

Hahn, A./Scholz, G./Graubner, R.

Zur Komplexität des Herzfrequenzverhaltens während der aqualen Immersion - Ableitungen für verschiedene Anwendungsbereiche

In: Krankengymnastik. Zeitschrift für Physiotherapeuten. 11/2003, S. 1952-1958

1 Problemlage – Dominierende Theoriepositionen zum Herzfrequenzverhalten des Menschen beim Aufenthalt im Wasser

Menschliche Bewegungsformen im Wasser unterliegen einer umfangreichen Mannigfaltigkeit. In diesem Kontext gehören sowohl das klassische Schwimmen (Brust, Rückenraul, Kraul, Schmetterling) vom leistungssportlichen bis zum therapeutisch-präventiven Bereich als auch die vielfältigen Varianten der Bewegungstherapie und Aquafitness dazu.

Ihre Gemeinsamkeit liegt nicht nur darin begründet, dass diese beschriebenen Bewegungen im Wasser stattfinden, sondern ebenso in der identischen Zielstellung, die individuelle menschliche, primär somatische Leistungsfähigkeit zu steigern.

Zur Evaluation und Kontrolle der Beanspruchung wird in diesen Bereichen primär auf den Verlauf der Herzschlagfrequenz zurückgegriffen.

Physiologisch betrachtet wird von der bekannten Tatsache ausgegangen, dass zur Realisierung von Belastungen ein erhöhter Bedarf an Sauerstoff und Nährstoffen vorliegt. Dieser wird durch eine Steigerung der Förderungsleistung des Herzens gesichert. Dabei ist das Herzminutenvolumen (HVM), als Produkt von Herzfrequenz und Schlagvolumen maßgeblich. Das Herzminutenvolumen gibt an, welche Blutmenge pro Minute in das Gefäßsystem geleitet wird. Die Eigenrhythmik des Herzens kann vom vegetativen Nervensystem modifiziert werden. Es erfolgt eine funktionsgerechte Einstellung der Herztätigkeit entsprechend der Belastungssituation (vgl. Trebsdorf 2000).

Neben diesen allgemeinen Aspekten der Belastungsgestaltung, ist die spezifische Adaptation der Herzfrequenz während der aqualen Immersion zu

berücksichtigen. Generell wird davon ausgegangen, dass durch den sogenannten „Tauchreflex“ eine Verlangsamung (Bradycardie) der Herztätigkeit um 6- 15 % ausgelöst wird. Dieses Phänomen wurde erstmals 1870 von Paul Bert bei Enten beschrieben. Irving hat diese Reaktion 1941 beim Menschen bestätigt. Dieser Reflex wird vor allem mit dem Eintauchen des Gesichts in das Wasser unterhalb der Thermoneutralität in Verbindung gebracht und phylogenetisch begründet. Zusätzlich wird die Herzfrequenzsenkung während des Aufenthaltes im Wasser zum Tauchreflex durch den Prozess der Hypervolämie (Blutvolumenverschiebung) erklärt.

(vgl. Bücking 1997, Völker et al. 1983). Die Wirkung des hydrostatischen Druckes führt zu einer kranialen Blutvolumenverschiebung von den unteren Extremitäten (Vasokonstriktion) in Richtung Thorax bzw. von der Körperperipherie zum Körperkern. Das Herzminutenvolumen wird durch eine Erhöhung des Schlagvolumens und eine Reduktion der Herzfrequenz nicht verändert, vorausgesetzt, die Belastung verändert sich nicht.

Folglich wird definiert, dass die Herzfrequenzabsenkung ca. 10 – 15 Schläge pro Minute **in der Schwimmlage** gegenüber vergleichbaren Frequenzen an Land beträgt (vgl. Völker, 1983).

Völker (1983, S. 26) ergänzt, dass „das Ausmaß der Frequenzverschiebung sowohl in Ruhe als auch unter körperlicher Belastungen etwa gleich ist“.

Bemerkenswert ist, wie differenziert diese Aussagen in den unterschiedlichen Anwendungsfeldern berücksichtigt werden:

In **leistungssportlichen** Publikationen zur Trainings- und Belastungsgestaltung im Sportschwimmen findet dieses Phänomen bei der Ableitung von Herzschlagfrequenzen innerhalb der Dauer-, intensiven und extensiven Intervall- und Wiederholungsmethode im anaeroben bzw. aeroben Bereich keine Berücksichtigung (vgl. Wilke/Madsen 1997; Schramm et al. 1987). Es wird das allgemeine trainingswissenschaftliche Konzept der Belastungsgestaltung mittels der Herzfrequenz auf das Sportschwimmen übertragen.

Im Bereich der **Bewegungstherapie** wird die Wirkung des hydrostatischen Druckes auf das venöse System mit einer Erhöhung des Schlagvolumens um 10 –20 Prozent beschrieben. Durch die Senkung des Gefäßwiderstandes bleibt das Herzminutenvolumen unverändert (vgl. Weber-Witt 1993) Der Tauchreflex wird ebenso erwähnt und dessen Wirkung mit einer Reduktion von 10 –15 Herzschlägen/min definiert. „Die physiologische Reaktion besteht in einem erhöhten Schlagvolumen, und bei Senkung der Herzfrequenz bleibt das Herzminutenvolumen gleich“ (Weber-Witt 1993, S. 4). Auch hier wird ein Vergleich mit der Frequenz an Land unter der Anmerkung, dass sich „die Herzfrequenz bei einer Wassertemperatur von 24 – 28°C in Ruhe um ca. 25 % und bei Maximalbelastung um ca. 10% verringert, gefordert. (vgl. Weber-Witt 1993, S. 5)

Bezüglich der Belastungsgestaltung in der **Aquafitness** bezieht man sich auf Völker (1983) und empfiehlt 10 – 15 Schläge/min im Vergleich zu den Bedingungen an Land zu berücksichtigen (vgl. Reischle et al. 1997, u.v.a.m.). Eine zumindest in Ansätzen kritische Position ist in der internationalen Literatur erkennbar. So bezieht sich Miyashita et al. (1993) auf verschiedene Studien, in denen deutlich wird, dass die Adaptation der Herzfrequenz nicht immer eindeutig mit einer Reduktion während des Aufenthaltes im Wasser verbunden war. Seine Studie vergleicht das Laufen auf dem Band mit dem Laufen im Strömungskanal und weist eine Zunahme der Differenz der Herzfrequenz zwischen Wasser und Land bei steigender Belastung nach. Offen bleibt die Eindeutigkeit der Vergleichbarkeit des Laufens auf dem Band und im Wasser. „Approximately one-half the speed was required to walk at a similar level of self-exertion in water as compared on land (Eunei 1993, S. 36).

Die bisher beschriebenen Ansätze in unterschiedlichen Sport- und Bewegungsfeldern im Medium Wasser decken sich einerseits in der Forderung, eine Reduktion der Herzfrequenz zu berücksichtigen. Andererseits wird dieses

Phänomen unterschiedlich interpretiert bzw. teilweise widersprechen sich die Deutungen.

Insofern ergab sich für die Autoren, die Veränderung der Herzfrequenz während der aqualen Immersion auf den Prüfstand zu stellen. Insbesondere die folgenden Problemfelder unterstreichen die Notwendigkeit der Untersuchungen:

- Einfluss des Tauchreflexes bzw. der Hypervolämie
- Anpassung in Ruhe, Anpassung unter Belastung (Hier widersprechen sich z.B. Völker, Weber-Witt und Miyashita)
- Die Vergleichbarkeit der Belastung an Land und im Wasser wird nicht hinreichend erläutert.
- Die Auswirkungen der Körperlage, der Wassertiefe, der Temperatur werden nur teilweise berücksichtigt.
- Evaluationen von Programmen in der Aquafitness mittel der Herzfrequenzanalyse durch die Autoren lieferten eher zufällig Daten, die eine Wirkung des Tauchreflexes vermissen ließ.
- Bemerkenswert ist, dass die Literaturanalyse konkrete Daten von Untersuchungen zur Herzfrequenz im Wasser nicht erschließen konnte.

2 Untersuchungsmethodik

Zum Einsatz kam der Polar S610 Pulsmesser, ein Herzfrequenz-Messgerät für das herzfrequenz-kontrollierte Training. Dieser ermöglicht die Speicherung der Herzfrequenz wahlweise in 5-, 15-, 60-Sekunden-Intervallen bei einer Aufzeichnungskapazität von 99 Stunden und ist im Wasser einsetzbar. Die IR Data-Funktion realisiert die Infrarot- Datenübertragung in den PC (Download) und auf den Empfänger (Upload).

An den Untersuchungen nahmen 66 Studenten und 10 Senioren teil.

Folgende Situationen wurden verglichen:

- Land (Sitzposition) - Wasser (Sitzposition), Temperatur des Wassers 34°C
- Land (Sitzposition) - Wasser (Sitzposition), Temperatur des Wassers 28°C
- Vergleich Land (Sitzen) - Wasser (Stehen), Temperatur des Wassers 38°C
- Belastung Land/Wasser (Im Sitzen wurden zwei 5 kg Hanteln 30 x an Land über den Kopf gestreckt, diese Übung wurde im Wasser wiederholt, wobei die Schultern und Arme sich über Wasser befanden, so dass von

einer identischen Belastung während des Aufenthaltes im Wasser ausgegangen werden kann).

- Studenten/Senioren

Dieser Experiment ist quasi als eine Pilotstudie zu verstehen, die eine Ausgangsposition für eine umfangreichere Studie darstellt.

3 Ergebnisse

- Vergleich Land - Wasser (Sitzen) 34°C

Senioren: N=11

Mittelwert der Veränderung der Hf - 2.0

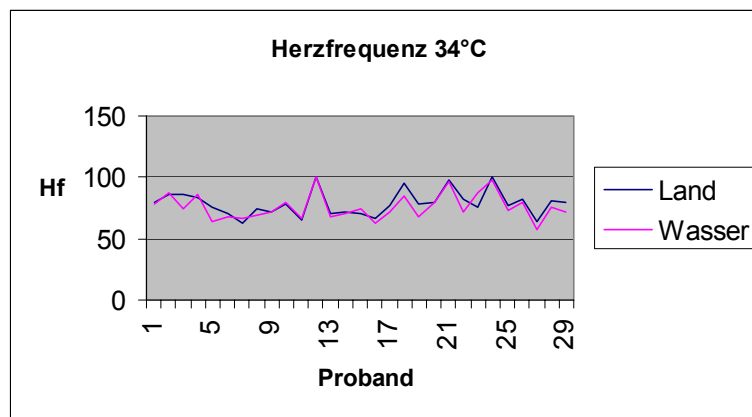
Bei einseitiger Betrachtung beträgt die Irrtumswahrscheinlichkeit 22%.

Es ist kein signifikanter Stichprobenunterschied nachweisbar.

Studenten: N= 29

Mittelwert der Veränderung der Hf - 2.7

Der Stichprobenunterschied kann mit 1% Irrtumswahrscheinlichkeit als signifikant ausgewiesen werden.



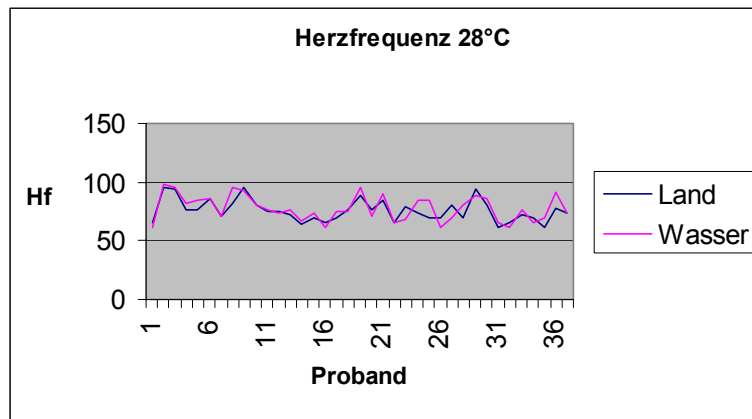
- Vergleich Land (Sitzen) - Wasser (Stehen) 28°C

Studenten: N=37

Mittelwert der Veränderung der Hf +2.0

Die Irrtumswahrscheinlichkeit beträgt 7%

Es ist kein signifikanter Stichprobenunterschied nachweisbar



- Vergleich Belastung Land/Wasser 34°C
 Studenten: N= 30
 Mittelwert der Veränderung der Hf - 2.3
 Der Stichprobenunterschied kann mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit als signifikant ausgewiesen werden.
- Vergleich Land (Sitzen) - Wasser (Stehen) 38°C
 Studenten: N=13
 Mittelwert der Veränderung der Hf - 3.25
 Die Irrtumswahrscheinlichkeit beträgt 18%
 Es ist kein signifikanter Stichprobenunterschied nachweisbar.
- Der Vergleich Studenten/Senioren ist nur als Ausgangsposition interpretierbar, da die Stichprobengrößen stark differieren. Es ist in Ansätzen erkennbar, dass bei den Senioren eine geringere Veränderung der Herzfrequenz erkennbar ist.

4 Interpretation der Ergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse dokumentieren, dass kein eindeutiger Trend der Herzfrequenzadaptation erkennbar ist. Die detaillierte, vergleichende Analyse weist eine stark differenzierte Herzfrequenzadaptation nach. Diese Anpassung drückt sich in Form der Reduktion, Stabilisation aber auch Steigerung aus.

Ein Erklärungsansatz kann durch die bewusste Erfassung der Herzfrequenzsteuerung als ein ausgiebig **komplexer** Prozess gedacht werden. Dadurch wird deutlich, dass bisher die Herzfrequenzanpassung ausschließlich

im eindimensionalen Zusammenhang, d.h. als Kausalitätsprinzip interpretiert wurde.

JOCHUM (1998) spricht von einem quantitativen und qualitativen Komplexitätsbegriff. Quantitative Ansätze betreffen die **Vielzahl** der **Strukturelemente** und ihrer **Beziehungen**. Die qualitative Seite lässt sich aus der **vielschichtigen** und **vernetzten** Struktur ableiten.

Komplexität übersetzt JOCHUM (1998, S. 2) mit „Verwobenheit, Verschlungenheit und Verflochtenheit“.

Komplexität ist gekennzeichnet durch:

- Die Anzahl der innewohnenden Strukturelemente
- Die Art und Weise der Wechselwirkungen, Beziehungen und Relationen
- Die Vernetzung und Dynamik der Zusammenhänge
- Das Vorhandensein von Rückkopplungen
- Die Beziehungen können linear oder nichtlinear (zirkulär, „Ei-Huhn-Beziehung“) sein

Die Herzfrequenzsteuerung muss als systemischer Prozess gedacht werden (System, griech. systema: Zusammenstellung). Ein Ordnungszusammenhang, bestehend aus einer Vielzahl von Elementen, ist gedanklich oder praxeologisch zusammengefügt. Diese Zusammenstellung muss begründbar sein, eine interne Logik besitzen und damit reproduzierbar sein. Philosophisch interpretiert ergibt sich ein lehrbarer Zusammenhang von Sätzen. Dieser gedankliche Ansatz ist wesentlich für den Einsatz von Methoden. Ein Grundproblem bleibt erhalten: die sogenannte Systemgrenze. Sie ist nicht immer zu definieren. Jedes System besitzt eine Struktur, welche innerhalb eines Systems durchaus eine Dynamik besitzen kann. Insofern ist eine Strukturwandlung eines Systems möglich. Struktur ist primär neben der Anzahl der Elemente durch die Art und Weise der Relationen bestimmt. Einfache und komplexe Strukturen unterscheiden sich bezüglich der Anzahl und Linearität bzw. Nichtlinearität der Beziehungen. Instabile, unstetige und unvorhersehbare Systeme, wie die Herzfrequenzregulation, dominieren den Menschen selbst und seine Umwelt. Eine Vereinfachung im Denken wird vorgenommen, um sie zu erfassen. Das

lässt sich z.B. anhand der Wetterprognose exemplifizieren. Trotz der stetigen Entwicklung der Verfahren und Methoden lässt sich das Wetter der nächsten Tage nur bedingt exakt vorhersagen.

Einzelne Kausalitätsbezüge werden zur Bestimmung eines Phänomens bemüht und scheitern vielfach, weil minimale Veränderungen der Ausgangsbedingungen nachfolgende Prozesse umfassend verändern bzw. ein komplexes System kausal interpretiert werden. Es mangelt hinsichtlich der Erfassung von Vernetzungen an exakten Methoden. Die Elemente eines Systems werden noch erfolgreich filtriert. Wenn es dann aber um die Bestimmung der Relationen geht, gelingt dies primär auf bilateraler Ebene. Sobald ein dritter Faktor in die Analyse einbezogen wird, kann die exakte Bedeutung der Beziehungen nicht mehr erfasst werden. Die Herzfrequenz ist ein Parameter zur Beurteilung des Aktivitätszustandes des Kreislaufes. Dieses System „Kreislauf“ beeindruckt vor allem wegen seiner hohen Anpassungsfähigkeit und seiner subtilen Abstufung. Der komplexe Charakter der Herzfrequenzsteuerung ergibt sich u. a. aus der Beeinflussung durch:

- das Lebensalter. Der Regulationsbereich Ruhe-Maximalwert nimmt im Altersgang ab.
- das Geschlecht. Die Ruhe-Hf der Frau liegt deutlich höher. Im submaximalen Leistungsbereich erreichen Frauen höhere Frequenzen bei identischer, äußerer Arbeit.
- die anlagebedingte interindividuelle Variabilität. Die interindividuellen Schwankungen betragen bei identischen Bedingungen 10- 20 % des Mittelwertes.
- den circadianen Rhythmus, der durch den Tagesverlauf bestimmt wird
- den Trainingszustand
- den Gesundheitszustand
- physikalische Umgebungseinflüsse (vgl. Frauendorf et. al. 1999).

Die komplexe Funktion des Herzens lässt sich differenzieren in folgende Teilsysteme:

- Autonome Tätigkeit
- Pumptätigkeit des Arbeitsmyokards inkl. der Ventilebenen (Herzklappen)

- „innerbetriebliche“ Selbstversorgung (Durchblutung der Koronargefäße)
- Steuerung (Propriozeption) bei variierenden Arbeitsanforderungen

Zu letzterem gehört natürlich auch die Reaktion auf veränderte Umweltbedingungen (Immersion), die sich aus physiologischer Sicht über eine Vielzahl beeinflussender Faktoren auch auf die Herztätigkeit auswirkt.

Neben mechanischen, chemischen, thermischen und elektrischen Reizen wird die autonome Tätigkeit des Herzens unabhängig von der Immersionsproblematik reflektorisch und zentral beeinflusst.

Mechanische Reize im Sinne einer Dehnung des Herzmuskels durch das einströmende Blut bewirken besonders bei der Immersion bis zum Hals eine Umverteilung einer bis zu 1000 ml umfassenden Blutmenge aus den Venen der unteren Extremitäten in thorakale Gefäße („blood shift“).

Schon unter „Land“bedingungen existiert ein Druckgradient zwischen oberer und unterer Körperhälfte von $> 13 \text{ kPa}$ (100 mmHG) mit Einspeicherung einer größeren Menge Blutes in den venösen Kapazitätsgefäßen der Beine.

Bei subtotaler Immersion wirkt dann der hydrostatische Druck des Wassers dem hydrostatischen Druck des Blutes mit der Folge der schon erwähnten Blutumverteilung sowie entsprechenden Anpassungsbedingungen sowohl im Bereich des Atmungssystems entgegen:

- Volumenzunahme der Lungenkapillaren
- Erhöhung des pulmokapillären Verschlussdrucks
- Erhöhung des pulmonalarteriellen Mitteldrucks
- Erhöhung der Atemarbeit (durch Senkung der VK, bes. Senkung des expirativen Reservevolumens, Erhöhung Resistance d. kl. Atemwege)

Im Herzbereich:

- Erhöhung der myokardialen Wandspannung
- Erhöhung der Kontraktionskraft
- SV Erhöhung, damit auch Erhöhung HV (von 770 ml auf $\sim 920 \text{ ml}$)
- Erhöhung d. Auswurfraction

Der zu den reflektorischen Beeinflussungen der Herztätigkeit zählende BAINBRIDGE-Reflex (Herzfrequenzerhöhung durch reflektorische Herabsetzung des Vagustonus infolge einer Druckerhöhung in den oberen

Hohlvenen) steht im Widerspruch zu den bisher erwähnten Zusammenhängen. Leider wird in der verfügbaren Literatur hierzu nicht Stellung genommen.

Im Rahmen der Wirksamkeit chemischer Reize muss sicher im Rahmen dieser Pilotstudie anhand der Altersproblematik des Probandengutes auch an den sog. Ionen-Antagonismus (bei relativer Erhöhung der Kalium-Ionen Bradykardie) sowie den herztätigkeitshemmenden Mechanismus von Azetylcholin als Neurotransmitter zumindest mitgedacht werden.

Thermische Reize sind natürlich unter Immersionsbedingungen relevant.

Niedrige Wassertemperaturen erhöhen den individuellen Wärmeverlust und infolge der thermoregulatorisch sinnvollen Reduzierung der Hautdurchblutung kommt es zu einer Ruheherzfrequenzabsenkung. Physiologische Gesetze (z. B. VAN THOFF) dürften hier vernachlässigt werden können.

Gerade unter Belastungsbedingungen scheinen nervale Beeinflussungen zu dominieren.

Besonders der individuelle Ausprägungsgrad der Verhältnisse oder des Zusammenspiels vegetativer bzw. autonomer Efferenzen (Vagus versus Sympathikus) bereits unter Ruhebedingungen als auch in Abhängigkeit vom Trainiertheitsgrad, Alter u. a. muss berücksichtigt werden.

Gerade die Reizung des Vagus bewirkt eine drastische Beeinflussung der Erregungsbildung und -überleitung im Sinne einer Bradykardie, da hierbei die hemmenden Einflüsse des Vagus über vermehrte Wirksamkeit des entsprechenden Neurotransmitters dominieren.

Natürlich steht das Herz auch über afferente, propriozeptive Fasern mit dem ZNS unter dem Blickwinkel der reflektorischen Anpassung an wechselnde Anforderungen in Verbindung. Aus physiologischer Sicht ist hier der BEZOLD-JARISCH-Reflex (Herzfrequenzstabilisierung) zu erwähnen, der allerdings nur zum Tragen kommt, wenn keine anderen Umstände wirksam sind.

Im Rahmen der reflektorischen Beeinflussung besonders der großen herznahen Gefäße wurde bereits der BAINBRIDGE-Reflex (venöser Bereich) diskutiert,

aber auch arterielle Gefäße (bes. Aorta = Depressor-Reflex u. A. carotis = Carotissinus-Reflex) reagieren bei einer Innendruckerhöhung über eine entsprechende Reizung von Dehnungsrezeptoren mit einer reflektorischen Drosselung der Herztätigkeit aufgrund einer Verstärkung der Vagusimpulse. Nicht zuletzt müsste auch die Blutbeschaffenheit, gemessen über Chemorezeptoren im Glomus caroticum und in den Paraganglien des Aortenbogens (CO₂-Druck, O₂-Druck), direkte Auswirkungen auf die Herztätigkeit zeigen. Typischerweise bewirkt eine CO₂-Erhöhung im Blut besonders im Bereich der Medulla oblongata eine Verstärkung des hemmenden Einflusses des Vagus und damit eine Herzfrequenzsenkung.

Von nahezu allen Endstätten sensibler Nerven (besonders von anderen vegetativen Organen) ist das Herz reflektorisch beeinflussbar, in den meisten Fällen erfolgt auch hier eine reflektorische Hemmung durch Verstärkung des Vaguseinflusses.

Sowohl die Reizung des Atemapparates (mechanischer bzw. chemischer Reiz der Nase) als auch des Verdauungsapparates (z. B. mechanisch) führen zu einer Pulsverlangsamung.

Unter Immersionsbedingungen können die mechanischen Reizungen von Auge (Bulbusdruckversuch) und Carotis (Carotisdruckversuch) als auch Schmerzreize trotz entsprechender Herzfrequenzabsenkung vernachlässigt werden.

Die Komplexität ergibt sich demzufolge aus dem Einfluss des Mediums Wasser sowohl auf den elektrischen Bereich (Erregung) und als auch den mechanischen Bereich (Pumptätigkeit, Systole, Diastole) der Herztätigkeit.

Zusammenfassend ergeben sich aus dieser Studie aus unserer Sicht folgende Ableitungen:

Bewegungsaktivitäten in der vertikalen Körperposition, vor allem in der Aquafitness erfordern keine Berücksichtigung einer eventuellen Herzfrequenzreduktion.

In der Schwimmlage sind individuelle Ableitungen notwendig, welche die persönliche Disposition berücksichtigen.

Der Vergleich der Belastung im Wasser und an Land sollte über die Leistungsabgabe realisiert werden (vgl. Niklas 1988, Schega 2002)

Es ist denkbar, dass man den Vergleich Land – Wasser methodologisch nicht präzise erfasst, somit Inhalte einem Vergleich unterzieht, die nicht vergleichbar sind!

Die Belastungsbereiche sind demzufolge durch Anforderungen im Wasser zu definieren, wie es im Ansatz bereits Wilke (1993) vorgeschlagen hat bzw. es im Leistungssport vorgenommen wird. Im therapeutischen Bereich kann natürlich eine dafür notwendige Bestimmung der maximalen Herzfrequenz nicht immer vorgenommen werden.

Die Wirkung des Tauchreflexes kann im Bereich der Aquafitness nahezu ausgegrenzt werden. Selbst in der Bewegungstherapie ist nur bei Elementen der Halliwick-Methode mit vollständigen Eintauchen des Gesichts eine Wirkung des Tauchreflexes denkbar. Der hydrostatische Druck führt zu einer Zunahme des Schlagvolumens. Eine Frequenzveränderung dagegen ist nicht eindeutig nachweisbar. Bücking (1997) spricht in diesem Zusammenhang sogar von einer Zunahme des Herzzeitvolumens.

Die Anpassung der Herzfrequenz wird erheblich individuell und komplex geregelt.

Die Berücksichtigung von Komplexität erhebt sich aber zur wesentlichen Dimension modernen wissenschaftlichen Vorgehens. „Komplexität steht paradigmatisch für die Öffnung der Wissenschaften und neuen Möglichkeiten in der Heuristik. Gleichzeitig wird sie dadurch zu einem Hoffnungsprojekt, zu einem Wissenschaftsparadigma: anleitend zu einem neuen Dialog mit der Natur und einer Zusammenarbeit der Disziplinen untereinander“ (JOCHUM, 1998, S. 3).

5 Literatur

- Brücking, B.: Die Vorlastserhöhung des Herzens durch aquale Immersion. Abstract 1. Magdeburger Symposium Hydrotherapie 1997
- Eunei ,Y. et. al: Cardiorespiratory Responses to Walking in Water. In: Miyashita, M. et al.: Medicine and Science in Aquatic Sports. Med Sport Sci. Basel, Karger, 1994
- Frauentorf, H.; Pfister, E.; Ulmer, H.V., Wirth, D.: Nutzung der Herzschlagfrequenz bei arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen. AWMF-Leitlinien-Register, Nr., 002/014, 1999
- Jochum, R.: Die Philosophie der Komplexität. Neuere Ansätze. In: Kulturwissenschaften, 1998, Nr. 4, S. 1-11
- Luhmann, N.: Soziale Systeme. Grundriss einer allgemeinen Theorie. Frankfurt/m. 1984
- Miyashita, M. et al.: Medicine and Science in Aquatic Sports. Med Sport Sci. Basel, Karger, 1994
- Niklas, A.: Über die Entwicklung der sportartspezifischen Spiroergometrie im schwimm- und Tauchsport. In: Medizin und Sport, Berlin 28 (1988), H 1, S.17 – 22)
- Reischle et al.: Aquafit/im Wasser bewegen. 1997 by mkg
- Schramm et. al.: Sportschwimmen. Sportverlag Berlin 1987
- Schega, L.; Schlothauer, U.: Unterwasserergometrie – ein Verfahren zur Leistungsbestimmung im Wasser. Referat 2002
- Trebsdorf, M.: 5., überarbeitete Auflage 2000 Lau-Verlag GmbH, Reinbek
- Völker, K.; Madsen, O.; Lagerström, D.: Fit durch Schwimmen. Erlangen:perimed-Fachbuch- Verlagsgesellschaft 1983
- Weber-Witt, H.: Erlebnis Wasser: therapeutische Übungen und Schwimmen. Springer, 1993

Wilke, K.; Madsen O.: Das Training des jugendlichen Schwimmers. Schorndorf: Hofmann, 1997

Wilke, K.: Präventivmedizinisch orientiertes Schwimmtraining mit Senioren. In: Bericht über den 1. Kölner Tagung für Bewegungs- und Sporttherapie 1993 in Köln