqua-cycling), Tanzen (Aqua-dancing) und vieles Weitere. Der „Aqua Fitness Kompass“ nach Freyer (2005) bietet einen Einblick über die Vielfältigkeit der Bewegungsformen im Wasser (siehe Abbildung 1). Den Bewegungs- und Trainingsmöglichkeiten wurden entsprechende Trainingsziele (Ausdauer, Kraft, Entspannung, etc.) zugeordnet.

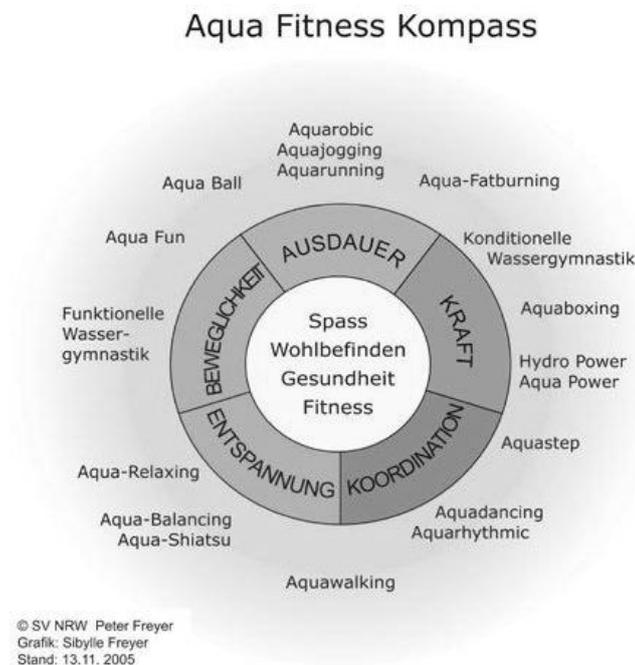


Abb. 1 Aqua Fitness Kompass (www.swimpool.de)

Diese verschiedenen Bewegungsformen haben eines gemeinsam: „die optimale Nutzung der physikalischen Gesetze des Elements Wasser zur Erreichung von positiven und gesundheitsorientierten Trainingseffekten“ (Oelman & Wollschläger, 2008, S.14).

Aquafitness wird heutzutage in folgenden Bereichen eingesetzt:

- Prävention
- Sporttherapie und Rehabilitation
- Freizeit,- Breiten- und Leistungssport

Dadurch wird eine große Bandbreite von Zielgruppen angesprochen wie Kinder, Senioren, Schwangere, Sportler, Übergewichtige sowie Personen mit orthopädischen und/ oder internistischen Erkrankungen.

Die Trainingsdauer einer Aquafitness-TE ist abhängig vom Kursziel sowie der entsprechenden Intensität und beträgt zwischen 40 und 60 Minuten. Je nach körperlicher Intensität sollte die Wassertemperatur optimaler Weise zwischen 28°C und 30°C liegen (Zeitvogel, 1992). Aquafitnesskurse werden in unterschiedlichen Wassertiefen angeboten. In flachem (1,20-1,25 m) und übergangstiefem (1,25-1,35 m) Wasser hat der Trainierende Bodenkontakt. Die Wasserlinie reicht bauchnabel- bis brusthoch bzw. liegt zwischen dem Brust- und Schulterbereich. Im Tiefwasser haben die Teilnehmer keinen Bodenkontakt, weshalb Auftriebskörper wie z.B. Auftriebsgürtel, als Hilfsmittel eingesetzt werden. Entsprechend der Wassertiefe müssen die Aquafitnessübungen modifiziert werden (Sanders, 2004). Der Einsatz von speziellen Kleingeräten wie z.B. Hanteln, Poolnudeln, Bällen, Schwimmbrettern, etc. dient der Belastungssteuerung und ermöglicht abwechslungsreiche Übungsvariationen. Durch den Einsatz von Geräten unterhalb der Wasseroberfläche wird der Grad der Übungsintensität erhöht.

3.2 Eigenschaften des Trainingsmediums Wasser

Die folgende Ausführung zu den physikalischen Wassereigenschaften soll den Einsatz von Aquafitness für den medizinischen und sporttherapeutischen Nutzen verdeutlichen. Das Training im Wasser bietet die Möglichkeit Bewegungen anders zu erleben als an Land. Aufgrund der spezifischen Eigenschaften des Wassers haben die Bewegungsabläufe eine andere Wirkung und führen zu einer veränderten Körperwahrnehmung. Diese Unterschiede ergeben sich aus der Wasserdichte, die 970-mal größer ist als die Luftdichte (Liebich, 1999). Die physikalischen Eigenschaften des Wassers wie Auftrieb, Widerstand, Druck und Wärmeleitfähigkeit wirken abhängig von der Eintauchtiefe und der Körperlage (vertikal oder horizontal) auf den Trainierenden ein.

Auftrieb des Wassers

In der Literatur wird zwischen dem statischen und dynamischen Auftrieb unterschieden. Allgemein definiert ist der Auftrieb „eine der Gewichtskraft entgegenwirkende Kraft“ (Meyers Grosses Taschenlexikon, 2001). Nach dem Gesetz des Archimedes (287-212 v. Chr.)

entspricht der Auftrieb dem Gewicht, der vom Körper verdrängten Flüssigkeitsmenge. Der dynamische Auftrieb, der bei Bewegung im Wasser entsteht, wirkt senkrecht auf den Körper und treibt diesen zusätzlich an die Oberfläche. Aufgrund der Reduktion des Körpergewichts im schulertiefen Wasser um etwa 90% des eigentlichen Gewichts trägt der Auftrieb nicht nur zur Entlastung des gesamten Stütz- und Bewegungsapparates bei, sondern verleiht auch ein Gefühl der Schwerelosigkeit (Oelmann & Wollschläger, 2008; Dargatz & Röwekamp, 2010; Hahn & Peter, 2011).

Wasserwiderstand

„Der mittlere Widerstand im Wasser liegt etwa beim 12- bis 15-fachen im Vergleich zur Luft“ (Sanders, 2002, S.4). Die Stärke des Widerstandes ist abhängig „[...] vom Tempo und der Widerstandsfläche [...], mit der ein Körper durch das Wasser bewegt wird [...]“ (Sanders, 2002, S.4). „Der Widerstand erhöht sich im Quadrat zur [Bewegungs-] Geschwindigkeit [...]“ (Dargatz & Röwekamp, 2010, S.19). Abhängig von der Körperkonstitution einer Person ist die Überwindung des Wasserwiderstandes leichter oder schwerer.

Hydrostatischer Druck

Der hydrostatische Druck beschreibt den in einer Flüssigkeit herrschenden, konstanten Druck, der ständig auf den Körper einwirkt. Beim Training im Wasser unterliegt der Körper einem höheren Druck als in der ihn sonst umgebenden Luft. In Abhängigkeit von der Eintauchtiefe nimmt der Druck um etwa 0,1 bar zu (Liebich, 1999; Hahn & Peter, 2011).

Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit des Wassers ist in etwa 26-mal höher als die der Umgebungsluft. Daher verliert der Körper im Wasser etwa 4-mal so viel Körperwärme wie an Land. Die akuten physiologischen Veränderungen eines eingetauchten Körpers hängen u.a. von der Wassertemperatur ab (Barbosa et al., 2009).

3.3 Aquafitness als Sporttherapie

Das Training im Wasser weist gegenüber dem Training an Land einige Vorteile auf. Infolge neuer, wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Wirkung von Bewegung im Wasser setzen mittlerweile auch Physiotherapeuten und Ärzte auf Aquafitness als Bewegungstherapie. Sie eignet sich sowohl bei orthopädischen als auch internistischen Erkrankungen. Als Indikationen für den sporttherapeutischen oder rehabilitativen Einsatz gelten insbesondere Osteoporose, Gelenkerkrankungen, Rücken- und Wirbelsäulenbeschwerden sowie Übergewicht und

Adipositas. Der Auftrieb schützt das muskuloskelettale System¹ vor Überlastungsschäden, d.h. Sehnen, Bänder, Knochen und v.a. Gelenke werden beim Training geschont. Betroffene können sich im Wasser leichter und meist schmerzfrei bewegen. Selbst bei falscher Bewegungsausführung ist das Verletzungsrisiko im Wasser „[...] auf ein Minimum reduziert [...]“ (Dargatz & Röwekamp, 2010, S.9).

Bei der herkömmlichen Therapie an Land werden meist nur die betroffenen Körperbereiche mobilisiert. Beim Aquafitnessstraining erfolgt jedoch „keine direkte Spezialisierung auf einen bestimmten Körperteil, sondern der gesamte Körper erfährt zugleich Kräftigung, Dehnung und Lockerung“ (Zeitvogel, 1992, S.12). Prävention und Therapie finden somit gleichzeitig statt. Aquafitness ermöglicht eine optimale Kraftausnutzung aller Muskelgruppen. Es werden nicht nur die großen Muskelgruppen aktiviert, „[...] mehr als 1/7 bis 1/6 der gesamten Skelettmuskulatur [...]“ (Dargatz & Röwekamp, 2010, S.9), sondern es wird auch die Tiefenmuskulatur innerviert. Im Gegensatz zum Training an Land findet im Wasser überdies eine ausgewogene Kräftigung von Agonisten und Antagonisten statt (Huey & Forster, 1997). Diese Kräftigung resultiert aus der Muskelarbeit bei Vor- und Rückwärtsbewegungen, z.B. Biceps-Curl, gegen den Wasserwiderstand. Zudem wird gleichzeitig ein Kraft- und Herzkreislauftraining ermöglicht (Zeitvogel, 1992; Liebich, 1999). Aquafitnessstraining fördert jedoch nicht nur die konditionellen, sondern auch die koordinativen Fähigkeiten, insbesondere das Gleichgewichtsvermögen. Beim Training im Wasser ist aber auch Vorsicht geboten, da die Grenzen der Ausbelastung höher sind als an Land (Zeitvogel, 1992).

3.4 Sportphysiologische Aspekte der Aquafitness

Die bei 3.2 genannten Eigenschaften des Wassers bewirken bei jeder Immersion² kurzfristige physiologische Veränderungen im menschlichen Organismus. Sie beeinflussen das Herzkreislauf-System (HKLS), die Atmung und die Muskelarbeit. Die physiologischen Reaktionen sind weder geschlechts- noch altersspezifisch. Wird Aquafitness regelmäßig und über einen längeren Zeitraum hinweg betrieben, führt dies -wie bei jeder regelmäßigen Sportartausübung- zu langfristigen Adaptationen des HKLS und des muskuloskelettalen Systems. Insbesondere die Anpassung des HKLS ermöglicht eine höhere und längere Leistungsfähigkeit des Organismus (Dargatz & Röwekamp, 2010). Diese chronischen Adaptationen werden in dieser Arbeit jedoch nicht weiter beschrieben. Welche akuten Veränderungen eine Aquafitness-Trainingseinheit speziell auf den Blutzuckerspiegel bewirkt, wird anhand der erfolgten Glucosemessungen unter 5.3.2 erläutert.

¹ Stütz- und Bewegungsapparat

² Eintauchen

Herz-Kreislauf-System

Die Blutgefäße werden aufgrund des hydrostatischen Drucks zusammengepresst, sodass in kürzerer Zeit mehr Blut zum Herzen zurückströmt. Aus der verstärkten Myokardvordehnung resultieren ein bis zu 20% vergrößertes Herzschlagvolumen und eine abgesenkte Herzfrequenz (Liebich, 1999). Zeitvogel (1992) verweist darauf, „[...] daß die [...] Herzfrequenz nicht ohne weiteres von Belastungen an Land auf Übungen im Wasser übertragbar ist [...]“ (S.16). Darby und Yaekle (2002) publizieren dahingehend, dass bei Bewegung im Wasser die Hf um ca. 7-13 Schläge/min sinkt. Die Durchblutungssteigerung des Herzens führt letztendlich zu einer ökonomischeren Herzarbeit. Ferner wird das HKLS durch die kühlere Wassertemperatur verglichen zur Körpertemperatur angeregt. Die Wärmeregulierung des Körpers sorgt für eine erhöhte Durchblutung der Organe. Aufgrund der Druck- und Temperaturunterschiede bei Bewegung wird die Elastizität der Blutgefäße gefördert. Die Blutgefäße müssen sich fortwährend durch Konstriktion³ und Dilatation⁴ an die Differenzen anpassen (Zeitvogel, 1992; Liebich, 1999; Dargatz & Röwekamp, 2010).

Atmung

Der Wasserdruck stimuliert nicht nur das HKLS, sondern auch die Atmung. Die Einatmung wird aufgrund des Drucks auf Bauch- und Brustbereich erschwert, wodurch jedoch die Atemmuskulatur gekräftigt wird. Bei einer Immersion bis zum Brustbein reduziert sich die Vitalkapazität um 3-9% (Agastoni et al., 1966). Die Ausatmung wird im Wasser erleichtert und durch den Druck zusätzlich vertieft (Liebich, 1999; Dargatz & Röwekamp, 2010).

Muskulatur

Zur erhöhten Durchblutung der Haut und Muskulatur tragen nicht nur Wasserdruck und Wassertemperatur bei, sondern auch die Massagewirkung durch Wasserzirkulation. Die Durchblutungssteigerung führt zu einer verbesserten Sauerstoffversorgung der Muskulatur und ermöglicht so eine längere und intensivere Muskelarbeit. Die Bewegungsmassage bewirkt eine aktive Regeneration und führt zur Verkürzung der muskulären Erholungsphase, die Muskulatur ist länger leistungsfähig. Im Wasser kann das Abbauprodukt Laktat schneller aus dem Blut zur Leber transportiert werden, weshalb Muskelkater meist ausbleibt (Zeitvogel, 1992; Liebich, 1999; Sanders, 2002).

³ Verengung

⁴ Erweiterung

Laktatschwelle erreicht (Janssen, 2003). Der Begriff „Laktatschwelle“ bezieht sich auf die Belastungsintensität ab welcher mehr Laktat produziert wird, als gleichzeitig abgebaut werden kann (Maassen & Schneider, 2011).

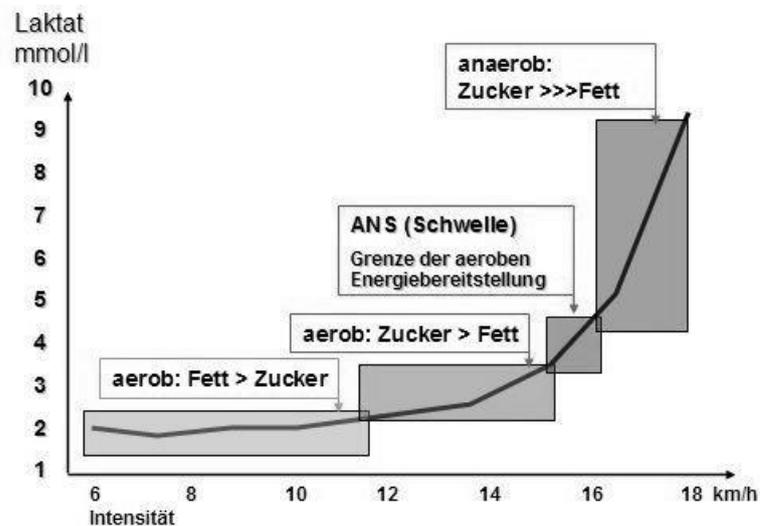


Abb. 3 Zusammenhang zwischen Belastungsanstieg, Energiegewinnung und Laktatkonzentration (sportklinik-basel.ch/uploads/pics/Laktatkurve.PNG)

3.6 Blutzuckerspiegel

In diesem Abschnitt erfolgt eine knappe Einleitung zum Blutzuckerspiegel (BZS) und dessen Regulation durch Glucose und Insulin. Zudem wird kurz auf die Regulierung des BZS während körperlicher Belastung eingegangen. Ausführlichere Informationen dazu folgen im Diskussionsteil anhand der ausgewerteten Messergebnisse.

Die über die Nahrung aufgenommenen Kohlenhydrate werden durch Hydrolyse⁶ in das Monosaccharid *Glucose* gespalten und in die Blutbahn abgegeben, weshalb Glucose auch als „Blutzucker“ bezeichnet wird. Die Glucosekonzentration im Blut, auch als *Blutzuckerspiegel* bezeichnet, steigt nach einer Kohlenhydratzufuhr an. Der Normalbereich des BZS liegt bei 70-110 mg Glucose/dl Blut, der postprandiale⁷ Wert kann bei Gesunden bis auf 140 mg/dl steigen (König & Berg, 2007, S.481). Damit der BZS auch unter dem Einfluss von Störfaktoren wie z.B. Nahrungsaufnahme und Sport relativ konstant bleibt, ist er der Kontrolle eines hormonellen Regulierungssystems unterworfen. Bei erhöhtem BZS wird vermehrt das Hormon *Insulin* ausgeschüttet, welches die Aufnahme von Glucose aus dem Blut in die Leber- und Muskelzellen fördert und somit zu einer Absenkung des BZS führt. In der Leber und den Muskeln wird Glucose entweder abgebaut oder in Form von Glykogen gespeichert (Weineck, 2010).

⁶ Aufspaltung einer chemischen Verbindung

⁷ nach dem Essen

BZS und körperliche Belastung

Um Muskelkontraktionen erzeugen zu können, muss den Muskeln fortwährend ausreichend Energie bereitgestellt werden. „Die benötigte Glucose wird zu 60% aus dem Blutstrom und zu 40% aus den muskulären Glykogendepots geliefert“ (Standle & Wicklmayr, 2003, S.360). Die Glucose aus der Blutbahn wird in die Zellen aufgenommen, metabolisiert und steht als Energie für Muskelkontraktionen zur Verfügung. Es ist bekannt, dass die muskuläre Glucoseaufnahme aus dem Blut während körperlicher Belastung verglichen zur Ruhe um das 7 bis 20-fache, abhängig von Intensität und Dauer, gesteigert wird (Sato et al., 2003). Die erhöhte Aufnahme von Glucose in die Myozyten wird primär durch Glucosetransporter (GLUT-1, GLUT-4) erleichtert. Der Transporter GLUT-4 wird jedoch erst nach Stimulation vermehrt in die Zellmembran eingebaut. Hierbei handelt es sich um eine insulinabhängige und eine muskelkontraktionsinduzierte (insulinunabhängig) Aktivität der Glucosetransporter. Aufgrund der permeableren Membran wird bei körperlicher Belastung eine gesteigerte Glucoseaufnahme in die Muskulatur ermöglicht (Leyk & Wackerhagen, 2000; Henriksen, 2002; Nishida et al., 2004). Ein zu starkes Absinken der Blutglucose wird durch verstärkte Glykogenolyse in der Leber verhindert, also dem Abbau von Glykogen zu Glucose und deren anschließende Freisetzung ins Blut. Der BZS wird anhand dieser Regulationsmechanismen auch während körperlicher Aktivität konstant gehalten. Dies gilt jedoch nicht für Personen mit gestörter Glucosetoleranz (IGT) oder mit Diabetes mellitus.

4 Methodik

4.1 Stichprobe

In der vorliegenden Studie wurden 15 gesunde und normalgewichtige (BMI-Range: 20-28 kg/m²), postmenopausale Frauen im Alter von 50 bis 65 Jahren eingeschlossen. Alle Probandinnen haben Erfahrung im Bereich der Aquafitness. Sie nehmen regelmäßig an Aquafitnesskursen der *AquaMedical Akademie* unter Leitung von Frau Dr. B. Karnahl teil. Die Eignung für die Teilnahme an der Studie wurde anhand des ausgefüllten Fragebogens (siehe Anhang A4) ermittelt. Neben den allgemeinen Personendaten wurden der Hormonstatus und die Rauchgewohnheiten erfragt. Der Trainingszustand der Probandinnen wurde aus den Angaben zum Sportverhalten abgeleitet. Im Einzelnen wurden folgende Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt:

Einschlusskriterien:

- gesunde, postmenopausale Frauen
- Alter ≥ 50 und ≤ 65 Jahre
- BMI 20-28 kg/m²
- regelmäßiges Aquafitnessstraining (seit mind. einem Jahr, mind. 1 x/Woche)
- gleicher Kohlenhydrat-Ernährungsstatus zum Zeitpunkt der Untersuchung
- Freiwilligkeit an der Studienteilnahme, informierte Einverständniserklärung (siehe Anhang A3)

Ausschlusskriterien:

- Männer
- Diabetes mellitus
- andere Stoffwechselerkrankungen, die den Kohlenhydratstoffwechsel beeinflussen
- akute Infekte

Als Voraussetzung für die Studienteilnahme mussten die Probandinnen für drei Tage vor dem Untersuchungstermin eine bestimmte Menge an Kohlenhydraten (KH) zu sich nehmen, damit am Untersuchungstag ein annähernd vergleichbarer Kohlenhydratstatus gewährleistet werden konnte. Die Probandinnen erhielten einen Ernährungsplan (siehe Anhang A5) in Form einer Lebensmitteltabelle mit entsprechenden Angaben zum KH-Gehalt in Gramm sowie die Richtwerte für die KH-Aufnahmemenge in Gramm pro Kilogramm Körpergewicht

(KG) pro Tag. Die vorgeschriebene Menge von 5-7 g KH/kg KG/Tag sollte gefüllte Kohlenhydratspeicher der Probandinnen am Untersuchungstag sicherstellen.

4.2 Untersuchungsparameter

Um die Auswirkungen einer Aquafitness-TE auf den Blutzuckerspiegel während der körperlichen Belastung zu messen, wurde die Herzfrequenz ermittelt sowie Glucose und Laktat in arteriellem Blut bestimmt.

Herzfrequenz

Zur Bestimmung der Herzfrequenz (Hf) wurden wasserfeste Pulsuhren (Polar S810i Herzfrequenz-Messgerät) und Brustgurte (Polar WearLink 31) von *Polar* verwendet. Die Hf wurde in Schlägen/min gemessen.

Glucose und Laktat

Die Messung der kapillaren Glucose- und Laktatkonzentration erfolgte mit einem mobilen Kleinphotometer (Vario Photometer DP 300, Diaglobal GmbH, Berlin, Deutschland). Das Messprinzip beruht auf der nasschemischen, photometrischen Methode. Die quantitative Bestimmung der Glucose- und Laktatkonzentration im Blut erfolgte mittels enzymatischer Umsetzung von Glucose in Glucoseoxidase (GOD-Methode) bzw. von Laktat in Lactatoxidase (LOD-Methode).



Abb. 4 Reagenzien für Glucose- und Laktatmessung a) gebrauchsfertige Lösungen für Glu und Lac, b) Blutproben, c) Blutproben mit Testkappen für Lac (grün) und Glu (rot)

Der Einstich für die Blutentnahme erfolgte mit einer Lanzette⁸. Mit Hilfe von Kapillaren⁹ wurden anschließend aus dem desinfizierten und hyperämisierten Ohrläppchen zwei Mal 10 µl Kapillarblut gewonnen. Die Blutproben für die Glucosebestimmung wurden in Küvetten mit gebrauchsfertigem Hämolyse-reagenz und die für die Laktatbestimmung in gebrauchsfertigen Puffer pipettiert (siehe 4a). Die Küvetten wurden für die Nullwertanalyse in das Photometer eingesetzt. Anschließend wurden die Verschlusskappen gegen die entsprechenden Test-

⁸ sehr dünne Nadel

⁹ Röhrcchen mit sehr kleinem Innendurchmesser

kappen, welche die Startreagenzien enthalten, ausgetauscht (siehe Abbildung 4c). Durch mehrmaliges Schütteln wurde das jeweilige Startreagenz aus den Kappen gelöst.

Für die abschließende Analyse der Glucose- und Laktatkonzentration wurden die Küvetten ein weiteres Mal in das Photometer gestellt und bei 520 nm gemessen (siehe Abbildung 5a, b). Die Durchführung erfolgte gemäß der Gebrauchsanleitung von Diaglobal (www.diaglobal.de). Die Angaben der Glucosekonzentration erfolgten in mg/dl Blut, die der Laktatkonzentration in mmol/l Blut.

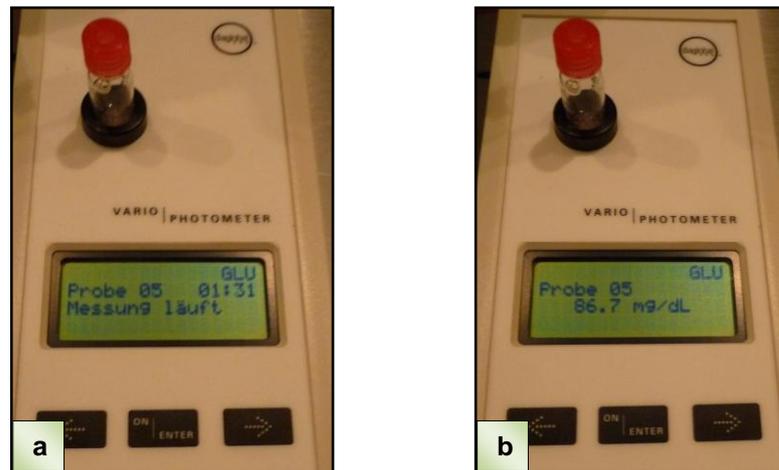


Abb. 5 Photometrische Analyse a) Messdurchlauf, b) Messergebnis für Glu-Konzentration

4.3 Untersuchungsablauf

Im folgenden Abschnitt werden die äußeren Trainingsbedingungen, die Vorbereitungsphase und der Ablauf der Untersuchung beschrieben (siehe Tabelle 1) sowie die Inhalte der Aquafitness-Trainingseinheit näher erläutert.

Die 45-minütige Aquafitness-TE fand in einem 5,5 x 10,0 m großen Becken in übergangstiefem Wasser (1,30 m Wassertiefe) statt. Die Wassertemperatur betrug 28°C, die Lufttemperatur 30°C. Die Aquafitnessgruppe wurde von einer qualifizierten Aquafitnesstrainerin angeleitet. Den Probandinnen waren die Übungen und Bewegungsausführungen bekannt. Aquafitnessgeräte kamen nicht zum Einsatz, Musik jedoch schon. Der Grad der körperlichen Belastung während der Trainingseinheit wurde durch objektive und subjektive Methoden ermittelt. Zur objektiven Bewertung wurden die Herzfrequenz sowie der Glucose- und Laktatwert im Blut gemessen. Die subjektive Einschätzung der Trainingsintensität wurde numerisch mit der Borg-Skala von 1-10 (siehe Anhang A6) gemessen. Die Probandinnen sollten sich nicht maximal ausbelasten und während der Trainingseinheit noch in der Lage sein zum Sprechen. Im Anschluss an die Trainingseinheit sollten die Probandinnen den empfundenen Anstrengungsgrad mit einem Wert zwischen Null (Ruhe) und zehn (maximale Belastung) angeben.

Die Parameter Herzfrequenz, Glucose und Laktat wurden zu folgenden drei Belastungszeitpunkten ermittelt: Ruhe, Belastung, Belastungsende. Für die Blutentnahme verließen die Probandinnen kurzzeitig und zeitlich versetzt das Trainingsbecken.

Die Untersuchungen wurden auf drei Tage verteilt, da pro Trainingseinheit nur maximal vier Probandinnen zeitgleich gemessen werden konnten.

Tab. 1 Darstellung des Untersuchungsablaufes

Zeitlicher Ablauf	Messungen
vor Belastungsbeginn	1. Blutentnahme für Glucose u. Laktat, Ermittlung der Ruhe-Hf
0.- 25. Minute	Aquafitness
25.- ca. 33. Minute	2. Blutentnahme für Glucose u. Laktat, Ermittlung der Belastungs-Hf
ca. 33.- 45. Minute	Aquafitness
nach Belastungsende	3. Blutentnahme für Glucose u. Laktat, Ermittlung der Hf zum Belastungsende

Vorbereitungsphase

Die Probandinnen erhielten je eine Pulsuhr und einen Brustgurt und wurden mit dem Untersuchungsablauf sowie der Borg-Skala vertraut gemacht.

Ablauf der Messungen

Vor dem Beginn der Aquafitness-TE wurde die Ruhe-Herzfrequenz der Probandinnen protokolliert. Anschließend erfolgte in sitzender Position die erste Entnahme von kapillarem Blut aus dem Ohrläppchen für die Ermittlung der Ruhewerte von Glucose und Laktat. Die Belastungsmessung erfolgte ab der 25. Minute nach Belastungsbeginn und beanspruchte pro Probandin etwa zwei Minuten. Die Probandinnen wurden für die Messungen *nacheinander* aus dem Wasser gebeten. Um ein Absinken der Herzfrequenz zu vermeiden, sollten sich die Probandinnen joggend zum Beckenrand bewegen. Nachdem die Belastungs-Hf protokolliert war, verließ die Probandin das Wasser für die Blutentnahme an Land. Anschließend setzte die Probandin das Aquafitnessstraining fort. Direkt nach Beendigung der Aquafitness-TE erfolgte die dritte Hf-Messung und Blutentnahme an Land. Abschließend wurden die Probandinnen separat, um gegenseitige Beeinflussung zu unterbinden, anhand der Borg-Skala zum subjektiv empfundenen Anstrengungsgrad der Trainingseinheit befragt.

Aquafitnessstrainingseinheit

Die Trainingseinheit gliederte sich in vier Abschnitte: Erwärmung (ca. 8 min), Hauptteil (ca. 27 min), Cool-down und Stretching (ca. 5 min), abschließendes Warm-up (ca. 5 min). Das Stundenziel war für die Erhaltung der Kraftausdauer des gesamten Körpers ausgelegt. Als

Trainingsmethode wurde entsprechend dem Stundenziel die Dauerperiode im submaximalen Belastungsbereich gewählt. Der Ausdaueranteil ergab sich aus der 45-minütigen, durchgängigen Bewegungsphase und der Kraftanteil aus Übungen mit hoher Wiederholungszahl gegen den Wasserwiderstand. Gemessen an der Borg-Skala entsprach die Trainingseinheit den Belastungsstufen drei (moderat) bis sieben (ziemlich anstrengend).

Die Übungen bestanden aus Bewegungsausführungen, welche alle großen Gelenke und Muskelgruppen einbezogen: Hüftextension/-flexion, Hüftabduktion/-adduktion, Knieflexion, Oberkörperrotation sowie Ante- und Retroversion der Arme mit Ellenbogenflexion/-extension. Die Übungen für die verschiedenen Muskelgruppen der oberen und unteren Extremitäten wurden im Wechsel ausgeübt. Auf eine schwerpunktmäßige Beinübung folgte eine Übung für den Oberkörper oder die Arme. Erholungspausen gab es nur im Sinne von aktiven Pausen. Die Übungsintensität wurde durch Tempoveränderungen, den Bewegungsumfang (kurzer vs. langer Hebel), die Arbeitsposition (Schultern im/außerhalb des Wassers) sowie Richtungswechsel gesteuert. Für die HKL- und Muskelerwärmung wurden das Arbeitstempo und die Übungsintensität progressiv gesteigert. Die primär angewandte Basisbewegung der Beine bei der Erwärmung, dem Hauptteil und dem Warm-up war das Joggen. Des Weiteren wurde geschert, gekickt, gegrätscht und gehüpft. Für die Kräftigung der Rumpfmuskulatur fanden im Wesentlichen die Umsetz- und Hüpfbewegung Anwendung. Die Armarbeit erfolgte in Abstimmung zur Beinbewegung in verschiedenen Ebenen (diagonal, dorsal, horizontal, etc.) und mit wechselnden Handstellungen (schneiden, fausten, fächern und schaufeln). In der Cool-down- und Stretchingphase wurden die Übungen nur noch mit degressiver Belastung ausgeführt, um das HKLS „herunterzufahren“. Es wurden vorwiegend Schaukelbewegungen seitwärts sowie vor- und rückwärts ausgeführt. Das Achterkreisen der Arme und Beine diente der Mobilisation von Schulter- und Hüftgelenk. Um einer Unterkühlung entgegenzuwirken, wurde abschließend das Arbeitstempo wieder gesteigert, um das HKLS in „Schwung“ zu bringen.

4.4 Statistische Auswertung

Die Daten dieser Studie wurden deskriptiv ausgewertet und in Tabellen und Graphiken dargestellt. Die Analyse der Veränderungen der gemessenen Parameter (Hf, Glu, Lac) über die Zeit (Ruhe, Belastung, Belastungsende) erfolgte durch einen einseitigen t-Test für gepaarte Stichproben. Die statistische Signifikanz der Mittelwertunterschiede wurde mit $p < 0.05$ als signifikant, mit $p < 0.01$ als hoch signifikant und mit $p < 0.001$ als höchst signifikant angenommen. Die statistische Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit Microsoft Office Excel 2007.

5 Ergebnisse

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Probandinnencharakteristik und die erhobenen Messdaten der Belastungs- und Stoffwechselfparameter dargestellt. Die Messungen für Herzfrequenz (Hf), Glucose (Glu) und Laktat (Lac) erfolgten in Ruhe (M1), nach 25 min Belastung (M2) und im direkten Anschluss an das Belastungsende (M3) nach 45 min. Die Herzfrequenz, die Glucose- und Laktatkonzentration werden im Text in Mittelwert \pm SD und zusätzlich in prozentualen Werten angegeben. Das ausführliche Ergebnisprotokoll der Studie, einschließlich statistischer Angaben, befindet sich im Anhang (siehe A7).

5.1 Probandinnencharakteristik

Damit für die Auswertung möglichst vergleichbare Werte des Glucosemetabolismus zugrunde gelegt werden konnten, wurden die Einschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie stark eingegrenzt. Für ein hohes Maß an Vergleichbarkeit mussten die Teilnehmer folgende Merkmale aufweisen: weiblich, postmenopausal, normalgewichtig, gesund und trainiert. In Tabelle 2 sind die physischen Merkmale der Probandinnen dargestellt.

Tab. 2 Probandinnencharakteristik

TN	Alter	Größe (cm)	Gewicht (kg)	BMI (kg/m ²)
1	64	174	70	23.1
2	62	168	63	22.3
3	58	160	56	21.9
4	59	172	69	23.3
5	62	159	70	27.7
6	61	168	71	25.2
7	61	157	69	28.0
8	64	158	65	26.0
9	61	164	58	21.6
10	57	172	64	21.6
11	52	168	60	21.3
12	52	168	74	26.2
13	50	169	88	30.8*
14	64	168	70	24.8
15	64	155	71	29.6*

* Ausnahmen oberhalb des BMI-Range

Das Durchschnittsalter der fünfzehn Probandinnen betrug 59,4 (\pm 4,7) Jahre (Range: 50-65 Jahre), der BMI lag bei 24.9 (\pm 3.1) kg/m² (Range: 20-28 kg/m²). Ein Drittel der Probandinnen wies ein Gewicht von unter 23 kg/m² auf, der festgelegten alters- und geschlechtsspezifischen Untergrenze für Normalgewicht. Die theoretisch zu niedrigen BMI-Werte für Normalgewicht lassen sich mit dem Sportverhalten der Probandinnen erklären. Je zwei der Frauen betreiben seit zwölf bzw. 20 Jahren und eine seit 25 Jahren aktiv ein- bis zweimal die Woche Aquafitness. Darüber hinaus sind alle fünf Probandinnen zusätzlich auf Breitensportniveau in anderen Sportarten aktiv. Insgesamt betreiben neun der 15 Probandinnen neben Aquafitness weitere Sportaktivitäten wie Gymnastik, Krafttraining, Nordic Walking, Radfahren, Rhythmische Gymnastik, Schwimmen, Segeln, Tanzen und Walking. Die Zeitspanne, seit welcher die Probandinnen Aquafitness betreiben, reicht von einem Jahr bis zu 25 Jahren. Die Trainingshäufigkeit variiert zwischen ein bis drei Einheiten pro Woche. Unter den Probandinnen befanden sich eine Gelegenheitsraucherin sowie drei langjährige Raucherinnen (seit mehr als 25 Jahren). Alle Frauen sind seit mindestens 1,5 Jahren postmenopausal, zwei von ihnen führen eine Hormonersatztherapie (HET) durch.

5.2 Belastungsparameter

5.2.1 Herzfrequenz

Tab. 3 Ergebnisse der Herzfrequenzmessung [Schläge/min]

Messung	Minimalwert	Maximalwert	MW \pm SD
M1 Ruhe	72	120	86 \pm 11
M2 Belastung	97	162	131 \pm 22
M3 Belastungsende	85	157	119 \pm 22

Die Probandinnen absolvierten das Aquafitnessstraining bei 69,4% (\pm 9,4%) der maximalen Hf. Diese wurde anhand der Faustformel 220 - Lebensalter berechnet (Weineck, 2010).

Bei 14 von 15 Probandinnen konnten zu allen drei Messzeitpunkten Herzfrequenzwerte abgelesen werden. Im Mittel lagen die Basiswerte (Ruhewerte) bei 86 (\pm 11) Schlägen/min, wobei ein Ruhewert (120 Schlägen/min) stark vom Mittelwert (MW) abwich.

Die Hf-Werte wiesen zwischen M1 und M2 eine durchschnittliche Steigerung um 34,4% (45 Schläge/min) auf (siehe Abbildung 6). Dieser belastungsinduzierte Anstieg der Hf ist mit $p < 0.001$ höchst signifikant. Die Belastungs-Hf von 131 (\pm 22) Schläge/min entspricht einer körperlichen Belastung von durchschnittlich 81,1% (\pm 13,5%) der max. Herzfrequenz. Nach Belastungsende (45. min) waren die Hf-Werte bereits auf 119 (\pm 22) Schläge/min abgesunken ($p < 0.01$). Die Basiswerte hatten sich jedoch noch nicht wieder eingestellt.

Ein Hf-Wert war nach Belastungsende höher als während der körperlichen Belastung (es ist von einem Messfehler auszugehen). Die Spanne zwischen Minimal- und Maximalwerten (siehe Tabelle 3) ist bei allen drei Messungen relativ groß.

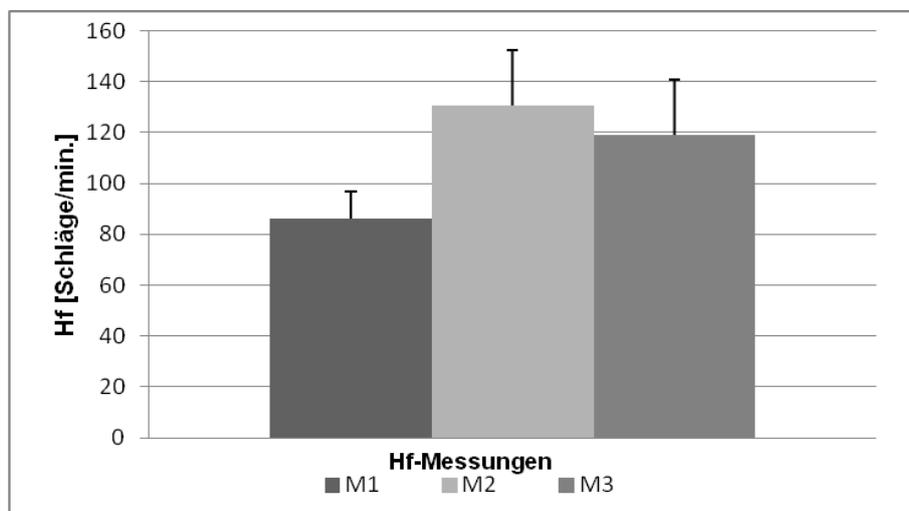


Abb. 6 Herzfrequenzmessungen [Angabe in MW + SD]

5.2.2 Subjektive Belastungseinschätzung

Tab. 4 Subjektive Belastungseinschätzung

Borg-Skala-Einteilung	Belastungsempfindungen der Probandinnen
3 - 4	5 x
5 - 6	6 x
7 - 8	4 x

Die Intensität der Aquafitness-Trainingseinheit wurde von den Probandinnen sehr unterschiedlich wahrgenommen. Tabelle 4 zeigt die mit der Borg-Skala (1-10) ermittelten Belastungsempfindungen der Probandinnen. Der Intensitätsgrad der Trainingseinheit wurde zuvor festgelegt und sollte sich im Bereich zwischen der Belastungsstufe drei (moderat) und sieben (ziemlich anstrengend) auf der Borg-Skala bewegen. Fünf Probandinnen empfanden die Trainingseinheit als weniger anstrengend, sechs Probandinnen als anstrengend und vier Probandinnen als ziemlich anstrengend. Die subjektiven Belastungseinschätzungen der Probandinnen stimmten mit der vorgegebenen Belastungsintensität der Trainingseinheit von Stufe drei bis sieben auf der Borg-Skala weitestgehend überein.

5.3 Stoffwechselfparameter

5.3.1 Laktatkonzentration

Tab. 5 Ergebnisse der Laktatmessung [mmol/l]

Messung	Minimalwert	Maximalwert	MW \pm SD
M1 Ruhe	0,8	2,9	1,7 \pm 0,6
M2 Belastung	1,3	10,1	4,4 \pm 2,7
M3 Belastungsende	0,8	8,2	2,9 \pm 2,1

Die Ruhewerte der Laktatkonzentration lagen bei 1,7 (\pm 0,6) mmol/l Blut und somit unterhalb der aeroben Schwelle von 2 mmol/l.

Der Anstieg der Laktatkonzentration um 61,4% zwischen M1 und M2 erwies sich als höchst signifikant ($p < 0.001$). Die Laktatwerte lagen während der Belastung bei 4,4 (\pm 2,7) mmol/l (siehe Abbildung 7) und somit im Schnitt oberhalb der anaeroben Laktatschwelle von 4 mmol/l. Bei 13 Probandinnen korrelierte die zunehmende Laktatkonzentration mit dem Belastungsanstieg. Bei einer Probandin wurde nach 25 min Belastung keine Laktatreaktion beobachtet, während bei einer zweiten Probandin die Laktatkonzentration unter den Basiswert sank, anschließend jedoch wieder anstieg.

Die Differenzen der Laktatkonzentration zwischen Belastung und Belastungsende waren hoch signifikant ($p < 0.01$). Die Laktatkonzentration hatte bei den Probandinnen zum Belastungsende tendenziell abgenommen. Bei drei Teilnehmerinnen war der Laktatgehalt sogar unter den Ruhewert gesunken, bei drei anderen Probandinnen waren die Werte im Vergleich zu M2 erhöht. Insbesondere bei Messung 2 und 3 zeigten sich jeweils zwischen Minimal- und Maximalwert (siehe Tabelle 5) der Laktatkonzentration eine große Differenz von 8,8 mmol/l bei M2 und 7,4 mmol/l bei M3.

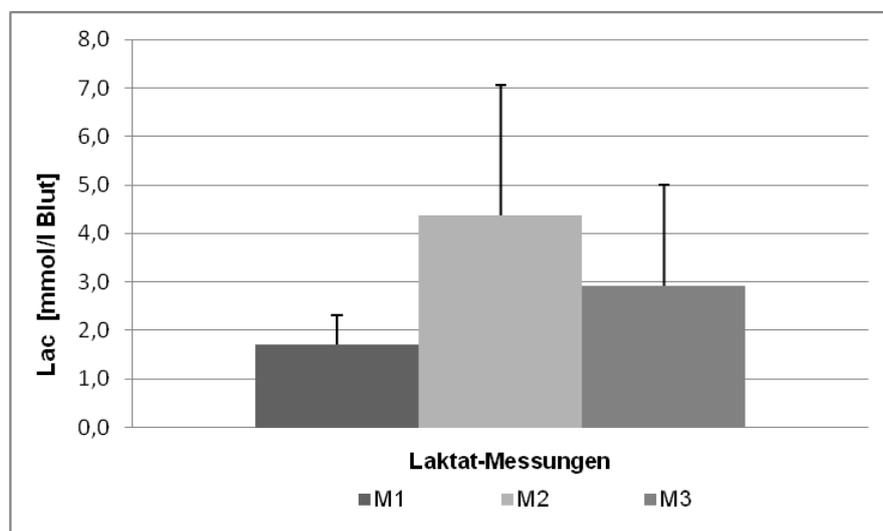


Abb. 7 Laktatmessungen [Angabe in MW + SD]

5.3.2 Glucosekonzentration

Tab. 6 Ergebnisse der Glucosemessung [mg/dl]

Messung	Minimalwert	Maximalwert	MW \pm SD
M1 Ruhe	86	145	111 \pm 17
M2 Belastung	72	110	90 \pm 12
M3 Belastungsende	73	104	86 \pm 9

Die erhobenen Ruhewerte der Glucosekonzentration lagen bei 111 (\pm 17) mg/dl Blut. Innerhalb der ersten 25 Belastungsminuten hatte der Glucosegehalt im Blut bei elf der 15 Probandinnen schon um durchschnittlich 18,6% (21 mg/dl) abgenommen. Dieses Ergebnis lässt sich als hoch signifikant ($p < 0.01$) einstufen. Bei vier Probandinnen zeigte sich verglichen zu den Ruhewerten ein Anstieg der Glucosekonzentration um 3-17 mg/dl.

Beim Vergleich der Mittelwerte von M2 und M3 ist keine statistisch signifikante ($p > 0.05$), beim Vergleich der Einzelwerte jedoch eine tendenzielle Abnahme der Glucosekonzentration erkennbar. Acht Probandinnen wiesen nach 45 min geringere Glucosewerte auf als nach 25 min Belastung. Bei fünf Probandinnen zeigte sich hingegen ein leichter sowie bei einer Probandin ein extremer Anstieg (+32 mg/dl) der Glucosekonzentration. Bei einer Probandin war keine Veränderung des Glucosegehaltes messbar.

Beim Vergleich der Werte von M1 und M3 ließ sich jedoch bei allen Probandinnen eine höchst signifikante ($p < 0.001$) Abnahme der Glucosekonzentration um 21,9% feststellen (siehe Abbildung 8). Lediglich bei vier Probandinnen sank die Glucosekonzentration vom Ruhewert bis zum Belastungsende kontinuierlich ab. Bei den anderen elf Probandinnen wurde entweder bei M2 oder M3 ein Glucoseanstieg zum zuvor gemessenen Wert registriert. Die geringste belastungsinduzierte Auswirkung auf den Blutzuckerspiegel (M1 vs. M3) wurde mit 1 mg/dl und der Extremwert mit 66 mg/dl verzeichnet. Zwischen den Minimal- und Maximalwerten der Glucosekonzentration (siehe Tabelle 6) sind relativ große Differenzen registriert worden.

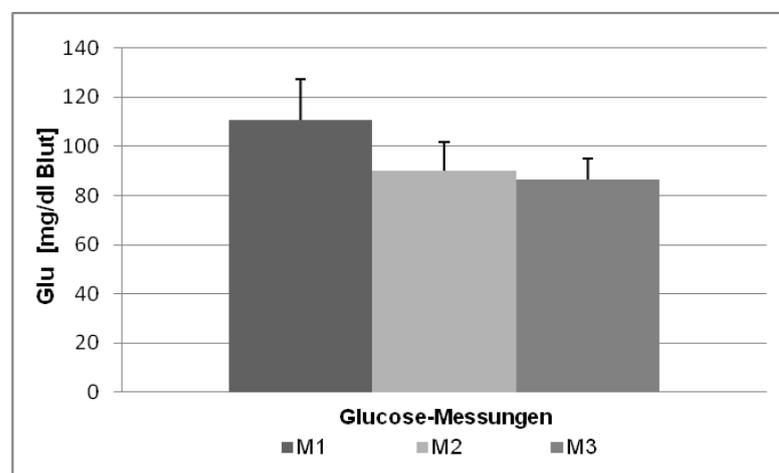


Abb. 8 Glucosemessungen [Angabe in MW + SD]

6 Diskussion

Im nachfolgenden Kapitel werden die Einschlusskriterien der Studie und die Untersuchungsergebnisse in Bezug auf die Themenstellung diskutiert. Als Referenzen dienten wissenschaftliche Publikationen primär aus *PubMed* zu akuten und chronischen Effekten von Bewegungsprogrammen im Wasser. Bei der nachfolgenden Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Stichprobe (n=15) relativ klein war.

Auswahl der Einschlusskriterien

Der Kohlenhydratstoffwechsel ist abhängig von mehreren Faktoren wie dem Geschlecht, Alter, Hormonstatus, BMI und Fitnesszustand. Damit die Messdaten trotz individueller Charakteristika vergleichbar sind, habe ich die Einschlusskriterien für die Studie eng gesetzt. Ein Kriterium war das Geschlecht, weshalb nur Frauen eingeschlossen wurden. Bei ihnen erfolgt die Energiebereitstellung während submaximalen Ausdauerbelastungen vermehrt aus dem Fett- und nicht dem KH-Stoffwechsel. Dies spiegelt sich im Vergleich zu Männern in einer verminderten muskulären Glykogenausnutzung sowie einer geringeren Glykogensynthese in der Leber wider (Tarnopolsky & Ruby, 2001; Ilhan et al., 2004). Da der KH-Stoffwechsel auch altersabhängig ist, wurden für die Studie nur postmenopausale Frauen ausgewählt. Im Alter treten hormonell¹⁰- und lebensstilbedingt¹¹ eine geringere Glucosetoleranz und eine erhöhte Insulinresistenz auf, wodurch bei Älteren höhere Blutglucosewerte nachweisbar sind als bei Jüngeren (Gaspard et al., 1995). Ein weiteres Einschlusskriterium war der BMI, weshalb nur gesunde und normalgewichtige Frauen mit normalem Zuckerstoffwechsel eingeschlossen wurden. Menschen mit Stoffwechselkrankheiten wie z.B. Diabetes mellitus haben einen veränderten KH-Metabolismus (Sideraviciūte et al., 2006a, b). Da ein Drittel der Probandinnen einen BMI von unter 23 kg/m² aufwies, wurde ein BMI-Range von 20-28 kg/m² toleriert. Zudem wurden nur trainierte Probandinnen rekrutiert, da der Glucosemetabolismus durch den körperlichen Fitnesszustand beeinflusst wird (Coggan, 1997).

Veränderungen der Belastungsparameter

Obwohl an der Studie ausschließlich trainierte Frauen teilnahmen, haben sie die Belastungsintensität der Aquafitness-Trainingseinheit anhand der Borg-Skala sehr unterschiedlich eingeschätzt. Die Körperkonstitution und der individuelle Trainingszustand tragen entscheidend zu der Wahrnehmung des Wasserwiderstandes bei, sodass abhängig von Körpergröße und

¹⁰ fortschreitender Östrogenmangel in Relation zum Androgengehalt

¹¹ Ernährung, Sportverhalten

Gewicht die Übungen als leichter oder schwerer empfunden werden (Löllgen, 2004). Die intrinsische Motivation zum Mitmachen und die aktuelle Tagesform können das subjektive Belastungsempfinden der Probandinnen ebenfalls beeinträchtigt haben. Einige Probandinnen führten die Bewegungen im Wasser wesentlich dynamischer aus als andere und haben die Übungen entsprechend als anstrengend oder weniger anstrengend eingeschätzt.

Die subjektiv empfundene Belastungsintensität spiegelt sich in den real gemessenen Werten der Hf, Glucose- und Laktatkonzentration wider. Aus den subjektiven Belastungseinschätzungen (siehe 5.2.2) und den Herzfrequenzmessungen (69,4% der max. Hf) geht hervor, dass sich keine der Probandinnen maximal ausbelastet hat und alle annähernd im submaximalen Bereich trainierten. Die Hf-Messung ist in der Trainingspraxis ein geeigneter Indikator für den Grad der körperlichen Anstrengung, da zwischen ihr und der Belastungsintensität eine lineare Korrelation besteht (Janssen, 2003). Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Hf bei Immersion abnimmt, wodurch eine Fehleinschätzung der Belastungsintensität hervorgerufen werden könnte. Die Basiswerte zeigen, dass die durchschnittliche Hf von 86 Schlägen/min über den allgemeinen Normalwerten von 60-80 Schlägen/min liegt (Heck, 1990). Die scheinbar erhöhten Werte können mit der Altersabhängigkeit der Hf zu erklären sein, da mit zunehmendem Alter die Ruhe-Hf steigt. Die Ruhe-Hf ist nicht nur altersspezifisch, sondern auch einer großen individuellen Variabilität unterworfen (Heck, 1990), womit der Extremwert von 120 Schlägen/min (siehe Abbildung 9a) zu erklären wäre.

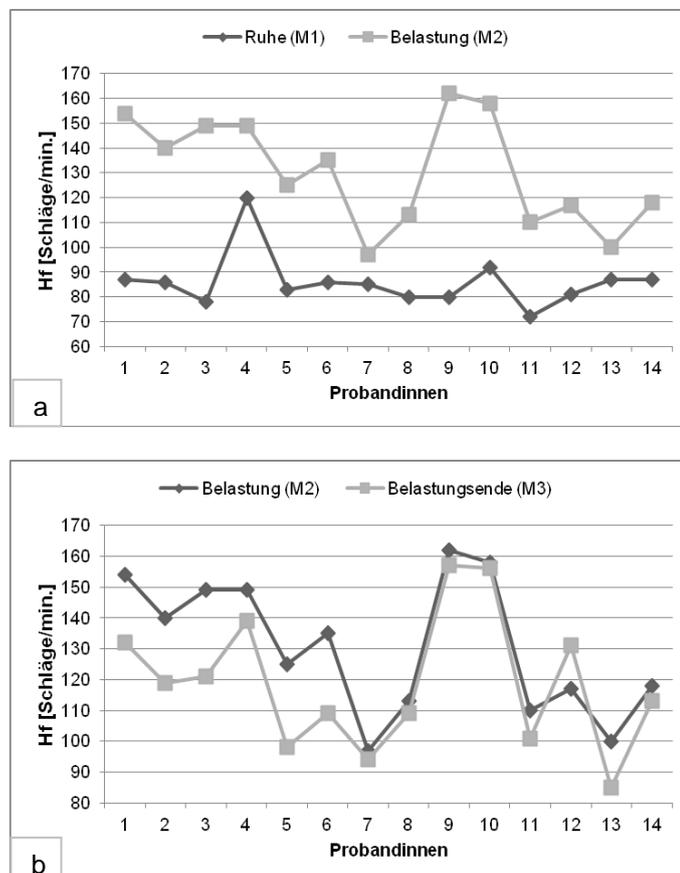


Abb. 9 Vergleich der Hf-Veränderungen a) Ruhe vs. Belastung, b) Belastung vs. Belastungsende

Der Extremwert könnte auch mit dem jahrelangen Nikotinkonsum der Probandin zu begründen sein, da es aufgrund der „[...] nikotinbedingten Freisetzung von Adrenalin/Noradrenalin zu einem Herzfrequenzanstieg [...]“ kommt (Weineck, 2004, S.508). Bei meiner Studie sind jene Hf-Veränderungen eingetroffen, welche durch Belastungsanstieg und -abfall zu erwarten waren (siehe Abbildung 9a, b). Mit zunehmender körperlicher Aktivität stieg die Hf an, mit abnehmender Belastung verminderte sich die Hf wieder (Janssen, 2003; Weineck, 2010). Ursächlich für die z.T. starke Erhöhung der Hf waren die intensive HKL- und Muskelerwärmung zu Beginn sowie die Dauerbelastung im Hauptteil der Trainingseinheit. Die Abnahme der Hf von M2 nach M3 ist mit der geringeren HKL-Belastung während des Entspannungsteils vor Belastungsende zu begründen.

Damit für die Untersuchung adäquate Laktatkonzentrationen gemessen werden konnten und den Probandinnen für das Aquafitnessstraining hinreichend Energie zur Verfügung stand, sollten sie ihre Muskelglykogenspeicher „aufladen“ (Vorgabe Ernährungsplan). In den Muskeln muss ausreichend Glykogen gespeichert sein, da sonst zu niedrige Laktatkonzentrationen auftreten, welche eine verfälschte Leistungsfähigkeit widerspiegeln können (Rapoport, 2010). Die Laktatbildung ist abhängig „[...] vom Glykogengehalt der belasteten Muskulatur bzw. der Glucoseverfügbarkeit [...]“ (Neumann & Schüler, 1989, S.106-7). Die individuellen Auswirkungen auf körperliche Anstrengung und die unterschiedlich hohe Leistungsbereitschaft im Wasser zeigen sich auch in den gemessenen Laktatkonzentrationen. Der Anstieg der Laktat-Basiswerte während der Belastung (1,7 mmol/l vs. 4,4 mmol/l) gibt Aufschluss über die Belastungsintensität der Probandinnen. Wie aus Abbildung 10 ersichtlich ist, korrelieren Hf- und Laktatwerte während der Belastung.

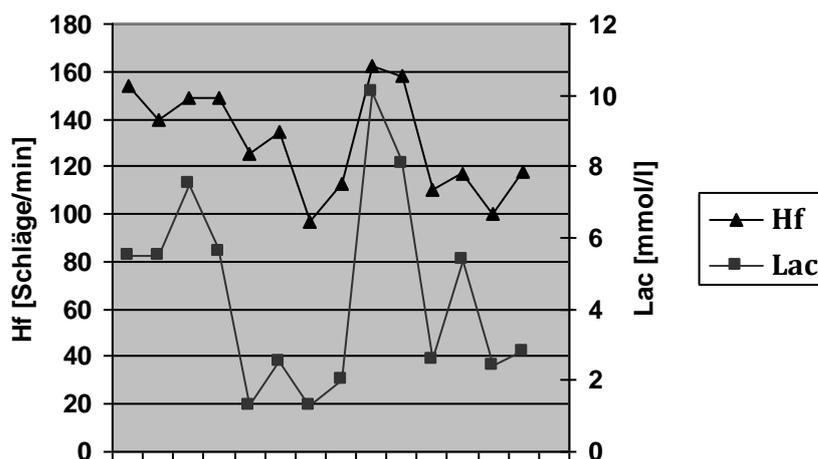


Abb. 10 Vergleich von Hf und Laktat während der Belastung

Die sieben Probandinnen, deren Laktatwerte zur Belastungsmessung über 4 mmol/l lagen, wiesen wesentlich höhere Hf-Werte auf, als jene Probandinnen, die unterhalb der anaeroben Schwelle trainierten. Die Höhe der Hf, bei welcher die anaerobe Laktatschwelle (≥ 4 mmol/l)

erreicht wird, ist individuell und abhängig vom Trainingszustand (Janssen, 2003). Die Laktatwerte stehen ebenfalls mit den Veränderungen des BZS im Zusammenhang, da sie nicht nur Aufschluss über die Belastungsintensität, sondern auch über die individuelle Stoffwechselsituation geben. Je höher die Laktatwerte der Probandinnen waren, desto geringer waren die Glucosewerte, da primär im anaeroben Bereich gearbeitet wurde. Sieben Probandinnen trainierten oberhalb der anaeroben Schwelle (siehe Abbildung 11), verbrauchten also vermehrt Kohlenhydrate als Fette für die Energiebereitstellung, weshalb der BZS stärker gesunken ist als bei den anderen Probandinnen. Die Abnahme der Laktatkonzentration am Belastungsenden korreliert mit der absinkenden Belastung.

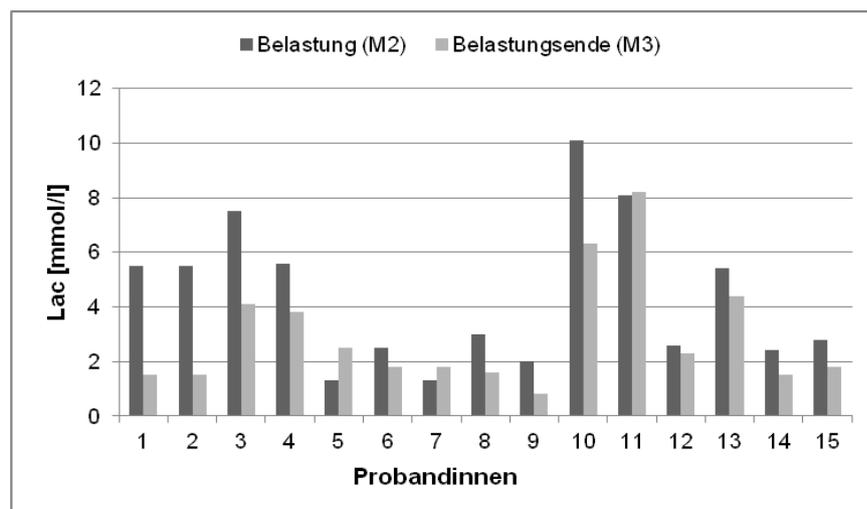


Abb. 11 Laktatkonzentration von M2 und M3

Auswirkungen auf den Blutzuckerspiegel

Das in meiner Studie durchgeführte Aquafitnessprogramm bewirkte höchst signifikante Veränderungen des Blutzuckerspiegels während der Belastung. Die Reduzierung der Glucosekonzentration ist vermutlich nicht generell auf Aquafitnessstraining übertragbar, sondern bezieht sich auf ein 45-minütiges Aquafitnessstraining im submaximalen Intensitätsbereich, welches ohne Geräteinsatz in übergangstiefem Wasser (1,30 m) bei 28°C Wasser- und 30°C Lufttemperatur stattfindet. Barbosa et al. (2009) publizieren, dass für akute physiologische Reaktionen während Aquafitness eine Wassertemperatur um 27°C scheinbar am geeignetsten ist. Die Basiswerte der Probandinnen lagen mit 111 (\pm 17) mg/dl oberhalb der Glucose-Normalwerte von 70-110 mg/dl (König & Berg, 2007). Dies ist damit zu begründen, dass keine Nüchtern-Glucose gemessen wurde. Die großen Differenzen der Basiswerte (siehe Abbildung 12) können einerseits auf normale individuelle Schwankungen und/oder auf eine Kohlenhydratzufuhr unmittelbar vor dem Aquafitnessstraining zurückzuführen sein, denn selbst zwei Stunden nach Nahrungsaufnahme kann die Glucosekonzentration noch bei 140 mg/dl liegen.

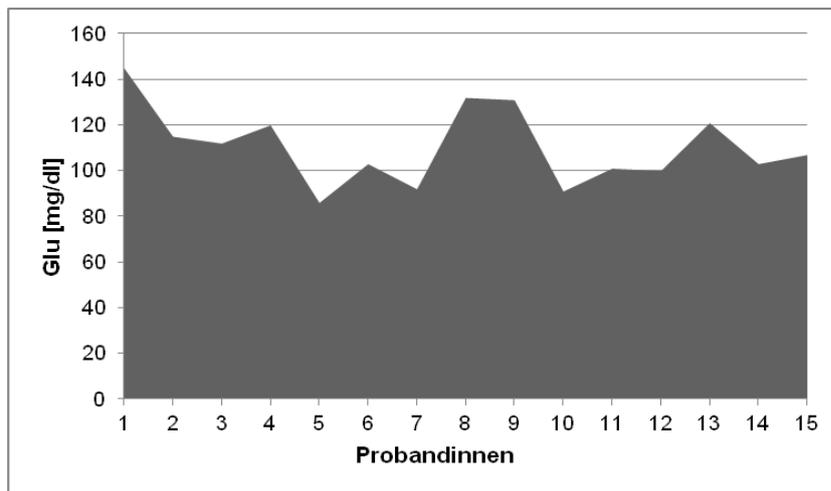


Abb. 12 Differenzen der Basis-Glucosekonzentration

Die großen Differenzen zwischen den Minimal- und Maximalwerten der Glucosekonzentrationen (siehe Tabelle 6) der Probandinnen lassen sich damit erklären, dass körperliche Belastung individuelle Reaktionen auf den Blutzuckerspiegel auslöst, was nochmals in Abbildung 13 explizit dargestellt ist. Die Glucoseaufnahme aus dem Blut ist individuell abhängig von der Größe der muskulären Glykogenspeicher, den Muskelfasertypen sowie dem Blutfluss und der Blutglucosekonzentration (Rose & Richter, 2005). Die verhältnismäßig geringe Glucoseabnahme einiger Probandinnen könnte mit einer geringeren Trainingsmotivation begründet werden, d.h. die Muskeln benötigten weniger Glucose aus dem Blut zur Energiegewinnung.

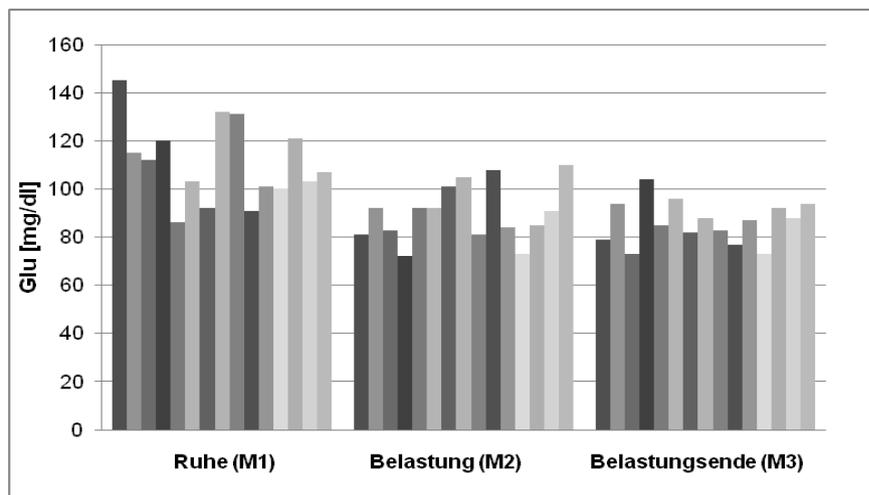


Abb. 13 Verlauf der Glucosewerte während einer Trainingseinheit

Bei den meisten Probandinnen hingegen verminderten sich die Glucosewerte innerhalb der ersten 25 Belastungsminuten stark (siehe M2 in Abbildung 14). Dies ist zurückzuführen auf den erhöhten Glucosebedarf der aktiven Muskelfasern, welcher mit der Belastungsintensität

steigt (Coggan, 1991). Während der Erwärmung und mit Beginn des Hauptteils wurde die körperliche Belastung progressiv gesteigert.

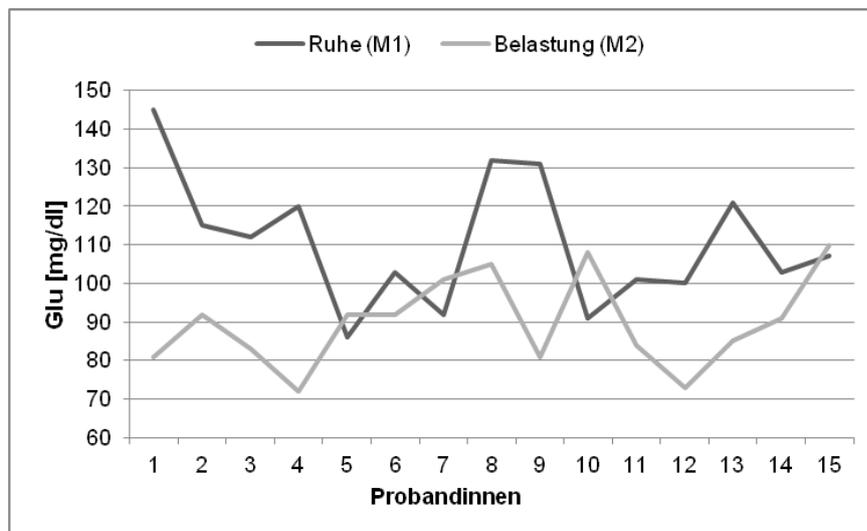


Abb. 14 Vergleich der Glucosewerte von M1 zu M2

Henriksen (2002) publiziert, dass eine Land-Trainingseinheit von moderater Intensität eine akute und signifikante Absenkung des BZS hervorrufen kann. Diese Aussage stimmt mit meinen Ergebnissen von der Aquafitness-TE überein. Die signifikante Abnahme der Glucosekonzentration lässt sich mit der gesteigerten muskulären Glucoseaufnahme bei Belastung erklären.

Des Weiteren ist die Insulinsensitivität bei trainierten Menschen höher als bei gesunden Untrainierten, wodurch eine höhere Glucoseaufnahme in die Muskeln ermöglicht wird (Magkos & Sidossis, 2008). Jones et al. (2009) vermuten, dass ein Kombi-Training aus Ausdauer- und Kraftübungen, wie es auch während des Aquafitness-Trainings erfolgte, effektiver ist für die muskuläre Glucoseaufnahme während körperlicher Belastung, zumindest bei Personen mit gestörter Glucoseintoleranz (IGT) und Diabetes mellitus. Es bliebe zu klären, ob dieser Tatbestand auch bei Gesunden zutrifft.

Bei vier Probandinnen zeigte sich hingegen im ersten Belastungsabschnitt ein *Anstieg* der Glucosekonzentration (siehe Abbildung 15). Coggan (1997) publiziert, dass bei besser trainierten Personen während körperlicher Belastung durchaus ein Anstieg der Glucosekonzentration erfolgen kann. Durch körperliche Anstrengung kommt es initial zu einem Absinken des BZS, wodurch in der Leber der Abbau von Glykogen zu Glucose veranlasst wird und der BZS anschließend wieder steigt. Bei länger andauernder Belastung wie einem 45-minütigen Aquafitnessstraining benötigt die Muskulatur jedoch in kürzerer Zeit mehr Glucose als von der Leber freigesetzt werden kann, sodass sich der BZS dann reduziert. Die signifikante Abnahme der Glucosekonzentration zum Belastungsende lässt sich anhand meiner erhobenen Messdaten belegen.

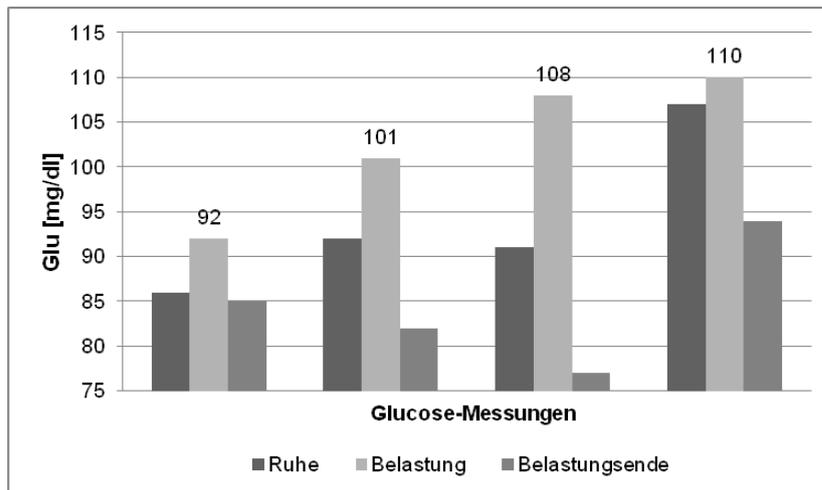


Abb. 15 Glucoseanstieg bei 4 Probandinnen während der Belastung

Bei sechs Probandinnen war die Glucosekonzentration beim Belastungsende, verglichen zur Belastungsmessung, bereits wieder leicht angestiegen (siehe Abbildung 16). Dies lässt darauf schließen, dass die Muskeln für das Cool-down und die Entspannungsphase zum Trainingsende weniger Glucose aus dem Blut benötigten als von der Leber bereitgestellt wurde.

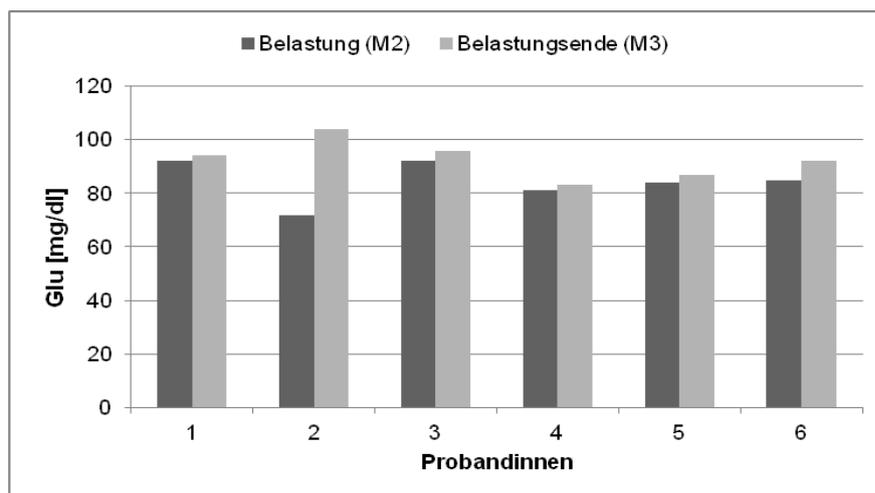


Abb. 16 Glucoseanstieg bei 6 Probandinnen zum Belastungsende

Die Literaturrecherche ergab insgesamt nur drei aktuelle Studien¹², welche die Effekte von Aquafitness auf das Glucoseverhalten untersuchten. Auch diese Studien schlossen ausschließlich Frauen ein, jedoch wurden nur die chronischen Veränderungen der Glucosewerte über einen Zeitraum von 12 Wochen (Nowak et al., 2008; Jones et al., 2009) bzw. 24 Wochen (Colado et al., 2009) mittels vorher-nachher Vergleich belegt. Nowak et al. (2008) berichten von günstigen Veränderungen des Glucosemetabolismus bei adipösen Frauen. Jones et al. (2009) berichten über eine verbesserte Glucosetoleranz und Insulinsensitivität

¹² Nowak et al., 2008; Colado et al., 2009; Jones et al., 2009

bei übergewichtigen Frauen mit gestörter Glucoseintoleranz (IGT), jedoch nicht bei übergewichtigen Frauen mit normaler Glucosetoleranz (NGT). Colado et al. (2009) beobachteten nach einem 24-wöchigen aqualen Krafttraining mit gesunden, postmenopausalen Frauen signifikant niedrigere Glucosekonzentrationen in der Trainingsgruppe als in der Kontrollgruppe. Die Ursachen für die beobachteten Verbesserungen der Glucosetoleranz in den Studien von Nowak et al. (2008) und Jones et al. (2009) können Effekte der körperlichen Belastung an sich, spontane Veränderungen der Glucoseregulation oder individuelle Reaktionen sein (Meredith-Jones et al., 2011).

Es konnten jedoch keine Publikationen zum akuten Glucoseverbrauch während einer Aquafitness-Trainingseinheit gefunden werden. Selbst in einem Review von 2011 (Meredith-Jones et al.) wird die Evidenz der Effekte von Bewegungstherapie im Wasser bezüglich des KH-Metabolismus noch als weitgehend ungeklärt bezeichnet. Das Hauptproblem der unzureichenden Studienlage ist wohl eine inadäquate Kontrolle der Belastungsintensität von Aquafitnessprogrammen (Colado et al., 2009). Die Glucosewerte aus anderen Studien wurden meist erst 4-24 h nach Belastungsende und nicht direkt im Anschluss gemessen. Die akuten Auswirkungen auf das Glucose- und Insulinverhalten durch körperliche Aktivität an Land sind dagegen hinreichend untersucht und nachgewiesen¹³. Aufgrund der spezifischen Eigenschaften des Wassers können diese Ergebnisse jedoch nicht auf Bewegungsprogramme im Wasser übertragen werden. Selbst Studien zum Kohlenhydratmetabolismus beim Schwimmen eignen sich nicht zum Vergleich, da Schwimmen und Aquafitness unterschiedliche Belastungs- und Bewegungsmuster (horizontale vs. vertikale Körperposition) aufweisen.

Hypothese zum erhöhten Energieverbrauch

Meine aufgestellte Hypothese „Der Glucoseverbrauch ist bei körperlicher Aktivität im Wasser höher als bei vergleichbarer körperlicher Aktivitäten an Land“ lässt sich anhand folgender Sachverhalte und Überlegungen stützen:

Bei körperlichen Übungen an Land muss der Mensch sein komplettes Eigengewicht tragen, weshalb die Vermutung mehr Gewicht - größerer Energieaufwand - höherer Glucoseverbrauch naheliegend erscheint. Der Umkehrschluss für eine Bewegungstherapie im Wasser wäre dementsprechend weniger Gewicht - kleinerer Energieaufwand - geringerer Glucoseverbrauch. Dies ist nicht der Fall, da der Körper dem Wasser eine größere Angriffsfläche bietet. Wasserwiderstand und Auftrieb wirken je nach Wassertiefe unterschiedlich stark auf den gesamten Organismus ein (siehe 3.2 & 3.4). Der Zweifacheffekt von Widerstand und Auftrieb macht das Wasser zu einem Trainingsmedium, welches einen hohen Energieaufwand bei verhältnismäßig wenig Bewegung verlangt. Die *Bewegungsausführung* erfordert vermutlich

¹³ Nishida et al. 2004; Hasbum et al., 2006; Magkos & Sidossis, 2008

eine muskuläre und somit energetische Mehrbelastung als an Land, um genannte Wassereigenschaften zu kompensieren. Takeshima et al. (2002) mutmaßen, dass aufgrund des Wasserwiderstandes der Energieaufwand bei Aquafitness gesteigert ist. Ein weiteres Kriterium für einen erhöhten Glucoseverbrauch könnte die Kombination aus Ausdauer- und Krafttraining zur gleichen Zeit sein, unter Einbezug aller großen Muskelgruppen. Bei Übungen an Land ist eine Umsetzung in dieser Form eher selten möglich bzw. beschränkt sich auf das Training einzelner Muskelgruppen. Aerobic zum Beispiel stellt solch eine kombinierte Trainingsform dar. Wissenschaftliche Untersuchungen deuten darauf hin, dass Ausdauer- und Aerobic-Training unterschiedliche Komponenten der Stoffwechselwege beeinflussen, welche verantwortlich sind für eine verbesserte Glucoseregulation (Maiorana et al., 2002). Meredith-Jones et al. (2011) publizieren in ihrem Review, dass die aktuell verfügbaren Studien darauf hindeuten, dass *regelmäßiges* Aquafitnessstraining mit einer verbesserten Glucoseregulation verbunden ist, was besonders für Typ II Diabetiker von großem Vorteil wäre. Ein weiterer Grund für die erhöhte Muskelaktivität bei Aquafitness könnte die oft *gleichzeitige* Aktivierung von Agonisten und Antagonisten sein. Bei vielen Übungsausführungen erfolgt eine Aktivierung der Antagonisten, um mit einer Gegenbewegung der Auftriebskraft entgegen zu wirken und den Körper im Gleichgewicht zu halten (Meredith-Jones et al., 2011). In diesem Zusammenhang bemerken Colado et al. (2009), dass insbesondere die Bauchmuskeln während Übungsausführungen im Wasser aktiver sind, um eine korrekte Körperposition beizubehalten. Ein weiterer Erklärungsansatz für den vermehrten Glucoseverbrauch ist der erhöhte Blutfluss, gesteigert durch Wasserdruck und körperliche Belastung (siehe 3.4 HKLS). Aus der gesteigerten Muskeldurchblutung resultiert eine erhöhte Glucoseaufnahme aus dem Blut, wodurch der BZS absinkt (Rose & Richter, 2005). Untersuchungen von altersdifferenzierten Leistungs- und Gesundheitssportlern belegen zudem, „[...] daß eine vergleichbare Herzfrequenz (Land, Wasser) im Wasser eine wesentlich höhere Stoffwechselbelastung anzeigt [...]“ (Zeitvogel, 1992, S.16). Ein weiterer Grund ist die permanente Thermoregulation des Körpers. Wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit des Wassers und der vergleichsweise niedrigen Wassertemperatur wird dem Körper ständig Wärme entzogen. Zur Förderung der Wärmeproduktion ist eine erhöhte Muskelarbeit notwendig (Barbosa et al., 2009). Beim bloßen Stehen im Wasser ist die Energieverbrennung schon deutlich höher als an Land. Bei körperlicher Aktivität im Wasser „[...] potenziert sich dieser Energieverbrauch [...]“ (Liebich, 1999, S.29).

Am Beispiel der „Landstudie“ von Ilhan et al. (2004) zeigt sich direkt nach Beendigung der Belastung eine signifikant *höhere* Glucosekonzentration als zum Beginn. Die Ergebnisse meiner Aquafitness-Studie hingegen weisen signifikant *niedrigere* Glucosekonzentrationen (111 ± 17 vs. 86 ± 9 mg/dl) zum Belastungsende auf. Das deutet darauf hin, dass beim Training im Wasser verglichen zum Training an Land ein scheinbar effektiverer und schnellerer Glucoseabbau erfolgt.

7 Fazit

Meine Untersuchung hat den Zweck eines Pilotprojekts erfüllt, da die ermittelten Glucosewerte einen ersten Einblick geben, wie sich der Blutzuckerspiegel während eines Aquafitnessstrainings verhält. Die Untersuchung ergab eine höchst signifikante ($p < 0.001$) *Abnahme der Glucosekonzentration* um durchschnittlich 21,9% während der körperlichen Belastung. Zwischen dem Anstieg der Belastungsintensität und der Herzfrequenz sowie der Laktatkonzentration zeigt sich ein kausaler Zusammenhang. Ebenso besteht eine Korrelation zwischen den Laktatwerten und dem Glucoselevel im Blut. Zunächst einmal stehen die erhobenen Glucosewerte exemplarisch für ein 45-minütiges Aquafitnessstraining mit gesunden, postmenopausalen Frauen bei submaximaler Belastungsintensität von durchschnittlich 69,4% ($\pm 9,4\%$) der max. Hf, da die Auswirkungen auf den BZS abhängig sind von der Belastungsintensität und Trainingsdauer, der Wassertiefe/-temperatur, der Bewegungsgeschwindigkeit, der Körperkonstitution und dem Trainingszustand einer Person (Lindle, 2011).

Meine Ergebnisse belegen eine akute Veränderung der Glucosekonzentration während der Belastung, ob sich Aquafitness tatsächlich durch einen höheren Glucoseverbrauch auszeichnet, verglichen zur Bewegungstherapie an Land, lässt sich mangels Vergleichswerten aber nicht eindeutig belegen. Hinweise und Vermutungen aus bislang publizierten Studien verstärken jedoch meine Hypothese, dass Aquafitness aufgrund der physikalischen Eigenschaften des Wassers sowie einem erhöhten Energieaufwand einen verstärkten Glucoseverbrauch bewirkt. Ebenso deuten meine gemessenen Glucosewerte am Belastungsende darauf hin, dass bei Aquafitness ein schnellerer Glucoseabbau erfolgt, verglichen mit den Werten einer „Landstudie“.

Aquafitness bietet aufgrund seiner günstigen Eigenschaften besonders für Senioren, Gelenkerkrankte und Übergewichtige eine sehr gute Alternative zur Sporttherapie an Land. Die genauen Kenntnisse über die positiven Auswirkungen auf den BZS könnten den Einsatz von Aquafitness als Bestandteil von Prävention, Therapie und Rehabilitation noch attraktiver machen.

8 Ausblick

Das Wissen über den sportartspezifischen Glucoseverbrauch von Aquafitness könnte in den Bereichen Prävention, Therapie und Rehabilitation für indikationsbezogene Anwendungen genutzt werden.

Da körperliche Aktivität eine Schlüsselkomponente in der Prävention und Therapie darstellt, besonders bei Übergewicht und Diabetes mellitus Typ II, kann der KH-Metabolismus als Richtwert für die Intensität zur Trainingssteuerung und Erstellung von Trainingsprogrammen dienen (Knöller, 1997). Anhand von Belastungsintensität/-dauer und entsprechendem Glucoseverbrauch könnten für Übergewichtige und Adipöse Trainingsprogramme mit gezielter Gewichtsreduktion erstellt werden. Für Typ II Diabetiker wäre die genaue Kenntnis über die Abnahme der Glucosekonzentration während einer Trainingseinheit im Wasser von großem Vorteil für eine exakte Blutzuckereinstellung. Jones et al. (2009) publizieren, dass Ausdauer- und Krafttraining an Land effektiv ist für eine gesteigerte Glucosetoleranz und Insulinsensitivität bei Personen mit gestörter Glucosetoleranz (IGT) und Diabetes. Meine erhobenen Daten geben einen Einblick in die Veränderungen des Blutzuckerspiegels bei gesunden Frauen mit normalem KH-Stoffwechsel. Es besteht noch Klärungsbedarf, ob Aquafitness bei Personen mit gestörtem KH-Stoffwechsel gleiche oder ähnliche Veränderungen bezüglich des BZS bewirken würde.

Meine Ergebnisse könnten perspektivisch als Vergleichswerte für weitere Bachelorarbeiten dienen, welche die Veränderungen des Blutzuckerspiegels während einer Aquafittesseinheit z.B. bei Diabetikern oder Adipösen untersuchen. Es besteht allerdings noch Forschungsbedarf, ob sich Aquafitness bei diesen Indikationen als geeignetere *sporttherapeutische* Maßnahme durchsetzen könnte verglichen zur Therapie an Land. Dafür müsste geklärt werden bei welcher Wassertiefe/-temperatur, Belastungsintensität und Trainingsdauer Aquafitness ausgeübt werden sollte, um einen optimalen Glucoseverbrauch zu erreichen.

Literaturverzeichnis

- Agostoni, E., Gurtner, G., Torri, G., Rahn, H. (1966). Respiratory mechanics during submersion and negative-pressure breathing. *J Appl Physiol.*, 21(1), 251-58.
- Barbosa, T.M., Marinho, D.A., Reis, V.M., Silva, A.J., Bragada, J.A. (2009). Physiological assessment of head-out aquatic exercises in healthy subjects: A qualitative review. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8, 179-89.
- Berg, A., Dickhuth, H.-H. (2007). Sportmedizinische Aspekte des Energiestoffwechsels. In Dickhuth, H.-H., Mayer, F., Röcker, K., Berg, A. (Hrsg.) *Sportmedizin für Ärzte. Lehrbuch auf der Grundlage des Weiterbildungssystems der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (DGSP) (S.17-27)*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Belz, I., Glatz, C., Hofmann, A. (2003). *Lifetime Aquafitness*. Stuttgart: SVW Service GmbH.
- Broman, G., Quintana, M., Lindberg, T., Jansson, E., Kaijser, L. (2006). High intensity deep water training can improve aerobic power in elderly woman. *Eur J Appl Physiol*, 98(2), 117-23.
- Campell, J.A., D'Acquisto, L.J., D'Acquisto, D.M., Cline, M.G. (2003). Metabolic and cardiovascular responses to shallow water exercise in young and older women. *Med Sci Sports Exerc*, 35(4), 675-81.
- Coggan, A.R. (1991). Plasma glucose metabolism during exercise in humans. *Sports Medicine*, 11(2), 102-24.
- Coggan, A.R. (1997). Plasma glucose metabolism during exercise: Effect of endurance training in humans. *Med Sci Sports Exerc*, 29(5), 620-627.
- Colado, J.C., Triplett, N.T., Tella, V., Saucedo, P., Abellán, J. (2009). Effects of aquatic resistance training on health and fitness in postmenopausal woman. *Eur J Appl Physiol*, 106(1), 113-22.
- 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), 303-11.
- Dargatz, T., Röwekamp, A. (2010). *Aqua-Fitness. Aqua-Aerobic, Aqua-Power, Aqua-Jogging, Wassergymnastik*. (6. Auflage). München: Stiebner Verlag.
- Gaspard, U.J., Gottal, J.-M., van den Brûle, F.A. (1995). Postmenopausal changes of lipid and glucose metabolism: A review of their main aspects. *Maturitas*, 21, 171-178.
- Hahn, M., Peter, B. (2011). *Aquafitness: Trainingsprogramme für Fitness und Reha. Sanftes Training für Ausdauer und Kraft*. München: BLV.
- Hasbum, B., Real, J.T., Sánchez, C., Priego, M.A., Díaz, J., Viguer, A., Basanta, M., Martínez-Valls, J., Marín, J., Carmena, R., Ascaso, J.F. (2006). Effects of a controlled program of moderate physical exercise on insulin sensitivity in nonobese, nondiabetic subjects. *Clin J Sport Med*, 16(1), 46-50.
- Heck, H. (1990). Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik. In *Trainerakademie Köln e.V. (Hrsg.), Studienbrief der Trainerakademie Köln des Deutschen Sportbundes; 8*. Schorndorf: Hofman.
- Henriksen, E.J. (2002). Exercise effects of muscle insulin signaling and action. Invited review: Effects of acute exercise and exercise training on insulin resistance. *J Appl Physiol*, 93(2), 788-96.
- Huey, L., Forster, R. (1997). *Aquatrainig. The Complete Waterpower Workout Book. Band 1- Aquakraft*. Aachen: Meyer & Meyer.

- Ilhan, N., Kamanli, A., Ozmerdivenli, R., Ilhan, N. (2004). Variable effects of exercise intensity on reduced glutathione, thiobarbituric acid reactive substance levels, and glucose concentration. *Arch Med. Res.*, 35(4), 294-300.
- Janssen, P.G.J.M. (2003). *Ausdauertraining. Trainingssteuerung über die Herzfrequenz- und Milchsäurebestimmung* (3. Auflage). Balingen: Spitta.
- Jones, L.M., Meredith-Jones, K., Legge, M. (2009). The effect of water-based exercise on glucose and insulin response in overweight woman: A pilot study. *Journal of women's health*, 18(10), 1653-59.
- Klingenberg, M. (2004). Wissenschaftlicher Hintergrund und Nutzen der Laktatmessung. www.laktatmessung.de/wissenschaft/biochem.pdf.
- Knöller, Rainer (1997). Trainingsanalyse im Ausdauersport. Rechnergestützte Trainingsanalyse im Schwimmen, Radfahren und Laufen unter Einbeziehung des sportartspezifischen Energieverbrauchs. In C. Czwalina (Hrsg.), *Sportwissenschaftliche Dissertationen und Habilitationen*; 43. Hamburg: Czwalina.
- König, D., Berg, A. (2007). Ernährung und Substitution. In Dickhuth, H.-H., Mayer, F., Röcker, K., Berg, A. (Hrsg.), *Sportmedizin für Ärzte. Lehrbuch auf der Grundlage des Weiterbildungssystems der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (DGSP)* (S.479-514). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Leyk, D., Wackerhage, H. (2000). Muskulärer Energiestoffwechsel und Sport. In D. Leyk & H. Lötzerich (Hrsg.), *Sportwissenschaftliche Arbeiten aus dem Bereich Medizin und Naturwissenschaften*; 3 (S.89-130). Köln: SPORT und BUCH Strauß.
- Liebich, Ch. (1999). *Aqua-Aerobic. Fit und gesund durch die Kraft des Wassers*. München: Knaur.
- Lindle, J.M. (2011). AEA- How many calories- Update. American Aquatic Association. www.aeawave.com/Portals/2/PDF/HowManyCaloriesUpdated.pdf
- Linke, K.A., Wollschläger, I. (2011). *Aquafitness für Senioren*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Löllgen, H. (2004). Das Anstrengungsempfinden (RPE, Borg-Skala). *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 11, 299-300.
- Lord, S.R., Matters, B., St George, R., Thomas, M., Bindon, J., Chan, D.K., Collings, A., Haren, L. (2006). The effects of water exercise on physical functioning in older people. *Australasian Journal on Ageing*, 25(1), 36-41.
- Magkos, F., Sidossis, L.S. (2008). Exercise and insulin sensitivity-Where do we stand? You'd better run! *European Endocrinology*, 4(1), 22-25.
- Maassen, N., Schneider, G. (2011). Die kapilläre Laktatkonzentration als Maß für die Belastungsreaktion. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 62(4), 92-97.
- Maiorana, A., O'Driscoll, G., Goodman, C., Taylor, R., Green, D. (2002). Combined aerobic and resistance exercise improves glycemic control and fitness in type 2 diabetes. *Diabetes Res Clin Pract*, 56(2), 115-23.
- Meredith-Jones, K., Waters, D., Legge, M., Jones, L. (2011). Upright water-based exercise to improve cardiovascular and metabolic health: A qualitative review. *Complementary Therapies in Medicine*, 19, 93-103.
- Meyers Grosses Taschenlexikon. (2001). (8. Auflage) 25 Bände. Mannheim: Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG.
- Neumann, G., Schüler, K.-P. (1989). *Sportmedizinische Schriftreihe; 25. Sportmedizinische Funktionsdiagnostik*. Leipzig: J.A. Barth.
- Nishida, Y., Tokuyama, K., Nagasaka, S., Higaki, Y., Shirai, Y., Kiyonaga, A., Shindo, M., Kusaka, I., Nakamura, T., Ishibashi, S., Tanaka, H. (2004). Effect of moderate exercise training on peripheral glucose effectiveness, insulin sensitivity, and endogenous glucose

- production in healthy humans estimated by a two-compartment-labeled minimal model. *Diabetes*, 53(2), 315-20.
- Nowak, A., Pilaczynska-Szczesniak, L., Sliwicka, E., Deskus-Smielecka, E., Karolkiewicz, J., Piechowiak, A. (2008). *J Sports Med Phys Fitness*, 48(2), 252-58.
- Oelmann, J., Wollschläger, I. (2008). *Aquafitness Basics*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Rapoport, B.I. (2010). Metabolic factors limiting performance in marathon runners. *PLoS Computational Biology*, 6(10), 1-13.
- Rose, A.J., Richter, E.A. (2005). Skeletal muscle glucose uptake during exercise: How is it regulated? *Physiology*, 20, 260-70.
- Sanders, M.E. (2002). *Water Fit Instruktor Training & Speedo's Aquatic Fitness System* (2. Auflage). Norderstedt: Books on Demand.
- Sanders, M.E. (2004). *Water Fit Instruktor Training. Deep Water Manual* (2. Auflage). Norderstedt: Books on Demand.
- Sato, Y., Nagasaki, M., Nakai, N., Fushimi, T. (2003). Physical exercise improves glucose metabolism in lifestyle-related diseases. *Exp Biol Med*, 228(10), 1208-12.
- Sideraviciūte, S., Gailiūniene, A., Visagurskiene, K., Vizbaraite, D. (2006a) The effect of long-term swimming program on glycemia control in 14-19-year aged healthy girls and girls with type 1 diabetes mellitus. *Medicina*, 42(6), 513-8.
- Sideraviciūte, S., Gailiūniene, A., Visagurskiene, K., Vizbaraite, D. (2006b) The effect of long-term swimming program on body composition, aerobic capacity and blood lipids in 14-19-year aged healthy girls and girls with type 1 diabetes mellitus. *Medicina*, 42(8), 661-66.
- Standle, E., Wicklmayr, M. (2003). Muskelarbeit und Sport; 18. In H. Mehnert, E. Standl, Usadel, K.-H., Häring, H.-U. (Hrsg.), *Diabetologie in Klinik und Praxis*. (5. Auflage). Stuttgart: Thieme.
- Takehima, N., Rogers, M.E., Watanabe, E., Brechue, W.F., Okada, A., Yamada, T., Islam, M.M., Hayano, J. (2002). Water-based exercise improves health-related aspects of fitness in older women. *Med Sci Sports Exerc*, 33(3), 544-551.
- Tarnopolsky, M.A., Ruby, B.C. (2001). Sex differences in carbohydrate metabolism. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 4(6), 521-526.
- Weineck, J. (2004). *Sportbiologie*. (9. Auflage). Balingen: Spitta.
- Weineck, J. (2010). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings*. (16. Auflage). Balingen: Spitta.
- Zeitvogel, M. (1992). *Aqua-Training. Übungen und Programme*. Hamburg: Rowohlt.

Anhang

A1	Eidesstaatliche Erklärung.....	1
A2	Probandeninformation.....	2
A3	Einverständniserklärung.....	4
A4	Probandenfragebogen.....	5
A5	Ernährungsplan.....	6
A6	Borg-Skala.....	7
A7	Ergebnisprotokoll.....	8

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit zum Thema:

„Auswirkungen einer Aquafitnessseinheit auf den Blutzuckerspiegel während der körperlichen Belastung“

selbständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Passagen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, habe ich unter genauer Angabe der Quelle deutlich als Zitat kenntlich gemacht.

Diese Arbeit war in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht Bestandteil einer Studien oder Prüfungsleistung.

(Ort, Datum)

(Unterschrift)

Probandeninformation

„Auswirkungen einer Aquafitnesseinheit auf den Blutzuckerspiegel während der körperlichen Belastung“

Im Rahmen meiner Bachelorarbeit an der Universität Potsdam möchte ich, Tanja Fimmel, untersuchen, in welchem Ausmaß Aquafitnesstraining zur Absenkung des Blutzuckerspiegels während der körperlichen Belastung führt. Für diese kleine Studie suche ich gesunde, normalgewichtige Frauen zwischen dem 50. und 65. Lebensjahr, die regelmäßig (mindestens 1 x pro Woche) Aquafitness betreiben.

Studieninhalt

Die Studie beinhaltet einen einmaligen Untersuchungstermin während einer Aquafitnesseinheit. Es erfolgen zu drei verschiedenen Zeit- und Belastungspunkten Messungen. Pro Messung werden der Blutzuckergehalt und der Laktatwert ermittelt sowie die Herzfrequenz gemessen. Um für die Messungen annähernd gleiche Ausgangsbedingungen bzgl. des Kohlenhydratstatus zu gewährleisten, muss für drei Tage vor der Untersuchung ein Ernährungsplan eingehalten werden.

Studienziel

Die Erhebung der Blutzuckerwerte soll Aufschluss über das Verhalten des BZS zu unterschiedlichen Belastungspunkten geben. Somit kann der Blutzuckerverbrauch während einer Aquafitnesseinheit beurteilt werden. Um das Ausmaß der körperlichen Belastung zu ermitteln, dienen als Indikatoren die Parameter Laktat und Herzfrequenz.

Messablauf

Für die Blutzuckerbestimmung wird Ihnen aus dem Ohrläppchen ein Blutropfen entnommen. Für die Bestimmung des Laktatwertes wird Ihnen ebenfalls aus dem Ohrläppchen ein Blutropfen entnommen. Die Blutentnahmen erfolgt mit Hilfe einer Lanzette (sehr dünne Nadel). Die Herzfrequenz wird mittels Pulsuhr und Brustgurt erhoben.

Studienablauf

Die Messungen erfolgen:

- direkt vor Belastungsbeginn
- 25 min nach Belastungsbeginn
- direkt nach Belastungsende

Risiken

Die Entnahme von Kapillarblut kann unter Umständen zu einem kleinen Hämatom (blauer Fleck) am Ohrläppchen führen.

Die Einstechnadeln für die Blutproben sind sehr dünn, sodass sich die Hautöffnung schon wenige Sekunden nach dem Einstich wieder verschließt. In sehr seltenen Fällen kann es zu einer Infektion an der Einstichstelle kommen.

Datenschutz

Ich sichere Ihnen zu, dass Ihre persönlichen Daten anonymisiert verwendet und streng vertraulich behandelt werden.

Die in der Untersuchung erhobenen Messdaten dienen ausschließlich zu Forschungszwecken und werden bei Bedarf für andere Bachelorarbeiten/Studien zur Verfügung gestellt.

Rücktrittsrecht

Sie können jederzeit und ohne Angabe von Gründen von der Studienteilnahme zurücktreten.

Name in Druckbuchstaben

geb. am

Ich habe die Probandeninformation aufmerksam gelesen und alle Inhalte verstanden.

Mir ist bewusst, dass die Studienteilnahme freiwillig ist.

Ort, Datum

Unterschrift des Probanden

Einverständniserklärung zur Studienteilnahme

*„Auswirkungen einer Aquafitnessseinheit auf den Blutzuckerspiegel
während der körperlichen Belastung“*

Ich, _____, wurde vor der Studie mit dem o.g. Titel von Frau _____ über Inhalte, Ziel, Risiken und Ablauf sachgemäß aufgeklärt und bin mit der Blutentnahme aus dem Ohrläppchen sowie der Herzfrequenzmessung einverstanden.

Ich habe den Text der Probandeninformation gelesen und verstanden. Ich hatte die Möglichkeit Fragen zu stellen und habe die Antworten verstanden. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zur Teilnahme an dieser Studie zu entscheiden und mir ist bewusst, dass die Teilnahme freiwillig ist. Ich wurde darüber informiert, dass ich jederzeit und ohne Angabe von Gründen von der Studie zurücktreten kann.

Mir ist bekannt, dass meine persönlichen Daten in verschlüsselter Form gespeichert und die erhobenen Messdaten ggf. weitergegeben werden.

Ich habe eine Kopie der Probandeninformation und der Einverständniserklärung erhalten. Ich erkläre hiermit meine freiwillige Teilnahme an dieser Studie.

Ort, Datum

Unterschrift des Probanden

Unterschrift des Untersuchers

Probandenfragebogen

„Auswirkungen einer Aquafitnessseinheit auf den Blutzuckerspiegel
während der körperlichen Belastung“

1. Allgemeine Personendaten

Name, Vorname: _____

Geschlecht: m w

Alter: _____ Jahre

Größe: _____ cm

Gewicht: _____ kg

2. Anamnese

Postmenopausal seit _____ (letzte Menstruation war vor _____ Jahren)

Hormonersatztherapie: ja nein

Raucher: ja nein

wenn ja, seit _____ Jahren

Diabetes mellitus Typ I oder II: ja nein

Andere Stoffwechselerkrankungen: _____

3. Sportverhalten

Aquafitness-Training seit: _____ Jahren

Häufigkeit/Woche: _____

Dauer der Trainingseinheit: _____ min

Sonstige Sportarten: _____

Häufigkeit/Woche: Sportart 1: _____ Sportart 2: _____

Dauer der Trainingseinheit:

Sportart 1: bis 30 min 30 min - 1 h 1 h - 2 h länger als 2 h

Sportart 2: bis 30 min 30 min - 1 h 1 h - 2 h länger als 2 h

Ernährungsplan

5-7 g KH/kg Körpergewicht pro Tag

Lebensmittel	Kohlenhydratgehalt in Gramm
2 Brötchen mit Konfitüre	65 g
2 Honigbrote	78 g
3 Scheiben Brot (150 g)	70 g
1 Portion Müsli (50 g)	30 g
125 g Reis (1 Kochbeutel)	95 g
100 g Pasta mit 200 ml Tomatensoße	85 g
300 g Kartoffeln (ca. 4-6 Stk.)	45 g
400 g Gemüse, Salat	10 g
300 g Obst	50 g
1 Fruchtjoghurt (250 g)	30 g
1 Müsliriegel (45 g)	20 g
1 Portion Pudding (200 g)	40 g
200 ml Fruchtsaft (1 Glas)	50 g
1 Pack Kakao (500 ml)	105 g

Bsp.:

Bei einem Körpergewicht von 60 kg -> 300 - 420 g Kohlenhydrate/Tag

Borg Skala

1 - 10 Borg Rating of Perceived Exertion Scale	
0	Rest
1	Really Easy
2	Easy
3	Moderate
4	Sort of Hard
5	Hard
6	
7	Really Hard
8	
9	Really, Really, Hard
10	Maximal: Just like my hardest race

(Quelle: www.cycleops.com/en/training/training-resources/114-feel-the-power.html)

Ergebnisprotokoll

Prob.	Ruhemessung (M1)			Belastungsmessung (M2)			Messung nach Belastungsende (M3)		
	Hf	Glu	Lac	Hf	Glu	Lac	Hf	Glu	Lac
1	87	145	2,9	154	81	5,5	132	79	1,5
2	86	115	1,1	140	92	5,5	119	94	1,5
3	78	112	2,5	149	83	7,5	121	73	4,1
4	120	120	2,4	149	72	5,6	139	104	3,8
5	83	86	1,5	125	92	1,3	98	85	2,5
6	86	103	1	135	92	2,5	109	96	1,8
7	85	92	0,8	97	101	1,3	94	82	1,8
8	n.a.	132	2	n.a.	105	3	n.a.	88	1,6
9	80	131	2	113	81	2	109	83	0,8
10	80	91	1,4	162	108	10,1	157	77	6,3
11	92	101	1,8	158	84	8,1	156	87	8,2
12	72	100	1,4	110	73	2,6	101	73	2,3
13	81	121	1,4	117	85	5,4	131	92	4,4
14	87	103	1,4	100	91	2,4	85	88	1,5
15	87	107	2,1	118	110	2,8	113	94	1,8
MW	86	131	119	111	90	86	1,7	4,4	2,9
SD	11	22	22	17	12	9	0,6	2,7	2,1

t-Test

	Hf 1 zu Hf 2	Hf 2 zu Hf 3	Hf 1 zu Hf 3
p-Wert	<i>0,00000146</i>	<i>0,0015972</i>	<i>0,0000332</i>
Signifikanz	$p < 0.001$	$p < 0.01$	$p < 0.001$

	Glu 1 zu Glu 2	Glu 2 zu Glu 3	Glu 1 zu Glu 3
p-Wert	<i>0,00208025</i>	<i>0,17160434</i>	<i>0,00006144</i>
Signifikanz	$p < 0.01$	$p > 0.05$	$p < 0.001$

	Lac 1 zu Lac 2	Lac 2 zu Lac 3	Lac 1 zu Lac 3
p-Wert	<i>0,000663842</i>	<i>0,002218027</i>	<i>0,02240601</i>
Signifikanz	$p < 0.001$	$p < 0.01$	$p < 0.05$