



Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Philosophische Fakultät II
Institut für Medien, Kommunikation und Sport
Department Sportwissenschaft

**Belastungssteuerung im Schwimmsport auf der Basis
individueller Leistungsdiagnostik im Kraul-, Rücken- und
Schmetterlingsschwimmen**

INAUGURALDISSERTATION

Zur Erlangung des Grades (Dr. phil.)

vorgelegt von

AHMED HASSAN NAZMI S. M. SOLIMAN

geb. am 24/02/1974

in

El-Minia/Ägypten

Am 2. Oktober 2007

1. Gutachter: Prof. Dr. Kuno Hottenrott
2. Gutachter: Prof. Dr. Oliver Stoll

urn:nbn:de:gbv:3-000012579

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000012579>]

Für meine Eltern, meine Frau „Heba“, und
meine lieben Kinder „Hosam und Lara“

Danksagung

Mein großer Dank gilt vor allem Gott „Allah“ für die Geduld und die Kraft, die er mir gegeben hat, um diese Arbeit zu schaffen.

Auch möchte ich mich bei allen Schwimmerinnen und Schwimmern bedanken, die durch ihre Unterstützung sowie durch ihre Teilnahme als Probanden wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Ohne sie wäre die Durchführung einer solchen Arbeit nicht möglich gewesen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Kuno Hottenrott und dem gesamten Team des Department Sportwissenschaft der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg für die Bereitstellung des Dissertationsthemas, für die Mithilfe bei der praktischen Durchführung und der engagierten Betreuung bei der Erstellung meiner Arbeit.

Bei dem Leiter des Olympiastützpunktes Magdeburg-Halle Herrn Herwig Ritter, dem Schwimmtrainer Herr Embacher, der Schwimmtrainerin Frau Ertel und der medizinisch-technischen Assistentin (MTA) Frau Helbig möchte ich mich herzlich für die freundliche Unterstützung bei den umfangreichen leistungsdiagnostischen Untersuchungen bedanken.

Mein weiterer Dank gilt Herrn PD Dr. René Schwesig für die Beratung der statistischen Analysen.

Auch danke ich meinen Eltern ganz herzlich, die mir mein Studium ermöglichten und mich stets unterstützen.

Nicht zu letzt gilt mein Dank für meine Frau Heba, die mir zu jeder Zeit mit Rat und Tat zur Seite stand.

Inhaltsverzeichnis

1	Problem- und Zielstellung.....	1
2	Grundlagen, Forschungsstand und Hypothesen.....	4
2.1	Belastungs- und Trainingssteuerung im Schwimmsport.....	4
2.1.1	Konzepte der Belastungssteuerung auf Basis leistungs- diagnostischer Befunde.....	4
2.1.1.1	<i>Abgeleitete Belastungsbereiche aus der maximalen Laktat- konzentration (LA_{max}).....</i>	5
2.1.1.2	<i>Abgeleitete Belastungsbereiche aus der maximalen Herzfrequenz (HF_{max}).....</i>	10
2.1.1.3	<i>Abgeleitete Belastungsbereiche aus der aktuellen Bestzeit.....</i>	12
2.1.1.4	<i>Abgeleitete Belastungsbereiche aus der maximalen Sauerstoff- aufnahme (VO_{2max}).....</i>	13
2.1.1.5	<i>Abgeleitete Belastungsbereiche aus dem Energieverbrauch.....</i>	16
2.1.1.6	<i>Probleme der Belastungssteuerung im Schwimmen.....</i>	17
2.1.2	Aktuelle Konzepte der Belastungssteuerung.....	17
2.1.3	Schwimmleistungsentwicklung in Meso- und Makrozyklen.....	19
2.2	Laktatdiagnostik und Leistungspotenzialanalyse.....	22
2.2.1	Stufentestsverfahren.....	23
2.2.2	Schwellenwertbestimmungen.....	29
2.2.4	Einflussfaktoren auf die Laktat-Geschwindigkeits-Kurven.....	35
2.2.4.1	<i>Belastungsschema und Testprotokoll.....</i>	35
2.2.4.2	<i>Erholungszustand vor dem Test</i>	36
2.2.4.3	<i>Sportartunspezifische Testung.....</i>	38
2.2.4.4	<i>Disziplin- und sportartspezifische Testung.....</i>	39
2.2.4.5	<i>Interpretation der Laktatwerte von Schwimmstufentests.....</i>	39
2.3	Forschungsdefizit.....	44
2.4	Forschungsfragen und Hypothesen.....	47
3	Methodisches Vorgehen.....	49
3.1	Probanden.....	49
3.2	Untersuchungsdesign.....	49
3.3	Beschreibung des 5 x 200 m Stufentests.....	49
3.4	Laktat- und Herzfrequenzbestimmung.....	50
3.5	Datenverarbeitung und Parametrisierung.....	51
3.6	Deskriptive und prüfende Statistik.....	52
3.7	Kritische Anmerkungen zur Methodik.....	52
4	Ergebnisse und Interpretation.....	54
4.1	Deskriptive Analyse von Laktat und Herzfrequenz in Abhängigkeit vom Schwimmstil.....	54

4.2	Schwimmleistungsentwicklung im Untersuchungs- zeitraum.....	58
4.3	Statistische Analyse der Untersuchungsparameter in Abhängigkeit vom Schwimmstil.....	63
4.4	Statistische Analyse der Untersuchungsparameter in Abhängigkeit vom Geschlecht.....	75
5	Diskussion.....	82
5.1	Vorbemerkungen.....	82
5.2	Hypothese I.....	84
5.3	Hypothese II.....	88
5.4	Hypothese III.....	91
5.5	Hypothese VI.....	93
5.6	Hypothese V.....	94
5.7	Hypothese IV.....	95
6	Zusammenfassung.....	99
7	Schlussfolgerung.....	101
	Literaturverzeichnis.....	103
	Anhang.....	122
	Abkürzungsverzeichnis.....	122
	Abbildungsverzeichnis.....	124
	Tabellenverzeichnis.....	130
	Lebenslauf.....	137
	Erklärung.....	138

1 Problem- und Zielstellung

Im Ausdauersport werden eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden und Verfahren zur Belastungssteuerung eingesetzt. Eine allgemein anerkannte und häufig angewandte Methode ist die Belastungsdiagnostik mittels des biochemischen Parameters Laktat. Dazu werden über sportartspezifische Verfahren nach dem Stufentestprinzip die Parameter Belastungsintensität und Herzfrequenz nach individuellen Laktatwerten festgelegt, um eine gewünschte Trainingswirkung zu erzielen. (Hottenrott, 1993; Neumann & Schüler, 1994; Neumann et al., 2000). Die Laktatkonzentration ist ein geeigneter Parameter für die Bestimmung des aerob-anaeroben Stoffwechsels (Heck, 1990).

Im Schwimmsport wird bei den Stufentests als Belastungsintensität die Geschwindigkeit über eine konstante Streckenlänge zugrunde gelegt. Die einzelnen Strecken werden mehrmals mit gleicher und ansteigender Geschwindigkeit geschwommen. Beispiele hierfür sind der 100 m, 200 m und 400 m Stufentest im Schwimmen. Die Stufendauer wird so gestaltet, dass sich das Laktatniveau jeweils der höheren Intensität anpassen kann und der Test als Ausbelastungstest durchgeführt werden könnte (Pansold et al., 1985). Bisher wurden zahlreiche Untersuchungen zu Laktat- und Herzfrequenz-Geschwindigkeits-Beziehungen im Schwimmsport durchgeführt (Olbrecht et al., 1985 & 1988; Jacobs et al., 1987; Keskinen et al., 1989; DiCarlo et al., 1991; Kelly et al., 1992; Green & Dawson, 1993; Furian et al., 1998; Barber et al., 1999). Allerdings liegt bisher keine genaue Klassifikation zur Laktatschwelle bzw. zur individuellen anaeroben Schwelle (IANS) während unterschiedlicher schwimmartspezifischen Leistungen vor.

Insofern sind für die Belastungssteuerung des Schwimmsports neue Erkenntnisse zur individuellen aerob-anaeroben Laktatschwelle auf der Basis verschiedener Schwimmtechniken erforderlich. Die trainingswissenschaftliche Leistungsdiagnostik im Schwimmen umfasst die schwimmart- und streckenspezifische Analyse und Bewertung des trainingsabhängigen Leistungsniveaus. Dadurch können praxisrelevante Informationen für eine optimale individuelle Trainingssteuerung sowie zur prognostischen Einschätzung der Leistungsentwicklung gegeben werden (Clasing et al., 1994).

Treffene (1979) und Troup (1984 & 1986) zufolge müssen die schwimmspezifischen Tests, bei Erfassung der Parameter Laktat (LA), Herzfrequenz (HF) und maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}), während maximaler oder submaximaler Belastung in einem 50m Schwimmbecken ausgeführt werden. Nur unter diesem Spezifitätsprinzip ist die physiologische Leistungsdiagnostik im Schwimmen zuverlässig und genau. Der Strömungskanal ermöglicht zwar die routinemäßige Messung der Sauerstoffaufnahme während des Schwimmens, allerdings sind diese Methoden bezüglich ihrer Verwendung in großen Kohorten limitiert (Roberts, 1991).

Einige Wissenschaftlicher gehen davon aus, dass die Laktatschwelle zwischen Schmetterlings- und Brustschwimmen gleich sind (Barber et al., 1999). Andere Ergebnisse zeigen signifikante Unterschiede in der Laktatschwelle zwischen dem 200m und 400m Kraulschwimmen und zwar höher für das 200 m Kraulschwimmen (Almeidal et al., 1999). Folglich ist die Laktatschwelle abhängig von den gewählten Testverfahren.

Die muskuläre Beanspruchung und der Energiestoffwechsel im Schwimmen sind sehr komplexe physiologische Prozesse. Die Laktatkonzentration und die Herzfrequenz werden von einer Vielzahl interner und externer Faktoren beeinflusst. Hierzu zählen Energiestoffwechselsysteme, die muskuläre Beanspruchung (Konstantaki & Swaine, 1999) sowie externe Faktoren wie Alter (Prioux et al., 2000), Geschlecht (Ohkuwa et al., 1988), Interaktion der schwimmart- und der streckenspezifischen Faktoren (Pansold & Zinner, 1982; Almeidal et al., 1999), Training und Detraining (Ready & Quinney, 1982), Ernährung (Balsom et al., 1993; Volker et al., 1996; Maughan, 1995; Johnson et al., 2002; Horn & Vanderburgh, 1998; Fujieda et al., 2002), Wassertemperatur (Mougios & Deligiannis, 1993), Höhe (Brooks et al., 1992; Quintana et al., 1997), Hydration (Papadopoulos et al., 1998), die Länge des Schwimmbeckens (Lowensteyn et al., 1994), und die leistungsdagnostischen Laktat-Messgeräte (Miles et al., 1995).

Die Komplexität der Diagnostik und die Vielzahl der internen und externen Beeinflussungsfaktoren erschweren die Kontrolle und die Standardisierung biochemischer und kardiovaskulärer Parameter im Schwimmsport. Sie reagieren während inkrementeller und konstanter Schwimmleistung spezifisch, weil sie einerseits von internen und externen Faktoren beeinflusst, andererseits von der Individualität und der Spezifität auf jeder Schwimmstrecke und der spezifischen Schwimmart (-technik) bestimmt werden. Die muskuläre Beanspruchung ist zwischen den spezifischen Schwimmmarten aufgrund der unterschiedlichen muskulären Faserzusammensetzung (Typ I, Typ IIa, Typ IIb), der spezifischen Schwimmgeschwindigkeiten, der spezifischen Zugeschwindigkeiten beim Arm- und Beinschlagmechanismus (spezifische Kombination der Zugfrequenz und Zuglänge) und der Anforderungen der aerob/anaeroben Energiestoffwechselsysteme unterschiedlich (Costill, 1978; Komi & Karlsson, 1978; Faulkner et al., 1986; Maglischo, 2003). Diese Aspekte dürfen bei der Belastungssteuerung und Trainingsplanung nicht ignoriert werden.

Eine Analyse der in der Schwimmpraxis angewendeten leistungsdagnostischen Verfahren zeigt, dass nahezu alle Stufentests mit Laktatbestimmung in der Kraultechnik durchgeführt werden und daraus Ableitungen für die Belastungssteuerung auch in den anderen Schwimmtechniken getroffen werden. Die muskuläre Beanspruchung und die aerob/anaerobe Leistungsfähigkeit der Schwimmer in den einzelnen Schwimmtechniken ist jedoch sehr unterschiedlich, so

dass es problematisch erscheint, leistungsdiagnostische Befunde eines Stufentests in einer Schwimmtechnik auf andere Schwimmtechniken zu übertragen (Pansold et al., 1982; Olbrecht, 2000).

Ziel dieser Studie ist es, die aerob-anaerobe Schwimmleistungsfähigkeit von regelmäßig trainierenden Athleten in den einzelnen Schwimmtechniken zu bestimmen, um daraus neue Erkenntnisse für die Belastungssteuerung im Schwimmsport zu gewinnen.

2 Grundlagen, Forschungsstand und Hypothesen

2.1 Belastungs- und Trainingssteuerung im Sportschwimmen

2.1.1 Konzepte der Belastungssteuerung auf Basis leistungsdiagnostischer Befunde

Gegenstand der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik im Schwimmen ist die Schwimmart- und streckenspezifische Analyse und Bewertung des trainingsabhängigen Leistungsniveaus mit dem Ziel der Ableitung praxisrelevanter Informationen für eine optimale individuelle Trainings- und Belastungssteuerung, zur prognostischen Einschätzung der Leistungsentwicklung und für Auswahlentscheidungen.

Die Intensität im Schwimmen wird im Wesentlichen von physiologischen und metabolischen Kenngrößen determiniert. Die verschiedenen Belastungsintensitäten lassen sich in ein leistungsbezogenes System einordnen. Danach unterscheidet man vier Intensitätsbereiche: a) niedrige, aerobe Intensität, b) mittlere, aerob-anaerobe Intensität, c) hohe aerob-anaerobe Intensität und d) sehr hohe, anaerobe bzw. maximale Intensität.

Akkurate Verordnung dieser Intensitätsbereiche hängt von der Identifizierung der physiologischen Übergänge zwischen den verschiedenen aeroben und anaeroben Energiesystemen ab. Diese Transitionen reflektieren Veränderungen in der Dynamik der Blutlaktatakkumulation und des Muskelstoffwechsel. Der Beginn der Blutlaktaterhöhung über den Ruhelaktatspiegel während einer stufenförmig ansteigenden Belastung kennzeichnet die aerobe Schwelle, international auch als Onset der Blutlaktatakkumulation bezeichnet. Die Festlegung hängt von der Identifizierung der Baseline-Laktatkonzentration (z. B. während der ersten drei Stufen des 7 x 200 m Schwimmstufentests) ab, die mit zuverlässiger Bestimmung der ersten signifikanten Zunahme der Laktatkonzentration verbunden ist. Bei weiterer Erhöhung der Schwimmgeschwindigkeit wird normalerweise zwischen der vierten und fünften Belastungsstufe die anaerobe Schwelle (ANS) erreicht.

Für die exakte Bestimmung der anaeroben Schwelle aus der Laktatgeschwindigkeitskinetik wurde eine Vielzahl von Methoden zur Verordnung der Trainingsgeschwindigkeiten vorgeschlagen (Anderson & Rhodes, 1989; Bishop & Martino, 1993; Maglischo, 2003). Die anaerobe Schwelle definiert die Schwimmgeschwindigkeit, bei der die Laktatproduktion und die Laktatelemination noch im Steady State sind, d. h., es noch nicht zur Laktatakkumulation kommt. Heck (1990) hat in diesem Zusammenhang den Begriff des maximalen Laktat Steady State (MAXLASS) geprägt.

Der Übergang vom aeroben zum anaeroben Bereich ist fließend. Aus trainingsmethodischer Sicht ist es unsinnig, einen exakten Punkt für die aerobe Schwelle zu definieren. Für die Trainingspraxis hat sich die Angabe von einem bestimmten Bereich des Übergangs von aerob nach vermehrt anaerober Energiebereitstellung bewährt (Hottenrott & Zülch, 1998; Neumann et al., 2000). Schwimmgeschwindigkeit deutlich der anaeroben Schwelle führen zur Akkumulation von intramuskulärer Säure (Hultman & Sahlin, 1980) und zur Ermüdung.

Eine weniger bekannte Methode zur Abschätzung optimaler Schwimmgeschwindigkeiten für das Training ist das sogenannte D-max Protokoll (Cheng et al., 1992). Die Laktattoleranzrate ($v_{LA5}-v_{LA10}$) wird definiert als die Differenzialgeschwindigkeit zwischen Laktatkonzentrationen von 5.0 und 10.0 mmol/l. Diese Methode, die eine Akzeleration in der Rate der Blutlaktatakkumulation identifiziert, kann leicht für automatische Schwellenbeurteilung computerisiert werden. Training an der anaeroben Schwelle verbessert die Fähigkeit der Muskulatur, eine höhere Säure zu tolerieren die das anfallende Laktat aus dem intrazellulären Bereich der Muskulatur abzubauen.

2.1.1.1 Abgeleitete Belastungsbereiche aus der maximalen Laktatkonzentration (LA_{max})

Die am häufigsten angewandte Methode der Intensitätsfestlegung im Leistungs- und Hochleistungssport Schwimmen ist die Bestimmung der Laktatkonzentration bei Labor- und Schwimmfeldstufentests. Für diese Prüfmethode sind Messmöglichkeiten und Erfahrung bei der Laktatevaluierung vorausgesetzt. Die Probleme treten weniger bei der Laktatbestimmung, sondern bei der richtigen Interpretation der Laktatwerte und der individuellen Intensitätsfestlegung für die spezifische Schwimmart (-stil) auf (Pansold, 1977; Pansold et al., 1982; Pansold & Zinner, 1991). Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, sind Sachkenntnis und praktische Erfahrung erforderlich (Neumann et al., 2000).

Bei der Festlegung von Trainingsintensitäten wird ein sachkundiger Umgang mit den Laktatwerten empfohlen. Bei der Zuordnung der Belastung in Trainingsbereiche erfolgt keine Orientierung auf ein bestimmtes Schwellenkonzept mit punktgenauer Festlegung der aeroben und anaeroben Schwelle. Bewährt hat sich die Anwendung einer Laktatspanne für den jeweiligen Trainingsbereich. Hoch ausdauertrainierte Athleten orientieren sich in der Regel an den unteren Werten der Laktatkonzentration für den entsprechenden Trainingsbereich. Die weniger ausdauertrainierten Sportler sollten sich an den oberen Werten orientieren. Für den Einzelfall können weitere Feinabstufungen erfolgen (Grosser et al., 1986; Hottenrott, 1993; Neumann et al., 2000).

Laktat in der Belastungssteuerung

Die Laktatmessung nimmt im Leistungs- und Fitnesport eine feste Position ein. Nach der Herzfrequenz ist das Laktat die bevorzugte Messgröße in der Trainings- und Belastungssteuerung (Karvonen & Vuorimaa, 1989; Janssen, 1993). Aus der Laktatkonzentration werden Informationen zur Wirkrichtung der Trainingsbelastung, zu Belastungsbereichen, zu Trainingsmitteln, zu Trainingsmethoden sowie zur Belastungsintensität gewonnen. Hauptsächlich erlaubt das Laktat, auf die genutzten energetischen Komponenten bei der Trainingsbelastung zu schließen. Nachfolgend werden die Trainingszustände aufgeführt, die direkt oder zusätzlich mit Laktat beurteilt werden können.

Beurteilung der Belastungsintensität nach der Laktatkonzentration

Die Belastungsintensität ist eine unscharfe Bezeichnung für sportliche oder körperliche Anstrengungen. Ein bestimmtes Intensitätsmaß ist im Training zur Auslösung von Anpassungen notwendig und dies sichert die Reizwirksamkeit der Belastung. Intensive Belastungen beanspruchen immer über 80% der aktuellen Leistungskapazität durch eine bestimmte Dauer in einer konkreten Sportart. Kennzeichen intensiver Belastungen ist eine erhöhte Laktatbildung. Es ist anerkannt, dass eine zu hohe Belastungsintensität zum Übertraining führen kann. Hierbei spielt die Beurteilung der Laktatschwelle eine entscheidende Rolle, um diese ungewöhnlichen Folgen zu vermeiden.

Aus Ergebnisse mehrerer Untersuchungen geht hervor, dass Athleten ihre aerobe Ausdauerkapazität bei häufigen Trainingseinheiten mit hohen Schwimmgeschwindigkeiten und hoher Laktatbildung verlieren können. Madsen & Olbrecht (1983) berichteten, dass Athleten, die mit den Geschwindigkeiten im Bereich von 6 mmol/l Laktat trainierten, Verschlechterungen in der aeroben Ausdauer zu verzeichnen hatten. Auch Heck et al. (1985) und Hollmann et al. (1981) berichteten von ähnlichen Ergebnissen. Bei Läufern stellten Mikesell & Dudley (1984) fest, dass sie beim Ausdauertraining mit schnellen Geschwindigkeiten ihre aerobe Kapazität verloren.

In einer weiteren Untersuchung wurden die Auswirkungen des Trainings über der anaeroben Schwelle untersucht. Gabriel et al. (1998) fanden heraus, dass Probanden von typischen Übertrainingssymptomen betroffen waren, nachdem sie 4 Wochen bei Geschwindigkeiten über der anaeroben Schwellen trainierten. Außerdem reduzierte sich ihre Leistung um 3% bei einem Maximalbelastungstest von 60 s und um 14% bei einem Dauertest bis zur Ermüdung mit einer Intensität von 110% der anaeroben Schwelle.

Urhausen et al. (1998) stellten nach 4 Wochen Training über der anaeroben Schwelle ebenso einen Leistungsrückgang fest. Außerdem berichteten sie, dass das intensive Training über der anaeroben Schwelle zu einem signifikanten Rückgang

von 20% bis 42% in mehreren Blutparametern wie den Hormonen (z. B. Adrenalin, Noradrenalin und Wachstumshormon) führte.

Die Ursachen von dem Verlust an aerober Leistungsfähigkeit bei zu hoher Trainingsintensität sind weitgehend bekannt. Intensives Training reduziert die Quantität der Ausdauerarbeit, die für die Weiterentwicklung der aeroben Ausdauerfähigkeit notwendig ist. Die langsamen ST-Fasern werden ungenügend beansprucht. Die hohe Säure im Blut führt zur Senkung des pH-Wertes, was sich nachteilig auf die aerobe Enzymaktivität und die Mitochondrienoberfläche auswirken kann (Neumann & Schüler, 1994).

Ein weiterer Grund wird im Zusammenhang mit der Depletierung des Muskelglykogens gesehen. Intensive Einheiten reduzieren die Glykogenspeicher. Bei dicht aufeinander folgenden Trainingseinheiten steht dem Sportler nicht in ausreichendem Maße Muskelglykogen zur Verfügung, so dass in deren Folge vermehrt Protein zur Energieverwertung eingesetzt werden muss, Dies führt zur Abnahme der Muskelleistung. Schließlich wurde festgestellt, dass intensives Training das Endokrin- und Immunsystem negativ beeinflusst.

Beurteilung der Wirkrichtung der Stoffwechselbelastung

Die Trainingsbelastung hat je nach Dauer, Intensität und Sportart eine unterschiedliche Stoffwechselwirkung. Die von der Beanspruchung des Stoffwechsels ausgehenden Trainingskonzepte orientieren sich in der Wirkrichtung in aerobe Belastung, aerob-anaerobe Belastung und überwiegend anaerobe Belastung. Die Höhe der Laktatkonzentration informiert über die Wirkrichtung einer Belastung. Als aerobe Belastung gelten allgemein alle sportlichen Belastungen bis 2 mmol/l Laktat.

Die Grenze von 2 mmol/l Laktat kann in einigen Sportarten nicht exakt eingehalten werden. Im Skilanglauf und auch im Schwimmen werden Belastungen im aeroben Bereich bis 3 mmol/l toleriert. Zu den aerob-anaeroben Belastungen zählen jene von 3-7 mmol/l Laktat. Bei Laktat über 7 mmol/l beginnt die überwiegend anaerobe Belastung. Die Grenze von 7 mmol/l resultiert aus der antilipolytischen Wirkung des Laktats (Neumann et al., 2000; Neumann & Berbalk, 2000).

Beurteilung der Mobilisationsfähigkeit der Motorik in Training und Wettkampf

Die Höhe der erreichbaren Laktatkonzentration ist abhängig von der sportartspezifischen Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeiten werden bei kurzzeitigem Motoriktraining meist als Intervalltraining oder als Kurzstreckenwiederholungstraining (z. B. 8 x 200 m) ausgeführt. Im Idealfall sind es der Testwettkampf oder der Originalwettkampf.

Hohe Geschwindigkeiten sind nur erreichbar, wenn die schnell kontrahierenden

Muskelfasern (FTF) in das Bewegungsprogramm einbezogen werden. Nur unter Mithilfe der FT-Fasern kann ein schneller Vortrieb und damit ausreichend Laktat gebildet werden. In den schneller ermüdbaren FT-Fasern sind strukturell die besten enzymatischen Voraussetzungen zur Laktatbildung gegeben.

Eine große anaerobe Mobilisationsfähigkeit ist auf dem Boden einer hohen aeroben Leistungsfähigkeit (in FT- und ST-Fasern) der ideale Anpassungszustand für Schnelligkeits- oder Wettkampfleistungen. Bei hoher anaerober Mobilisationsfähigkeit werden bei Kurzzeitbelastungen Laktatkonzentrationen von 12-20 mmol/l erreicht. Noch höhere Laktatwerte setzen über 60% FT-Fasern in der Muskulatur voraus und erfordern ein spezielles Schnelligkeitstraining. Wird nach Wettkämpfen Laktat gemessen, dann kann entschieden werden, auf welcher energetischen Basis der Sportler sein Leistungsvermögen ausgeschöpft hat. Prinzipiell ist die maximale Laktatbildung bei Wettkämpfen von der Belastungsdauer abhängig.

Einige Wissenschaftler weisen dafür hin, dass menschliche Muskelfasern, ein System von Proteintransportern enthalten, dessen Funktion es ist, Milchsäure aus Muskelfasern zu eliminieren, (Bonen et al., 1997; Bonen et al., 1998; Wilson et al., 1998). Diese Transporter können die Milchsäure vom Protoplasma von aktiven Muskelfasern ins Mitochondrion derselben Muskelfasern entfernen, wo sie produziert wurde, so dass sie in Pyruvat zurückkonvertiert und oxydiert werden können (Brooks et al., 1996).

Beurteilung des aeroben Leistungsniveaus

Die Beurteilung des Niveaus der aeroben Leistungsfähigkeit ist ein zentrales Anliegen in der Belastungs- und Trainingssteuerung. Die Erfassung der sportartspezifischen aeroben Leistungsfähigkeit ist deshalb bedeutsam, weil über 70% der Gesamttrainingsbelastung zu ihrer Entwicklung aufgewandt werden. Das Niveau der aeroben Leistungsfähigkeit wird überwiegend mit Stufentests im Labor oder im Feldversuch ermittelt. Das diagnostische Kriterium ist hierbei die erreichte Leistung (Watt) oder Geschwindigkeit (m/s; km/h) bei einer bestimmten Laktatkonzentration.

Bei der Bestimmung der individuellen Schwelle wird kein fixer Laktatwert festgelegt, sondern das Krümmungsverhalten der ansteigenden Laktatkonzentration. Der individuelle kurvensteile Anstieg ist das Kriterium für die individuelle Laktatschwelle (IAS). Zur diagnostischen Bedeutung und Interpretation der über die Stoffwechsel- oder Atmungsmessgrößen bestimmten Schwellen gibt es im Rahmen der Trainingssteuerung unterschiedliche Auffassungen (Neumann & Schüler, 1994).

Das Problem liegt nicht so sehr in der Methodik der Schwellenbestimmung, sondern in den trainingsmethodischen Folgerungen aus den Untersuchungsergebnissen. Die

ansteigenden Belastungen in Labor- und Feldtests führen zu einem nichtlinearen (exponentiellen) Laktatanstieg. Der Trainingsinhalt kann die Veränderungen der Laktatleistungskurve wesentlich beeinflussen, er kann sie nach rechts oder nach links verschieben.

Beurteilung von Trainingsbereichen

Die Leistungsentwicklung orientiert sich an bestimmten Belastungsproportionen, die mit unterschiedlicher Intensität ausgeführt werden. Da Anpassungen nicht durch punktgenaue Intensitätsvorgaben zu steuern sind, wurden empirisch breitere Regulationsbereiche in den unterschiedlichen Sportarten festgelegt, in denen sich eine positive Leistungsentwicklung organisieren lässt. Im Sportschwimmen spielt die spezifische Schwimmart (-stil) eine entscheidende Rolle, da die Schwellengeschwindigkeiten bei den Schwimmarten am relativ gleichen prozentualen Intensitätsniveau sehr unterschiedlich sind (Pansold & Zinner, 1991; Olbrecht, 2000; Maglischo, 2003).

Das Training zur Entwicklung differenzierter Ausdauerfähigkeit vollzieht sich in Trainingsbereichen (Intensitätsbereichen). In der Trainingspraxis sind vier Trainingsbereiche voneinander abgrenzbar. Die fünf Trainingsbereiche nach Neumann et al. (2000) sind:

- das regenerative und kompensatorische Training (REKOM)
- das Grundlagen-(kraft)ausdauertraining 1 (GA 1/KA 1),
- das Grundlagen-(kraft)ausdauertraining 2 (GA 2/KA 2),
- die Wettkampfausdauertraining (WA),
- das Schnelligkeits- und Schnellkraftausdauertraining (SA/SKA).

Während im Hochleistungssport die Intensitätsgestaltung auf der Grundlage von Prozentwerten der Geschwindigkeit charakterisiert ist und die von einer differenzierten Auswirkung auf den Energiestoffwechsel abgeleitet wird, gibt es im Freizeitsport noch andere Bezugspunkte. Hier dominiert die Ableitung der Belastungsintensität von der maximalen Herzfrequenz. Deshalb ist bei Prozentangaben in der Belastungssteuerung immer auf den Bezugspunkt zu achten, da sonst Missverständnisse und Fehlbelastungen entstehen.

Ein wirkungsvolles Ausdauertraining hängt davon ab, wie es gelingt, den richtigen Maßstab für die Belastung zu finden. Bei Nichteinhaltung der Geschwindigkeiten bzw. der Trainingsbereiche sind Unter- oder Überbeanspruchungen des Organismus möglich. Fehlanpassungen oder Leistungsabfall sind die Folge.

Die Fähigkeitsentwicklung sollte in den Ausdauersportarten durch eine ganzjährige Anwendung des Prinzips der Geschwindigkeitsorientierung gekennzeichnet sein. Zur Kontrolle der Belastung sind die Herzfrequenz und das Laktat zu nutzen. Das Training in den sportartspezifisch notwendigen Geschwindigkeiten ist ein

wesentliches Trainingsprinzip. Das Konzept geht davon aus, dass die Erhöhung der Geschwindigkeiten, z.B. im Schwimmen, Rad, Lauf oder Skilanglauf auf der jeweiligen Wettkampfstrecke die gleiche Erhöhung des Geschwindigkeitsniveaus auf der entsprechenden Trainingsstrecke voraussetzt (Neumann et al., 2001).

Beurteilung von Trainingsmitteln

In den Sportarten werden zunehmend mehrere Trainingsmittel genutzt. Das gilt auch für die Kombinationssportarten. Bei der Ausübung mehrerer Sportarten kann der Athlet technische Probleme bekommen. Überschießende Mitbewegungen benötigen zu viel Energie, deshalb wird zur Beurteilung der Ökonomie einer Bewegungsausführung der Energieverbrauch als Hilfsmittel genutzt. Bei zu vielen Nebenbewegungen und nicht beherrschter Motorik steigt die Laktatkonzentration an. Wird die Bewegungsausführung besser koordiniert, dann sinken der biologische Aufwand und damit auch die Laktatkonzentration.

Im Hochleistungsschwimmen ist auch die Beurteilung der Laktatkonzentration und Herzfrequenz in Bezug auf die eingesetzten Hilfsmittel im Training wie Paddles, Pull-Bouy, Flossen erforderlich (Holmer, 1974; Bucher, 1975; Andersen, 1976; Nachtigahl, 2001). Diese Untersuchungen zeigen deutlich differenzierte kardiorespiratorische und metabolische Effekte zur Anwendung der Hilfs- und Trainingsmitteln in Schwimmstufentests und Training.

Beurteilung von Trainingsmethoden

Das Training wird mit verschiedenen Methoden ausgeführt, die als Dauer-, Intervall- oder Tempowechselmethode bekannt sind. Mit Hilfe der Laktatmessung ist der Effekt dieser Methoden auf den aeroben und anaeroben Energiestoffwechsel einzuordnen. Die Intervall- und Tempowechselmethoden führen immer zu einer höheren Beanspruchung des anaeroben Metabolismus als die Dauermethode. Das bedingt, dass zur Sicherung der Geschwindigkeit oder Belastungsqualität diese Methoden bevorzugt mit Laktatmessungen begleitet werden. Zu niedrige Laktatkonzentrationen offenbaren bei Standarduntersuchungen die Motivationsreserven des Sportlers und dienen zur Begründung einer Geschwindigkeitszunahme.

2.1.1.2 Abgeleitete Belastungsbereiche aus der maximalen Herzfrequenz (HF_{\max})

Die maximale Herzfrequenz (HF_{\max}) liegt in der Regel bei Sportlern im Bereich von 175 und 210 Schläge/min. Maximale Herzfrequenzen tendieren dazu, mit dem Alter abzunehmen. Sie sind am höchsten bei Kindern, die üblicherweise maximale Frequenzen von 210 Schläge/min erreichen können. Sie nehmen im Erwachsenenalter normalerweise ab, wobei es individuell zu unterschiedlichen Entwicklungen kommen kann (Hottenrott, 2007).

Maximale Herzfrequenzen liefern keinen Bezug zur Leistungsfähigkeit. Eine schnelle Verminderung der maximalen Herzfrequenz, die über mehrere Tage bestehen bleibt, kann ein Indikator für Übertraining sein (Uusitalo et al., 1998).

Jeder Athlet sollte seine maximale Herzfrequenz kennen. Die Bestimmung der HF_{max} muss exakt erfolgen, dies ist im Schwimmsport nicht immer einfach. Das palpatorische Messen an der Halsschlagader ist zu ungenau. Am genauesten sind telemetrische Verfahren, die die Herzfrequenz über einen Brustsender erfassen und auf ein Empfangsgerät drahtlos übertragen. In älteren Untersuchungen wird berichtet, dass die maximale Herzfrequenz im Schwimmen zwischen 10 und 15 Schläge/min niedriger als bei Belastungen an Land (McArdle et al., 1978; DiCarlo et al., 1991).

Die Herzfrequenzvorgaben für das Training sind zahlreich. In den vergangenen Jahren bemühte sich eine Vielzahl von Wissenschaftlern, eine einfache und treffende Handhabung zu empfehlen. Aus den Arbeiten verschiedener Autoren (Mellerowicz, 1975; Israel, 1982; Rost & Hollmann, 1982; Hollmann & Hettinger, 1990 u. a.) wurden Methoden zur Voraussage der maximalen Herzfrequenz und Trainingsherzfrequenz entnommen. Diese werden nachfolgend kurz aufgeführt. Weibliche Schwimmer haben in den einzelnen Trainingsbereichen der spezifischen Schwimmmarten eine höhere Herzfrequenz. Folglich weist die Frau im Vergleich zum Mann die kleinere Sauerstofftransportkapazität auf. Wird die Frau submaximal belastet, so steigt wegen des kleineren Schlagvolumens und der niedrigeren O_2 -Transportkapazität die Herzfrequenz stärker an. Die maximale Herzfrequenz ist bei Frau und Mann gleich hoch. Das maximale Herzminutenvolumen liegt bei der Frau - bedingt durch das kleinere Schlagvolumen (de Marees, 2007).

Die Herzschlagfrequenz wird bei sportlichen oder körperlichen Belastungen durch zahlreiche Faktoren beeinflusst. Für die Beurteilung der Höhe der Herzfrequenzregulation ist an diese Faktoren zu denken. Zu den Einflussfaktoren auf die HF gehören:

- Lebensalter und Geschlecht,
- Herzgröße,
- Ausdauerleistungsfähigkeit in der Schwimmmart,
- Ermüdungszustand,
- Außentemperatur / Wassertemperatur,
- Sauerstoff in Atemluft (die Höhe),
- Dauer der Belastung und,
- Gesundheitszustand,
- Medikamente u. a. (Israel, 1985; Neumann et al., 2004; Hottenrott, 2007).

Über die letzten Jahre sind viele wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt worden, um zur Laktatdiagnostik alternative Messmethoden zu entwickeln, die es

dem Trainer erlauben, die anaeroben Schwellengeschwindigkeiten mit der Belastungsherzfrequenz festzulegen. In keiner Untersuchung konnte überzeugend gezeigt werden, dass dies ohne Laktatbestimmung möglich. Gründe dafür sind: Erstens die Herzfrequenzen, die der anaeroben Schwellentrainingsgeschwindigkeit entsprechen variieren interindividuell beträchtlich. Zweitens, die Herzfrequenz, die der individuellen anaeroben Schwelle eines Athleten entspricht, ändert sich im Trainingsprozess. In Untersuchungen mit Radfahrern (Craig et al., 1993) und Läufern (Farrell et al., 1979) variierten die Herzfrequenzen an der anaeroben Schwellengeschwindigkeit zwischen 142 und 187 Schläge/min. In einer anderen Untersuchung wurden Herzfrequenzen zwischen 150 und 175 Schläge/min entsprechend dem maximalen Laktat-Steady-State für trainierte Läufer gefunden (Oyono-Enguelle et al., 1990).

2.1.1.3 Abgeleitete Belastungsbereiche aus der aktuellen Bestzeit

Eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung der Trainingsgeschwindigkeit erfolgt über die aktuelle Bestzeit bzw. Wettkampfgeschwindigkeit. Bei dieser Ableitung ist der Bezug zur Streckenlänge notwendig, so dass sich zu jeder Streckenlänge relativ abgeleitete Schwimmgeschwindigkeiten errechnen lassen. Im Schwimmsport wurde dazu eine Vielzahl von Tabellen entwickelt, die jedoch nicht immer auf die Schwimmdisziplin abgestimmt sind (Tab. 1/2.1.1.3).

Tab. 1/2.1.1.3: Intensitätsvorgaben in Prozent der Bestzeit aus verschiedenen Quellen (Pfeifer, 1985; Wilke & Madsen, 1997).

Quelle	GA Bereich	LA (mmol/l)	Schwimmart	Männer			Frauen		
				100	200	400	100	200	400
Madsen	extens. (Dauer)	< 2.5	alle	-	-	87%	-	-	87%
	extens. (Serie)	< 3.0		83%	85%	87%	83%	85%	87%
	intensiv	3.0 – 6.0		90%			90%		
DSSV Pfeifer	extens. (GAI)	< 3.0	alle	80 – 90%					
	intensiv (GAI)	3.0 – 7.0		85 – 95%					
DSV-KLD Rudolph	extens. (GAI)	2.5 – 3.0 (3.5)	F	74-77	82-84	86-88	79-81	84-86	91-92
			B	74-77	83-85	-	83-85	87-89	-
			S	66-70	77-80	-	77-80	82-84	-
			R	75-78	83-85	-	80-81	78-89	-
	intensiv (GAI)	4.0 – 6.0 (7.0)	F	81-89	87-92	90-93	84-90	89-93	94-96
			B	80-87	87-91	-	87-93	91-94	-
			S	76-87	83-88	-	83-91	87-92	-
			R	81-89	87-92	-	85-91	91-94	-

Vergleichende Untersuchungen zur metabolischen Beanspruchung bei gleicher relativer von der Bestzeit abgeleiteten Schwimmgeschwindigkeit unterschiedlicher Schwimmer ergaben einen unterschiedlichen Laktatanstieg. Die Vorgabe der Belastungsintensität auf der Basis der aktuellen Bestzeit berücksichtigt nicht die spezielle aerobe bzw. anaerobe Trainiertheit des Sportlers. Wie unterschiedlich die

Schwimmgeschwindigkeit bei Männern und Frauen bei einer Laktatkonzentration von 4 mmol/l ausfällt, verdeutliche Abbildung (1/2.1.1.3).

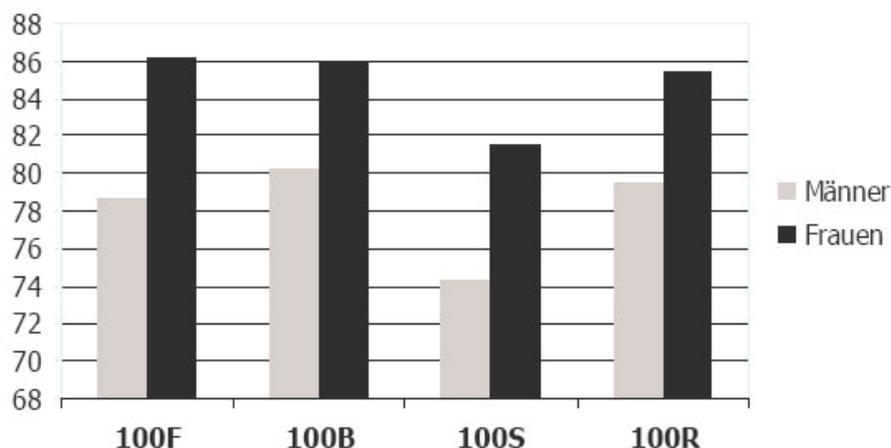


Abb. 1/2.1.1.3: Schwimmgeschwindigkeit (in % max) bei Laktatkonzentration von 4 mmol/l im 100 m-Stufentest (Wilke & Madsen, 1997).

2.1.1.4 Abgeleitete Belastungsbereiche aus der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max})

Die Sauerstoffaufnahme hat in der Leistungsdiagnostik einen hohen Stellenwert. Sie gehört neben der Herzfrequenz und dem Laktat zur wichtigsten leistungsdiagnostischen Messgröße. Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) repräsentiert die Leistungsfähigkeit der sauerstoffaufnehmenden, sauerstofftransportierenden und sauerstoffverwertenden Teilsysteme im Organismus. Damit ist die VO_{2max} das Ergebnis der Sauerstoffdiffusion in der Lunge, des Sauerstofftransports im Blut und der Sauerstoffaufnahme in der belasteten Muskulatur. Durch die Sauerstoffaufnahme wird die aerobe Energieflussrate im Organismus repräsentiert. Die VO_{2max} repräsentiert die maximale aerobe Energieflussrate bei Belastung. In dieser Form wird sie auch als Maß der aeroben Kapazität (aerobic capacity) angesehen.

Die VO_{2max} gilt international als zuverlässiges Maß für die maximale aerobe Leistungsfähigkeit (Astrand & Rodahl, 1986; Hollmann & Hettinger, 1990; Neumann & Schüler, 1994; Kjæhr et al., 2001; McArdle & Katsch, 2003; de Marées 2007 u. a.). Im angloamerikanischen Schrifttum wird die VO_{2max} als Maß der aeroben Kapazität (aerobic capacity) bezeichnet, was im physikalischen Sinne nicht ganz korrekt ist. Für Vergleiche wird die relative Sauerstoffaufnahme verwandt, indem ein Quotient zum Körpergewicht errechnet wird (VO_{2max}/kg).

Um den Entwicklungsstand der VO_{2max} bei Sportlern vergleichen zu können, wird diese auf das Körpergewicht bezogen. In Abhängigkeit von der Sportart bzw. Sportartengruppe ist die relative VO_{2max} unterschiedlich (Tab. 2/2.1.1.4).

Tab. 2/2.1.1.4: *Relative maximale Sauerstoffaufnahme (ml/kg-min) in den Sportartengruppen. Daten nach Neumann, Pfützner & Berbalk (2005).*

Sportartengruppe	Männer	Frauen
Ausdauersportarten	77-85	60-70
Sportspielarten	55-60	45-52
Zweikampfsportarten	60-65	50-53
Schnellkraftsportarten	50-55	45-50
Technische Sportarten	50-60	45-50

Bestimmungsmethoden der VO_{2max}

Die VO_{2max} muss immer sportartspezifisch bestimmt werden, Läufer führen einen Lauftest, Radfahrer einen Radtest und Schwimmer einen Schwimmtest durch. Im Schwimmen ist die Bestimmung der Maximalsauerstoffaufnahme kein einfaches Verfahren. Genutzt werden dazu der Strömungskanal und bewegliche Wagen am Beckenrand. Diese Methoden wurden jedoch oft kritisiert, weil ein Schwimmen mit Maske Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit hat.

Um die Probleme der Maske zu lösen, wurde die Sauerstoffaufnahme des Athleten nicht während Schwimmens, sondern nach dem Schwimmen analysiert (Costill et al., 1985; Montpetit et al., 1983). Diese Methode erfordert keine Masken oder Schläuche, so dass die Athleten normal während der Belastungsperiode schwimmen und sich wenden können. Direkt nach Schwimmbelastung muss der Athlet seinen Atem anhalten bis die Maske angelegt ist. Der Schwimmer atmet dann in ein Sammelgerät für 20 s aus. Nach Entnahme werden der Betrag der Luft und der Betrag des Sauerstoffs in dieser Luft bestimmt. Die Werte werden dann zur letzten Minute des Schwimmens extrapoliert. Dieser Test kann mehrmals mit stufenförmig ansteigenden Geschwindigkeiten wiederholt werden, bis die maximale Schwimmgeschwindigkeit erreicht ist (Costill & Kollegen, 1985). Kritiker dieser Rückwärts-Extrapolationsmethode gehen davon aus, dass der Fehler aus Messungen nach einer Schwimmbelastung mit kleiner Luftprobe zu groß ist (Beaver et al., 1981; Toussaint et al., 1987). Ein weiterer Nachteil dieser Methode ist, dass nur Aussagen über bestimmte Zeiträume, z. B. über das nach einer Belastung gesammelte Expirationsvolumen, gemacht werden können (Flynn et al., 1994). Deswegen ist auch keine Aussage über das aktuelle respiratorische Geschehen während einer Ausdauerbelastung möglich. Trotz dieser Kritiken konnten Carre et al., (1994) zeigen, dass die Unterschiede zur direkten Messung der VO_{2max} nicht signifikant sind.

% VO_{2max} und die Leistung

Die prozentuale Inanspruchnahme der VO_{2max} ($\%VO_{2max}$) ist ein weiteres diagnostisches Kriterium. Mit Hilfe dieser Messgröße ist zu erkennen, wie viel von der maximalen Sauerstoffaufnahme unter aeroben Stoffwechselbedingungen (bis Laktat 2 mmol/l) während der Belastung aufgenommen wurde. Mit der Zunahme der Ausdauerleistungsfähigkeit sind die Sportler in der Lage einen höheren Anteil der

VO_{2max} in aerober Stoffwechsellage zu beanspruchen. Während der schlechter Trainierte mit einer niedrigen VO_{2max} bereits bei 70% mit erhöhter Laktatbildung unter Belastung reagiert, muss dies ein gut Trainierter erst bei 80-85% seiner VO_{2max} .

Obwohl der Sportler die VO_{2max} mit dem Training verbessern kann, zeigen Erforschungsergebnisse Grenzen der Verbesserung, die im Zusammenhang mit der Heredität stehen. Untersuchungen haben gezeigt, dass eineiige Zwillinge fast identische maximale Sauerstoffaufnahmekapazität haben (Klissouras, 1971; Bouchard, 1990). Athleten können im Allgemeinen ihre absoluten Maximalsauerstoffaufnahmewerte 15% bis 20% und ihre relativen Werte 20% zu 40% verbessern (Costill, 1978; Obert et al., 1996; Wilmore & Costill, 2004).

Bestimmung der anaeroben Schwelle

Ende der fünfziger, Anfang der sechziger Jahre des vorherigen Jahrhunderts untersuchte Hollmann (1995) das Atemminutenvolumen während ansteigender Belastung auf dem Fahrradergometer. Er beobachtete einen nichtlinearen Anstieg des Atemminutenvolumens in einem Belastungsbereich, in dem Laktat und die Wasserstoffionenkonzentration ebenfalls überproportional anstiegen. Diesen Bereich bezeichnete er als „Punkt des optimalen Wirkungsgrades der Atmung (PoW)“.

Wenige Jahre später definierten die amerikanischen Sportmediziner Wassermann & McIlroy (1964) den Begriff der anaeroben Schwelle (anaerobic threshold) als den Beginn des anaeroben Metabolismus während körperlicher Arbeit, der durch einen Laktatanstieg über den Ruhewert gekennzeichnet ist. Die anaerobe Schwelle (anaerobic threshold) wurde anhand der spiroergometrischen Messgrößen Sauerstoffaufnahme, Atemminutenvolumen, Kohlendioxidabgabe und respiratorischer Quotient bestimmt. Die Autoren setzten die „anaerobic threshold“ gleich mit:

- dem Übergang von einem linearen zu einem nichtlinearen Anstieg des Atemminutenvolumens,
- dem Übergang von einem linearen zu einem nichtlinearen Anstieg der Kohlendioxidabgabe,
- dem Anstieg des respiratorischen Quotienten,
- dem Anstieg der endexpiratorischen O_2 -Konzentration ohne entsprechenden Abfall des endexpiratorischen CO_2 -Partialdruckes.

Als empfindlichstes Kriterium zur Beurteilung der „anaerobic threshold“ sahen sie das in der Beziehung zur O_2 -Aufnahme überproportional ansteigende Atemminutenvolumen an. Damit ist die anaerobe Schwelle identisch mit dem von Hollmann (1995) definierten Punkt des optimalen Wirkungsgrades der Atmung. Die Laktatschwelle ist normalerweise in Bezug auf den Prozentsatz der maximalen Sauerstoffaufnahme (% VO_{2max}) gesetzt. Die Fähigkeit, bei einer hohen Intensität zu trainieren, ohne Laktat anzusammeln, ist für den Athleten nützlich, weil die

Laktatakkumulation die Ermüdung verursacht. So gehen Wilmore & Costill (2004) davon aus, dass die höheren Prozentsätze der ($\% \text{VO}_{2\text{max}}$) vermutlich eine höhere Laktatschwelle präsentiert werden sollte oder könnte. Folglich ist eine Laktatschwelle bei $80\% \text{VO}_{2\text{max}}$ ein Indiz für eine größere aerobe Belastungstoleranz als beispielsweise eine Schwelle bei $60\% \text{VO}_{2\text{max}}$.

Entwicklung der maximalen Sauerstoffaufnahme

Die Entwicklung der maximalen Sauerstoffaufnahme hängt vom Belastungsumfang und der dazugehörigen Intensität ab. Die Zunahme der Sauerstoffaufnahme ist ein Anzeichen für die Tolerierung höherer Geschwindigkeiten im Training. Damit verbunden ist das Erreichen eines größeren Energieumsatzes. Für hohe Leistungen in einer Ausdauersportart ist das Erreichen eines notwendigen Referenzwertes bei der $\text{VO}_{2\text{max}}$ notwendig. Internationale Spitzenleistungen in den Ausdauersportarten erfordern bei den Männern eine $\text{VO}_{2\text{max}}$ von über 78 ml/kg/min und bei den Frauen von über 68 ml/kg/min. Im Leistungstraining muss sich die $\text{VO}_{2\text{max}}$ allmählich auf diesen Referenzwert zu bewegen. Nimmt die $\text{VO}_{2\text{max}}$ im Längsschnitt ab, dann stimmen Gesamtbelastungen oder Reizwirksamkeit der Belastung nicht mehr.

Ein weiteres diagnostisches Kriterium ist das Niveau der Sauerstoffaufnahme auf submaximalen Belastungsstufen. Hier führt die sportartspezifische Anpassung zur Abnahme der Sauerstoffaufnahme bei gleicher Leistung bzw. Geschwindigkeit. Die niedrigere Sauerstoffaufnahme ist ein Zeichen des verbesserten Wirkungsgrades der Muskelfunktion und der Ökonomisierung der Muskelarbeit. Die Sportartspezifik der Ausdaueranpassung hat bei Leistungssportlern großen Einfluss. Der Vergleich der Inanspruchnahme von $\% \text{VO}_{2\text{max}}$ bei $v_{\text{LA}2}$ zwischen Triathleten und Langstreckenläufern belegt diesen Zusammenhang (Neumann et al., 2000 & 2004).

2.1.1.5 Abgeleitete Belastungsbereiche aus dem Energieverbrauch

Die Substratversorgung und die Sauerstoffaufnahme sind leistungsbegrenzende Faktoren. Mit steigender Belastung erhöhen sich der Energieverbrauch und damit auch der Sauerstoffbedarf. Aus dem Verhältnis des abgegebenen Kohlendioxids und des aufgenommenen Sauerstoffs resultiert der *Respiratorische Quotient* ($\text{RQ} = \text{VCO}_2 / \text{VO}_2$).

Bei hoher körperlicher Belastung mit ausschließlicher Kohlenhydratverbrennung beträgt der RQ 1.0, hingegen sinkt der RQ auf 0.70 ab, wenn nur Fette verbrannt werden. Beim RQ von 0.85 liegt ein Mischstoffwechsel vor, d. h. es werden zu gleichen Teilen Fette und Kohlenhydrate verbrannt. Für die Oxidation eines Substrates ist immer eine bestimmte Menge Sauerstoff notwendig. Die aus der aufgenommenen Menge Sauerstoff nutzbare Energie ist von der Stoffwechselsituation abhängig. Bezogen auf das Substrat wird bei der Kohlenhydratverbrennung weniger Sauerstoff benötigt als bei der Fettverbrennung (Neumann et al., 2004).

Nach Untersuchungen von Capelli et al. (1998) ist bei gleicher Schwimmgeschwindigkeit der Energiebedarf beim Kraulschwimmtechnik geringer als in den anderen Schwimmtechniken. Kraul- und Rückenschwimmen steigern den Energieumsatz mit der Zunahme der Schwimmgeschwindigkeit exponentiell. Beim Schmetterlingsschwimmen wird der Energieumsatz aber nur bei höheren Schwimmgeschwindigkeiten exponentiell gesteigert. Technikverbesserungen führen zu einem geringeren Energiebedarf bei gleicher Schwimmgeschwindigkeit, ein primäres Ziel des Hochleistungstrainings. Bei Männern liegt bei einer Schwimmgeschwindigkeit von 1.0 m/s (1.5 m/s) der Energieumsatz durchschnittlich im Kraulschwimmen bei 0.70 (1.23) KJ/m, im Rückenschwimmen bei 0.84 (1.47) KJ/m, im Schmetterlingsschwimmen bei 0.82 (1.55) KJ/m und im Brustschwimmen bei 1.24 (1.87) KJ/m.

2.1.1.6 Probleme der Belastungssteuerung im Schwimmtest

Die spezifische Ausdauerleistungsfähigkeit im Schwimmen lässt sich nur im Medium Wasser bestimmen. Tests auf dem Fahrradergometer oder Laufband haben für Schwimmer nur einen geringen Aussagewert für die spezifische Leistungsfähigkeit. Sie repräsentieren aber die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit des Sportlers im Längsschnitt. Die Durchführung eines Schwimmtests ist in der Praxis nicht ganz einfach, weil die Voraussetzungen zur Steuerung der Schwimmgeschwindigkeit aufwendig sind. Eine Lichtschrittmacheranlage ist nur in wenigen Sportbädern vorhanden. Die leistungsschwächeren Schwimmer sind erfahrungsgemäß kaum in der Lage, ohne Außensteuerung die geforderten Zeiten (Geschwindigkeiten) im Stufentest exakt einzuhalten. Um die Testreliabilität zu erhöhen, empfiehlt es sich auf jeden Fall, den geplanten Stufentest im Training zu üben (Neumann et al., 2000).

2.1.2 Aktuelle Konzepte der Belastungssteuerung im Schwimmsport

Trainingssteuerung bezeichnet die gezielte Abstimmung aller Maßnahmen der Trainingsplanung sowie des Trainingsvollzugs, also der Trainingsdurchführung und der Trainings- und Wettkampfauswertung zur Veränderung des sportlichen Leistungszustandes im Hinblick auf das Erreichen sportlicher Leistungen und Erfolge. Als Trainingssteuerung in diesem Sinne, kann die Entscheidung der Trainingsplanung und des daraus resultierenden Trainingsvollzugs zu einer Veränderung des Trainingszustandes führen und damit auch zu einer Bestleistung. Der Wirkungsweg der Trainingssteuerung wird allerdings von dem vorgegebenen Trainingsziel bestimmt und den individuellen Besonderheiten des Sportlers (Röthig, 1992).

Die Belastungssteuerung basiert auf der Einteilung der Trainingsintensitäten in mehrere Trainingsbereiche, Trainingszonen bzw. Trainingskategorien. Diese Einteilung ist national und international äußerst unterschiedlich.

Touretski teilt für seinen weltbekannten Schwimmer Alexander Popov das

Intensitätsspektrum in sieben Kategorien ein (Tab. 3/2.1.2). Die Differenzierung erfolgt nach der Laktatkonzentration, nach der Belastungsherzfrequenz und nach der relativen Wettkampfgeschwindigkeit.

Volkers wählt für seine Schwimmerin Susan O'Neill hingegen nur fünf Trainingsbereiche und gibt keine Beziehung zur Wettkampfgeschwindigkeit an (Tab. 4/2.1.2)

Tab. 3/2.1.2: Trainingsbereiche von Alexander Popov (aus Touretski, 1997).

Training Categories for Alexander Popov				
TRAINING CATEGORY	SYMBOL	% RACE SPEED	HEART RATE*	BLOOD LACTATE MMOL/L
Low-intensity aerobic	A1	Up to 75%	120–140	1–3
Moderate aerobic	A2	75%–85%	140–160	1–3
Anaerobic threshold	AT	85%–95%	160–170	3–5
Maximal oxygen uptake	M $\dot{V}O_2$	85%–105%	180–190	5–10
Lactate tolerance	LT	90%–110%	190–200	8–15
Lactate production	LP	95%–110%	190–200	8–12
Alactic anaerobic (speed)	SP	110%–120%	160–170	3–6

*Heart-rate recommendations are based on a maximum heart rate of 200 bpm.
Adapted from Touretski 1997.

Tab. 4/2.1.2: Trainingsbereiche von Susan O'Neill (aus Volkens, 1997).

Training Categories for Susan O'Neill		
TRAINING CATEGORIES	TRAINING PARAMETERS	
Aerobic recovery	Times/100 Heart rate in bpm Blood lactate in mmol/L	>1:11 freestyle >164 >2.0
Aerobic	Times/100 Heart rate in bpm Blood lactate in mmol/L	1:09–1:15 freestyle 164–180 1.8–2.8
Anaerobic threshold	Times/100 Heart rate in bpm Blood lactate in mmol/L	66–68 butterfly w/fins 181–185 2.9
Anaerobic	Times/100 Heart rate in bpm Blood lactate in mmol/L	<66 butterfly <185 <2.9
Critical velocity	Times/100 Heart rate in bpm Blood lactate in mmol/L	63.5 butterfly 205 6.9

Adapted from Volkens 1997.

Vergleicht man Einteilung der Trainingsbereiche in den verschiedenen Ausdauersportarten (Janssen, 1987; Hottenrott & Zülch, 1998; Neumann et. al, 2000 & 2004; Hottenrott & Urban, 2004), so scheinen mindestens vier Kategorien für die Belastungssteuerung im Ausdauerleistungssport erforderlich zu sein. Zusätzlich wird im Schwimmen eine Differenzierung der Belastungsbereiche nach den Streckendistanzen jedoch nicht nach den Disziplinen vorgenommen.

Tab. 5/2.1.2: Trainingsbereiche im Schwimmen unterteilt nach Streckendistanzen mit den zugeordneten Laktatwerten (Wilke & Madsen, 1997).

Trainingsbereich	50/100 m	100/200 m	> 400 m
KO	< 2.5 mmol/l	< 2.0 mmol/l	< 1.5 mmol/l
GAI_{extensiv}	2.5 – 3.5 mmol/l	2.0 – 3.0 mmol/l	1.5 – 2.0 mmol/l
GAI_{intensiv}	3.5 – 5.0 mmol/l	3.0 – 4.0 mmol/l	2.0 – 3.0 mmol/l
GAI	5.0 – 7.0 mmol/l	4.0 – 6.0 mmol/l	3.0 – 5.0 mmol/l

Bei dieser Einteilung wird die spezifische Trainiertheit der Kurz-, Mittel- und Langstreckenschwimmer berücksichtigt. Theoretisch sind diese Differenzierungen nachzuvollziehen, im Training jedoch meist nicht umsetzbar.

Urhausen et al. (2000) verglichen den Laktatwert mit der Belastungsherzfrequenz für die Einschätzung der Belastungsintensität in Abhängigkeit der individuellen anaeroben Schwelle. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Veränderungen in der Belastungsintensität bis zu 80% der individuellen anaeroben Schwelle besser mit der Herzfrequenz beurteilt werden können, weil an diesem Niveau das Laktat stabil bleibt. Wenn die Belastungsintensität größer als 85% der individuellen anaeroben Schwelle ist, unterscheidet die Laktatkonzentration die verschiedenen Intensitäten besser, weil die Herzfrequenzveränderung dann stark ausfällt als die Laktatveränderung (Tab. 6/2.1.2).

Tab. 6/2.1.2: Trainingsbereiche in Abhängigkeit der prozentualen anaeroben Schwelle (%IAT) der prozentualen relativen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}), der absoluten Laktatkonzentration (LA) und relativen Laktatkonzentration von IAT (%LA IAT), der relativen Herzfrequenz von IAT (%HF IAT) und der prozentualen maximalen Herzfrequenz (%HF_{max}) (Urhausen et al., 2000).

%IAT	% VO_{2max}	LA mmol/l	%LA IAT	HF Schläge/min	%HF IAT	%HF _{max}
70	55	1.54	45	138	80	72
80	63	1.67	50	154	89	80
90	71	2.67	80	166	96	86
95	75	3.53	105	175	101	91
100	79	5.67	165	183	106	95

2.1.3 Schwimmleistungsentwicklung in Meso- und Makrozyklen

Das gesamte System des sportlichen Trainings ist darauf gerichtet, entsprechend den Trainingszielen, eine hohe Trainingswirksamkeit zu erreichen. Für die Entwicklung der sportlichen Leistung sind längere Zeiträume erforderlich. In den Ausdauersportarten beträgt der Zeitraum von der Aufnahme des sportlichen Trainings bis zum Erreichen einer Spitzenleistung 10 - 15 Jahre. Deshalb ist es notwendig, die Trainingszyklen zu planen, die für inhaltliche und zeitliche Strukturen

charakteristisch sind. Im Mittelpunkt dieser Zyklen steht die ständige Erhöhung der Leistungsgrundlagen, die Vervollkommnung der wettkampfspezifischen Leistungsfähigkeit und die Erholungs- bzw. Wiederherstellungsprozesse.

Ausgehend von der individuellen aktuellen Leistungsfähigkeit ist es für die einzelnen Ausbildungsabschnitte des langfristigen Leistungsaufbaus erforderlich, Leistungsziele zu planen. Ein wichtiges Trainingsziel ist das Erreichen der notwendigen sportartspezifischen Geschwindigkeit in den einzelnen Abschnitten der Leistungsentwicklung im Trainingsjahr. Für die Planung von Belastungszuwachsraten ist das Trainingsalter von entscheidender Bedeutung.

Im Spitzenbereich der Ausdauersportarten ist das Training darauf gerichtet, zum Wettkampfhöhepunkt des Jahres die höchste individuelle Leistung zu erreichen. Um eine systematische Herausbildung einer entsprechenden sportartspezifischen Leistungsfähigkeit zu garantieren, wird das Trainingsjahr in unterschiedlich lange Zyklen gegliedert.

Das Grundanliegen des Jahrestrainingsaufbaus besteht in der Steigerung der Trainingsbelastung bis kurz vor dem sportlichen Höhepunkt. Durch einen gezielten Wechsel der Haupttrainingsmittel kann die Erhöhung der Reizwirksamkeit der Belastung erreicht werden. Um in den Ausdauersportarten einen zeitlich akzentuierter Einsatz der Trainingsinhalte im Jahrestrainingsaufbau vornehmen zu können, sind folgende methodische Maßnahmen wirksam (Neumann et al., 2000):

- ein Wechsel der Trainingsreize,
- die Zunahme der Sportartspezifik der Belastung,
- die Vergrößerung des intensiven Anteils des Trainings,
- die Erhöhung der Belastungswiderstände und,
- der mehrmalige Einsatz des Höhentrainings.

Damit ist, neben der Zunahme des Trainingsumfanges, eine Steigerung der Trainingsreize im Verlaufe des Jahrestrainingsaufbaus bis zum Wettkampfhöhepunkt möglich. Der Aufbau der sportlichen Leistungsfähigkeit vollzieht sich als hierarchisches System von kürzeren und längeren Abschnitten des Trainings bzw. von Trainingszyklen, die in ihrer Grundstruktur und damit in ihrer Hauptwirkrichtung im Trainingsprozess immer wiederkehren und dabei dem veränderten Leistungsstand der Sportler entsprechen (Schnabel et al., 1994).

Die kontinuierliche Belastungssteigerung im Jahresaufbau ist dynamisch zu gestalten. Neben den differenzierten Proportionen von Umfang und Intensität im Training ist vor allem der Wechsel von Belastung und Wiederherstellung, der dem Sportler einen ständig wechselnden Beanspruchungsgrad verschafft, von Bedeutung.

Das Ziel der Zyklisierung des Trainings ist, hohe Trainingsbelastungen mit notwendigen Wiederherstellungsphasen sowie Akzentuierungen in der Entwicklung bestimmter Fähigkeiten und Fertigkeiten in einzelnen Zyklen zu realisieren.

Offensichtlich hängt die Leistung eines Athleten zu einem gewissen Grad von der Fähigkeit ab, das gesamte Spektrum der motorischen Kapazitäten zu mobilisieren. Nach Viru (1993) muss die Mobilisierung des motorischen Potenzials wettkampfspezifisch ausgerichtet sein. In der Vorbereitung auf den Schwimmhöhepunkt ist dies zu berücksichtigen, Im praktischen Training werden dazu vermehrt Sprints und Sprintwettkämpfe, die eine maximale Mobilisierung erfordern, durchgeführt. Ziel ist es, die maximale Mobilisation über die gesamte Wettkampfstrecke umzusetzen.

Eine zunehmende metabolische Mobilisierung zeigt sich, wenn für gleiche Intervalltrainingbelastungen die Laktatkonzentrationen von Anfangs z. B. 10 bis 12 mmol/l auf 14 bis 16 mmol/l während der Wettkampfperiode ansteigen (Tchagovets et al., 1983). Positiv ist diese Mobilisierung aber nur zu werten, wenn auch die Intervallstrecken schneller geschwommen werden können.

Trainingsmonitor eines Hochleistungsschwimmers vor den Olympischen Spielen 1988 zeigte einen parallelen Anstieg in der Schwimgeschwindigkeit und Blutlaktatkonzentrationen nach 200 m Zeitmessung (Spikermann, 1989) (Abb. 2/2.1.3).

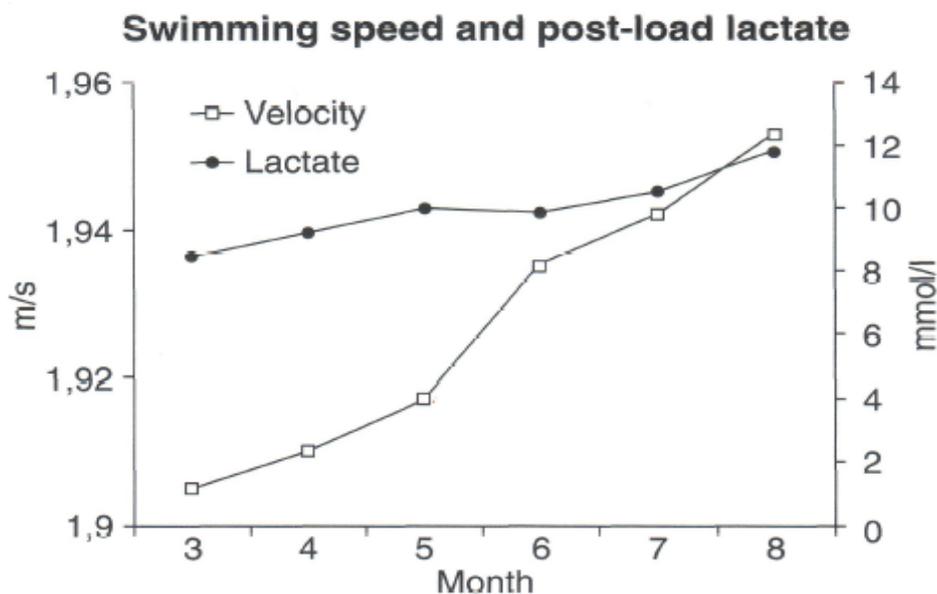


Abb. 2/2.1.3: Schwimgeschwindigkeit im 200 m Schwimmen und Blutlaktatkonzentration nach den Zeitmessungen beim einem Olympiasieger während der Vorbereitung auf die Olympischen Spiele 1988 (Spikermann, 1989).

Die Reduktion der Laktatwerte bei gleicher Belastungsintensität ist nach Bergman et al. (1999) bedingt durch eine Kombination von verringerter Laktatproduktion und zunehmender Laktatelimination. Die verringerte Laktatproduktion erfordert ein höheres aerobes Potenzial, wie dies im folgenden Beispiel einer 7-monatigen

Trainingsperiode zu Ausdruck kommt (Abb. 3/2.1.3). Bestimmt wurde die Laktatkonzentration bei einer standardisierten 200 m Schwimmstrecke und gleicher Schwimmgeschwindigkeit. Die Laktatkonzentration reduziert sich von anfangs etwa 13 mmol/l (untrainierter Zustand) bis auf etwa 3 mmol/l. Dies ist das Ergebnis basiert auf einer Adaptation der aeroben Funktionssysteme.



Abb. 3/2.1.3: Effekte auf die Blutlaktatkonzentration nach einem 200m Schwimmen bei einer definierten Geschwindigkeit. Die niedrigsten Laktatwerte wurden während der Periode aufgezeichnet, als die Schwimmer ihre besten Leistungen (d. h. im Meisterschaftswettkampf) produzierten (Bergman et al., 1999).

2.2 Laktatdiagnostik und Leistungspotenzialanalyse

Schwimmen ist eine Sportart mit hohen Anforderungen an Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit, Beweglichkeit, Koordination und Technik. Gleichermäßen anerkannt als Leistungs- und Breitensport sowie als sinnvolle Trainings – und Übungsform in der Rehabilitation verwundert es, dass wissenschaftliche Untersuchungen über das Schwimmen im Vergleich zum Lauf- oder Radsport in relativ geringer Zahl vorliegen.

Die Mehrzahl sportmedizinischer Analysen beschäftigte sich mit physiologischen Parametern, die meist außerhalb des Mediums Wasser erhoben wurden. Über funktionelle Veränderungen beim Schwimmen selbst finden sich weit weniger Informationen, was durch die erschwerten Untersuchungsbedingungen im Wasser erklärbar ist. Erst die Entwicklung telemetrischer Messverfahren hat die Möglichkeiten geschaffen, diese messmethodischen Schwierigkeiten teilweise zu überwinden. Beim Schwimmen herrschen gänzlich andere Grundvoraussetzungen als bei den Fortbewegungsarten an Land. Der Körper muss durch das Medium Wasser fortbewegt werden, das eine etwa 800-mal höhere Dichte aufweist wie Luft (Jeschke & Lorenz, 1998). Der Körper des Schwimmers wird durch die Arbeit der Arme (und partiell auch der Beine) am Widerlager des Wassers nach vorne geschoben. Dabei weisen die Arme als Hauptantriebsquelle beim Schwimmen eine nur etwa halb so große Muskelmasse auf wie die Beine (Berger et al., 1999).

Beim Schwimmen ist der Anteil der Arbeit gegen den Luftwiderstand aufgrund des

eingetauchten Körpers und der geringen Fortbewegungsgeschwindigkeit zu vernachlässigen (Karpovich & Pestrecon, 1939).

Auch der Einfluss der Schwerkraft ist vergleichsweise eher gering, da die Arbeit gegen die Schwerkraft größtenteils durch den Auftrieb des Körpers im Wasser geleistet wird.

Im Ausdauersport ist die Laktatdiagnostik ein bedeutendes Mittel, um Informationen über die Muskelenergetik als ein Ergebnis des Trainings zu erhalten. Für diesen Zweck werden sportartspezifische Stufentests und wettkampfspezifische Feldtests ausgeführt.

2.2.1 Stufentestverfahren

Als leistungsdagnostisches Prüfverfahren hat sich das Prinzip der stufenförmig ansteigenden Belastung in den Ausdauersportarten bewährt. Ziel dieses Verfahrens ist es, die Regulation des Herz-Kreislauf- und Atmungssystems und die Leistungsfähigkeit des aeroben und anaeroben Stoffwechsels zu prüfen. Die Leistungsfähigkeit der Muskulatur, des Stoffwechsels und des Herz-Kreislauf-System wird auf unterschiedlichen submaximalen Belastungsstufen und bei individueller Ausbelastung beurteilt. In der Praxis hat sich das Stufentestprinzip in den einzelnen Sportarten und Disziplinen stark ausdifferenziert. National und international gibt es deshalb auch innerhalb der Sportarten keine einheitlichen Normen für das Testdesign, sodass die Vergleichbarkeit von Testresultaten erschwert ist. Auch im Schwimmen kommen unterschiedliche Stufentests zur Anwendung. Bei allen Stufentests werden mehrere kurze Schwimmstrecken mit steigenden Geschwindigkeiten geschwommen. Der Test endet, wenn der Schwimmer die vorgeschriebene Geschwindigkeit nicht mehr absolvieren kann.

Für alle Stufentests gilt, dass die ersten Schwimmstrecken im aeroben Bereich geschwommen werden sollen, dann in der anaeroben Schwellengeschwindigkeit und die letzten Strecken bis in den maximalen anaeroben Leistungsbereich. Bei Streckentests über 200 m soll die durchschnittliche Geschwindigkeit pro 200 m um etwa 4 s zur nächsten Teststufe erhöht werden. Nach jeder Belastungsstufe erfolgt eine einminütige Pause zur Abnahme des kapillaren Ohrblutes für die Laktatbestimmung. Der Testhelfer ist dafür verantwortlich, die durchschnittliche Geschwindigkeit für jede absolvierte Teststrecke exakt zu bestimmen.

Der Schwimmstufentest ist ein ausgezeichnetes Verfahren für die Beurteilung der Veränderungen in der aerob-anaeroben Leistungsfähigkeit von Athleten.

Der Stufentest mit Wiederholungsstrecken von 200 m wird am häufigsten eingesetzt. Bei längeren Teilstrecken z.B. 300 m oder 400 m ist die Anzahl der Wiederholungen auf vier reduziert. Aber auch hier gilt eine Steigerung der Geschwindigkeit von 2 s pro 100 m.

Bei kürzeren Teststufen (z. B. 8 x 100 m) hat sich gezeigt, dass die anaerobe Schwellengeschwindigkeit von Athleten überbewertet wird. Barber et al. (1999) verglichen Stufentests bis zum Leistungsausfall über 4 X 100 m Stufen mit Tests 4 x 200 m Stufen. Die Schwimmgeschwindigkeit und die Anzahl der Schwimmszüge wurden für bei Tests konstant gehalten, Die Ergebnisse dieses Vergleichs zeigten eine Korrelation von 0.91 für Brustschwimmer und 0.94 für Schmetterlingsschwimmer und eine höhere Schwellengeschwindigkeit für den Test mit kürzeren Stufen.

Nachfolgend werden die Vor- und Nachteile der Schwimmstufentest über unterschiedliche Teilstrecken diskutiert.

8 X 100 m Stufentest (Maglischo, 2003)

Der 8 x 100 m Stufentest wird die Beurteilung der aeroben und anaeroben Stoffwechselleistung eingesetzt und findet Anwendung bei Sprintern. Aufgrund der kurzen Wiederholungsdistanz ist er ungeeignet für die Beurteilung der Schwellengeschwindigkeit, sodass hieraus auch keine Ableitung für die Trainingsbereiche erfolgen kann.

5 X 200 m Stufentest (Kelly et al., 1992)

Der 5 x 200 m Stufentest wird für auch die Beurteilung der Veränderungen im aerobern und anaeroben Metabolismus eingesetzt. Einige Wissenschaftler (Maglischo et al., 1987; Maglischo, 2003) gehen davon aus, dass die kurzen Wiederholungssätze dieses Stufentests einen Einfluss auf die aerob-anaerobe Schwelle haben. Folglich können die Schwellengeschwindigkeiten für den Trainingsprozess überschätzt werden und der Schwimmer wird überfordert.

8 X 200 m Stufentest (Pansold et al., 1985)

Im Unterschied zum 5 x 200 m Stufentest werden bei diesem Test zu den ersten drei Teilstrecken mit gleicher Geschwindigkeit geschwommen. Dies hat den Vorteil, dass die Stabilität der aerobe Basis beurteilt werden kann, Dies Verfahren ist gut geeignet für Evaluierung der trainingsinduzierten Veränderungen im aeroben und anaeroben Stoffwechsel für 200 m Schwimmer. Problematisch wird auch bei diesem Verfahren die sichere Beurteilung der Schwellengeschwindigkeiten gesehen

6 X 400 m Stufentest (Maglischo, 2003)

Der 6 x 400 m Stufentest ist ein guter Test für die Evaluierung der trainingsinduzierten Veränderungen im aeroben und anaeroben Metabolismus für Mitteldistanz- und Langstreckenschwimmer. Im Gegensatz zu den Tests mit kürzeren Teilstrecken liefert er eine akkurate Beurteilung der aerob-anaeroben Schwellengeschwindigkeiten und ist geeignet für die Festlegung der Trainingsbereiche. Hottenrott & Zülch (1998) haben aus diesem Testverfahren im

Vergleich mit einem Maximaltest über 400 m, Schwimmgeschwindigkeiten für die verschiedenen Trainingsbereiche auf der Basis der 400 m Bestzeit abgeleitet.

Zwei-Streckentests

Mader et al., (1976) entwickelten einen Zwei-Streckentest über 400 m mit dem Ziel die Schwellengeschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktat (v_{LA4}) zu bestimmen. Die erste Teilstrecke über 400 m wurde in aerober Stoffwechsellage, die zweite Teilstrecke mit maximaler Geschwindigkeit geschwommen, Heute wird dieses Testverfahren nicht mehr eingesetzt, weil die Ableitung der v_{LA4} aufgrund des exponentiellen Verhaltens der Laktat-Geschwindigkeits-Beziehung zu ungenauen Ergebnissen führt (Abb. 4/2.1.1)

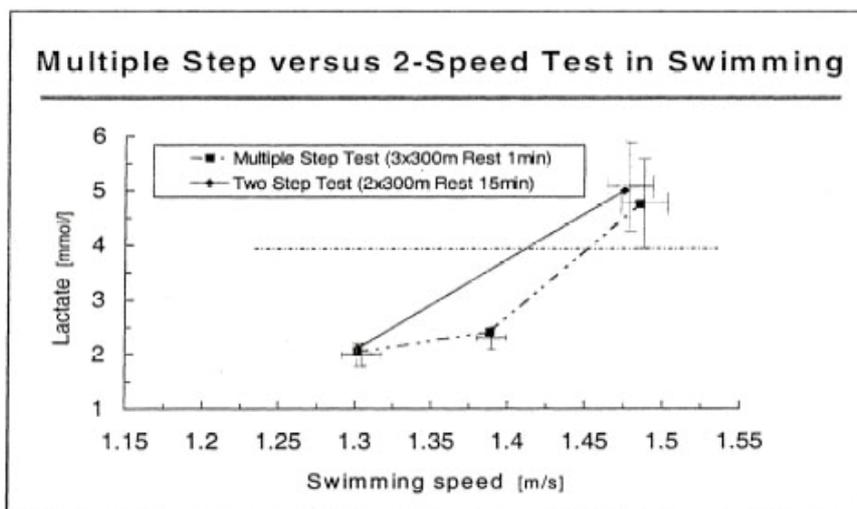


Abb. 4/2.1.1 Einfluss des Zwei-Strecken-Test im Vergleich zum Drei-Strecken-Test auf die Laktat-Geschwindigkeits-Kurve und die Geschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktat (v_{LA4}) (Olbrecht et al., 1989).

Schwimmgeschwindigkeit bei einem Laktatwert von 4 mmol/l (v_{LA4})

Die Schwimmgeschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktat (v_{LA4}) ist ein wichtiger Indikator der aeroben Leistungskapazität. Eine verbesserte v_{LA4} wird immer von einer Verbesserung der Maximalleistungskapazität begleitet. Basierend auf der v_{LA4} können Wettkampfzeiten von Athleten berechnet werden. Insofern wird die v_{LA4} für die notwendige Konditionierung des Athleten für nationale und internationale Leistungsvoraussetzungen genutzt (Tab. 7/2.1.1).

Tab. 7/2.1.1: Schwimmgeschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktat (v_{LA4}) von männlichen und weiblichen Schwimmern über verschiedene Schwimmstrecken (Janssen, 2001).

v_{LA4} m/s	100 m		200 m		400 m	
Level	Frauen	Männer	Frauen	Männer	Frauen	Männer
National	1.331	1.440	1.281	1.304	1.177	1.343
Europäer	1.467	1.565	1.412	1.478	1.264	1.480
Welt	1.553	1.634	1.473	1.531	1.438	1.532

Maximales Laktat-Steady-State (MAXLASS)

Mit dem MAXLASS-Verfahren wird das maximale Laktat-Steady-State über eine mindestens 20 minütige Ausdauerbelastung mit konstanter Intensität ermittelt (Heck et al., 1990). Bei niedriger Belastungsintensität steigt die Laktatkonzentration nicht oder nur sehr langsam vom Ruhewert aus an, wird die Belastungsintensität bis in den submaximalen Bereich erhöht kann es zur Akkumulation des Laktats während eines Dauertests kommen. Bezogen auf den Schwimmsport wird die kritische Schwimmgeschwindigkeit gesucht, bei der die Laktatproduktion und -elimination zu konstanten Laktatwerten führt. In Abb. 5/2.1.1) wäre dies erreicht bei einer Geschwindigkeit von 1.33 m/s.

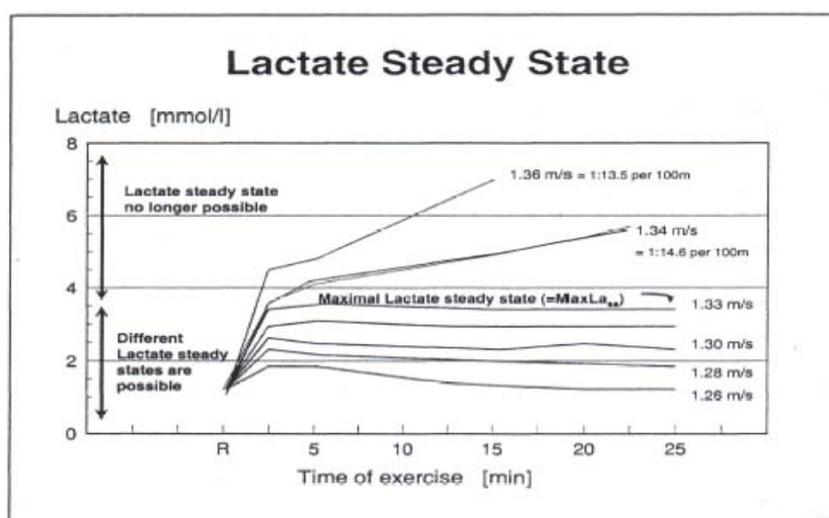


Abb. 5/2.1.1: Bestimmung des maximalen Laktat-Steady-State (MAXLASS) beim Schwimmen (Olbrecht, 2000).

Bei einer Geschwindigkeit von 1.34 m/s oder 1.36 m/s steigt die Laktatkonzentration über die Zeit an. Im Schwimmen haben Untersuchungen gezeigt, dass das MAXLASS bei Laktatkonzentrationen bis zu 6 mmol/l liegen kann. Insgesamt zeigen hohe interindividuelle Unterschiede in der Höhe des MAXLASS. Langstreckenschwimmer haben im Durchschnitt niedrigere maximale Laktat-Steady-States als Sprinter. Ein Weltklasselangschwimmer aus Deutschland hatte zum Beispiel eine MAXLASS Laktatkonzentration von 2.5 mmol/l, während Olbrecht et al. (1985) bei einem Sprinter ein MAXLASS-Wert von 9.3 mmol/l ermittelten.

Eine Variante der Bestimmung des maximalen Laktat-Steady-States (MAXLASS) liegt von Billat et al. (1994) vor. Er fordert den Test zweimal über 20 min durchzuführen. Sie empfehlen eine Belastungsintensität zwischen 60% und 80% der $\dot{V}O_{2max}$. Zwischen den Tests soll die Erholungsdauer 40 min betragen. Nach ihren Ergebnissen liegt der MaxLass-Wert zwischen 4.0 und 6.0 mmol/l.

Aunola & Rusko (1992) erkannten, dass die Laktatkonzentration über die Zeit abnimmt, wenn eine kontinuierliche Belastung unterhalb der anaeroben Schwelle durchgeführt wird. Über der anaeroben Schwelle steigt das Blutlaktat stetig.

Die der Laktatkonzentration beim MAXLASS-Verfahren scheint von der Sportart beeinflusst zu werden. Beneke und Duvillard (1996) konnten signifikante Unterschiede in den Laktatkonzentrationen beim Speedskating, Radfahren und Rudern nachweisen.

Stegmann & Kindermann (1982) führten eine 50 minütige konstante Ausdauerbelastung zur Kontrolle der individuellen anaeroben Schwelle durch. Sie fanden konstante Laktatkonzentrationen innerhalb von 3.1 bis 4.5 mmol/l.

Bei Hochleistungstriathleten und Radfahrer wurde eine große Variabilität in der Laktatkonzentrationen während des MaxLass-Verfahrens gefunden. Die Werte variierten von 3.2 bis 12.2 mmol/l (Hoogeveen et al., 1997).

Beneke und Duvillard (1996) fanden hingegen eine geringere Streuung der Laktatwerte bei Rudern, Radfahrern und Speedskatern - nach deren Untersuchungen variierten die Laktatwerte von 3.1 bis 6.9 mmol/l.

Aunola & Rusko (1992) bewiesen, dass das MAXLASS mit der individuellen anaeroben Schwelle ($r = 0.83$), aber nicht mit der fixen 4 mmol/l Laktatschwelle korreliert. Dieselben Wissenschaftler fanden eine schwache Reproduzierbarkeit der Blutlaktatkonzentrationen auf der Ausgangsleistungsstufe bei einer fixen 4 mmol/l Laktatschwelle. Sie schlossen darau, dass die fixen Blutlaktatschwellen von 2 und 4 mmol/l nur schwache Indikatoren für die aerobe und anaerobe Schwelle sind (Aunola & Rusko, 1984). Heitcamp et al. (1991) hingegen fanden eine hohe Korrelation vor und nach dem Test bei Laufgeschwindigkeit von 4 mmol/l Laktat.

Ein generelles methodologisches Problem scheint die Verzögerung des Anstiegs der Plasmalaktatkonzentration während steigender Belastung im Vergleich mit der Muskellaktatkonzentration zu sein (Péronnet & Morton, 1994; Urhausen et al., 2000).

Aufgrund dieser Tatsache hat man ein Konzept zur Bestimmung des Onset der Blutlaktatakkumulation entwickelt. Dieses Verfahren hat sich allerdings in der Leistungsdiagnostik nicht durchgesetzt.

Abbildung 6/2.1.1 illustriert die Blutlaktatkonzentration von einem Schwimmer, der drei Dauerbelastungen im Schwimmen mit einer Geschwindigkeit von 1.36 m/s (1:14 für 100 m) bis zu 1.42 m/s (1:10 für 100 m) absolvierte. Erkennbar wird, dass das MAXLASS bei einer höheren Geschwindigkeit erreicht wird, als die individuelle anaerobe Schwelle aus dem Stufentest. Bemerkenswert ist, dass der Schwimmer in der Lage war, ein Laktat-steady-state bis zu einer Schwimmgeschwindigkeit von 1.40

m/s zu erhalten. Bei einer Schwimmgeschwindigkeit von 1.42 m/s nahm die Laktatkonzentration von Anfang zu. Der Schwimmer wird wahrscheinlich bei dieser Geschwindigkeit nicht deutlich länger als 20 min schwimmen können.

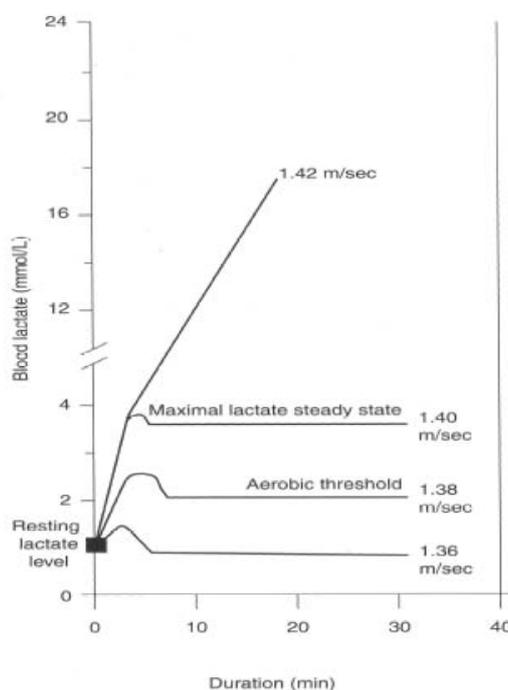


Abb. 6/2.1.1: Die Beziehung zwischen Blutlaktatkonzentrationen und Schwimmgeschwindigkeit für einen Athleten, der drei 30 min Schwimmsätze mit steigender Geschwindigkeit schwimmt (Maglischo, 2003).

Kritische Schwimmgeschwindigkeit (Critical Swimming Speed)

Wakayoshi et al. (1992) entwickelten die kritische Schwimmgeschwindigkeitsmethode, um die Schwellengeschwindigkeit für das Ausdauertraining zu beurteilen. Sie definierten die kritische Schwimmgeschwindigkeit (critical swimming speed, CSS) als die schnellste Schwimmgeschwindigkeit, die einen Schwimmer fortlaufend ohne Erschöpfung gewährleisten kann. Sie gingen zunächst davon aus, dass die kritische Schwimmgeschwindigkeit identisch ist mit der Geschwindigkeit beim MAXLASS. Das Verfahren für die Bestimmung der kritischen Schwimmgeschwindigkeit wurde von dem Konzept der kritischen Power (W_{crit}) entwickelt. Es wurde zuerst für einzelne Muskelgruppen von Monod und Scherrer (1965) vorgeschlagen. Sie definierten die kritische Power als „die Maximalrate, die einen Muskel für eine sehr lange Zeit ohne Erschöpfung gewährleisten kann“.

Die Forscher haben das kritische Powerleistungsniveau für die ganze Körperübung beim Radfahren (Moritani et al., 1981; Jenkins & Quigley, 1990), Kajakfahren (Ginn & Mackinnon, 1989) und während der Laufbandbelastung (Hughson et al., 1984) getestet. Als Ergebnis zeigte sich, dass das Intensitätsniveau der individuellen anaeroben Schwelle entspricht. Obwohl die kritische Schwimmgeschwindigkeit die individuelle anaerobe Schwelle überschätzen kann, ist es immer noch ausreichend

sensitiv für die Beurteilung der Veränderungen in der aeroben Ausdauer zu verwenden. Mit anderen Worten reflektiert eine Verbesserung der kritischen Schwimmgeschwindigkeit vermutlich eine Verbesserung der aeroben Kapazität der Athleten.

MacLaren & Coulson (1999) berichteten, dass Hochleistungsschwimmer fähig waren, ihre kritische Schwimmgeschwindigkeit um etwa 2 s pro 100m nach einer Periode intensiven Ausdauertrainings zu verbessern.

2.2.2 Schwellenwertbestimmungen

Die Schwellenintensität für die Laktatakkumulation im Blut wurde im Jahr 1930 erstmals erwähnt (Owles, 1930). Jedoch wurde das Konzept der anaeroben Schwelle erst nach der Publikation von Wasserman & McIlroy (1964) akzeptiert. In einer Untersuchung zeigten die Ergebnisse von Margaria et al. (1963) einen Laktatanstieg bei Belastungsintensitäten größer als VO_{2max} . Dagegen wiesen Wasserman & McIlroy (1964) in gleicher Studie niedriger anaerobe Schwelle als die VO_{2max} -Werte auf. Jones & Ehsam (1982) wiesen besonders darauf hin, dass Margaria et al. (1963) kurze Wettkämpfbelastungen durchführten und der Blutlaktatwert nach einigen Minuten gemessen wurde. Bei einer steigenden Belastung wird die Reaktion des Laktats von einem exponentiellen Anstieg charakterisiert (Abb. 7/2.1.2.).

Eine messbare Erhöhung der Blutlaktatkonzentration ist abhängig vom Ausdauerlevel des Sportlers. Bei Untrainierten kann bereits bei einer Belastungsintensität von etwa 50% der VO_{2max} die Laktatkonzentration ansteigen. Eine deutliche Zunahme der Laktatkonzentration beginnt bei Intensitäten von 70% bis 80% der VO_{2max} (Urhausen et al., 2000).

Der Anfang des steilen Anstiegs wird als die Laktatschwelle (lactate threshold), als Onset der Laktatakkumulation (onset of lactate accumulation), als individuelle anaerobe Schwelle (individual anaerobic threshold) oder als aerob-anaerobe Schwelle (aerobic-anaerobic threshold) bezeichnet.

Erste Untersuchungen zeigten einen Laktatanstieg bei 4.0 ± 1.0 mmol/l. (Mader et al., 1976). Insofern wurde anfangs die anaerobe Schwelle als fixe 4 mmol/l Laktatschwelle definiert.

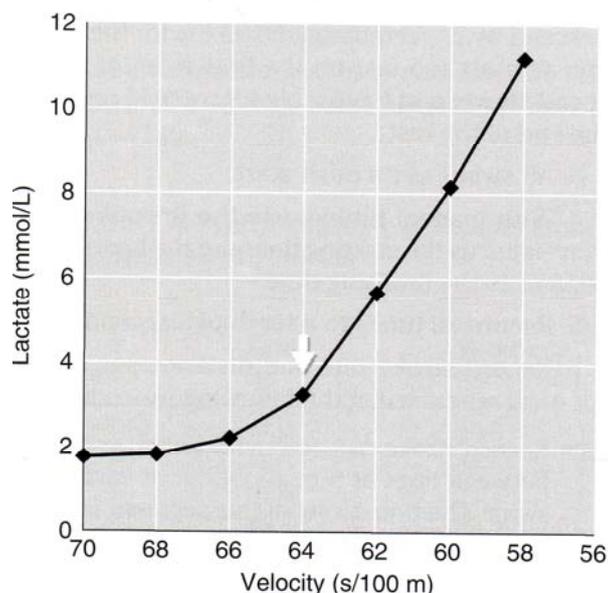


Abb. 7/2.1.2: Laktat-Geschwindigkeits-Beziehung beim 7 x 200 m Schwimmstufentest. Mittels Computer-unterstützter Analyse die anaerobe Schwelle bei 64.0 s/100 m) ermittelt (Gore, 2000).

Mitte der 70er Jahre führten Mader et al. (1976) eine Theorie des Ausdauertrainings ein, die einen wichtigen Einfluss auf das Training von Athleten in allen Ausdauersportarten einschließlich des Schwimmens hatte. Einer der Grundsätze der Theorie war, dass die aerobe Ausdauer bei einer submaximalen Geschwindigkeit im Bereich der anaeroben Schwelle am effektivsten verbessert werden kann. Der Ausdruck anaerobe Schwelle wurde dazu benutzt, um die maximale Trainingsgeschwindigkeit anzuzeigen, an der die Prozesse der Laktatproduktion und -elimination im Gleichgewicht bleiben, so dass wenig oder keine Akkumulation der Milchsäure in den Muskeln stattfindet. In den folgenden Jahren wurden viele Tests entwickelt, um die anaerobe Schwellengeschwindigkeit von Athleten zu evaluieren.

Viele Wissenschaftler und Trainer interpretierten Maders Arbeit fehl. Sie schlagen vor, dass der Großteil des Ausdauertrainings genau mit anaerober Schwellengeschwindigkeit ausgeführt werden sollte und es nicht notwendig ist, mit einer schnelleren oder langsamen Geschwindigkeit zu trainieren, um die Ausdauer zu verbessern.

Mader et al. (1976) wiesen besonders darauf hin, dass die Arbeitsdauer je Belastungsstufe nicht weniger als 4 min betragen sollte, besser seien 5 - 10 min. Die Nichtbeachtung dieses Hinweises führte in der nachfolgenden Zeit häufig zu Missverständnissen über die Brauchbarkeit der „aerob-anaeroben Schwelle“. Wie später noch aufgezeigt wird, reagiert die Laktat-Geschwindigkeits-Kurve empfindlich auf Veränderungen des gewählten Belastungsschemas.

Aunola et al. (1988) fanden, dass die Muskelfaserkomposition und die Aktivitäten von der Zitratsynthesuccinatdehydrase und LDH, 74.5% der Variation der Laktatschwelle und 67.5% der Varianz bei der 4 mmol/l Blutlaktatschwelle erklären. Im Vergleich von Sprintern und Langstrecklern wurde gezeigt, dass die anaerobe Schwelle bei Sprintathleten bei 64% der VO_{2max} gegenüber 73% der VO_{2max} bei Ausdauerathleten (Hardman et al., 1987) beträgt. Unterschiede wurden auch deutlich beim Vergleich von Sprint- und Ausdauerschwimmer (Smith et al., 1984). Diese Daten liefern auch eine Bestätigung des Muskeloxidationspotenzials für die anaerobe Schwelle, weil die Wirkung des Sprinttrainings auf die Aktivität der oxidativen Muskelenzyme begrenzt ist (Virus, 1995).

Anfang der 80er Jahre definierten Stegmann & Kindermann (1982) die individuelle anaerobe Schwelle als den Zeitpunkt, an dem die maximale Eliminationsrate und die maximale Diffusionsrate des Laktats im Gleichgewicht stehen. Das Wort „individuell“ im Schwellenbegriff bedeutet hierbei, dass der Laktatwert an der Schwelle - im Gegensatz zum Konzept von Mader - variabel ist. In der Regel nimmt der Laktatwert an der individuellen Laktatschwelle mit zunehmender Ausdauerleistungsfähigkeit ab.

Als etablierte Konzepte der Laktatschwelle sind die individuelle anaerobe Schwelle nach Simon et al. (1983) und Dickhuth et al. (1991) zu nennen. Erstere bestimmten die anaerobe Schwelle bei Schwimmern bei einer Laktatkonzentration von 1.5 mmol/l oberhalb der sog. aeroben Schwelle; diese entspricht der Belastungsintensität beim ersten Laktatanstieg auf den unteren Belastungsstufen. Ein gleiches Verfahren geben Dickhuth et al. (1991) für Läufer an. Die individuelle anaerobe Schwelle wird hier bei einer Laktatkonzentration ermittelt, die um 1.5 mmol/l höher liegt als das sog. minimale Laktatäquivalent. Das praktische Bestimmungsverfahren ist der Abb. 8/2.1.2. zu entnehmen.

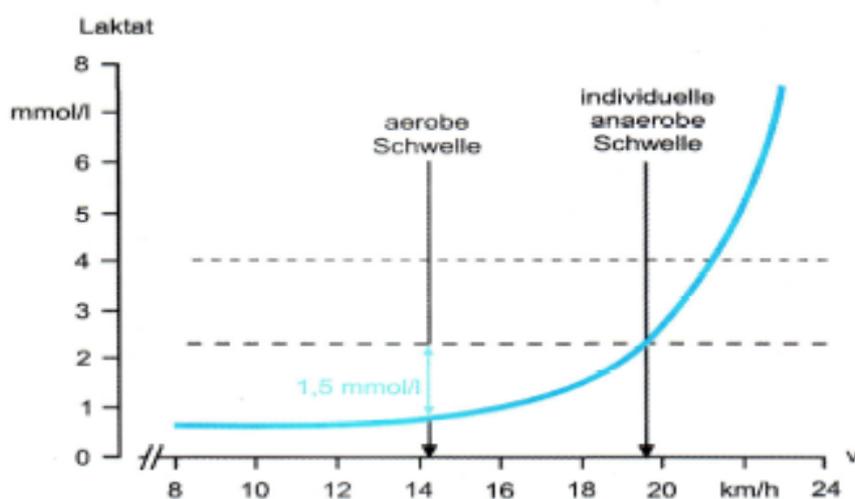


Abb. 8/2.1.2: Bestimmungsverfahren der individuellen anaeroben Schwelle (Basislaktat + 1.5-mmol/l nach Dickhuth et al., 1991 (aus de Marees, 2007).

Das individuelle Schwellenkonzept wurde erforderlich, da sich herausstellte, dass eine anaerobe Schwellengeschwindigkeit von 4 mmol/l Laktat die meisten ausdauertrainierten Athleten in der Geschwindigkeit überfordert.

Aerobe Schwelle

Als Teil der anaeroben Schwellentheorie für das Training wurde eine zweite Schwelle als die aerobe Schwelle bezeichnet. Es wurde postuliert, dass bei dieser Intensität vor allem eine Verbesserung in der aeroben Kapazität der langsamen ST-Muskelfasern (Typ I) einhergeht.

Kindermann et al. (1979) schlugen diese Minimaltrainingsgeschwindigkeit vor, an welchem der Blutlaktatwert erstmals über dem Ruhelevel sichtbar steigt. Nach deren Meinung zeigt die Zunahme des Blutlaktats über den Ruhelaktatwert an, dass die Trainingsintensität den metabolischen Prozess hinreichend stimuliert, Adaptationen zur Erhöhung der aeroben Kapazität auszulösen. Diese Geschwindigkeit korrespondiert im Allgemeinen mit einer Sauerstoffaufnahme zwischen 50% und 60% vom Maximum (Gaesser & Wilson, 1998). Einige Experten nutzen einen fixen Blutlaktatwert von 2 mmol/l, um die Trainingsgeschwindigkeit an der aeroben Schwelle zu schätzen.

In der nachfolgenden Zeit sind zahlreiche weitere laktatbasierte Schwellenkonzepte entwickelt worden. Davon sollen allerdings nur diejenigen näher beschrieben werden, denen heute im deutschsprachigen Raum noch eine praktische Bedeutung für den Schwimmsport zukommt.

Laktatzunahme über Basislinie (Baseline)

In der Abbildung 9/2.1.2 werden drei Methoden zur Beurteilung der anaeroben Schwelle gezeigt. Die Schwimmgeschwindigkeit wird bei 1.0 mmol/l Laktatanstieg über der Ruhe sowie bei 1.0 und 1.5 mmol/l über der aeroben Schwelle gestimmt. Die Unterschiede der Schwellengeschwindigkeit der drei Methoden werden beispielhaft dargestellt. Sie liegen im Bereich von 1.38 m/s (1:13 für 100 m) bis 1.41 m/s (1:11 für 100 m) für einen Anstieg von 1.5 mmol/l über dem ersten Deflektionspunkt auf die Laktat-Geschwindigkeits-Kurve.

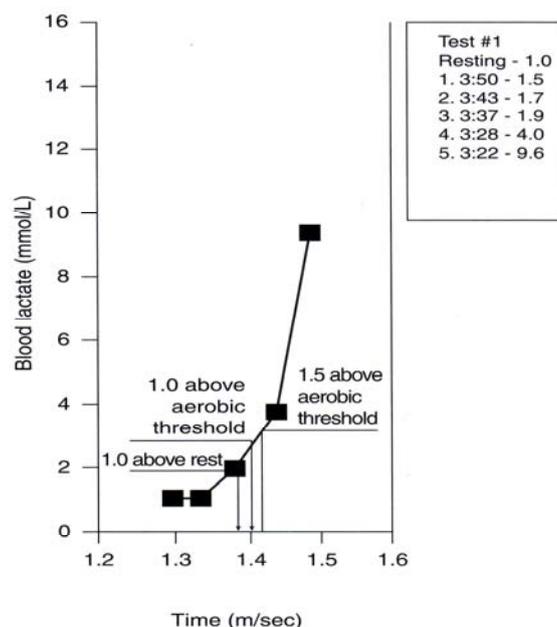


Abb.9/2.1.2: Verschiedene Methoden für Lokalisierung der anaeroben Schwelle bei der Anwendung zunehmendes Blutlaktats über gewissen vordefinierten Basisliniewerte (Maglischo, 2003).

Roecker et al. (1998) berichten von einer Korrelationen von 0.88 und 0.91 zwischen einer Schwelle, lokalisiert bei 1.5 mmol/l Laktat über der aeroben Schwelle und den aeroben Leistungen im 1500 und 5000 m Laufen.

Pfzinger & Freedson (1998) ermitteln eine Korrelation von 0.96 zwischen der Geschwindigkeit, an denen das Blutlaktat bei 1.0 mmol/l über der aeroben Schwelle und den anderen Methoden für die Bestimmung der anaeroben Schwelle steigerte. Bei dem Modell plus 1.0 mmol/l über dem Ruhelevel ergeben sich zu den anderen Schwellenwertmodellen Korrelationen von 0.90 bis 0.96.

Kreuzungsmodelle zur Berechnung der individuellen anaeroben Schwelle

Bei diesem Modell wird die individuelle anaerobe Schwelle aus der Kreuzung von zwei Geraden bestimmt. Beide Geraden präsentieren einen linearen Laktat-Geschwindigkeits-Verlauf im unteren und oberen Bereich der Laktatkonzentration. In der Abbildung 10/2.1.2 wird dieses Verfahren beispielhaft dargestellt. In diesem Fall ergibt sich am Kreuzungspunkt eine Schwimmgeschwindigkeit von 1.44 m/s oder 1:09 pro 100 m.

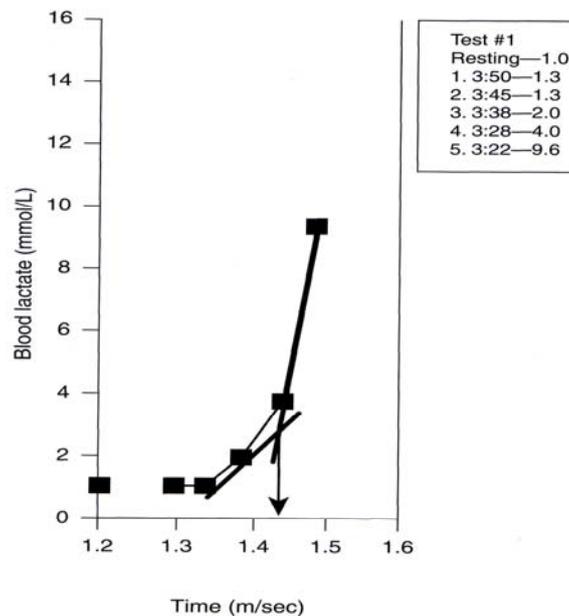


Abb.10/2.1.2: Eine einfache Methode für die Bestimmung der Lokalisierung anaerober Schwelle (Maglischo, 2003).

Eine zweite Kreuzungsmethode verwendet die ganze Laktat-Geschwindigkeits-Kurve. Mit diesem Verfahren werden die Punkte, die den ersten und letzten Belastungsstufen entsprechen, zusammengefügt, um den Buchstaben „D“ mit der Laktat-Geschwindigkeits-Kurve zu formen. Eine Linie wird dann von der Mitte der geraden Linie zum höchsten Punkt in der kurvlinearen Portion der Laktat-Geschwindigkeits-Kurve verlängert. Die anaerobe Schwellengeschwindigkeit entspricht dem Punkt der Kreuzung zwischen dieser Linie und der Laktat-Geschwindigkeits-Kurve.

Bei der Anwendung dieses Verfahrens wird eine Geschwindigkeit an der anaeroben Schwelle von 1.43 m/s oder 1:10 pro 100 m bestimmt. Dieses Verfahren zur Lokalisierung der anaeroben Schwellengeschwindigkeit wird als D-max Methode (Bishop et al., 1998) bezeichnet.

Die Modifikation der D-max Methode soll noch akkurater für die Lokalisierung der anaeroben Schwellengeschwindigkeiten sein. Bei dieser Methode ist die gerade Linie vom höchsten Punkt auf der Laktat-Geschwindigkeits-Kurve verlängert, bis zum Punkt der ersten Zunahme des Blutlaktats über der Belastungsbaseline. Die Geschwindigkeit, die der anaeroben Schwelle entspricht, wird wie beim D-max Verfahren ermittelt. Diese Methode wird als das adaptierte D-max Verfahren bezeichnet. Und wurde Schwimmern im australischen Institut für Sport verwendet, Das adaptierte D-max Verfahren ist in Abbildung 11/2.1.2 und 12/2.1.2 illustriert. Nach diesem Verfahren errechnet sich eine Schwimmggeschwindigkeit an der anaeroben Schwelle von 1.44 m/s oder 1:09 pro 100 m.

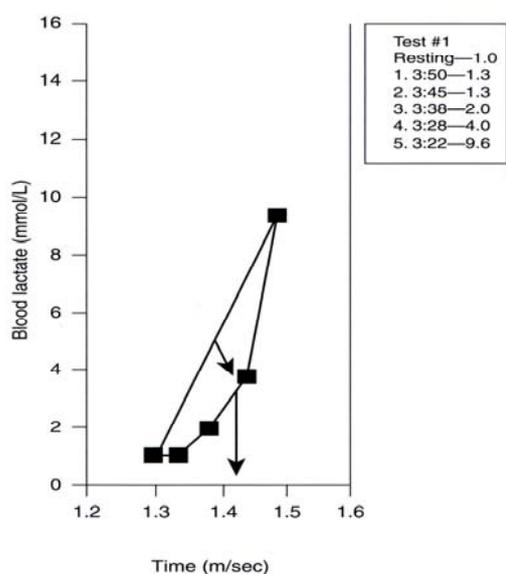


Abb. 11/2.1.2: Die D-max Methode für die Bestimmung der anaeroben Schwelle (Bishop et al., 1998).

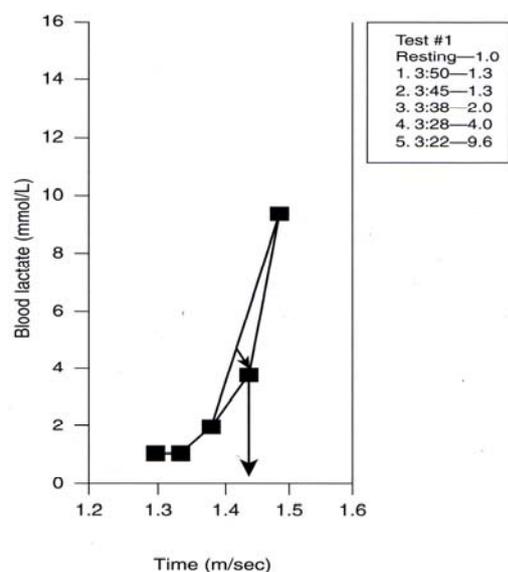


Abb. 12/2.1.2: Die adaptierte D-max Methode für die Bestimmung der anaeroben Schwelle.

Alle Schwellenmodelle basieren auf empirischen Daten. Eine fundierte wissenschaftliche Theorie, die das Konzept begründet, existiert nicht.

2.2.4 Einflussfaktoren auf die Laktat-Geschwindigkeits-Kurven

2.2.4.1 Belastungsschema und Testprotokoll

Wie oben erwähnt, resultierte die Festlegung der anaeroben Schwelle bei einem Blutlaktatwert von 4 mmol/l aus Untersuchungen auf dem Laufband mit einer Stufendauer von 5 min und einer Belastungsabstufung von 0.4 m/s. Die Reduktion der Stufendauer von 5 auf 3 Minuten (letztere die in der Bundesrepublik Deutschland am häufigsten angewandte Stufendauer) hat jedoch einen signifikanten Effekt auf die Laktat-Geschwindigkeits-Kurve und damit auf den Schwellenwert.

Heck & Hollmann (1984) fanden bei einer Reduzierung der Stufendauer um 2 min eine mittlere Verschiebung der aerob-anaeroben Schwelle um 0.16 m/s nach rechts, während eine Erhöhung der Pausendauer um 30 s eine mittlere Verschiebung um 0.07 m/s ebenfalls nach rechts ergab.

Vergleichende Untersuchungen zum maximalen Laktat-Steady-State ergaben, dass die Methode Basislaktat + 1.5-mmol/l-Methode und die individuelle anaerobe Schwelle nach Stegmann & Kindermann (1982) bei langsamem Belastungsanstieg die größten Differenzen zum Referenzwert, maximales Laktat-Steady-State zeigen. Bei der aerob-anaeroben Schwelle nach Mader ergibt sich die größte Differenz bei schnellem Belastungsanstieg.

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass in Abhängigkeit vom jeweils angewandten Schwellenkonzept mit unterschiedlichen Testschemas gearbeitet werden muss, um

das maximale Laktat-Steady-State möglichst korrekt zu bestimmen. So müssten z. B. das Verfahren nach Stegmann und Kindermann sowie die + 1.5-mmol/l-Methode mit schnellem Belastungsanstieg, das Verfahren nach Mader jedoch mit einem langsamen Belastungsanstieg durchgeführt werden.

Der Einfluss des verwendeten Testschemas auf die Laktat-Geschwindigkeits-Kurve und die verschiedenen Schwellenkonzepte ist über die Laktatkinetik begründbar. Durch entsprechende Berechnungsverfahren, deren Darstellung den vorgegebenen Rahmen sprengen würde, kann dieser Einfluss allerdings korrigiert werden (Heck, 1990).

Ein weiter Einfluss auf die Laktat-Geschwindigkeitskurve bzw. auf den Punkt der anaerob-anaeroben Schwelle ergibt sich aus den verschiedenen Wiederholungsstrecken beim Schwimmen. Zum Beispiel wird die Schwimmgeschwindigkeit bei jeder fixen Blutlaktatkonzentration größer sein, wenn die Wiederholungsdistanzen, von 100 m beim Testprotokoll ausgeführt werden und sie wird langsamer sein, wenn längere Wiederholungsdistanzen benutzt werden. Dies tritt vermutlich auf, weil mehr Laktat während des längeren Schwimmens eliminiert werden kann. In einer Untersuchung konnte festgestellt werden, dass bei 300m Wiederholungen und einer Schwimmgeschwindigkeit von etwa 1.38 m/s eine Blutlaktatkonzentration von 4 mmol/l bestimmt wurde. Werden hingegen 100 m Wiederholungen ausgeführt, war eine Schwimmgeschwindigkeit von etwa 1.47 m/s erforderlich, um die gleiche Blutlaktatkonzentration zu produzieren (Keskinen et al., 1989). Dieser Unterschied ist fast 2.50 s pro 100 m. Folglich überschätzen Bluttestprotokolle mit kurzen Wiederholungssätzen die individuellen anaeroben Schwellengeschwindigkeiten von Athleten.

Laktatstufentests reflektieren das Leistungspotenzial von Athleten genauer, wenn die Wiederholungsdistanzen nahe den Wettkampfdistanzen liegen. Das heißt, ein Protokoll, das 100 m Wiederholungen verwendet, arbeitet am besten für Sprinter, ein Protokoll mit 200 m Wiederholungen ist am besten für 200 m Schwimmer, und ein Protokoll, das 400 m Wiederholungen verwendet, ist am besten für mittlere Distanzschwimmer. Protokolle, die Wiederholungsdistanzen von 300 m bis 500 m verwenden, scheinen jedoch am besten zu sein, wenn es darum geht, die individuellen anaeroben Schwellengeschwindigkeiten zu identifizieren oder Ausdauertrainingsgeschwindigkeiten zu verordnen. Kürzere Wiederholungsdistanzen überschätzen jene Geschwindigkeiten.

2.2.4.2 Erholungszustand vor dem Test

Bei annähernd entleerten muskulären Glykogenspeichern wird die Laktat-Geschwindigkeits-Kurve nach rechts und im Anschluss an eine Kohlenhydratmast nach links verschoben. Es gibt Hinweise dafür, dass die akute Ernährung auch, z. B. reiner Traubenzucker oder eine fettreiche Mahlzeit vor der Belastungsuntersuchung,

die Laktat-Leistungs-Kurve nach links bzw. rechts verschiebt. Ursache hierfür ist die Tatsache, dass die Flussrate der Glykolyse in Abhängigkeit von der Höhe des Substratangebots höher oder niedriger liegt und damit auch die Laktatbildungsrate. Daraus folgt, dass vor leistungsdiagnostischen Untersuchungen keine Trainings- bzw. Wettkampfbelastungen stattfinden sollten, die die Glykogenspeicher entleeren könnten. Des Weiteren sollten die Ernährungsgewohnheiten vor solchen Tests nicht geändert werden (König et al., 1991; Hottenrott & Sommer, 2001; Maglisco, 2003; de Marees, 2007).

Neben der Abhängigkeit der Laktat-Geschwindigkeits-Kurve vom Belastungsschema und dem Füllungszustand der muskulären Glykogendepots sind u.a. noch folgende Einflussfaktoren zu berücksichtigen:

- Laufbandtyp bzw. Laufbandbelag,
- Laufbandgewöhnung,
- Vorbelastung,
- Blutentnahmeort sowie Laktat-Analysemethode,
- Tag-zu-Tag Variabilität der Laktat-Geschwindigkeits-Kurve.

Wie bereits angedeutet, benötigen moderne Laktat-Analyseverfahren nur noch 10-20µl (ca. einen Tropfen) Blut. Blutentnahmeort ist heute üblicherweise das Ohrläppchen. Gelegentlich wird allerdings Blut auch noch kubital-venös entnommen - und zwar besonders dann, wenn aus anderen Gründen schon ein venöser Katheter in der Ellenbeuge liegt. Die hierbei gemessenen Blutlaktatwerte liegen signifikant niedriger als die aus dem kapillaren Ohrblut.

Außerdem ist zu berücksichtigen, ob die Laktatmessung aus dem Vollblut oder aus dem Plasma erfolgt. Die Werte im Plasma liegen deutlich höher als im Vollblut, da die Erythrozyten eine niedrigere Laktatkonzentration aufweisen als das Plasma.

Biologische Größen weisen in der Regel keine fixen Werte auf, sondern zeigen - auch bei Konstanthaltung möglichst vieler externer und interner Bedingungen - eine gewisse physiologische Schwankungsbreite. Auch diese muss bei der Interpretation leistungsdiagnostischer Ergebnisse Berücksichtigung finden. König et al. (1991) untersuchten die Tag-zu-Tag-Schwankungen des Laktats bei stufenförmiger fahrradergometrischer Belastung, wobei die Probanden jeweils 10 submaximale Stufentests im Abstand von 2-3 Tagen absolvierten. Für die Leistung bei einem Blutlaktatwert von 4 mmol/l ergab sich ein mittlerer Variationskoeffizient von 4%.

Zusammenfassend kann festgehalten werden:

- Laktat ist ein sensibler Parameter zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit im Quer- und Längsschnittvergleich.
- Laktat ist auch unter Feldbedingungen ein einfacher Messparameter.

- Die Leistungsdiagnostik des Laktats kann im submaximalen Belastungsbereich erfolgen. Sie ist damit motivationsunabhängig und wirkt sich nicht störend auf den Trainingsprozess aus.
- In einer komplexen Ausdauerleistungsdiagnostik sollten Laktat und VO_{2max} bestimmt werden.
- Laktat ist ein sensitives Belastungskriterium beim Maximaltest.
- Die optimale Anwendung der Messgröße Blutlaktatkonzentration setzt detaillierte Kenntnisse über die zahlreichen internen und externen Einflussfaktoren voraus, um auf diese Weise Fehlinterpretationen zu vermeiden.

2.2.4.3 Sportartunspezifische Testung

Die Leistungsdiagnostik eines Schwimmers, zum Beispiel auf einem Fahrradergometer oder einem Laufband produziert praktisch keine zuverlässige Information über die schwimmspezifische Konditionierung dieses Schwimmers und liefert deshalb keine nützliche Empfehlung für das Schwimmtraining.

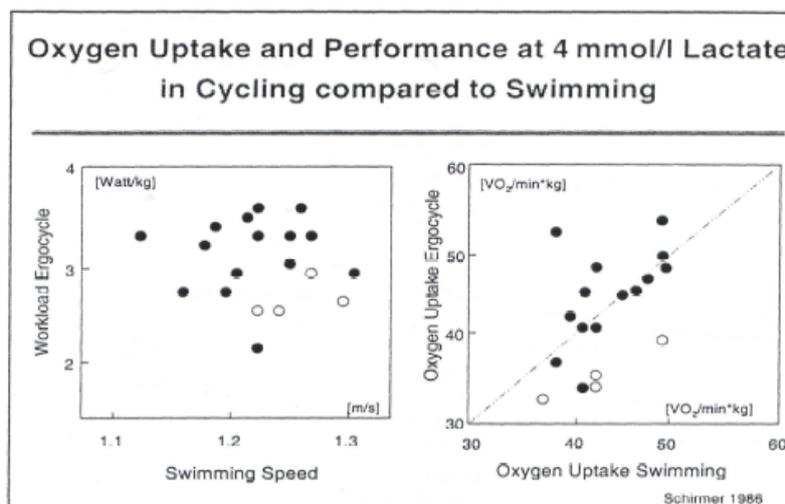


Abb. 13/2.2.4.3: Sauerstoffaufnahme und Leistung bei 4 mmol/l Laktat im Radfahren und im Schwimmen (Schirmer, 1986).

Die Abbildung 13/2.2.4.3 zeigt eindeutig, dass der Schwimmer, der eine höhere 4 mmol/l Arbeitsbelastung (Watt/kg) auf dem Fahrradergometer hat, auch schneller bei 4 mmol/l schwimmt. Die 4 mmol/l Schwimgeschwindigkeit ist ein wichtiger Parameter für die Einschätzung der Trainingsintensität und der Schwimmleistung im Wettkampf. Es ist offensichtlich, dass die 4 mmol/l Arbeitsbelastung auf dem Fahrrad keine gültige Indikation für die Wettkampfleistung oder Trainingsintensität beim Schwimmen liefert.

In den Untersuchungen von Gergley et al. (1984) und Magel et al. (1975) wurden Verbesserungen in der aerober Ausdauer nach 10 Wochen des Schwimmtrainings beobachtet. Die Probanden führten eine maximale Belastung auf dem Laufband und

im Strömungskanal sowohl vor als auch nach dem Training durch. Die gemessene Ausdauer im Strömungskanal hat von 11% bis 18 % zugenommen aber die Laufbandausdauerkapazität änderte sich nicht. Wäre das Laufband allein für den Test verwendet worden, hätten die Wissenschaftler ausgeschlossen, dass das Schwimmtraining einen Einfluss auf die kardiorespiratorische Ausdauerkapazität hat. Diese experimentellen Untersuchungen verdeutlichen die Notwendigkeit der sportartspezifischen Testung.

2.2.4.4 Disziplin- und sportartspezifische Testung

Kraul-, Rücken-, Brust- und Schmetterlingsschwimmer sollten disziplinspezifisch entsprechend ihrer individuellen Schwimmtechnik (z. B. Zugfrequenz) getestet werden, um nach den Laktattestspiegeln eine Optimierung für das Training im Kraul-, Rücken-, Brust- oder Schmetterlingstraining zu erreichen. Diese Forderung bleibt erhalten, auch wenn die 4 mmol/l Geschwindigkeit (v_{LA4}) im Freistil mit den Änderungen in der v_{LA4} im Rücken-, Brust- und Schmetterlingsschwimmen korrelieren wie die Untersuchungen von Olbrecht (2000) zeigen (Abb. 14/2.2.4.4). Außerdem ist die Korrelation relativ schwach, um die aerobe Ausdauer im Brust-, Rücken- oder Schmetterlingsschwimmen basierend auf der gemessenen v_{LA4} disziplinspezifisch verlässlich zu beurteilen.

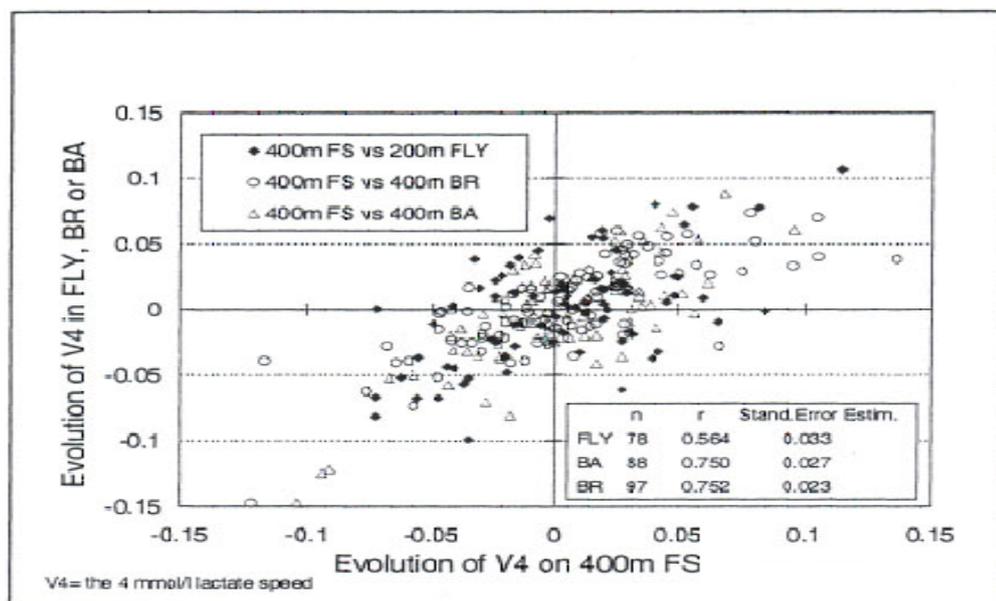


Abb. 14/2.2.4.4: Veränderungen an der 4 mmol/l Geschwindigkeit (v_{LA4}) Rücken-, Brust- und Schmetterlingsschwimmen im Vergleich zur (v_{LA4}) im Freistil (Olbrecht, 2000).

2.2.4.5 Interpretation der Laktatdiagnostik von Schwimmstufentests

Die Leistungskapazität wird regelmäßig in einem spezifischen Konditionstest eingeschätzt. Die Qualität der Testung ist ein wichtiger Indikator für die Leistungskapazität und zeigt, ob die Leistungskapazität genau spezifisch beurteilt wird. Eine wichtige Voraussetzung für einen aussagekräftigen Konditionstest ist,

dass der Athlet unter normaler Trainingsbelastung getestet wird. Für die Interpretation der Laktatdiagnostik von Schwimmstufentests ist der Bezug zur Wettkampfgeschwindigkeit von Athleten unterschiedlicher Leistungskategorien erforderlich. In Abb. 15/2.2.4.5 wird die Schwimmgeschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktat von Schwimmern auf nationalem und internationalem Niveau aufgezeigt.

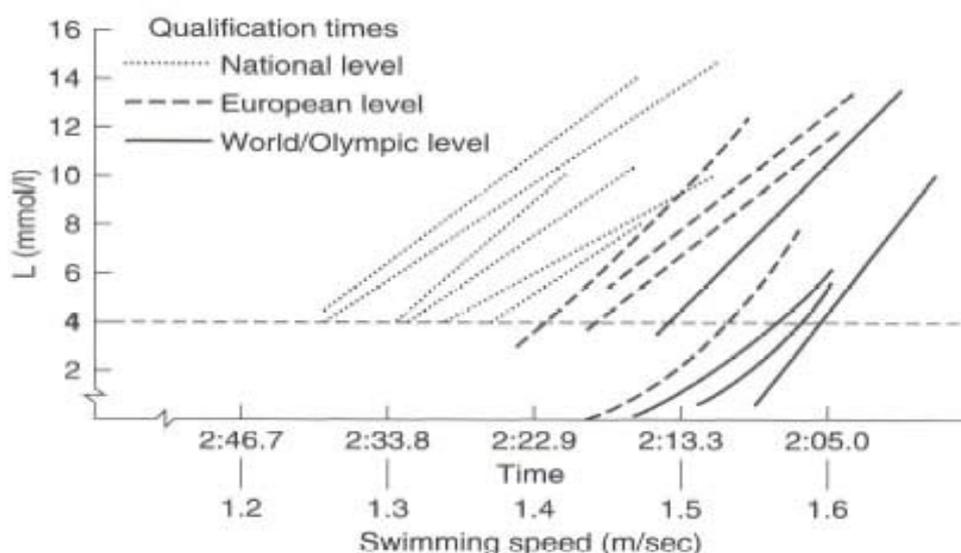


Abb. 15/2.2.4.5: Schwimmgeschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktat bei Welt-, Olympia-, European- und Nationalklasse (Leinders & Leinders, 1989).

Für die Kurzstreckenschwimmer (Sprinter) wird geschätzt, dass etwa 50% der totalen Energielieferung während eines 100m Wettkampf vom anaerob-laktiziden System geliefert wird. Der Restbetrag besteht aus 50% Kreatinphosphat und aerober Energie.

Für die Langstreckenschwimmer andererseits ist der anaerobe Laktatbeitrag niedriger und der Energiebetrag, der durch ihre Creatinphosphat- und aeroben Systeme verursacht, kann bis zu etwa 65% steigern. Da der Kreatinphosphatanteil für die Belastungen über 50 s klein ist, geschieht die Verschiebung von 50% zu 65% vornehmlich durch einen größeren Beitrag bei der aeroben Energielieferung (Olbrecht, 2000; Gastin, 2001; Wilmore & Costill, 2004).

Der Typ des Schwimmers (Sprinter oder Langstreckenschwimmer) bzw. seine spezielle Trainiertheit hat einen Einfluss auf den Prozentsatz von aerober und anaerober Energielieferung (Abb. 16/2.2.4.5).

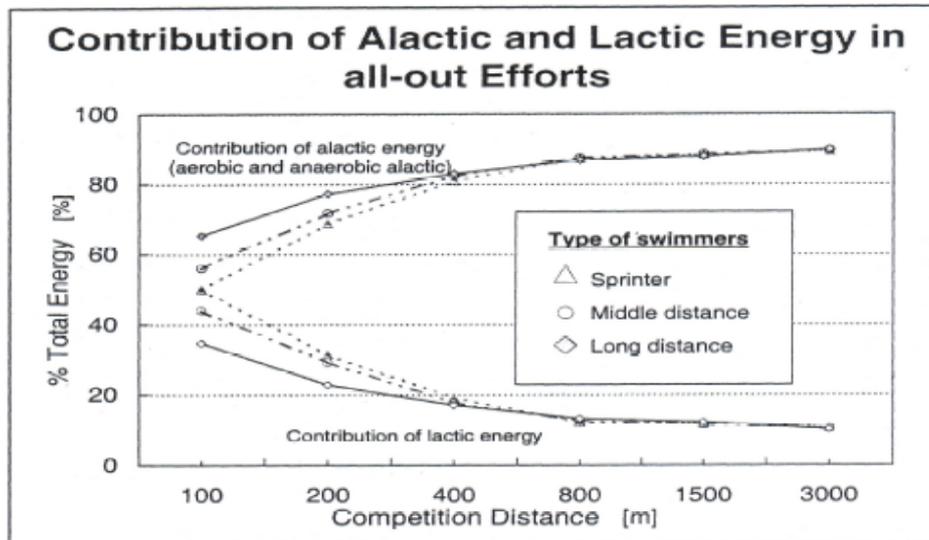


Abb. 16/2.2.4.5: Beitrag der anaerob-laktaziden, und der alaktaziden Energielieferung während Wettkampfdistanzen über 50 m bis 1500 m von Sprintern, Mittel- und Langstreckenschwimmern (Olbrecht, 2000).

Kurzstreckenschwimmer erreichen erwartungsgemäß höhere Laktatkonzentrationen als Mittel- und Langstreckenschwimmer (Abb. 17/2.2.4.5).

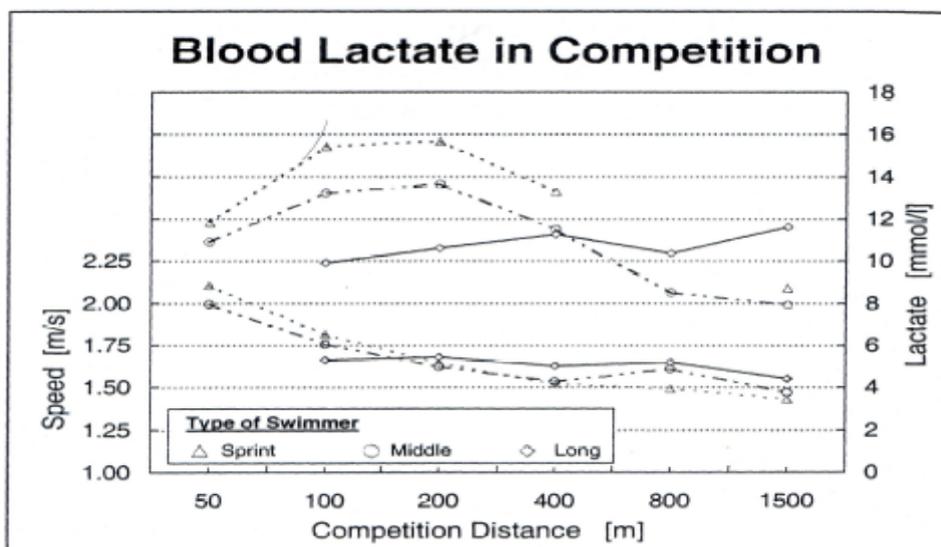


Abb. 17/2.2.4.6: Maximale Laktatkonzentration gemessen bei Schwimmstrecken von 50 bis 1500 m von Kurz-, Mittel-, und Langstreckenschwimmer (Olbrecht et al., 1989).

Kurzstreckenschwimmer haben folglich energetisch nicht die Voraussetzungen um an Schwimmwettkämpfen über längere Strecken erfolgreich teilzunehmen. Aufgrund ihrer hohen anaeroben Kapazität sammelt sich Laktat frühzeitig im Muskel an und führt zu einer exzessiven Azidose.

Die maximale Laktatkonzentration ist physiologisch limitiert, so dass eine weitere Leistungssteigerung im Schwimmen vor allem über eine verbesserte aerobe Kapazität möglich ist. Maglischo (2003), Olbrecht (1991) und Janssen (2001) haben

beobachtet, dass Schwimmer, die die besten Ergebnisse im Wettkampf erreichen, auch am schnellsten bei niedrigen Laktatkonzentrationen schwimmen. Dieser Grundsatz gilt für Kurz- (Abb. 18/2.2.4.5) und Langstreckenschwimm (Abb. 19/2.2.4.5).

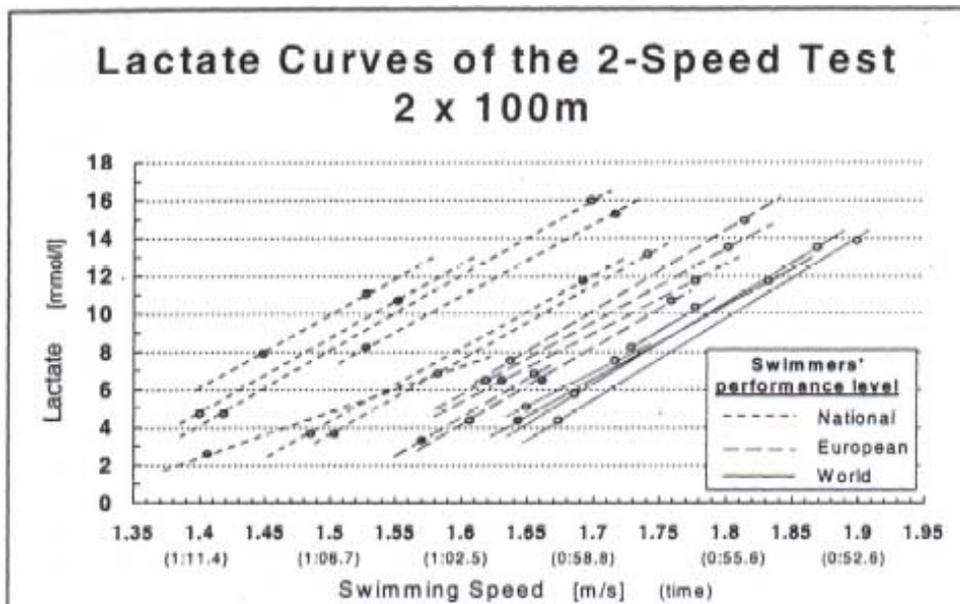


Abb. 18/2.2.4.5: Die Schwimmer mit den besten Wettkampfleistungsergebnissen über 100 m erreichen die schnellsten Zeiten bei niedrigeren Laktatkonzentrationen (Olbrecht, 1991).

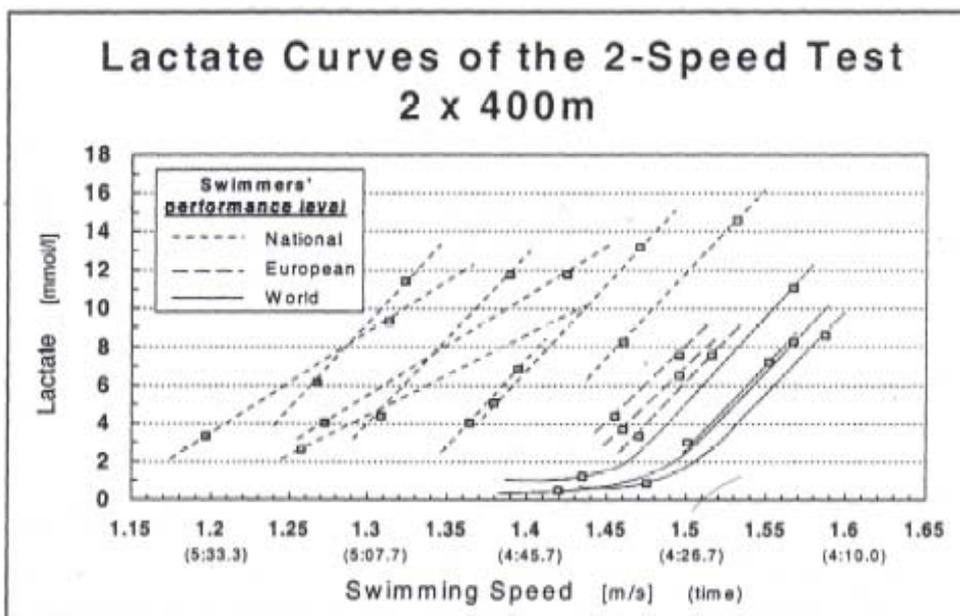


Abb. 19/2.2.4.5: Die Schwimmer mit den besten Wettkampfleistungsergebnissen über 400m erreichen die schnellsten Zeiten bei niedrigeren Laktatkonzentrationen (Olbrecht, 1991).

Die aerobe Kapazität hat folglich eine sehr große Bedeutung für die Schwimmleistung auf allen Streckendistanzen und nicht nur für Langstreckenschwimmer.

Die Interpretation von Laktatstufentests scheint schwierig zu sein, denn verschiedene Trainingsübungen für denselben Schwimmer können die gleiche Blutlaktatkonzentration ergeben. Außerdem kann dieselbe Laktatkonzentration nach einem gewissen Trainingssatz für verschiedene Schwimmer eine unterschiedliche metabolische Aktivität des aktiven Muskels repräsentieren.

Die Erkenntnisse der Laktatforschung der letzten Jahre haben zu mehr Klarheit bei der Interpretation der Messergebnisse geführt und konnten das teilweise paradoxe Verhalten aufklären. Eine realistische Interpretation einer Laktatmessung setzt voraus, dass folgende Aspekte in Betracht gezogen werden:

- der Absolutwert der Messung,
- die Proportion der aeroben und anaeroben Kapazität des Schwimmers, die mit der Testung verbunden ist,
- die Belastungsnormative der Übung (Volumen, Intensität, Dichte, Pause).

Die Laktat-Geschwindigkeits-Kurve reflektiert so das Verhältnis zwischen Geschwindigkeit und Laktat für die spezifische Belastung, die der Schwimmer durchführte. Allerdings ist, das Laktatverhalten auch von der schwimmerspezifischen Wettkampfstrecke und der Intervallpause zwischen jedem Wiederholungssatz abhängig. Es wurde bestätigt, dass sich die Laktatkurve in Abhängigkeit von der Schwimmdistanz ändert (Olbrecht et al., 1985; Olbrecht, 1991; Inal et al., 2001; Neumann et al., 2004).

- je länger die Schwimmdistanz im Laktat-Stufentest, desto früher das Laktat-Onset und desto geringer die maximale Laktatkonzentration (Abb. 20/2.2.4.5).
- je länger die Intervalltestdistanz, desto höher die Laktatkonzentration für jede Schwimmgeschwindigkeit.

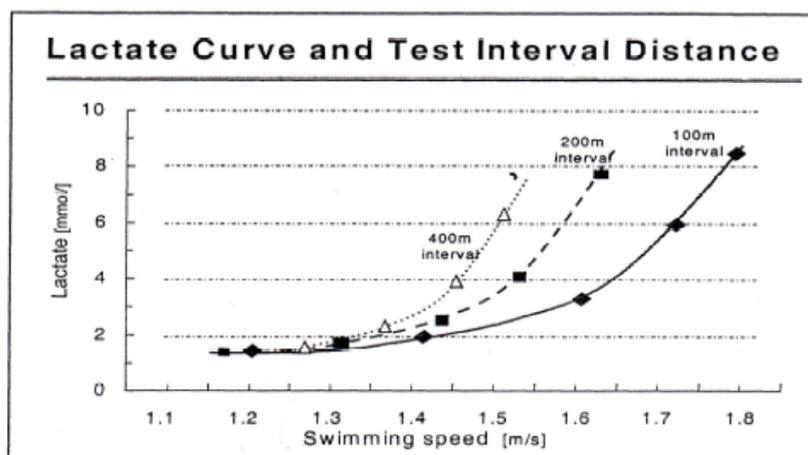


Abb. 20/2.2.4.5: Je länger die Schwimmdistanz im Laktattest, desto früher das Onset des Blutlaktats und desto geringer die maximale Laktatkonzentration (Olbrecht, 1991).

2.3 Forschungsdefizite

Die Belastungssteuerung im Schwimmsport gewinnt unter kardio-metabolischen Aspekten, insbesondere mit den Messmethoden zur Laktat- und Herzfrequenzbestimmung, immer mehr an Bedeutung.

Die Intensitäts- und Zeitvorgaben, die dem Schwimmer im Training bisher gegeben wurden, entsprechen nicht mehr den wissenschaftlichen Anforderungen an eine individuelle Belastungssteuerung. Eine große Forschungslücke besteht immer noch in der disziplinspezifischen Belastungssteuerung. In einigen Anmerkungen wurde auf dieses Problem aufmerksam gemacht. Allerdings konnte bisher keine Untersuchung das Kernproblem der individuellen laktatbasierten Belastungssteuerung für die einzelnen Schwimmdisziplinen lösen. Die leistungsdiagnostischen Befunde eines Stufentests in einer Schwimmtechnik werden unreflektiert auf andere Schwimmtechniken übertragen.

Zur Individualität und Spezifität der Stufentests auf der Basis individueller Leistungsdiagnostik verschiedener Schwimmstilen finden sich kaum zitierfähige experimentelle Untersuchungen. In der angewandten Trainingspraxis wurden die Belastungssteuerung und die Intensitätsbereiche für alle Schwimmstilarten oft auf der Basis leistungsdiagnostischer Informationen anhand der klassischen Kraulstufentests ermittelt.

Physiologisch ist die Stoffwechsel- und Herzfrequenzbeanspruchung in den verschiedenen Schwimmstilarten (Kraul-, Rücken-, Schmetterlings-, Brust- und Lageschwimmen) unterschiedlich. Auch aus biomechanischer Sicht sind die Anforderungen in den Techniken sehr unterschiedlich.

Wissenschaftliche Erkenntnisse fehlen zu dem zur Auswirkung von Hilfsmitteln im Schwimmen auf die Schwimmgeschwindigkeit und der Lichtschrittsteuerung. Offensichtlich sind die Laktatbildung und die Herzfrequenz nicht nur zwischen den Schwimmlagen sehr unterschiedlich, sondern auch innerhalb einer Schwimmlage wird die Beanspruchung durch das Schwimmen mit Hilfsmitteln, wie Paddels und Pull-Bouy beeinflusst. Deshalb erfordert eine systematische Trainingsanalyse eine schwimmartspezifische komplexe Leistungsdiagnostik in allen Schwimmstilen.

Das Kraulschwimmen ist aus biomechanischer Sicht, die rhythmischste aller Schwimmtechniken, weil die gleichmäßige Bewegung nicht durch lange Gleitphasen unterbrochen wird, sondern kontinuierlich erfolgt. Darüber hinaus bietet das Kraulschwimmen auch die schnellste Fortbewegungsmöglichkeit.

Folglich verlieren die Kraul- und Rückenschwimmer viel weniger an Geschwindigkeit während des Armzugzyklus (normalerweise: 0.2 bis 0.3 m/s). Bei Schwimmgeschwindigkeiten (0.3 – 0.5 m/s) ermöglichen die motorischen

Beanspruchungsformen (Kraft, Geschwindigkeit und Koordination) der Kraultechnik 30% geringere Energie im Vergleich zum Brust- oder Schmetterlingsschwimmen (Di Prampero et al., 1973; Holmér, 1975).

Craig & Pendergast (1979) und Craig et al. (1985) behaupteten, dass die Fluktuationen der Schwimmgeschwindigkeit während des Armzugzyklus im Kraul- und Rückenschwimmen am wenigsten (+/- 15 - 20 %) und im Schmetterlings- und Brustschwimmen (+ 45 - 50 %) am größten sind.

Eine biomechanische Wettkampfanalyse bei den Schwimmgeschwindigkeiten im 200 m Kraul-, Rücken-, Schmetterling- und Brustschwimmen zeigt deutlich, dass die biomechanisch-technischen Leistungsvoraussetzungen und -komponenten zwischen den Schwimmmarten im mathematischen Vergleich hoch signifikant differieren (Maglischo, 2003; Olbrecht 2000). Die Tabelle 8/2.3 zeigt eine komplexe biomechanisch-technische Wettkampfanalyse zwischen Kraul- und Rückenschwimmen in einem 200 m Olympia- und Weltmeisterschaftswettkampf. Dabei sind die Zwischenzeit, Zuggeschwindigkeit, Zugfrequenz, Zuglänge gelistet.

Die biomechanischen Befunde verdeutlichen die wissenschaftliche Notwendigkeit der Erforschung einer individueller disziplinspezifischen Leistungsdiagnostik und ihrer Ableitungen für die Trainingspraxis.

Tab. 8/2.3: *Biomechanisch-technische Variablen beim 200 m Kraul-, Rücken-, Schmetterlings-, und Brustschwimmen von Weltkampfschwimmern (aus Maglischo, 2003).*

Pieter van den Hoogenband—200 m freestyle—1:45.35 World record and gold medal—2000 Olympic Games Time for 100 m—47.84					
DISTANCE	TIME IN SEC	SPLIT IN SEC	VELOCITY IN M/SEC	STROKE RATE IN CYCLES/MIN	STROKE LENGTH IN M/CYCLE
50	24.44		1.95	51/46	2.29/2.56
100	50.85	26.41	1.87	48/44	2.37/2.48
150	1:18.21	27.36	1.80	46/43	2.35/2.49
200	1:45.35	27.14	1.80	47/46	2.31/2.26
Start time	6.05 (15 m)				
Turn times	7.40, 7.60, 7.88				
Finish time	2.92				
<small>Source: Competition Analyses of Swimming Events, Olympic Games, Sydney, Australia, Sept. 16–23, 2000. Prepared by the IOC Subcommission on Biomechanics and Physiology of Sport.</small>					
Lenny Krazelburg—200 m backstroke—1:58.84 First place—1998 World Swimming Championships Time for 100 m—55.00					
DISTANCE	TIME IN SEC	SPLIT IN SEC	VELOCITY IN M/SEC	STROKE RATE IN CYCLES/MIN	STROKE LENGTH IN M/CYCLE
50	28.66		1.61	46/40	2.11/2.41
100	58.81	30.15	1.57	40	2.33
150	1:28.74	29.93	1.59	43	2.23
200	1:58.84	30.10	1.57/1.54	45/46	2.11/1.99
Start time	7.03 (15 m)				
Turn time	7.87 (average of three turns)				
Susan O’Neill—200 m butterfly—2:07.93 First place—1998 World Swimming Championships Time for 100 m—29.27					
DISTANCE	TIME IN SEC	SPLIT IN SEC	VELOCITY IN M/SEC	STROKE RATE IN CYCLES/MIN	STROKE LENGTH IN M/CYCLE
50	29.08		1.63/1.57	54/50	1.82/1.90
100	1:01.71	32.63	1.52	50	1.85
150	1:34.56	32.85	1.51	50	1.81
200	2:07.93	33.37	1.48	51	1.73
Start time	7.27 (15 m)				
Turn time	9.49 (average of three turns)				
Agnes Kovacs—200 m breaststroke—2:25.45 First place—1998 World Swimming Championships Time for 100 m—1:08.68					
DISTANCE	TIME IN SEC	SPLIT IN SEC	VELOCITY IN M/SEC	STROKE RATE IN CYCLES/MIN	STROKE LENGTH IN M/CYCLE
50	33.60		1.40	36	2.36
100	1:11.66	38.06	1.31	35	2.30
150	1:47.78	36.12	1.38	37	2.18
200	2:25.45	37.67	1.33	40/42	1.99/1.88
Start time	8.67 (15 m)				
Turn time	10.94 (average of three turns)				
<small>Source: Biomechanical Analysis, 1998 World Swimming Championships, Perth, Australia, Jan. 8–18, 1998. Prepared by the Biomechanics Department, Australian Institute of Sport.</small>					

Aus den Angaben der Tabelle 8/3.2 gehen die Unterschiede zwischen den Schwimmstilen auf der Basis individueller systematischer Leistungsanalysen von Wettkampfschwimmern/innen hervor. Die maximalen Schwimmgeschwindigkeiten in verschiedenen Schwimmtechniken hängen im Wesentlichen von der biomechanisch-technischen Leistungsstruktur und den Leistungsvoraussetzungen während der sub- und maximalen Ausbelastung im Wettkampf ab.

2.4 Forschungsfragen und Hypothesen

Die aerob-anaerobe Stoffwechselleistung zwischen den Schwimmarten ist unterschiedlich. Deshalb war das Ziel dieser Arbeit, trainingsspezifische und –relevante Differenzen häufig abgeleiteter Belastungen im Schwimmsport bei Schwimmern/innen durch identische Stufentests mit schwimmspezifischen Wiederholungssätzen im Kraul, Rücken und Schmetterling zu bestimmen.

Hypothese I

Es wird angenommen, dass die spezifischen physiologisch-biomechanischen Leistungsvoraussetzungen im Kraulschwimmen im Vergleich zum Rückenschwimmen bei relativ gleichen Schwimmgeschwindigkeiten zu

- a) ... höheren signifikanten Schwimmgeschwindigkeiten bei Laktat 4 und 6 mmol/l (v_{LA4} und v_{LA6}) im Kraulschwimmen führen.
- b) ... niedrigeren signifikanten Herzfrequenzen bei Laktat 4 und 6 mmol/l (HF_{LA4} und HF_{LA6}) im Kraulschwimmen führen.
- c) ... niedrigeren signifikanten Laktatkonzentrationen an der individuellen anaeroben Schwelle im Kraulschwimmen führen.

Hypothese II

Es wird angenommen, dass die spezifischen physiologisch-biomechanischen Leistungsvoraussetzungen im Schmetterlingsschwimmen im Vergleich zum Kraul- und Rückenschwimmen bei relativ gleichen Schwimmgeschwindigkeiten zu

- g) ... geringeren signifikanten Geschwindigkeiten bei Laktat 4 und 6 mmol/l (v_{LA4} und v_{LA6}) im Kraul- und Rückenschwimmen führen.
- h) ... höheren signifikanten Herzfrequenzen bei Laktat 4 und 6 mmol/l (HF_{LA4} und HF_{LA6}) im Kraul- und Rückenschwimmen führen.
- i) absolut höheren signifikanten Laktatkonzentrationen an der individuellen anaeroben Schwelle im Kraul- und Rückenschwimmen führen.

Hypothese III

Es wird angenommen, dass bei maximaler Ausbelastung die Herzfrequenz und die Laktatkonzentration im Schmetterlingsschwimmen höher sind als im Rücken- und Kraulschwimmen.

Hypothese IV

Es wird angenommen, dass die weiblichen Schwimmerinnen im Vergleich zu den männlichen Schwimmern höhere Herzfrequenzwerte bei Laktat 4 und 6 mmol/l sowie an den individuellen anaeroben Schwellen aufweisen.

Hypothese V

Es wird angenommen, dass die weiblichen Schwimmerinnen im Vergleich zu den männlichen Schwimmern niedrigere Laktatkonzentrationen an der individuellen anaeroben Schwelle und niedrigere maximale Laktatkonzentrationen erreichen.

Hypothese VI

Es wird angenommen, dass ein spezifisches Kraulschwimmprogramm zu einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit (Rechtsverschiebung der Laktat-Geschwindigkeits-Kurve) führt und keine Veränderung im Längsschnittvergleich auf die Leistungsfähigkeit in den anderen Schwimmtechniken hat.

3 Untersuchungsmethodisches Vorgehen

3.1 Probanden

An den Untersuchungen nahmen sechs männliche und acht weibliche Leistungsschwimmer des Schwimmvereins SV Halle teil. Die soziodemografischen und anthropometrischen Daten können der Tab. 9/3.1. entnommen werden. Mit Ausnahme des Alters unterscheiden sich die Schwimmerinnen von den Schwimmern hinsichtlich Körpermasse, Körperhöhe, BMI und Bestleistung hoch signifikant voneinander ($p < 0.01$).

Tab. 9/3.1: *Charakterisierung der untersuchten Schwimmerinnen und Schwimmer (n=14) nach anthropometrischen, soziodemografischen Daten.*

Probanden (n=14)	Schwimmer (n=6)	Schwimmerinnen (n=8)	Signifikanz
	MW \pm SD	MW \pm SD	
Alter (in Jahren)	16,83 \pm 0,98	15,88 \pm 1,89	0,187
Körperhöhe (in cm)	187,5 \pm 4,32	169,89 \pm 8,02	< 0,001**
Körpermasse (in kg)	77,43 \pm 7,37	59,05 \pm 7,48	< 0,001**
BMI (in kg/m ²)	22,2 \pm 1,90	19,98 \pm 1,74	0,061
Bestleistung (200m K in Sek.)	117,69 \pm 7,81	131,31 \pm 4,23	< 0,001**
Bestleistung (200m R in Sek.)	139,31 \pm 9,48	153,08 \pm 7,68	0,016*
Bestleistung (200m S in Sek.)	135,11 \pm 8,41	147,93 \pm 7,89	0,015*

** hoch signifikant

* signifikant

3.2 Untersuchungsdesign

Die leistungsdiagnostischen Untersuchungen erfolgten im Olympiastützpunkt Magdeburg-Halle in den Monaten September bis Dezember. Insgesamt nahmen die Schwimmerinnen und Schwimmer an neun Stufentests mit Laktat- und Herzfrequenzbestimmung teil. Zu jedem der drei Messzeitpunkte wurde im Abstand von einer Woche zunächst ein Stufentest in der Technik Kraulschwimmen, dann im Rücken- und Schmetterlingsschwimmen durchgeführt. Vor dem Stufentest im Schmetterling lag ein trainingsfreier Tag und zwei Tage davor wurden im Training keine intensiven Belastungen geschwommen werden. Die Testung erfolgte nach dem Einschwimmen (1200 m) mit geringer Belastung im GA 1-Bereich in 50 m Schwimmbecken.

3.3 Beschreibung des 5 x 200 m Stufentests

Im Schwimmsport wird der 5 x 200 m Stufentest mit Laktatmessung am häufigsten angewendet. Mit diesem Test lassen sich die Veränderungen im aerob-anaeroben Metabolismus hinreichend genau diagnostizieren (Kelly et al., 1992; Maglischo, 2003).

Die Schwimmgeschwindigkeiten für die einzelnen Belastungsstufen wurden aus den 200m-Bestzeiten der jeweiligen Schwimmtechnik abgeleitet. Begonnen wurde mit 76% der Bestzeit, danach wurde die Intensität jeweils um 4% erhöht. Die letzte Stufe konnte mit maximaler Geschwindigkeit geschwommen werden. Die Blutabnahme erfolgte direkt nach jeder Belastungsstufe in den ersten 20 Sekunden. Die erste Belastungspause dauerte 3 Minuten, die folgenden jeweils 1 Minute länger, d. h. 4, 5 und 6 min. (Abb. 21/3.3.).

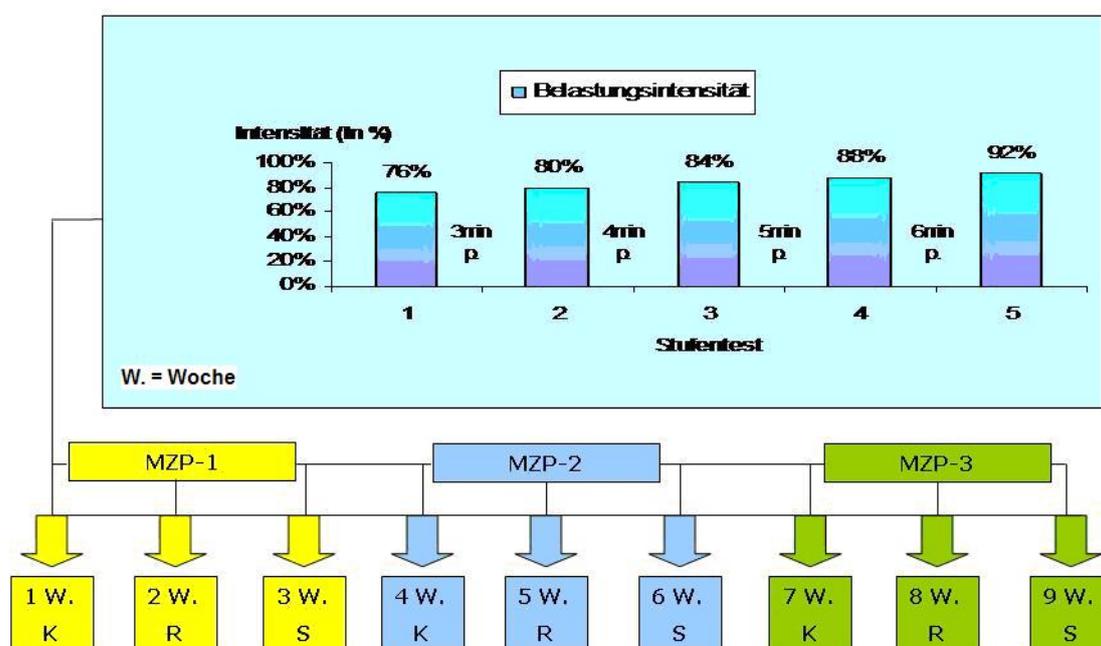


Abb. 21/3.3: Untersuchungsdesign des standardisierten 5 x 200 m Stufentests (K = Kraul, R = Rücken und S = Schmetterling).

3.4 Laktat- und Herzfrequenzbestimmung

Für die Laktatkinetik-Analyse wurde Blut aus den kapillaren Blutgefäßen des Ohrläppchens des Probanden verwendet. Vor der 1. Belastungsstufe erfolgte die Hyperämisierung des Ohrläppchens mit Finalgon®. Bei jeder Blutprobe wurden 20 µl kapillares Blut mit Kapillarpipetten entnommen und anschließend in das mit 1 ml Systemlösung gefüllte Probengefäß gegeben.



Abb. 22/3.4: Laktatanalyse der Blutproben mit dem Super GL Diagnostikgerät am Olympiastützpunkt (OSP) Halle / Magdeburg



Abb. 23/3.4: 20 µl Blutentnahme bei einer Probandin während des standardisierten 5 x 200 m Stufentests im Kraulschwimmen

Die Laktatanalyse folgte innerhalb von 24 Stunden nach dem Schwimmtest mit dem Laktatanalyser Super GL der Firma DiaSys – Diagnostic Systems. Für die Messung der Herzfrequenz wurde das Herzfrequenz-Messgerät 610i der Firma Polar eingesetzt. Die Registrierung erfolgte nach jeder Belastungsstufe in den ersten 10 s.

3.5 Datenverarbeitung und Parametrisierung

Das Analysekonzept zur individuellen anaeroben Schwelle nach Simon

Für die Laktatbestimmung der individuell anaeroben Schwelle wird die angewandte Methode von Simon (LA_{Simon}) Basislaktat plus 1.5 mmol/l sowie die Parameter (v_{Simon} und HF_{Simon}) eingesetzt. Es handelt sich um eine semiwissenschaftliche Methode, die sich in der trainingswissenschaftlichen Praxis bewährt hat.

Das Analysekonzept zur Herzfrequenz und Geschwindigkeit bei fixen Schwellen (4 und 6 mmol/l)

In diesem Analysekonzept erfolgte die Bestimmung der Herzfrequenz und Geschwindigkeit im Zusammenhang mit fixen Schwellen von 4 und 6 mmol/l. Diese Option wurde durch das Programm winlactat 2.0 pro berechnet und interpretiert.

Das Analysekonzept zu den Untersuchungsbereichen

In der vorliegenden Studie wird die Steigung der Laktat-Geschwindigkeits-Kurve für jede Schwimmart (-technik) berechnet. Die Spanne wird von der individuellen anaeroben Schwelle ($IANS$) nach Simon bis zur maximalen Laktatkonzentration (LA_{max}) eingesetzt. Die Messungseinheit wird in (mmol/l/m/s) bestimmt. Die Steigung der Laktatkurve könnte als wichtiger Indikator für die Untersuchungsbereiche und die Belastungssteuerung in jeder einzelnen Schwimmlage nachgewiesen werden. Die größte Steigung des Laktats entspricht der größten Beanspruchung.

Das Analysekonzept zur Parameter v_{max} , LA_{max} und HF_{max}

Die maximale Geschwindigkeit (v_{max}), die maximale Laktatkonzentration (LA_{max}) und die maximale Herzfrequenz (HF_{max}) haben große Bedeutung als Ausgangsgröße für die davon abgeleiteten Trainingsbereiche. Sie hängen vom Lebensalter, vom Geschlecht, von der Leistungsbereitschaft, von der muskulären Mobilisationsfähigkeit und von der sportartspezifischen Leistungsfähigkeit ab (Hottenrott, 2004). Für die maximale Leistung werden die Parameter (v_{max} , LA_{max} und HF_{max}) im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen berechnet. Darüber hinaus werden die Parameter zunächst in den jeweiligen Schwimmzügen miteinander verglichen.

3.6 Deskriptive und prüfende Statistik

Für jede Schwimmtechnik werden die Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameter berechnet. Normal verteilte Daten werden mittels T-Test für gepaarte Stichproben miteinander verglichen. Die statistische Bearbeitung erfolgt mit dem Programm SPSS® 12.0 Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0.05$ festgesetzt Nicht normal verteilte Daten werden (abhängigen) mittels nichtparametrischer Testverfahren untersucht. Bei abhängigen Variablen kommt der Wilcoxon-Test zum Einsatz, unabhängige Variablen werden mit dem Mann-Whitney-U-Test verglichen.

3.7 Kritische Anmerkungen zur Methodik

Bei der Durchführung der Untersuchung in 50 m Schwimmbecken muss die Wassertemperatur einen bestimmten Grad aufweisen, da unterschiedliche Wassertemperaturen die Ergebnisse beeinflussen können. Dazu wurde jeweils vor Beginn des Stufentestes die Wassertemperatur anhand eines Thermometers kontrolliert.

Für die meisten Schwimmer stellte die Benutzung der Pulsuhr (Polar 610i) ein Problem dar. Die Positionierung der Pulsuhren auf der Brust bietet keine Stabilisierung ohne die Schwimmanzugunterstützung ausschließlich beim Start und der Wende, um die Durchführung der Stufentests fortzusetzen. Darüber hinaus hatten einige Schwimmer, primär jene mit einer größeren Leistungsfähigkeit, schon Erfahrungen aus früheren Untersuchungen (aber nur an Land) mit dem Umgang der Pulsuhr. Die einmonatliche Textvorbereitung und der Testbeginn bei einer relativ langsamen Geschwindigkeit sollten dazu beitragen, eine problemlose Gewöhnung an die Apparatur zu gewährleisten. Bei schneller Geschwindigkeit scheint es problematisch, die Pulsuhr auf der Brust festzuhalten. In der Praxis zeigte sich, dass die Herzfrequenzmessung anhand der Pulsuhr mit Schwimmanzug eine starke Beeinflussung auf die Körpertemperatur und/oder andere physiologischen Parameter implizieren kann. Deshalb entschieden die Trainer, dass die Herzfrequenzmessung nach jeder Belastungsstufe aufgenommen wurde.

In den meisten Fällen bei submaximaler und maximaler Geschwindigkeit im Schwimmen (sogar beim Start) kam es zu Problemen bei der Herzfrequenzmessung. Diese entstanden durch einen Kontaktverlust des Thoraxgurtes des Polar-Sporttesters mit der Haut des Probanden, welches durch das anströmende Wasser verursacht wurde. Die Herzfrequenzmessung wurde dann in den ersten 10 s der Pause durch Registrierung der HF an der Brust durchgeführt. Bei der Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle kann es zu Ungenauigkeiten gekommen sein, weil es sich bei der angewandten Methode von Simon (Basislaktat plus 1.5 mmol/l) um eine semiwissenschaftlichen Methode handelt, die sich zwar in der trainingswissenschaftlichen Praxis bewährt hat, für die aber lediglich empirische Begründungen vorliegen. Gerade bei Sprintschwimmern ist vielfach eine höhere Schwelle zu beobachten (Simon & Thiesmann, 1986; Simon, 1994).

In der Untersuchung kam es zweimal zu Ruhezeiten (Trainingslage / Wettkampf), da eine negative Beeinflussung (eine Linkverschiebungsauswirkung beim Rückenschwimmen und beim Schmetterlingsschwimmen im MZP 2 und MZP 3) auf die Laktat-Geschwindigkeits-Kurve der männlichen Probanden verursachte.

Die bestimmten Schwimmgeschwindigkeiten wurden durch den Trainer und die Assistenten festgelegt. Leider konnte die Schwimmgeschwindigkeit durch eine Lichtschrittmacheranlage nicht kontrolliert und gesteuert werden. Diese angewandte Methode ist in der Schwimmhalle nicht verfügbar.

Die Durchführung der Untersuchung im 50 m Schwimmbecken hat einen Vorteil. In der Literatur wurde gezeigt, dass die physiologischen Parameter und ihre entsprechenden Schwimmgeschwindigkeiten im Strömungskanal weniger zuverlässige und prädiktive Informationen als die Schwimmleistung im Pool bieten. In der Untersuchung wurde geprüft, dass Tests im Schwimmbecken die aktuelle 400 m Schwimmgeschwindigkeit besser als Tests im Strömungskanal vorhersagten (Wakayoshi et al., 1992).

4 Ergebnisse

In den Abbildungen 24/4.1 bis 29/4.1 werden die Laktat-Geschwindigkeits-Kurve und die Herzfrequenzwerte der beiden Schwimmgruppen (Männer: n=6, Frauen: n=8) in den untersuchten Schwimmtechniken von MZP 1, 2 und 3 gegenübergestellt. Die Bestimmung der individuellen anaeroben Laktatschwelle (IANS) wurde nach der Methode von Simon (Simon et al., 1979 & 1981; Simon & Thiesmann, 1986; Simon, 1994) vorgenommen und die fixen Laktatschwellen bei Laktatkonzentration von 2, 4, 6 und 8 mmol/l.

In den Abbildungen 30/4.2 bis 35/4.2 werden die Laktat-Geschwindigkeits- und Herzfrequenz-Kurven der beiden Schwimmgruppen der gleichen Schwimmart von MZP 1, 2 und 3 gegenübergestellt, um mögliche Änderungen des Laktats sowie der Herzfrequenz bei den männlichen und weiblichen Probanden zu analysieren.

4.1 Deskriptive Analyse von Laktat und Herzfrequenz in Abhängigkeit vom Schwimmstil

Laktat und Herzfrequenz der männlichen Schwimmer (n = 6, MZP 1-3)

Aus den Laktat-Geschwindigkeits-Kurven geht hervor, dass die steigenden Kurven des Schmetterlings in allen Belastungsstufen, einen höheren Anstieg aufweisen. Auffällig ist die niedrige Steigung der Laktatkurve im Schmetterlings- und Kraulschwimmen (41.77 und $46.80 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Die Kurve des Rückenschwimmens zeigt einen höheren Anstieg ($62.81 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Dabei weisen die Laktat-Geschwindigkeits-Kurven beim Schmetterling immer höhere Laktatwerte bei geringeren Schwimmgeschwindigkeiten auf. Aus der Abb. 24/4.1 lässt sich erkennen, dass die individuellen aeroben/anaeroben Laktatschwellen bei relativ gleichen Schwimmgeschwindigkeiten in den drei Schwimmtechniken K, R und S unterschiedlich sind.

Betrachtet man die jeweils individuelle Belastungsstufe, so kann ein höherer Anstieg bezüglich der Herzfrequenz (Schläge/min) zwischen den Schmetterling, Rücken und Kraul festgestellt werden. Die maximalen Herzfrequenzen (HF_{max}) weisen zwischen den Schwimmarten (S, R und K) fast identische Anstiege auf.

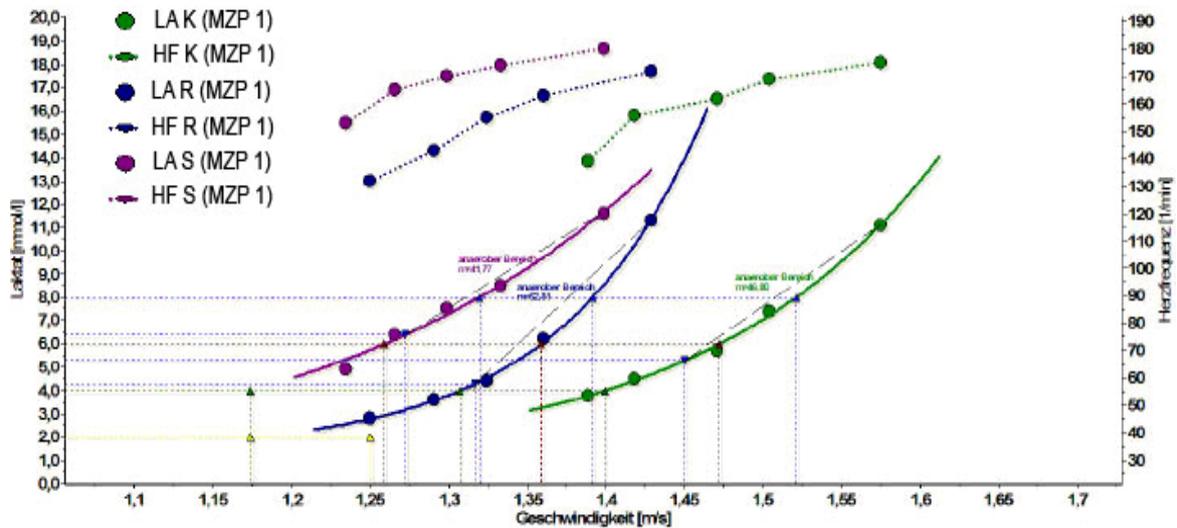


Abb. 24/4.1: Laktat-Geschwindigkeits-Kurven und Herzfrequenzwerte im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen der Schwimmer (n=6, MZP 1).

Bei der Darstellung der Laktat-Geschwindigkeits-Kurven im MZP 2 ergeben sich für das Schmetterlingsschwimmen in allen Belastungsstufen höhere Anstiege im Vergleich zum Rücken- und Kraulschwimmen. Einerseits zeigt die Steigungsform beim Rücken eine steilere Kurve, andererseits zeigt sie beim Schmetterling und Kraul eine flachere Kurve im MZP 1 der Untersuchung. Die Steigungswerte wurden von links nach rechts mit 35.2, 66.7 und 37.3 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ für S, R und K bestimmt (Abb. 25/4.1). In den Belastungsstufen der jeweiligen Schwimmarten besteht ein höherer Anstieg bezüglich der Herzfrequenz für Schmetterlingsschwimmen. Zwischen S, R und K besteht kein signifikanter Unterschied bezüglich der maximalen Herzfrequenz (HF_{max}).

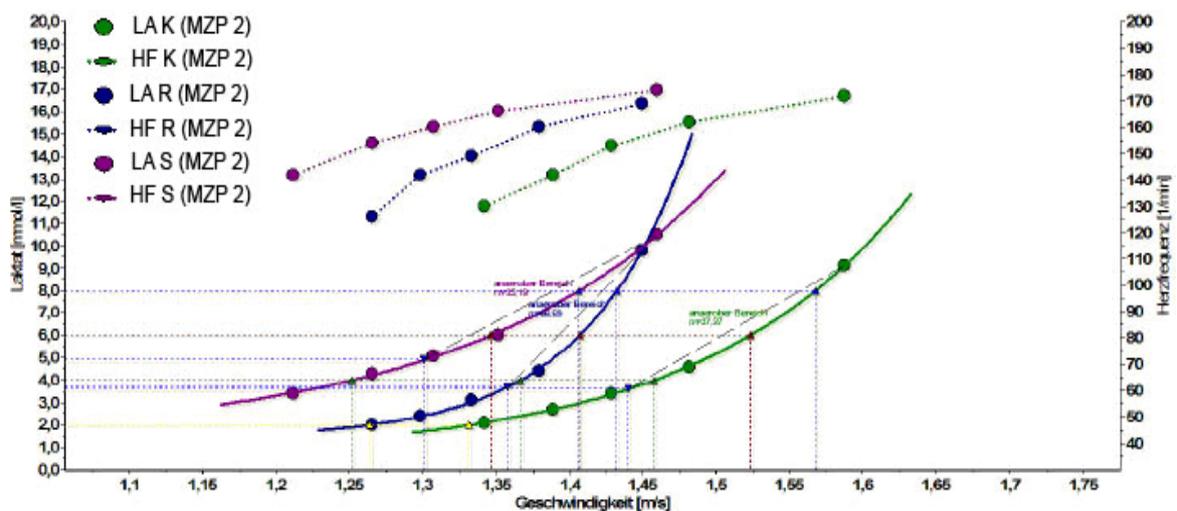


Abb. 25/4.1: Laktat-Geschwindigkeits-Kurven und Herzfrequenzwerte im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen der Schwimmer (n=6, MZP 2).

Die Laktatkinetik der jeweiligen Schwimmmarten zeigen auch unterschiedliche Anstiege und Steigungen im MZP 3. Beim Schwimmen wurde eine höhere Laktatsteigung ($43.1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) nachgewiesen. Die anderen Steigungswerte bezüglich Rücken und Kraul wurden mit 69.4 und $50.1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ berechnet (Abb. 26/4.1).

Die Herzfrequenzkurven zeigen, dass die individuellen HF-Werte in allen Belastungsstufen für Schmetterling am höchsten sind. Hingegen wies die maximale Herzfrequenz in allen Belastungsstufen ein ähnliches Bild auf.

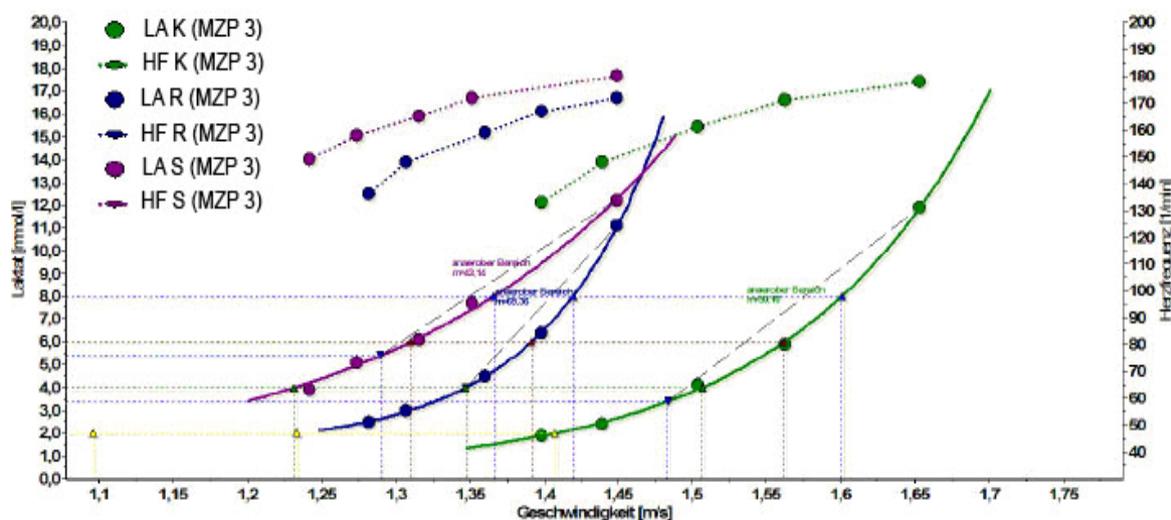


Abb. 26/4.1: Laktat-Geschwindigkeits-Kurve und Herzfrequenzwerte im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen der Schwimmer ($n=6$, MZP 3).

Laktat und Herzfrequenz der weiblichen Schwimmerinnen ($n = 8$, MZP 1-3)

Das Schmetterlingsschwimmen hat auf allen vergleichbaren Belastungsstufen bei den weiblichen Probanden einen höheren Anstieg als die anderen Schwimmmarten (R und K). Die abgeleiteten anaeroben Untersuchungsbereiche im Schmetterlings-, Rücken- und Kraul wurden mit 44.08 , 54.25 und $31.51 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ bestimmt. Beim Rückenschwimmen hat die Steigung der Laktatkonzentration im niedrigen Geschwindigkeitsbereich einen höheren Wert im Vergleich zu den jeweiligen anderen Schwimmmarten (S und K) zur Folge (Abb. 27/4.1).

Bei der Herzfrequenz ergeben sich in allen Belastungsstufen signifikant höhere Werte für Schmetterling im Vergleich zum Kraulschwimmen und ein fast identisches Bild im Rückenschwimmen nach der zweiten Belastungsstufe.

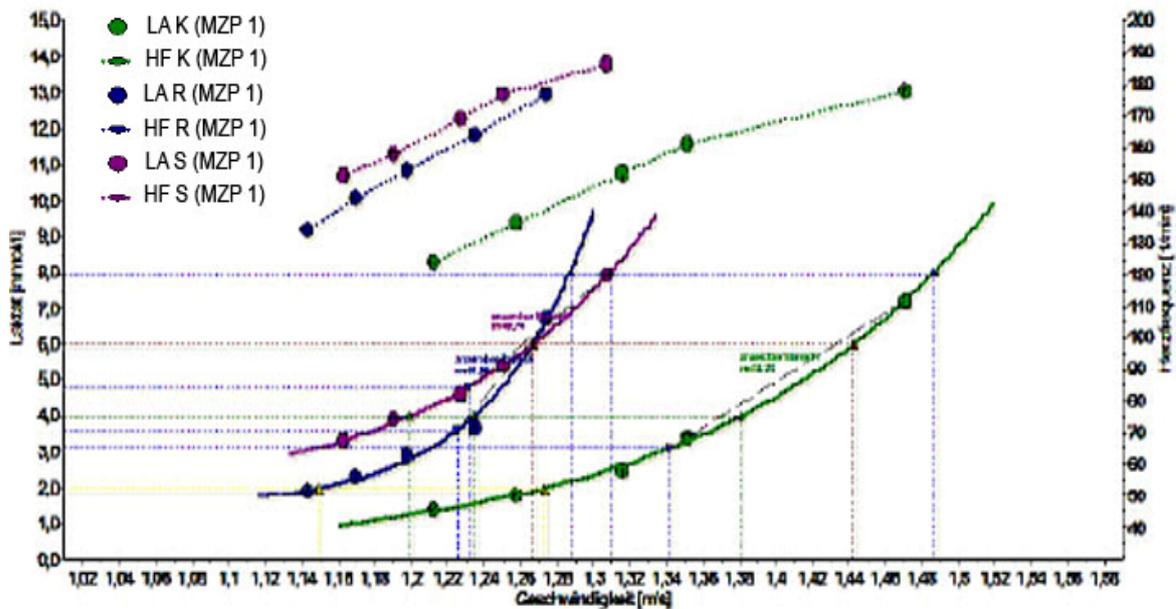


Abb. 27/4.1: Laktat-Geschwindigkeits-Kurve und Herzfrequenzwerte im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen der Schwimmerinnen (n=8, MZP 1).

Zum MZP 2 wiesen die Laktatwerte in allen Belastungsstufen einen höheren Anstieg im Schmetterling auf. Der höchste Wert der Laktatsteigerung wurde im Rücken nachgewiesen (Abb. 28/4.1).

Die Herzfrequenz zeigt deutlich, dass die Werte im Schmetterling einen höheren Anstieg als in den beiden anderen Schwimmarten (R und K) haben. Die HF-Kurven zeigen darüber hinaus einen linearen Verlauf zur Geschwindigkeit (m/s) in allen untersuchten Schwimmtechniken.

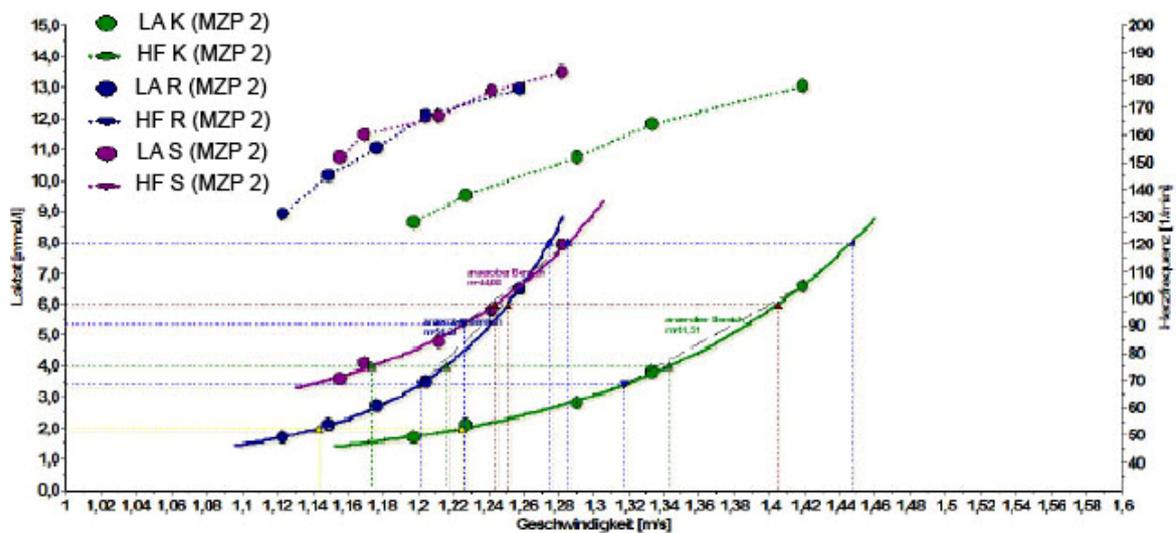


Abb. 28/4.1: Laktat-Geschwindigkeits-Kurve und Herzfrequenzwerte im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen der Schwimmerinnen (n=8, MZP 2).

Betrachtet man die Laktatwerte und ihre aerob-anaeroben Schwellen im Schmetterlings-, Rücken- und Kraulschwimmen im MZP 3, so ist zu beobachten, dass beim Schmetterling in allen Belastungsstufen, höhere Laktatkonzentrationen vorliegen. Für die anderen Schwimmarten (R und K) sind niedrige Laktatwerte gemessen worden. Die Laktatsteigung weist den höchsten Wert beim Rückenschwimmen mit $74.6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ auf. Die anderen Schwimmarten S und K liegen bei 46.3 und $35.0 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Abb. 29/4.1).

Bei der Betrachtung der HF-Kurven ist klar zu erkennen, dass die Herzfrequenzwerte im Schmetterling in allen Belastungsstufen höhere Werte aufweisen.

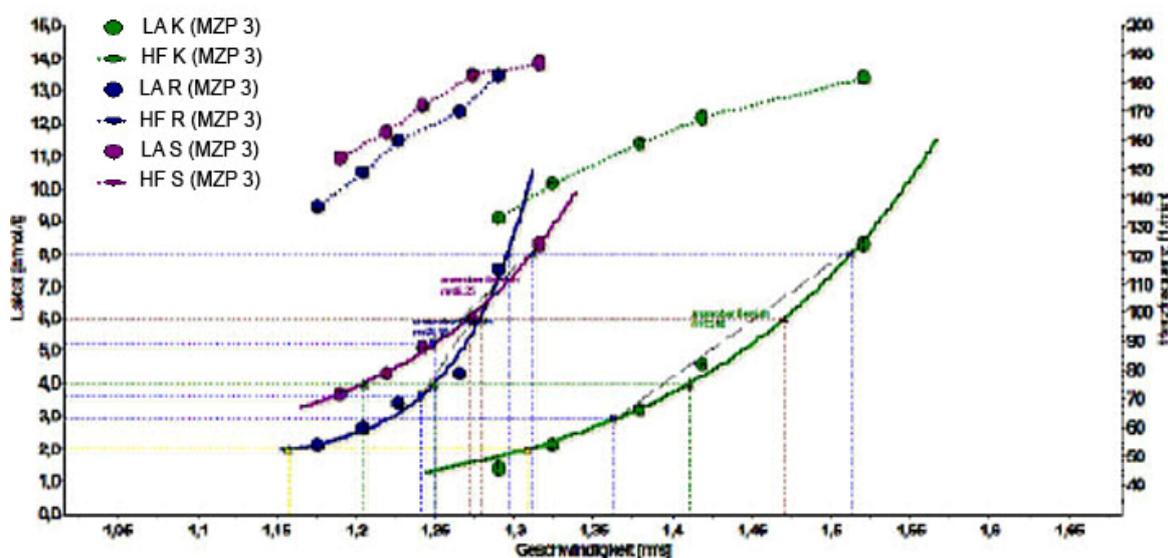


Abb. 29/4.1: Laktat-Geschwindigkeits-Kurve und Herzfrequenz im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen der Schwimmerinnen (n=8, MZP 3).

4.2 Schwimmleistungsentwicklung im Untersuchungszeitraum (MZP 1, MZP 2 und MZP 3)

Veränderungen von Laktat und Herzfrequenz männlicher Schwimmer im Untersuchungszeitraum

Beim Kraulschwimmen wiesen die Laktatwerte zu allen Messzeitpunkten eine deutliche Rechtsverschiebung auf. Das Ergebnis kann durch die Interpretation der gesamten Laktatkurven sowie der individuell anaeroben und fixen Schwellen bestätigt werden. Aus den Laktat-Geschwindigkeits-Kurven geht hervor, dass keine negative Anpassung (Linksverschiebung) im Kraulschwimmen vorliegt. Die Steigungswerte für die drei Messzeitpunkte betragen 46.8 , 37.3 und $50.1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Abb. 30/4.2).

Die folgende Grafik (Abb. 30/4.2) stellt die Herzfrequenzwerte des Kraulschwimmens zum MZP 1, MZP 2 und MZP 3 dar. Zusätzlich sind in der Darstellung die Laktatwerte (mmol/l) angegeben. Die HF-Werte zum MZP 3 sind niedriger als zu den

anderen Messzeitpunkten. Zwischen MZP1 und MZP 2 zeigten sich keine Unterschiede.

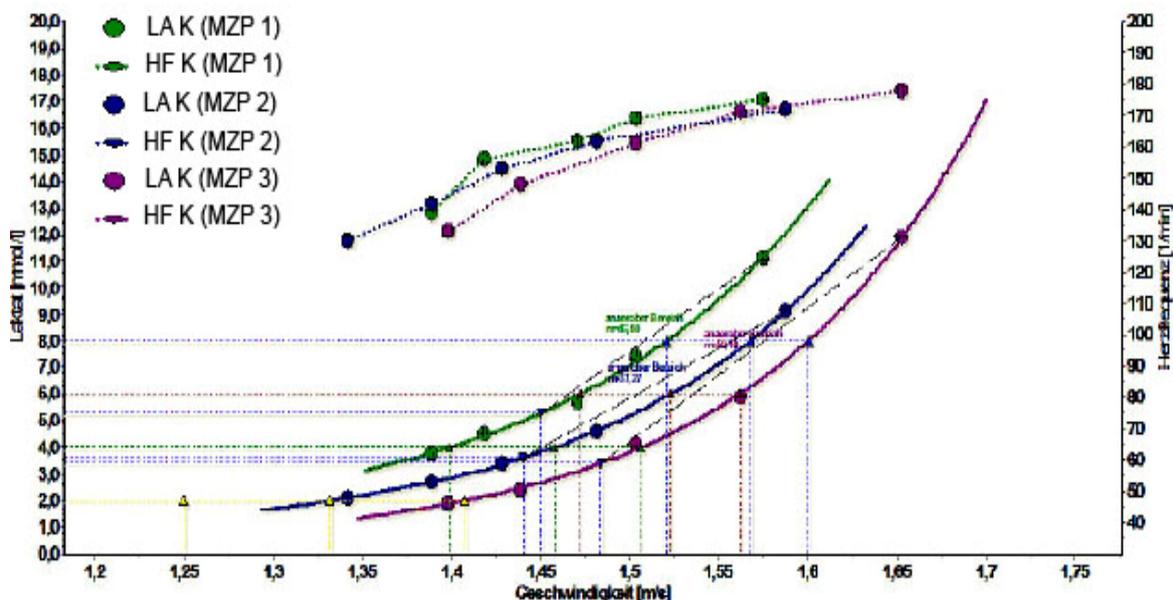


Abb. 30/4.2: Veränderung von Laktat und Herzfrequenz beim Kraul im Untersuchungszeitraum der Schwimmer (n=6, MZP 1-3).

Demgegenüber wiesen die Laktatkurven zwischen MZP 2 und MZP 3 eine Linksverschiebung auf. Die Steigung im anaeroben Bereich des Rückenschwimmens beträgt 62.8, 70.0 und 66.7 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Abb. 31/4.2).

Die Rückenherzfrequenz zeigt die Anzahl der Herzfrequenz im MZP 1, MZP 2 und MZP 3 der jeweiligen Schwimmer pro Minute. Hier ist zu erkennen, dass die HF-Werte in allen Belastungsstufen fast identisch waren.

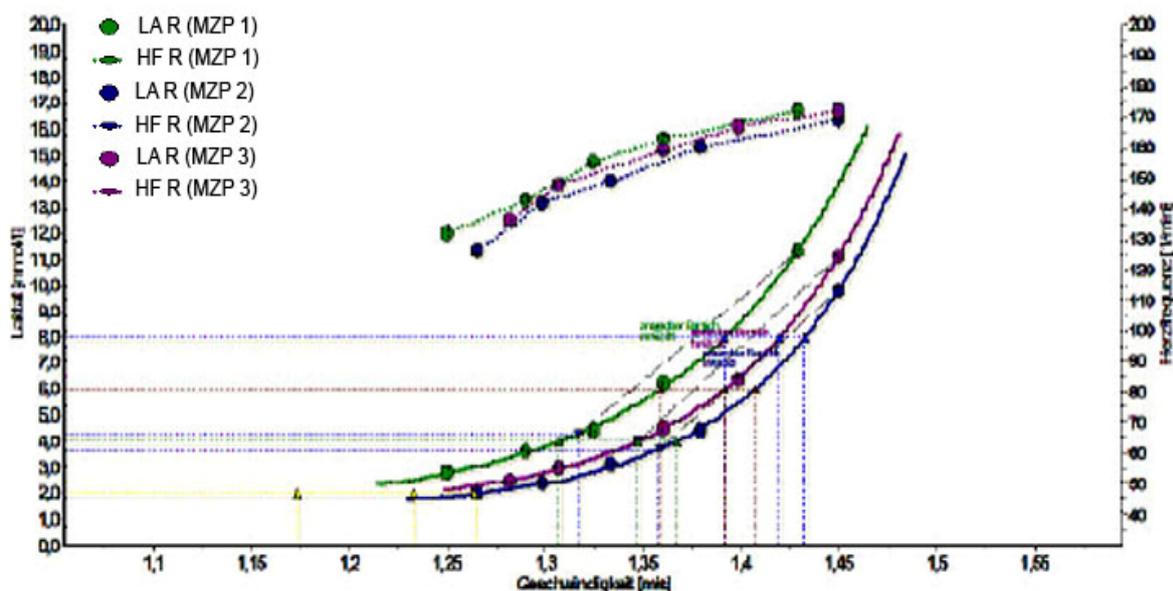


Abb. 31/4.2: Veränderung von Laktat und Herzfrequenz beim Rücken im Untersuchungszeitraum der Schwimmer (n=6, MZP 1-3).

Im Schmetterling zeigte sich bei den Schwimmern eine starke Rechtsverschiebung zwischen MZP 1 und MZP 2. Differenzierte Aussagen ergeben sich bei der Betrachtung der individuellen und fixen Laktatschwellen bei 2, 4, 6 und 8 mmol/l. Die Berechnung der Laktatsteigung hat im anaeroben Schwimmbereich der männlichen Schwimmer vergleichbare Werte von 41,8, 43,1 und 35,2 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ergeben (Abb. 32/4.2).

Bei den Herzfrequenzkurven ergibt sich für den MZP 3 eine Linksverschiebung zu MZP 2 und zwischen MZP 1 und MZP 2 eine deutliche Rechtsverschiebung.

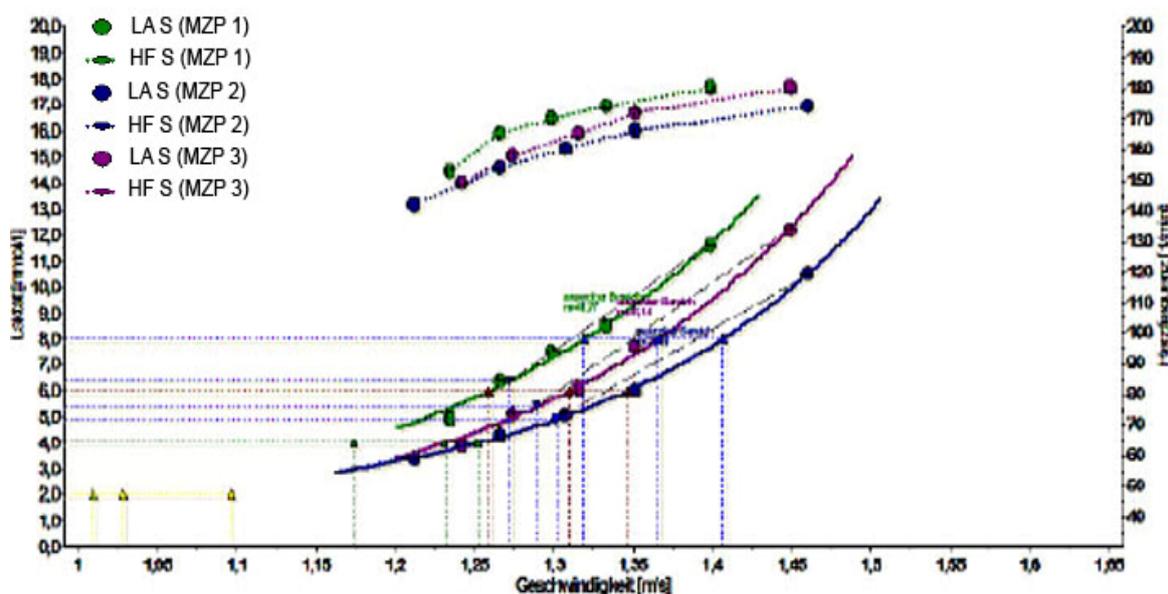


Abb. 32/4.2: Veränderung von Laktat und Herzfrequenz beim Schmetterling im Untersuchungszeitraum der Schwimmer ($n=6$, MZP 1-3).

Veränderungen von Laktat und Herzfrequenz weiblicher Schwimmer im Untersuchungszeitraum

Bei der Darstellung der Laktatkurven im Kraulschwimmen lässt sich eine deutliche Rechtsverschiebung feststellen mit höheren Laktatwerten zum MZP 3. Der Laktatanstieg zu den MZP 1, 2 und 3 beträgt 31,5, 31,8 und 35,0 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Abb. 33/4.2).

Die Herzfrequenzkurven skizzieren ein ähnliches Bild, da die Herzfrequenzwerte zum MZP 2 und MZP 3 niedrigere Werte bei höheren Intensitäten aufwiesen. Die maximale Herzfrequenz ist zu allen drei Messzeitpunkten gleich hoch (Abb. 33/4.2).

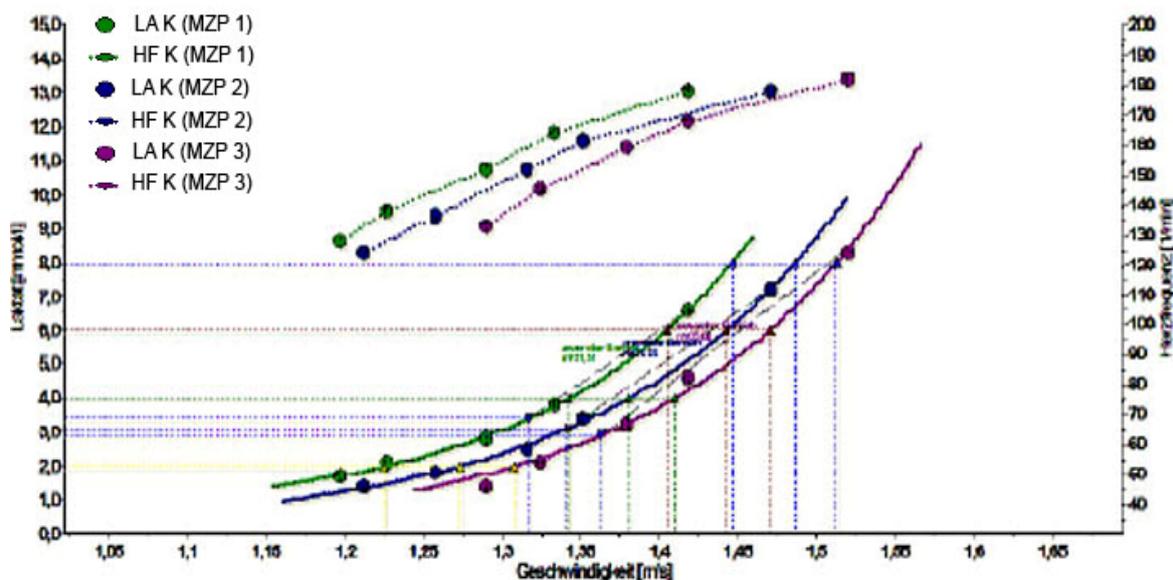


Abb. 33/4.2: Veränderung von Laktat und Herzfrequenz beim Kraul im Untersuchungszeitraum der Schwimmerinnen (n=8, MZP 1-3).

Die Laktat-Geschwindigkeits-Kurven im Rückenschwimmen zeigen eine deutliche Rechtsverschiebung. Die Steigung des Laktats beträgt 54.3, 61.9 und 75.0 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ zu den MZP 1, 2 und 3. Betrachtet man die Steigungswerte im Vergleich, so ist zu beobachten, dass die Laktatsteigung während des Untersuchungsverlaufs an Dynamik gewinnt. Das Ergebnis kann mit der Steigerung der Geschwindigkeit erklärt werden (Abb. 34/4.2).

In der Abbildung (Abb. 34/4.2) ist die Herzfrequenz im Rückenschwimmen während des Untersuchungsverlaufs dargestellt. Betrachtet man den Unterschied zwischen den MZP 1-3, so ist zu beobachten, dass die HF-Werte zum MZP 3 etwas niedriger sind, als zu den MZP 1 und 2 sind.

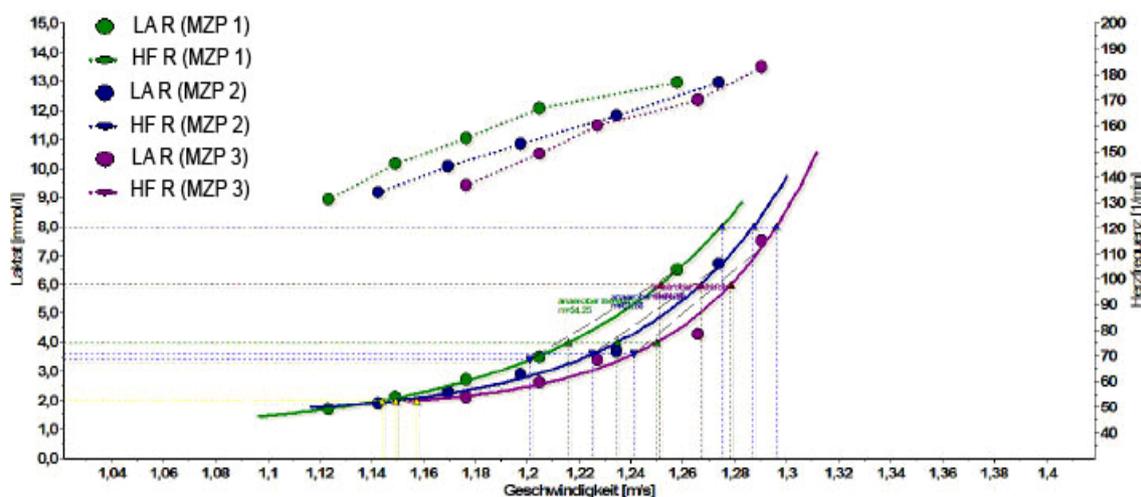


Abb. 34/4.2: Veränderung von Laktat und Herzfrequenz beim Rückenschwimmen im Untersuchungszeitraum der Schwimmerinnen (n=8, MZP 1-3).

Aus der Laktat-Geschwindigkeits-Kurve im Schmetterling geht hervor, dass die Laktatwerte zu den MZP 2 und 3 niedrigere Werte als zum MZP 1 aufweisen. Dabei liegen die Laktatwerte zwischen den MZP 2 und 3 auf gleichem Niveau (Abb. 35/4.2).

Betrachtet man die Herzfrequenzwerte im Vergleich, so ist festzustellen, dass die gesamten HF-Werte im unteren Level im MZP 2 und im MZP 3 niedrige Werte als im MZP 1 aufweisen. Im oberen Level zeigen die Herzfrequenzwerte einen ähnlichen Verlauf (Abb. 35/4.2).

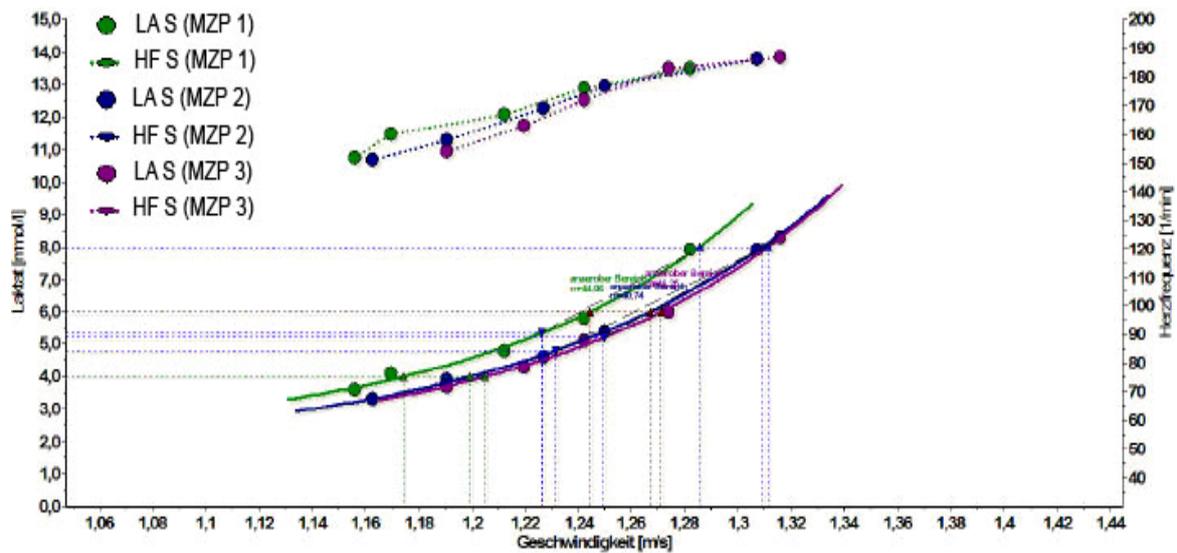


Abb. 35/4.2: Veränderung von Laktat und Herzfrequenz beim Schmetterling im Untersuchungszeitraum der Schwimmerinnen (n=8, MZP 1-3).

4.3 Statistische Analyse der Untersuchungsparameter in Abhängigkeit vom Schwimmstil

Untersuchungsparameter der männlichen Schwimmer

Schwimmgeschwindigkeiten bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA4})

Die Schwimmgeschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktatkonzentration ist bei den männlichen Schwimmern zu allen drei Messzeitpunkten zwischen den Schwimmtechniken signifikant ($p \leq 0.05$) unterschiedlich. Die höchsten Schwimmgeschwindigkeiten werden im Kraul erreicht. (Abb. 36/4.3 und Tab. 10, 11 und 12/4.3 im Anhang).

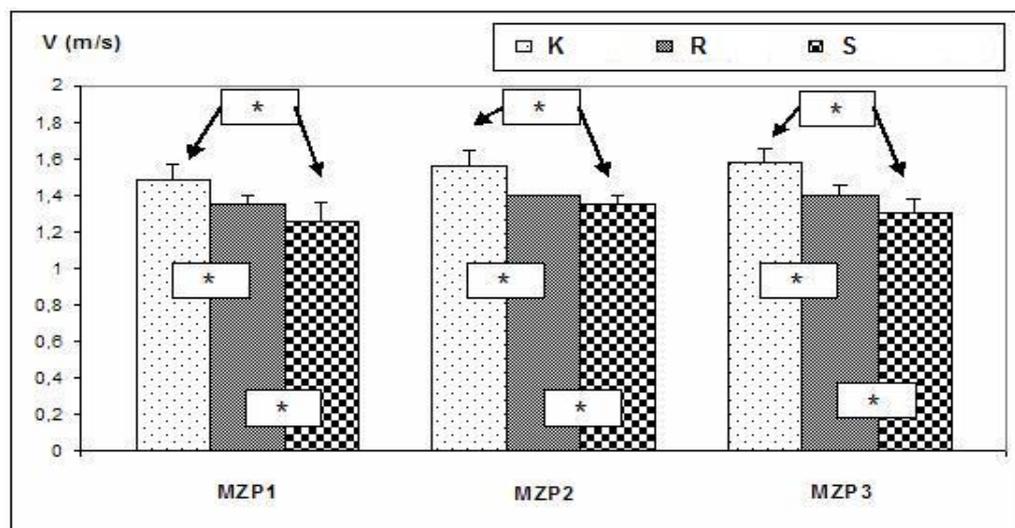


Abb. 36/4.3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA4}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der männlichen Schwimmer ($n=6$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Herzfrequenzen bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (HF_{LA4})

Für die Herzfrequenz bei 4 mmol/l Laktatkonzentration lässt sich ein einheitliches Bild zum MZP 2 und 3 feststellen. Ein signifikanter Unterschied konnte dabei nicht ermittelt werden. (Abb. 37/4.3 und Tab. 10, 11 und 12/4.3 im Anhang).

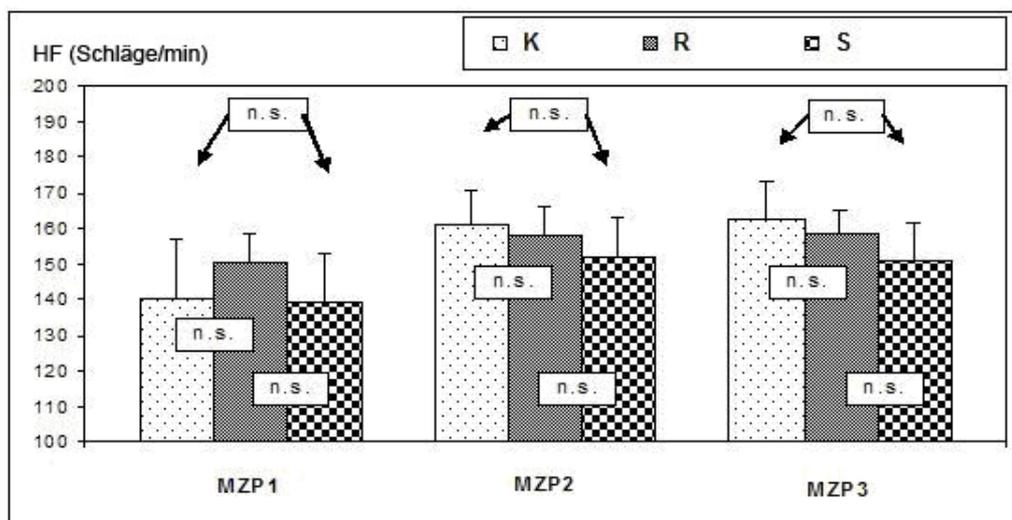


Abb. 37/4.3: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (HF_{LA4}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der männlichen Schwimmer ($n=6$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (n.s. = nicht signifikant, $p > 0.05$).

Schwimmgeschwindigkeiten bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA6})

Die mittleren Schwimmgeschwindigkeiten bei Laktatkonzentration von 6 mmol/l zeigen ein einheitliches Bild wie bei v_{LA4} . Die Geschwindigkeit im Kraulschwimmen unterscheidet sich signifikant zum Rücken- und Schmetterlingsschwimmen. (Abb. 38/4.3 und Tab. 10, 11 und 12/4.3 im Anhang).

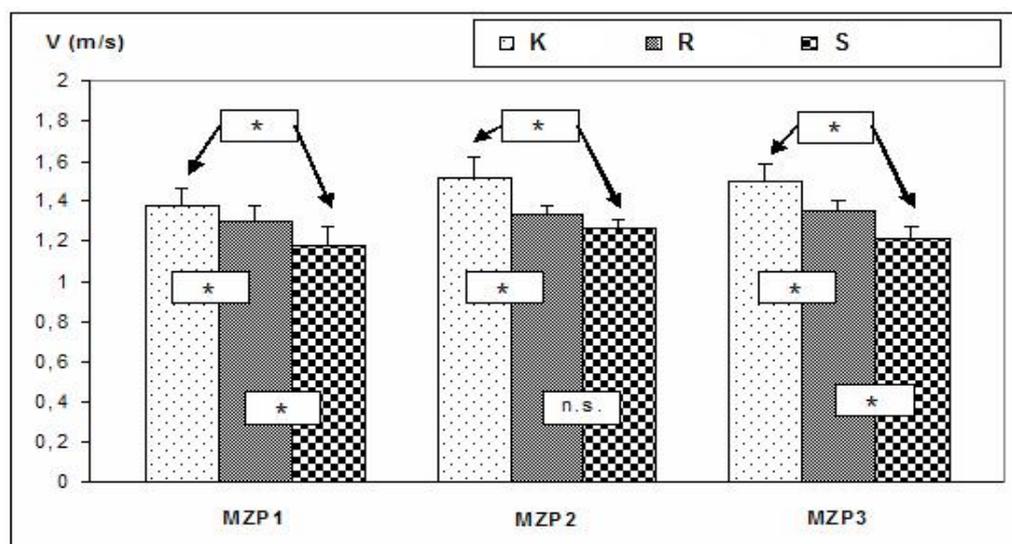


Abb. 38/4.3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (V_{LA6}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der männlichen Schwimmer ($n=6$) zu den drei Messzeitpunkten (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Herzfrequenzen bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (HF_{LA6})

Betrachtet man jeweils die Werte der Herzfrequenz bei 6 mmol/l Laktat (HF_{LA6}) während des gesamten Untersuchungsverlaufs, so kann kein signifikanter

Unterschied ($p \leq 0,05$) zwischen den Schwimmarten K, R und S festgestellt werden (Abb. 39/4.3 und Tab. 10, 11 und 12/4.3 im Anhang).

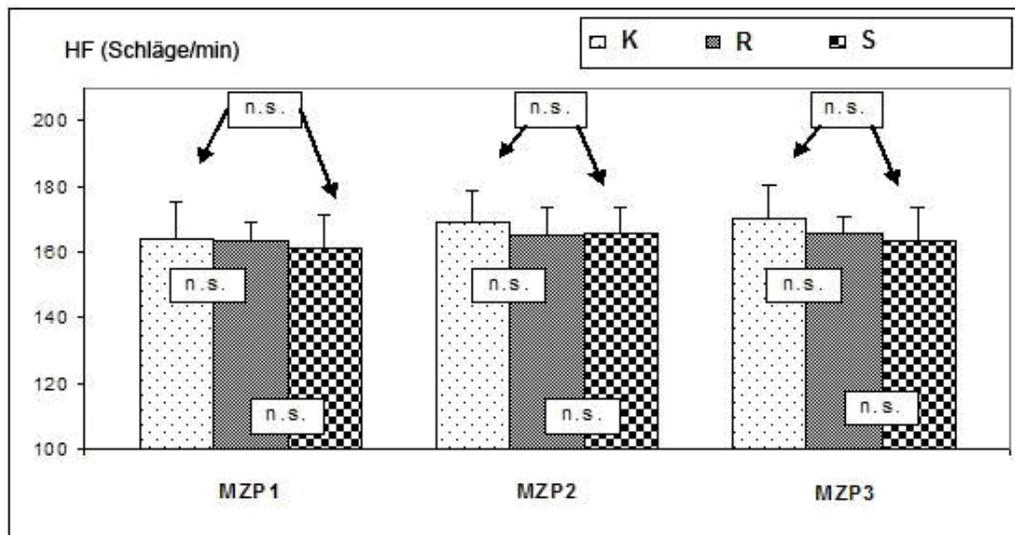


Abb. 39/4.3: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (HF_{LA6}) im K, R und S der männlichen Schwimmer ($n=6$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (n.s. = nicht signifikant, $p > 0,05$).

Schwimmgeschwindigkeiten an der IANS nach Simon (v_{Simon})

Bei den Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) an der IANS nach Simon ergeben sich für das Kraulschwimmen zu allen Messzeitpunkten signifikant höhere Werte als für die Schwimmtechniken Rücken und Schmetterling. Lediglich zwischen R und S konnte zu allen Messzeitpunkten kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Abb. 40/4.3 und Tab. 10, 11 und 12/4.3 im Anhang).

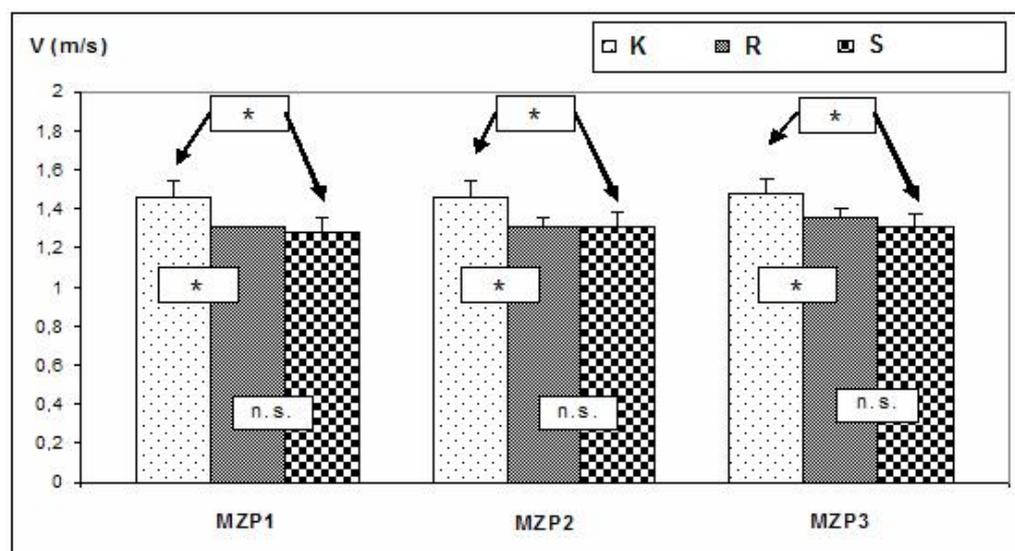


Abb. 40/4.3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) an der IANS nach Simon (v_{Simon}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der männlichen Schwimmer ($n=6$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0,05$).

Laktatkonzentrationen an der Individuellen anaeroben Schwelle nach Simon (LA_{Simon})

Bei der statistischen Analyse der Laktatwerte nach Simon wird deutlich, dass die Schmetterlingstechnik die höheren Werte verglichen mit den anderen Schwimmlagen R und S aufweist. Der höchste Laktatwert findet sich zum MZP 1. Im Einzelfall konnte keine Signifikanz zwischen R und K zum MZP 2 ermittelt werden (Abb. 41/4.3 und Tab. 10, 11 und 12/4.3 im Anhang).

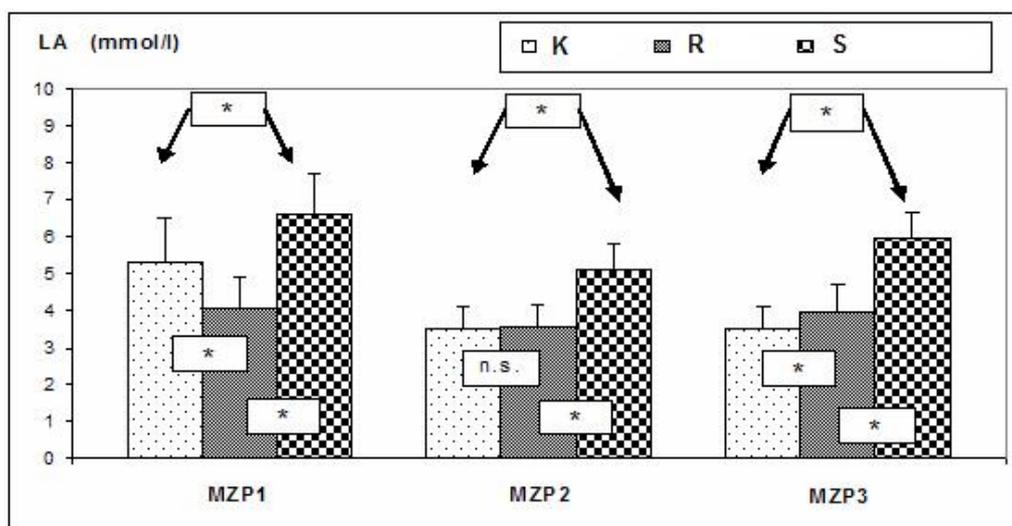


Abb. 41/4.3: Errechnete mittlere individuelle anaerobe Schwelle (IANS in mmol/l) nach Simon (LA_{Simon}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der männlichen Schwimmer ($n=6$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP) (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Herzfrequenzen an der IANS nach Simon (HF_{Simon})

Betrachtet man die Herzfrequenz an der individuellen anaeroben Schwelle nach Simon (HF_{Simon}) zwischen K, R und S, so wird deutlich, dass bei allen Schwimmtechniken keine Unterschiede vorliegen. Lediglich zum MZP 1 konnte ein signifikanter Unterschied zwischen R und S festgestellt werden. Die HF-Werte im Schmetterling sind höher als im Kraul und Rücken (Abb. 42/4.3 und Tab. 10, 11 und 12/4.3 im Anhang).

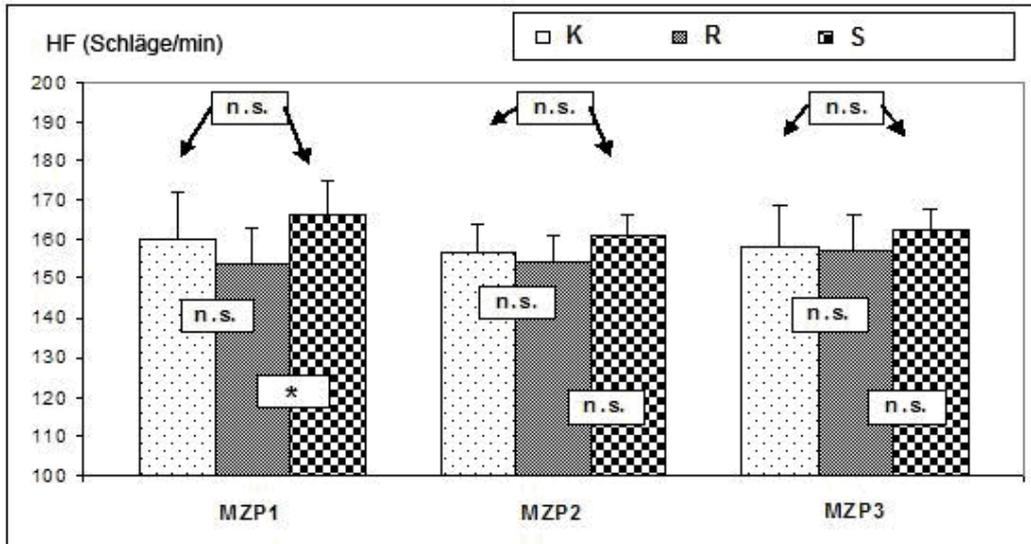


Abb. 42/4.3: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) an der IANS nach Simon (HF_{Simon}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der männlichen Schwimmer ($n=6$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (n.s. = nicht signifikant, $p > 0.05$).

Maximale Schwimmgeschwindigkeiten (v_{max})

Bei der Betrachtung der Werte bei maximaler Schwimmgeschwindigkeit ist erkennbar, dass das Kraulswimmen zu allen MZP signifikant höhere ($p < 0.05$) Schwimmgeschwindigkeiten aufweist als Rücken und Schmetterling. Die maximalen Geschwindigkeiten zwischen R und S unterscheiden sich nicht (Abb. 43/4.3 und Tab. 10, 11 und 12/4.3 im Anhang).

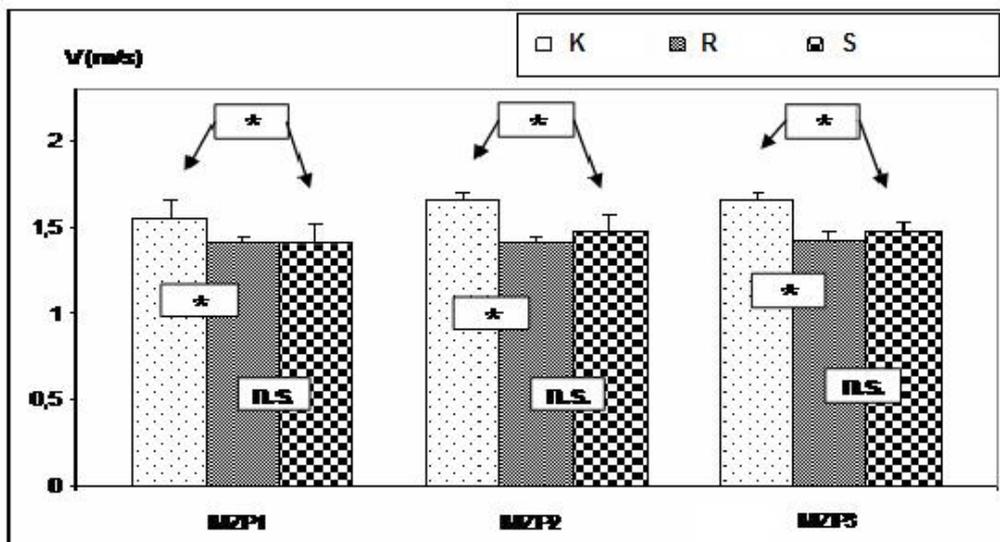


Abb. 43/4.3: Errechnete mittlere maximale Schwimmgeschwindigkeiten (V_{max}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der männlichen Schwimmer ($n=6$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Maximale Laktatkonzentrationen (LA_{max})

Die maximalen Laktatkonzentrationen zeigen in Abhängigkeit von der Schwimmart keine signifikante Veränderung im gesamten Untersuchungszeitraum. Damit bestätigen sich Erkenntnisse aus anderen Ausdauersportarten (Abb. 44/4.3 und Tab. 10, 11 und 12/4.3 im Anhang).

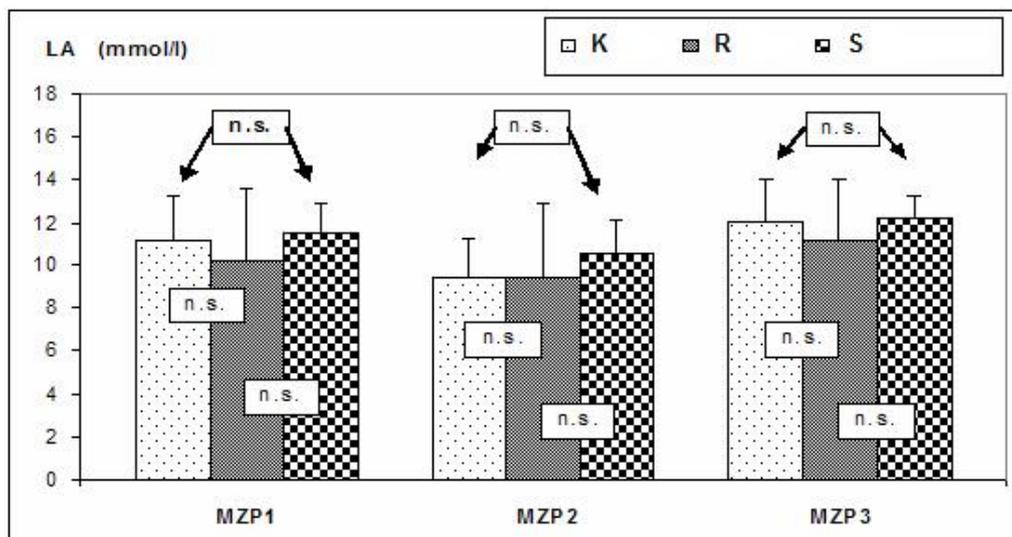


Abb. 44/4.3: Errechnete mittlere maximale Laktatkonzentrationen (LA_{max}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der männlichen Schwimmer ($n=6$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (n.s. = nicht signifikant, $p > 0.05$).

Maximale Herzfrequenzen (HF_{max})

Betrachtet man die maximalen Herzfrequenzen (HF_{max}), so kann eine Signifikanz ($p \leq 0.05$) zwischen den Kraul-Schmetterling und Rücken-Schmetterling im MZP 1 sowie zwischen Rücken-Schmetterling im MZP 3 festgestellt werden (Abb. 45/4.3 und Tab. 10, 11 und 12/4.3 im Anhang).

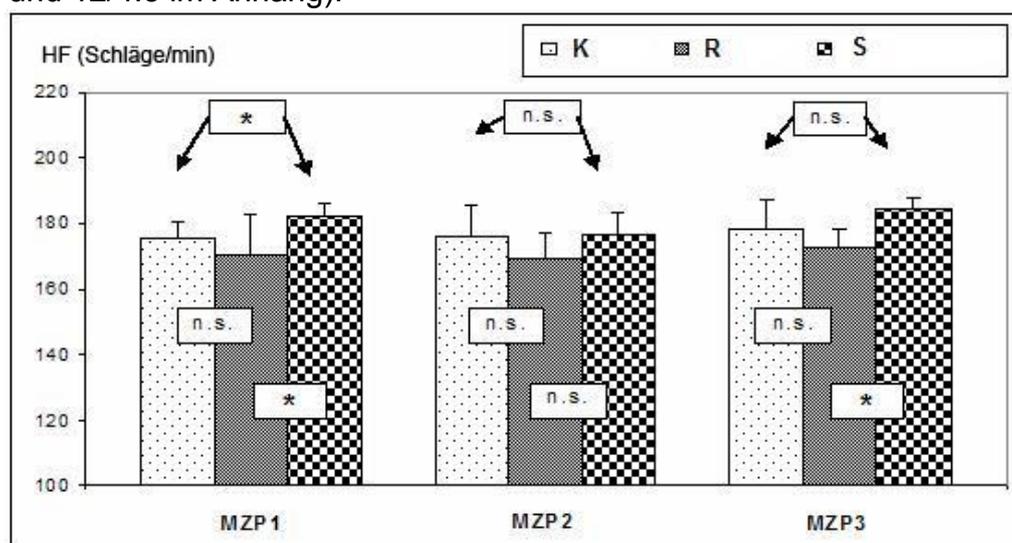


Abb. 45/4.3: Errechnete mittlere maximale Herzfrequenzen (HF_{max}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der männlichen Schwimmer ($n=6$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$)

Untersuchungsparameter von weiblichen Schwimmerinnen

Schwimmgeschwindigkeiten bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA4})

Die v_{LA4} zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen Kraul und Rücken sowie zwischen Kraul und Schmetterling. Zwischen der Rücken- und Schmetterlingstechnik fand sich hingegen kein signifikanter Unterschied (Abb. 46/4.3 und Tab. 13, 14 und 15/4.3 im Anhang).

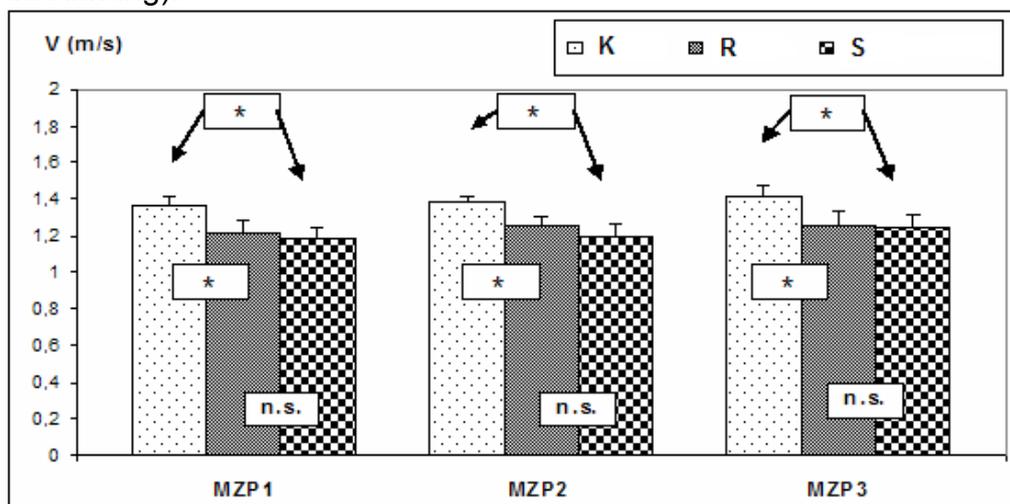


Abb. 46/4.3: Errechnete mittlere Schwimgeschwindigkeiten (m/s) bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA4}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der weiblichen Schwimmerinnen (n=8) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Herzfrequenzen bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (HF_{LA4})

Die Herzfrequenzen bei 4 mmol/l Laktatkonzentration ergaben zwischen Rücken und Schmetterling zum MZP 1 und MZP 3 signifikante Unterschiede. (Abb. 47/4.3 und Tab. 13, 14 und 15/4.3 im Anhang).

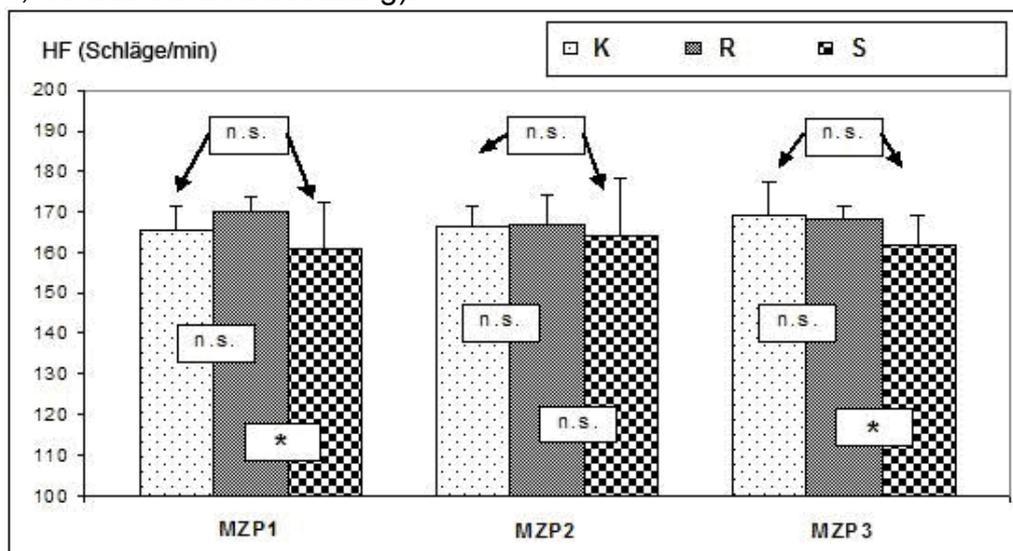


Abb. 47/4.3: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (HF_{LA4}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der weiblichen Schwimmerinnen (n=8) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (n.s. = nicht signifikant, $p > 0.05$).

Schwimmgeschwindigkeiten bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA6})

Aus der vorliegenden Grafik (Abb. 48/4.3) und Tab. 13, 14 und 15/4.3 (im Anhang) lässt sich erkennen, dass die Schwimmgeschwindigkeiten bei 6 mmol/l Laktatkonzentration stark von den unterschiedlichen Schwimmarten K, R und S abhängen. Die v_{LA6} zwischen den Schwimmtechniken Kraul und Rücken sowie Kraul und Schmetterling wiesen zu allen MZP einen signifikanten Unterschied auf. Bei der v_{LA6} ergibt sich zwischen R und S kein signifikanter Unterschied zu allen Messzeitpunkten.

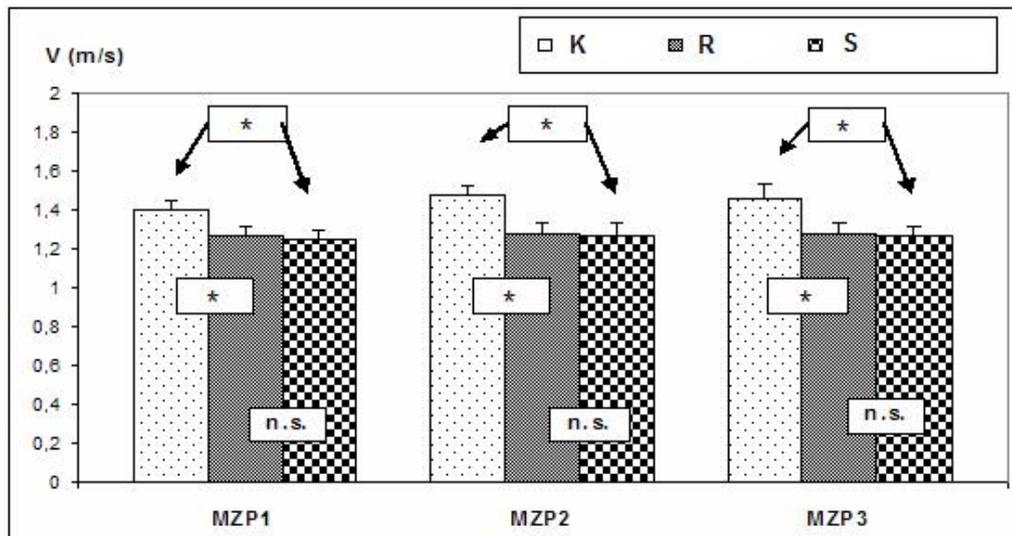


Abb. 48/4.3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA6}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der weiblichen Schwimmerinnen (n=8) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Herzfrequenzen bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (HF_{LA6})

Bei der HF_{LA6} konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den abgeleiteten Schwimmtechniken K, R und S während des Untersuchungsverlaufs festgestellt werden (Abb. 49/4.3 und Tab. 13, 14 und 15/4.3 im Anhang).

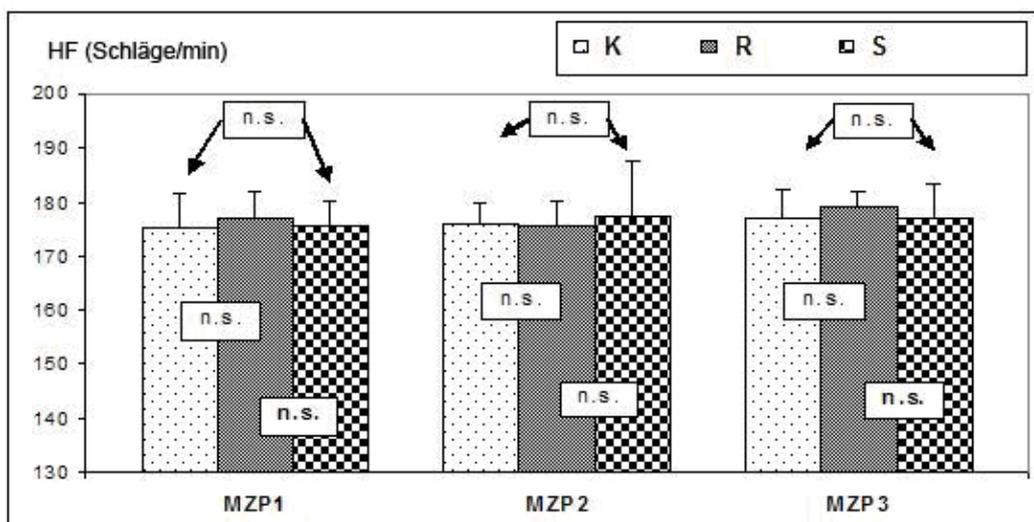


Abb. 49/4.3: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (HF_{LA6}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der weiblichen Schwimmerinnen ($n=8$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (n.s. = nicht signifikant, $p > 0.05$).

Schwimmgeschwindigkeiten an der IANS nach Simon (v_{Simon})

Durch die Bestimmung der Schwimmgeschwindigkeiten nach der Methode von Simon (v_{Simon}) kann bestätigt werden, dass die v_{Simon} zwischen K, R und S unterschiedlich ist. Nur zwischen R und S zum MZP 2 fand sich keine signifikante Differenz (Abb. 50/4.3 und Tab. 13, 14 und 15/4.3 im Anhang).

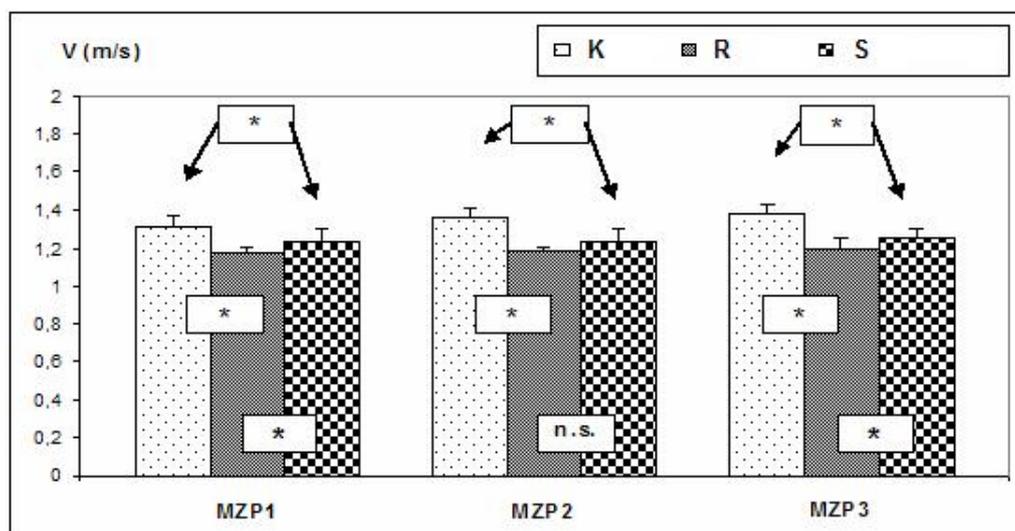


Abb. 50/4.3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei IANS nach Simon (v_{Simon}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der weiblichen Schwimmerinnen ($n=8$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Laktatkonzentration an der Individuellen anaeroben Schwelle nach Simon (LA_{Simon})

Bei der Betrachtung der IANS nach der Methode von Simon ist klar erkennbar, dass zwischen Kraul und Schmetterling sowie Rücken und Schmetterling ein signifikanter

Unterschied vorliegt, wohingegen zwischen Kraul und Rücken sich die Laktatkonzentrationen an der IANS zu allen MZP nicht signifikant unterscheiden (Abb. 51/4.3 und Tab. 13, 14 und 15/4.3 im Anhang).

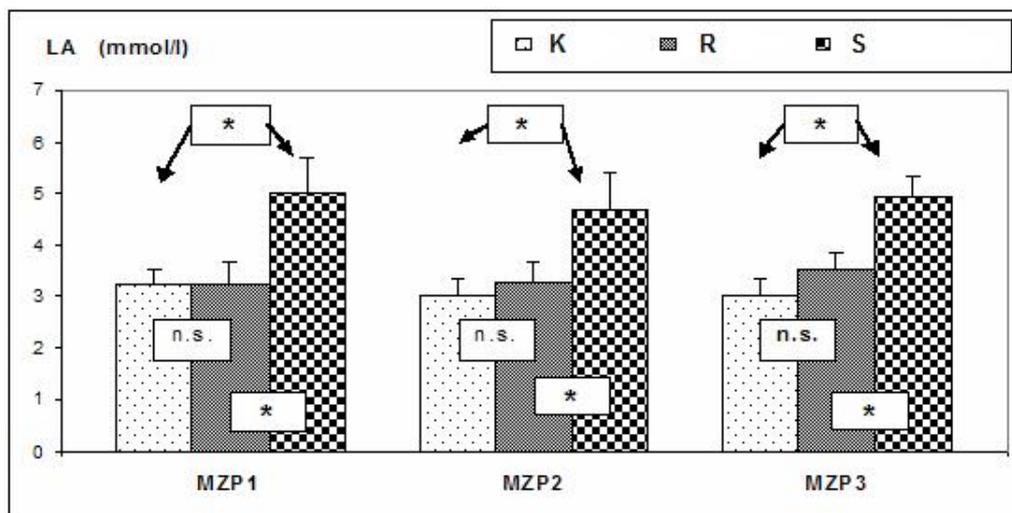


Abb. 51/4.3: Errechnete mittlere Laktatkonzentrationen (mmol/l) an der IANS nach Simon (LA_{Simon}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der weiblichen Schwimmerinnen ($n=8$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Herzfrequenzen an der IANS nach Simon (HF_{Simon})

Die Herzfrequenz nach der Methode von Simon zeigt, dass die HF_{Simon} im Schmetterling einen signifikanten höheren Wert im Vergleich zu den anderen Schwimmarten K und R aufweist. Zwischen der HF_{Simon} des Kraulschwimmens und des Rückenschwimmens bestehen hingegen keine Unterschiede zu den MZP 2 und 3 (Abb. 52/4.3 und Tab. 13, 14 und 15/4.3 im Anhang).

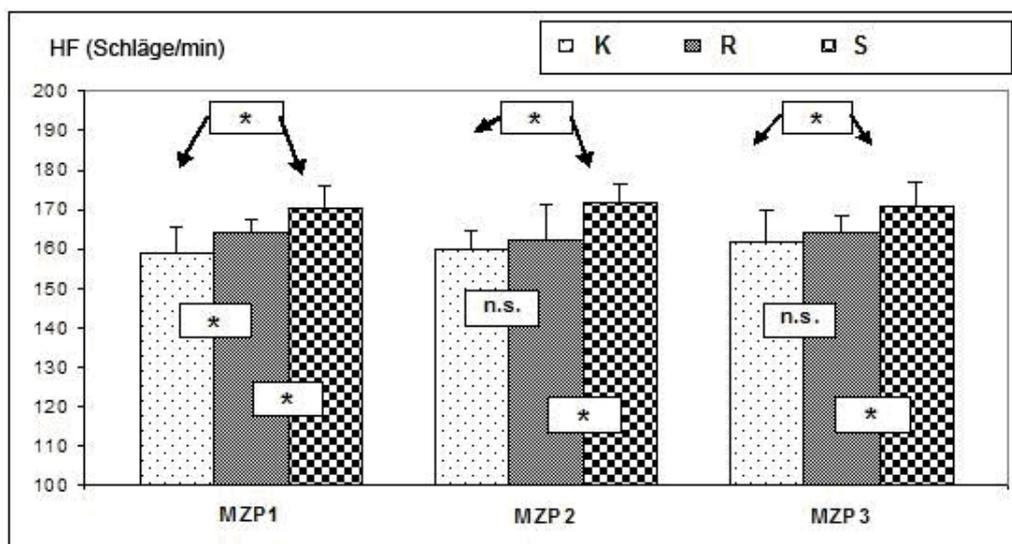


Abb. 52/4.3: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) an der IANS nach Simon (HF_{Simon}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der weiblichen Schwimmerinnen ($n=8$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (n.s. = nicht signifikant, $p > 0.05$).

Maximale Schwimgeschwindigkeiten (v_{max})

Die Ermittlung der maximalen Schwimgeschwindigkeit v_{max} ergab einen signifikanten Unterschied zwischen Kraul und Rücken sowie Kraul und Schmetterling zu allen Messzeitpunkten (Abb. 53/4.3 und Tab. 13, 14 und 15/4.3 im Anhang).

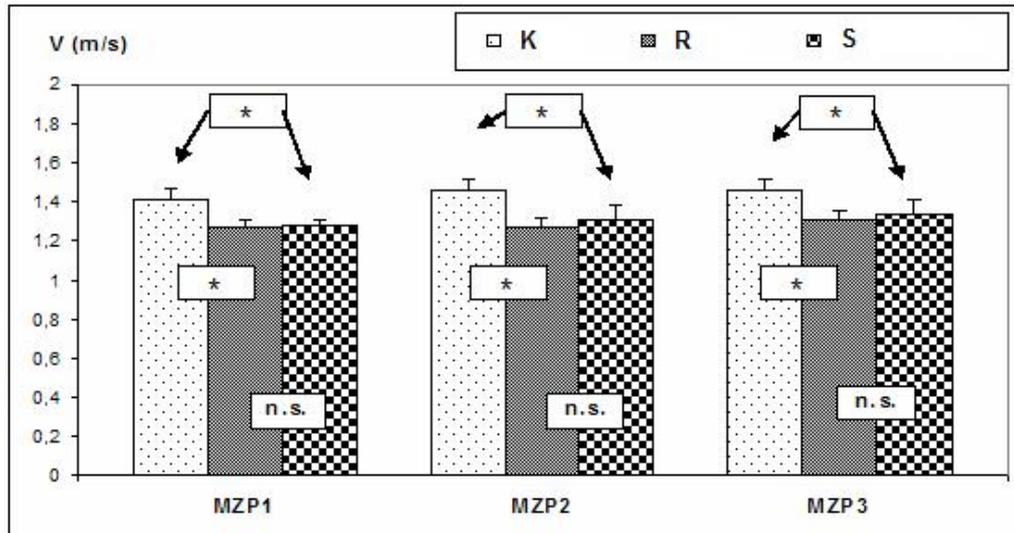


Abb. 53/4.3: Errechnete mittlere maximale Schwimgeschwindigkeiten (v_{max}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der weiblichen Schwimmerinnen ($n=8$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Maximale Laktatkonzentrationen (LA_{max})

Die maximalen Laktatkonzentrationen LA_{max} wiesen kein einheitliches Bild zwischen K, R und S während der Studie auf. In der folgenden Grafik zeigt sich deskriptiv ein höherer Wert für das Schmetterlingsschwimmen zu allen Messzeitpunkten. Zwischen K und R fanden sich keine signifikanten Unterschiede zu allen MZP (Abb. 54/4.3 und Tab. 13, 14 und 15/4.3 im Anhang).

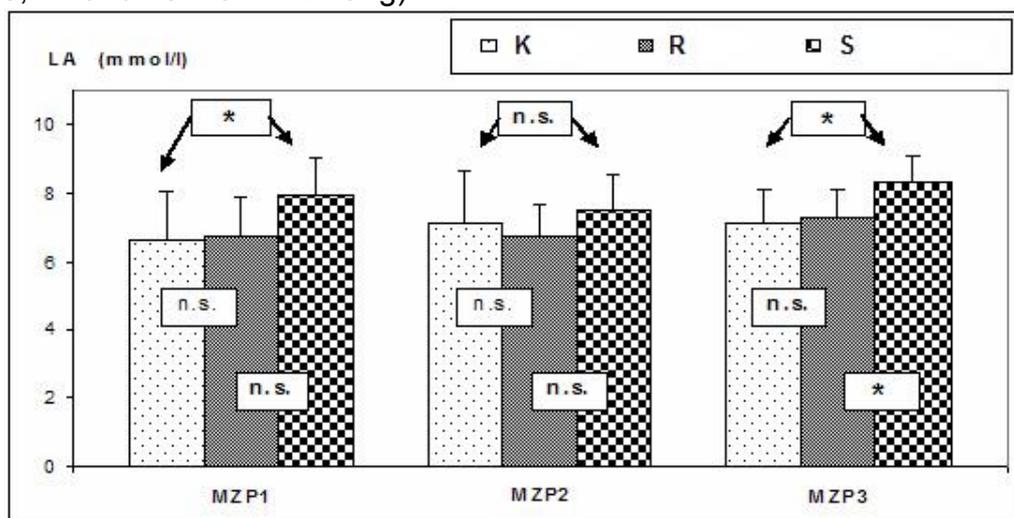


Abb. 54/4.3: Errechnete mittlere maximale Laktatkonzentrationen (LA_{max}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der weiblichen Schwimmerinnen ($n=8$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Maximale Herzfrequenzen (HF_{max})

Die Grafik (Abb. 55/4.3) und die Tab. 13, 14 und 15/4.3 (im Anhang) zeigt, dass sowohl die maximalen Herzfrequenzen HF_{max} als auch die maximalen Laktatkonzentrationen LA_{max} einen höheren Wert beim Schmetterling aufweisen. Betrachtet man die individuelle HF_{max} in jeder Schwimmart, so kann eine Signifikanz ($p \leq 0.05$) zwischen den Schmetterling-Kraul und Schmetterling-Rücken im MZP 1 und MZP 2 festgestellt werden. Zum MZP 1 fand sich kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Schwimmtechniken.

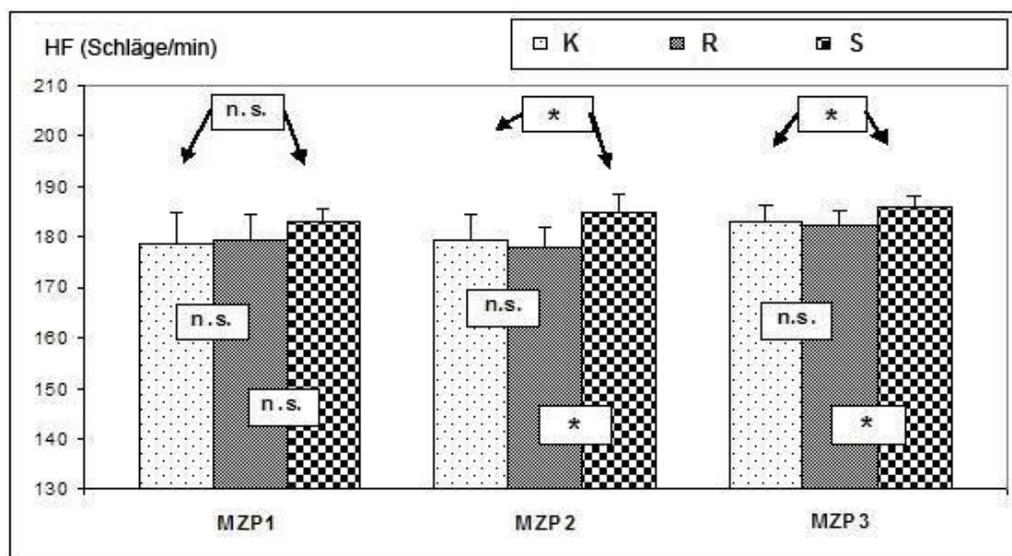


Abb. 55/4.3: Errechnete mittlere maximale Herzfrequenzen (HF_{max}) im Kraul, Rücken und Schmetterling der weiblichen Schwimmerinnen ($n=8$) zu den Messzeitpunkten (MZP). (n.s. = nicht signifikant, $p > 0.05$).

4.4 Statistische Analyse der Untersuchungsparameter in Abhängigkeit vom Geschlecht

Schwimmgeschwindigkeiten bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA4})

Aus dem geschlechtlichen Vergleich ergeben sich wichtige Hinweise, um leistungsdagnostische Daten und die spezifische Leistungsfähigkeit im Schwimmsport interpretieren zu können.

Betrachtet man die jeweils individuelle v_{LA4} zum MZP 1, so kann kein signifikanter Unterschied ($p \leq 0.05$) zwischen den drei Schwimmarten K, R und S festgestellt werden. Die Ergebnisse der v_{LA4} zum MZP 2 zeigen, dass bei dem Vergleich der v_{LA4} im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen signifikante Unterschiede zwischen K und R festzustellen sind, wobei im Schmetterling kein signifikanter Unterschied ermittelt werden konnte. Zum MZP 3 findet sich ein signifikanter geschlechtsspezifischer Unterschied nur im Rückenschwimmen (Abb. 56/4.3).

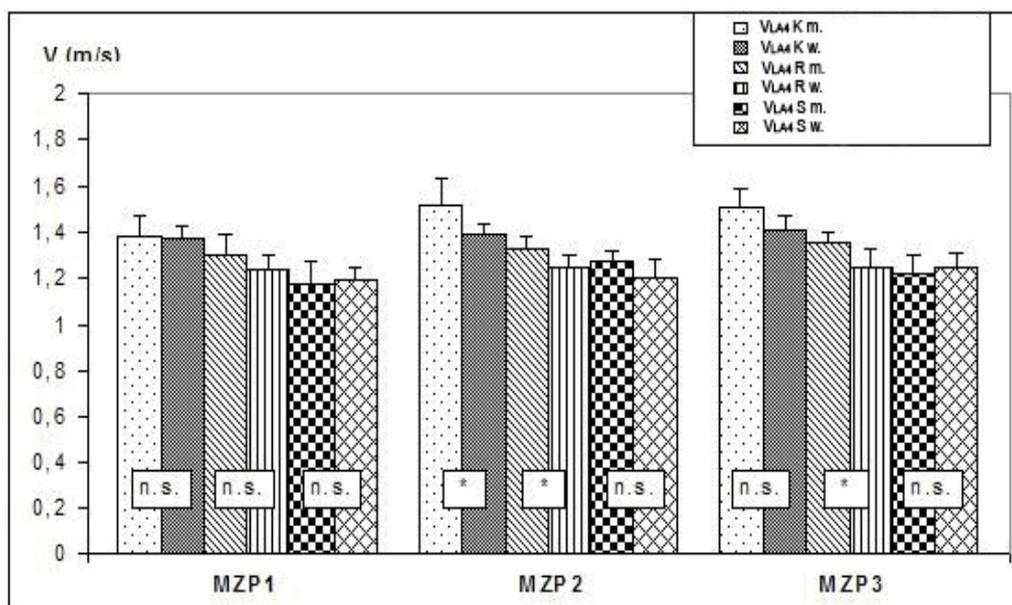


Abb. 56/4.4: Errechnete mittlere Schwimgeschwindigkeiten (m/s) bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA4}) im Kraul, Rücken und Schmetterling zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern ($n=14$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Herzfrequenzen bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (HF_{LA4})

Im Untersuchungszeitraum konnten höhere Herzfrequenzen an der fixen Laktatkonzentration von 4 mmol/l (HF_{LA4} in Schläge/min) in allen untersuchten Schwimmarten für die weiblichen Schwimmerinnen bestimmt werden. Allerdings hat die HF_{LA4} im MZP 2 nur zwischen dem Rückenschwimmen und im MZP 3 für R und S höhere signifikante Unterschiede gegeben. Bei dem Vergleich der Herzfrequenz-Geschwindigkeits-Kurve kann festgestellt werden, dass bei weiblichen Probanden höhere HF-Werte und bei männlichen Probanden höhere Schwimgeschwindigkeiten gemessen worden sind. Das bedeutet, dass die Ergebnisse der HF_{LA4} von Schwimmerinnen höher sind als die der Schwimmer, obwohl die Schwimgeschwindigkeiten bei Schwimmerinnen niedriger sind. Bei der HF_{LA4} (Schläge/min) im MZP 1 ergeben sich für Schwimmerinnen in allen drei Schwimmtechniken Kraul, Rücken und Schmetterling signifikant höhere Werte als für die männliche Gruppe (Abb. 57/4.4).

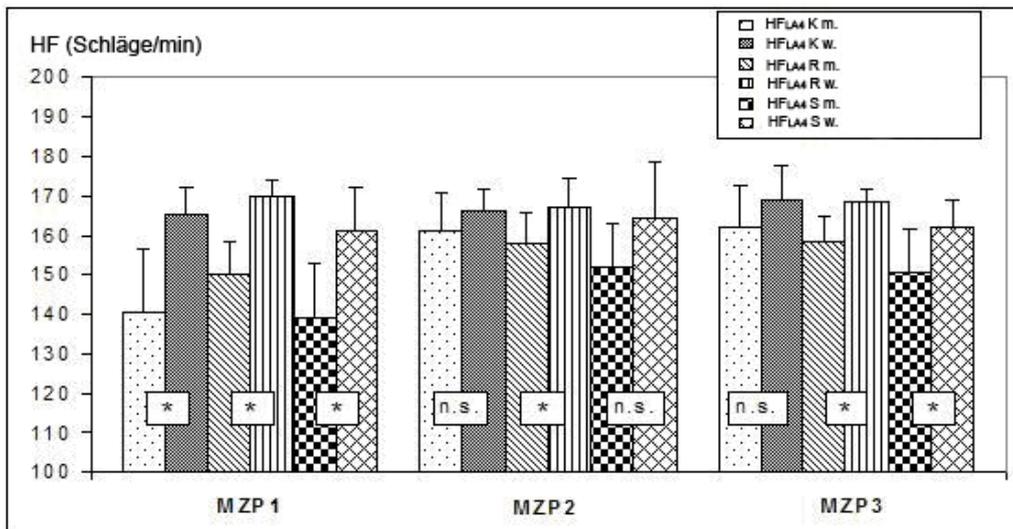


Abb. 57/4.4: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (HF_{LA4}) im Kraul, Rücken und Schmetterling zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern ($n=14$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Schwimmgeschwindigkeiten bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA6})

Die Grafik (Abb. 58/4.4) zeigt, dass die v_{LA6} bezüglich der drei Schwimmtechniken K, R und S höhere Werte für männliche Schwimmer aufweist. Während sich beim Rückenschwimmen zu allen drei Messzeitpunkten signifikante Differenzen zwischen den Geschlechtern fanden, war dies beim Kraul nur zu den MZP 2 und 3 der Fall. Das Schmetterlingsschwimmen generierte keine signifikanten Unterschiede.

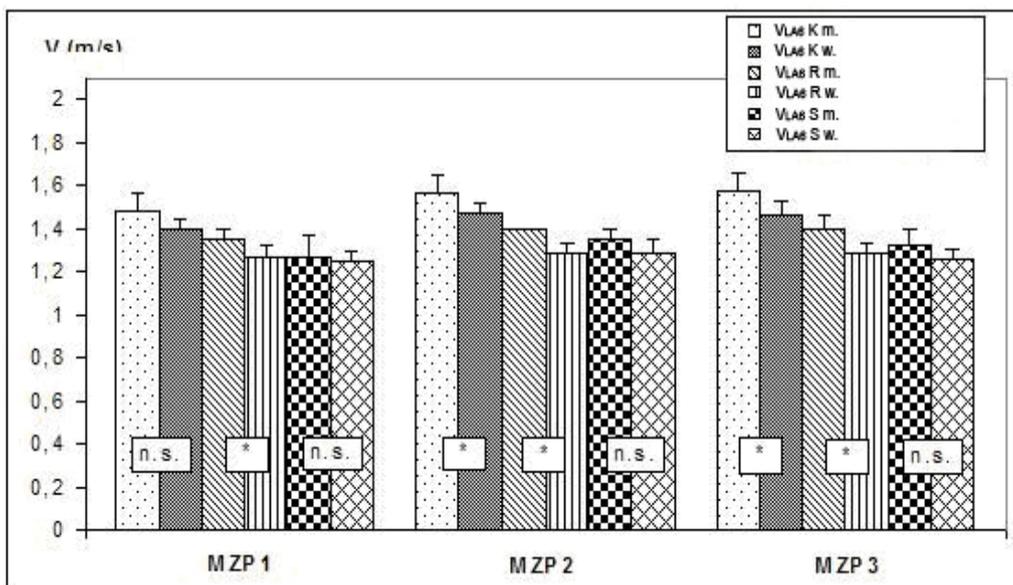


Abb. 58/4.4: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA6}) im Kraul, Rücken und Schmetterling zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern ($n=14$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Herzfrequenzen bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (HF_{LA6})

Die Herzfrequenz bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (HF_{LA6}) war für die weiblichen Probanden in allen drei Schwimmmarten K, R und S signifikant höher. Aus den vorliegenden Ergebnissen können nur beim Kraulschwimmen zum MZP 2 und zum MZP 3 keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Abb. 59/4.4).

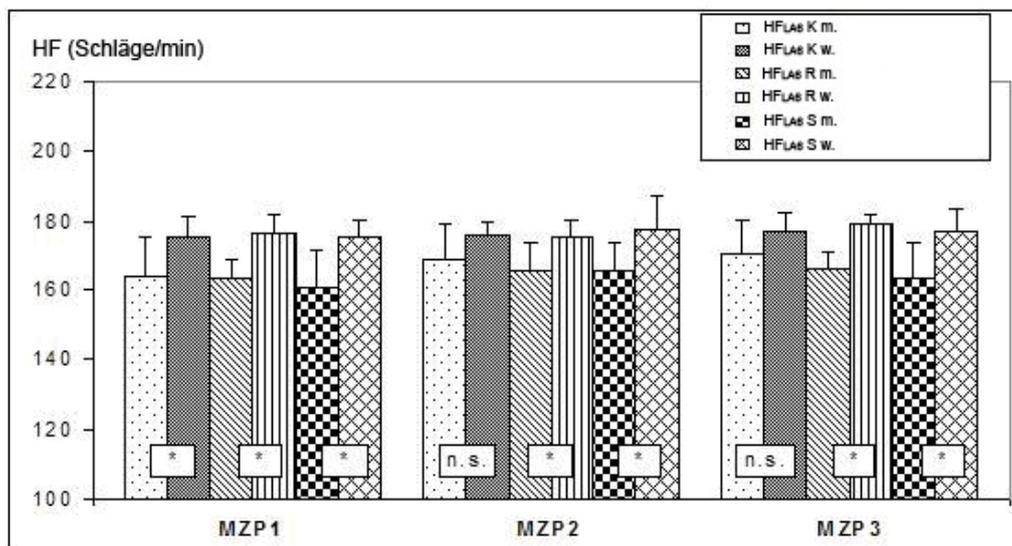


Abb. 59/4.4: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (HF_{LA6}) im Kraul, Rücken und Schmetterling zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern ($n=14$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Schwimmgeschwindigkeiten an der IANS nach Simon (v_{Simon})

Bei der v_{Simon} (m/s) zwischen dem Kraul und Rücken ergeben sich für die männliche Gruppe signifikant höhere Werte, wohingegen im Schmetterling zu allen Messzeitpunkten die weibliche Gruppe höhere Werte aufwies (Abb. 60/4.4).

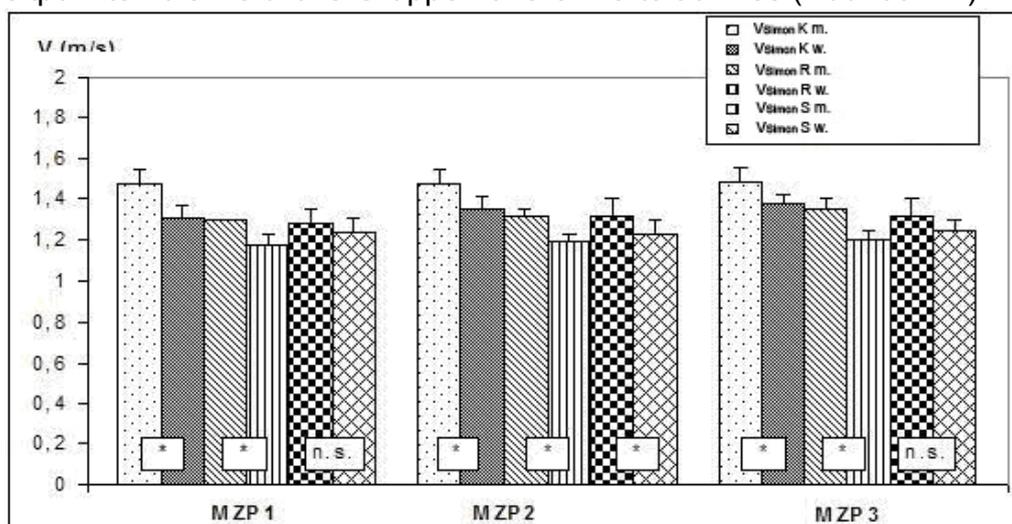


Abb. 60/4.4: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) an der IANS nach Simon (v_{Simon}) im Kraul, Rücken und Schmetterling zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern ($n=14$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Laktatkonzentrationen an der individuellen anaeroben Schwelle nach Simon (LA_{Simon})

An der IANS nach Simon (LA_{Simon}) lässt sich kein einheitliches Bild feststellen. Es ergeben sich für alle Schwimmtechniken K, R und S während des gesamten Untersuchungszeitraums höhere Werte für die Schwimmer. Signifikante Unterschiede des Parameters LA_{Simon} fanden sich zum MZP 1 für K und S und zum MZP 3 für S (Abb. 61/4.4).

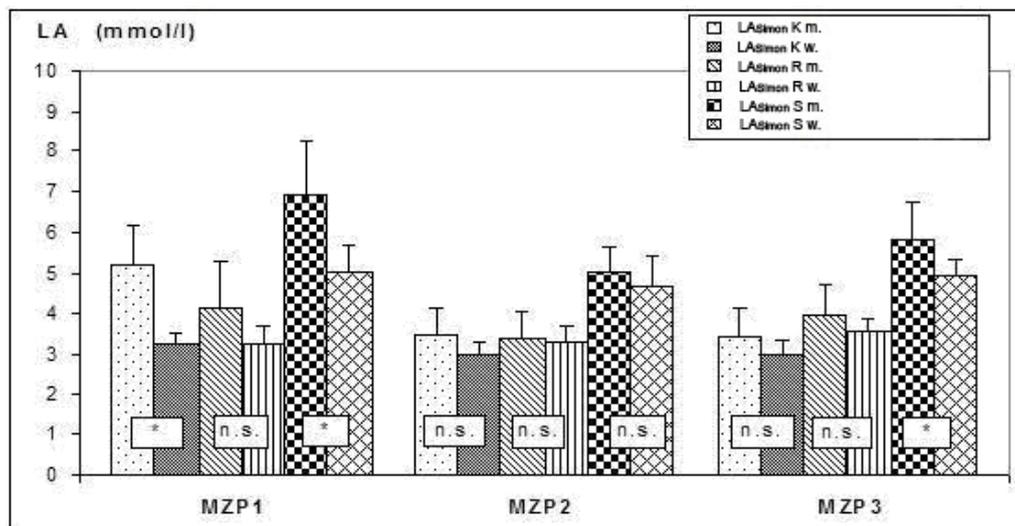


Abb. 61/4.4: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) an der IANS nach Simon (LA_{Simon}) im Kraul, Rücken und Schmetterling zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern ($n=14$) zu den drei Messzeitpunkten (MZP). (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Herzfrequenzen an der IANS nach Simon (HF_{Simon})

Ein fast ähnliches Bild wie die oberen Grafiken (Abb. 46/4.2.3.2 und 48/4.2.3.4) zeigt sich bei der Herzfrequenz. Auch hier wiesen die weiblichen Probanden höhere Werte auf. Signifikante Unterschiede ergeben sich beim Rücken zum MZP 1 und beim Schmetterling zu den MZP 2 und 3 (Abb. 62/4.4).

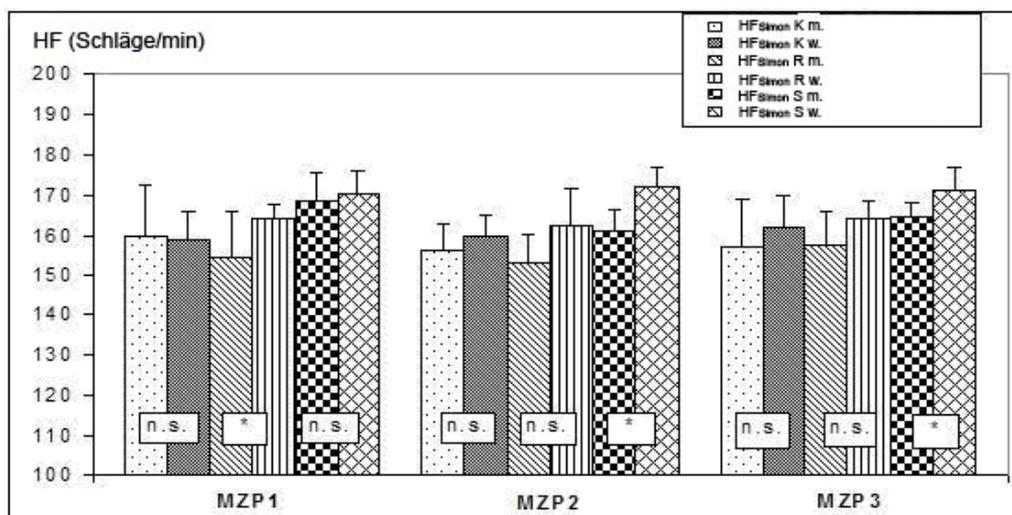


Abb. 62/4.4: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) an der IANS nach Simon (HF_{Simon}) im Kraul, Rücken und Schmetterling zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern ($n=14$) zu den drei Messzeitpunkten. (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Maximale Schwimmgeschwindigkeiten (v_{max})

Betrachtet man die v_{max} (m/s) während des Untersuchungsverlaufs, so können signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in den jeweiligen Schwimmarten K, R und S für die männlichen Probanden beobachtet werden (Abb. 63/4.4).

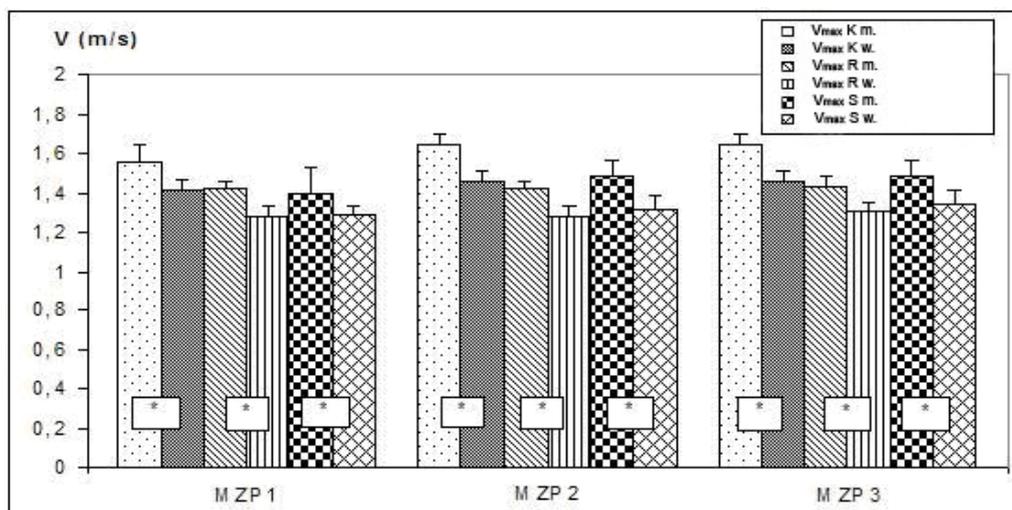


Abb. 63/4.4: Errechnete mittlere maximale Schwimmgeschwindigkeiten (v_{max}) im Kraul, Rücken und Schmetterling zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern ($n=14$) zu den drei Messzeitpunkten. (* Signifikanzniveau $p \leq 0.05$).

Maximale Laktatkonzentrationen (LA_{max})

Wie die Ergebnisse zeigen, liegen die maximalen Laktatkonzentrationen (LA_{max}) der männlichen Probanden im höheren Bereich im Vergleich zu den weiblichen Probanden. Mit Ausnahme des Rückenschwimmens zum MZP 2 können signifikante

Unterschiede zwischen beiden Gruppen in allen Schwimmarten festgestellt werden. (Abb. 64/4.4).

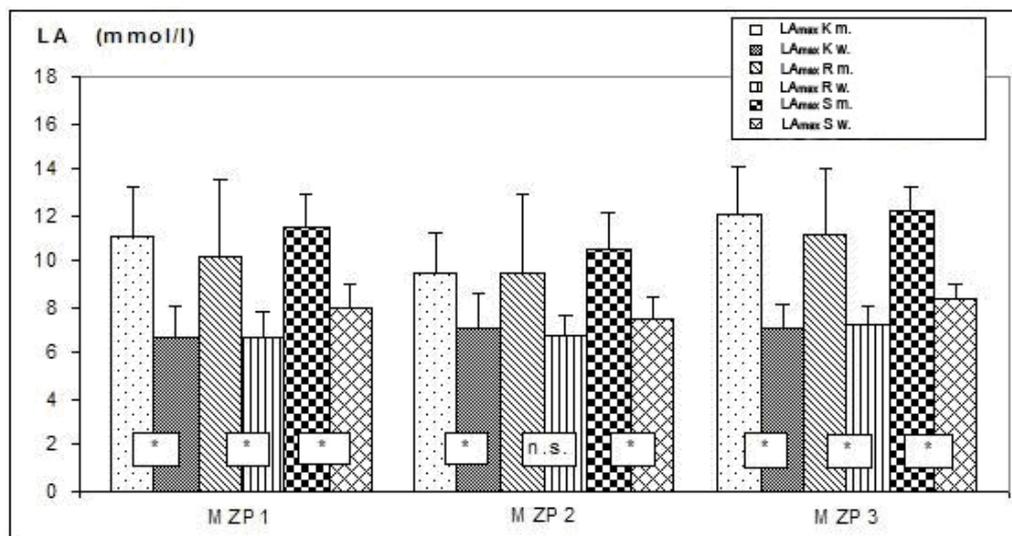


Abb. 64/4.4: Errechnete mittlere maximale Laktatkonzentrationen (LA_{max}) im Kraul, Rücken und Schmetterling zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern ($n=14$) zu den drei Messzeitpunkten. (* Signifikanzniveau $p \leq 0,05$).

Maximale Herzfrequenzen (HF_{max})

Die Untersuchungsergebnisse der HF_{max} sind sehr heterogen. Jedoch lässt sich erkennen, dass die HF_{max} der weiblichen Probanden höhere Werte aufweist. Die Ergebnisinterpretation zum MZP 1 zeigt keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Darüber hinaus können zum MZP 2 für R und S und zum MZP 3 für R signifikante Unterschiede ermittelt werden (Abb. 65/4.4).

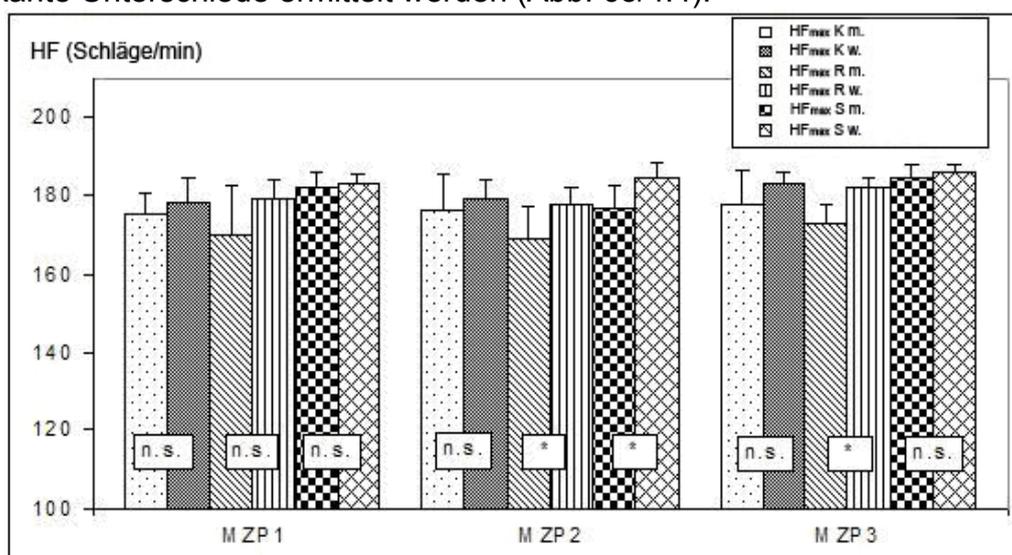


Abb. 65/4.4: Errechnete mittlere maximale Herzfrequenzen (HF_{max}) im Kraul, Rücken und Schmetterling zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern ($n=14$) zu den drei Messzeitpunkten. (* Signifikanzniveau $p \leq 0,05$).

5 Diskussion

5.1 Vorbemerkungen

Die eingesetzten sportartspezifischen Belastungsverfahren ermöglichen eine exakt standardisierte und reproduzierbare Leistungsdiagnostik beim Schwimmer, deren primäres Ziel die Ermittlung der grundlegenden physiologischen Fähigkeiten im aeroben und anaeroben Leistungsbereich ist. Auch für die im Kurz- und Mittelstreckenbereich wichtige Ausprägung der anaeroben Kapazität und die Technikkontrolle ergeben sich wertvolle Hinweise für das Training bei Berücksichtigung der Resultate der anaeroben Schwimmbelastung (Ribeiro et al., 1990).

Die vorliegende Studie befasst sich mit dem Vergleich von insgesamt 14 Schwimmer/innen, die drei verschiedenen Schwimmarten absolvierten, um vor allem mittels der Herzfrequenz- und Laktatbestimmung die Belastungsbereiche im Schmetterlings-, Rücken- und Kraulschwimmen bei verschiedenen Schwimgeschwindigkeiten einzuschätzen. Dabei wird davon ausgegangen, dass das Kraulschwimmen weniger beanspruchend auf vergleichbaren Belastungsstufen im Vergleich zum Schmetterlings- und Rückenschwimmen ist (Anderson, 1960; Åstrand & Saltin, 1961; Adrian et al., 1966; Montpetit et al., 1983; Eston & Reilly, 2001).

Simon et al. (1979) und Simon & Thiesmann (1986) berichteten von einer hohen Spezifität des Schwimmens bezüglich der Wettkampfstrecken und damit auch ihrer muskulären Energiegewinnung. Schwimmer bestreiten häufig Wettkämpfe in unterschiedlichen Lagen und über unterschiedliche Schwimmdistanzen. Außerdem absolvieren auch die Kurzstreckenathleten ein recht umfangreiches aerobes Schwimmtraining, so dass bereits aus diesen Gründen die Ermittlung sowohl der aeroben als auch der anaeroben Leistungskapazität und eine entsprechende Trainingssteuerung erforderlich sind. Die Laktatbestimmung ermöglicht das Ausdauertraining mit unterschiedlichen Intensitäten durchzuführen, wobei die individuelle anaerobe Schwelle einen wichtigen Orientierungspunkt darstellt (Olbrecht et al., 1985; Dickhuth et al., 1989; Janssen, 1989; Zintl & Eisenhut, 2001).

Die Blutlaktatspiegel während der Belastung geben Hinweise über den aeroben und anaeroben Anteil der Energiebereitstellung (Costill, 1970; Rusko et al., 1986). Darüber hinaus kann mittels Laktat kontrolliert werden, ob im angestrebten Intensitätsbereich trainiert wird. Um die beabsichtigte Intensität korrekt anzusteuern, ist die Kenntnis der Beziehung zwischen Schwellengeschwindigkeit und Laktatkonzentration verschiedener Schwimmarten hilfreich (Olbrecht et al., 1985).

Der im Leistungssport tätige Trainer ist insbesondere an der Umsetzung dieser leistungsdiagnostischen Daten in die Belastungssteuerung interessiert. Bisherige Untersuchungen orientieren sich vornehmlich an Wettkampfzeiten, der 4 mmol/l Laktatschwelle oder ventilatorischen Schwellen, wobei annähernd gleiche Trainings- und Testbedingungen angenommen werden (Mader et al., 1976; McLellan & Skinner, 1981; Heck et al., 1985; Poole & Gaesser, 1985; Casaburi et al., 1987).

Während die Schwimmzeit, die mit maximaler Intensität erreicht wird, eine hohe Korrelation zur Wettkampfleistung besitzt und damit zur Beurteilung der Schwimmleistungsfähigkeit im Kurzstreckenbereich herangezogen wird (Simon & Thiesmann, 1986), erlaubt die maximale Laktatkonzentration im anaeroben Test eine Einschätzung der anaerob-laktaziden Kapazität und/oder der Azidosetoleranz. So müssen von erfolgreichen Schwimmern im Kurzstreckenbereich während der wettkampfnahen Trainingsphase maximale Laktatspiegel von mindestens 12 mmol/l erwartet werden.

Die Leistungsfähigkeit eines Schwimmers wird außer durch seine kardiozirkulatorischen und metabolischen Voraussetzungen und durch andere Faktoren - wie seine Hydrodynamik oder seine Schwimmtechnik bestimmt. So verwundert es nicht, dass z. B. die fahrradergometrische Leistung nur einen sehr lockeren Zusammenhang mit der schwimmerischen Wettkampfleistung besitzt (Simon et al., 1981).

Beim Schwimmen herrschen gänzlich andere Grundvoraussetzungen als bei den Fortbewegungsarten an Land. Der Körper muss durch das Medium Wasser fortbewegt werden, das eine etwa 800mal so hohe Dichte aufweist wie Luft. Der Körper des Schwimmers wird durch die Arbeit der Arme (und partiell auch der Beine) am Widerlager des Wassers nach vorne geschoben (Di Prampero, 1989).

Dabei haben die Arme, welche die Hauptantriebsquelle beim Schwimmen darstellen, eine nur etwa halb so große Muskelmasse wie die Beine, die beim Laufen die Hauptlast tragen (Hollmann & Hettinger, 2000). Hinzu kommt eine zu vernachlässigende Arbeit gegen den Luftwiderstand aufgrund des eigenen Körpers und der geringen Geschwindigkeit. Auch der Einfluss der Schwerkraft ist vergleichsweise eher gering, da die Arbeit gegen die Schwerkraft größtenteils durch den Auftrieb des Körpers im Wasser geleistet wird (Wilke, 1988).

Das Schmetterlingsschwimmen ist das anstrengendste und energetisch unökonomischste Schwimmen der vier modernen Schwimmarten (Holmér & Haglund, 1978). Madsen (1982) fand hierzu heraus, dass gerade beim Schwimmen eine besonders starke Abhängigkeit zwischen Schwimmtechnikbeherrschung und Energieverbrauch (gemessen über VO_2) besteht. Der Wirkungsgrad beim Schwimmen gibt das Verhältnis zwischen dem totalen Energieumsatz eines

Organismus bei einer speziellen Belastung und der dabei nach außen abgegebenen physikalisch messbaren Leistung an (Di Prampero et al., 1974).

5.2 Hypothese I

Es wird angenommen, dass die spezifischen physiologisch-biomechanischen Leistungsvoraussetzungen im Kraulschwimmen im Vergleich zum Rückenschwimmen bei relativ gleichen prozentualen Schwimmintensitäten zu

- a) ... höheren signifikanten Schwimgeschwindigkeiten bei Laktat 4 und 6 mmol/l (v_{LA4} und v_{LA6}) im Kraulschwimmen,
- b) ... niedrigeren signifikanten Herzfrequenzen bei Laktat 4 und 6 mmol/l (HF_{LA4} und HF_{LA6}) im Kraulschwimmen,
- c) ... niedrigeren signifikanten Laktatkonzentrationen an der individuellen anaeroben Schwelle im Kraulschwimmen, führen.

Die Hypothese I basiert auf der Annahme eines Phänomens, dass die Kraultechnik aus biomechanischer Sicht im Vergleich zu den anderen Schwimmarten am ökonomischsten ist. Darüber hinaus zeigen die FINA-Angaben der 200 m Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen, dass das Kraulschwimmen die schnellste Schwimmtechnik ist (200 m in 01:44,06 min). Danach folgt das Schmetterlings- und Rückenschwimmen (01:53,80 min und 01:54,74 min). Die langsamste Technik ist das Brustschwimmen.

Diese Unterschiede in der maximalen Schwimgeschwindigkeit spiegeln sich auch in den Untersuchungsergebnissen wider. Die aus den 126 durchgeführten Schwimmstufentests berechneten Laktat-Geschwindigkeits-Kurven in den drei Schwimmarten (K, R und S) für eine Streckenlänge von 200 m zeigen signifikante Unterschiede ($p \leq 0.05$) in der Geschwindigkeit bei 4 mmol/l und 6 mmol/l Laktat sowie an der individuellen anaeroben Schwelle. Einerseits verweisen diese Befunde auf die Notwendigkeit einer komplexeren Betrachtung der Schwimmbelastungen, die durch die Vielfalt der Schwimm- sowie der spezifischen Streckenlänge bestimmt wird. Andererseits eignen sich die Testergebnisse in einer Schwimm- nicht als ein leistungsdiagnostischer Indikator für die anderen Schwimmtechniken, da die erforderlichen spezifischen Informationen über die schwimmart- und streckenspezifische Leistungsfähigkeit im Training und Wettkampf beim Hochleistungsschwimmen nicht betrachtet werden.

Die disziplinspezifischen Stufentests ermöglichen die Analyse des inneren Leitungsaufbaus, der Variabilität sowie des Einflusses von Schwimmart und Streckenlänge auf die Laktat-Geschwindigkeits-Kurve.

Die Einhaltung spezifischer Testbedingungen beim Erstellen schwimmart- und streckenspezifischer Laktat-Geschwindigkeits-Kurven erhöht die Aussagefähigkeit und Zuverlässigkeit der Laktatanalytik. Dadurch wird die Laktatanalytik von der

Einengung auf eine Schwellenbetrachtung befreit und als Methode für eine bewusst interdisziplinär gestaltete spezifische Leistungsdiagnostik empfohlen.

Die wissenschaftliche Herausforderung in der Leistungsdiagnostik besteht in der Bestimmung der optimalen individuellen aeroben und aerob-anaeroben Laktatschwelle für jede Schwimmage. Bisher gab es keine genaue Individualisierung bezüglich der Trainingsbereiche anhand der Laktatschwelle und Herzfrequenz für die vier Schwimmarten (Kraul-, Rücken-, Schmetterlings- und Brustschwimmen oder das Lagenschwimmen) und deren spezifischen Streckendisziplinen, was nun mit den Erkenntnissen dieser Arbeit möglich geworden ist.

Vergleichende Untersuchungen zur metabolischen Beanspruchung bei relativ gleicher Intensität von der Bestzeit abgeleiteten Schwimmgeschwindigkeit unterschiedlicher Schwimmer ergaben einen unterschiedlichen Laktatanstieg. Insofern ist die Vorgabe der Belastungsintensität auf der Basis der aktuellen Bestzeit nicht ausreichend für die Festlegung spezieller Schwimmgeschwindigkeiten, da die spezielle aerobe bzw. anaerobe Trainiertheit des Schwimmers unberücksichtigt bleibt. Die Ergebnisse zeigen einen signifikanten Unterschied ($p \leq 0.05$) unter den Parametern (v_{LA4} , v_{LA6} , v an der IANS und v_{max}) bei vergleichbaren Stufentests in (K, R und S).

Die Geschwindigkeiten bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA4}) im Kraulschwimmen unterscheiden sich signifikant zum Rücken-, und Schmetterlingsschwimmen. Insofern können die Ergebnisse der v_{LA4} im Kraulschwimmen nicht auf die anderen Schwimmarten übertragen werden. Die Korrelation ist zu schwach, um die aerobe Ausdauer bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA4}) im Brust-, Rücken- oder Schmetterlingsschwimmen basierend auf der gemessenen v_{LA4} im Kraulschwimmen prädiktiv zu beurteilen. Die Ursachen der unterschiedlichen Leistungsfähigkeit an der v_{LA4} lassen sich aus muskelphysiologischer und biomechanischer Sicht erklären.

Die biomechanische Leistung von Armen und Beinen im Kraulschwimmen ermöglicht eine kontinuierliche Vorwärtsgeschwindigkeit ohne erhöhte Wasserwiderstände wie bei anderen Schwimmarten. Um die individuellen biomechanischen Voraussetzungen zwischen Schwimmtechniken erklären zu können, erfordert die Bestimmung leistungsphysiologischer Parameter im Schwimmen eine komplexe biomechanische Analyse für jede einzelne Schwimmart. Toussaint & Beek (1992) sprachen von essenziellen leistungsentscheidenden Faktoren im Kraulschwimmen, die innerhalb eines biomechanischen Rahmens in Bezug auf die physiologische Basis der Leistung analysiert werden könne. Diese Faktoren beinhalten: aktive Zugkräfte, effektive propulsive Kräfte, Treibeffizienz und Ausgangspower.

Der Erfolg eines Schwimmers wird von der Fähigkeit bestimmt, eine propulsive Kraft zu generieren, während der Widerstand bei der Vorwärtsbewegung reduziert wird. Die maximale Bewegungsgeschwindigkeit ist das Hauptziel in der kompetitiven

Schwimmleistung und wird von vielen physiologischen und biomechanischen Leistungskomponenten beeinflusst werden. Athleten in Mittelstreckenraulevents nutzen den 6er-Schlagkick, die Langstreckenschwimmer den 2er- oder 4er Beinschlag. Je länger die Schwimmstrecke, desto geringer ist der Vortrieb aus dem Beinschlag.

Karpovich & Millman (1944) vertreten dazu die Auffassung, dass 70% der Hauptkraft, die für die Schwimmgeschwindigkeit beim Kraulschwimmen verantwortlich ist, von den Armen ausgeht. Lediglich 30% der Kraft generieren die Beinmuskeln. Im Vergleich zu den anderen Schwimmtechniken trägt der Beinschlag im Kraulschwimmen über 200 m weniger zum Vortrieb bei.

Ältere und jüngere Studien (Yeater et al., 1981; Keskinen et al., 1989; Kolmogorov & Duplishcheva, 1992; Sidney et al., 1996; Xin-Feng et al., 2007) verweisen auf die Spezifität der individuellen Ausprägung der Schwimmgeschwindigkeiten im Bereich der anaeroben Schwelle und liefern dazu plausible Begründungen. Die Studienergebnisse belegen, dass die produzierte Kraft des Armzyklus in den verschiedenen Schwimmarten unterschiedlich ist. Der aktive Zug (active drag) bei maximalen Schwimmgeschwindigkeiten variierte beträchtlich zwischen den Schwimmarten und den Schwimmern. Bei den weiblichen Schwimmerinnen lagen die Werte für den Aktivzug im Bereich von 69.78 bis 31.16 N im Kraulschwimmen, von 83.04 bis 37.78 N im Schmetterlingsschwimmen von 93.56 bis 45.19 N im Brustschwimmen und von 65.51 bis 37.79 N im Rückenschwimmen. Stärker variierten die Werte bei den männlichen Schwimmern: von 167.11 bis 42.23 N im Kraulschwimmen, von 156.09 bis 46.95 N im Schmetterlingsschwimmen, von 176.87 bis 55.61 N im Brustschwimmen und von 146.28 bis 46.36 N im Rückenschwimmen. Der Hauptgrund für solche Variationen ist in den individuellen mechanischen Komponenten und kann quantitativ mit den hydrodynamischen Kraftkoeffizienten bestimmt sein.

Die Hypothese, dass die spezifischen physiologisch-biomechanischen Leistungsvoraussetzungen im Kraulschwimmen im Vergleich zum Rückenschwimmen bei relativ gleichen prozentualen Schwimmintensitäten zu niedrigeren signifikanten Herzfrequenzen bei Laktat 4 und 6 mmol/l (HF_{LA4} und HF_{LA6}) im Kraulschwimmen führt, kann nicht angenommen werden.

Bezüglich der Parameter (HF_{LA4} , HF_{LA6} , HF an der IANS und HF_{max}) hat die Untersuchung keinen signifikanten Unterschied zwischen den untersuchten Schwimmarten (K, R und S) nachgewiesen. In dieser Untersuchung reagieren die Herzfrequenzschwellen auf den vergleichbaren schwimmförmigen Belastungsstufen unverändert. Insofern scheint die Herzfrequenz ein schwacher physiologischer Indikator für die Intensitätssteuerung im Schwimmen zu sein.

Auch aus der Literatur ist kein Hinweis erkennbar, dass die Herzfrequenz bezüglich der individuellen anaeroben Schwellengeschwindigkeit von einer Schwimmlage auf eine andere spezifische Schwimmlage übertragen werden kann. Auch Kelly et al. (1992) stellten in einer Untersuchung fest, dass die Herzfrequenzen nicht auf diese Weise verwendet werden können.

Möglicherweise sind zusätzliche Untersuchungen erforderlich, um die Unterschiede anhand der Herzfrequenzparameter bei gleichen Schwimmgeschwindigkeiten bzw. im Strömungskanal in den verschiedenen vier Schwimmlagen zu prüfen. Diese Problematik wird in der Diskussion der Hypothese II nochmals aufgegriffen.

Vergleicht man die Laktatkonzentration an der INAS mit der Berücksichtigung der Schwimmgeschwindigkeiten an der IANS zwischen den Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen, so findet, dass die Schwimmgeschwindigkeit an der IANS beim Kraul deutlich signifikant ($p \leq 0.05$) höher als die anderen Schwimmlagen ist. Im dazu Gegensatz wurde es festgestellt, dass die Kraul- bzw. Rückenschwimmen bedeutend signifikant ($p \leq 0.05$) niedrigere Laktatkonzentrationen produziert haben.

Die Muskelmasse oder die aktive Muskelbeteiligung in jeder Schwimmlage spielt eine entscheidende Rolle im Energiestoffwechsel.

Karpovich & Millman (1944) vertreten diesbezüglich die Auffassung, dass 70% der Hauptkraft, die für die Vorwärtsschwimmgeschwindigkeit beim Kraulschwimmen verantwortlich ist, von den Armen ausgeht. Lediglich 30% der Kraft generieren die Beine und deswegen erlaubt die Kraultechnik weniger Laktatbildung im Blut und in den Muskeln bei relativ gleichen Schwimmintensitäten.

Lokale Faktoren wie periphere Zirkulation, kapilläre Dichte, Perfusionsdruck und metabolische Kapazität der aktiven Muskeln sind wichtige Determinanten der Kraftproduktionskapazität und heben die wichtige Rolle der spezifischen Schwimmtrainingsbewegungen hervor.

In indirekter Weise liefert die Beobachtung der anderen leistungsdiagnostischen Parameter z. B. Sauerstoffaufnahme (VO_2) in unterschiedlichen Schwimmlagen auch wichtige Informationen, um die Ergebnisse dieser Studie zu bestätigen und zu unterstützen. Bei männlichen Eliteschwimmern war die VO_2 bei einer definierten Schwimmgeschwindigkeit im Kraul- und Rückenschwimmen im Durchschnitt 1.0 bis 2.0 m/s niedriger zum Brustschwimmen und Schmetterling (Holmér, 1974). Auch der Energieumsatz variiert zwischen Kraul- (K) und Brustschwimmen (B) beträchtlich (Sugiyama & Katamoto, 1992).

Die signifikanten Unterschiede in der Schwimmgeschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA4}) zwischen Kraul- und Rückenschwimmen lassen sich ebenfalls muskelphyiologisch und biomechanisch erklären.

Obwohl die Vorwärtsgeschwindigkeiten vor allem bei Kraul und Rücken in der ganzen Lage durch die Gleitphase nicht unterbrochen werden und die Arme einen beträchtlichen Anteil der Gesamtkraft bewirken, spielt die Beinbewegung beim Rücken eine bedeutendere Rolle für den Vortrieb als beim Kraulschwimmen. Denn die Rückenlage ermöglicht einen länger propulsiven Auftakt der Beine, da die sechs Kickschläge vermutlich mehr Vortrieb verursachen als beim Kraul.

Die mechanischen Voraussetzungen (v , Zugfrequenz und Zuglänge) zwischen den internationalen Bestzeiten 200 m Kraul- und 200 m Rückenschwimmen innerhalb der 50, 100, 150 und 200 m bestätigen diese Aussage deutlich. Im Kraul- und Rückenschwimmen waren die mechanischen Voraussetzungen in den ersten 50-m (1.95 – 1.61 m/s, 51/46 – 46/40 Zyklen/min und 2.29/2.56 – 2.11 – 2.41 m/Zyklus), gefolgt von 100-m (1.87 – 1.57 m/s, 48/44 – 40 Zyklen/min und 2.37/2.48 – 2.33 m/Zyklus), 150-m (1.80 – 1.59 m/s, 46/43 – 43 Zyklen/min und 2.35/2.49 – 2.23 m/Zyklus) und 200-m (1.80 – 1.57/1.54 m/s, 47/46 – 45/46 Zyklen/min und 2.31/2.26 – 2.11/1.99 m/Zyklus). Die Streuung der Werte deutet auf eine hohe individuelle Ausprägung der Techniken hin.

Aufgrund dieser Befunde wäre beim Rücken höhere Laktatkonzentration an der individuellen anaeroben Schwelle (IANS) im Vergleich zum Kraulschwimmen zu erwarten gewesen, weil durch die Widerstands- und Stabilisierungskomponente beim Rückenschwimmen (Wilke & Madsen, 1988; Counsilman, 1994) zusätzlich zur größeren Muskelmasse gegenüber Kraulschwimmen vermehrt FT-Faser im Einsatz sein könnten (Hickson et al., 1994), die durch ihre anaerob-laktazide Energiegewinnung zu einer größeren Laktatbildung beitragen würden (Rüegg, 1992).

Jedoch konnte diese Annahme nicht in allen Messzeitpunkten bei männlichen und weiblichen Probanden nachgewiesen werden. Craig & Pendergast (1979) und Craig et al. (1985) behaupteten, dass die Fluktuationen der Schwimmgeschwindigkeit während des Armzugzyklus im Kraul- und Rückenschwimmen geringer sind ($\pm 15 - 20 \%$) als im Schmetterlings- und Brustschwimmen ($\pm 45 - 50 \%$).

5.3 Hypothese II

Es wird angenommen, dass die spezifischen physiologisch-biomechanischen Leistungsvoraussetzungen im Schmetterlingsschwimmen im Vergleich zum Kraul- und Rückenschwimmen bei relativ gleichen Schwimmgeschwindigkeiten zu

- a) ... geringeren signifikanten Geschwindigkeiten bei Laktat 4 und 6 mmol/l (v_{LA4} und v_{LA6}) im Kraul- und Rückenschwimmen führen.
- b) ... höheren signifikanten Herzfrequenzen bei Laktat 4 und 6 mmol/l (HF_{LA4} und HF_{LA6}) im Kraul- und Rückenschwimmen führen.

c) ... absolut höheren signifikanten Laktatkonzentrationen an der individuellen anaeroben Schwelle im Kraul- und Rückenschwimmen führen.

Die Hypothese II basiert auf der physiologisch-biomechanischen Annahme, dass das Schmetterlingsschwimmen, die anstrengendste, und energetisch unökonomischste der vier Schwimmarten ist (Holmér & Haglund, 1978). Nach den FINA-Angaben zur Weltbestzeit zwischen Rücken- und Schmetterlingsschwimmen zeigen sich über 200 m nur geringe Unterschiede (01:54,74 min versus 01:53,80 min).

Die eigenen Befunde bestätigen die Hypothese IIa für die Schwimmer und Schwimmerinnen. Die maximalen Schwimmgeschwindigkeiten (v_{max}) und die Geschwindigkeiten an der individuellen anaeroben Schwelle (v_{Simon}) der männlichen und weiblichen Schwimmer sowie die maximalen Schwimmgeschwindigkeiten (v_{max}) und die Schwimmgeschwindigkeit bei 4 und 6 mmol/l Laktatkonzentration der weiblichen Schwimmerinnen sind im Schmetterlingsschwimmen niedriger als im Rücken- und Kraulschwimmen.

Dieser Unterschied erklärt sich durch den höheren Energieverbrauch für das Schmetterlingsschwimmen bei gleichen relativen Geschwindigkeiten. Mehr Energie ist erforderlich, weil die Fluktuationen in der Vorwärtsgeschwindigkeit während jedes Butterflyzyklus größer als jene im Kraul- und Rückenschwimmen sind.

Schmetterlingsschwimmer benötigen vermehrt Energie, um eine Hauptvorwärtsakzeleration zweimal während jedes Armzugzyklus zu gewährleisten. Deswegen nimmt der Energieverbrauch gegenüber dem von Kraul- oder Rückenschwimmern bei relativ gleichen Schwimmgeschwindigkeiten zu. Die Schwimmgeschwindigkeiten verlangsamten sich etwa um 1.0 m/s während der Armerholung. Die Fluktuation der Geschwindigkeit erfordert erhöhten Krafteinsatz, was sich den erhöhten Laktatkonzentrationen und Herzfrequenzen im Vergleich zum Kraul- und Rückenschwimmerschwimmer widerspiegelt. Die Einflussgröße der Akzeleration und Dezeleration auf die Vorwärtsgeschwindigkeit ist beim Brustschwimmen noch größer als beim Schmetterlingsschwimmen.

Barbaso et al. (2005¹ & 2005²) ermittelten eine hohe Korrelation auf vergleichbaren Schwimmgeschwindigkeiten zwischen den bioenergetischen und biomechanischen Variablen im Schmetterlingsschwimmen. Die totale Energie (E_{tot}) nahm linear mit steigender Geschwindigkeit zu und zeigte einen signifikanten Korrelationskoeffizient zwischen diesen Parametern ($r = 0.827$, $P < 0.001$). Die Zunahme vom Energieverbrauch wurde bedeutend mit der Zunahme der Fluktuationengeschwindigkeit ($r = 0.807$, $P < 0.001$) assoziiert. Aus diesen Ergebnissen wurde geschlossen, dass die höhere intrazyklische Variation der Geschwindigkeit zu einer ineffizienten Leistung im Schmetterlingsschwimmen führt.

Diese Erkenntnis besitzt trainingsmethodische Relevanz. Im Vergleich zum Kraul- und Rückenschwimmen sind Dauerbelastungen und lange Intervalle im Bereich der Schwellengeschwindigkeit und darüber nicht sinnvoll. Ferner sollten auch die Pausen zwischen den Intervallbelastungen länger ausfallen. Die Ruhezeiten sollten zwischen 20 und 40 s auf kürzeren Wiederholungen von 50 bis 100 m sein und bis zu 60 s für die Wiederholungen von 200 bis 400 m.

Zwar haben Ohkuwa & Itoh (1992) in einer Studie gezeigt, dass größere Muskelmassen in der Beinmuskulatur für einen höheren Blutlaktatwert sorgen. Der Grund für die höheren Laktatkonzentrationen beim Schmetterlingsschwimmen kann jedoch darin liegen, dass in der Armmuskulatur im Vergleich zur Beinmuskulatur vermehrt weiße Muskelfasern (FT-Fasern) vorhanden sind (Gollnick et al., 1974; Saltin & Gollnick, 1988). Die für die hauptsächlich ballistischen Bewegungen der oberen Extremität verantwortlichen weißen Muskelfasern arbeiten im Gegensatz zu den oxidativen statisch arbeitenden roten Muskelfasern hauptsächlich anaerob, so dass hierbei vermehrt Laktat anfällt (Rüegg, 1992).

Auch weitere Studienergebnisse sprechen für diese Annahme. (Gollnick et al., 1974; Lewis et al., 1983; Pimental et al. 1984; Saltin & Gollnick, 1988). Durch hohe lokale Azidose erfolgt der Belastungsabbruch infolge lokaler Ermüdungsmechanismen früher als die Erschöpfung des gesamten kardiovaskulären Systems (Ogita et al., 1996). Dies erklärt auch die hohe Laktatkonzentration beim Schmetterlingsschwimmen auf der ersten Belastungsstufe von über etwa 5 mmol/l.

Die trainingsmethodische Herausforderung in der Leistungsdiagnostik ist die exakte Bestimmung der Belastungsintensität für die effiziente Entwicklung der aeroben und anaeroben Fähigkeiten. Dazu ist zu berücksichtigen, dass die muskuläre Beanspruchung zwischen den spezifischen Schwimmmarten aufgrund der unterschiedlichen muskulären Faserzusammensetzung (Typ I, Typ IIa, Typ IIb), der spezifischen Schwimgeschwindigkeiten, der spezifischen Zuggeschwindigkeiten beim Arm- und Beinschlagmechanismus (spezifische Kombination der Zugfrequenz und Zuglänge) und der Anforderungen der aerob-anaeroben Energiestoffwechselsysteme unterschiedlich sind (Costill, 1978; Komi & Karlsson, 1978; Faulkner et al., 1986; Maglischo, 2003).

Die Annahme (Hypothese IIc), dass die spezifischen physiologisch-biomechanischen Leistungsvoraussetzungen im Schmetterlingsschwimmen im Vergleich zum Kraul- und Rückenschwimmen bei relativ gleichen Schwimgeschwindigkeiten zu höheren signifikanten Herzfrequenzen bei Laktat 4 und 6 mmol/l (HF_{LA4} und HF_{LA6}) im Kraul- und Rückenschwimmen führen, wird durch die Untersuchungsergebnisse bestätigt. Die höheren Werte für HF_{LA4} , HF_{LA6} und HF an der IANS lassen sich mit den Ergebnissen von Kelly et al. (1992) erklären und werden auf die hohe Fluktuation der Zyklusgeschwindigkeit zurückgeführt. Die größere Differenz zwischen Minimum-, und

Maximumgeschwindigkeit während jedes Zugzyklus erfordert eine erhöhte Herz-Kreislaufbeanspruchung.

Allerdings konnte diese Aussage für vergleichbare Intensitäten in Bezug zur individuellen Bestzeit nicht bestätigt werden, weil die Schwimmgeschwindigkeiten in den untersuchten Schwimmarten (K, R und S) unterschiedlich auf Signifikanzniveau ($p \leq 0.05$) waren. Der Ausgleich der spezifischen Schwimmgeschwindigkeit im Pool ist kein einfaches Verfahren und man braucht dazu hochwertige Instrumente wie das Schrittlichtband am Boden oder das Strömungskanal, um die Schwimmgeschwindigkeit der vier Schwimmlagen auf gleichem Level zu versorgen. Nach Untersuchungen von Capelli et al. (1998) ist bei gleicher Schwimmgeschwindigkeit, der Energiebedarf in der Kraultechnik geringer als in den anderen Schwimmtechniken. Bei männlichen Schwimmern liegt bei einer Schwimmgeschwindigkeit von 1.0 m/s (1.5 m/s) der Energieumsatz im Durchschnitt im Kraulschwimmen bei 0.70 (1.23) KJ/m, im Rückenschwimmen bei 0.84 (1.47) KJ/m, im Schmetterlingsschwimmen bei 0.82 (1.55) KJ/m und im Brustschwimmen bei 1.24 (1.87) KJ/m. Als Folgerung ist eine differenzierte leistungsdiagnostische Analyse in verschiedenen Schwimmarten erforderlich, um sowohl physiologische als auch biomechanische Variable besser auszugleichen und zu steuern.

Bei der Anwendung von vielen physiologischen Messmethoden findet man einen beträchtlichen Einfluss der Schwimmartspezifik auf die vergleichbaren Leistungskurven im Schwimmsport. Diese Ergebnisse würden z. B. für das Training der anaeroben Kapazität bedeuten, dass beim Einsatz mit Schmetterlingsschwimmen verglichen mit Kraul- und Rückenschwimmen für den gleichen Trainingseffekt relativ und auch absolut niedrigere Schwimmgeschwindigkeiten geschwommen werden müssten.

Die Untersuchung zeigte, dass die maximale Laktatkonzentration und die maximale Herzfrequenz auf den verschiedenen schwimmvergleichbaren Stufentests in K, R und S keinen signifikanten Unterschied ($p \leq 0.05$) gegeben haben. Trotzdem müssen Trainer und Experten den Umsatz der prozentualen Bestzeiten vom Kraul- oder Rückenschwimmen in Schmetterlingsschwimmern auf gleichem Niveau berücksichtigen, weil die Kraul- und Rückenanstrengung nicht die gleiche erforderliche Laktatkonzentration (LA) und Herzfrequenz (HF) für die wirksame aerob-anaerobe Adaptation der Schmetterlingsstrecke produziert.

5.4 Hypothese III

Es wird angenommen, dass bei maximaler Ausbelastung die Herzfrequenz und Laktatkonzentration im Schmetterling höher ist als im Rücken- und Kraulschwimmen.

In der Studie gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den untersuchten Schwimmarten (K, R und S) bei den männlichen Schwimmern bezüglich der maximalen HF und maximalen Laktatkonzentration (HF_{max} und LA_{max}). Bei den

weiblichen Schwimmerinnen gab es einen signifikanten Unterschied ($p \leq 0.05$) zwischen Kraul und Schmetterling in den MZP 1 und 3. Die HF_{max} zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Schwimmarten.

Die Differenzierung zwischen den kompetitiven Schwimmtechniken anhand maximaler Laktatkonzentration nach dem Wettkampf zeigt ein deutliches Bild der differenzierten anaeroben Beanspruchung nach der Ausbelastung. Die maximale Laktatkonzentration (LA_{max}) wurde mit der enzymatischen Methode bei 23 Probanden 5 min nach jedem Schwimmevent gemessen. Die größte durchschnittliche maximale Laktatkonzentration (LA_{max}) lag bei 25.7 mmol/l wurde bei Schwimmern nach dem 200 m Lagenwettkampfevent ermittelt. Schwimmer im 200 m Schmetterlings-, im Rücken-, im Brust- und im Kraulschwimmen hatten fast gleiche durchschnittliche maximale Laktatkonzentrationen LA_{max} (Bereich von 16.4 bis 20.6 mmol/l) (Sawka et al., 1979; Avlonitou, 1996).

Gupta & Goswami (2001) verglichen die maximale Herzfrequenz (HF_{max}) in verschiedenen Schwimmarten Kraul- (K), Schmetterlings- (S), Brust- (B) und Rückenschwimmen (R). HF_{max} der Schwimmer in K, S, B und R (jeweils über die 100 m Distanz) waren 179.9 ± 7.2 , 180.3 ± 7.0 , 178.6 ± 6.2 und 177.3 ± 5.4 Schläge/min. Die durchschnittlichen Herzfrequenzen betragen in den jeweiligen Wettkämpfen 167.3 ± 15.8 , 166.6 ± 14.1 , 163.3 ± 13.5 und 165.8 ± 14.6 Schläge/min. Unterschiede zwischen den Schwimmarten waren bezüglich der maximalen oder durchschnittlichen Herzfrequenz nicht signifikant. Aus den eigenen Befunden und den Erkenntnissen der Literatur lässt sich schließen, dass bei maximaler Anstrengung, das kardiovaskuläre System im Bereich der maximalen Funktionsreserve unabhängig von der Schwimmlage beansprucht wird.

Inwieweit sich diese Erkenntnisse auf andere Sportarten übertragen lassen, soll im Folgenden geprüft werden. Gupta et al. (1999) berichteten bezüglich der Laktatkonzentration (LA) und Herzfrequenz (HF) bei maximalen Belastungen im 400 m Flach- und 400 m Hürdenlauf signifikante Unterschiede bei der Dauer (51.65 ± 1.51 und 58.27 ± 1.97 s), bei der maximalen HF (192.4 ± 5.3 und 193.6 ± 4.1 Schläge/min) und bei der durchschnittlichen HF (173.6 ± 22.6 und 176.7 ± 19.6 Schläge/min bzw.). Die Laktatkonzentration beim Flachlaufen war mit 18.84 ± 1.57 mmol/l bedeutend ($p < 0.05$) höher als beim Hürdenlaufen (16.14 ± 1.97 mmol/l) gefunden. Die Untersuchung zeigt an, dass der kardiovaskuläre Stress in beiden Events gleich ist, obwohl das Flachlaufen einen höheren anaerob glykolytischen Bedarf als das Hürdenlaufen hat.

Faria & Faria (1998) erforschten die Hypothese, ob die Übungsbelastungen von dem gleichen Prozentsatz der Maximalkraft für einen bestimmten Teil des Körpers ähnliche kardiovaskuläre Reaktionen entlocken könnten. Die Analyse der Varianz zeigte, dass, obwohl die Ausgangspower für die Beinausdehnung 144% höher als für die Arme war, die durchschnittliche HF zwischen den Übungsarten nicht bedeutend

unterschiedlich waren. Insgesamt zeigen die Ergebnisse von vielen Studien, dass das kardiomuskuläre System bei den maximalen Belastungen auf verschiedenen Testkonditionen unverändert bleibt. Diese Aussage unterstützt die vorliegende Hypothese III im Schwimmsport.

Boudet et al. (2002) untersuchten die Variabilität der maximalen Herzfrequenz (HF_{max}) in drei verschiedenen Konditionen und zwar bei Labortests, Feldtests und bei Wettkämpfen. Bei allen erschöpfenden Events wurden die Herzfrequenz mit einem HF-Messgerät (Accurex Plus, Polar Electro, Finnland) aufgezeichnet und die genauen maximalen Herzfrequenzen wurden miteinander und mit vorausgesagten maximalen Herzfrequenzen beurteilt und verglichen. Die Ergebnisse zeigten, dass unter den drei Konditionen die HF_{max} statistisch nicht unterschiedlich waren ($p = 0.62$, NS, Friedman Test). Die durchschnittliche HF_{max} beträgt im Labor 194.3 ± 7.8 , im Feld 193.8 ± 11.8 und im Wettkampf 192.3 ± 10.1 Schläge/min.

5.5 Hypothese VI

Es wird angenommen, dass die weiblichen Schwimmerinnen im Vergleich zu den männlichen Schwimmern höhere Herzfrequenzwerte bei Laktat 4 und 6 mmol/l sowie an den individuellen anaeroben Schwellen haben.

Die Studie sollte Aufschluss geben, inwieweit sich die Differenzen zwischen beiden Schwimmgruppen bezüglich der Herzfrequenz sowie HF-Schwellen nachweisen lassen. Die Herzfrequenzen bei 4 und 6 mmol/l Laktatkonzentration der weiblichen Schwimmerinnen waren signifikant ($p \leq 0.05$) höher als die der männlichen Schwimmer in allen Schwimmarten. Es ist bekannt, dass die Herzfrequenz der Frau in Ruhe höher ist als beim Mann. Ursächlich hierfür ist das geringere Herzvolumen der Frau. Im Durchschnitt ist das Herzvolumen der Schwimmerinnen um ca. 25% kleiner, das relative Herzvolumen (pro kg Körpermasse) aber nur um 10-15% geringer. Aufgrund des geringeren Herzvolumens ist auch das Schlagvolumen der weiblichen Athleten bei gleicher Belastung kleiner als bei männlichen Schwimmern. Das benötigte Herzminutenvolumen kann folglich nur durch eine höhere HF ausgeglichen werden. Auch das maximale Schlagvolumen ist bei den weiblichen Schwimmerinnen entsprechend geringer. Hinzu kommt, dass die Schwimmerinnen pro Milliliter Schlagvolumen nur eine kleinere Menge Sauerstoff transportieren können, da die Hämoglobinkonzentration im Blut um 10-15% niedriger liegt als beim Mann (13.5 g/100 ml zu 15.0 g/100 ml). Folglich weisen die Schwimmerinnen im Vergleich zu Schwimmern eine kleinere Sauerstofftransportkapazität auf. Wenn die weiblichen Schwimmerinnen submaximal belastet werden, so steigt wegen des kleineren Schlagvolumens und der niedrigeren O_2 -Transportkapazität die Herzfrequenz stärker an (Ekblom & Hermansen, 1968; Higginbotham et al., 1986; Coyle, 1991; Rowell, 1993; Sullivan et al., 1991; de Marees, 2007).

Nach den Ergebnissen von Swan & Spitler (1989) sind die kardialen Dimensionen signifikant ($p < 0.05$) größer bei den männlichen Schwimmerinnen im Vergleich zu den weiblichen Schwimmern (Linksherz: posteriore Wanddicke (LVPWT) 7.9 ± 1.0 mm versus 7.1 ± 0.8 mm; Linksherz: enddiastolische Diameter (LVEDD) 50.6 ± 5.7 mm versus 43.5 ± 3.8 mm).

Die Studie von Koltyn et al. (1991) bestätigt die Aussage der Hypothese VI. 31 kompetitive weibliche Schwimmerinnen wurden mit 31 kompetitiven männlichen Schwimmern auf ihren wahrnehmenden Reaktionen im submaximalen Schwimmen untersucht und miteinander verglichen. Jeder Schwimmer beendete die 200 m Strecke in der Hauptschwimmart bei 90% der Bestzeit. Unterwasser- und Overheadschriftlichter wurden verwendet, um eine gleich bleibende Geschwindigkeit während des Tests zu erreichen. Die HF wurde mittels Radiotelemetrie bestimmt. Die durchschnittliche Herzfrequenz war bedeutend höher ($p < 0.05$) für die weiblichen Schwimmerinnen.

Basierend auf diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die weiblichen Schwimmerinnen auf dem gleichen relativen Intensitätslevel weniger beansprucht werden als die männlichen Schwimmer. Neben dem geschlechtsspezifischen Unterschied zeigen andere Studien, dass die Herzfrequenz auch ein vom Lebensalter (Ogawa et al., 1992) und von der Sportart (Holmer, 1972; Pluto et al., 1988; Shono et al., 1993) abhängiger Parameter ist.

5.6 Hypothese V

Es wird angenommen, dass die weiblichen Schwimmerinnen im Vergleich zu den männlichen Schwimmern niedrigere Laktatkonzentrationen an der individuellen anaeroben Schwelle und niedrigere maximale Laktatkonzentrationen erreichen.

Die männlichen Schwimmer wiesen einen signifikanten Unterschied ($p \leq 0.05$) in den Schwimmgeschwindigkeiten und Laktatkonzentrationen an der individuellen anaeroben Schwelle im Vergleich zu den weiblichen Schwimmerinnen auf. Dies kann auf die erhöhte Kraft und das höhere Muskelvolumen der männlichen Schwimmer zurückgeführt werden. Bei mehr Muskelmasse kann auch höhere Laktatkonzentration im Blut entstehen.

Der Muskelanteil an der Körpermasse ist bei den weiblichen Schwimmerinnen mit etwa 36% gegenüber den männlichen Schwimmern (ca. 40%) kleiner, der Fettgewebsanteil an der Körpermasse ist mit ca. 25% bei den weiblichen Schwimmerinnen gegenüber ca. 15-18% bei den männlichen Schwimmern größer. Die Funktionen der Organsysteme werden in starkem Maße hormonell beeinflusst. Neben dem höheren Körperfettanteil sind die hormonellen Faktoren (z.B. Adrenalin, Kortisol, Epinephrin, Testosteron, Östrogen und Norepinephrin) die Ursache für den geringeren Energiebedarf und damit den um ca. 10% geringeren

Sauerstoffverbrauch in Ruhe bei den Frauen. Der maximale Energieumsatz der weiblichen Athletin liegt bei etwa 70% der männlichen Athleten.

Viele Untersuchungen konnten nachweisen, dass der Energieverbrauch beim Schwimmen auch von der Körpermasse und somit dem Körpergewicht des im Wasser schwimmenden Probanden abhängt, weil ein Teil der aufgebrachten Energie bereits für das Gleiten des Körpers im Wasser verloren geht (Hemmingsen, 1957). Dieses Ergebnis ist damit zu erklären, dass die weiblichen Schwimmerinnen durch ihre kleinere „body-cross sectional area“ einen geringeren Widerstand im Wasser erzeugen (Toussaint & Hollander, 1994).

Zusätzlich bedeutet die größere Körpermasse der männlichen Schwimmer eine größere Muskelzellzahl, die zur Energiegewinnung bereitsteht und somit auch einen höheren maximalen Energieverbrauch bedingt (Holmer, 1972 & 1974; Davies & Sargeant, 1974 und 1975; Stamford et al., 1978; Klausen et al., 1982; Lewis et al., 1983; Ogita & Tabata, 1992;).

Als wissenschaftlicher Hinweis lieferte die Studie von Benelli et al. (2007) ähnliche Ergebnisse, die 108 Schwimmer bei den Weltmeistermeisterschaften untersuchten, um das Laktat nach der Wettkampfbelastung zu beurteilen und die durchschnittliche Rate der Laktatakkumulation zu berechnen. Darüber hinaus wurden bei 77 Probanden anthropometrische Messungen durchgeführt. Als die Teilnehmer in 10-jährigen Altersgruppen eingeteilt wurden, zeigten die männlichen Schwimmer höheres Laktat als die weiblichen Schwimmerinnen (faktorielle ANOVA, $p < 0.01$).

Bonifazi et al. (1993) überprüften ebenfalls die Laktatkonzentration nach Wettkämpfen. Aurikulare Blutproben ($N = 421$) wurden in 203 Eliteschwimmer (116 Männer und 87 Frauen) nach Wettkämpfen auf der 25 m Schwimmbahn genommen. Die Verteilung aller Laktatwerte unterschied sich zwischen den männlichen und weiblichen Schwimmern signifikant.

Dieses Ergebnis lässt sich plausibel mit den physiologischen Unterschieden zwischen den männlichen und weiblichen Probanden und mittels der Differenzen bezüglich der biomechanisch unterschiedlichen Voraussetzungen zwischen beiden Geschlechtern erklären. Seifert et al. (2004) untersuchten die mechanische Variable (Zuglänge). Bei 10 weiblichen und 14 männlichen Eliteschwimmern, die bei 8 verschiedenen Schwimmgeschwindigkeiten ausbelastet wurden. Mit anthropometrischen Daten konnten den Unterschied zwischen den Geschlechtern erklärt werden (Höhe 171.6 ± 5.8 cm vs. 185.5 ± 4.2 cm und Armspanne 177.12 ± 6.24 cm vs. 192.75 ± 1.83 cm)

Insofern benötigen die weiblichen Schwimmerinnen in ihrer Hauptschwimmlage höhere Zugfrequenzen, um die kürzere Zuglänge auszugleichen. Höhere Bewegungsfrequenzen führen wiederum zu höheren Herzfrequenzen.

5.7 Hypothese IV

Es wird angenommen, dass ein spezifisches Kraulschwimmprogramm zu einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit (Rechtsverschiebung der Laktat-Geschwindigkeits-Kurve) im Kraulschwimmen und zu keiner Veränderung der Leistungsfähigkeit in den anderen Schwimmtechniken führt.

Nach Hargreaves & Spriet (2006) können zahlreiche Faktoren das Maß der Laktatbildung beeinflussen. Dazu zählen die glykogenolytische Fluxion (Massewirkung), das oxidative Potenzial im Muskel, die zelluläre Energieladung, die Catecholaminsekretion und das Isoenzym der Laktatdehydrogenase (LDH).

Eine Vielzahl von Untersuchungen konnte zeigen, dass die Laktatkonzentrationen in Blut und Muskel durch ein Ausdauertraining reduziert wird (Karlsson et al., 1972; Saltin et al., 1976; Favier et al., 1986; Hurley et al., 1986; Jansson et al., 1987;; MacRae et al., 1992; Phillips et al., 1996; Bonen et al., 1998; Putman et al., 1998; Bergman et al., 1999). Niedrigere Levels des Laktats in Blut und Muskel werden als Reduktion der Produktion von Pyruvat interpretiert (Karlsson et al., 1972; Saltin et al., 1976; Favier et al., 1986; Hurley et al., 1986; Jansson et al., 1987; MacRae et al., 1992,).

Nach Maglischo (2003) sind mindestens vier Aspekte für die spezielle aerob-anaerobe Anpassung zu berücksichtigen. Das sportliche Trainingsprogramm, die Schwimmelage, die Wettkampfgeschwindigkeit und die Anteile des beanspruchten metabolischen Systems. Insbesondere das Training in der speziellen Schwimmelage trägt zur spezifischen Adaptation bei, obwohl bei allen Lagen ähnliche Muskelgruppen beansprucht werden.

Insofern sind für die exakte Belastungssteuerung exakte Intensitätsvorgaben für die Schwimmelage erforderlich. Die Komplexität und die Schwierigkeit in der Belastungssteuerung ist die genaue Laktat-, Herzfrequenz- oder Ventilationsschwelle in den vier Schwimmarten (Kraul-, Rücken-, Schmetterlings-, und Brustschwimmen) und in dem Lagenschwimmen zu bestimmen und trainingsmethodisch richtig zu interpretieren.

Deshalb war es Zweck der vorliegenden Untersuchung, die Leistungsdiagnostik Belastungssteuerung im Schwimmen durch den Einsatz der drei spezifischen Schwimmarten (K, R und S) auf vergleichbaren Stufentests zu erhöhen. In der Literatur gibt keine klare Definition oder keine genaue Beurteilung der Trainingsbereiche anhand der prozentualen Bestzeit in den verschiedenen Schwimmarten. In der Leistungsdiagnostik wurde meist die Laktat- und Herzfrequenzschwellen anhand auf der Basis vom Kraulschwimmen zu den anderen Schwimmarten übertragen.

Die vier Schwimmmarten mit dem Lagenschwimmen unterscheiden sich in vielen physiologischen (v_{LA4} , v an der IANS, HF_{LA4} , LA an der IANS u.a.), biomechanischen (v , Zuglänge, Zugfrequenz, Start, Wende u.a.) und eben taktischen (schwimmerische Schrittplanung, Schrittgeschwindigkeitskontrolle u.a.) Variablen.

Durch die erhöhten Laktat- und die Herzfrequenzbeanspruchungen im Schmetterlings-, Brust- und Lagenschwimmen versuchten viele Trainer und Experten andere Schwimmlagen wie Kraul- oder Rückenschwimmen im Training ohne die Berücksichtigung von den physiologischen Differenzen bezüglich der relativen Bestzeiten umzusetzen. Die individuelle anaerobe Laktatschwelle bei 76% bzw. 90% der Bestzeit des Kraulschwimmens führt nicht zu einer optimalen Anpassung beim Schmetterlingsschwimmen. Infolgedessen adaptieren die Schwimmer ihre spezifischen Schwimmleistungsfähigkeiten meist nur in ihrer Hauptschwimmlage, in der getestet und diagnostiziert wurde.

In der Literatur findet man kaum Veränderungen bezüglich der Belastungsintensitäten (berechnet von Bestzeiten) innerhalb der vier Schwimmmarten und Lagenschwimmen. Die prozentuale Bestzeit sollte höher im Kraul- und Rückenschwimmen als im Schmetterlingsschwimmen umgesetzt werden. Durch das Gleichgewicht des Intensitätsumsatzes in den verschiedenen Schwimmstilen adaptieren die Athleten an die richtige Belastungsgrenze. Trotz dieser Abnahme müssen die Sportler immer anhand der Hauptschwimmtechnik, besonders im Schmetterling, durch den Einsatz der Trainingsmittel (Flossen unter anderem Trainingsmittel), die Ruherholung und die Technikoptimierung.

Die schwimmspezifische aerob-anaerobe Anpassung erfordert ein sehr spezifisches Schwimmtraining in der Phase der Wettkampfvorbereitung. Unterschiedliche metabolische Beanspruchungen hängen von der Masse der beteiligten aktiven Muskeln, der Muskelfasern und dem Widerstands-, Stabilisierungsfaktor im Wasser für jede einzelne Schwimmlage ab.

Die Untersuchungen zeigten, dass die Schwimmgeschwindigkeiten bei 4 mmol/l Laktatkonzentration und die Laktatkonzentration an der anaeroben Schwelle bei den männlichen Probanden in den untersuchten Schwimmmarten signifikant ($p \leq 0.05$) unterschiedlich sind. Deutliche Unterschiede der v_{LA4} zeigten auch die weiblichen Probanden in den untersuchten Schwimmmarten (außer im Vergleich Rücken-Schmetterling) und die Laktatkonzentration an der anaeroben Schwelle (außer im Vergleich Kraul-Rücken). Diese Ergebnisse unterstützen die oben genannten Aussagen, dass die körperlichen Belastungen zwischen den drei Schwimmmarten (K, R und S) bei relativ gleichen Schwimmgeschwindigkeiten unterschiedlich sind.

Wichtige Befunde liegen von Gergley et al. (1984) und Magel et al. (1975) vor. In beiden Untersuchungen wurden die Veränderungen der aeroben Ausdauer nach 10

Wochen des Schwimmtrainings beobachtet. Die Probanden führten eine maximale Laufbandbelastung und ein intensives Schwimmen sowohl vor als auch nach dem Training aus. Die Schwimmausdauer, gemessen beim Strickschwimmtest, nahm um 11% bis 18% zu, wobei sich die Laufbandausdauerkapazität nicht veränderte.

Wären in diesem Fall Laufbanduntersuchungen zur Testung der schwimmerischen Leistungsfähigkeit verwendet worden, wären die Wissenschaftlicher zu einem falschen Schluss gekommen, nämlich, dass das Training keinen Einfluss auf die kardiorespiratorische Ausdauerkapazität nimmt. Diese zwei Untersuchungen zeigen die Wichtigkeit der richtigen Auswahl des Testdesigns.

Nach Tanaka (1994) lassen sich die unspezifischen Trainingswirkungen vor allem dann herausstellen, wenn das Laufen als ein Haupttrainingsmittel im Schwimmtraining genutzt werden. Mit diesem Ansatz konnte er die spezifischen und unspezifischen metabolischen Veränderungen herausstellen. Danach erreichten die Schwimmer höhere VO_{2max} im Schwimmen als im Radfahren (58.4 ± 5.6 vs. 51.3 ± 5.1 ml/kg/min). Die Untersuchung bestätigt, dass die Belastungstestformen die VO_{2max} -Werte beeinflussen können und dass Schwimmer sehr spezifische Trainingsadaptationen erfahren.

Die Ergebnisse von Ogita & Taniguchi (1995) zeigen, dass die maximale kardiorespiratorische Beanspruchung auf einer Schwimmbank (SB) im Vergleich zum Armzugtest (AZ) in einem Strömungskanal physiologisch unterschiedlich ist. Die VO_{2max} , die HF_{max} und die Gesamtbelastungsdauer waren auf der Schwimmbank bedeutend niedriger als während der Armzugübungen im Wasser. Diese Ergebnisse zeigen, dass, obwohl beide Messmethoden die Beanspruchung der Muskeln des Oberkörpers bewerteten, es zu unterschiedlichen Ergebnissen in den physiologischen Parametern kommt.

Schließlich sind lokale Faktoren wie periphere Kreislaufaktivität, kapilläre Dichte, Perfusionsdruck und metabolische Kapazität der aktiven Muskeln, wichtige Determinanten der Kraftproduktionskapazität und heben die Rolle der spezifischen Schwimmtrainingsbewegungen hervor. Die verbesserte Schwimmtechnik und die Effizienz werden vor allem durch die Spezifik des Trainings bestimmt (Holmér, 1992).

6 Zusammenfassung

Eine Analyse der leistungsdiagnostischen Methoden und Verfahren im Schwimmsport ergab, dass das spezielle Anforderungsprofil jeder einzelnen Schwimmtechnik in der komplexen Leistungsdiagnostik kaum Berücksichtigung findet. In der Regel konzentrieren sich die leistungsdiagnostischen Untersuchungen nur auf eine Schwimmtechnik. Aus den gewonnenen Erkenntnissen werden dann Ableitungen für die Belastungssteuerung in den anderen Schwimmtechniken getroffen. Die muskuläre Beanspruchung, die aerob-anaerobe Leistungsfähigkeit der Schwimmer und die biomechanischen Anforderungen sind in den einzelnen Schwimmtechniken jedoch äußerst unterschiedlich, so dass es problematisch erscheint, leistungsdiagnostische Befunde aus einer Schwimmtechnik auf andere Schwimmtechniken zu übertragen. Ziel dieser Studie war es deshalb, die physiologischen und biomechanischen Unterschiede der einzelnen Schwimmtechniken und die Bedeutung einer disziplinspezifischen Leistungsdiagnostik umfassend herauszuarbeiten und durch eigene Befunde neue Erkenntnisse für die Leistungsdiagnostik und Belastungssteuerung im Schwimmsport zu gewinnen.

Im ersten Teil der Arbeit wird der Forschungsstand zur Leistungsdiagnostik und Biomechanik des Schwimmsports aufgezeigt und die Forschungsdefizite herausgestellt.

Der empirische Teil der Arbeit basiert auf einer Längsschnittuntersuchung im Schwimmsport mit sechs männlichen und acht weiblichen Leistungsschwimmern des Schwimmvereins SV Halle. Alle Probanden absolvierten in einem dreimonatigen Zeitraum zu drei Messzeitpunkten neun Stufentests über 5 x 200 m mit Laktat- und Herzfrequenzbestimmung im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen. Die Schwimmgeschwindigkeiten für die einzelnen Belastungsstufen wurden aus der 200-Bestzeit der jeweiligen Schwimmtechnik abgeleitet. Begonnen wurde mit 76% der Bestzeit, danach wurde die Intensität jeweils um vier Prozent erhöht. Die letzte Stufe musste mit maximaler Geschwindigkeit geschwommen werden. Die Blutabnahme erfolgte direkt nach jeder Belastungsstufe in den ersten 20 Sekunden. Mit diesem methodischen Vorgehen wurde sichergestellt, dass in allen drei Schwimmtechniken die Belastungstests individuell an die aktuelle Leistungsfähigkeit des Schwimmers angepasst sind und somit eine vergleichende Betrachtung der Ergebnisse zwischen den Tests möglich ist.

Bei gleichen Schwimmgeschwindigkeiten erreichen alle Schwimmer beim Kraulschwimmen deutlich niedrigere Laktatkonzentrationen als in den anderen Disziplinen. Im Schmetterlingsschwimmen akkumuliert das Laktat in der ersten Belastungsstufe über den aeroben Bereich und liegt bereits oberhalb der von Almeida et al. (1999) ermittelten anaeroben Laktatschwelle von durchschnittlich 3.5

bis 4.0 mmol/l in 200 und 400 m Schwimmtests. Die Laktat-Geschwindigkeits-Kurven zeigen beim Kraul- und Schmetterlingsschwimmen eine flachere Steigung als beim Rückenschwimmen. Bei der individuellen anaeroben Laktatschwelle nach Simon und der 4-mmol/l-Schwelle nach Mader sowie bei 6 und 8 mmol/l Laktat ist die Schwimmgeschwindigkeit in der Kraultechnik am höchsten und beim Schmetterlingsschwimmen am geringsten. Die Herzfrequenz ist im Schmetterling bei gleichen Geschwindigkeiten deutlich höher als beim Rücken- und Kraulschwimmen. Vergleicht man hingegen die Herzfrequenz bei 4 und 6 mmol/l Laktat, so zeigen sich zwischen den drei Schwimmtechniken keine Unterschiede. Bei maximaler Schwimmgeschwindigkeit werden bei allen drei Schwimmtechniken annähernd die gleichen maximalen Laktat- und Herzfrequenzwerte erreicht. Beim 2. und 3. Messzeitpunkt (nach 4 bzw. 9 Wochen) zeigt die Laktat-Geschwindigkeits-Kurve in allen drei Schwimmtechniken eine Rechtsverschiebung, d. h. bei gleicher Schwimmgeschwindigkeit ist der anaerobe Anteil zur Energiegewinnung reduziert. Die aufgezeigten Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken sind trotz verbesserter Leistung unverändert.

Im Rückenschwimmen ist der stärkste Anstieg der Laktat-Geschwindigkeits-Beziehung erkennbar. Männer und Frauen zeigen für die submaximalen Parameter ein vergleichbares Bild im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen. Unterschiede zeigen sich in den Absolutwerten der Schwimmgeschwindigkeit, der maximalen Laktatkonzentration und der maximalen Herzfrequenz. Die Schwimmerinnen erreichen eine signifikant höhere maximale Herzfrequenz und die Männer eine signifikant höher maximale Laktatkonzentration in allen drei Schwimmtechniken.

Insgesamt lassen die Ergebnisse den Schluss zu, dass leistungsdagnostische Befunde aus einer Schwimmtechnik nur bedingt auf andere Schwimmtechniken übertragen werden können. Die Laktatbildung und die Herzfrequenz unterscheiden sich in Abhängigkeit der Schwimmtechnik, der Leistungsfähigkeit und des Geschlechts. Das Niveau der Schwimmtechnik und die erworbenen Krafftfähigkeiten haben einen beträchtlichen Einfluss auf die individuellen Unterschiede in den Laktatkonzentrationen.

Im Schmetterlingsschwimmen ist ein aerobes Grundlagenausdauertraining aufgrund der erhöhten anaeroben Belastung bei geringer Schwimmgeschwindigkeit nicht zu empfehlen. Aufgrund der hohen muskulären Beanspruchung wird die individuelle anaerobe Schwelle beim Schmetterlingsschwimmen bei einer höheren Laktatkonzentration als beim Kraul- und Rückenschwimmen erreicht. Die Herzfrequenz ist zur individuellen Belastungssteuerung nur bedingt einsetzbar.

7 Schlussfolgerung

Aus den Erkenntnissen dieser Arbeit lassen sich für die Leistungsdiagnostik und Belastungssteuerung im Schwimmsport bedeutsame Folgerungen schließen:

- Die Laktatbildung und die Herzfrequenz unterscheiden sich in Abhängigkeit der Schwimmtechnik, der Leistungsfähigkeit und des Geschlechts. Das Niveau der Schwimmtechnik und die erworbenen Krafftfähigkeiten haben einen beträchtlichen Einfluss auf die individuellen Unterschiede in den Laktatkonzentrationen.
- Leistungsdiagnostische Befunde eines Stufentests in einer Schwimmtechnik lassen sich nur bedingt auf andere Schwimmtechniken übertragen.
- Der Einsatz der Schwimmstufentests auf der Basis spezifischer leistungsdiagnostischer Schwimmtechniken (Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen) gestattet eine Individualisierung der Trainingsintensität über die speziellen Laktat- und Herzfrequenzmessgrößen (v_{LA4} , v_{LA6} , v an der IANS, LA an der IANS, HF_{LA4} , HF_{LA6} , HF an der IANS). Die Belastungssteuerung kann mittels der Ergebnisse disziplinspezifischer Diagnostik präziser erfolgen.
- Die Ausprägung einer guten Schwimmleistung erfordert eine solide Ausdauerfähigkeit. Insofern sollten im aeroben Grundlagentraining die Schwimmgeschwindigkeiten nicht oberhalb der individuellen anaeroben Schwelle liegen. Um eine hohe Belastbarkeit zu erreichen, sind alle Schwimmtechniken in das Grundlagentraining zu integrieren.
- Im Schmetterlingsschwimmen ist ein aerobes Grundlagenausdauertraining aufgrund der erhöhten anaeroben Belastung bei geringer Schwimmgeschwindigkeit nicht zu empfehlen. Aufgrund der hohen muskulären Beanspruchung wird die individuelle anaerobe Schwelle beim Schmetterlingsschwimmen bei einer höheren Laktatkonzentration als beim Kraul- und Rückenschwimmen erreicht. Die Herzfrequenz ist zur individuellen Belastungssteuerung nur bedingt einsetzbar.
- Aufgrund der erhöhten Abhängigkeit von Beinschlägen im Rücken- und im Schmetterlingsschwimmen erfordert das Rücken- und Schmetterlingsschwimmen eine solide lokale aerobe Ausdauerfähigkeit in der Beinmuskulatur. Diese kann durch den Einsatz mehrerer Grundlagen-

ausdauertrainingssätze unterhalb der individuellen anaeroben Schwellen in der jeweiligen Schwimmtechnik erworben werden.

- Aufgrund der geschlechtsspezifischen Unterschiede im Laktat- und Herzfrequenzverhalten bei den Schwimmbelastungen müssen die Schwimmintensitätsvorgaben individuell angepasst werden. Die bisherige Trainingspraxis, gleiche relative Intensitäten anhand der prozentualen Bestzeit für Männer und Frauen vorzugeben, muss modifiziert werden.
- Für das Grundlagentraining über längere Schwimmstrecken muss die Trainingsintensität zusätzlich durch individuelle Herzfrequenzangaben ergänzt werden.
- Kraulschwimmens ist die ökonomischste Technik. Um beim Grundlagentraining auch weniger ökonomische Techniken wie das Schmetterlingsschwimmen mit einzubeziehen, wären zusätzliche Trainingsmittel (z.B. Flossen) verstärkt einzubeziehen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Schmetterlingsbeinschlag auf intermittierend beim Rückenschwimmen auszuüben.
- Aufgrund der spezifisch beanspruchten Muskelfasern in den vier Schwimmtechniken führt ein unspezifisches Trainingsmittel zu negativen Adaptationen bezüglich der spezifischen Leistungsfähigkeit.
- Die maximale Laktatkonzentration und die maximale Herzfrequenz spielen eine untergeordnete Rolle in der Belastungssteuerung beim Schwimmen. Besondere Bedeutung für die Belastungssteuerung haben die individuellen Werte an der Herzfrequenz- und Laktatschwelle in jeder Schwimmtechnik.

Literaturverzeichnis

- Adrian, M.J., Stng, M. & Karpovich, P.V. (1966). Energy Cost of leg kick, arm stroke, and whole crawl stroke. *Journal of Applied Physiology*, **21**, 1763 –1766.
- Almeidal, A.G., Gobatto, C.A., Lenta, C. and Kokubun, E. (1999). Influences of swimming test distance in the anaerobic threshold determination and blood lactate levels. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **31**(5), 1253.
- Andersen, P. (1976). The use of hand paddles, overload training and after effects. *Swimming Technique*; **13**, 58-62.
- Anderson, G.S. and Rhodes, E.C. (1989). A review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. *Sports Med.*, **8**(1), 43-55.
- Anderson, I.K. (1960). Energy cost of swimming. *Acta chir Scand*, 253-169.
- Åstrand, P-O. & Rodahl, K. (1986) Textbook of work physiology, 3rd edn. McGraw-Hill, New York.
- Åstrand, P.O. & Saltin, B. (1961). Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of Muscular activity. *Journal of Applied Physiology*, **16**, 977.
- Aunola, S. and Rusko, H. (1984). Reproducibility of aerobic and anaerobic thresholds in 20-50 year old men. *European Journal of Applied Physiology*, **53**, 260-6.
- Aunola, S. and Rusko, H. (1992). Does anaerobic threshold correlate with maximal lactate steady-state? *Journal of Sports Sciences*, **10**, 309-23.
- Aunola, S., Marniemi, J., Alanen, E., Mantyla, M., Saraste, M. and Rusko, H. (1988). Muscle metabolic profile and oxygen transport capacity on determinant of aerobic and anaerobic thresholds. *European Journal of Applied Physiology*, **50**, 405-11.
- Avlonitou, E. (1996). Maximal lactate values following competitive performance varying according to age, sex and swimming style. *J Sports Med Phys Fitness.*; **36**(1): 24-30.
- Balsom, P.D., Ekblom, B., Söderlund, B., Sjodin, B. and Hultman, E. (1993). Creatine supplementation and dynamic high intensity intermittent exercise. *Scandinavian Journal of Medical Science in Sports*; **3**, 143-149.
- Barber, J.W., Robinson, T.L., Smith, E.R. and Vitale, D.A. (1999). Anaerobic threshold determination for breaststroke and butterfly in competitive swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **31**(5), 1398.

- Barbosa, T.M., Keskinen, K.L., Fernandes, R., Colaco, P., Carmo, C. & Vilas-Boas, J.P. (2005²). Relationships between energetic, stroke determinants, and velocity in butterfly. *Int J Sports Med.*; **26**(10), 841-6.
- Barbosa, T.M., Keskinen, K.L., Fernandes, R., Colaco, P., Lima, A.B. & Vilas-Boas, J.P. (2005¹). Energy cost and intracyclic variation of the velocity of the centre of mass in butterfly stroke. *Eur J Appl Physiol.*; **93**(5-6), 519-23.
- Beaver, W., Lammarra, N. & Wasserman, K. (1981). Breath-by-breath measurement of true alveolar gas exchange. *J Appl Physiol: Respirat Environ Exerc Physiol*; **51**, 1662-1675,.
- Beneke, R. and Duvillard, S. (1996). Determination of maximal lactate steady state in selected sports events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **28**, 241-46.
- Benelli, P., Ditroilo, M., Forte, R., De Vito, G. & Stocchi, V. (2007). Assessment of post-competition peak blood lactate in male and female master swimmers aged 40-79 years and its relationship with swimming performance. *Eur J Appl Physiol*; **99**(6), 685-693.
- Bergman, B.C., Wolfel, E.E., Butterfield, G.E., Lopaschuk, G.D., Casazza, G.A., Horning, M.A. & Brooks, G.A. (1999). Active muscle and whole body lactate kinetics after endurance training in men. *Journal of Applied Physiology*, **87**, 1684-1696.
- Billat, V., Dalmay, F., Antonini, M. & Chassain, A. (1994). A method for determining the maximal steady state of blood lactate concentration from two levels of submaximal exercise. *European Journal of Applied Physiology*, **69**, 196-202.
- Bishop, D., Jenkins, D.G. and MacKinnon, L.T. (1998). The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} , and 1-h cycling Performance in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **30**(8), 1270-1275.
- Bishop, P. & Martino, M. (1993). Blood lactate measurement in recovery as an adjunct to training. Practical consideration. *Sports Med.*, **16**(1): 5-13.
- Bonen, A., Baker, S.K. & Hatta, H. (1997). Lactate transport and lactate transporters in skeletal muscle. *Canadian Journal of Applied Physiology*, **22**(6), 531-552.
- Bonen, A., Dyck, D.J. & Luiken, J.J. (1998). Skeletal muscle fatty acid transport and transporters. *Adv. Exp. Med. Biol* 441: 193-205.
- Bonen, A., McCullagh, K.J., Putman, C.T., Hultman, E., Jones, N.L. and Heigenhauser, G.J. (1998). Short-term training increases human muscle MCT1 and femoral venous

- lactate in relation to muscle lactate. *American Journal of Physiology*, **274**(37), 102-107.
- Bonifazi, M., Martelli, G., Marugo, L., Sardella, F. & Carli, G. (1993). Blood lactate accumulation in top level swimmers following competition. *J Sports Med Phys Fitness*; **33**(1), 13-8.
- Boudet, G., Garet, M., Bedu, M., Albuisson, E. & Chamoux, A. (2002). Median maximal heart rate for heart rate calibration in different conditions: laboratory, field and competition.
- Brooks, G.A., Fahey, T.D., White, T.R. & Baldwin, K.M. (1996). Exercise Physiology: Human Bioenergetics and its Applications. *Mountain View, CA: Mayfield*.
- Brooks, G.A., Wolfel, E.E., Groves, B.M., Bender, P.R., Butterfield, G.E., Cymerman, A., Mazzeo, R.S., Sutton, J.R., Wolfe, R.R., & Reeves, J.T. (1992). Muscle accounts for glucose disposal but not blood lactate appearance during exercise after acclimatization to 4,300 m. *Journal of Applied Physiology*, **72**, 2435-2445.
- Bucher, W. (1975). The influence of the leg kick and the arm stroke on the total speed during the crawl stroke. Proc. 2nd internat. sympos. on „Biomechanics in swimming,, Lewille L. & Clarys, J: Brussels, Belgium, Univ, *Park Press*, Baltimore, U.S.A.
- Capelli, C., Pendergast, D.R. and Termin, B. (1998). Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, **78**(5), 385-93.
- Carre, F., Dassonville, J., Beillot, J-Y. and Rochcongar, P. (1994). Use of oxygen uptake recovery curve to predict peak oxygen uptake in upper body exercise. *European Journal of Applied Physiology*; **69**: 258-261.
- Casaburi, R., Storer, T.W. & Wasserman, K. (1987) Mediation of reduced ventilatory response to exercise after endurance training. *J Appl Physiol.*, **63**(4), 1533-8.
- Clasing, D., Weicker, H. & Böning, D. (1994). Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik, *Gustav Fischer Verlag*, Stuttgart, 165-174.
- Costill, D.L. (1970). Metabolic responses during distance running. *J Appl Physiol.*; **28**(3), 251-5.
- Costill, D.L. (1978). Adaptations in skeletal muscle during training for sprint and endurance swimming. *In Swimming Medicine IV: International Series on Sport Sciences*, vol. 6, edited by B. Eriksson and B. Furberg, 233-248. Baltimore: *University Park Press*.

- Costill, D.L. (1978). Adaptations in skeletal muscle during training for sprint and endurance swimming. In *swimming Medicine IV: International Series on Sport Sciences*, vol. 6, edited by B. Eriksson and B. Furberg, 233-248. Baltimore: University Park Press.
- Counsilman, J.E. (1994). *Handbuch des Sportschwimmens für Trainer, Lehrer und Athleten*. Schwimmsport-Verlag Fahnenmann, Bockenem.
- Craig, A.B. & Pendergast, D.R. (1979). Relationships of stroke rate distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Med Sci Sports.*, **11**(3), 278-83.
- Craig, A.B., Skehan P.L., Pawelczyk, J.A. & Boomer, W.L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Med Sci Sports Exerc.*, **17**(6), 625-34.
- Craig, N.P., Norton, K.I., Bourdon, P.C., Woolford, S.M., Stanef, T., Squires, B., Olds, T.S., Conyers, R.A.J. and Walsh, C.B.V. (1993). Aerobic and anaerobic indices contributing to track endurance cycling Performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, **67**, 150-158.
- Davies, C.T.M. & Sargeant, A.J. (1974). Physiological responses to one and two-leg exercise breathing air and 45% oxygen. *J Appl Physiol*; **36**: 142-148.
- Davies, C.T.M. & Sargeant, A.J. (1975). Effect of training on the physiological responses to one and two-leg work. *J Appl Physiol*, **38**, 377-381.
- De Marees, H. (2007). *Sportphysiologie – 9., vollst. Aufl. / Bearb.: Heck, H. & Bartmus, U. – Köln: Sport und Buch Strauß.*
- Di Prampero, P. (1989). Cout energetique de la natation et du cyclisme. In: Rieu M, Barrault D (Hrsg). *Les limites de la performance humaine. Ed. Rev. E.P.S., Paris*, 35-37.
- Di Prampero, P.E., Pendergast, D.R., Wilson, D.W. & Rennie, D.W. (1974). Energetics of swimming of men. *Journal of Applied Physiology*, **37**, 1-5.
- DiCarlo, L.J., Sparling, P.B., Millard-Stafford, M.L. & Rupp J.C. (1991). Peak heart rates during maximal running and swimming: implications for exercise prescription. *International Journal of Sports Medicine*, **12**, 309-312.
- Dickhuth, H., Aufenanger, W., Schmidt, P., Simon, G., Huonker, M. & Keul, J. (1989). Möglichkeiten und Grenzen der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Mittel- und Langstreckenlauf. *Leistungssport*, **19**(4), 21-4.

- Eston, R. & Reilly, T. (2001). Kin anthropometry and exercise physiology laboratory manual: *Exercise Physiology*. London, New York: Routledge, 242.
- Faria, EW. & Faria, IE. (1998). Cardiorespiratory responses to exercises of equal relative intensity distributed between the upper and lower body. *J Sports Sci.*, **16**(4), 309-15.
- Farrell, P.A., Wilmore, J.H., Coyle, E.F., Billings, J.E. & Costill, D.L.. (1979). Plasma lactate accumulation and distance running Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **11**, 338-344.
- Faulkner, J.A., Claflin, D.R. & McCully K.K. (1986). Power output of fast and slow fibers from human skeletal muscles. In Human Muscle Power, edited by N.L. Jones, N. McCartney, and A.J. McComas, 81-94. Champaign, IL: *Human Kinetics*.
- Favier, R.J., Constable, S.H., Chen M., & Holloszy, J.O. (1986). Endurance exercise training reduces lactate production. *Appl. Physiol*; **61**, 885-889.
- Flynn M.G., Pizza, F.X., Boone, Jr. J.B., Andres, F.F., Michaud, T.A. & Rodrigues-Zayas, J.R. (1994). Indices of training stress during competitive running and swimming seasons. *Int J Sports Med*, **15**: 21-26,.
- Fujieda, Y., Ohyama, T., Sugiura, K., & Yamauchi, H. (2002). Six-day creatine loading could improve anaerobic performance of repetitive maximal exercise in Japanese athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **34**(5), 808.
- Furian, J.B., Ritthaler, F. & Bidermann, J. (1998). Comparison of different distances and methods of determination of the anaerobic threshold in swimming field step test. Abstract. *International Journal of Sports Medicine*, **19**(1), 23.
- Gabriel, H.H., Urhausen, S., Schwarz, B., Weiler, W. & Kindermann, W. (1998). Cycle ergometric performance capacity, lactate and respiratory parameters during an intensive training period of endurance athletes. Abstract. *International Journal of Sports Medicine*, **19**(1), 24.
- Gaesser, G. & Wilson, L. (1998). Effects of continuous and interval training on the parameters of the powerendurance time relationship for high-intensity exercise. *International Journal of Sports Medicine*, **9**(6), 417-421.
- Gastin, B. (2001). Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. *Sports Medicine*, **31**(10), 725-741.

- Gergley, T.J., McArdle, W.D., DeJesus, P., Toner, M.M., Jacobowitz, S. & Spina, R.J. (1984). Specificity of arm training on aerobic power during swimming and running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **16**, 349-354.
- Ginn, E.M. & Mackinnon L.T. (1989). The equivalence of onset of blood lactate accumulation, critical power, and maximal lactate steady State during kayak ergometry. In Proceedings of the First IOC World Congress on Sports Sciences 34. Colorado Springs: Colortek Printing.
- Gollnick, P.D., Sjödín, B., Karlsson, J., Jansson, E. & Saltin, B. (1974). Human soleus muscle: a comparison of fiber composition and enzyme activities with other leg muscles. *Pflügers Arch*; 348: 247-255.
- Gore, C.J. (2000). Physiological tests of elite athletes, Australian Sports Commission. *Human Kinetics*: Champaign, IL, 372-383.
- Green, S. & Dawson, B. (1993). Measurement of anaerobic capacities in humans: definitions, limitations, and unsolved problems. *Sports Medicine*, **15**(5), 312-327.
- Grosser, M., Brügemann, P. & Zintl, F. (1986). Leistungssteuerung im Training und Wettkampf. München: *BLV-Verlag*.
- Gupta, S., Goswami, A. & Mukhopadhyay, S. (1999). Heart rate and blood lactate in 400 m flat and 400 m hurdle running: a comparative study. *Indian J Physiol Pharmacol.*, **43**(3), 361-6.
- Hardman, A., Mayes, R. and Williams, C. (1987). Onset of blood lactate accumulation and endurance performance in endurance-trained and sprint-trained athletes. *Journal of Physiology*, 394-10.
- Hargreaves, M. & Spriet, L. (2006). Exercise metabolism, second edition. Champaign, IL: *Human Kinetics*
- Heck, H. (1990). Laktat in der Leistungsdiagnostik. *Hofmann-Verlag*, Schorndorf.
- Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mucke, S., Muller, R. & Hollmann, W. (1985). Justification of the 4 mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, **6**, 117-30.
- Heitcamp, H., Holdt, M. and Scheib, K. (1991). The reproducibility of the 4 mmol/l lactate threshold in trained and untrained women. *International Journal of Sports Medicine*. **12**, 363-8.

- Hickson, R.C., Hidaka, K., Foster, C., Falduto, M.T. & Chatterton, R.T. (1994). Successive time course of strength development and steroid hormone responses to heavy-resistance training. *J Appl Physiol*, **76**, 663-670.
- Hollman, W., Rost, R., Liesen, H., Dufaux, B., Heck, B. and Mader, A. (1981). Assessment of different forms of physical activity with respect to preventive and rehabilitative cardiology. *International Journal of Sports Medicine*, **2**, 67-80.
- Hollmann, W. & Hettinger, T. (2000). Sportmedizin – Grundlagen für Arbeit, Training und Präventionsmedizin. *Verlag Schattauer*, Stuttgart.
- Hollmann, W. (1995). Lexikon der Sportmedizin. *Barth Verlag*, Heidelberg/Leipzig (Hrsg.).
- Holmér, I. & Haglund, S. (1978). The swimming flume: Experiences and applications. In: Eriksson BB, Furberg (Hrsg.): *Swimming Medicine IV*. Baltimore: University Park Press.
- Holmér, I. (1972). Oxygen uptake during swimming in man. *J Appl Physiol*, **33**, 502-509.
- Holmér, I. (1974). Energy cost of arm stroke, leg kick, and the whole stroke in competitive swimming styles. *European Journal of Applied Physiology*, **32**(2), 105-118.
- Holmér, I. (1992). Swimming physiology. *Ann Physiol Anthropol.*, **11**(3), 269-76.
- Hoogeveen, A.R., Hoogsteen, J. & Schep, G. (1997). The maximal lactate steady state in elite endurance athletes. *Japanese Journal of Physiology*, **47**, 481-5.
- Horn, M. E., Baer, J.T., and Vanderburgh, P.M. (1998). Improved sprint cycle performance following consumption of a chromium-carbohydrate beverage during prolonged exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **30**(5), 878.
- Hottenrott, K. & Urban V. (2004). Das große Buch vom Skilanglauf. Aachen: Meyer & Meyer.
- Hottenrott, K. & Zülch, M. (1998). Ausdauertrainer Triathlon. Reinbek: Rowohlt.
- Hottenrott, K. (1993). Trainingssteuerung im Ausdauersport: *Theorien– Untersuchungen – Beispiele.*- 1. Aufl., Ahrensburg, Czwalina.
- Hottenrott, K. (2004). Ausdauertraining mit System. *Dr. Loges + Co. GmbH*, Winsen.
- Hottenrott, K. (2007). Training with the heart rate monitor. Mayer & Mayer.

- Hottenrott, K. & Sommer, H.M. (2001). Aktivierung des Fettstoffwechsels in Abhängigkeit von Nahrungskarenz, Kohlenhydratkost und Ausdauerleistungsfähigkeit. *Dtsch. Z. Sportmedizin, Sonderheft*, **52**, 7-8.
- Hughson, R.L., Orok, C.J. & Staudt, L.E. (1984). A high velocity treadmill running test to assess endurance running potential. *International Journal of Sports Medicine*: **5**: 23-25.
- Hultman, E. & Sahlin, K. (1980). Acid-base balance during exercise. *Exerc Sport Sci Rev.*; **8**, 41-128.
- Hurley, B.F., Nemeth, P.M., Martin, W.H., Hagberg, J.M., Dalsky, G.P. & Holloszy, J.O. (1986). Muscle triglyceride utilization during exercise: Effect of training, *Appl. Physiol.* **60**, 562-567.
- Inal, M., Akyuz, F., Turgut, A. & Getsfrid, W.M. (2001). Effect of aerobic and anaerobic metabolism on free radical generation swimmers. *Med Sci Sports Exerc.*, **33**(4), 564-7. *Int J Sports Med.*; 23(4): 290-7.
- Israel, S. (1982). Sport und Herzschlagfrequenz. Barth, Leipzig.
- Jacobs, L., Esbjornsson, M., Sylven, C., Holm, I. & Jansson, E. (1987). Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **19**(4), 368-374.
- Janssen, P. (1987). Training, lactate, pulse-rate. Oulu: Polar Electro Oy.
- Janssen, P. (2001). Lactate Threshold Training, 1st edition. Champaign, IL: *Human Kinetics*.
- Janssen, P.G. (1993). Ausdauertraining: Trainingssteuerung über die Herzfrequenz- und Milchsäurebestimmung.- *Beiträge zur Sportmedizin*, Bd. 34, 2. Aufl., Erlangen.
- Janssen, P.G.J.M. (1989). Ausdauertraining - Trainingssteuerung über die Herzfrequenz- und Milchsäurebestimmung, Erlangen.
- Jansson, E. & Kaijser, L. (1987). Substrate utilization and enzymes in skeletal muscle of extremely endurance-trained men. *Appl. Physiol*; **62**, 999-1005.
- Jenkins, D.J. & Quigley, B.M. (1990). Blood lactate in trained cyclists during cycling ergometry at critical power. *European Journal of Applied Physiology*; **61**, 278-283.
- Jeschke, D. & Lorenz, R. (1998). Sportartspezifische Leistungsdiagnostik energetische Aspekte, *Sport und Buch Strauß*, Köln.

- Johnson, S.N., Plowman, S.A., DeLancey, M.R., Larson, B.M., Rudie, L., Miller, B. & Rzeutko, K. (2002). Effects of a ginseng and mushroom based herbal supplement on lactate response to resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **34**(5), 1300.
- Jones, N. and Ehsam, R. (1982). The anaerobic threshold. *Exercise and Sport Science Review*, **10**, 49-83.
- Karlsson, J., Nordesjo, L-O., Jorfeldt, L. & Saltin B. (1972). Muscle lactate, ATP, and CP levels during exercise after physical training in man. *Appl. Physiol*, **33**, 199-203.
- Karpovich, P. V. & Pestrecon, K. (1939). Mechanical Work and Efficiency in Swimming Crawl and Back stroke, *Arbeitsphysiologie*, **10**, 504-514.
- Karpovich, P.V. & Millman, N. (1944). Energy expenditure in swimming. *Am. J. Physiol.*, 142-140.
- Karvonen, J. & Vuorimaa, T. (1989). Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. *Sports Med.*, **5**(5), 302-312.
- Kelly, M., Gibney G., Mullins J., Ward T., Donne B., & O'Brien M. (1992). A study of blood lactate profiles across different swim strokes. In *Biomechanics and Medicine in Swimming: Swimming Science VI*, edited by MacLaren, D., Reilly T., & Lees A., E & F.N. Spon, London, 227-234.
- Keskinen, K., Tilli, L., & Komi, P. (1989). Maximum velocity swimming: Interrelationships of stroking characteristics, force production and anthropometric variables. *Scandinavian Journal of Sports Science*, **11**(2): 87-92.
- Keskinen, K., Tilli, L., & Komi, P. (1989). Maximum velocity swimming: Interrelationships of stroking characteristics, force production and anthropometric variables. *Scandinavian Journal of Sports Science*; **11**(2), 87-92.
- Keskinen, K.L., Komi, R.V. & Rusko H. (1989). A comparative study of blood lactate tests in swimming. *International Journal of Sports Medicine*; **10**(3): 197-201.
- Kindermann, W., Simon, G. & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, **42**, 25-34.
- Klausen, K., Secher, N.H., clausen, J.P., Hartling, O. & Jensen, J.T. (1982). Central and regional circulatory adaptations to one-leg training. *J Appl Physiol*; **52**, 976-983.

- Kolmogorov, S.V. & Duplishcheva, O.A. (1992). Active drag, useful mechanical power output and hydrodynamic force coefficient in different swimming strokes at maximal velocity. *J. Biomech*; **25**, 311–318.
- Koltyn, K.F., O'Connor, P.J. & Morgan, W.P. (1991). Perception of effort in female and male competitive swimmers. *Int J Sports Med.*, **12**(4), 427-9.
- Komi, P.V. & Karlsson J. (1978). Skeletal muscle fibre types, enzyme activities and physical performance in young males and females. *Acta Physiologica Scandinavica* **103**, 210-218.
- Konstantaki, M. & Swaine, I.L. (1999). Lactate and cardiopulmonary responses to simulated arm-pulling and leg-kicking in collegiate and recreational swimmers. *Int J Sports Med.* Feb, **20**(2), 118-21.
- Leinders, G. & Leinders, P. (1989). Het gebruik van lactaat onderzoek in de sportmedische praktijk, Merelbeke, Belgium.
- Lewis, S.F., Taylor, W.F., Graham, R.M., Pettinger, W.A., Schutte, J.E. & Bromqvist, C.G. (1983). Kardiovaskular response to exercise as functions of absolute and relative work load. *J Appl Physiol*; **54**, 1314-1323.
- Lowensteyn, I., Arlette, C.P., Mark, S.N. & Dave, S.M. (1994). Differences in peak blood lactate concentration in long course versus short course swimming. *Journal of Swimming Research*, **10**, 31-34.
- MacLaren, D.P. & Coulson, M. (1999). Critical swim speed can be used to determine changes in training status. In Biomechanics and Medicine in Swimming VIII, edited by Keskinen, K.L., Komi, P.V. and Peter Hollander, A., 227-231. Jyvaskyla, Finland: University of Jyvaskyla.
- MacRae, H.S.H., Dennis, S.C., Bosch, A.N. & Noakes, T.D. (1992). Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. *Appl Physiol.*, **72**, 1649-1656.
- Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Philipp, H., Rost, R., Schürch, P. & Hollmann, W. (1976). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt Sportmedizin*, **27**, 80-88, 109-12.
- Madsen, Ö. (1982). Untersuchungen über Einflussgrößen auf Parameter des Energiestoffwechsels beim freien Kraulschwimmen. Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin; Köln.

- Madsen, O. & Olbrecht, J. (1983). Specifics of aerobic training. In World Clinic Yearbook, edited by R.M. Ousley, 15-29. Fort Lauderdale, FL: *American Swimming Coaches Association*.
- Magel, J.R., Foglia, G.R., McArdle, W.D., Gutin, B., Pechar, G.S. & Katch, F.I. (1975). Specificity of swim training on maximum oxygen uptake. *Journal of Applied Physiology*, **38**, 151-155.
- Maglischo, W. (2003). Swimming fastest. Champaign, IL: *Human Kinetics*.
- Margaria, R., Cerretelli, P., Di Prampero, P., Massari, C. & Torelli, G. (1963). Kinetics and mechanism of oxygen debt concentration in man. *Journal of Applied Physiology*, **18**, 371-7.
- Maughan, R.J. (1995). Creatine supplementation and exercise performance. *International Journal of Sport Nutrition*, **5**(2), 94-101.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. (1996). Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance. Baltimore: *Williams & Wilkins*.
- McLellan, T.M. & Skinner, J.S. (1981) The use of the aerobic threshold as a basis for training. *Can J Appl Sport Sci.*; **6**(4): 197-201.
- Mikesell, K.A. and Dudley, G.A. (1984). Influence of intense endurance training on aerobic power of competitive distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **16**(4), 371-375.
- Miles, D.S., Cox, M.H., Verde, T.J., Evangelisti, M.I., Moser, C.D., and Kuesel, L. (1998). Comparison of the Accusport, YSI 1500, and YSI 23L lactate analyzers during progressive cycle ergometer exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **30**(5), 195.
- Monod, H. and Scherrer, J. (1965). The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*; **8**: 329-337.
- Montpetit, R.R., Cazorla, G. & Lavoie, J.M. (1983). Aerobic energy cost of swimming the front crawl at high velocity in international class and adolescent swimmers. In: Hollander, A.P., Hujing, P.A., DeGroot, G. (eds.): Biomechanics and medicine swimming, Champaign III: *Human Kinetics*, 228-234.
- Moritani, T., Nagata, A., DeVries H.A. and Muro, M. (1981). Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics*; **24**(5), 339-350.

- Mougios, V., & Deligiannis, A. (1993). Effect of water temperature on performance, lactate production and heart rate at swimming of maximal and submaximal intensity. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **33**, 27-33.
- Nachtigahl, A. (2001). Spiroergometrie im Schwimmkanal: Vergleich metabolisch-kardiopulmonaler und technischkoordinatorischer Kenngrößen zwischen den Hilfsmitteln Paddles, Pull-Buoy und der ganzen Lage. *Inaugural-Dissertation*, Hamburg.
- Neumann, G. & Berbalk, A. (2000). Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit in den Ausdauersportarten. *Leistungssport*, **30**, 24-30.
- Neumann, G. & Schüler, K.P. (1994). Sportmedizinische Funktionsdiagnostik. 2. Aufl., Leipzig: *J. A. Barth Verlag*.
- Neumann, G., Pfützner, A. & Berbalk, A. (2001). Optimiertes Ausdauertraining. 3. Aufl. Aachen: *Meyer & Meyer*.
- Neumann, G., Pfützner, A. & Hottenrott, K. (2000). Alles unter Kontrolle - Ausdauertraining. Vollständig überarbeitete Neuauflage. Aachen: *Meyer & Meyer*.
- Neumann, G., Pfützner, A. & Hottenrott, K. (2004). Das große Buch vom Triathlon. Aachen: Meyer & Meyer.
- Obert, P., Courteix, D., Lecoq, A-M. and Guenon, P. (1996). Effect of long-term intense swimming training on the upper body peak oxygen uptake of prepubertal girls. *European Journal of Applied Physiology*, **37**(1-2), 136-143.
- Ogawa, T., Spina, R.J., Martin, W.H., Kohrt, W.M., Schechtman, K.B., Holloszy, J.O. & Ehsani, A.A. (1992). Effects of aging, sex, and physical training on cardiovascular responses to exercise. *Circulation*, **86**, 494-503.
- Ogita, F. & Taniguchi, S. (1995). The comparison of peak oxygen uptake between swim-bench exercise and arm stroke. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*; **71**(4), 295-300.
- Ogita, F., Hara, M. & Tabata, I. (1996). Anaerobic capacity and maximal oxygen uptake during arm stroke, leg kicking and whole body swimming. *Acta Physiol Scand*, **157**, 435-441.
- Ogita, F. & Tabata, I. (1978) Peak oxygen uptake during arm stroke under a hypobaric hypoxic condition. *Ann Physiol Anthropol*; **11**: 289-294, 1992. Stamford BA, Weltman R, Moffatt J, Fulco C: Effect of severe prior exercise in assessment of maximal oxygen uptake during one-versus two legged cycling. *Res Q*; **49**, 363-371.

- Ohkuwa, T. & Itoh, H. (1992). Blood lactate, glycerol and catecholamine in arm strokes, leg kicks and whole crawl strokes. *J Sports Phys Fitness*; **32**, 32-38.
- Ohkuwa, T., Miyamura, M., Andou, Y. & Utsuno, T. (1988). Sex differences in lactate and glycerol levels during maximal aerobic and anaerobic running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, **57**(6), 746-52.
- Olbrecht J., Mader, A., Heck, H. & Hollmann, W. (1989). Das Laktat-Schwimmgeschwindigkeitsverhalten in Abhängigkeit von unterschiedlichen Testbedingungen. In: Boning D., Braumann, K.M., Busse, M.W., Maasen, N. & Schmidt, W. (eds). Sport – Rettung oder Risiko für die Gesundheit. *Deutscher Ärzte-Verlag*, Köln, 413-417.
- Olbrecht, J. (1991). Metabolische Beanspruchung bei Wettkampfschwimmern unterschiedlicher Leistungsfähigkeit. *Stephanie Naglschmidt Verlag*, Stuttgart.
- Olbrecht, J. (2000). The Science of Winning (Planning, Periodizing and Optimizing Swim Training) *Swimshop*. Luton. England.
- Olbrecht, J., Mader, A., Heck, H. & Hollmann, W. (1988). Relation between lactate and swimming speed depending on the test conditions (pool length, before and after endurance training, AM versus PM, qualifications and finals, relay or individual races). Abstract. *International Journal of Sports Medicine*, **9**(5), 379.
- Olbrecht, J., Madsen, Ø., Mader, A., Liesen, H. & Hollmann, W. (1985). Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous and intermittent training exercises. *Int J Sports Med.*, **6**(2), 74-7.
- Olbrecht, J., Madsen, Ø., Mader, A., Liesen, H. & Hollmann, W. (1989). Vergleichende Untersuchungen des Laktat/Geschwindigkeitsverhaltens im Zweistreckentest über 400m Kraulschwimmen zu 30- und 60-minütigen maximale und 30-minütigen submaximalen Schwimmen. In: *Dtsch. Z. Sportmed.*, **36**, 3-8.
- Owles, W.H. (1930). Alterations in the lactic acid concentration of the blood as a result of light exercise and associated changes in the CO₂ combining power of the blood and the alveolar CO₂ pressure. *Journal of Physiology*, **69**, 214-36.
- Oyono-Enguelle, S., Heitz, A., Marbach, J., Ott, C., Gartner, M., Pape, A., Vollmer, J.C. & Freund, H. (1990). Blood lactate during constant-load exercise at aerobic and anaerobic thresholds. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, **60**, 321-330.

- Pansold, B. (1977). Leistungsphysiologische Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung des Informationsgehaltes der Laktatkonzentration im Blut an Leistungssportlern der Sportart Schwimmen. Inauguraldissertation. *E.M. Arndt-Universität Greifswald*.
- Pansold, B. & Zinner, J. (1991). Selection, Analysis and Validity of Sportspecific and Ergometric Incremental Test programmes. In: Bachi, N., Graham, T.E. & Löllgen, H. (Eds.): *Advances in Ergometry*. Berlin: *Springer-Verlag*, 180-214.
- Pansold, B. & Zinner, J. (1982). Sportliche Leitungsstruktur im Spiegel leistungsdagnostischer Daten, Olympiastützpunkt Berlin, 574-581.
- Pansold, B., Roth, B., Zinner, J., Hasart, E. & Gabriel, B.M. (1982). Die Laktat-Leistungskurve - ein Grundprinzip sportmedizinischer Leistungsdiagnostik. In: *Med. und Sport* (Berlin), 22.
- Pansold, B., Zimmer, J. & Gabriel, W.M. (1985). Zum Einsatz und zur Interpretation von Laktatbestimmungen in der Leistungsdiagnostik, Theorie und Praxis des *Leistungssports*, **23**, 98-120.
- Papadopoulos, C., Doyle, J.A., & Thompson, W.R. (1998). The effect of hypohydration on the lactate threshold in a hot and humid environment. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **30**(5), Supplement abstract 1612.
- Péronnet, F. and Morton, R. (1994). Plasma lactate concentration increases as a parabola with delay during ramp exercise. *European Journal of Applied Physiology*, **68**, 228-33.
- Pfitzinger, P. and Freedson, P. (1998). The reliability of lactate measurements during exercise. *International Journal of Sports Medicine*, **19**, 349-57.
- Phillips, S. M., Green, F.t.J., Tarnopolsky, M. A., Heigenhauser, G.J.F. & Grant, S.M. (1996). Progressive effect of endurance training on metabolic adaptations in working skeletal muscle. *Am.J.Physiol*, **270**, 265-272.
- Pimental, N.A., Sawka, M.N., Billings, D.S. & Trad, L.A. (1984). Physiological responses to prolonged upper-body exercise. *Med Sci Sports Exerc*; **16**, 360-365.
- Pluto, R., Cruze, S.A., Weiss, M., Hotz, T., Mandel, P. & Weicker, H. (1988). Cardiocirculatory, hormonal and metabolic reactions to various forms of ergometric tests. *Int J Sports Med*; **9**, 79-88.
- Poole, D.C. & Gaesser, G.A. (1985) Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training. *J Appl Physiol.*, **58**(4): 1115-21.

- Prioux, J., Ramonatxo, M., Hayot, M., Mucci, P. & Préfaut, C. (2000). Effect of ageing on the ventilatory response and lactate kinetics during incremental exercise in men. *Eur J Appl Physiol*, **81**, 100-107.
- Pfeifer, H. (1985). Methodisches Handmaterial Schwimmen (Hrsg.), DSSV, Leipzig.
- Putman, C.T., Jones N.L., Hultman E., Hollidge-Horvat M.G., Bonen A., McConachie D.R., & Heigenhauser G.J. (1998). Effects of short-term submaximal training in humans on muscle metabolism in exercise. *Am. J. Physiol.*; **275**, 132-139.
- Quintana, R., Robergs, R.A., Parker, D., & Frankel, C.C. (1997). Gender specific changes in the lactate threshold with increasing hypobaric hypoxia. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **29**(5), Supplement abstract 774.
- Ready, E. A., & Quinney, H.A. (1982). Alterations in anaerobic threshold as the result of endurance training and detraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **14**, 292-296.
- Roberts, A.D. (1991). Physiological capacity for sports performance. In: Pyke FS (ed.) Better Coaching: Advanced Coach's Manual. Canberra: *Australian Coaching Council*, 43-54.
- Roecker, K., Schotte, O., Mess, A.M., Horstmann, T. and Dickhuth, H-H. (1998). Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Medicine and Science in Sports and Exercise*; **30**(10), 1552-1557.
- Rüegg, J.C. (1992). Calcium in muscle contraction. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Rusko, H., Luhtanen, P., Rahkila, P., Viitasalo, J., Rehunen, S. & Harkonen, M. (1986). Muscle metabolism, blood lactate and oxygen uptake in steady state exercise at aerobic and anaerobic thresholds. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*; **55**(2): 181-6.
- Saltin, B. & Gollnick, P.D. (1988). Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. In: Peachey LD, Adrian RH, Geiger SR: Handbook of physiology, Section 10: Skeletal muscle. Oxford University Press, Oxford; 555-631.
- Saltin, B., Nazar K., Costill D.L., Stein E., Jansson E., Essen B. & Gollnick P.D. (1976). The nature of the training response peripheral and central adaptation to one-legged exercise. *Acta Physiol. Scand.*, **96**, 289-305.
- Sawka, M.N., Knowlton, R.G., Miles, D.S. & Critz, J.B. (1979). Post-competition blood lactate concentrations in collegiate swimmers. *European Journal of Applied Physiology*; **41**(2), 93-99.

- Schirmer, U. (1986). Untersuchungen des Energiestoffwechsels an Hochleistungsschwimmern auf dem Fahrradergometer und im freien Kraulschwimmen. *Inaugural-Dissertation*, Köln.
- Seifert, L., Boulesteix, L. & Chollet, D. (2004). Effect of gender on the adaptation of arm coordination in front crawl. *Int J Sports Med*, **25**(3): 217-23.
- Shono, T., Hotta, N., Ogaki, T. & Shimizu, T. (1993). Cardiorespiratory responses during flume swimming and treadmill running in swimmers. *Ann Physiol Anthropol*; **12**, 145-150.
- Sidney, M., Pelayo, P., & Robert, A. (1996). Tethered forces in crawl stroke and their relationship to anthropometrics characteristics and sprint swimming performance. *Journal of Human Movement Studies*, **31**, 1-12.
- Simon G., Berg, A., Dickhuth, H., Simonatl, A. & Keul, J. (1981). Bestimmung der anaeroben Schwelle in Abhängigkeit vom Alter und der Leistungsfähigkeit. *Dt. Ztschr. F. Sportmedizin*, **1**, 7-14.
- Simon, G. & Thiesmann, M. (1986). Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit bei Schwimmern. *Leistungssport*, **16**, 4.
- Simon, G. (1994). Laktat zur aeroben und anaeroben Leistungsdiagnostik im Schwimmen In: Clasing, D., Weicker, H., Böning, D.: Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik. Stuttgart, Jena, New York: *Gustav Fischer Verlag*, 81-87.
- Simon, G., Keul, J., Berg, A., Dickhuth, H., Goertler, I. & Kübel, R. (1979). Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung. *Dt. Ztschr. f. Sportmedizin*, **7**, 212-218.
- Smith, B., McMurray, R. and Symanski, J. (1984). A comparison of the anaerobic threshold of sprint and endurance trained swimmers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **24**, 94-9.
- Spikermann, M. (1989). Der Einsatz einer neuen Organisationsform der Belastung im Hochleistungssport. *Leistungssport*, **19**(1), 33-5.
- Stegmann, H. & Kindermann, W. (1982). Comparison of prolonged exercise test at the fixed anaerobic threshold of 4 mmol.l⁻¹ lactate. *International Journal of Sports Medicine*, **3**, 105-10.

- Sugiyama, K. & Katamoto, S. (1992). Comparison of submaximal front crawl and breast stroke swimming in relation to energy expenditure. *Ann Physiol Anthropol.*, **11**(6), 635-40.
- Swan, P.D. & Spitler, D.L. (1989). Cardiac dimensions and physical profile of masters level swimmers. *J Sports Med Phys Fitness.*; **29**(1), 97-103.
- Tanaka, H. (1994). Effects of cross-training. Transfer of training effects on VO_{2max} between cycling, running and swimming. *Sports Med.*; **18**(5), 330-9.
- Tchagovets, N., Maksimova, L., Lenkova, R. & Kraskova, A. (1983). Peculiarities of metabolism in sportsmen during competition period [in Russian]. *Teoria i Fizicheskoi Kulturõ* (Moscow), **9**, 20-2.
- Touretski, G. (1997). The Olympic preparation of Alexandre Popov. In *World Clinic Series*, vol. **28**, 56-64. Fort Lauderdale, FL: *American Swimming Coaches Association*.
- Toussaint, H.M. & Beek, P.J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Med.*; **13**(1): 8-24.
- Toussaint, H.M. & Hollander, A.P. (1957). Energetics of competitive swimming. Implications for training programmes. *Sports Med*; **18**: 384-405, 1994. Hemmingsen I: Energiomsättningen under svömning hos män och kvinnor. *Tidskr Legemsövelser*; **22**: 53-62.
- Toussaint, H.M., Meulemans, A., de Groot, G., Hollander, A.P., Schreurs, A.W. & Vervoon, K. (1987). Respiratory valve for oxygen uptake measurements during swimming. *Eur J Appl Physiol*; **56**: 363-366,.
- Treffene, R.J. (1979). Swimming performance test: a method of training and performance time selection. *Swimming Technique*, **15**, 120-124.
- Troup, J.P. (1984). Review, energy systems and training considerations. *Journal of Swimming Research*, **1**, 13-16.
- Troup, J.P. (1986) Setting up a season using scientific training. *Swimming Technique*, May-July, 8-16.
- Urhauesn, A., Coen., B. & Kindermann, W. (2000). Individual assessment to the aerobic-anaerobic transition by measurements of blood lactate. In *Exercise and sport science*, ed. Garrett, W. & Kirkendall, D., 267-275. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins.

- Urhausen, A., Gabriel, H.H., Bruckner, F. & Kindermann, W. (1998). Effects of two training phases of different intensities on the exercise-induced hormonal response and psychological parameters in endurance athletes. Abstract. *International Journal of Sports Medicine* **19**(1), 43-44.
- Uusitalo, A.L., Uusitalo, A.J. & Rusko H.K. (1998). Exhaustive endurance training for 6-9 weeks did not induce changes in intrinsic heart rate and cardiac autonomic modulation in female athletes. *Int J Sports Med.*, **19**(8), 532-40.
- Viru, A. (1993). Mobilization of the possibilities of the athlete's organism. *Journal of Sports Medicine and physical Fitness*, **33**, 413-25.
- Viru, A. (1995). Adaptation in sports training. Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo: *CRC Press*.
- Volker, H., Carmen, T., Erich, R. und Theo, S. (1996). Zur Leistungsfähigkeit von Schwimmer/Innen der nationalen Spitzenklasse nach oraler Supplementation von Kreatin. Abteilung für Sportmedizin am Krankenhaus für Sportverletzte Lüdenscheid-Hellersen.
- Volkers, S. (1997). The training of Samantha Riley and Susan O'Neill. In *World Clinic Series*, vol. **28**, 65-89. Fort Lauderdale, FL: *American Swimming Coaches Association*.
- Wakayoshi, K., Yoshida, T., Udo, M., Kasai, T., Moritani, T., Mutoh, T., and Miyashita, M. (1992). A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. *International Journal of Sports Medicine*, **13**, 367-371.
- Wassermann, K. & McIlroy, M. (1964). Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *American Journal of Cardiology*, **14**, 844-52.
- Wilke, D. (1988). Equation describing power input by human as a function of duration of exercise.
- Wilke, K. & Madsen, O. (1997). *Das Training des jugendlichen Schwimmers*, Hofmann.
- Wilmore, J.H. & Costill, D.L. (2004). *Physiology of Sport and Exercise*, 3rd Edition. Champaign, IL: *Human Kinetics*.
- Wilmore, J.H. & Costill, D.L. (2004). *Physiology of Sport and Exercise*. Champaign, IL: *Human Kinetics*.

Wilson, M.C., Jackson, V.N., Heddle, C., Price, N.T., Pilegaard, H., Juel, C., Bonen, A., Montgomery, I., Hutter, O.F. & Halestrap, A.P. (1998). Lactic acid efflux from white skeletal muscle is catalyzed by the monocarboxylate transporter isoform MCT3. *The Journal of Biological Chemistry*; **273**(26), 15920-15926.

Xin-Feng, W., Lian-Ze, W., Wei-Xing, Y., De-Jian, L. & Xiong, S. (2007) A new device for estimating active drag in swimming at maximal velocity. *J Sports Sci.*; 25(4): 375-9.

Yeater, R., Martin, B., White, M-K., & Gilson, K. (1981). Tethered swimming forces in the crawl, breast and back strokes and their relationship to competitive performance. *Journal of Biomechanics*; **14**(8): 527-537.

Zintl, F. & Eisenhut, A. (2001). *Ausdauertraining - Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung*, Funfte, uberarbeitete Auflage (Neuausgabe), BLV Verlagsgesellschaft GmbH, München.

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°	Grad
Abb.	Abbildung
ANS	anaerobe Schwelle
AS	aerobe Schwelle
ATP	Adenosintriphosphat
Bel.	Belastung
ATP	Adenosintriphosphat
BMI	Body Mass Index
BSP	Bundesstützpunkt
bzw.	Beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
d.h.	das heißt
E	Erholung
et al.	Und andere
etc.	et cetera
HF	Herzfrequenz
HF_{LA4}	Herzfrequenz bei 4 mmol/l Laktatkonzentration
HF_{LA6}	Herzfrequenz bei 6 mmol/l Laktatkonzentration
HF_{max}	maximale Herzfrequenz
HF_{Simon}	Herzfrequenz bei IANS nach Simon
IAS	individuelle aerobe Schwelle
IANS	individuelle anaerobe Schwelle
K	Kraul
KG	Körpergewicht
kg	Kilogramm
l	Liter
LA	Laktat
LA_{Simon}	IANS nach Simon
LA_{max}	maximale Laktatkonzentration
LASS	Laktat-Steady-State

m	Meter
M	Mittelwert
max	maximal
MAXLASS	maximales Laktat-Steady-State
min	Minute
ml (µl)	Milliliter
MLU	Martin-Luther-Universität
MZP	Messzeitpunkt
mmol/l	Millimol pro Liter
mmol·l⁻¹/m·s⁻¹	Steigung der IANS bis zum maximalen Laktat
n	Anzahl
O₂	Sauerstoff
OSP	Olympiastützpunkt
®	Registered
R	Rücken
s	Sekunde
S	Schmetterling
t	Zeit
Tab.	Tabelle
u.a.	unter anderem
usw.	und so weiter
v	Geschwindigkeit
v_{LA4}	Geschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktatkonzentration
v_{LA6}	Geschwindigkeit bei 6 mmol/l Laktatkonzentration
v_{max}	maximale Geschwindigkeit
VO₂	Sauerstoffaufnahme
VO_{2max}	maximale Sauerstoffaufnahme
v_{Simon}	Geschwindigkeit bei IANS nach Simon
W	Woche
yd	Yard
z. B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1/2.1.2.	Schwimmgeschwindigkeit (in % max) bei Laktatkonzentration von 4 mmol/l im 100 m-Stufentest.	13
Abb. 2/2.1.3.	Schwimmgeschwindigkeit im 200m Schwimmen und Blutlaktatkonzentration nach den Zeitmessungen beim einem Olympiasieger während der Vorbereitung auf die Olympischen Spiele 1988	21
Abb. 3/2.1.3.	Effekte auf die Blutlaktatkonzentration nach einem 200m Schwimmen bei einer definierten Geschwindigkeit. Die niedrigsten Laktatwerte wurden während der Periode aufgezeichnet, als die Schwimmer ihre besten Leistungen (d. h. im Meisterschaftswettkampf) produzierten	22
Abb. 4/2.2.1.	Einfluss des Zwei-Strecken-Test im Vergleich zum Drei-Strecken-Test auf die Laktat-Geschwindigkeits-Kurve und die Geschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktat (v_{LA4})	25
Abb. 5/2.2.1	Bestimmung des maximalen Laktat-Steady-State (MAXLASS) beim Schwimmen	26
Abb. 6/2.2.1	Die Beziehung zwischen Blutlaktatkonzentrationen und Schwimmgeschwindigkeit für einen Athlet, der drei 30 min Schwimmsätze mit steigender Geschwindigkeit schwimmt	28
Abb. 7/2.2.2	Laktat-Geschwindigkeits-Beziehung beim 7 x 200 m Schwimmstufentest. Mittels Computer-unterstützter Analyse die anaerobe Schwelle bei 64.0 s/100m) ermittelt	30
Abb. 8/2.1.2	Bestimmungsverfahren der individuellen anaeroben Schwelle (Basislaktat + 1.5-mmol/l)	31
Abb. 9/2.2.2	Verschiedene Methoden für Lokalisierung der anaeroben Schwelle bei der Anwendung zunehmendes Blutlaktats über gewissen vordefinierten Basisliniewerte	33
Abb. 10/2.2.2	Eine einfache Methode für die Bestimmung der Lokalisierung anaerober Schwelle	34
Abb. 11/2.1.2	Die D-max Methode für die Bestimmung der anaeroben Schwelle.	35
Abb. 12/2.1.2	Abb.. Die adaptierte D-max Methode für Bestimmung der anaeroben Schwelle	35
Abb. 13/2.2.3.3	Sauerstoffaufnahme und Leistung bei 4 mmol/l Laktat im Radfahren und im Schwimmen	38
Abb. 14/2.2.3.4	Veränderungen an der 4 mmol/l Geschwindigkeit (v_{LA4}) Rücken-, Brust- und Schmetterlingsschwimmen im Vergleich zur (v_{LA4}) im Freistil	39
Abb. 15/2.2.3.5	Schwimmgeschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktat bei Welt-, Olympia-, European- und Nationalklasse	40
Abb. 16/2.2.3.5	Beitrag der anaerob-laktaziden, und der alaktaziden	41

	Energielieferung während Wettkampfdistanzen über 50m bis 1500m von Sprintern, Mittel- und Langstreckenschwimmern	
Abb. 17/2.2.3.5	Maximale Laktatkonzentration gemessen bei Schwimmstrecken von 50 bis 1500 m von Kurz-, Mittel-, und Langstreckenschwimmer	41
Abb. 18/2.2.3.5	Die Schwimmer mit den besten Wettkampfleistungsergebnissen über 100 m erreichen die schnellsten Zeiten bei niedrigeren Laktatkonzentrationen	42
Abb. 19/2.2.3.5	Die Schwimmer mit den besten Wettkampfleistungsergebnissen über 400 m erreichen die schnellsten Zeiten bei niedrigeren Laktatkonzentrationen	42
Abb. 20/2.2.3.5	Je länger die Schwimmdistanz im Laktattest, desto früher das Onset des Blutlaktats und desto geringer die maximale Laktatkonzentration	43
Abb. 21/3.3	Untersuchungsdesign des standardisierten 5 x 200 m Stufentests (K = Kraul, R = Rücken und S = Schmetterling).	50
Abb. 22/3.4	Laktatanalyse der Blutproben mit dem Super GL Diagnostikgerät am Olympiastützpunkt (OSP) Halle / Magdeburg	51
Abb. 23/3.4	20 µl Blutentnahme bei einer Probandin während des standardisierten 5 x 200 m Stufentests im Kraulschwimmen	51
Abb. 24/4.1	Laktat-Geschwindigkeits-Kurven und Herzfrequenzwerte im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen der Schwimmer (n=6, MZP 1).	55
Abb. 25/4.1	Laktat-Geschwindigkeits-Kurven und Herzfrequenzwerte im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen der Schwimmer (n=6, MZP 2)	55
Abb. 26/4.1	Laktat-Geschwindigkeits-Kurve und Herzfrequenzwerte im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen der Schwimmer (n=6, MZP 3)	56
Abb. 27/4.1	Laktat-Geschwindigkeits-Kurve und Herzfrequenzwerte im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen der Schwimmerinnen (n=8, MZP 1).	57
Abb. 28/4.1	Laktat-Geschwindigkeits-Kurve und Herzfrequenzwerte im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen der Schwimmerinnen (n=8, MZP 2).	57
Abb. 29/4.1	Laktat-Geschwindigkeits-Kurve und Herzfrequenz im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen der Schwimmerinnen (n=8, MZP 3).	58
Abb. 30/4.2	Veränderung von Laktat und Herzfrequenz beim Kraul im Untersuchungszeitraum der Schwimmer (n=6, MZP 1-3).	59
Abb. 31/4.2	Veränderung von Laktat und Herzfrequenz beim Rücken im Untersuchungszeitraum der Schwimmer (n=6, MZP 1-3).	59
Abb. 32/4.2.	Veränderung von Laktat und Herzfrequenz beim Schmetterling im Untersuchungszeitraum der Schwimmer (n=6, MZP 1-3).	60

Abb. 33/4.2	Veränderung von Laktat und Herzfrequenz beim Kraul im Untersuchungszeitraum der Schwimmerinnen (n=8, MZP 1-3).	61
Abb. 34/4.2	Veränderung von Laktat und Herzfrequenz beim Rückenschwimmen im Untersuchungszeitraum der Schwimmerinnen (n=8, MZP 1-3).	61
Abb. 35/4.2	Veränderung von Laktat und Herzfrequenz beim Schmetterling im Untersuchungszeitraum der Schwimmerinnen (n=8, MZP 1-3).	62
Abb. 36/4.3	Belastungstests in MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (vLA4) im K, R und S der männlichen Schwimmer (n=6). Signifikante Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken (t-Test) auf Signifikanzniveau ($p \leq 0,05$).	63
Abb. 37/4.3	Belastungstests im MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (HFLA4) im K, R und S der männlichen Schwimmer (n=6). Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken (t-Test) auf Signifikanzniveau ($p \leq 0,05$).	64
Abb. 38/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (VLA6) im K, R und S der männlichen Schwimmer (n=6). Signifikante Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen R und S im MZP 2 (t-Test).	64
Abb. 39/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (HFLA6) im K, R und S der männlichen Schwimmer (n=6). Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken (t-Test).	65
Abb. 40/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei IANS nach Simon (vSimon) im K, R und S der männlichen Schwimmer (n=6). Signifikante Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen R und S (t-Test).	65
Abb. 41/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere IANS (mmol/l) nach Simon (LA_{Simon}) im K, R und S der männlichen Schwimmer (n=6). Signifikante Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen K und R im MZP 2 (t-Test).	66
Abb. 42/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei IANS nach Simon (HFSimon) im K, R und S der männlichen Schwimmer (n=6). Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen R und S zum MZP 1 (t-Test).	67
Abb. 43/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere maximale Schwimmgeschwindigkeiten (V_{max}) im K, R und S der	67

	männlichen Schwimmer (n =6). Signifikante Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen R und S (t-Test).	
Abb. 44/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere maximale Laktatkonzentrationen (L _{Amax}) im K, R und S der männlichen Schwimmer (n=6). Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken (t-Test).	68
Abb. 45/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere maximale Herzfrequenzen (HF _{max}) im K, R und S der männlichen Schwimmer (n=6). Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen K und S im MZP 1; R und S im MZP 1 und 3 (t-Test).	68
Abb. 46/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (VLA ₄) im K, R und S der weiblichen Schwimmerinnen (n=8). Signifikante Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen R und S (t-Test).	69
Abb. 47/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (HFLA ₄) im K, R und S der weiblichen Schwimmerinnen (n=8). Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen R und S zum MZP 1 und 3 (t-Test).	69
Abb. 48/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (VLA ₆) im K, R und S der weiblichen Schwimmerinnen (n=8). Signifikante Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen R und S (t-Test).	70
Abb. 49/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (HFLA ₆) im K, R und S der weiblichen Schwimmerinnen (n=8). Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken (t-Test).	71
Abb. 50/4.3	Belastungstests im MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei IANS nach Simon (V _{Simon}) im K, R und S der weiblichen Schwimmerinnen (n=8). Signifikante Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen R und S im MZP 2 (t-Test).	71
Abb. 51/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Laktatkonzentrationen (mmol/l) bei IANS nach Simon (L _{ASimon}) im K, R und S der weiblichen Schwimmerinnen (n=8). Signifikante Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen K und R (t-Test).	72
Abb. 52/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei IANS nach Simon (HF _{Simon}) im	72

	K, R und S der weiblichen Schwimmerinnen (n=8). Signifikante Unterschiede zwischen den Schwimm-techniken außer zwischen K und R zu den MZP 2 und 3 (t-Test).	
Abb. 53/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere maximale Schwimmgeschwindigkeiten (V_{max}) im K, R und S der weiblichen Schwimmerinnen (n=8). Signifikante Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen R und S (t-Test).	73
Abb. 54/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere maximale Laktatkonzentrationen (LA_{max}) im K, R und S der weiblichen Schwimmerinnen (n=8). Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen K und S zum MZP 1; K und S, R und S zum MZP 3 (t-Test).	73
Abb. 55/4.3	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere maximale Herzfrequenzen (HF_{max}) im K, R und S der weiblichen Schwimmerinnen (n=8). Keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen K und S; R und S zu den MZP 2 und 3 (t-Test).	74
Abb. 56/4.4	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei 4 mmol/l Laktatkonzentration (v_{LA4}) im K, R und S zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern (n=14).	75
Abb. 57/4.4	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei 4 mmol/l Laktatkonzentration ($HFLA4$) im K, R und S zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern (n=14).	76
Abb. 58/4.4	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei 6 mmol/l Laktatkonzentration (V_{LA6}) im K, R und S zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern (n=14).	76
Abb. 59/4.4	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Herzfrequenzen (Schläge/min) bei 6 mmol/l Laktatkonzentration ($HFLA6$) im K, R und S zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern (n=14).	77
Abb. 60/4.4	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei IANS nach Simon (V_{Simon}) im K, R und S zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern (n=14). Signifikante Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen R und S zu den MZP 1 und 3.	77
Abb. 61/4.4	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere Schwimmgeschwindigkeiten (m/s) bei IANS nach Simon (LA_{Simon}) im K, R und S zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern (n=14).	78
Abb. 62/4.4	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere	79

	Herzfrequenzen (Schläge/min) bei IANS nach Simon (HFSimon) im K, R und S zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern (n=14).	
Abb. 63/4.4	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere maximale Schwimmgeschwindigkeiten (Vmax) im K, R und S zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern (n=14).	79
Abb. 64/4.4	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere maximale Laktatkonzentrationen (LAm_{max}) im K, R und S zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern (n=14). Signifikante Unterschiede zwischen den Schwimmtechniken außer zwischen R im MZP 2 (t-Test).	80
Abb. 65/4.4	Belastungstests zu den MZP 1, 2 und 3: Errechnete mittlere maximale Herzfrequenzen (HF_{max}) im K, R und S zwischen männlichen und weiblichen Schwimmern (n=14).	80

Tabellenverzeichnis

Tab. 1/2.1.1.3	<i>Intensitätsvorgaben in Prozent der Bestzeit aus verschiedenen Quellen</i>	12
Tab. 2/2.1.1.4	<i>Relative maximale Sauerstoffaufnahme (ml/kg·min) in den Sportartengruppen</i>	14
Tab. 3/2.1.2	<i>Trainingsbereiche von Alexander Popov</i>	18
Tab. 4/2.1.2	<i>Trainingsbereiche von Susan O`Neill</i>	18
Tab. 5/2.1.2	<i>Trainingsbereiche im Schwimmen unterteilt nach Streckendistanzen mit den zugeordneten Laktatwerten</i>	19
Tab. 6/2.1.2	<i>Trainingsbereiche in Abhängigkeit der prozentualen anaeroben Schwelle (%IAT) der prozentualen relativen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}), der absoluten Laktatkonzentration (LA) und relativen Laktatkonzentration von IAT (%LA IAT), der relativen Herzfrequenz von IAT (%HF IAT) und der prozentualen maximalen Herzfrequenz (%HF_{max})</i>	19
Tab. 7/2.2.1	<i>Schwimmgeschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktat (v_{LA4}) von männlichen und weiblichen Schwimmern über verschiedene Schwimmstrecken</i>	25
Tab. 8/2.3	<i>Biomechanisch-technische Variablen beim 200 m Kraul-, Rücken-, Schmetterlings-, und Brustschwimmen von Weltkampfschwimmern</i>	46
Tab. 9/3.1	<i>Charakterisierung der untersuchten Schwimmerinnen und Schwimmer (n=14) nach anthropometrischen, soziodemografischen Daten</i>	49
Tab. 10/4.3	<i>Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Parameter für die Schwimmtechniken Kraul (K) vs. Rücken (R) vs. Schmetterling (S) der Schwimmer (n = 6, MZP 1)</i>	130
Tab. 11/4.3	<i>Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Parameter für die Schwimmtechniken Kraul (K) vs. Rücken (R) vs. Schmetterling (S) der Schwimmer (n = 6, MZP 2)</i>	131
Tab. 12/4.3	<i>Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Parameter für die Schwimmtechniken Kraul (K) vs. Rücken (R) vs. Schmetterling (S) der Schwimmer (n = 6, MZP 3)</i>	132
Tab. 13/4.3	<i>Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Parameter für die Schwimmtechniken Kraul (K) vs. Rücken (R) vs. Schmetterling (S) der Schwimmerinnen (n = 8, MZP 1)</i>	133
Tab. 14/4.3	<i>Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Parameter für die Schwimmtechniken Kraul (K) vs. Rücken (R) vs. Schmetterling (S) der Schwimmerinnen (n = 8, MZP 2)</i>	134
Tab. 15/4.3	<i>Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Parameter für die Schwimmtechniken Kraul (K) vs. Rücken (R) vs. Schmetterling (S) der Schwimmerinnen (n = 8, MZP 3)</i>	135

Tab. 10/4.3 Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Untersuchungsparameter für die Schwimmarten Kraul (K) vs. Rücken (R) vs. Schmetterling (S) der Schwimmer (n=6, MZP 1).

Parameter	Schwimmtechniken			Signifikanz
	Kraul	Rücken	Schmetterling	
V_{LA4}	1,38 ± 0,09	1,30 ± 0,08		0,004*
	1,38 ± 0,09		1,18 ± 0,09	0,001*
		1,30 ± 0,08	1,18 ± 0,09	0,001*
HF_{LA4}	140,6 ± 16,02	150,3 ± 7,84		0,233
	140,6 ± 16,02		139,3 ± 13,58	0,829
		150,3 ± 7,84	139,3 ± 13,58	0,191
V_{LA6}	1,48 ± 0,09	1,35 ± 0,05		0,001*
	1,48 ± 0,09		1,26 ± 0,10	0,001*
		1,35 ± 0,05	1,26 ± 0,10	0,042*
HF_{LA6}	163,8 ± 11,30	163,5 ± 5,61		0,948
	163,8 ± 11,30		161 ± 10,37	0,589
		163,5 ± 5,61	161 ± 10,37	0,667
V_{Simon}	1,47 ± 0,08	1,30 ± 0,01		0,004*
	1,47 ± 0,08		1,28 ± 0,08	0,001*
		1,30 ± 0,01	1,28 ± 0,08	0,611
LA_{Simon}	5,32 ± 1,19	4,08 ± 0,83		0,023*
	5,32 ± 1,19		6,62 ± 1,10	0,013*
		4,08 ± 0,83	6,62 ± 1,10	0,001*
HF_{Simon}	160 ± 11,98	153,8 ± 8,93		0,185
	160 ± 11,98		166,3 ± 8,41	0,132
		153,8 ± 8,93	166,3 ± 8,41	0,014*
V_{max}	1,57 ± 0,10	1,43 ± 0,04		0,010*
	1,57 ± 0,10		1,40 ± 0,12	0,001*
		1,43 ± 0,04	1,40 ± 0,12	0,741
LA_{max}	11,10 ± 2,17	11,3 ± 3,31		0,304
	11,10 ± 2,17		11,6 ± 1,42	0,451
		11,3 ± 3,31	11,6 ± 1,42	0,201
HF_{max}	175,1 ± 5,19	172,3 ± 12,11		0,291
	175,1 ± 5,19		180,1 ± 3,81	0,021*
		172,3 ± 12,11	180,1 ± 3,81	0,032*

Tab. 11/4.3 Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Untersuchungsparameter für die Schwimmtechniken Kraul (K) vs. Rücken (R) vs. Schmetterling (S) der Schwimmer (n=6, MZP 2).

Parameter	Schwimmtechniken			Signifikanz
	Kraul	Rücken	Schmetterling	
V_{LA4}	1,51 ± 0,11	1,33 ± 0,05		0,002*
	1,51 ± 0,11		1,26 ± 0,05	0,001*
		1,33 ± 0,05	1,26 ± 0,05	0,025*
HF_{LA4}	161 ± 9,83	157,7 ± 8,33		0,358
	161 ± 9,83		152 ± 10,97	0,065
		157,7 ± 8,33	152 ± 10,97	0,348
V_{LA6}	1,56 ± 0,08	1,40 ± 0,01		0,004*
	1,56 ± 0,08		1,35 ± 0,05	0,001*
		1,40 ± 0,01	1,35 ± 0,05	0,076
HF_{LA6}	169,2 ± 9,55	165,5 ± 8,26		0,353
	169,2 ± 9,55		165,8 ± 7,98	0,302
		163,5 ± 8,26	165,8 ± 7,98	0,939
V_{Simon}	1,47 ± 0,08	1,33 ± 0,05		0,001*
	1,47 ± 0,08		1,30 ± 0,06	0,004*
		1,33 ± 0,05	1,30 ± 0,06	0,175
LA_{Simon}	3,52 ± 0,59	3,57 ± 0,59		0,858
	3,52 ± 0,59		5,08 ± 0,71	0,001*
		3,57 ± 0,59	5,08 ± 0,71	0,005*
HF_{Simon}	156,67 ± 7,17	154,33 ± 6,62		0,493
	156,67 ± 7,17		161,33 ± 4,80	0,326
		154,33 ± 6,62	161,33 ± 4,80	0,146
V_{max}	1,59 ± 0,05	1,45 ± 0,04		0,001*
	1,59 ± 0,05		1,46 ± 0,09	0,001*
		1,45 ± 0,04	1,46 ± 0,09	0,102
LA_{max}	9,1 ± 1,74	9,8 ± 3,42		0,987
	9,1 ± 1,74		10,50 ± 1,59	0,066
		9,8 ± 3,42	10,50 ± 1,59	0,236
HF_{max}	176 ± 9,61	172 ± 8,09		0,284
	176 ± 9,61		174,66 ± 6,15	0,891
		172 ± 8,09	174,66 ± 6,15	0,149

Tab. 12/4.3 Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Untersuchungsparameter für die Schwimmtechniken Kraul (K) vs. Rücken (R) vs. Schmetterling (S) der Schwimmer (n=6, MZP 3).

Parameter	Schwimmtechniken			Signifikanz
	Kraul	Rücken	Schmetterling	
V_{LA4}	$1,50 \pm 0,08$	$1,35 \pm 0,05$		0,001*
	$1,50 \pm 0,08$		$1,21 \pm 0,07$	0,001*
		$1,35 \pm 0,05$	$1,21 \pm 0,07$	0,001*
HF_{LA4}	$162,33 \pm 10,34$	$158,33 \pm 6,50$		0,401
	$162,33 \pm 10,34$		$150,66 \pm 10,68$	0,078
		$158,33 \pm 6,50$	$150,66 \pm 10,68$	0,081
V_{LA6}	$1,58 \pm 0,07$	$1,40 \pm 0,06$		0,002*
	$1,58 \pm 0,07$		$1,31 \pm 0,07$	0,001*
		$1,40 \pm 0,06$	$1,31 \pm 0,07$	0,004*
HF_{LA6}	$170,50 \pm 10,01$	$166 \pm 5,09$		0,179
	$170,50 \pm 10,01$		$163,33 \pm 10,32$	0,112
		$166 \pm 5,09$	$163,33 \pm 10,32$	0,551
V_{Simon}	$1,48 \pm 0,08$	$1,33 \pm 0,05$		0,007*
	$1,48 \pm 0,08$		$1,32 \pm 0,08$	0,001*
		$1,33 \pm 0,05$	$1,32 \pm 0,08$	0,611
LA_{Simon}	$3,50 \pm 0,61$	$3,95 \pm 0,73$		0,013*
	$3,50 \pm 0,61$		$5,97 \pm 0,68$	0,001*
		$3,95 \pm 0,73$	$5,97 \pm 0,68$	0,001*
HF_{Simon}	$158,17 \pm 10,79$	$157,50 \pm 8,89$		0,906
	$158,17 \pm 10,79$		$162,50 \pm 5,43$	0,403
		$157,50 \pm 8,89$	$162,50 \pm 5,43$	0,141
V_{max}	$1,65 \pm 0,05$	$1,45 \pm 0,05$		0,001*
	$1,65 \pm 0,05$		$1,45 \pm 0,07$	0,001*
		$1,45 \pm 0,05$	$1,45 \pm 0,07$	0,076
LA_{max}	$11,9 \pm 2,01$	$11,1 \pm 2,89$		0,317
	$11,9 \pm 2,01$		$12,2 \pm 1,07$	0,821
		$11,1 \pm 2,89$	$12,2 \pm 1,07$	0,349
HF_{max}	$178 \pm 8,67$	$172,8 \pm 5,19$		0,217
	$178 \pm 8,67$		$181,66 \pm 3,32$	0,069
		$172,8 \pm 5,19$	$181,66 \pm 3,32$	0,002*

Tab. 13/4.3 Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Untersuchungsparameter für die Schwimmarten Kraul (K) vs. Rücken (R) vs. Schmetterling (S) der Schwimmerinnen (n=8, MZP 1).

Parameter	Schwimmtechniken			Signifikanz
	Kraul	Rücken	Schmetterling	
V_{LA4}	1,37 ± 0,04	1,22 ± 0,07		0,001*
	1,37 ± 0,04		1,18 ± 0,06	0,001*
		1,22 ± 0,07	1,18 ± 0,06	0,197
HF_{LA4}	165,6 ± 6,06	169,7 ± 4,13		0,102
	165,6 ± 6,06		160,8 ± 11,25	0,207
		169,7 ± 4,13	160,8 ± 11,25	0,038*
V_{LA6}	1,40 ± 0,05	1,27 ± 0,04		0,002*
	1,40 ± 0,05		1,25 ± 0,05	0,001*
		1,27 ± 0,04	1,25 ± 0,05	0,351
HF_{LA6}	175,3 ± 6,04	176,6 ± 5,01		0,340
	175,3 ± 6,04		175,6 ± 4,50	0,891
		176,6 ± 5,01	175,6 ± 4,50	0,506
V_{Simon}	1,33 ± 0,05	1,18 ± 0,05		0,001*
	1,33 ± 0,05		1,25 ± 0,05	0,003*
		1,18 ± 0,05	1,25 ± 0,05	0,020*
LA_{Simon}	3,29 ± 0,38	3,33 ± 0,45		0,866
	3,29 ± 0,38		5,11 ± 0,67	0,001*
		3,33 ± 0,45	5,11 ± 0,67	0,001*
HF_{Simon}	159,5 ± 7,19	165,2 ± 2,87		0,027*
	159,5 ± 7,19		170,7 ± 6,49	0,013*
		165,2 ± 2,87	170,7 ± 6,49	0,034*
V_{max}	1,41 ± 0,06	1,27 ± 0,04		0,001*
	1,41 ± 0,06		1,28 ± 0,03	0,001*
		1,27 ± 0,04	1,28 ± 0,03	0,351
LA_{max}	6,62 ± 1,40	6,73 ± 1,10		0,855
	6,62 ± 1,40		7,96 ± 1,10	0,010*
		6,73 ± 1,10	7,96 ± 1,10	0,052
HF_{max}	178,5 ± 6,21	179,2 ± 5,01		0,763
	178,5 ± 6,21		183,1 ± 2,58	0,061
		179,2 ± 5,01	183,1 ± 2,58	0,070

Tab. 14/4.3 Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Untersuchungsparameter für die Schwimmtechniken Kraul (K) vs. Rücken (R) vs. Schmetterling (S) der Schwimmerinnen (n=8, MZP 2).

Parameter	Schwimmtechniken			Signifikanz
	Kraul	Rücken	Schmetterling	
V_{LA4}	1,38 ± 0,03	1,25 ± 0,05		0,001*
	1,38 ± 0,03		1,20 ± 0,07	0,001*
		1,25 ± 0,05	1,20 ± 0,07	0,227
HF_{LA4}	166,25 ± 5,23	167 ± 7,36		0,810
	166,25 ± 5,23		164,1 ± 14,26	0,705
		167 ± 7,36	164,1 ± 14,26	0,420
V_{LA6}	1,47 ± 0,05	1,28 ± 0,05		0,001*
	1,47 ± 0,05		1,27 ± 0,07	0,001*
		1,28 ± 0,05	1,27 ± 0,07	1,0
HF_{LA6}	175,9 ± 4,05	175,6 ± 4,50		0,862
	175,9 ± 4,05		177,5 ± 10,08	0,649
		175,6 ± 4,50	177,5 ± 10,08	0,463
V_{Simon}	1,38 ± 0,05	1,20 ± 0,01		0,001*
	1,38 ± 0,05		1,23 ± 0,07	0,001*
		1,20 ± 0,01	1,23 ± 0,07	0,351
LA_{Simon}	3,10 ± 0,25	3,43 ± 0,47		0,119
	3,10 ± 0,25		4,65 ± 0,66	0,001*
		3,43 ± 0,47	4,65 ± 0,66	0,003*
HF_{Simon}	160,6 ± 5,34	162,5 ± 8,89		0,526
	160,6 ± 5,34		171,5 ± 5,90	0,001*
		162,5 ± 8,89	171,5 ± 5,90	0,002*
V_{max}	1,46 ± 0,05	1,27 ± 0,05		0,001*
	1,46 ± 0,05		1,31 ± 0,08	0,001*
		1,27 ± 0,05	1,31 ± 0,08	0,285
LA_{max}	7,07 ± 1,54	6,76 ± 0,89		0,541
	7,07 ± 1,54		7,53 ± 0,97	0,424
		6,76 ± 0,89	7,53 ± 0,97	0,087
HF_{max}	179,25 ± 5,0	177,8 ± 4,23		0,299
	179,25 ± 5,0		184,6 ± 3,96	0,033*
		177,8 ± 4,23	184,6 ± 3,96	0,002*

Tab. 15/4.3 Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Untersuchungsparameter für die Schwimmtechniken Kraul (K) vs. Rücken (R) vs. Schmetterling (S) der Schwimmerinnen (n=8, MZP 3).

Parameter	Schwimmtechniken			Signifikanz
	Kraul	Rücken	Schmetterling	
V_{LA4}	1,41 ± 0,06	1,25 ± 0,08		0,003*
	1,41 ± 0,06		1,24 ± 0,07	0,001*
HF_{LA4}	169,25 ± 8,26	168,1 ± 3,18		0,732
	169,25 ± 8,26		161,9 ± 7,22	0,725
V_{LA6}	1,46 ± 0,07	1,28 ± 0,05		0,115
	1,46 ± 0,07		1,26 ± 0,05	0,039*
HF_{LA6}	177,1 ± 4,97	179 ± 2,83		0,001*
	177,1 ± 4,97		1,26 ± 0,05	0,001*
V_{Simon}	1,38 ± 0,05	1,20 ± 0,05		0,598
	1,38 ± 0,05		177,1 ± 6,22	0,279
LA_{Simon}	2,95 ± 0,36	3,48 ± 0,35		1,0
	2,95 ± 0,36		177,1 ± 6,22	0,302
HF_{Simon}	161,3 ± 7,96	163,5 ± 4,96		0,001*
	161,3 ± 7,96		1,25 ± 0,05	0,001*
V_{max}	1,46 ± 0,05	1,30 ± 0,05		0,033*
	1,46 ± 0,05		1,25 ± 0,05	0,001*
LA_{max}	7,07 ± 1,03	7,26 ± 0,81		0,051
	7,07 ± 1,03		5,0 ± 0,40	0,001*
HF_{max}	183 ± 3,21	182,3 ± 2,71		0,001*
	183 ± 3,21		5,0 ± 0,40	0,001*
		182,3 ± 2,71	171,25 ± 6,16	0,572
		163,5 ± 4,96	171,25 ± 6,16	0,009*
		1,30 ± 0,05	1,34 ± 0,07	0,016*
		1,34 ± 0,07	1,34 ± 0,07	0,001*
		7,26 ± 0,81	8,31 ± 0,76	0,197
		8,31 ± 0,76	8,31 ± 0,76	0,702
		185,9 ± 2,47		0,013*
		185,9 ± 2,47		0,016*
			185,9 ± 2,47	0,691
			185,9 ± 2,47	0,040*
				0,014*

Legende der Untersuchungsparameter:

V_{LA4}	Schwimmgeschwindigkeiten bei 4 mmol/l Laktatkonzentration
V_{LA6}	Schwimmgeschwindigkeiten bei 6 mmol/l Laktatkonzentration
HF_{LA4}	Herzfrequenzen bei 4 mmol/l Laktatkonzentration
HF_{LA6}	Herzfrequenzen bei 6 mmol/l Laktatkonzentration
V_{Simon}	Schwimmgeschwindigkeiten an der IANS nach Simon
LA_{Simon}	Laktatkonzentration an der IANS nach Simon
HF_{Simon}	Herzfrequenzen an der IANS nach Simon
V_{max}	Maximale Schwimmgeschwindigkeiten
LA_{max}	Maximale Laktatkonzentrationen
HF_{max}	Maximale Herzfrequenzen

Angaben zur Person:

Name: Soliman

Vorname: Ahmed

Geburtsdatum: 24. Februar 1974

Geburtsort: El Minia, Ägypten

Familienstand: verheiratet

Geschlecht: männlich

Anschrift: Richard Paulick Str. 13, 302 A, 06124 Halle /Saale.

Tel. 0345/5524439

Schulbildung:

1991 Abitur, El Minia militärisches Gymnasium, Ägypten

Studium:

1995 Bachelor of Sport Science (ausgezeichnet), El Minia Universität,
Ägypten

1996-98 Postgraduate Courses for Master (ausgezeichnet), El Minia Universität,
Ägypten

1996 Pädagogik Kompakt-Kurse, El Minia Universität

1998 Master of Sport Science, El Minia Universität

Regierungsstipendium:

2002-2007 ägyptisches Stipendium (4-5 Jahren) zur Promotion im Fachgebiet
Trainingswissenschaft an der Martin-Luther- Universität Halle-
Wittenberg, Deutschland

Berufstätigkeit:

1995-98 Assistent im Fachgebiet Trainingswissenschaft, El Minia Universität,
Ägypten

Seit 1998 Oberassistent im Fachgebiet Trainingswissenschaft, El Minia
Universität, Ägypten

Promotin Fachgebiet:

Trainingswissenschaft

Ahmed Soliman

Halle / Saale, den 19.06.2007

Ahmed Hassan Nazmi S. M. Soliman

Hiermit erkläre ich, dass die vorgelegte Arbeit „Belastungssteuerung im Schwimmsport auf der Basis individueller Leistungsdiagnostik im Kraul-, Rücken- und Schmetterlingsschwimmen“ von mir selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel und Literatur angefertigt wurde. Die den benutzten Instrumenten wörtlich oder inhaltlich entnommen Stellen sind als solche kenntlich gemacht. Zusätzlich habe ich mich bisher noch an keiner anderen Universität um einen Doktorgrad beworben.

Ahmed Soliman

Halle / Saale, den 19.06.2007

Ahmed Hassan Nazmi S. M. Soliman