



universität
wien

MAGISTERARBEIT

Titel der Magisterarbeit

„Vergleich von Ergometertestungen in Paddle-Sportarten
wie dem Rudern, Kajak, Outrigger Paddling, Drachenboot
und Stand Up Paddling“

verfasst von

Lach Mario Bakk. rer. nat.

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2014

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Magisterstudium Sportwissenschaft

Betreuer:

Univ.-Prof. Dr. Smekal Gerhard

VORWORT

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt haben. Ein großer Dank gilt meinen Eltern, meinen Bruder und meiner verstorbenen Oma, die mich während meiner gesamten Studienzeit begleitet haben.

Danksagen möchte ich ebenfalls Prof. Dr. Smekal und der Abteilung Sport- und Leistungsphysiologie, für die Beratung als auch Unterstützung beim Verfassen dieser Arbeit.

Weiteres möchte ich mich bei Gerhard Polak, Carolin Ruess und Dr. Karl Heinz Kristen bedanken, ohne deren Beteiligung und Mitarbeit die Umsetzung meiner Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Eidesstattliche Erklärung

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

Ort, Datum

Unterschrift

KURZFASSUNG

Titel der Arbeit:

„Der Vergleich von Ergometertestungen in Paddle Sportarten wie dem Rudern, Kajak, Outrigger Paddling, Drachenboot und Stand Up Paddling“

Die vorliegende Arbeit versucht, den in sich geschlossenen Ansatz der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik am Beispiel der Sportarten Rudern, Kajak, Outrigger-Paddling, Drachenboot und Stand-Up-Paddling sachlich und klar darzustellen. Der Schwerpunkt liegt dabei in der Erfassung der Messmethoden von Feld- und Laboruntersuchungen, deren Messinterpretationen, den daraus resultierenden Ergebnissen sowie dessen Fehlern. Der besondere Fokus liegt hier auf der Auswertung der Daten von Kraft, $VO_2\text{max}$, Herzfrequenz und Laktat bei den Tests, sowie den Interpretationen und Ergebnissen, die daraus hervorgehen. Die einzelnen Übersichtstabellen, die die Messergebnisse verschiedener Autoren darlegen, sollen eine einfache und anschauliche Darstellung des komplexen Themenbereichs bieten und so zu weiteren Forschungen und Untersuchungen anspornen. Die anthropometrischen Voraussetzungen für die Athleten und die Trainingsempfehlungen für Trainer können für die jeweilige Sportart aus den vorhandenen Daten abgeleitet werden. Dies kann für Trainer und Athleten während der einzelnen Wettkampfphasen sehr hilfreich sein. Ebenso wird auf die möglichen Verletzungsrisiken und Verletzungen der verschiedenen Paddle-Sportarten eingegangen, um so bereits vor Trainingsbeginn auf die Risiken hinweisen zu können und spätere Verletzungen zu minimieren. Als Ergebnis kann festhalten werden, dass die Sportarten Rudern und Kajak leistungsdiagnostisch und anthropometrisch weitgehend sehr gut erfasst und durch mehrere Studien beschrieben sind. Im Bereich der nicht so bekannten Sportarten wie Outrigger-Paddling, Drachenboot und vor allem in der neuen Trendsportart Stand Up Paddling besteht auch noch enormes Forschungspotenzial.

Schlagwörter: Ergometertest, Labor- und Feldtestungen, Ausdauer, $VO_2\text{max}$, Laktat, Herzfrequenz

ABSTRACT

Title:

"The Comparison of Ergometer Tests in Rowing, Kayaking, Outrigger Canoeing, Dragon Boat and Stand Up Paddling"

The study on hand attempts to objectively and clearly present the self-contained approach to performance diagnostics in sports medicine, using the example of rowing, kayaking, outrigger, dragon boat and stand up paddling. The focus of this work lies in the understanding of the measurement methods of field and laboratory testings, their measurement interpretations as well as their results and failures. The emphasis is on the analysis of data from the forces VO_2max , heart rate and lactate as well as on its interpretations and results. The individual summary tables of the measurement results from different authors are to provide a simple and clear presentation of the complex topic range and thus encourage further research and analysis. The anthropometric requirements of athletes as well as workout recommendations for coaches can be selected from the available data and thus be interpreted for each field of sport. This can be very helpful for coaches and athletes in the individual competition phase. Also discussed are the possible risks of injury as well as injuries themselves of various paddle sports in order to point out the risks before beginning the training and to keep subsequent injuries to a minimum. In summary it can be said that the rowing and kayaking field are largely captured very well performance diagnostics and anthropometrically and described by several studies. There is also enormous potential for research in the not that well-known areas such as outrigger paddling, dragon boat and especially in the new trend sport of stand up paddling.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Die Stellung der Leistungsdiagnostik im Trainingsprozess.....	8
1.1	Ebene der Biomechanik.....	9
1.2	Ebene der Sportmedizin.....	9
1.3	Ebene der psychischen Anforderungen	9
2	Ergometer und deren Kennwerte	11
2.1	Einstufentest	11
2.2	Rampentest	11
2.3	Steady-State-Belastung.....	12
2.4	Maximale Ergometrie	12
2.5	Labor- und Feldforschung	13
2.6	Messwerte einer Leistungsdiagnostik.....	13
2.6.1	Maximale Leistung (W_{max} in Watt).....	13
2.6.2	Maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max})	13
2.6.3	Maximale Leistungsfähigkeit in Prozent des Referenzwertes ($LF\%RF$)	14
2.6.3.1	Formel für die W_{max}	14
2.6.3.2	Formel für die $LF\%Ref$ für W_{max} und VO_{2max}	14
2.6.4	Herzfrequenz / EKG (HF)	15
3	Testungen im Rudersport.....	16
3.1	Ruderergometer	16
3.1	Übersicht der Ruderergometer-Testungen.....	17
3.2	Leistungsphysiologie des Rudersports	21
3.1	Übersicht der Messungen bei internationalen und nationalen Ruderregatten	22
3.2	Anthropometrische Merkmale der Ruderer	26
3.2.1	Allgemeine anthropometrische Merkmale der Ruderer	26
3.2.2	Anthropometrie leichter und schwerer Ruderer	27

3.2.3	Anthropometrie von Junioren-Ruderern.....	29
3.3	Verletzungen im Rudern.....	31
4	Testungen in Kajak- und Kanusportarten	32
4.1	Die Kajak- und Kanuergometer.....	32
4.2	Übersicht der Kajak-Ergometer-Testungen.....	33
4.2.1	Übersicht der VO ₂ und VO ₂ max Messungen bei Kajakfahrern.....	34
4.2.2	Übersicht der VO ₂ max bei Kajakfahrern im Vergleich	35
4.2.3	Anaerobe Komponenten des Kajaksports.....	37
4.2.4	Anaerobe Leistung von Kajakfahrern.....	39
4.3	Anthropometrische Merkmale der Kajakfahrer.....	41
4.4	Verletzungen im Kajaksport.....	43
5	Testungen im Outrigger Kanu Paddling	44
6	Testungen im DrachenbootSport	49
7	Testungen im Stand Up Paddling.....	54
7.1	Stand Up Paddling Ergometer	54
7.2	Testungen im Stand Up Paddling-Sport	55
7.3	Verletzungen im Stand Up Paddling Sport.....	57
8	Ergebnisse	61
8.1	Ergebnisse im Rudersport.....	61
8.2	Ergebnisse im Kajak- und Kanusport.....	64
8.3	Ergebnisse im Outrigger-Kanusport.....	66
8.4	Ergebnisse Drachenbootsport	69
8.5	Ergebnisse im Stand Up Paddling Sport.....	69
	Literaturverzeichnis	72
	Abbildungsverzeichnis	79

1 DIE STELLUNG DER LEISTUNGSDIAGNOSTIK IM TRAININGSPROZESS

Verschiedene leistungsdagnostische Tests, die standardisiert, vergleichbar und wissenschaftlich durchgeführt werden, sind ein unverzichtbarer Bestandteil während der Trainingsperiode eines jeden Leistungssportlers.

Ein sportmotorischer Test ist ein unter standardisierten (immer gleichen) Bedingungen ablaufendes wissenschaftliches (objektives, zuverlässiges und gültiges) Verfahren, bei dem die Verlaufsqualität oder das Ergebnis einer konkreten sportlichen Bewegungstätigkeit als Indikator für einzelne oder mehrere motorische Fähigkeiten bzw. Fertigkeiten dient. Ziel der Beobachtung bzw. Messung ist es, eine möglichst quantitative Aussage über den Grad der individuellen Merkmalsausprägungen zu erhalten.

(Roth & Willimczik, 1983, S. 83)

Damit bei einem Test die einzige Variable die Messgröße ist, sind alle Bedingungen und Umstände des Tests normiert, also standardisiert. Mit der Objektivität liefert ein Test an unterschiedlichen Zeiten und Orten, bei verschiedenen Prüfern, immer die gleichen Ergebnisse. Die Reliabilität (Zuverlässigkeit) eines Test liefert ähnliche Ergebnisse bei mehrmaliger Messung. Die Validität (Gültigkeit) beschreibt alle Punkte, die bei einer Testung erfasst werden müssen sowie die Parameter, die man messen möchte (vgl. Haber, 2009, S. 280).

Die Leistungsdiagnostiken sind das Produkt aus dem Zusammenwirken von motorischen, psychischen und physischen Fähigkeiten. Für eine Leistungsdiagnostik im Sport, die den Bewegungsvollzug des Menschen untersucht, lassen sich drei Beobachtungsebenen unterscheiden:

1. Physikalische Gegebenheiten (die mithilfe der Biomechanik beobachtet werden)
2. Physiologische Prozesse (untersucht mit den Mitteln der Sportmedizin)
3. Psychische Erscheinungen (erläutern die einzelnen psychischen Phänomene)

(vgl. Carl et al., 1984, S. 474)

1.1 Ebene der Biomechanik

Die Aufgabe der biomechanischen Leistungsdiagnostik ist die Integration der beteiligten Wissenschaften wie z.B. Biophysik, Biochemie, Mechanik (vgl. Ballreich, 1980; Ballreich & Barumann, 1983). Im Spitzensport ist es wichtig die Athleten und Trainer mit biomechanischen Kenngrößen zu unterstützen. Mit Hilfe von komplexen mechanischen, elektronischen und bildgebenden Verfahren werden physikalische Größen wie z. B. Kraft, Winkel, Winkelgeschwindigkeit und Beschleunigung erfasst. Vornehmlich wird in den Bereichen der Kinemetrie, der Anthropometrie, der Dynamometrie sowie der Elektromyographie gearbeitet. Durch diese Informationen können von außen nur bedingt erkennbare Mängel konsequent minimiert und Bewegungsabläufe sowie individuelle Leistungen optimiert werden.

1.2 Ebene der Sportmedizin

Die Aufgabe der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik ist es, neben der Diagnose und Kontrolle des Gesundheitszustandes von Athleten, auch Auskunft über den derzeitigen Leistungsstand und die Leistungsentwicklung als auch Empfehlungen für die Optimierung des Trainings zu geben. Die Leistungsmedizin ist damit eine analytische Diagnostik, die eine gesonderte und quantitative Erfassung von Fähigkeiten darstellt.

"Zu den Aufgaben leistungsmedizinischer Test [sic] gehört nicht (zumindest nicht in erster Linie), die Beurteilung oder Prognosen der sportartspezifischen Leistungsfähigkeiten." (Haber, 2009 S. 262)

1.3 Ebene der psychischen Anforderungen

Nach Fröhlich (1994) werden psychische Eigenschaften einer Person durch motivationale, kognitive und emotionale Faktoren bedingt. Motivationale Faktoren stellen die Beweggründe dar, warum ein bestimmtes Verhalten in einer gewissen Situation auftritt, während kognitive Faktoren maßgeblich für das Erkennen und Wahrnehmen von Situationen sind. Bei der Bewertung einer Situation spielt der emotionale Faktor eine wesentliche Rolle. Trotz Wechselwirkung und enger Verflochtenheit der drei Faktoren, ist eine Trennung für die Analyse unerlässlich; dies wird in Abb. 1 nochmals untermauert.

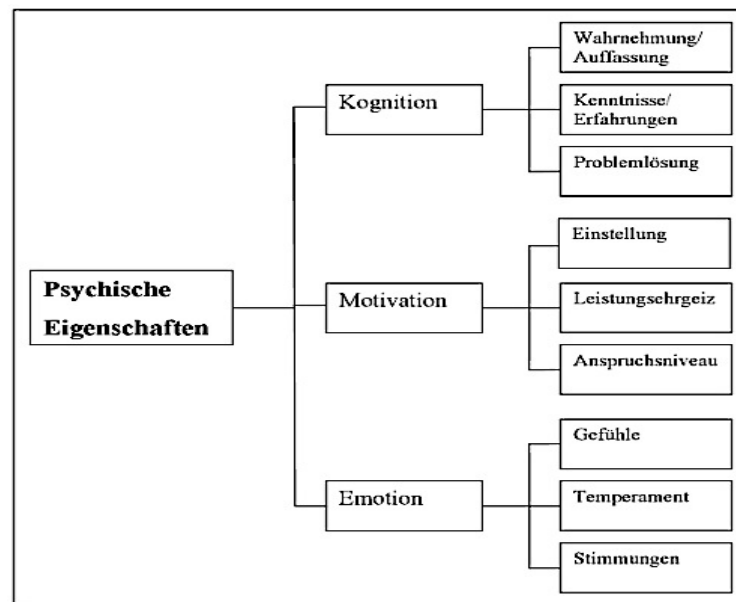


Abb. 1: Die psychischen Eigenschaften eines Sportlers
(Bisanz & Gerisch, 1988, S. 143)

Die klare Abgrenzung der einzelnen Bereiche ist laut Daus (1978) nicht möglich. Die Chance liegt vielmehr in dem Zusammenschluss aller Ebenen, da sich als Gegenstück physiologischer und biomechanischer Messungen, funktionelle Ökonomisierung- und Optimierungsprozesse erkennen lassen, die bei einem reinen physiologischen oder biomechanischen Aspekt unerkannt bleiben. Abb. 2, die leistungsdagnostische Verfahren darstellt, verdeutlicht dies.

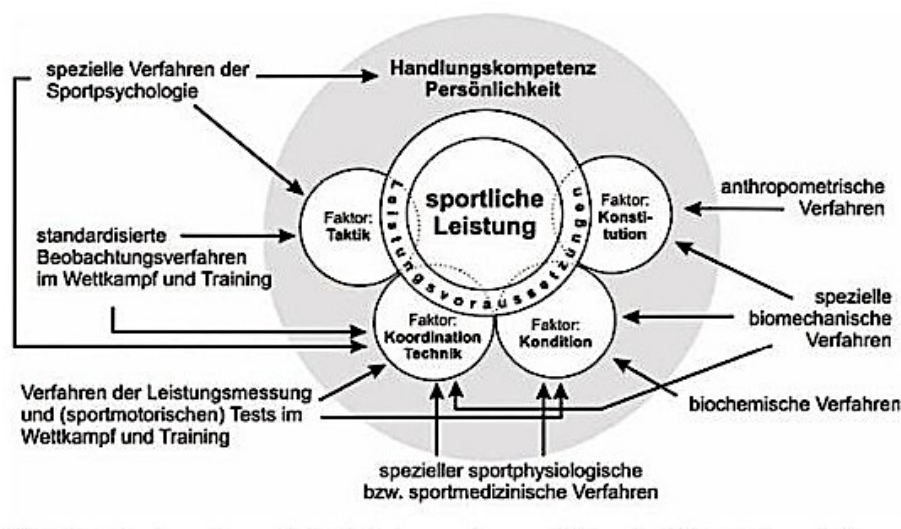


Abb. 2: Leistungsdagnostische Verfahren aus den verschiedenen beteiligten Wissenschaftsdisziplinen
(Schnabel, Harre, & Krug, 2009, S. 54; Bader, 2007)

2 ERGOMETER UND DEREN KENNWERTE

Für das Durchführen einer Ergometrie ist ein Ergometer notwendig, das bei einer Ausführung die erbrachte Leistung in eine physikalische Einheit (Watt, Geschwindigkeit) genau und eichbar wiedergibt. Das erste Ergometer wurde laut Mellerowicz (1979) von dem deutschen Arzt Speck im Jahre 1896 eingesetzt.

In Europa wird für eine Standardergometrie das Radfahren mit dem Fahrradergometer und in den USA das Gehen und Laufen in Form des Laufbandergometers eingesetzt. Das Fahrradergometer zählt zu den sportartunspezifischen Ergometrien. Laufbandergometer und andere Ergometrieformen wie z.B. Ruder-, Kajak- oder Paddle-Ergometer sind sportartenspezifische Ergometer, die meist für Fragestellungen im Hochleistungssport eingesetzt werden. Für eine leistungsmedizinische Fragestellung außerhalb des Leistungssports sind solche Messformen meist weniger gut geeignet. Fahrradergometer bieten aufgrund des geringen Platzbedarfs, der Standardisierbarkeit von Kurbellänge und Sattelhöhe bis hin zu Elementen wie den Lenkereinstellungen jede Menge Vorteile. Auch Zusatzuntersuchungen wie Blutdruck bis hin zum Herzkatheter sind ohne Unterbrechungen und Einschränkungen möglich. Die Ausgabe der Leistung erfolgt dabei in Watt.

Wird die Belastungsform routinemäßig angewandt, so ist das Ergebnis für die allgemeine Ausdauer valide. Es wird weder durch sportliche Technik noch durch spezielle Anpassungen beeinflusst. Die allgemeine Reaktion von Atmung, Kreislauf und Stoffwechsel werden nur mithilfe der Qualität und des Umfangs des Ausdauertrainings angepasst. Die Grundprinzipien der Leistungsdiagnostiken werden somit nach dem Stufentest-Prinzip behandelt und bestehen darin, dass der Testperson eine genau definierte Leistung abverlangt wird. Dabei werden folgende Arten von Tests unterschieden:

2.1 Einstufentest

Die Testdauer von vier bis sechs Minuten besteht aus einer einzigen, gleichförmigen Belastung. Dieser Test wird aufgrund ihrer graphischen Darstellung meist auch Rechteckbelastung genannt.

2.2 Rampentest

Das Ziel eines Rampentests ist es, nach etwa acht bis maximal zwölf Minuten eine Ausbelastung zu erreichen, um so die maximale Sauerstoffaufnahme, den Maximalpuls, die Fähigkeit der Laktatmobilisation und die maximale Leistung in Watt pro Minute bei

individuell größtmöglichem aeroben Energieumsatz zu bestimmen. Der Test charakterisiert den momentanen Leistungszustand und eignet sich vor allem für Wettkampf- und Leistungssportler, ist aber für den Grundlagenausdauerbereich ungeeignet.

2.3 Steady-State-Belastung

Dieser Test gibt eine rechtwinkelige, gleichbleibende Belastung vor, die nach drei Minuten ein „Steady State“ bildet, wobei sich dann die hämodynamischen und biomechanischen Parameter auf ein Gleichgewichtsniveau einstellen. Während die Belastung unterhalb der anaeroben Schwelle liegen muss, wird das Steady State aus dem Fehlen eines Anstiegs der Herzfrequenz und/oder der VO_2max von der dritten zur sechsten Minute festgestellt.

2.4 Maximale Ergometrie

Bei diesem etablierten Belastungsverfahren der Ergometrie wird, bei stufenförmiger oder dreieckig ansteigender Belastung, der Test so lange fortgeführt, bis Symptome wie Erschöpfung, Schmerz, EKG-Veränderungen oder Atemnot den Testabbruch erzwingen und der Proband somit ausbelastet ist. Die Messwerte sind Maximalwerte für die Leistung, die VO_2max , die Herzfrequenz und andere leistungsbegrenzende Faktoren bei Leistungsdiagnostiken.

Mit den Testprotokollen können messbare Funktionsparameter einer objektiven Betrachtung unterzogen werden. Ziele einer leistungsdiagnostischen Beurteilung bestehen darin, die leistungsbegrenzenden Gebiete für die tätigende Körperarbeit zu finden, wobei folgende Bereiche einen wesentlichen Einfluss auf die Beurteilung haben:

1. das Herz
2. die Lunge
3. die kapillare Austauschfläche
4. die Transportkapazität des Blutes
5. die Skelettmuskulatur
6. die Energiespeicher des Organismus
7. das Nervensystem

(vgl. Kreul et al., 1981, S. 382- 390)

2.5 Labor- und Feldforschung

Je nach gewähltem leistungsdiagnostischen Test, unterscheidet man noch zwischen:

1. Laborforschung, mit Schwerpunkt auf der Diagnostik zwischen der sportlichen Leistung und den Reaktionen des Athleten mit einer guter Reproduzierbarkeit
2. Feldforschung, mit dem Schwerpunkt auf der Diagnostik des sportartspezifischen Leistungszustandes

Eine wesentliche Frage bei der Strukturierung der physiologischen Beobachtung eines Athleten ist, ob labor- oder feldbasierte Testverfahren verwendet werden sollen. Labortests ermöglichen eine viel genauere Kontrolle über fremde, vor allem Umweltfaktoren, die die Testergebnisse beeinflussen können, wodurch sie die Prüfsicherheit der einzelnen Tests verbessern. Feldbasierte Tests, auf der anderen Seite, erfolgen im natürlichen und sportlichen Umfeld des Athleten, womit die Testgültigkeit erhöht wird. Es gibt keine einfache Antwort auf die Frage, welche Testart geeigneter ist. Die Entscheidung muss auf einer individuellen und sportlichen Basis getroffen werden. Regelmäßige Laboruntersuchungen, in denen Testprotokolle starr eingehalten werden, mit feldbasierten Tests, die mehr auf Problemlösung basieren, zu kombinieren, wäre ein nützlicher Ansatz.

2.6 Messwerte einer Leistungsdiagnostik

Die Ergometrie ist ein Verfahren zur Messung der Ausdauerleistungsfähigkeit. Werden zusätzliche Messungen der Atemgase während einer Ergometrie durchgeführt, kommt es zu Einblicken in den Energiestoffwechsel. In diesem Fall spricht man von Spiroergometrie. Die wichtigsten Messwerte sind die maximale Leistung W_{max} und die VO_{2max} bzw. die Leistungsfähigkeit in Prozent des Referenzwertes (LF%RF), sowie ein EKG, das über die Herzfrequenz (HF) Auskunft gibt.

2.6.1 Maximale Leistung (W_{max} in Watt)

Nach Empfehlungen der österreichischen kardiologischen Gesellschaft, entspricht die maximale Wattleistung (W_{max}) jener Leistung, die zum Zeitpunkt des Leistungsabbruchs durch die limitierenden Faktoren erbracht wird.

2.6.2 Maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max})

Die Bestimmung der "maximalen Sauerstoffaufnahme" als ein Kriterium der kardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit wurde 1924 von Hill in die Literatur eingeführt.

In den 60er Jahren galt die maximale Sauerstoffaufnahme als Kennzeichen zur Bewertung des Leistungsvermögens von Herz, Kreislauf, Atmung und Energiestoffwechsels. Um eine O₂-Aufnahme bei muskulären Belastungen bestimmen zu können, wurden die Messgeräte in den darauffolgenden Jahren weiterentwickelt und sind seitdem stetig verbessert worden.

Die Miniaturisierung der Spirographiesysteme ist heute so weit entwickelt, dass eine kontinuierliche Registrierung der Sauerstoffaufnahme und damit eine direkte Messung des aeroben Energiestoffwechsels auch unter sportartspezifischen Bedingungen ohne wesentliche Beeinträchtigung des Sportlers möglich ist.

(Heck & Schulz, 2002, S. 202-203)

Zusätzlich zu den Spirographiesystementwicklungen, forschten Knipping und Bauer im Bereich der Leistungsdiagnostik und führten diese 1929, unter Benutzung der Spiroergometrie, in ihren medizinischen Kliniken ein. (Die Technologie war jedoch erst mit Beginn der 50er Jahre so weit fortgeschritten, dass es möglich war, die geeignete Ausrüstung für die Forschung herzustellen.) 1964 beschrieben Wassermann et al. die "anaerobe Schwelle" und Mader führte 1976 die bis heute noch heftig diskutierte fixe "aerob-anaerobe Schwelle" bei 4 mmol/l ein. Die anaerobe Schwelle bei 4 mmol/l wird in Prozent der W_{max} und VO₂max angegeben und ist damit das Maß für den Anteil der maximalen Leistungsfähigkeit, die ein Sportler ausnutzen kann, ohne Laktat zu bilden.

2.6.3 Maximale Leistungsfähigkeit in Prozent des Referenzwertes (LF%RF)

Nach ergometrischer Ermittlung der maximalen Leistungsfähigkeit, erfolgt die Betrachtung der individuellen Leistungsfähigkeit in Prozent des Referenzwertes als Ausgangspunkt für die Diagnose des Trainingszustandes. Die österreichische Empfehlung für die Standardergometrie stellt dazu folgende Formeln zur Verfügung, mit denen geschlechterspezifisch aus Körperoberfläche in m² (KO) und dem Alter in Jahren (A) die Referenzwerte von W_{max} berechnet werden können.

2.6.3.1 Formel für die W_{max}

$$W_{\max} \text{ Männer} = 6,773 + 136,141 \times KO - 0,916 \times KO \times A$$

$$W_{\max} \text{ Frauen} = 3,933 + 86,641 \times KO - 0,346 \times KO \times A$$

2.6.3.2 Formel für die LF%Ref für W_{max} und VO₂max

$$LF\%Ref = 100 \times W_{\max} / \text{Referenzwert}$$

$$LF\%Ref = 100 \times VO_{2\max} / \text{Referenzwert}$$

Für alle Probanden ist der Normwert, unabhängig von Alter, Geschlecht und Größe, mit 100 Prozent Leistungsfähigkeit anzunehmen. Der Normalbereich liegt zwischen 90 und 110 Prozent, darunter spricht man von einer Verminderung, darüber von einer überdurchschnittlichen Leistungsfähigkeit (vgl. Haber, 2009 S. 295-311). Weitere Hilfestellung bei der Bewertung von Trainings- und Gesundheitszustand liefert die Analyse von Herzfrequenz, Blutdruck sowie die maximale Laktatkonzentration und die anaerobe Schwelle bei 4 mmol/l.

2.6.4 Herzfrequenz / EKG (HF)

Die Beobachtung der Herzfrequenz mittels EKG oder Pulsuhr ist fixer Bestandteil jeder medizinischen und leistungsdiagnostischen Ergometrie. Den Stromfluss des Herzens, der vom Sinusknoten über das Reizleitungssystem den Herzmuskeln den Befehl zur Kontraktion gibt, kann mit Hilfe eines EKGs messen. Die unterschiedliche Stärke der Ströme spiegelt die elektrischen Erregungszustände im Herzen wieder. Die HF ist die am einfachsten zu registrierende physiologische Antwort auf eine Belastung. Erst im Laufe der Zeit nahm die kombinierte Darstellung von Atemgröße und Blutparametern wie Laktat, Pyruvat und pH-Wert als eine Messgröße immer mehr an Bedeutung zu. Die Laktatdiagnostik und die Bestimmung der anaeroben Schwelle sind heute ein fester Bestandteil der Funktions- und Leistungsdiagnostik. Mit ihrer Hilfe können biophysikalische und biochemische Reaktionen, sowie die Adaptionen des Körpers während des Trainings beurteilt werden (vgl. Hollmann in Bachl et al., 1987, S.13-28).

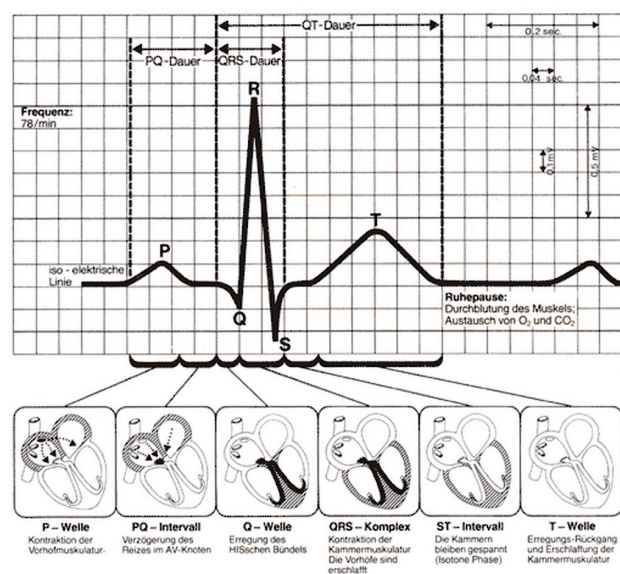


Abb. 3: Kurven im Elektrokardiogramm (Bruckner 1986)

3 TESTUNGEN IM RUDERSPORT

Ruderwettkämpfe werden meist über eine Strecke von 2.000 Metern durchgeführt. Der Wettkampf dauert etwa sechs bis acht Minuten, abhängig von der Anzahl der Ruderer im Boot und der Wettbewerbs-Klassifizierung z. B. Schwergewicht – jetzt einfacher als „offene Klasse“ bezeichnet – Leichtgewicht, Männer, Frauen oder Skulling.

3.1 Ruderergometer

Das erste sportartenspezifische Ergometer für das Rudern wurde von dem Norweger Gjessing entwickelt und bis Anfang der 1990er Jahre im Rudersport auf dem durch Reibung gebremsten "Gjessing-Ergometer" durchgeführt (Gjessing, 1976). Allmählich setzen sich jedoch die luftgebremsten Ruderergometer mit dem Modell C von Concept 2 durch und definieren mittlerweile weltweit einen Standard, da sie durch die leichte Bauweise eine flexible Nutzung im Labor erlauben. Sie zeichnen Trainingsdaten wie Herzfrequenzen, Schlagfrequenzen, Trainingsstrecke, Energieverbrauch und die Leistung in Watt auf. Mit einem speziellen Kraft-Messfühler am Handgriff ausgerüstet, kann man die vom Ruderer erzeugte Kraft direkt und sehr genau im Labor messen. Blutentnahmen, beispielsweise zur Bestimmung der Laktatkonzentration, sind ebenso möglich wie die Registrierung der Atemgase.

Der Bewegungsablauf auf dem Ruderergometer sollte, bei richtig ausgeführter Technik, der tatsächlichen Ruderbewegung entsprechen. Die Ruderbewegung in der Zugphase startet „aus einer leicht nach vorne gebeugten Rumpfhaltung“ heraus. Die Beine sind gebeugt, die Arme gestreckt. Der erste Krafteinsatz erfolgt von den Beinen her, Arme und Oberkörper greifen mit zunehmender Kniestreckung in den Bewegungsablauf ein.

(Horn/Steinmann, 2001, S. 15)

Die Einführung von Ruderergometern hat das Training erleichtert da nun ein kontrollierbares und wiederholbares Werkzeug zur Bewertung der Ruderleistung zur Verfügung steht. Die 2.000-Meter-Leistung, die auf einem Ruderergometer ausgewertet wird, hängt von der funktionalen Kapazität sowohl der aeroben als auch der anaeroben Energiebereitstellung ab. Weiteres ist laut Vogler, Rice und Withers (2007) die physiologische Reaktion beim Rudern auf dem Concept IIC und IID-Ergometer fast identisch. Dies hat den Vorteil, dass die Ergebnisse direkt miteinander verglichen und durchgeführt werden können.

3.1 Übersicht der Ruderergometer-Testungen

Autor	Kategorie	Ergometer-Methode	Kraft (W)	VO₂ (L.min⁻¹)	HF (bpm)
Jackson & Secher (1976)	Schwere Ruderer Männer	2X & 2-	-	5.8 - 6.0	-
Hagerman et al. (1978)	Männer	Lyons-Ergometer	360	5.95	185
Hagerman et al. (1979)	Schwere Ruderer Männer	Ruderergometer	374	6.1	187
	Leichte Ruderer Männer	Ruderergometer	358	5.1	179
	Frauen	Ruderergometer	277	3.92	190
Secher et al. (1982)	Männer	Gjesing-Ergometer	360	5.6	194
	Frauen	Gjesing-Ergometer	277	3.92	199
Hageman & Staron (1983)	Schwere Ruderer Männer	Stanford-Ergometer	397.7	6.01	185
Secher et al. (1983)	Leichte Ruderer Männer	Gjessing-Ergometer	331	5.13	-
Mahler et al. (1984)	Leichte Ruderer Männer	Concept II- Ergometer	4.6	4.6	183

Hahn et al. (1988)	Frauen	Concept II- Ergometer	255	3.5	185
Secher (1990)	Schwere Ruderer Männer	1x, 2x & 2-	-	6.6	-
Droghetti et al. (1991)	Männer	Gjesing-Ergometer	409	5.58	193
Klusiewicz et al. (1999)	Männer	Concept II- Ergometer	412	5.55	186
	Frauen	Concept II- Ergometer	266	4.00	191
Hahn et al. (2000)	Schwere Ruderer Männer	Concept II- Ergometer	-	5.48	-
	Schwere Ruderer Frauen	Concept II- Ergometer	-	3.93	-
Mäestu et al. (2000)	Schwere Ruderer Männer	Concept II- Ergometer	350	-	192
	Schwere Ruderer Frauen	Concept II- Ergometer	286	-	190
Jürimäe et al. (2002)	Männer	Concept II- Ergometer	361	4.85	184
Mikulic et al. (2007)	Männer	Ruderergometer	-	5.5	.

Abb. 4: Übersicht Mittelwerte zu den physiologischen Anforderungen nationaler Wettbewerbsrunderer (vgl. Vogler, 2010)

Die Schrittweisen Rudertests dienen dazu, die physiologischen Eigenschaften beim relevanten Wettbewerbsrudern zu beurteilen. Die 2000-Meter-Zeitfahren-Ergometer erfordern 70 bis 88 Prozent aeroben Energiebeitrag und 12 bis 30 Prozent anaeroben Beitrag (vgl. Hagerman et al., 1978; Droghetti et al., 1991; Pripstein et al., 1999).

Bei einer Ausgangsleistung bei VO_2max (vgl. Secher et al., 1982b; Kramer et al., 1994; Womack et al., 1996; Jürimäe et al., 2000; Maestu et al., 2000; Ingham et al., 2002a; Jürimäe et al., 2002a; Yoshiga & Higuchi, 2003; Bourdin et al., 2004), einer Blutlaktatkonzentration von 4 mmol (vgl. Jürimäe et al., 1999; Jürimäe et al., 2000; Ingham et al., 2002a) sowie einer individuellen anaeroben Schwelle (vgl. Jürimäe et al., 2002a) zeigten sich die stärksten Variablen. Progressive-inkrementelle Rudertests, die bis zur Erschöpfung gehen, werden folglich verwendet, um die Beziehungen zwischen Ausgangsleistung und Blutlaktat zu etablieren. HR und VO_2 werden für die Bestimmung der Laktatschwellen und die zugehörigen Leistungsausgänge verwendet. Diese Tests umfassen in der Regel fünf bis sieben Arbeitslasten, wobei das Niveau in der Anfangsphase, in den unteren fünf Stadien, niedriger gesetzt ist. Die Intensität wird immer mehr gesteigert, bis man in maximaler Leistung endet. Eine Stufendauer ist ausreichend, um Steady-State-Bedingungen zu erreichen und umfasst daher in der Regel etwa vier Minuten oder etwas länger. Die Stufen werden durch 30 Sekunden bis zu einer Minute getrennt, um eine Blutlaktat-Probe zu nehmen (vgl. Hahn et al., 2000; Vogler et al., 2007). Folgende physiologischen Variablen werden während dieser Tests gemessen: HR, VO_2 , Blutlaktat und Bewertung der wahrgenommenen Anstrengung (RPE). Daten können kontinuierlich während des Tests überwacht werden, um das Steady State zu reflektieren und Spitzenwerte während der maximalen Belastung aufzuzeichnen. Zusätzlich werden Leistungen wie Schlagfrequenz und Gesamtstrecke für jede der Stufen aufgezeichnet. Sie werden entweder anhand des Ergometer-Display-Geräts oder mithilfe spezieller Instrumente direkt gemessen (vgl. Lormes et al., 1993; Boyas et al., 2006). Eine Übersicht von Labortestverfahren bietet Hahn et al. (2000) und Godfrey & Whyte (2006).

Signifikante Zusammenhänge zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität ($\text{VO}_{2\text{max}}$) im Boot und auf dem Ruderergometer zeigte eine Studie von Chenier und Leger im Jahr 1991 auf. In der Studie variierte die Leistung zwischen Boot und Ergometer um 6,1 Prozent; die Korrelation nach Pearson lag bei 0,96. Für die Bestimmung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Rudersport ist das Concept 2 Ruderergometer daher ebenfalls gut geeignet. Des Weiteren konnte McNeel (2011) den

Zusammenhang zwischen physiologischen Variablen auf dem Ergometer und der 2000 Meter-Leistung auf dem Wasser feststellen. Dafür wurden Schwergewicht-Ruderer (männlich, $26,2 \pm 3,6$ Jahre, $92,2 \pm 4,3$ kg, $192,2 \pm 4,5$ cm) untersucht und die Tests in einen Zeitraum von zwei Wochen durchgeführt. Ein Zeitfahren von 2000 Metern (2K) in einzelnen Booten auf dem Wasser, bei denen die Athleten 30 Sekunden nacheinander starteten und über einen 2K um Zeit konkurrierten, und ein 2K-Ergometer-Performance Test wurden an aufeinanderfolgenden Tagen in der ersten Woche durchgeführt. Eine progressive, kontinuierliche und inkrementelle Ergometer- VO_2max und eine modifizierte 45-Sekunden-Rudern-Wingate-Test-Spitze wurden eine Woche später durchgeführt, um eine durchschnittliche Leistung zu messen.

Alle Ergometer-Tests wurden auf einem Concept II Modell C Ruderergometer durchgeführt. Bei den VO_2max -Vergleichen von Chénier (1991) wurden 14 regionale und nationale Ruderer ($n=7$ Männer und $n=7$ Frauen) im Alter von 17 bis 30 Jahren zufällig auf zwei häufig verwendeten Ruderergometern, nämlich dem Concept II und dem Gjessing Ergometer, getestet und beim Rudern auf dem Wasser verglichen. Die VO_2max Werte waren bei allen drei Messungen ähnlich ($M + / - s$: $4,02 + / - 0,90$ für das Concept 2; $4,15 + / - 0,95$ für das Gjessing-Ergometer und $4,04 + / - 0,83$ L / min für das Boot). Die VO_2max -Bestimmung der beiden Ruderergometer scheint spezifisch und mit den auf dem Wasser gewonnenen Ergebnissen vergleichbar und ist auch wesentlich leichter zu erhalten.

Ruder-Studien wie die von Löschner et al. (2000) und Smith & Löschner (2000) analysierten die Bewegung eines Ruderers beim Skulling und fanden heraus, dass die Menge der Gier (Seitwärtsabweichung), der Tonhöhe (wippende Bewegung) und der Rolle (Rolle des Bootes von Seite zu Seite), die vom Ruderer im Boot induziert wurden, die Effizienz des Schiffantriebssystems und somit auch die Geschwindigkeit des Ruderns beeinflussen. Um die Beziehungen zwischen den Maßnahmen der Ruderleistung und ausgewählten beschreibenden Feld- und Laborvariablen zu bestimmen, wurden von Krammer et al. zwanzig Frauen bei einem 2500-Meter-Zeittest auf einem Ergometer Concept II getestet. Die Frauen wurden standardisierten Tests unterzogen, einschließlich der Beschreibung von anthropometrischen Messungen sowie 90-Sekunden-Feld Ruderergometrien und Gewichtheben. Bei den Laboruntersuchungen wurde zusätzlich die VO_2max untersucht. Die meisten der in dieser vorliegenden Studie beobachteten Korrelationen waren moderat, sodass die Trainings- und Testtechniken modifiziert wurden, um so ruderspezifischer zu sein (vgl. Kramer JF, 1994).

3.2 Leistungsphysiologie des Rudersports

Bei der Beschreibungen der physiologischen Komponenten, die für eine gute Ruderleistung notwendig sind muss beachtet werden, dass anthropometrische Voraussetzungen wie Größe, Länge der Gliedmaßen, technische Komponenten, Schlaglänge, Schlagquote und psychologische Faktoren ebenfalls kritische Elemente einer Gesamtleistung darstellen. Die physiologische Bewertung des Ruderers sollte somit darauf abzielen, die Palette der physiologischen Anforderungen an die Ruderleistung zu testen, als auch die Bewertung der physiologischen Leistungsaspekte, die bei der Profilerstellung für Athleten von Bedeutung sind, zu berücksichtigen. Rudern ist – wenn man so will – die leistungsphysiologisch unangenehmste Sportart. Gleichermäßen werden Kraft und aerobe Ausdauer des Herz-Kreislauf-Systems und der Muskulatur benötigt. Damit stehen dem Training unterschiedliche Auswirkungen von Kraft- und Ausdauertraining gegenüber. Leistungsbegrenzende Faktoren für die maximale Sauerstoffaufnahme sind das Herzzeitvolumen, die Größenordnung der arteriovenösen O₂-Differenz (auch periphere Sauerstoffausnutzung genannt), die maximale Diffusionskapazität in der Lunge, die ventilatorische Leistungsfähigkeit, das Blutvolumen und der totale Hämoglobingehalt.

Im Rudersport selbst sind die allgemeine und die lokale aerobe Ausdauer sowie die dynamische Kraft am wichtigsten. Die Belastungsdauer liegt im Wettkampf zwischen ca. 5,5 und 8 Minuten. Demnach handelt es sich um die allgemeine aerobe Kurzzeitausdauer, die man für den Zeitraum von 3-10 Minuten veranschlagt. Entscheidender leistungsbegrenzender Faktor ist die maximale Sauerstoffaufnahme pro Minute und ihr Prozentsatz, welcher möglichst lange im Wettkampf erbracht werden kann. Die maximale Sauerstoffaufnahme ist nach der absoluten und der relativen Form zu differenzieren. Die absolute weist bei Weltklasseruderern Werte zwischen 6000 und 7000 ml/min auf, während die relative aufgrund des hohen Körpergewichts von Ruderern Größenordnungen von 68 bis 72 ml/kg * min⁻¹ ausmacht. Da die maximale Sauerstoffaufnahme die engste Korrelation zur Größenordnung des Körpergewichts besitzt, muss der Ruderer möglichst schwer sein, da hierdurch automatisch eine überdurchschnittlich günstige Voraussetzung für eine große maximale O₂-Aufnahme gegeben ist. Da das Körpergewicht vom Boot getragen wird, ist es im Gegensatz zum Laufen nicht leistungslimitierend. Daher ist in dieser Sportart die absolute maximale Sauerstoffaufnahme weitaus wichtiger als die relative, d.h. pro kg Körpergewicht.

(Hollmann 2004)

Die physiologische Bewertung des Ruderers sollte darauf abzielen, die Palette der physiologischen Anforderungen an die Ruderleistung zu testen, und zwar sowohl die aerobe als auch die anaerobe Belastung. Ruderer besitzen darum große Körpermaße und zeigen hervorragendes aerobes und anaerobes Verhalten auf.

Die typische Ruderregatta erstreckt sich über eine Distanz von 2000 Metern, die etwa sechs bis sieben Minuten dauert, was einen wichtigen Beitrag des aeroben Stoffwechsels in der Energieversorgung für die Ruderleistung darstellt (vgl. Hagerman et al., 1978; Messonnier et al., 1997).

3.1 Übersicht der Messungen bei internationalen und nationalen Ruderregatten

Autor	Kategorie	Ergometer-Methode	Lactat	VO ₂ max (L/min)
Vaage, 1977	Elite-Ruderer bei internationalen und nationalen Ruderregatten		15-17 mmol L ⁻¹	
Hagerman, 1984	Elite-Ruderer	6-Minuten Ruder-Ergometer		6,1 +/- 0,6 l/min
Jürimäe et al., 1999	Ergometerbasierte Rennen		16-19 mmol L ⁻¹	
Maestu & Jürimäe 2000	Internationalen und Nationalen Ruderregatten		15-17 mmol L ⁻¹	
Jürimäe et al. 2002a,b	Ergometerbasierte Rennen		16-19 mmol L ⁻¹	

Abb. 5: Ergometer Ergebnisse im Rudersport

Bei internationalen und nationalen Ruderregatten wurden Laktatkonzentrationen von 15 bis 17 mmol L⁻¹ gemessen (vgl. Vaage, 1977; Maestu & Jürimäe, 2000), während die Maximalwerte bei ergometerbasierten Rennen bis zu 16 bis 19 mmol l⁻¹ betrugen (vgl. Jürimäe et al., 1999; Jürimäe et al., 2002a; Jürimäe et al., 2002b) .

Dies weist einen signifikanten anaeroben Energiebeitrag auf. Aufgrund der schrittweisen Steigerung während eines Rennens, wird ein erheblicher anaerober Aufwand bereitgestellt, da während der ersten 1,5 bis 2 Minuten ein Sauerstoffdefizit (vgl. Hagerman et al., 1978; Pripstein et al., 1999) und Spitzen des Blutlaktats (vgl. Hagerman et al., 1978) vorherrschen. Da geschätzt wird, dass die relative anaerobe Bereitstellung in einem 5 bis 7-Minuten-Rennen bei 21 bis 30 Prozent liegt (vgl. Secher, 1993), ist ein hohes Maß an anaeroben Kapazitäten ein Kriterium für erfolgreiche internationale Leistungen im Rudern (vgl. Hagerman, 1984; Koerner & Schwanitz, 1985; Maestu & Jürime, 2005). Secher et al. (1982a) nehmen an, dass „Spurts“, also schnelle Starts, durchgeführt werden, um die VO₂ zu maximieren und so für schnellere und höhere Arbeitslasten zu sorgen. Nach diesen Spurts sind männliche Ruderer meist in der Lage, 96 bis 98 Prozent ihrer VO₂max für den Rest des Rennens aufrechtzuerhalten (vgl. Hagerman et al., 1978) und weibliche Ruderinnen können 91 Prozent der VO₂max nutzen (vgl. Pripstein et al., 1999).

Der Beitrag der aeroben Energie zum Gesamtstoffwechsel im Rudern kann durch Messung der VO₂ verlässlich beurteilt werden (vgl. Hagerman et al., 1978). Der relative Beitrag des anaeroben Stoffwechsels ist jedoch nicht so leicht zu bestimmen. In Studien über Rudern wird der anaerobe Stoffwechsel allgemein aus Messungen über die „post exercise oxygen consumption“ (vgl. Hagerman et al., 1978; Hagerman et al., 1979 Secher et al., 1982a) oder über das Sauerstoffdefizit (vgl. Droghetti et al 1991; Russell et al., 1998 Pripstein et al., 1999 Bourdon et al., 2009) für Leistungen auf einem Ruderergometer geschätzt.

Physiologische Daten von Elite-Ruderern ergeben beeindruckende aerobe Kapazitätswerte. Ferner liegen die VO₂max-Werte bei international erfolgreichen Ruderern häufig um 6,1 ± 0,6 l/min (vgl. Hagerman, 1984), mit einem Minutenatemvolumen von mehr als 240 l/min laut Secher (1993) und Steinacker (1993).

Zu den leistungsbegrenzenden Faktoren für die lokale aerobe dynamische Ausdauer sind das intrazelluläre Sauerstoffangebot – das entscheidend von der Summe der lokalen Gefäßquerschnitte und dem Myoglobingehalt bestimmt wird – ferner das Mitochondrienvolumen sowie die Koordination und die Größenordnung des

intramuskulären Glykogendepots zu zählen. Die dynamische Kraft wird von der Körperposition sowie der Muskelvordehnung begrenzt und mit der Größenordnung der statischen Kraft, der zu überwindenden Masse nach Gewicht, Form und Größe, der Kontraktionsgeschwindigkeit, der Koordination und den anthropometrischen Daten (Hebelverhältnissen) in Verbindung gesetzt.

Hagerman (1984) untersuchte Elite-Ruderer und erkannte, wie auch viele Forscher vor ihm, die großen Abmessungen des Oberkörpers und die hervorragenden aeroben und anaeroben Qualitäten der Sportler. Der Kalorienverbrauch bei einer 6-minütigen Ruder Ergometer-Übung wurde mit 36 kcal / min geschätzt, was bisher einer der am höchsten geschätzten Energiekosten für einen vorwiegend aeroben-typischen Sport darstellt. Aerobe und anaerobe Berechnungen zeigen, dass bei männlichen Ruderern, auf einer Distanz von 2000 Metern, etwa 70 bis 75 Prozent der Energie aerob abgeleitet werden und die restlichen 25 bis 30 Prozent anaerob ausfallen. Frauen erreichen etwas niedrigere anaerobe Werte von 60 bis 65 Prozent des aeroben Stoffwechsels und 35 bis 40 Prozent für Anaerobiose - dies ist nicht überraschend, da Frauen nur auf 1000 Metern konkurrieren.

Steinacker (1993) untersuchte zu Beginn einer Ruderregatta – während das Boot beschleunigte – die Kraft an den Riemen, die zwischen 1000 und 1500 N lag. Während des Rennens wurden bei 210 bis 230 Schlägen nur noch 500 bis 700 N gemessen und das für die etwa 6,5 Minuten lange Rennstrecke.

Die Muskelfasertypen von männlichen Ruderern ähneln denen der Langstreckenläufer, wohingegen Frauen zu einem etwas höheren Anteil zu schnellen Muskelfasern neigen. Ruderer sind, durch eine große Muskelmasse und hohe metabolische Kapazitäten, an diese Belastungen angepasst und die Muskeln des erfolgreichen männlichen Ruderers zeigen 70 bis 85 Prozent „Slow-Twitch-Fasern“ auf. Bei gut ausgebildeten Ruderern liegt die anaerobe Schwelle bei 80 bis 85 Prozent der maximalen Leistung. Diese Werte von Ruderkraft und Bootsgeschwindigkeit korrelieren stark mit der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_2max), die während eines Rennens erreicht wird (6,0 bis 6,6 l · min⁻¹; 65 bis 70 ml · min⁻¹ · kg⁻¹).

Pier, Hahn und Davie (1999) legen nahe, dass Tests für die Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_2max) höchstens 8 bis 12 Minuten dauern sollten; längere Tests produzieren laut ihren Untersuchungen nicht valide Messungen.

Mit ihrer Studie hatten Huntman et al. (2011) das Ziel, einen aeroben Kapazitätentest für Ruderer mit minimaler Ausrüstung zu entwickeln, die im Feldtest verwendet werden könnten. Dreißig Ruderer und Ruderinnen (15 Männer und 15 Frauen) im Alter zwischen 18 und 26 Jahren wurden dafür rekrutiert. Das Testprotokoll bestand aus maximal 7x 2-Minuten-Schritten auf einem Ruderergometer mit 30-Sekunden-Pausen, wobei Milchsäurekonzentrationen getrennt analysiert wurden. Die Spitzenherzfrequenz von jeder abgeschlossenen Phase wurde aufgetragen und Regressionsgleichungen wurden berechnet, um die $VO_2\text{max}$ vorherzusagen. Für Männer und Frauen wurden separate Regressionsgleichungen berechnet. Man stellte fest, dass bei Männern die $VO_2\text{max}$ Vorhersagen meist ausreichend sind; bei Frauen können jedoch keine genauen Vorhersagen gemacht werden. Mit leichten Modifikationen des Testprotokolls und stärkeren Korrelationen kann eine genauere Vorhersage der $VO_2\text{max}$ bei Männern erwartet werden.

Um die Beziehung zwischen der kritischen Geschwindigkeit und der Sauerstoffaufnahme ($VO_2\text{max}$) im Rudern weiter zu untersuchen, wurden Tests von Kendall et al. (2012) an 35 weiblichen Ruderinnen durchgeführt (Mittelwert $\pm$ SD; Alter $19,38 \pm 1,3$ Jahre; Höhe, $170,27 \pm 6,07$ cm; Körpermasse, $69,58 \pm 0,3$ kg). Es wurde, basierend auf dem CV-Test, eine Regressionsgleichung entwickelt, um bei weiblichen Ruderinnen die $VO_2\text{max}$ vorherzusagen. Die inkrementellen $VO_2\text{max}$ -Tests gingen bis zur willentlichen Erschöpfung auf einem Concept II Modell D Ruderergometer, um die $VO_2\text{max}$ zu bestimmen. Nach einer 72-stündigen Ruhezeit beendete jeder Ruderer vier Zeitrennen in unterschiedlichen Distanzen, um die kritische Geschwindigkeit und anaerobe Kapazität des Ruderns zu bestimmen. Die positiven Auswirkungen der kritischen Geschwindigkeit, der aeroben Kapazität und der $VO_2\text{max}$ legen nahe, dass der CV-Test eine praktische Alternative zur Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme sein kann.

Im Rahmen der Studie von Mikulic et al. (2011) wurden Tests zur „heart rate deflection point“ (HRDP) und zur ventilatorischen Schwelle (VT) durchgeführt, um die physiologischen und Leistungsvariablen in einer relativ großen Gruppe von ausgebildeten männlichen Ruderern zu beurteilen. 89 männliche Profi-Ruderer (Mittelwert $\pm$ SD; Alter $21,2 \pm 4,1$ Jahre; Statur $1,89 \pm 0,06$ m; Körpermasse $89,2 \pm 8,4$ kg; $VO_2\text{max}$ $5,39 \pm 0,62$ l / min⁻¹) schlossen einen Belastungstest mit einem inkrementellen Ruderergometer bis zur Erschöpfung ab. Drei unabhängige, erfahrene Beobachter

bestimmen sowohl den HRDP und die VT. Von dieser Analyse lässt sich eine starke Beziehung zwischen allen beobachteten physiologischen und Leistungsvariablen entsprechend der HR (HRDP) und der HR (VT), der Ausgangsleistung, der Sauerstoffaufnahme und des Lüftungs-, Atemvolumens und der Atemfrequenz erkennen. Der Standardfehler der Schätzung bei der Vorhersage der HR (VT), basierend auf der HR (HRDP), betrug 5,1 Schläge / min. Diese Daten deuten darauf hin, dass im Allgemeinen, trainierte Ruderer in der Lage sind, regelmäßig ihre aerobe Ausdauer und die Auswirkungen von Trainingsprogrammen mit der HRDP-Methode zu bewerten.

3.2 Anthropometrische Merkmale der Ruderer

Das Rudern ist nicht nur ein wichtiger Wettkampfsport, sondern auch eine Form von körperlicher Aktivität, die wesentlich dazu beitragen kann, sowohl aerobe als auch muskuläre Fitness zu erreichen. Internationale Ruderwettkämpfe sowohl für Junioren, Senioren, Männer und Frauen sind auf 2000 Meter standardisiert.

Die Möglichkeit, sich genaue Informationen über die anthropometrische und physiologische Beschaffenheit eines Athleten zu verschaffen, ist ein grundlegendes Problem in der heutigen Sportwelt. Es bedarf detaillierten Einblicke in die Situation des Athleten, um ein effektives Trainingsprogramm entwerfen und den Athleten dementsprechend auszuwählen zu können. Einige Eigenschaften wie z. B. Länge und Breite der anthropometrischen Messungen sind fast ausschließlich genetisch determiniert und können nur im Rahmen eines harten Trainingsprogramms geändert werden. Darum stehen verschiedene anthropometrische und physiologische Eigenschaften eng mit erfolgreichen Ruderern in Verbindung.

3.2.1 Allgemeine anthropometrische Merkmale der Ruderer

Die anthropometrischen Daten aus der Literatur für erwachsene männliche und weibliche Ruderer unterstreichen die Bedeutung der Körpermaße (vgl. Secher, 1983; Secher & Vaage 1983; Shephard, 1998) und Körpergröße (vgl. Hebbelinck et al., 1980; Hebbelinck, Ross & Carter, 1981; Rodriguez, 1986; De Rose et al., 1989) bei erfolgreichen Ruderleistungen auf internationaler Ebene. Die wichtigsten Entdeckungen machten Steinacker (1993) und Bourgois et al. (2000): Sie stellten fest, dass erfolgreiche Ruderer in der Regel schwerer und größer sind, als ihre weniger erfolgreichen Kollegen.

3.2.2 *Anthropometrie leichter und schwerer Ruderer*

Merkmale von Ruderern und deren Beziehung zum Erfolg im Wettbewerb wurden in Studien mit leichten Ruderern die bei den World Championships (1987), den Pan American Rowing Games (1987), den Olympischen Spielen Sydney (2000) und den Australischen Ruder Championships (2003) teilnahmen, weiter untersucht.

Slater et al. (2005) ermittelten bei leichten Ruderern, die an den Australian Rowing Championships 2003 teilnahmen, die anthropometrischen Profile. Diese wurden anhand von 107 leichten Ruderern (65 Männer und 45 Frauen) in den Klassen unter 23 Jahren (n= 35 Männer, n = 28 Frauen) und offenen Alterskategorien (27 Männer und 17 Frauen) gesammelt und ausgewertet. Bei 66 dieser Ruderer und Ruderinnen wurde eine Leistungskontrolle anhand ihrer Ergebnisse im Einer-Rudern untersucht und somit die Beziehung zwischen Körperbau und dem Wettbewerbserfolg bestimmt. Außerdem wurden bei den Olympischen Spielen im Jahr 2000 weitere 38 anthropometrische Dimensionen bei Ruderern in verschiedenen Klassen gemessen. Zu den Teilnehmern und Teilnehmerinnen gehörten 140 männliche und 69 weibliche Testpersonen der offenen Ruderklasse, sowie 50 männliche und 14 weibliche in der leichten Ruderklasse. Der Body-Mass-Index und die Statur unterschieden sich bei den offenen Klassen und den leichten Ruderern, sowie bei einer Vergleichsgruppe von gesunden jungen Erwachsenen "Nicht-Ruderern/Ruderinnen", bezüglich beider Geschlechter (42 Männer und 71 Frauen). Nach einer Skalierung der Statur blieben die Ruderer und Ruderinnen der offenen Klassen proportional schwerer als die Nicht-Ruderer/Ruderinnen, mit größeren proportionalen Brust-, Taille- und Oberschenkelabmessungen. Ruderer und Ruderinnen in allen Gewichtskategorien besaßen einen proportional kleineren Hüftumfang als die Nicht Ruderer/Ruderinnen. Sie hatten auch mehr Muskeln im Oberkörper, die durch die größeren entspannten Ober- und Unterarmumfänge angegeben wurden. Die Ruderer und Ruderinnen in diesen Beispielen zeigen unverwechselbare physikalische Eigenschaften, die sie somit von Nicht Ruderern/Ruderinnen unterscheiden. Ähnliche anthropometrische Merkmale der Athleten in den leichten Gewichtsklassen konnten nicht nur bei den Australian Rowing Championships 2003, sondern auch bei den World Championships 1985 als auch bei den Olympischen Spielen 2003 in Sydney beobachtet werden (vgl. Abb. 6).

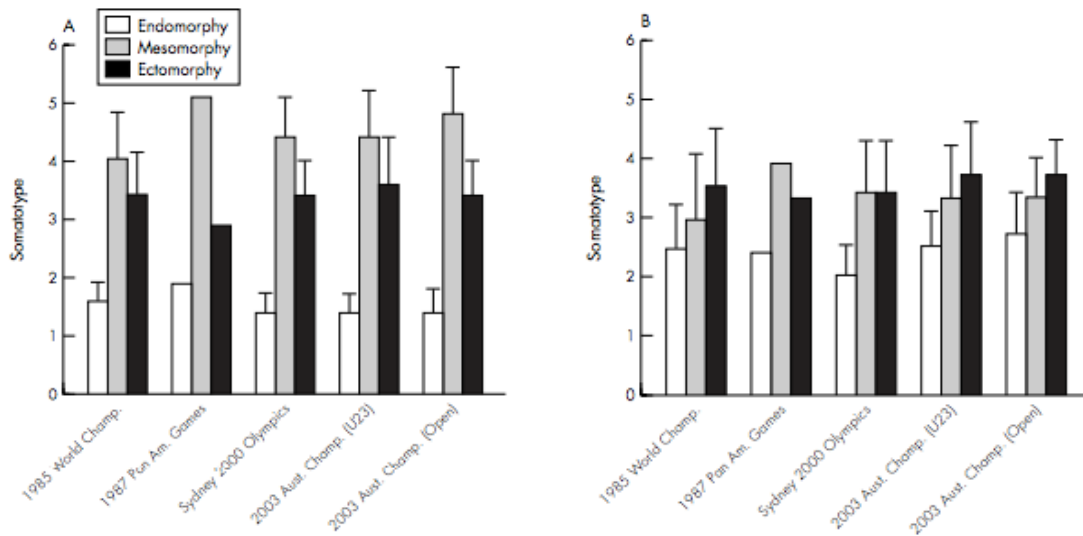


Abb. 6: Somatotypen von männlichen (A) und weiblichen (B) Leichtgewicht-Ruderern/Ruderinnen, die in den letzten Jahrzehnten gemeldet wurden.

Rodriguez (1986) bemerkte schon früh, dass erfolgreiche, leichte Ruderer groß sind und mit langen oberen und unteren Extremitäten beschrieben werden. Ebenso sind sie sehr muskulös und haben einen geringeren Körperfettanteil als ihre weniger erfolgreichen Pendants.

Secher (1983), Shephard (1998) und Russel le Rossignol & Sparrow (1998) beschreiben in ihren Forschungen typische Schwergewichts-Ruderer als große, schwere und schlanke Athleten mit einem langsam zuckenden "Slow-Twitch"-Muskelfaser-Anteil von 70 bis 85 Prozent (vgl. Gee et al., 2011, S. 669). Da sowohl Kraft als auch Ausdauer beim High Level-Rudern mit langen Rudereinheiten sowie mit Krafttrainingsprogrammen kombiniert werden, bedarf es in der Regel einer großen aeroben Kapazität, einer erhöhten metabolischen Effizienz, einem niedrigen Anteil an Körperfett und einer erhöhten Muskelmasse, um den Belastungen standzuhalten (vgl. Russel et al., 1998).

Die vorliegenden Untersuchungen bestätigen, dass die Körperzusammensetzung von leichten Ruderern im Vergleich zu den letzten zwei Jahrzehnten stabil geblieben ist. Die Muskelmasse bleibt eine wichtige Determinante für den Erfolg in einem Wettbewerb. Schlankere Athleten mit größerer Gesamtmuskelmasse sind laut den Studien erfolgreicher. Darum wird der Körperbau weiterhin eine wichtige Determinante für den Erfolg im Ruderwettbewerb bleiben. Dementsprechend scheint es auch, dass sich die Somatotypen,

bei leichten männlichen und weiblichen Ruderern und Ruderinnen, in den letzten zwei Jahrzehnten nur wenig verändert haben. Die erfolgreichsten leichteren Ruderer und Ruderinnen waren demnach diejenigen, die einen niedrigeren Körperfettanteil und eine größere Gesamtmuskelmasse hatten, trotz dessen, dass eine Body-Mass-Begrenzung bei leichten Ruderern und Ruderinnen (Maximalgewicht von 59 kg für Frauen und 72,5 kg bei Männern) auferlegt wurden.

Weiters gibt es noch signifikante Leistungsunterschiede zwischen Männern und Frauen und zwischen Schwergewichts- und Leichtgewichts-Ruderern. Messungen auf dem Ergometer haben gezeigt, dass männliche Ruderer durchschnittlich 7,7 Prozent schneller waren als ihre weiblichen Gegenspielerinnen. Die Ergebnisse von den Weltmeisterschaften und Weltcup Einzel-Skull-Wettbewerben lassen darauf schließen, dass sich dieser Unterschied auf dem Wasser auf 10,9 Prozent erhöht. Es gibt subtile Beziehungen zwischen Technik und Kraftentwicklung, die das Rudern auf dem Wasser schwieriger machen als am Ergometer, aber warum der Unterschied zwischen Ergometer-Rudern und Rudern auf dem Wasser bei Frauen größer ist, ist unklar.

3.2.3 Anthropometrie von Junioren-Ruderern

Während der Fédération Internationale des Sociétés d'Aviron (FISA), der Junioren Weltmeisterschaften 1997, wurden anthropometrische Daten von männlichen Junioren Ruderern (n= 383) beurteilt. Die Daten sind äußerst repräsentativ, da der Wettbewerb sehr international besetzt war. Neben dem Alter wurden 27 weitere Dimensionen gemessen: Körpermaße, sechs Höhen oder Längen, vier Breiten, zehn Sattelgurte und sechs Hautfalten. Die leistungstärksten männlichen Junioren-Ruderer waren groß (187,4 +/-5,8 cm) und schwer (82,2 +/-7,4 kg), mit größeren Längen-, Breiten- und Umfangabmessungen als eine national repräsentative Stichprobe der belgischen Jungen bei gleichem chronologischen Alter. Die Statur der Junioren-Ruderer ist ähnlich wie die der erwachsenen Schwergewichts-Elite-Ruderer, außer dass die Junioren-Ruderer leichter sind. Vergleicht man Nicht-Finalisten mit Finalisten, so sind Finalisten schwerer (aber immer noch leichter als die Erwachsenen Schwergewicht-Elite-Ruderer). Im Ergebnis sind die leistungstärksten Junioren-Ruderer groß und schwer, mit größeren Länge-, Breite- und Umfangabmessungen als die Referenzgruppe mit gleichem chronologischem Alter. Innerhalb der Gruppe der leistungstärksten Junioren-Ruderer bestehen erhebliche

Divergenzen, und zwar zwischen Finalisten und Nicht-Finalisten in Länge-, Breite- und Umfangabmessungen und Körpermaßen.

Bei den Junioren-Weltmeisterschaften wurden aber auch die anthropometrischen Merkmale von 245 weiblichen Junioren-Ruderinnen im Alter von $17,5 (\pm 0,8)$ Jahren (Mittelwert $\pm s$) beurteilt. Insgesamt wurden 27 Körpermaße wie Body-Mass-Index, sechs Höhen oder Längen, vier Breiten, zehn Sattelturte und sechs Hautfalten gemessen. Die weiblichen Elite-Nachwuchs-Ruderinnen waren größer ($174,5 \pm 6,2$ cm) und schwerer ($69,5 \pm 6,2$ kg), mit größeren Länge-, Breite- und Umfangdimensionen, hatten aber eine niedrigere Hautfaltendicke als flämische (belgische) Mädchen des gleichen chronologischen Alters aus einer repräsentativen Stichprobe.

Im Rahmen der Studie von Mikulić (2008) wurden die anthropometrischen und physiologischen Profile von Elite-Junioren-, Senior- und Elite-Senior-Ruderern verglichen. Die anthropometrischen und physiologischen Untersuchungen von 53 kroatischen Ruderern (alle kroatische Meister und Mitglieder der kroatischen Nationalmannschaft zwischen 2000 und 2006) wurden dabei untersucht. Die Ruderer wurden nach Altersklasse und internationalen Wettbewerbsleistungen in drei Gruppen klassifiziert. Eine Gruppe bestand aus Elite-Junioren ($n= 18$, Alter $17,6 \pm 0,4$; Rudererfahrung $5,6 \pm 1,5$ Jahre), die zweite Gruppe aus Sub-Elite-Senioren ($n=21$, Alter $22,16 \pm 2,8$; Rudererfahrung lag bei $8,4 \pm 3,3$ Jahre) und die dritte Gruppe aus Elite-Senioren ($n= 14$, Alter $28,1 \pm 3,0$; Rudererfahrung $14,1 \pm 3,1$ Jahre). Die Junioren konnten hier anthropometrisch ähnlich Merkmale aufweisen wie die Ruderer der Sub-Elite-Senioren, dennoch waren diese leichter ($86,1 \pm 4,4$ kg) und hatten einen geringeren Körperfettanteil.

Die beiläufige Inspektion der Daten in Abbildung 10 (vgl. Ackland et al., 2003) schlägt eine Reihe von morphologischen Eigenschaften dieser Population vor. Es ist interessant festzustellen, dass sich Vergleiche im Wassersport Rudern stärker auf die morphologischen Merkmale ihrer Athleten für eine Talentidentifikation stützen als auf verschiedene Gewichtsklassen. Wenn jedoch die morphologischen Merkmale der Ruderer analysiert werden, insbesondere wo Größeneinschränkungen gelten, ergibt sich eine relativ kleine Variation. Ein anthropometrisches Profildigramm ist daher ein nützliches Instrument im Coaching- und Beratungsbereich. Es ermöglicht Sportwissenschaftlern und Trainern anthropometrische Profile für einzelne Ruderer –gegen Vorlagen– leicht zu konstruieren. Es ist aber zu beachten, dass es große Differenzen in den biologischen Eigenschaften

zwischen Ruderern, Kanuten und Kajakfahrern gibt (vgl. Sidney & Shephard, 1973; Sklad et al., 1994), denn die Auswahl der Ruderer betont die Größe, während die Auswahl der Kajakfahrer und Kanuten die muskuläre Entwicklung beachtet.

Weitere führende Studien (Secher, 1990, 1992, 1993; Shephard, 1998) legen nahe, dass auch erfolgreiche Junioren-Ruderer sehr groß sind, und eine große Muskelmasse haben. Basierend auf den verschiedenen Kriterien, die bei erfolgreichen Ruderern in den oben genannten Beispielen erläutert wurden, und die sie von der nicht rudern Bevölkerung sowie von anderen Sportarten unterscheidet, können solche Unterscheidungen der Zusammensetzung und Verhältnismäßigkeit von Körper und Größe für einen Wettbewerbsvorteil beim Rudern führen, womit sie als Basis für jede Talentidentifikation und weiterer Entwicklungsprogramme dienen. Darüber hinaus können die präsentierten Daten als nützliche, normative oder Vergleichsdaten in der Talentidentifizierung genutzt werden, da Sie die "Utility Kriterien" erfüllen. Diese sind laut Ackland (2005) relativ aktuell; erstellt mit Spitzensportlern im internationalen Vergleich; abgeleitet von Athleten, die in der Morphologie / Kapazität homogen sind; stratifiziert nach Geschlecht und Event Kategorie.

3.3 Verletzungen im Rudern

Aus gesundheitlicher Sicht stellt Rudern eine empfehlenswerte Sportart dar. Die beiden wichtigsten motorischen Hauptbeanspruchungsformen, Ausdauer (gemessen von organischer Leistungsfähigkeit) und Kraft (am Halte- und Bewegungsapparat) werden gleichermaßen ausgebildet. Rudern trainiert den Stoffwechsel, die Atmung, die Skelettmuskulatur und bildet eine Anpassung des gesamten hormonellen und nervalen Steuerungssystems des Körpers an die Ökonomie. Bei ungünstigen Voraussetzungen, wie z.B. vorhandenen Schäden, Krankheiten und Anomalien, können jedoch gesundheitliche Beeinträchtigungen drohen, besonders an der Wirbelsäule. Derartigen Gefahren muss der Athlet durch regelmäßige sportärztliche Untersuchungen und die Beachtung der richtigen Technik im Krafttraining selbst abschätzen. Ruderer verlassen sich auf die Oberkörperkraft und Kondition, die bei sich wiederholenden Bewegungen der Gelenke, der Schultern, der Ellbogen sowie der Handgelenke erfordert wird. Das Paddeln ist möglicherweise aerober und anaerober Natur, je nach der Länge der Wettkämpfe. Die häufigsten Verletzungen bei Ruderern kommen im Bereich des unteren Rückens, der Rippen, der Brustwand, der Schultern, der Unterarme und des Handgelenkes vor (vgl. Du Toit et al., 1999).

4 TESTUNGEN IN KAJAK- UND KANUSPORTARTEN

Das Flachwasser-Kajak-Paddeln ist eine der bekanntesten Kajak-Disziplinen in den europäischen Ländern. Aus einem stationären Startplatz müssen die Paddler mit ihren Kajaks, unter maximaler Anstrengung, die 200, 500 und 1000 Meter lange Wettkampfstrecke bewältigen. Das ultimative Kriterium der Kajakleistung ist somit die Zeit, die benötigt wird, um bestimmte Wettkampfstrecken zurückzulegen. Darüber hinaus können Faktoren, wie Kraft, Technik und aerobe Energiebereitstellung, die die Leistung wesentlich beeinträchtigen, wertvolle Einblicke in den Erfolg eines Kajak Paddlers geben. Die jüngsten Daten von erfolgreichen und erfolglosen männlichen Kajak Sportlern, welche auf ihre Anthropometrie, auf physiologische Merkmale sowie auf physiologische Testungen untersucht worden sind, werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

4.1 Die Kajak- und Kanuergometer

Laut Literatur sind mehrere Ergometer für den Kajak- und Kanubereich vorhanden. Die meisten Maschinen werden in den Vereinigten Staaten produziert und stammen von den Firmen KayakPro Speedstroke, Dansprint und Vermont Waterways Concept II Kayak Adaptor. Diese Geräte basieren meist auf einem Concept II Ruderergometer, mit einer stufenlosen Einstellmöglichkeit des individuellen Kraft- Ausdauerverhältnisses und luftgebremstem Widerstandsmechanismus. Der Widerstand wird durch die Zugleistung reguliert und die Trainingspositionen lassen sich problemlos an alle Körpergrößen anpassen. Die dadurch weichen und gleichmäßigen Bewegungen am Ergometer sind die dem Am-Wasser-Paddeln sehr ähnlich. Diese Ergometer sind weiters noch mit einem Trainingsmonitor ausgestattet, der Zeit, Schlagzahl, Kraft und Leistung während der Belastung misst (vgl. Barsalou et al., 2007 S. 12-15).

Den Sauerstoffverbrauch bei Kajak-Paddlern auf dem Wasser zu messen, stellt sich unter allen Methoden als ideal heraus. Kajakergometrien, die die VO₂max im Kajaksport bestimmen können, wurden von Experten (z.B. Billat et al., 1996; Bishop et al., 2002; Fry and Morton, 1991; Hahn et al., 1988; Pendergast et al., 1979; Tesh et al., 1976) bereits durchgeführt.

4.2 Übersicht der Kajak-Ergometer-Testungen

Autor	Testgruppe	Labortest mit Ergometer Messung $\dot{V}O_2$ (L·min ⁻¹)	Feldtest im Kajak $\dot{V}O_2$ (L·min ⁻¹)
Tesh et al., 1976	6 Elite Kajake	5,41 (Beinergometer) 4,61 (Kajakergometer)	4,2 auf 500m 4,71 auf 1000m
Pendergast et al., 1979	8 Anfänger Kajake	3,1 (Beinergometer) 2,9 (Armergometer) 3,9 (Kombination Bein- und Armergometer) 3,5 (Kajakergometer)	
Tesh, 1983	6 Elite Kajake	5,36 (Beinergometer) 4,3 (Armergometer)	4,67 auf 1000m
Hahn et al., 1988	5 Elite Kajake	5,17 (Kombination Bein- und Armergometer) 4,62 (Kajakergometer)	
Pendergast et al. 1989	17 Kajake (verschiedenen Levels)	4,61 (Beinergometer) 2,82 (Armergometer) 3,81 (Kombination Bein- und Armergometer)	
Fry and Morton, 1991	38 gut trainierte Kajake	4,78 (Kajakergometer)	
Billat et al., 1996	9 Elite Kajake	4,01 (Kajakergometer)	
Van Someren et al. 1999	9 gut trainierte Kajake		4,27 auf 1000m
Bishop et al., 2002	8 Elite Kajake		4 Boot

Abb. 7: $\dot{V}O_2$ Messungen (l/min⁻¹) bei Kajakfahren

Das Flachwasser-Kajak ist eine Sportart, die besonders die Oberkörper- und Rumpfmuskulatur beansprucht (vgl. Tesch, 1983). Studien von z.B. Bishop, (2000; Fry & Morton, (1991); Gray et al., (1995); Tesch, (1983) nehmen an, dass Kajak-Paddler hohe Werte in ihrer aeroben und anaeroben Kapazität sowie in ihrer Oberkörpermuskulatur besitzen. Die Aussage von Tesch (1983), dass Flachwasser-Kajak ein Sport ist, der besonders die Oberkörper- und Rumpfmuskulatur beansprucht, unterstützt diese Thesen. Auch Sklad et al. (1994) zeigen auf, dass ein Hauptfaktor für den Erfolg der Kajakfahrer und Kanuten die Muskulatur ist. Während eines Rennens haben die Athleten meist einen Wert um die VO_{2max} (vgl. Bishop, 2000) und beziehen ihre Energie aus dem aeroben Bereich (vgl. Bishop, 2000; Fernandez et al, 1995). Zamparo et al. (1999) stellten weiter fest, dass der mittlere Anteil der aeroben Durchschnittsleistung bei größeren Rennen ansteigt, während die anaerobe Leistung fällt. Kurz gesagt, der aerobe Beitrag (ausgedrückt als Prozent der VO_{2max}) beträgt bei einer Distanz von 500 Metern 73 Prozent und bei einer Distanz von 1000 Metern 85 Prozent, mit einer Durchschnittszeit von ca. 1 Minute 45 Sekunden. Diese These wird von einer früheren Studie von Tesch et al. (1976), die an sechs Elite-Kajak-Paddlern unterstützt. Weitere Studien von Bishop (2000) und Fernandez (1995) nehmen an, dass für Olympische Athleten nicht nur eine hohe aerobe Leistungsfähigkeit, sondern auch die anaerobe Leistung wichtig für den Erfolg ist.

4.2.1 Übersicht der VO_2 und VO_{2max} Messungen bei Kajakfahrern

Bei den Messungen von Tesch (1983), die an sechs männlichen schwedischen Olympia- Sprint-Kajakfahrern durchgeführt wurde, stellte sich eine maximale Sauerstoffaufnahme von $4,67 \text{ l/min}^{-1}$ bzw. ein Wert von $4,71 \text{ l/min}^{-1}$ (1976) bei einem 1000 Meter Rennen am Wasser ein. In der Studie von Van Someren et al. (1999) produzierten neun, gut trainierte Kajakathleten einen durchschnittlichen Spitzenwert von $4,27 \text{ l/min}^{-1}$ für die VO_{2max} , bei gleicher Renndistanz und maximaler Anstrengung. Das Ergebnis der Messung ist somit kleiner, als die Messung der schwedischen Top-Kajak Paddler bei Tesch et al. (1976) bzw. Tesch (1983). In Anbetracht dessen, dass die beiden Studien, die Paddler während maximaler Anstrengung untersuchten, kann davon ausgegangen werden, dass die beobachteten Unterschiede aufgrund der ausgewählten Athleten in der Studie von Van Someren et al. (1999) zustandekommen. Weitere Ergebnisse von Fry und Morton (1991) unterstützen die von Van Someren et al. (1999) aufgestellte These. Somit hat die untersuchte Gruppe, im Vergleich zu den Olympiaathleten, eine eindeutig schlechtere Paddle-Fähigkeit und Kondition. Aufgrund der

Ergebnisse kann daher davon ausgegangen werden, dass Paddler mit besserer Technik eine größere VO_2max erzeugen.

Fry und Morton (1991) klassifizierten 38 Kajak-Paddler, die bei den West-Australischen Meisterschaften angetreten sind, basierend auf einer objektiven Auswahl aus Wettkampfzeit und Wettkampfposition, entweder als "state team paddlers" oder als "non-state paddler". Die Testungen der VO_2max wurden unter Verwendung eines mechanisch gebremsten Fahrradergometers (Monark) auf einem Kajakrahmen montiert. Sie wurden bis zur Erschöpfung durchgeführt. Die mittleren VO_2max -Werte für die "state team"-Kajakfahrer erreichten $4,78 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, ein Wert, der deutlich über der VO_2max der "non-state"-Paddler von $3,87 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ lag.

Bishop (2000) nahm an, dass Kajak-Paddler den Großteil ihrer Aktivität bei einem Rennen an oder rund um die VO_2max bestreiten. Weiters wurde angeführt, dass eine große aerobe Leistungsfähigkeit sehr wichtig ist, jedoch können anthropometrische Merkmale die Leistung weiter beeinflussen. Dies könnte auch bei Paddlern des "state teams" nachgewiesen werden, da diese sich als geringfügig schwerer und größer erweisen als die weniger erfolgreichen Paddler. Ebenfalls signifikant waren die Kraftdifferenzen, aber auch nicht signifikante Hautfalten dicke-Messungen wurden beim "state team" festgestellt. Fry und Morton (1991) nehmen daher an, dass das Verhältnis der aeroben Leistung im Verhältnis des Gewichts nicht so wichtig für den Kajak-Erfolg ist, wie die absolute aerobe Leistung. Dies bedeutet, dass Kajakpaddler auch sehr groß sein können, vorausgesetzt, dass sie eine hohes Niveau an aerober Leistung erzeugen.

4.2.2 Übersicht der VO_2max bei Kajakfahrern im Vergleich mit anderen Sportarten

Die maximale Sauerstoffaufnahme wird in einem Labor, auf einem Laufbandergometer oder einem Fahrradergometer bestimmt. Allerdings können Athleten, die überwiegend mit ihrer Oberkörpermuskulatur arbeiten, nicht auf diese Form der Übung gewöhnt werden. Daher sind Testungen, die die untere Körperhälfte beanspruchen, potenziell ungeeignet, da sie nicht spezifisch für die trainierte Aufgabe des Sportlers entworfen wurden und die Sportler so nicht optimale Ergebnisse für die VO_2max erreichen.

Stromme u. a. (1977) haben die VO_2max von Cross-Country-Skifahrern, Ruderern und Radfahrern während eines Bergauflaufs am Ergometer im Vergleich der maximalen Leistung bei ihrer sportartenspezifischen Tätigkeit untersucht. Alle Athleten haben während ihrer spezifischen sportlichen Tätigkeit ein höheres Niveau der VO_2max erreicht,

als während des Laufens am Laufband (weibliche Skifahrerinnen 2,9 Prozent, männliche Skifahrer 3,1 Prozent, Ruderer: 4,2 Prozent, Radfahrer: 5,6 Prozent).

Untersuchungen von Fry & Morton; Hahn et al., (1988; Tesch, (1983); Van Someren & Oliver, (2001) haben relative VO_2max -Werte für Kajaken von $58 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ festgestellt. Im Vergleich mit anderen Wassersportarten, wie z.B. dem Schwimmen, wurden Werte von $58,4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (vgl. Roels et al., 2005) erhoben. Die höchsten Werte bei Billat et al. (1996) und Lee et al. (2002) betrugen sie $73 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ und $74 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ bei Lucia et al. [1999]) wurden bei sportlichen Aktivitäten festgestellt, bei denen die unteren Körperanteile vermehrt aktiv sind wie z.B. beim Straßen-Rad- und Langstreckenlauf.

Sportart	Autor	VO_2max (absolut) $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$	VO_2max (relativ) $\text{ml kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$	Kraft und Leistung bei VO_2max
Kajak	Tesch (1983)	4,7	58,8	239 W
	Hahn et al. (1988)	4,2	58,5	
	Fry & Morton (1991)	4,78	59,9	
	Billat et al. (1996)	4,01	53,8	
Kanu	Hahn et al. (1988)	3,49	44,2	
	Bune & Heller (1991)	4,17	51,9	
Rudern >85kg	Di Prampero et al. (1971)	5,0	58,8	
	Secher (1990)	6,0	68,2	
	Lakomy & Lakomy (1993)	4,8	60	
Schwimmen	Billat et al. (1996)	4,41	59,6	$1,46 \text{ m s}^{-1}$
	Roel et al. (2005)	5,6	58,4	
Radfahren	Billat et al. (1996)	5,61	72,4	419 W
	Lee et al. (2002)	5,45	74	
Laufen >3000m	Billat et al. (1996)	5,11	74,9	$6,22 \text{ m s}^{-1}$
	Dramper & Wood (2005)	5,0		

Abb. 8: VO_2 im Vergleich mit anderen Sportarten

Die Unterschiede können durch die Tatsache erklärt werden, dass Langstreckenläufer im Allgemeinen kleiner, dünner und leichter sind als Kajakfahrer, die wiederum im gesamten eine größere Körpermasse haben. Als weiterer wichtiger Punkt ist die aktiv beteiligte Muskelmasse bei der Erzeugung der VO_2max zu berücksichtigen. Folgendes Beispiel ist hier zu nennen: Wenn die VO_2max eines Kajakers nur auf die obere Muskulatur bezogen wird (d.h. wenn die Beinmuskulatur vernachlässigt wird), können die relativen VO_2max Werte gleich hoch sein, wie die der Langstreckenläufer.

Die VO_2max im Kajaksport wird als relativ hoch beschrieben (vgl. Tesch, 1983), jedoch zeigen sich im Vergleich mit anderen Sportarten wie Straßenrennen, Schwimmen, Rudern oder Laufen keine großen Unterschiede auf (siehe Abbildung 8). Es ist deutlich zu erkennen, dass bei Sportarten, bei denen die untere Körpermuskulatur mehr beansprucht wird wie z.B. beim Radfahren oder Laufen, es auch zu deutlich höheren VO_2max -Werten kommt als bei Sportarten, die nur die obere Muskulatur einsetzen.

Billat et al. (1996) untersuchten dies anhand von 41 der besten Spitzensportler im Rennfahren ($n=9$), im Flachwasser-Kajak ($n=9$), bei mittleren Langstreckenschwimmern (400m) ($n=9$) und bei Langstreckenschwimmern (3000 - 10000m) ($n=14$). Die Athleten mussten dabei zwei Tests (einen VO_2max -Test und eine maximale Ausbelastung mit den beschriebenen Leistungen und Geschwindigkeiten auf ihren gewohnten Ergometern und unter Verwendung eines "Cosemed" [(Sauerstoff-Messsystems)]) durchführen. Die maximale VO_2max Leistungsabgabe war auf den Kajakergometern lediglich 57 Prozent der VO_2max der Leistungsausgabe von Radfahrern auf deren jeweiligen Ergometern, was darauf schließen lässt, dass beim Kajak kleinere Muskelmassen aktiv sind. Weiters kann in der Studie von Billat et al. (1996) beobachtet werden, dass die Zeit der Ausbelastung bei Kajak-Paddlern signifikant höher ist als bei Radfahrern. Darüber hinaus sind beim Kajak-Paddeln ähnliche Blutlaktate und Herzfrequenzwerte wie bei den anderen Sportarten gemessen worden – bis auf die Schwimmer, die wesentlich niedrigere Werte hatten.

4.2.3 Anaerobe Komponenten des Kajaksports

Van Someren und Oliver (2001) verglichen in ihrer Studie die physiologischen Reaktionen von simulierten Kajaks auf einem K1 ERGO Kajakergometer mit Paddeln am offenen Wasser. Neun gut ausgebildete männliche Kajakfahrer (VO_2max $4,27 \text{ L} \times \text{min}^{-1}$) im Alter von 24 Jahren, einer Masse von 77,3 Kilogramm und einer Höhe von 179,5 Zentimetern, (Mittelwert) absolvierten zwei 4-Minuten-Übungskämpfe am Wasser

und auf einem luftgebremsten Kajakergometer. Während der Durchführung wurden Atemluft und Herzfrequenz kontinuierlich gemessen. Es wurde festgestellt, dass sich die mittlere Laktatschwelle bei einer Blutlaktatkonzentration von $2,7 \text{ mmol/l}^{-1}$ und 170 Schlägen HR/min^{-1} eine VO_2 von $44,2 \text{ ml/kg}^{-1} \text{ min}$ einstellt. Diese Laktatschwelle entsprach somit einem Anteil von 89,6 Prozent der maximalen Herzfrequenz und 82,4 Prozent der $\text{VO}_{2\text{max}}$. Bishop et al. (2001) merkten weiter an, dass bei Intensitäten, die größer als die anaeroben Schwellen sind, die anaerobe Glykolyse und die anschließende Laktatproduktion noch höher sein können.

In der Studie von Dalmonte und Leonardi (1976) wurde berichtet, dass sich der Beginn der Blutlaktatansammlung bei internationalen Kajakfahrern in einem Zeitraum zwischen 79 und 87 Prozent der $\text{VO}_{2\text{max}}$ ereignet.

Bunc und Heller (1991) berichten, dass die Schwellenwerte bei internationalen männlichen Kanu-/Kajak-paddlern einer Übung mit hoher Intensität zwischen 83 und 85 Prozent der $\text{VO}_{2\text{max}}$ entsprachen. Das Ziel ihrer Studie war es, die Auswirkungen der spezifischen Paddle-Ergometer- und unspezifischen Fahrradergometerübung auf Parameter der ventilatorischen Schwelle und Effizienz an elf jungen Flachwasser-Kanufahrern zu beurteilen. Bei Tests mit nicht-spezifischen Belastungen war die Sauerstoffaufnahme VO_2 , als Prozentsatz von $\text{VO}_{2\text{max}}$, ähnlich zu der von untrainierten Personen (74,2 Prozent $\text{VO}_{2\text{max}}$, Mittelwert). Wenn die gleichen Probanden allerdings die spezifischen Übungen durchführten, verzeichneten sie typische Werte von hoch trainierten Sportlern (84,8 Prozent $\text{VO}_{2\text{max}}$).

Pendergast et al. (1979) stellten den Anstieg von Laktat als Funktion der Arbeitsbelastung für acht Kajakfahrer und drei sitzende Personen dar, die an einer Armkurbel- und Fahrradergometrie teilnahmen. Es galt, mehrere Nutzlasten für zwei Minuten mit variierenden Intervallen von zehn Sekunden bis 5 Minuten bei höchstem submaximalem Output aufrechtzuerhalten. Der anaerobe Schwellenwert betrug bei sitzenden Paddlern bei einer niedrigeren Arbeitsbelastung (75W) schon etwa 70% ihrer Arm- $\text{VO}_{2\text{max}}$. Im Vergleich dazu war bei den Kajakern die anaerobe Schwelle bei rund 125W, was ca. 80 Prozent ihrer Arm- $\text{VO}_{2\text{max}}$ entsprach. Dieser bemerkenswerte Unterschied zwischen sitzenden Kajakfahrern und Paddlern zeigt, dass Kajak-Paddler hohe Widerstände in den Armen überwinden, bevor die Erschöpfung einsetzt.

4.2.4 Anaerobe Leistung von Kajakfahrern

Tesch (1983) nahm an, dass die Elite-Paddler, die er in seiner Studie untersucht hat, eine gut entwickelte anaerobe Kapazität der Oberkörpermuskulatur besitzen. Dafür wurden Elite-Flachwasser-Kajak-Paddler im Hinblick auf die Körperzusammensetzung des Oberkörpers, der Muskelkraft und der Ausdauer kategorisiert. Darüber hinaus wurde die maximale Sauerstoffaufnahme während drei Arten von Bewegungen (Laufbandergometrie, Armkurbelergometrie und Paddeln am Wasser) gemessen. Die Blutproben für die spätere Laktat-Analyse wurden nicht nur nach maximalen Übungen, sondern auch während des Trainings und nach den 1000 Meter Rennen gemessen. Im Vergleich zu anderen Sportlern, die auch für große Oberkörpermuskulatur bekannt sind, zeigen Kajakfahrer sehr hohe Werte für Schulterkräfte, Ausdauer und anaerobe Kapazität auf. Die maximale Sauerstoffaufnahme des gesamten Körpers ergibt gemittelt $5,36 \text{ min}^{-1}$, die Werte für Armkurbeln und Paddeln am Wasser betragen $4,30 \text{ min}^{-1}$ und $4,67 \text{ min}^{-1}$. Hohe Blutlaktatspiegel wurden bei Trainingsbedingungen und nach dem Wettkampf bemerkt ($11,0\text{-}17,5 \text{ mmol}$). Diese hohen Laktatwerte sind signifikant für die Werte die Bishop (2001) aufgestellt hat.

Ziel der Bishop et al. (2001) Studie war es, den Einfluss der Pacingstrategie auf die VO_2 und Kajakergometerleistungen bei gut ausgebildeten Paddlern zu untersuchen. Acht gut ausgebildete Kajak-Paddler (500-m-Zeit = $115\text{-}125 \text{ s}$) führten einen abgestuften Belastungstest für die Bestimmung der $\text{VO}_{2\text{max}}$ und des Laktat-Parameters durch. An den folgenden Tagen und an einem zufällig gewählten Tag absolvierten die Probanden einen 2-minütigen Kajakergometer-Test; entweder mit einem „all-out“ Beginn oder einer „Pacing-Strategie“. Im Vergleich zur Even-Pace-Strategie zeigte sich unter Ausführung der totalen Startstrategie eine signifikant größere Spitzenleistung ($747,6 \pm 152,0$ vs. $558,3 \pm 110,1 \text{ W}$) bei mittlere Leistung ($348,5 \pm 47,6$ vs. $335,5 \pm 44,8 \text{ W}$). Es gab jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Stimulationsstrategien. Verglichen wurden Peak der VO_2 , akkumuliertes Sauerstoffdefizit (AOD), Peak [La-] oder Nachtest pH. Mit dem all-out war die VO_2 von Anfang an insgesamt signifikant höher ($7,3 \pm 0,8$ vs. $6,9 \pm 0,8 \text{ L}$). Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die 2-Minuten Kajakergometer-Leistung nach einer totalen Startstrategie signifikant größer ist, wenn mit einer noch temporeicheren Strategie verglichen wird. Die verbesserte Leistung scheint eine schnellere Kinetik der VO_2 mit sich zu bringen – ohne eine signifikante Veränderung in der gesamten AOD (obwohl die AOD-Verteilung verändert wurde).

Um die Laktatwerte zwischen einer Anzahl von verschiedenen sportlichen Athleten zu vergleichen, untersuchten Tesch und Lindeberg (1984) weitere sieben männliche Elite-Kajak-Paddler, sechs nationale Gewichtheber, acht lokale und nationale Bodybuilder und sechs körperlich aktive Personen (keine Athleten). Alle Probanden führten Oberkörperübungen im Sitzen an einem Armkurbelergometer aus. Die Gruppe, die gegen heftige Widerstände trainiert war, hatte eine bessere Oberkörpermuskulatur als die Vergleichsgruppen. Bei niedrigen submaximalen Übungen war die Blutlaktatkonzentration signifikant kleiner als bei den Gewichthebern, Bodybuildern und Nicht-Athleten. Die Mittelwerte bei 120W betrugen bei den Kajak-Paddlern 1.9, bei den Gewichthebern 4.8, bei den Bodybuildern 4.5 und bei den Nicht-Athleten 5.1 mmol / l⁻¹. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass die Kajakfahrer bei allen Leistungstests eine deutlich niedrigere Laktatkonzentration (p <0,05) haben. Es liegt damit nahe, dass neben der Muskelmasse per se auch andere Faktoren für die Laktat-Reaktion bei Armkurbelergometern verantwortlich sind. Darüber hinaus ist die physiologische Reaktion, die bei Kajakfahrern beobachtet wurde, auch auf die obere Grenze der Fähigkeit, eine kontinuierliche progressive Armankurbel-übung durchführen zu können, zurückzuführen.

Autor	Untersuchte Gruppe	Ergometer (mM)	Kajakboot (mM)
Sidney and Shephard (1973)	10 Profi-Kajaker	14,1 (Beinergometer)	
Tesh et al. (1976)	6 Profi-Kajaker		13,2 auf 500m 12,9 auf 1000m
Tesch (1983)	6 Profi-Kajaker	14,2 (Beinergometer) 13,5 (Armergometer) 14 (Kajakergometer)	13 auf 1000m
Pendergast et al (1989)	17 Kajaker (normal)		12 auf 1000m
Bishop et al. (2001)	8 Kajaker (erfahren)		13 auf 500m

Abb. 9: VO₂- Messungen (l/min-1) bei Kajakern

Es gibt keinen einfachen Weg, den Beitrag des anaeroben Stoffwechsels zu den Übungen zu spezifizieren. Die Existenz eines anaeroben Stoffwechsels wird oft durch Messung der Blut- (oder Muskel-) Laktatkonzentrationen trotz Schwierigkeiten bei der Bestimmung des Verteilungsvolumens für Laktat (vgl. Klausen et al., 1974; Margaria et al., 1963) beurteilt. Bezüglich der maximalen Laktatkonzentration wurden bei Ruderern folgende Werte festgestellt: 11 mmol/l nach 'maximal' auf einem Laufband 15 mmol/l nach einem nationalen Wettbewerb, und 17 mmol/l nachdem eine FISA-Meisterschaftsregatta gewonnen wurde (vgl. Vaage, 1977). Derartige psychologische Faktoren können die Ergebnisse beeinflussen. Die durchschnittlichen Werte für Laktat, wie in Abb. 5 dargestellt, betrugen $12,5 \pm 0,45$ mmol/l.

Ridge et al. (1976) berichten von einer signifikanten Reduktion des Blutlaktats (bis zu sechs Prozent), wenn fünf mäßig aktive Probanden ein Monat lang ein Kajaktraining absolvieren und in der gleichen relativen Arbeitsbelastung wie bei einem akkumulierten Kajakergometer einen Pre-Test durchführen. Zehn mäßig aktive männliche Probanden im Alter von 19 bis 30 Jahren schlossen ein 1-monatiges Training entweder auf einem Kajak- oder einem Fahrradergometer ab (fünf Männer in jeder Gruppe). Das Training bestand aus 30-Minuten-Sitzungen mit kontinuierlicher Arbeit bei einer Intensität, die innerhalb ihrer maximalen HR (85-90 Prozent) gehalten wurde, wie es vorher für die Kajakergometer bestimmt wurde. Nach dieser Einarbeitungszeit, der submaximalen Kajakergometer-Arbeit der Kajakgruppe, zeigte sich eine signifikante Abnahme in der VO_2 , des VE, der HR und des Blut-Laktats. Während der maximalen Kajakergometer Arbeit hingegen, wurde eine deutliche Erhöhung der VO_2 sichtbar. Diese Veränderungen trugen also zu einer deutlich höheren maximalen Kajak-Arbeitsleistung bei. Die auf dem Fahrrad ausgebildete Gruppe machte keine dieser Verbesserungen auf dem Kajakergometer durch. Es wurde festgestellt, dass die Kreislauf- und metabolischen Anpassungen bei der Kajak-Arbeit mehr mit dem Kajak-Training als mit der Fahrrad-Ausbildung verbunden sind.

4.3 Anthropometrische Merkmale der Kajakfahrer

Die Untersuchung von Ackland et al. (2003) bei den olympischen Spiel in Sydney (2000) beschäftigte sich mit 50 männlichen und 20 weiblichen Sprint-Paddlern und Paddlerinnen aus neun Länder im Kajak- sowie im Kanusport und stellten Folgendes fest:

Im Vergleich zu den Olympischen Spielen in Montreal 1976 waren die Paddler im Durchschnitt etwa um 5 Kilogramm schwerer, was auf einen schwereren, aber schlankeren Körperbau schließen lässt. Die Zeiten bei 500-Meter-Rennen verbesserten sich von 1:14.41 auf 1:37.91 und bei 1000-Meter-Strecken von 3:48.20 auf 3:25.89, was Robinson et al. (2002) auf die Entwicklung und den technologischen Fortschritt im Boot- und Paddle-Bau zurückführen.

Die meisten männlichen Elite-Kajak- und Kanufahrer differenzieren sich klar durch Ihren mesomorphen Körperbau (größere Oberkörperumfänge und schmalere Hüften), was in der folgenden Abbildung (Abb. 10) von Ackland et al. (2003) sichtbar wird. Die mittlere Somatotype liegt bei 1,6 - 5,7 - 2,2 für Männer und 2,4 - 4,7 - 2,0 für Frauen.

Bei näherer Betrachtung der Werte lassen sich eine Reihe von morphologischen Merkmalen feststellen, auf die sich die Suche nach Talenten stützt, anstatt die Athleten nach verschiedenen Gewichtsklassen zu beurteilen. Wenn man allerdings die morphologischen Merkmale der leistungsstärksten Ruderer betrachtet – vor allem dort wo Gewichtsbeschränkungen gelten – ergibt sich hier eine relativ kleine Variation. Frühere Studien (vgl. Secher, 1990, 1992, 1993; Shephard, 1998) legen nahe, dass erfolgreiche Ruderer sehr groß seien, einen mageren Körperbau besitzen und eine hohe aerobe Leistung aufweisen.

	Damen (n=20)	Messwertgröße	Herren (n=50)	Messwertgröße
	Durschnitt		Durschnitt	
Alter (Jahre)	26,4	19 - 36	24,8	20 -31
Gewicht (kg)	67,7	59,1 – 80,7	85,2	73,6 – 99,8
Größe (m)	1,70	1,59 – 1,84	1,84	1,7 – 1,96
Sitzhöhe (cm)	90,4	84,8 – 98	96,9	91,6 – 103,1

Abb. 10: Morphologische Charakteristiken von Olympischen Sprint-Paddlern in Sydney 2000.
(vgl. Ackland et al., 2003, S. 288)

Es kann aber, in einer Vielzahl von Sportarten, bei denen die Athleten als Produkt ihrer Sportart eine bestimmte Größe und Form haben müssen, eine geringfügige Abweichung akzeptiert werden (vgl. Abb. 10 Ackland et al., 2003). Kajak zählt zu diesen Sportarten. Zwar besitzen die einzelnen Paddler einzigartige Eigenschaften, die üblicherweise nicht in der allgemeinen Bevölkerung beobachtet werden, jedoch gibt es hier kein einziges Merkmal, das die Elite-Kajak-Paddler unterscheidet

In Anbetracht der Rolle der physikalischen Eigenschaften bei einer Ergometertestung überwinden alle Athleten bei einer Ergometrie den gleichen Widerstand, unabhängig von ihrem Körpergewicht (vgl. Bishop, 2000; van Someren et al., 1999).

4.4 Verletzungen im Kajaksport

Wie auch beim Rudern, verlassen sich alle Formen des Kajakfahrens auf die Oberkörperkraft. Eine Befragung von Zamparo et al. (2006) von Wildwasser-Kanu- und Kajak-Paddlern stellte fest, dass die häufigsten Verletzungsstellen die Schulter, das Handgelenk, die Hand und der Ellenbogen, der Unterarm sind. Verstauchungen/Verspannungen zählen zu den häufigsten Verletzungsarten, sodass 36 bis 47 Prozent der Paddler medizinische Hilfe in Anspruch nahmen. Schoen et al. (2000) erfassten bei 23 Prozent von erfahrenen 500 britischen Langstreckenkajakfahrern Handgelenks- und Sehnenscheidenentzündungen nach einem langen Rennen. Weitere Berichte von Rumball et al. (2005) dokumentierten eine hohe Inzidenz von traumatischen Verletzungen im „Whitewater“-Kanu- und Kajaksport. Häufig kamen während der Olympischen Spiele in Australien bei Ausleger-Kanu-Paddlern Verstauchungen, Sehnenscheidenentzündungen und chronische Muskel-Skelett-Schmerzen vor (vgl. Rumball, 2005).

5 TESTUNGEN IM OUTRIGGER KANU PADDLING

Outrigger-Kanu-oder Kajak Paddeln ist ein sehr beliebter Wettkampfsport auf den Hawaii Inseln und Polynesien. Der Sport wächst dort, sowie auch in Australien und auf dem US-amerikanischen Festland, rasant an. Die Outrigger-Kanus unterscheiden sich wesentlich von gewöhnlichen Kanus und bestehen aus einem schmalen Bootsrumph sowie zwei Befestigungsbügeln, die den Bootsrumph mit dem Ausleger „Ama“ verbinden. Ein 6-Personen-Outrigger-Kanu wiegt bis zu 145 Kilogramm und ist 13,5 Meter lang. Im Vergleich dazu ist ein Einer-Kanu-Outrigger nur 5,5 Meter lang, mit einem Gewicht zwischen 15 und 17 Kilogramm. Beim Outrigger-Kanu-Paddeln befinden sich die Paddler in einer aufrechten Position, das eine Bein nach vorne verlängert, um so den Körper gegen die Seite des Kanus zu stemmen, damit eine Rumpfdrehung bei jedem Paddle-Schlag ermöglicht wird. Die Paddel-Technik die angewendet wird, wechselt etwa alle 14/15 Schläge die Seite. Die Paddel-Techniken können, je nachdem, ob es sich um die Disziplin Flachwasser-Paddeln oder „Open-Water“-Paddeln handelt, variieren. Das Paddel umfasst ein einzelnes Blatt mit einem 3 ± 13 Winkel vom Schaft, der T-förmig ausgeprägt ist. Sprint-Rennen im 6er-Outrigger werden über 500 bis 3000 Meter abgehalten, während die Langstreckenrennen zwischen 10 und 42 Kilometer lang sind. Die Sprint-Rennen für Solo-Outrigger sind zwischen 250 und 500 Meter lang, während die Streckenrennen meist zwischen 5 und 42 Kilometer liegen.

Verschiedene physikalische und physiologische Faktoren tragen zur Leistung bei Sprint- und Marathonrennen von Profi-Kanufahrern bei (vgl. Fry und Morton, 1991; Sklad et al., 1994; Pelham & Holt, 1995). Beim Outrigger werden zusätzlich die Arm-, Schulter- und Rumpfreionen stark beansprucht und somit ist die Muskulosität der Athleten eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg auf einem hohen Niveau, wie Bizeps- und Unterarmumfangmessungen von Fry und Morton (1991) und Sklad et al. (1994) bei Ruderern nachgewiesen haben. Erfolg und Auswahl von Drachenboot-Paddlern erfolgt über die aerobe und anaerobe Ausdauerleistung (vgl. Singh et al., 1995). Wie auch im Rudersport, gilt es, anthropometrische Variablen (Größe, Gewicht und Schenkellänge) zu berücksichtigen (vgl. Shephard, 1987; Sklad et al., 1994.).

Ziel der Studie von Humphries et al. (2000) war es, einen detaillierten Überblick über die kinematischen Variablen, die aerobe Leistung und die Muskelkraft zu geben, um so ein Profil für Outrigger-Paddler zu erstellen. 21 wettbewerbserfahrene Outrigger-Paddler von

einem australischen Amateur-Outrigger-Kanu-Club, darunter 13 Männer (Alter 27 ± 9 Jahre, Größe 175 ± 5 cm, Gewicht 80 ± 5 kg, Armlänge 178 ± 7 cm, Sitzhöhe 100 ± 2 cm) und 8 Frauen (Alter 26 ± 6 Jahre, Größe 168 ± 5 cm, Gewicht 70 ± 8 kg, Arm-Spannweite 170 ± 5 cm, Sitzhöhe 97 ± 3 cm) wurden mittels Beinergometrie (vgl. Sidney & Shephard, 1973), mittels Armkurbel-Ergometer (vgl. Singh et al., 1995), mittels Kanu- und Kajakergometer (vgl. Pelham & Holt, 1995) und einem tragbaren Telemetrie-Stoffwechselsystem (vgl. Gray et al., 1995) untersucht. Die getesteten Gruppen simulierten verschiedene Paddel- oder Ruderschläge (vgl. Fry und Morton, 1991), isometrische und isokinetische Bewegungen (vgl. Shephard, 1987) sowie anthropometrische Tests (vgl. Singh et al., 1995). Amateur-Outrigger-Kanu-Paddler sind laut Studie kleiner und leichter (Höhe 179 ± 4 cm; Gewicht $75,5 \pm 6,1$ kg) als Kajakfahrer (Höhe 180 ± 5 cm; Gewicht $81,1 \pm 10,3$ kg) (vgl. Shephard, 1987; Fry & Morton, 1991; Sklad et al., 1994). Sie sind aber etwas größer als die beschriebenen Profi Drachenboot Paddler (Höhe 170 ± 1 cm; Gewicht $64,9 \pm 1,2$ kg) (vgl. Singh et al., 1995). Die VO_{2max} bei Amateur-Paddlern war höher als die von ungeübten Personen nach einer Armergometrie ($1,65 \pm 0,26$ l min⁻¹) (vgl. Aminob et al., 1996), aber ähnlich der nationalen Drachenboot-Crew ($2,8 \pm 0,1$ l min⁻¹) (vgl. Singh et al., 1995). Die VO_{2max} von Outrigger-Paddlern ist jedoch deutlich niedriger als die der Elite-Kajakfahrer ($3,63 \pm 0,3$ l min⁻¹) und Ruderer ($4,78 \pm 0,6$ l min⁻¹).

Abgestufte Belastungstests auf sportspezifischen Ergometern (z.B. Ruder- und Kajakergometern) werden durchgeführt und verwendet, um die Spitzenleistung von physiologischen Outrigger-Paddlern, Ruderern und Kanuten zu bestimmen (vgl. Bishop, Bonetti, & Dawson, 2002; Coen, Kindermann, & Urhausen, 2003; Hahn & Bourdon, 1994; Humphries et al., 2000; Pelham & Holt, 1995; Riechman et al., 2002; Sitkowski, 2002; Van Someren & Palmer, 2003). Diese Tests ermöglichen eine Beurteilung der physiologischen Spitzenkapazität sowie die Bestimmung von Laktat-Schwellenwerten. Diese können anschließend dazu genutzt werden, um Trainingsintensitäten zu gestalten. Allerdings werden die Kennzahlen wie Leistung und Zeit (um eine festgelegte Strecke zu vervollständigen) verwendet, um die Leistungsvariablen zu messen (vgl. Perkins & Pivarnik, 2003; Pripstein, et al., 1999).

Die Ergebnisse der Tests von Kerr et al. (2008) an 17 ausgebildeten weiblichen Outrigger Athletinnen (Alter 34 ± 9 Jahre, Größe $1,68 \pm 0,06$ m, Körpergewicht $71,5 \pm 10,5$ kg, Körperfett $24,5 \pm 6,5\%$; Mittelwert $\pm$ s), die zwei Krafttrainings- und

zwei Ausdauertrainingseinheiten pro Woche absolvierten, empfehlen das 1000-Meter Zeitfahren als Werkzeug für die Auswahl von weiblichen Auslegerkanufahrerinnen, da diese als eine zuverlässige Leistungsmessung einzuschätzen ist und auch die Leistung und Fitness aus einem sportspezifischen Protokoll beurteilt.

Während eine höhere maximale Sauerstoffaufnahme (VO_2) im Rahmen eines abgestuften Belastungstests – als simulierte Wettbewerbsanstrengung – bei untrainierten Personen erreicht wird, ist für gut ausgebildete Athleten nicht unbedingt das Gleiche der Fall (vgl. Foster et al., 1993; Hagerman & Mickelson, 1981). Gut ausgebildete Athleten sind in der Lage, einen sehr hohen Anteil an Spitzen- VO_2 in einem ganzen ein „all out“ Aufwand (vgl. Hagerman, 1979; Hagerman & Mickelson, 1981) bei abgestuften Belastungstests zu erreichen (vgl. Pripstein et al., 1999; Perkins & Pivarnik, 2003). Ein „all out“-Test ist am besten geeignet, wenn er für Überwachungszwecke Feedback über die VO_2 -Spitzen gibt. Humphries et al. (2000) berichteten über eine Korrelation zwischen der Zeit und der VO_2max während der inkrementellen Ergometer-Tests über 250 Meter.

Outrigger-Kanus mit einer Besatzung von sechs Personen, auch OC6 genannt, werden mit Schlagfrequenzen zwischen 42 und 70 Schlägen $\cdot \text{min}^{-1}$ (Holmes, 1996; West, 2006) mit abwechselnd zehn bis zwanzig Schlägen auf jeder Seite des Kanus gepaddelt. Langsame Hübe mit einer langen Reichweite, die mit einer übertriebenen Oberkörperbewegung verbunden sind, werden als „Hawaii-Stil“ bezeichnet, während bei einer schnelleren Hubzahl vom „Tahiti-Stil“ gesprochen wird. Der Tahiti-Stil beinhaltet eine schnelle Aktion, wobei eine Armbewegung mit kürzerem Hub vorwiegt (vgl. Holmes, 1996; West, 2006). Diese Hawaii- und Tahiti-Arten sind die traditionell angenommenen Schlagsätze für Ausleger-Kanu-Rennen. Doch im Rahmen seiner Umfrage, bei der australische Trainer befragt wurden, stellte Sealey (2009) fest, dass 81 Prozent der Befragten eine Schlagzahl von zwischen 55 und 65 Schlägen $\cdot \text{min}^{-1}$ vorschreiben. Diesen Werten fehlt es jedoch an einer wissenschaftlichen Grundlage und sie werden durch Tradition oder durch das Coaching angenommen. Stanton et al. (2001) berichten über eine negative Korrelation zwischen Schlagfrequenz und Schlaglänge während der Outrigger-Kanu-Leistung. Dies ist auch der Fall, wenn Schwimmer mit konstanter Geschwindigkeit schwimmen. Die Schwimmgeschwindigkeit ist somit das Produkt aus Schlagfrequenz und Schlaglänge (vgl. Fritzdorf et al., 2009; Thompson et al., 2000; Toussaint et al., 2006). Beim Rudern ist eine hohe Schlagfrequenz direkt mit einer hohen Geschwindigkeit messbar (vgl. Chollet et al., 1997; Seifert & Chollet, 2005; Soper und Hume 2004).

Laut West (2006) ist eine schnelle Schlagfrequenz beim Outrigger mit einem kürzeren Hub und minimaler Körperbewegung verbunden. Genauer gesagt verringert sich bei 50 bis 80 Schlägen $\cdot \text{min}^{-1}$ der Torsobeugewinkel, wenn auch mit der Schlagzahl von mehr als 80 Schlägen $\cdot \text{min}^{-1}$ die Rumpfbeugewinkel weiter steigen (trotz weiterer Senkung der Hublänge) (vgl. Stanton et al., 2001). Die-Outrigger-Kanu-Technik beinhaltet somit eine Kombination von Torsobeugung-Streckung und Torsobeugung-Drehung (vgl. Stanton, 1999), die mit einem Rumpfbeugewinkel zwischen 34 und 67 Grad ausgeführt werden (vgl. Stanton et al., 2001). Die Kombination von langem Sitzen, wiederholter Torsoflexion und Rotation im Rumpf birgt das Potenzial von Verletzungen und Schmerzen (vgl. Howell, 1984; Karlson, 2000; Kizer, 1987; Reid & McNair, 2000; Soper & Hume, 2004; Stanton, 1998). Verschiedene Paddle-Schläge und Takte, die häufig in Outrigger-Kanus verwendet werden, wurden bei weiblichen Auslegerkanufahrerinnen (Alter = 38 ± 10 Jahre, Höhe = $1,68 \pm 0,05$ m, Gewicht = 76 ± 16 kg) aus drei Vereinen in Nord-Queensland (Australien) mit Wettbewerbs-Paddel-Erfahrung in der Wettbewerbsphase der Ausleger-Kanu-Saison untersucht. Die aktuellen Ergebnisse zeigen die einzigartigen biomechanischen Aspekte der Ausleger- Kanus, wobei sich Hubzahl und Hublänge veränderten, nicht aber der Zeitanteil in der Antriebsphase. Diese kinematischen Änderungen blieben während eines 1000-Meter-Zeitfahrens konsequent.

Wie bereits beim OC1-Paddeln (vgl. Stanton et al., 2001.), beim Rudern (vgl. Soper und Hume, 2004) und beim Schwimmen (vgl. Fritzdorf et al., 2009; Thompson et al., 2000) festgestellt wurde, ist die Erhöhung der Schlagzahl mit einer Verringerung der Schlaglänge verbunden. Die Schlagfrequenz und Schlaglänge sind direkt proportional zur Leistung im Schwimmen und Rudern (vgl. Chollet et al., 1997; Fritzdorf et al., 2009; Soper und Hume, 2004). Die 1000-Meter–Ausleger-Kanu-Untersuchung hat gezeigt, dass sich bei drei aufeinanderfolgenden Zeitfahren an verschiedenen Tagen eine ähnliche Leistung ergab und es daher unwahrscheinlich ist, dass sich ein Lerneffekt zwischen Versuchen eingestellt hat (vgl. Sealey et al., 2010).

Die durchschnittliche Hublänge bei der Studie von Sealey et al. (2011) lag zwischen 1,12 und 1,43 Metern. Eine ähnliche Länge wiesen die beiden Drachenboot-Paddler und Ruderer auf (vgl. Elliott et al., 2002; Ho et al., 2009; Steer et al. 2006), während beim OC1-Paddeln die halbe Länge beobachtet wurde (von 44 bis 90 cm) (vgl. Stanton et al., 2001). 56 Prozent der Zeit verbrachte der Outrigger-Paddler im Vortrieb. Dies ist höher als bei Kanuathleten, bei denen es nur 38 bis 51 Prozent ergibt

(vgl. Pelham et al., 1992), aber niedriger als bei Kajakfahren (64 bis 69 Prozent) (vgl. Sanders & Kendal, 1992) und ähnlich wie bei Ruderern mit 57 Prozent (vgl. Dawson et al., 1998) und bei Drachenbootfahrern mit 56 Prozent (vgl. Ho et al., 2009).

Ähnlich wie beim Rudern, Kanu-, Kajak- und Drachenbootfahren, ist die typische Ausleger-Kanu-Technik in der Regel eine Vorwärts-Oberkörperbewegung (vgl. Ho et al., 2009; Plagenhoef, 1979; Shephard, 1987). Die Rumpfwinkel reichen zu Beginn und am Ende der Antriebsphase und der Vortriebsphase von 24 bis 31 Grad, sind damit also größer als die beim Kajakfahren (10 bis 15 Grad) (vgl. Plagenhoef, 1979; Shephard, 1987), ähnlich den Winkeln beim Rudern (22 bis 32 Prozent) (vgl. Elliott et al., 2002; McGregor et al., 2005), und geringer als beim OC1-Paddeln (34 bis 67 Grad) (vgl. Stanton et al., 2001) und beim Kanufahren (30 bis 47 Grad), (vgl. Plagenhoef, 1979; Shephard, 1987) oder beim Drachenboot-Rennen (41 Grad) (vgl. Ho et al., 2009).

Frühere Untersuchungen von Wassersportarten wie Rudern, Kajak- und Kanufahren (Ausleger) beobachteten, dass die Kombination der sitzenden Haltung und der wiederholten Torsoflexion und -rotation zu Rückenschmerzen führt (vgl. Howell, 1984; Karlson, 2000; Kizer, 1987, Reid & McNair, 2000; Soper & Hume, 2004; Stanton, 1998). Die Ausleger-Kanu-Technik scheint einzigartig zu sein, weil die Schlagzahl-Kinematik an die ausgewählte Schlagrate angepasst wird und in einem 1000-Meter-Zeitfahren konstant und synchron gehalten wird. Insbesondere übernehmen Outrigger-Paddler eine kürzere Hublänge bei Verwendung einer schnellen Schlagfrequenz und nehmen eine längere Hublänge bei langsamer Schlagfrequenz an (vgl. Sealey, 2011).

6 TESTUNGEN IM DRACHENBOOTSSPORT

Das internationale Drachenbootrennen Penang-Boot-Festival mit Teams aus Japan, Hong Kong, Macau, Thailand, Brunei, Indonesien, Australien, Neuseeland, Dänemark, Schweden, Norwegen, Deutschland, Großbritannien und den Vereinigten Staaten ist das Highlight bei den Drachenbootfans. Die Drachenbootrennen in Penang (Malaysien) gehen bis ins frühe 19. Jahrhundert zurück. Die Renndistanzen für die internationale Drago Boat Federation Weltmeisterschaft reichen von 200 bis 2000 Meter, wobei 200, 500, 1000 Metern die gemeinsamen Renndistanzen sind. Bei einem Weltklasse-Niveau betragen die Rennzeiten für diese Rennen in der Regel 45 Sekunden, 1 Minute und 50 Sekunden und 3 Minuten und 50 Sekunden. Ein Drachenboot bietet Platz für 18 Paddler, eine/n Steuermann/frau und eine/n Schlagmann/frau. Trotz der langen Geschichte und Tradition der Drachenbootrennen in Penang sind wenige Daten, die die physikalischen und physiologischen Profile der Drachenbootruderer untersuchen, bekannt.

Singh et al. (1995) testeten die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_2max) und die maximale Arbeitsbelastung (WLmax) an 28 malaysischen Drachenbootruderern, wobei die Testung bis zur Erschöpfung auf einem Armergometer durchgeführt wurde. In der Tat ist die aerobe Kapazität eines der von den Wissenschaftlern am häufigsten verwendeten Kriterien, um die Rudersportarten zu bestimmen. Derzeit gibt es noch wenige Daten über die aeroben Kapazitäten von internationalen Drachenbootruderern, die mit Singhs (1995) Studie verglichen werden könnten. Die anaerobe Ausdauerkraft der Arme wurde durch ein Kurbelergometer bei 100 RPM (Umdrehungen pro Minute) bei einem Arbeitsaufwand von 400W bestimmt, um die Trittfrequenz konstant zu halten, bis sie auf 75 RPM sank. Insgesamt betrug ein Durchgang 34,9 Sekunden. Die Beinleistung (Standweitsprung und vertikaler Sprung) betrugen 140,0 kg m und 100,3 m kg m s⁻¹. Die rechte Handgriffstärke war signifikant größer als die der linken Hand. Der Körperfettanteil der Ruderer betrug 11,8 Prozent, die durchschnittliche VO_2max 2,75 lmin⁻¹ und die WLmax 195,5W. Die mittleren VO_2max -Werte von 2.75 l min⁻¹ (42,3 ml kg⁻¹ min⁻¹) dieser Studie sind höher als bei „normalen“ Versuchspersonen mit kontinuierlicher Armergometrie, aber niedriger als die bei gut ausgebildeten Athleten, wie z.B. den Ringern. Außerdem sind diese Werte deutlich niedriger als die aeroben Kapazitäten von 5 l min⁻¹ aufgezeichnet bei Profis während einer Ruderergometrie. Der Grund für diesen großen Unterschied in den aeroben Kapazitäten ist ungewiss.

Neben einer hohen aeroben Kapazität gilt es beim Drachenboot einen sehr hohen Sauerstoffverbrauch aufrechtzuerhalten. Die hohe anaerobe Ausdauer, basierend auf der Tatsache, dass während eines Rennens in der Regel die Athleten in der Nähe ihrer maximalen aeroben Kapazität arbeiten, kann bei Drachenbootrennen von 2,5 bis 3 Minuten Dauer variieren. In dieser Studie hatten Ruderer auch höhere $VO_2\text{max}$ -Werte und eine höhere anaerobe Ausdauer, die möglicherweise die Folge ihres Ausdauertrainings war. Diese Messungen waren bei Drachenbootruderern in Malaysia die ersten ihrer Art.

Beim Drachenbootsport treiben 20 Paddler das Boot durch Leistung mit dem Paddle an. Der Kontakt des Paddlers mit dem Boot durch die Füße und den Sitz werden in die Boots-bewegung übertragen. Die Größe dieser Kräfte, ihre Synchronisation und ihr Beitrag zur Boots-bewegung ist jedoch unbekannt. Ein Simulator wurde auf der Grundlage der Abmessungen eines 20-Crew-Bootes gebaut. Ein 3D-Bewegungsanalysesystem (V5, CA, USA) wurde verwendet, um kinetische Daten mit vier Kistler-Kraftmessplatten und einem Wandler mit 1000 Hertz (Winterter, Schweiz) zu sammeln. Ho et al. (2009) erzielten eine Untersuchung mit Video- und Kraftanalysetechniken, um bei Drachenboot-Paddlern die verschiedenen Fähigkeit zu unterscheiden. Dazu wurden sechs Elite-Paddler und Paddlerinnen (drei Männer und drei Frauen) und sechs Nicht-Elite-Paddler und Paddlerinnen (zwei Männer und vier Frauen) während hoher Paddle-Intensitäten von 80-90 Schlägen pro Minute verglichen. Video-Dreharbeiten wurden für eine zweidimensionale kinematische Analyse durchgeführt und ein Paddel-Instrument wurde verwendet, um Daten zur Kraft zu sammeln. Paddel-Effizienz, Paddel-Krafteigenschaften und kinematische Variablen wurden gemessen. Elite-Paddler und Paddlerinnen erreichten eine höhere Effizienz als Nicht-Elite-Paddler und Paddlerinnen (Elite-Paddler/Paddlerinnen: 76 +4 Prozent; Nicht-Elite-Paddler/Paddlerinnen: 67 +10 Prozent). Erstere zeigten auch eine höhere Spitzenkraft (Elite-Paddler/Paddlerinnen: 16,3 kg 4,8 N 72/3; Nicht-Elite-Paddler/Paddlerinnen: 11,4 kg 2,6 N 72/3), eine höhere mittlere Kraft (Elite-Paddler/Paddlerinnen: 7,9 N 2,8 kg 72/3; Nicht-Elite-Paddler/Paddlerinnen: 5,5 N 1,4 kg 72/3) und einen höheren Impuls (Elite-Paddler/Paddlerinnen: 3,0 +0,9 kg 72/3; Nicht-Elite-Paddler/Paddlerinnen: 1,9 +0,4 kg 72/3). Diese Ergebnisse sind jedoch mit Vorsicht zu interpretieren, da aufgrund der geringen Stichprobengröße und der ungleichen Anzahl von Männern und Frauen in den beiden Gruppen diese kaum unterschieden werden können. Studien im Rudern deuten aber darauf hin, dass Ruderleistung durch verschiedene biomechanische Parameter bestimmt wird.

Eine erfolgreiche Ruderleistung besteht nicht nur aus der Maximierung der Paddle-Kraft, sondern auch aus der Effizienz, mit der diese Kraft für den Vortrieb des Bootes verwendet wird (vgl. Matsuo et al., 1987; Sanderson & Martindale, 1986; Smith & Spinks, 1995). Effizienz im Rudern kann durch den Index der Ruderfähigkeit (vgl. Matsuo et al., 1987) und teilweise durch den eigenen Stil des Athleten (vgl. Affeld, 1993) bestimmt werden. Im Drachenbootrennen, bei dem 20 Paddler zu einer gleichmäßigen und durchschnittlichen Bootsgeschwindigkeit beitragen, ist es schwierig, den Kraftbeitrag jedes Einzelnen zu messen, ohne auch gleichzeitig die übrigen Paddler zu beurteilen. Die Paddel-Effizienz ist ein Maß für den Beitrag jedes einzelnen Paddlers zur Bootbewegung und ist somit das Leistungskriterium in einem Drachenbootrennen. Paddel-Parameter, die in der Lage sind, zwischen den Wirkungsgraden der Paddler zu unterscheiden, lassen vermuten, dass diese Parameter zu einer höheren Paddeltechnik und Leistung beitragen.

Andere biomechanische Parameter liefern wichtige Leistungsdeterminanten, wie die Parameter, die man aus dem Muster der Kraftproduktion bezieht oder die der Paddle- Kraft-Zeit-Kurve (vgl. Smith & Spinks, 1995). Die Steigung und die Form der Kraft-Zeit-Kurve sind wichtige Faktoren für die Analyse von Ruder- und Paddeltechniken (vgl. Millward, 1987; Smith & Draper, 2006; Sperlich & Baker, 2002; Staniak, 1999). Eine flache und breite Kraft-Zeit-Kurve mit einem steilen Hang und großer Fläche unter der Kurve ist günstiger für den Bootsvortrieb (vgl. Kleshnev, 1999; Millward, 1987; Smith & Spinks, 1995). Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Analyse des Kraftverlaufs im Drachenboot-Paddeln zu einem besseren Verständnis der Drachenboot-Paddel-Dynamik beitragen kann. Außerdem dient eine Analyse der Kraftprofilmerkmale eines Sportlers als eine zuverlässige und objektive Basis für die Technikmodifikationen; mehr als die derzeit auf Schlagzahlen basierende visuelle Analyse alleine (vgl. Aitken & Neal, 1992; Spinks, 1996). Ähnliche Muster der Gelenkbewegungen von Schulter, Rumpf und Ellbogen beim Paddeln auf dem Wasser wurden bei hoher Intensität (zwischen Schlagraten von 80 und 90 Schlägen $\cdot$ min⁻¹) festgestellt. Während der entsprechenden Phasen des Schlagens gab es Unterschiede in den Gelenkwinkeln–, und im Gelenkbewegungsbereich. Es ist nicht bekannt, ob mit einer Erhöhung der Schlagzahl eine Änderung der Technik im Drachenboot-Paddeln auftritt.

Weitere Studien haben festgestellt, dass eine erhöhte Schlagrate mit einem Rückgang der Hublänge korreliert (vgl. Standon et al., 2001; Sealey, Ness & Leicht, 2011). Weiters wurde eine Ähnlichkeit in der Rumpfbeugung (vgl. Standon et al., 2001) und in den

Bewegungen in der Sagittalebene (vgl. Sealey et al., 2011) beim Ergometer und beim Paddeln auf dem Wasser beobachtet. Die durchschnittliche Bootsgeschwindigkeit ist somit das Produkt der Schlagfrequenz und Schlaglänge (vgl. Sanders & Kendal, 1992). Dies sollten Trainer in Betracht ziehen und so die Trade-off zwischen Hubzahl und Hublänge bei der Bestimmung der optimalen Schlagrate für eine Mannschaft bestimmen.

Obwohl Paddle-Schlag-Kraftparameter wertvolle Informationen liefern, sind diese Informationen irrelevant, da es keine aussagekräftigen, visuellen Informationen über die Kinematik der Bewegungsmuster von Paddlern und dessen Paddle gibt. Videos sollten die optimale Hub- und Paddle-Länge sowie die Ein- und Austrittswinkel der Paddle klar aufzeigen. Daher sollten im Rahmen einer umfassenden Analyse der Paddle-Techniken die Videodaten mit den Kraftdaten und Paddle-Schlägen während der Versuche am Wasser verglichen werden (vgl. Smith & Spinks, 1995; Staniak et al., 1999).

Das Ziel der Studie von Gomory et al. (2011) war es, ein System zu entwickeln, um die Kinematik, Kinetik und Anstrengung der Drachenboot-Paddler zu messen. Ein Drachenboot-Sitz-Simulator wurde entwickelt und an ein Ponton befestigt, um so einen Bezug zum Paddeln auf dem Wasser bestmöglich zu reproduzieren. Videokameras wurden an geeigneten Stellen auf dem Ponton platziert und verzeichneten die dreidimensionalen Bewegungen der Paddler. Paddelkraft, Herzfrequenz und Atemmuster wurden untersucht. Daten von sechs Testpersonen unterschiedlichen Geschlechts, Alters und Qualifikationsniveaus wurden für 30 Sekunden bei maximaler Anstrengung anhand eines stationären Paddeln-Tests und zusätzlich mit einem „in-Boot“-Test untersucht. Die durchschnittliche Schlagzahl während des stationären Tests variierte zwischen 46 und 55 Schlägen pro Minute. Gemessen wurden meist Schlagraten von 80 bis 90 im Labor und 72 bis 80 im Feldtest und Hubzahlen bis zu 115 bis 136 Schlägen pro Minute (geschätzt aus den Daten von Court, Davis, & Atha, 1980 sowie Berichten von Kendal & Sanders, 1992). Es scheint, dass ein stationärer Paddelschlag mehr Zeit in Anspruch nimmt als die in-Boot-Schlagzahl. Dies kann aufgrund der größeren Hublänge, die das Becken erlaubt, gut möglich sein. Beim Paddeln im Boot verliert man die Hublänge durch die Bootsbewegung. Doch der erste Hub eines Drachenbootrennens kann als ein stationärer Paddelschlag angesehen werden, da das Boot noch nicht in Bewegung ist. In der Literatur gibt es keine Vergleichsdaten für das stationäre Drachenboot-Paddeln, aber die Boot-Paddel-Kräfte (263 N bis 366 N) sind vergleichbar mit den Daten, die von Ho, Smith & O'Meara (2009) beschrieben sind. Im Vergleich dazu weisen Elite-Kanuten Kräfte

von 260 N und 351 N auf (Court, Davis, & Atha, 1980) und sind größer als die der Elite-Kajakfahrer: von 200 N bis 210 N, wie von Aitken & Neal (1992) festgestellt.

Die Kraftverlaufwirksamkeit (FCE) ist ein Maß für die Schwankungen der einzelnen Kraftprofile. Die durchschnittliche in-Boot-FCE betrug 0,50 für die männliche und 0,60 für die weibliche A-Nationalmannschaft. Diese Werte sind etwas größer als der Wert von 0,48 bei Elite und Nicht-Elite-Paddlern in Ho, Smith, & O'Meara (2009). Am Ende von jedem Hub entwickelt sich eine negative Kraft auf dem Paddel, sowohl beim stationären als auch beim in-Boot-Paddeln. Von dieser negativen Kraft wurde in der Literatur nicht berichtet.

Die neueste Studie von Ho et al. (2013) untersuchte die physiologischen und physikalischen Eigenschaften von Elite-Drachenboot-Paddlern, um aufgrund dieser Eigenschaften die Leistung im Rennen zu identifizieren und vorherzusagen und die Stoffwechselenergiebeiträge zu quantifizieren. Dazu simulierte man ein 200- und 500-Meter Drachenboot-Rennen. Auf nationaler Ebene wurden elf männliche japanische Drachenboot-Paddler einer Reihe von Tests auf einem Paddelergometer unterzogen. Es handelte sich um einen inkrementellen Test mit einer maximalen aeroben Kapazität und einem kumulierten maximalen Sauerstoffdefizit von zwei Minuten (MAOD). Man simulierte 200- und 500-Meter-Rennen und erstellte daraus physiologische und physikalische Profile der Probanden. Die Ergebnisse zeigten, dass die 200-Meter Rennleistung mit dem Sauerstoffverbrauch (EPOC), gebeugten Armumfängen und überschüssiger Nachtrainingszeit, gemessen in den 30 Minuten nach dem MAOD-Test, zusammenhängt. Die 500-Meter-Rennleistung hängt mit dem Körperfettanteil, dem entspannten und gebeugten Armumfang, dem MAOD, EPOC und der Spitzenleistung während der MAOD-Tests zusammen.

Die multiple Regression ergab, dass der gebeugte Armumfang ein wichtiger Prädiktor der 200- und 500-Meter-Rennperformance ist, gefolgt von EPOC. Mit der Kombination dieser zwei Faktoren ist man in der Lage, 74 und 68 Prozent der Varianz in 200- und 500-Meter Rennperformances zu erklären. Repräsentative aerobe Energiebeiträge ergaben für 200 Meter-Rennen von 50 Sekunden einen Mittelwert von 52,1 Prozent (Bereich von 47,4 bis 56,8 Prozent) und für 500-Meter-Rennen von 1 Minute und 50 Sekunden einen Mittelwert von 67,5 Prozent (Bereich 60,1 - 77,8 Prozent).

7 TESTUNGEN IM STAND UP PADDLING

Das Stand-Up-Paddling (SUP) verbindet die Elemente der Wassersportarten Surfen, Kajakfahren und Rudern und wird immer mehr zu einer wachsenden Trendsportart auf jeder Art von Gewässern. Beim SUP steht der Paddler auf einem überdimensionalen Surfbrett, das zwischen drei und fünf Meter lang und bis zu einem Meter breit ist. Es wird mit einem einzigen Paddel von ca. 2 Meter Länge gepaddelt – mit diesem Paddel erzeugt der Paddler den Vortrieb. Es besteht keine Notwendigkeit von Wind oder Wellen, wie in vielen anderen Wassersportarten (vgl. Burgoyne, 2010; Barth, 2011; Casey, 2011). Mit SUP wird eine neue Dimension des Surfens eingeführt, die eine Alternative an wind- und wellenlosen Tagen darstellt, denn es ist nun möglich, unter nahezu allen Bedingungen im Meer, auf Seen und auf Flüssen zu paddeln. Paddler aller Altersgruppen können sehr schnell Verbesserungen erreichen, weil die Bretter sehr breit und kippstabil sind.

Es gibt zwei große Disziplinen im Stand-Up-Paddling-Sport: das SUP-Surfen und das SUP-Racing. Letzteres bezeichnet die Art von SUP, welche auf Kurz- (1 bis 10km) und Langstreckenrennen (ab 10km) ausgeübt wird. Bei den SUP-Races ist die Wahl des richtigen Boards von großer Bedeutung. Je nach Boardgröße ändern sich die Geschwindigkeit, die Schlagfrequenz und die Schlagreichweite (vgl. Terrell, 2011). Auch die Wahl des Paddles, welches aus einem Griff, einem Schaft und einem Paddle-Blatt besteht, ist entscheidend. Das Paddle kann zwischen 30 und 40 Zentimetern länger sein als der Fahrer. (Kürzere Paddellängen werden zum Surfen verwendet, längere Paddel für die Rennen.) Für den Rennsport werden weiters noch schmale Paddleblätter eingesetzt, weil aufgrund des geringeren Widerstands die Belastung auf die Schulter abnimmt.

7.1 Stand Up Paddling Ergometer

Einer der bekanntesten SUP-Ergometer wird von der Firma KayakPro (Miami Beach, Florida, USA) hergestellt. Das KayakPro-SUP-Ergometer ist aus einer robusten Aluminium-Stahlrahmenkonstruktion gefertigt und die einfache Bedienung des Geräts ermöglicht eine schnelle Messung. Der dem Concept II Ruderergometer ähnlicher Aufbau verfügt zusätzlich noch über eine voll reaktive Standfläche, die mit einstellbaren Widerständen über sechs Stahlfedern mit verschiedenen Härtegraden gesteuert wird. Die verschiedenen Schaftlängen sind über das verstellbare Paddle einstellbar.

Das Ergometer hat eine On-Board-Konsole, die Daten über die Paddle-Schlagzahl, Geschwindigkeit, Distanz, Countdown, K/Cal, und die Leistung in Watt angibt. Weiters ist diese Konsole ANT+ kompatibel. Der Preis für ein derartiges Ergometer beträgt 2150 US \$ (Stand November 2012).

The KayakPro SUP Ergometer replicates SUP paddling precisely. Sure, it may be nice to be on the water all the time but, due to limitations of time, cold and inclement weather, limited daylight hours and other factors this is not always possible. However, the good news is that the KayakPro SUP Ergometer can actually promote a better SUP specific fitness and strength workout than on the water! Allowing you to stay in shape and take advantage of all the undoubted benefits of SUP paddling all year round.

(LLC, 2013)

7.2 Testungen im Stand Up Paddling Sport

Die einzige bekannte Studie von Ruess et al. (2013) hat Stand-Up-Paddler anhand von Tests im Labor (Ergometer-Studien) und im Feld („auf-Wasser-Versuche“) untersucht. Acht männliche Probanden in einem Durchschnittsalter von 31,5 Jahren, einer Durchschnittsgröße von 176,25 cm und einem Durchschnittsgewicht von 74,13 kg wurden im Rahmen einer Trainingsintensität von sechs Stunden pro Woche getestet. Alle Probanden haben an einem stufenweisen Leistungstest auf einem SUP-Ergometer (Pro Kayak) sowie vor und nach dem Leistungstest an einem Single-Leg-Hop-Test teilgenommen. Ziel der Untersuchung war es, aus sportmedizinischer Sicht zu überprüfen, ob das Stand-Up-Paddling als ganzkörperliches Ausdauertraining für den Breitensport geeignet ist. Die Muskelaktivitäten von der Rumpfmuskulatur wurden während des Stand Up Paddlings untersucht, und dann den vier Phasen eines Paddelschlages zugeordnet. Der Single-Leg-Hop-Test diente als Funktionstest, wobei jeweils mit einem Bein auf einer sogenannten „electronic baropodometric platform“ (Winpod, Medicauteurs France SAS, FRAU) gesprungen und dabei die Balance gehalten wurde. Es galt, für 15 Sekunden so ruhig wie möglich zu stehen. Während der 15-Sekunden-Gleichgewichtsphasen wurden die Druckdaten erfasst und die Bewegung des Druckzentrums (COP) berechnet (vgl. Mandraka, 2005). Die COP-Messung wird als Indikator für die Wechselwirkung von Muskeln, Bänder und Sehnen und deren Stärke verwendet, wobei je fünf Sprünge mit jedem Fuß absolviert wurden und eine 10-minütige Pause zwischen Leistungs- und Balancetest eingelegt wurden. Für die Analyse der Leistungsbilanz wurde die

durchschnittliche Bewegung der COP während des einbeinigen Stehens gemessen. Die ante-posteriori Bewegungen (vorwärts/rückwärts) und medio-lateralen Bewegungen (links/rechts) und die Ergebnisse für den linken und den rechten Fuß wurden gesondert ausgewertet.

Da es keine bekannten Performance-Tests für die Sportart SUP im Labor gibt, wurde ein typischer Belastungstest aus dem Rudern für die Beurteilung des aeroben Ausdauerleistungspotentials gewählt und angepasst (vgl. J. Steinacker, 1988). Die Probanden begannen bei einer Ausgangsleistung von 6W für zwei Minuten und wurden gebeten, ihre Ausgangsleistung alle zwei Minuten zu erhöhen, bis die subjektive Erschöpfung erreicht wurde oder die Leistung nicht mehr erhöht werden konnte. Um eine vorzeitige Muskelermüdung der Probanden zu verhindern, paddelten sie abwechselnd auf ihrer rechten und linken Seite. Während des Tests wurde die Herzfrequenz (HR) mittels Sigma RC 14.11 Laufcomputer (SIGMA - ELEKTRO GmbH, GER) gemessen. HR-Daten wurden anhand der einzelnen maximalen Herzfrequenzen gemessen und das optimale Ausdauertraining zwischen 60 und 80 Prozent der maximalen Herzfrequenz wurde angenommen (vgl. Lormes et al, 1998).

Für die Wasserstudien rekrutierte man 60 freiwillige Zuschauer-Probanden und Probandinnen (36 männliche und 24 weibliche) eines Surf-Events im Jahr 2012. Die Paddler sollten zwei Einzel-Bein-Hop-Tests pro Bein auf der oben genannten Messeinrichtung durchführen. Danach wurden sie mit einem Anfänger-SUP-Board ausgestattet und gebeten, in einem selbst gewählten Tempo 30 Minuten lang auf dem Wasser zu paddeln. Anschließend führten die Probanden und Probandinnen noch zwei Single-Leg Hop Tests pro Bein durch. Bei der Auswertung der einzelnen Bein-Hop-Tests ging man nach der durchschnittlichen Bewegung in medio-laterale und anterior-posteriore Richtung während der Balance-Phase. Die Probanden und Probandinnen wurden nicht nur nach dem Alter, sondern auch danach eingeteilt, wie oft sie pro Woche Sport treiben und ob sie Erfahrung im SUP haben. Auf diese Art und Weise wollte man die Gesamtergebnisse für die durchschnittliche COP-Bewegung vor und nach dem Paddeln erzielen. Die Ergebnisse der Prüfungen am Wasser zeigen, dass sich die Stabilität für den linken Fuß in die medio-laterale Richtung von $19,58^\circ \pm 10 \text{ mm}$ auf $15,68^\circ \pm 9 \text{ mm}$ verbesserte und in die ante-posteriori Richtung von $20,28^\circ \pm 11 \text{ mm}$ auf $16,12^\circ \pm 10 \text{ mm}$. Die medio-laterale Bewegung des rechten Fußes fiel eher gering aus ($19,89^\circ \pm 11 \text{ mm}$) und es gab keine großen Veränderungen nach dem Paddeln ($19,15^\circ \pm 8 \text{ mm}$). Die

durchschnittliche ante-posteriori Bewegung veränderte sich von $21,11^\circ \pm 12\text{ mm}$ auf $18,20^\circ \pm 7\text{ mm}$. Beim linken Fuß sank die durchschnittliche medio-laterale Bewegung von $17,37^\circ \pm 8\text{ mm}$ auf $12,32^\circ \pm 7\text{ mm}$. Die Verbesserungen der ante-posteriori Bewegung waren sogar noch größer: von $22,3^\circ \pm 11\text{ mm}$ auf $14,02^\circ \pm 7\text{ mm}$ – jedoch zeigte sich beim rechten Fuß nur wenig Verbesserung: von $20,57^\circ \pm 6\text{ mm}$ auf $16,27^\circ \pm 7\text{ mm}$. Die ante-posteriori Bewegung des rechten Fußes zeigte die größte mittlere Amplitude auf: vor dem Paddeln mit $21,17^\circ \pm 8\text{ mm}$ und nach dem Paddeln mit $25,67^\circ \pm 9\text{ mm}$.

Die Altersgruppe der 8 bis 17-Jährigen zeigte einen deutlichen Rückgang der COP-Bewegung nach dem Paddeln auf, aber auch die 45 bis 58-Jährigen wiesen eine deutliche Verbesserung auf. Für alle anderen Gruppen konnten Verbesserungen entweder nur in eine Richtung oder gar keine Verbesserung beobachtet werden. In der jüngsten Altersgruppe (8 bis 17-Jährige) war die Verbesserung am höchsten. Die medio-laterale Bewegung war anfänglich bei $21^\circ \pm 8\text{ mm}$ und verringerte sich auf $13^\circ \pm 8\text{ mm}$ nach dem Paddeln. Der Saldo für die Altersgruppe der 18 bis 30-Jährigen und der 30 bis 44-Jährigen verschlechterte sich von $16^\circ \pm 7\text{ mm}$ auf $17^\circ \pm 7\text{ mm}$ und $20^\circ \pm 8\text{ mm}$ auf $22^\circ \pm 9\text{ mm}$. Die 18 bis 30-Jährigen der Gruppe, die angab, 9 Stunden pro Woche Sport zu treiben, verbesserten sich von $20^\circ \pm 6,5\text{ mm}$ auf $18^\circ \pm 5\text{ mm}$. Die Probanden und Probandinnen im Alter zwischen 45 und 58 Jahren verbesserten sich ebenfalls von $21^\circ \pm 9\text{ mm}$ auf $18^\circ \pm 9\text{ mm}$. Auffällig ist, dass bei der Zwischengruppe die stärkste COP-Bewegungen beobachtet wurde. Sie verbesserte sich von $31^\circ \pm 7\text{ mm}$ auf $24,5^\circ \pm 5\text{ mm}$ – die Labor-Ergometeruntersuchungen wiesen ähnliche Ergebnisse auf, jedoch wurde eine größere Verbesserung der Stabilität beobachtet (vgl. Ruess et al. 2000, S. 18- 30).

Während der stufenweisen Ergometertestung stieg die Herzfrequenz bei allen Probanden und Probandinnen nahezu linear an (mit erhöhter Leistung über die Zeit). Fünf der acht Testpersonen waren nicht in der Lage, die anaerobe Schwelle zu überschreiten. Sie hielten die Ausübung während des Tests bei einer Herzfrequenz von etwa 145 Schlägen pro Minute bei einer Leistung von 24W konstant.

7.3 Verletzungen im Stand Up Paddling Sport

Im Stand-Up-Paddeln gibt es keine weit bekannten und etablierten Verletzungsmuster. Im Vergleich dazu ist beim Kajaken die Überstreckung des Handgelenks die häufigste Paddelverletzung. Die Stabilisierung und eine gute Fähigkeit der Balance verhindern solche technischen Fehler – die Schulter ist in der Kraftübertragung zwischen Paddel und

Boot im Mittelpunkt. Überlastbedingungen sind die häufigsten Verletzungen bei Kanu- und Kajakfahrern (vgl. Eisele, 2011).

Viele Körpermechaniken und Muskeln sind beim SUP-Training beteiligt. Es ist wichtig, diese zu verstehen, um Verletzungen zu vermeiden. Bei Müdigkeit und nach langem Paddeln mit falschem Handgelenkwinkel kann das Handgelenk ernsthafte Beschwerden davontragen. Das Handgelenk ist nicht dazu gedacht, das Körpergewicht bei zu vielen Wiederholungen zu unterstützen. Passiert dies doch, kann eine Sehnenscheidenentzündung die Folge sein. Auch Verletzungen der Schulter (z.B. ein Trauma, eine Luxation oder ein Bruch) können aus vielen Gründen auftreten. Paddler, die nach SUP-Verletzungen gefragt wurden, erzählen manchmal von auftretenden Schulterschmerzen. Diese sind aber nur bei langen Paddelausflügen oder Wettkämpfen üblich (vgl. Barth, 2011). Im Interview mit Profi-Paddlerin Jenny Kalmbach (vgl. Casey, 2011) gab diese an, am Anfang ihrer Karriere häufig an wiederkehrenden Schulterverletzungen zu leiden. Bewegungsexperten David Darbyshire und Mary Mullahey (vgl. Casey, 2011) führen die Schulterverletzungen im Stand-Up-Paddling häufig auf physikalische Beschränkungen des Körpers zurück. Diese Beschränkungen können die Folge einer ungewöhnlichen Körperstellung sowie die Folge von wiederholenden Bewegungsmustern und Muskeldisbalancen sein. Die meisten Schulterverletzungen treten in den Rotatorenmanschetten auf. Die Rotatorenmanschetten bestehen aus der Supraspinatussehne, dem Subscapularis, dem Musculus eres minor und dem Musculus infraspinatus. Diese Muskeln wiederum stabilisieren den Schultergürtel, der zur Paddle-Bewegung eine Mobilität und Stabilität benötigt, um so einen effektiven Paddleschlag zu ermöglichen.

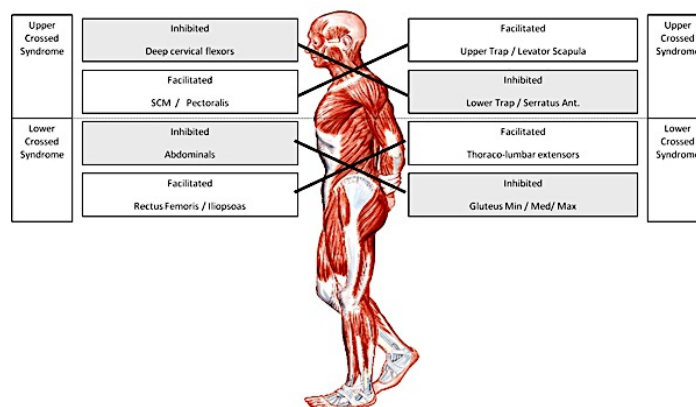


Abb. 11: „Upper-Cross-Syndrom“ Muskel-Ungleichgewichts-Syndrom (GrindMedia 2012)

Durch das Verständnis der Körperhaltung und dessen Auswirkungen auf den Paddle-Schlag beim stehenden Paddling kann man das Risiko von Schulterverletzung verringern. Darbyshire erläutert weiter: „Aufgrund der sich wiederholenden Bewegung im Paddeln, können Paddler auch ein „Upper-Cross-Syndrom“ aufweisen. Dieses Syndrom ist gekennzeichnet durch ein Muskel-Ungleichgewicht auf der Vorder- und Rückseite der Schulter. Wegen dieser Muskel-Ungleichgewichte besteht eine größere Gefahr der Schulterverletzung sowie einer Sehnenentzündung, einer Entzündung der Muskelsehnen, einer Entzündung des Schleimbeutels und von Muskelschmerzen.

Nach Darbyshire ist der Schlüssel zur Aufrechterhaltung einer gesunden Schulter jener, alle muskulären Dysbalancen und Haltungsprobleme durch ein physisches Screening zu erkennen und somit die Schultermobilität und -stabilität zu beurteilen. Mit Hilfe der Informationen aus dem Screening werden spezifische Übungen, die das Paddeln charakterisieren, erstellt, um eine Stärkung des Schultergürtels und einen vollen Bewegungsumfang zu erreichen. Mullahey empfiehlt fünf Grundübungen zu jedem Paddel-Trainingsprogramm, um so die Schulter zu stärken und das Risiko von Verletzungen zu verringern, und gleichzeitig um einen effizienteren und effektiveren Paddle-Schlag ausüben zu können. Die genannten Übungen nennen sich: „Dead Bug Squeeze with Swiss Ball“, „Quadriped“, „Side Plank“, „Lower Trapezius Cable Pull Banana Stretch“ und „TRX Pulls“ (vgl. Casey 2011).

Dave Kalama, legendärer Hawaiian Waterman und Stand-Up-Paddler, meinte im Interview Folgendes dazu: Wenn Sie Ihre Muskeln bei jedem Hub entspannen, wird Stress und Müdigkeit der Schulter stark reduziert. Ein weiterer Fehler, den Anfänger-Paddler machen ist, dass sie nicht ihre ganze Schlagreichweite erstrecken oder in die andere Richtung, dass sie das Paddle-Blatt so weit nach vorne stechen, dass sie keine Kraft auf dem Paddle-Zug erzeugen. Beide Fehler können eine übermäßige Belastung der Schultern bewirken. Kalamas Ratschläge für einen langen, effizienten Hub: Erweitern Sie das Paddel so weit nach vorne wie möglich und zentrieren sie die Balance über den Füßen, sodass sie ihren ganzen Körper eingreifen. Auch nur einen halben Zoll zu jedem Schlag hinzuzufügen mag vielleicht nicht nach viel aussehen, aber bei über Tausenden von Schlägen wird es einen großen Unterschied machen (vgl. White, 2012).

Im SUP Magazin Interview mit Starrett (2013) meint dieser dazu: Aufrecht auf einem Board zu stehen ist nicht gut für eine effiziente Haltung. Die Bauchlage oder kniend paddeln ist sehr viel effektiver – in Bezug auf die Drehmomenterzeugung in den Schultern und Hüften – wobei das Stehen wiederum wesentlich eleganter und viel besser für den ganzen Körper ist. Die meisten Menschen stehen mit den Füßen in einer Geraden am Board. Diese Haltung schafft jedoch alle Arten von Problemen. Zum Beispiel kann sich das Knie nach innen beugen, dass als „valgus Knie“ bekannt ist. Damit wird die Vorwärts- und Rückwärtsbewegung beim Paddeln erschwert, die Schultern beginnen intern zu drehen, das Gesäß ragt zu weit heraus und der Rücken wird dabei überfordert.

Wenn die Füße ein wenig nach außen versetzt werden, haben die Athleten mehr Stabilität und es kann viel mehr Drehmoment über die Vorder- und Rückseite der Füße erzeugt werden. Der Stand bei wettbewerbsfähigen Paddlern ist ziemlich breit nach außen, ähnlich wie bei olympischen Gewichthebern – um ein stabiles Drehmoment in Hüfte, Knie und Knöchel zu schaffen und die Füße in das Board zu verbohren. Der Dreh geschieht durch die Hüfte, der Rücken ist mechanisch stabil, was besser für die Kraftübertragung der Schultern ist. Das Problem jedoch ist, dass es schwierig ist, diese aggressive Position zu halten. Nach einer Weile verfällt man in eine Viertelkniebeuge, die Knie gehen nach vorne und dies kann zu Verletzungen führen. Mit einer leicht versetzten Haltung der Füße (ähnlich wie ein Ausfallschritt) ist man in der Lage, mehr Drehmoment aus dem vorderen und hinteren Fuß zu erzeugen. Diese Position macht es einfacher, sich vorne an die Hüfte zu lehnen und mehr aus der Hüfte zu paddeln. Der Athlet kann besser drehen, weil er nicht aus der Hüfte blockiert ist und die Schulter sich somit verdrehen kann – dies ist wesentlich effizienter und vergleichbar mit der richtigen Schlagart beim Kajak oder Rudern.

8 ERGEBNISSE

8.1 Ergebnisse im Rudersport

Viele Elite-Sportarten genießen heute routinemäßig ein physiologisches Unterstützungsprogramm, weshalb Trainer und Athleten meist mehr Erfahrungen mit der Sportwissenschaft haben als noch die Jahre zuvor. Daraus folgend, fordern Trainer in vielen Sportarten zunehmend, dass Feldtests laborbasierte Tests ersetzen sollten. Da Sportwissenschaftler meist selten die Trainings- und Erfahrungswerte der Trainer und Athleten haben und viele Physiologen nichts dagegen haben, Feldtests auszuweiten, ist es meist sehr schwierig, Labortests insgesamt zu rechtfertigen.

Alle Messungen werden in Kombination mit einer psychologischen Bestandsaufnahme des Athleten gesehen und mit ihm und seinem Trainer diskutiert. Als Ergebnis entscheidet der Coach, ob für das Training für den Einzelnen in dem jeweiligen Feld die Labordaten geändert werden müssen.

Labortests liefern objektive Datensätze, die unter standardisierten Bedingungen gesammelt werden. Dieses Niveau an Standardisierung und Objektivität könnte auf dem Feld nie erzielt werden. Felddaten auf der anderen Seite sind sportspezifischer, was in einer Laborsimulation nur sehr schwierig oder unmöglich erreicht werden kann.

Es gibt weitere große Differenzen in Hinsicht auf die biologischen Eigenschaften zwischen Ruderern, Kanuten und Kajakfahrern und Stand-Up-Paddlern (vgl. Sidney und Shephard, 1973; Sklad et al., 1994; Ruess 2011). Studien über die physiologischen Eigenschaften von Ruderern haben gezeigt, dass sie das Training oft unter Messungen auf 2.000 Metern absolvieren, um so eine aktuelle 2.000-Meter-Zeit und ebenso die Kraft bei VO_2max , die V_{O_2} an der Laktatschwelle, die maximale Krafterzeugung und die Kraft bei einem Blutlaktat von vier mmol. L⁻¹ zu erfahren.

Hochleistungstrainierte Ruderer werden auf einem mechanisch gebremsten Ruderergometer mit elektronischer Leistungsanzeige und Messung der spirometrischen Leistungsdaten und Bestimmung der kapillaren und der Maximalbelastung über sechs Minuten getestet. Nach einer 2-stündigen Pause erfolgt ein Mehrstufentest, beginnend mit 150 Watt und einer Steigerung um 50 Watt alle zwei Minuten bis zur Ausbelastung. Der Mehrstufentest differenziert die für das Rudern wichtige aerob-anaerobe Schwelle besser als ein Zweistufentest. Maximalwerte für Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz werden

gleich hoch bestimmt. Mit dieser Leistungsdiagnostik ist eine Trainingsberatung möglich. So findet sich häufig ein Abfall der aeroben Leistungsfähigkeit während der Wettkampfsaison, der teilweise vermieden werden soll. Auch die Vorbereitung vor der Saison kann beurteilt werden.

Es gibt signifikante Leistungsunterschiede zwischen Männern und Frauen und zwischen Schwergewichts- und Leichtgewichts-Ruderern. Forscher haben auf dem Ergometer gezeigt, dass männliche Ruderer um durchschnittlich 7,7 Prozent schneller waren als ihre weiblichen Gegenspielerinnen. Ergebnisse von den Weltmeisterschaften und Weltcup Einzel-Skull-Wettbewerben lassen darauf schließen, dass sich dieser Unterschied auf dem Wasser auf 10,9 Prozent erhöht. (Es gibt subtile Beziehungen zwischen Technik und Kraftentwicklung, die das Rudern auf dem Wasser schwieriger machen als auf dem Ergometer, aber warum der Unterschied zwischen Ergometer-Rudern und Rudern auf dem Wasser bei Frauen größer ist, ist unklar).

Schwergewichts-Ruderer sind große Menschen mit einer Durchschnittsgröße von 1,93m und einem Durchschnittsgewicht von 93 kg. Obwohl ihre Körperfett-Werte tendenziell ein wenig höher liegen als bei ihren Leichtgewicht-Kollegen, tragen sie immer noch beachtliche Muskelmasse mit sich.

Elite-Ruderer brauchen die Fähigkeit, mittlere bis hohe Kräfte zu erzeugen und sechs Minuten lange Anstrengungen auszuhalten (das ist die Durchschnittszeit für 2.000 Metern im Wettbewerb bei Weltmeisterschaften oder Olympischen Spiele). Die physiologische Unterstützung im Labor ist deshalb darauf ausgerichtet, den aktuellen Konditionsstand des Einzelnen in Bezug auf seine Körperzusammensetzung, Muskelenergie und -kraft, aerobische Energie und den erträglichen Prozentsatz der maximalen aerobischen Energie zu untersuchen. Obwohl die Ruderbewegung auf einem Ergometer das Rudern im Boot gut simuliert, sind die Ergebnisse der Tests allerdings nicht auf die sportmotorische Leistungsfähigkeit im Ruderboot übertragbar, da auf dem Ergometer wesentliche technische Faktoren des Ruderns im Boot keine Rolle spielen (vgl. Heinz, Niklas & Walther 1990).

Viele Studien haben den Zusammenhang zwischen der 2000-Meter-Ruderergometer Leistung und physiologischen Variablen untersucht, der darauf hindeutet, dass die Ruderergometer-Performance-Modelle oft verwendet werden, um auf dem Wasser die Leistung vorherzusagen. Die Leistung, wie sie auf dem Wasser oder im Feldtest gemessen

wird, hängt aber zusätzlich auch noch von weiteren externen Faktoren ab. Dazu gehören die Umweltbedingungen, d. h. die Wassertemperatur, die Windgeschwindigkeit, die Windrichtung und die Lufttemperatur.

Die Ergebnisse der Ergometer-Studien außerhalb des Wassers zeigen somit, wie wichtig Parameter höherer Intensität (Kraft beim VO_2max und maximale Kraft) bei der Ruderleistung sind. Angesichts dieser Tatsache ist es vielleicht nicht überraschend, dass die meisten internationalen Teams enorme Mengen an Training mit niedriger Intensität für die Wettbewerbsvorbereitung nutzen. Man muss jedoch daran denken, dass die submaximale Ökonomie bei Untermauerung der Kraft bei der VO_2max wichtig ist. Deshalb sollte die Bedeutung des Trainings, das sich auf die Verbesserung der Ökonomie und auf submaximale Parameter konzentriert, nicht ignoriert werden. Diese Trainingsart besteht typischerweise aus einigen Sitzungen pro Woche, die dem Training auf der Laktatschwelle gewidmet sind. Das hat einen zweifachen Vorteil: Es verbessert die submaximale Ökonomie und erhöht den Kraftausstoß, der erbracht werden kann.

Mängel von Ruderergometertestungen sind:

1. Die kinematisch-räumliche Bewegungsstruktur des Rudervorgangs bleibt nicht vollständig vorhanden.
2. Die Widerstandsverhältnisse (Kraft-Zeit-Verläufe) werden nicht vollständig reproduziert.
3. Das Ergometer ist unbeweglich und verhindert dadurch die relativ zueinander erfolgende Massenverschiebung vom Sportlerboot.
4. Der Bewegungsrhythmus auf dem Ergometer entspricht nicht den Verhältnissen, die im Boot herrschen.

Da das Obengenannte jedoch eine gängige Praxis für viele Rudertrainer und Sportwissenschaftler ist, sollte vorsichtig interpretiert werden, wenn man anhand der Ruderergometerleistung im Labor auf die Leistung am Wasser schließen will.

Der Test auf Körperzusammensetzung ist besonders für Leichtgewicht-Ruderer wichtig, weil sie es sich nicht leisten können, zu viel "nicht funktionales" Gewicht (d. h. Körperfett) mit sich herumzutragen. Wie schon erwähnt, ist es wichtig, die maximale aerobische Energie (VO_2max) sowie den Prozentsatz an maximaler aerobischer Energie, die ertragen

werden kann, zu messen. Dafür verwendet man als Test üblicherweise das nicht-kontinuierliche Stufen-Protokoll.

Die funktionellen Kapazitäten der aerobischen und anaerobischen Energiesysteme sind bedeutend für das 2.000-Meter-Rudern. Die wichtigsten Vor-Indikatoren für die 2.000 Meter-Ruderleistung auf dem Ergometer sind bei Elite-Ruderern folgende: die Leistung und Energie bei der VO_{2max} , die VO_2 an der Laktatschwelle, die Energie bei einem Blutlaktat von $4\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ und die maximale Krafterzeugung. Labortests konzentrieren sich auf Schritt-Tests und maximale Kraft-Tests und die Bewertung der Körperzusammensetzung, während zu den Feldtests diejenigen zählen, die direkt auf dem Wasser ausgeführt werden (wie z.B. 18-Kilometer-Rudern, 30-Minuten Rudern, 2-Kilometer-Rudern oder 250-Meter-Rudern) sowie Laktatmessung nach den Testabschnitten. Beide motorischen Hauptbeanspruchungsformen, Ausdauer und Kraft, werden im Rudern gefordert. Die Bootsgeschwindigkeit hängt maßgeblich von der Schlagfrequenz und der Durchzugsdistanz ab. Letztere wird ihrerseits wieder von der aufgewandten Kraft, dem Ruderwinkel, der Durchzugszeit, dem Widerstand, der Trägheit und der Gesamtmasse modifiziert. Diese biomechanischen Daten benötigen als Voraussetzung die biologische Leistungsfähigkeit des Ruderers bzw. die der Rudermannschaft als Einheit. Koordination, Flexibilität, dynamische Kraft, lokale und allgemeine aerobe und anaerobe Ausdauer werden angesprochen. Im Rudersport selbst ist die allgemeine und lokale aerobe Ausdauer sowie die dynamische Kraft am wichtigsten. Die Belastungsdauer liegt im Wettkampf ca. zwischen 5,5 und 8 Minuten. Demnach handelt es sich um die allgemeine aerobe Kurzzeitausdauer, die man für den Zeitraum von drei bis zehn Minuten veranschlagt. Entscheidender leistungsbegrenzender Faktor ist die maximale Sauerstoffaufnahme pro Minute und ihr Prozentsatz, welcher möglichst lange im Wettkampf erbracht werden kann. Dieser wird u.a. mit der aerob-anaeroben Schwelle gemessen.

8.2 Ergebnisse im Kajak- und Kanusport

Die meisten männlichen Elite-Kajak- und Kanufahrer differenzieren sich von anderen Sportlern klar in ihrer Form und physikalischen Größe, was durch ihren mesomorphen Körperbau, ihre größeren Oberkörperumfänge und schmäleren Hüften sichtbar wird (vgl. Ackland et al., 2003). Sie zeigen hervorragende aerobe und anaerobe Qualitäten und weisen VO_{2max} -Werte von rund $58\text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ($4,7\text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$) und Laktat-Werte

von rund 12 mmol während Labortests und Tests auf dem Wasser auf (vgl. Hahn et al, 1988; Tesch et al, 1976; 1983; Pendergast et al., 1989; Zamparo 1999).

Für den Kajaksport, der auf hoher maximaler aerober Leistungsfähigkeit beruht, ist das anaerobe Energiesystem für die erfolgreiche Durchführung äußerst bedeutend. Van Someren und Oliver (2001) geben Werte der mittleren Laktatschwelle bei einer Laktakonzentration von $2,7 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, bei einer HR von $170 \text{ Schlägen} \cdot \text{min}^{-1}$ und eine VO_2 von $44,2 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ an. Die Laktatschwellen entsprechen somit einem Anteil von 89,6 Prozent der maximalen Herzfrequenz und 82,4 Prozent der VO_2 -Peak.

Obwohl die absoluten Werte der Peak- VO_2 für das Kajakfahren als recht hoch beschrieben werden (vgl. Tesch, 1983), sind sie nicht ganz so hoch wie bei anderen Sportarten wie z.B. Straßen-Radfahren, Rudern oder Laufen. Beim Straßen-Radsport und Laufen, bei denen die untere Körperhälfte die wichtigste Quelle des Energieausgangs ist, neigen die Werte zu rund $73 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (vgl. Billat et al., 1996). In einer anderen Studie von Dal Monte und Leonardi (1976) wurde festgehalten, dass die Athleten bei Sportarten wie Langstreckenlauf, bei denen die untere Muskulatur mehr arbeitet, zu folgenden Werten neigen: $73 \text{ ml/kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (vgl. Billat et al., 1996, Lee et al., 2002) und $74 \text{ ml/kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ (vgl. Lucia et al. 1999) Diese Werte sind jeweils wesentlich höher als die bei Kajakfahrern.

Tesch (1983) bestätigt, dass das erfolgreiche Flachwasser-Kajaken eine große Oberkörpermuskulatur, anaerobe Kapazität, Ausdauer und eine hohe aerobe Leistungsfähigkeit erfordert. Diese Elemente stellen somit einen wichtigen Faktor für eine erfolgreiche Leistung dar. Beim Vergleich der Ergebnisse einer Studie zur Fahrradergometrie in Tesch et al. (1976) kam man in Bezug auf das Kajaken (während der Beintrainingseinheiten) zu dem Ergebnis, dass die maximale Sauerstoffaufnahme für die 500-Meter-Rennen bei 77 Prozent und bei 1000-Meter-Rennen um die 87 Prozent liegt. Dies wurde auch von Hahn et al. (1988) festgestellt und hier betrug die maximale Sauerstoffaufnahme auf dem aufgezeichneten Kajakergometer rund 89,1 Prozent (erreicht auf dem Arm-/ Beinergometer).

Ein deutlicher Unterschied zeigte sich auch bei der Prüfung der VO_2max in relativen Einheiten zwischen den verschiedenen sportlichen Disziplinen. Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass ein erfolgreicher Flachwasser-Kajak-Paddler eine hohe aerobe Leistungsfähigkeit, eine hohe anaerobe Energiegewinnung und eine große Oberkörpermuskulatur besitzt.

8.3 Ergebnisse im Outrigger-Kanusport

Die physiologischen Kapazitätsspitzen eines Athleten werden am besten mit Geräten und Techniken, die der Athlet aus dem Wettkampf kennt und im Wettkampf verwendet, gemessen. Für Sportarten wie Kanu-Ausleger ist es aufgrund der unterschiedlichen Umweltbedingungen wie wechselnde Wind-, Wellen- und Strombedingungen jedoch schwierig, diese Situation zu erreichen. Der Einsatz von Testprotokollen und Ausrüstung, die die Techniken am Wasser und die spitzen physiologischen Reaktionen bestimmen, wird für die Beurteilung der physiologischen Kapazität von Auslegerkanufahrern empfohlen.

Eine Vielzahl an Forschungen beschäftigt sich intensiv mit den Auswirkungen von Testprotokollen der unteren und der ganzen Körperbewegung wie beim Radfahren und Laufen (vgl. Bishop, Jenkins, & MacKinnon, 1998; Davis et al., 1982; Froelicher, et al., 1974). Folglich gibt es standardisierte Protokolle für die Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme VO_{2max} während dieser Aktivitäten. Auch unter Berücksichtigung der Oberkörperbewegungen wie sie beim Rudern, Armkurbeln, Kajak, Kanu und Ausleger auftreten – in diesen Gebieten gibt es wenig Forschungsergebnisse dazu– sollten standardisierte Protokolle ausgearbeitet werden, um die Beurteilung der physiologischen Reaktionsspitzen zu etablieren und damit die Vielzahl von Protokollen anzupassen.

Wie bei Lauf- und Fahrradergometrien, sind abgestufte Belastungstests die gängigsten Methoden für die Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme VO_{2max} für Ruderer (vgl. Coen, Kindermann & Urhausen, 2003; Perkins & Pivarnik, 2003; Riechman et al., 2002), Kajakfahrer (vgl. Bishop, Bonetti, & Dawson, 2002; Pelham & Holt, 1995; Sitkowski, 2002; Van Someren & Palmer, 2003) und Auslegerkanufahrer (vgl. Humphries, 2000; Stanton et al., 2001).

Die Testprotokolle von Kajakfahrern und Ruderern variieren in den Zeitinkrementen zwischen zwei und fünf Minuten (vgl. Bishop et al, 2002; Perkins & Pivarnik, 2003; Riechman et al., 2002), während bei Dauertests, bei einer Ausgangsleistung zwischen 20 und 40W, die Stufen von ein bis drei Minuten (vgl. Coen et al, 2003; .Pelham & Holt, 1995; Van Someren & Palmer, 2003) variieren (vgl. Bishop et al., 2002; Coen et al., 2003; Perkins & Pivarnik, 2003; .Riechman et al., 2002; Van Someren & Palmer, 2003).

Trotz der großen Anzahl an quantifizierten Studien über die physiologischen Reaktionen der Ruderer und Kanuten, ist bei abgestuften Belastungstests, die Verwendung von den Ergebnissen der verschiedenen Protokolle schwierig.

Da der Outrigger-Kanusport als eine aufstrebende Sportart eingestuft werden kann, ist es ratsam, standardisierte abgestufte Belastungstests zu entwickeln, um die physiologischen Reaktionen der Auslegerkanufahrer festzustellen und somit eine Vergleichbarkeit der Testergebnisse zu gewährleisten. (Dies dient im Sport ebenfalls als solide Grundlage für die Bewertung der Athleten und als Evaluation von Trainingsprogrammen.) Die abgestuften Outrigger-Kanu-Belastungstests bestehen meist aus 1-Minuten-Schritten der Schlagzahl (vgl. Stanton et al., 2001) oder der Leistung (vgl. Humphries et al., 2000). Outrigger-Kanufahrer pflegen in der Regel eine Schlagzahl von 60 bis 64 Schlägen min⁻¹ während der Rennen (vgl. West, 1995), womit der inkrementelle Schlagzahltest nicht spezifisch genug für den Sport ist (vgl. Stanton et al., 2001). Humphries et al. (2000) verwendeten ein 15-W-pro-min-1-Protokoll für die männlichen und weiblichen Auslegerkanufahrer und -fahrerinnen, was für eine natürliche Paddle-Bewegung als zu wenig aufgefasst wurde und schließlich eine rapide Erschöpfung zur Folge hatte. Darüber hinaus ist unklar, ob die 1-Minuten-Schritte genügend Zeit für eine Plateaubildung der VO₂-Kinetik bieten und so erfolgreich die VO₂max-Kriterien erreichen (vgl. Bassett & Howley, 1997). Diese Faktoren deuten darauf hin, dass das von Humphries et al. (2000) verwendete Protokoll geändert werden könnte, um die Bestimmung der maximalen physiologischen Kapazitäten bei weiblichen Ausleger-Kanutinnen während Ausleger-Kanuergometrien zu erleichtern.

Sportspezifische Ergometer werden häufig für abgestufte Belastungstests im Rudern (vgl. Pripstein et al., 1999; Schabort et al., 1999; Perkins & Pivarnik 2003; Smith & Spinks, 1995) und beim Kajak (vgl. Pelham & Holt, 1995) anstelle des traditionellen Laufbandes (vgl. Shephard, 1987) und anstelle von Armkurbel-Protokollen (vgl. Billat et al., 1996) verwendet. Sportspezifische Ergometer ermöglichen zuverlässige (vgl. Schabort et al., 1999) und höhere VO₂max-Ergebnisse als jene, die während des Laufband- oder Fahrradergometer-Trainings (vgl. Steinacker, Marx & Lormes 1986; Stromme, Ingjer & Meen, 1977) erreicht werden.

Die Erweiterungsentwicklung (Vermont Waterways, East Hardwick, Kanada) des weitverbreiteten Ruderergometers (Concept IID, Morrisville, USA) in ein Ausleger-Kanu

Ergometer hat laborbasierte, sportspezifische Tests mit Ausleger-Kanus weiter ermöglicht. Die Studie von Kerr et al. (2008) untersuchte 17 ausgebildete weibliche Ausleger Kanufahrerinnen (Durchschnittsalter 34,2 Jahre, $s = 8,8$, Höhe 1,68 m, $s = 0,06$. Gewicht 71,5 kg, $s = 10,5$, Körperfett 24,5%, $s = 6,5$) mit zwei abgestuften Belastungstests auf einem Ruderergometer (Concept IID, Morrisville, USA), die mit einer Ausleger-Kanu Anlage (Vermont Wasserstraßen, East Hardwick, Kanada) modifiziert waren. Die Protokolle ergaben statistisch ähnliche Spitzen bei physiologischen Reaktionen.

Die Recherche und Bewertungen von Haley und Nichols (2010) über die Verletzungen im Paddle-Sport bestätigen, dass alle Formen des Kanu- und Kajakfahrens, eine Oberkörperkraft und -kondition erfordern, die auch für das Ausleger-Paddeln angenommen werden. In den Studien von Stanton et al. (2002) wurden 101 Ausleger-Kanu-Paddler befragt und es wurde festgestellt, dass die meisten zum Training noch ein Krafttraining absolvieren. Die Mehrheit der Befragten gab zu, leistungssteigernde Hilfsmittel zu verwenden und 49 Prozent berichteten von Verletzungen durch das Paddeln im Schulter- und unteren Rückenbereich. Humphries et al. (2000) bewerteten 21 Ausleger-Kanu Paddler nach der Körperstatur, der aeroben Kapazität und der Muskelkraft und kamen zu dem Schluss, dass die Messungen ähnlich waren wie bei Athleten in anderen Wassersportarten, bei denen muskuläre Dysbalancen eine Schwachstelle sind und dadurch Verletzungen im Bewegungsapparat möglich sind.

Im Rahmen einer Umfrage von Haley und Nichols (2009) wurden 278 Personen (142 Frauen und 145 Männer) von den rund 3068 registrierten O`ahu Hawaii Erwachsenen-Paddlern und Paddlerinnen über die häufigsten Verletzungen im Outrigger Kanusport befragt. Das Durchschnittsalter der Interviewten lag bei 39 Jahren (Personen von 18 bis 72 Jahren wurden befragt) und 62 Prozent der Befragten hatten bereits Erfahrungen mit Verletzungen des Bewegungsapparates. Die häufigsten Verletzungen wurden im Bereich der Schulter, mit 40 Prozent aller befragten Personen, identifiziert. Weitere angegebene Verletzungen waren: Rücken 26 Prozent, gefolgt von Handgelenk-/Handverletzungen mit 10 Prozent, Ellenbogen und Hals mit 9 Prozent. Rund 49 Prozent der Teilnehmer erlebten Hautwunden, 33 Prozent entwickelten durch Wärme verursachte Krankheiten, 32 Prozent erlitten Verletzungen durch die Einwirkung von Korallen oder Meeresbewohnern und 24 Prozent entwickelten Hautinfektionen. Beachtlich ist, dass 10 Prozent der Probanden und Probandinnen von Hautkrebs oder Krebsvorstufen berichteten. Die Outrigger-Kanu-Paddler meldeten auch eine hohe Prävalenz von

Muskel-Skelett-Verletzungen und Krankheiten, die auf ihren Sport bezogen sind. Schulter und Rücken waren die häufigsten Verletzungsstellen. Die Rippen waren die am häufigsten gebrochenen Knochen. Paddeln kann auch für solche umweltbezogenen Bedingungen wie Hitze, Krankheit, Verletzung von Meerestieren und vielleicht Hautkrebs begünstigen. Die Bewertung der erwähnten Artikel führen zu den Vermutungen, dass Verletzungen von Ausleger-Kanu-Athleten mit anderen Rudersportarten aufgrund der grundlegenden Ähnlichkeiten in den Körpermaßen vergleichbar sind.

8.4 Ergebnisse Drachenbootsport

Das Rudern im Drachenboot ist generell eine körperlich anstrengende Sportart, die gut entwickelte aerobe Qualitäten erfordert. Die Leistung der meisten Drachenbootruderer korreliert stark mit ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme. Die aerobe Kapazität ist eine der von der Wissenschaft meist benutzte, doch gibt es wenige Daten über die aeroben Kapazitäten bei internationalen Drachenboot-Ruderern. Trainer sollten die Trainingsprogramme entwickeln, bei denen die Oberkörpermuskulatur und die anaerobe Kapazität gezielt erhöht und weiterentwickelt werden, da diese Faktoren die stärksten Prädiktoren der 200- und 500-Meter-Rennleistung sind. Angesichts der erheblichen aeroben Energiebeiträge für ein 200-Meter-Rennen sollten Trainer das Ziel haben, die maximale aerobe Kapazität der Paddler in Vorbereitung auf die beiden Rennveranstaltungen zu erhöhen (vgl. Rabindarjeet Singh, 1995).

Mit der Entwicklung spezieller Drachenboot-Ergometer können in Zukunft auch über die noch wenig erforschte Sportart spezifische Leistungskennwerte ermittelt werden.

8.5 Ergebnisse im Stand Up Paddling Sport

Beim Rudern ist die Größe des Athleten ausschlaggebend, während bei den Kajakfahrer und Kanuten die muskuläre Entwicklung berücksichtigt werden muss. Diese Eigenschaften können auch im Stand-Up-Paddling-Sport beobachtet werden.

Vergleicht man die Ausübung auf dem Wasser mit der auf dem Ergometer, so kann beobachtet werden, dass unter kontrollierten Bedingungen mit stabilen Parametern, das Gleichgewicht verbessert wird; und zwar in allen getesteten Situationen. Die Bilanzmessungen bestätigen die Annahme, dass SUP die Balance verbessert. Die Ergebnisse veranschaulichen eine allgemeine Verbesserung der Balance, vor allem für die Ergometer Tests – diese waren alle statistisch signifikant. Dies führt zu der Tatsache, dass

SUP für Rehabilitationsübungen qualifiziert ist und auch als Prävention, insbesondere für die Altersgruppe 50 plus, in Frage kommt.

In den Messungen von Ruess et al. (2013) wiesen alle Altersklassen eine Verbesserung auf, mit Ausnahme der Altersgruppe von 30 bis 44-Jährigen, die nahezu stabile Mittelwerte von 22 mm gegenüber 22,5 mm erreichten. Die Probanden im Alter von 18 bis 30 Jahren hatten den besten Anfangssaldo und begannen bei $17,5^{\circ} \pm 7$ mm vor dem Paddeln und verbesserten sich auf $15,5^{\circ} \pm 7$ mm. Die Gruppe der 45 bis 58-jährigen Probanden hatte die beste Balance ($14,5^{\circ} \pm 8$ mm). Die Verbesserungen in Bezug auf den linken Fuß waren etwas höher als die für die des rechten Fußes.

Die Gesamtergebnisse der auf dem Wasser durchgeführten Tests zeigten eine Verbesserung, waren aber nicht schlüssig für die Altersgruppen untersucht. Einige Altersgruppen zeigten sogar eine Verschlechterung der Balance auf. Die Standardabweichungen sind jedoch zu hoch und die Anzahl der Testpersonen zu klein. Die deutliche Verbesserung der 8 bis 17-Jährigen war erwartet, denn es ist bekannt, dass Kinder in der Lage sind, sich schnell auf koordinative Herausforderungen anzupassen und die Koordination zu verbessern. Trotzdem ist auch in der Gruppe der ältesten Probanden (44-58 Jahre) eine Verbesserung der Balance und Aktivierung nachweisbar.

Nach der Analyse aller Daten der stufenweisen Belastungstests war es offensichtlich, dass die Herzfrequenz aller Testpersonen fast immer linear anstieg. Fünf der acht Probanden brachen den Test ohne subjektive Erschöpfung ab, bevor sie ihre individuelle anaerobe Schwelle erreicht hatten. Die Anfänger hatten Schwierigkeiten darin, die Balance und somit eine genügende Anstrengung am Ergometer zu halten, um so die gewünschte Leistung zu erreichen. Die drei Personen, deren HR die anaerobe Schwelle überschritt, waren erfahrene Paddler. Die Anfänger d.h. diejenigen, die vor Erschöpfung die subjektiven Tests abbrachen, erreichten eine HR von 60-80 % der HFmax, die als ideal für ein Ausdauertraining gelten. Abgesehen davon, wollen Anfänger oft nicht so schnell paddeln wie sie eigentlich könnten, um nicht vom Board zu fallen, so, dass mit einer moderaten Intensität ein optimales Ausdauertraining erreicht werden kann.

In einem Interview aus dem Stand-Up-Paddling Magazin mit Starrett, einem der Profi Stand Up Paddler, wurde auf die verschiedenen Fußstellungen am SUP-Board eingegangen. Dabei stellte sich der leichte Ausfallschritt als optimal heraus, da es bei

einem reinem parallelen oder einem zu weiten Stand zu verschiedensten Verletzungen kommen kann.

Fasst man die Ergebnisse zusammen, kann festgestellt werden, dass sich, angesichts der geringen Verletzungsgefahr, das Stand-Up-Paddling als ein gutes Training und Gleichgewichtstraining für ungeübte, übergewichtige oder auch ältere Menschen eignet. In den Medien wird SUP als effektives Ganzkörper- und ideales Stoffwechseltraining bezeichnet. Es gibt jedoch keine Studien, die das Stand-Up-Paddling und dessen effektives Ganzkörper-Workout mit Fakten belegen. Ebenso wenig gibt es Studien, die die Muskelaktivität beim Stand-Up-Paddling untersuchen. Dennoch ist es wichtig, wie die Bewegungen und Muskelaktivitäten während der Belastung zu unterscheiden sind und die Ergebnisse für die jeweilige Trainingsoptimierung zu nutzen. Es werden weitere Forschungen im Bereich des Stand-Up-Paddlings in den nächsten Jahren notwendig sein, um die physiologischen Auswirkungen beim Paddeln zu analysieren.

LITERATURVERZEICHNIS

- Aitken, D. &. (1992). An on-water analysis system for quantifying stroke force characteristics during kayak events. *International Journal of Sport Biomechanics* (8), 165–171.
- Amanda Haley, A. N. (2009). A Survey of Injuries and Medical Conditions Affecting Competitive Adult Outrigger Canoe Paddlers on O`ahu. *Hawaii Med Journal* (7), 162-165.
- Andrew J. Vogler, B. B. (2010). Field based testing protocols to monitor training adaptations and performance in elite rowers. Australien.
- Bachl, N., Baumgartl, P., Huber, G., & Keul, J. (1987). *Die trainingspsychologische und klinische Bedeutung der anaeroben Kapazität*. Wien: Brüder Hollinek.
- Bader, J. (2007). *Leistungsmotivation im Handball - ein Experten-Novizen-Vergleich über mehrere Altersstufen*. Norderstedt: Grin Verlag.
- Ballreich, B., & Barumann, W. (1983). *Biomechanische Leistungsdiagnostik. Ziele, Organisation, Ergebnisse*. Köln: Bartels & Wernitz.
- Ballreich, R. (1980). Biomechanik des Sports. *Sportwissenschaft* (2).
- Barsalou, M., Cupka, M., Fedas, N., McGreevy, C., & Wojtowicz, A. (2007). *Kayak Exerciser Machine*. Northeastern University, Department of Mechanical and Industrial Engineering. Boston, MA 02115: Northeastern University.
- Barth, C. (2011). *SUP - Stand Up Paddling: Material - Technik- Spots*. Delius Klasing.
- Bisanz, G., & Gerisch, G. (1988). *Fussball: Training - Technik - Taktik*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Brendan Humphries, *. G. (2000). Kinanthropometric and physiological characteristics of outrigger canoe paddlers. *Journal of Sports Sciences* (18), 395-399.
- Burgoyne, N. (2010). *The Stand Up Paddle Book*. Lava Rock Publishing.
- C. Ruess, K. K. (2013). Stand Up Paddle Surfing – an aerobic workout and balance training. *6th Asia-Pacific Conference on Sports Technology, APCST2013* (S. 62 – 66). Procedia Engineering .
- Carl, K., Kayser, D., Mechling, H., & Preising, W. (1984). *Handbuch Sport - Wissenschaftliche Grundlagen von Unterricht und Training*. Düsseldorf.

- Carl, K., Kayser, D., Mechling, H., & Preising, W. (1984). *Handbuch Sport - Wissenschaftliche Grundlagen von Unterricht und Training*. Düsseldorf.
- Casey, R. (2011). *Stand Up Paddling: Flatwater to Surf and Rivers*,. Mountaineers Books.
- Caspari, F. (1. 11 2005). 2.000 m Maximaltest auf dem Concept 2 Indoor Rower . *Testmanual 2.000 m Maximaltest auf dem Concept 2 Indoor Rower (2KC2) von Florian Caspari* . Potsdam, Deutschland. Von http://www.zpid.de/pub/tests/5406_C2KC2-Testmanual.pdf abgerufen am 15.2.2014
- Chénier D., L. L. (1991). Measurement of VO₂max with 2 rowing ergometers on the water in a skiff. *Canadian journal of sport sciences* , 258-263.
- Coble, S. (April 2012). Paddle healthy: saving shoulders with Jenny Kalmbach . *SUPthemag.com* .
- Court, J. R. (1980). An engineering contribution to the appraisal of intra-stroke canoe technique. *Engineering in medicine* (9), 131-136.
- Dagus, R. (1978). *Bewegungslehre zwischen Biomechanik und Kybernetik*. München.
- Danasprint. (23. 02 2013). *Dansprint ApS*. Abgerufen am 23. 02 2013 von Danasprint: <http://www.dansprint.com/uk/dansprint-ergometers/technical-information.html>
- DeRose EH, C. S. (10 1989). Physique characteristics of Pan American Games lightweight rowers. *Internatinal Journal of Sports Medizin* (4), S. 292-297.
- Du Toit P, S. G. (1999). Incidence and causes of tenosynovitis of the wrist extensors in long distance paddle. *British Journal of Sports Medicine*. , 105–109.
- E., M. (2011). *The sport Journal*. Abgerufen am 01. 04 2013 von <http://www.thesportjournal.org/>: <http://www.thesportjournal.org/article/rowing-ergometer-physiological-tests-do-not-predict-water-performance>
- F. Mandraka. (2005). *Ergebnisse einer Zwei-Jahres Nachuntersuchung nach vorderer Kreuzbandplastik mit Semitendinosussehn-Triple-Technik und femoraler EndoButton™-Fixation*. Gießen: Justus-Liebig-Universität.
- F., H. (1984). Applied physiology of rowing. *Sports Medicine* , 303-326.
- Fritsch, W. (2006). *Handbuch für den Rudersport* (4. überarb. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.

- Fritsch, W. (2005). *Das große Buch vom Rennrudern* (2. überarb. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Fritsch, W. (2014). *Rudern Basics* (4. überarb. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- G J Slater, A. J. (2005). Physique traits of lightweight rowers and their relationship to competitive success. *Sports Med* 2005 (39), 736-741.
- Gee TI, O. P. (2011). Strength and conditioning practices in rowing. *Journal of Strength and Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association* (25), 668-682.
- Gjessing, E. (1976). *Ruder-Ergometer*. Stockholm: FISA - Informationen.
- Haber, P. (2009). *Leitfaden zur medizinischen Trainingsberatung* (3. Ausg.). Wien: Springer.
- Hagerman F.C., C. M. (1978). Energy expenditure during simulated rowing. *Journal of Applied Physiology* (45), 87-93.
- Hagerman, F. (1984). Applied physiology of rowing. *Sports Medicine* , 303-326.
- Heck, H., & Schulz, H. (2002). Methoden der anaeroben Leistungsdiagnostik - Diagnostics of anaerobic power and capacity . *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* (7+8), S. 202-2012.
- Heck, H., Mader, A., & Schluz, H. (1997). *Grundlagen der anaeroben Leistungsdiagnostik*.
- Hill, A., Long, C., & Lupton, H. (1. 12 1924). Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen. *Proc. R. Soc. Lond* , S. 155-176.
- Ho SR, S. R. (2009). Biomechanical analysis of dragon boat paddling: A comparison of elite and subelite paddlers. *Journal of Sports Sciences* , 47-37.
- Ho, S. R., Smith, R. M., Chapman, P. G., Sinclair, P. J., & Funato, K. (2013). Physiological and Physical Characteristics of Elite Dragon Boat Paddlers. *Journal of Strength & Conditioning Research*: , 137-145.
- Hoa Sarah, R. S. (2009). Biomechanical analysis of dragon boat paddling: A comparison of elite and sub-elite paddlers. *Journal of Sports Sciences* (1), 37-47.

- Hollmann, U.-P. m. (2004). *Gutachten Über den gesundheitlichen Wert des Rudersports*. Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin. Köln: Lehrstuhl für Kardiologie und Sportmedizin: Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. W. Hollmann (em.).
- Hollmann, W. Allgemeine sportmedizinische Aspekte zum Rudern. In S. J., *Rudern - Sportmedizinische und sportwissenschaftliche Aspekte* (S. 15 -17). 1988: Springer Berlin Heidelberg.
- Horn, H.-G. S.-J. (2001). *Medizinisches Aufbautraining. 2. Auflage*. München: Urban & Fischer Verlag.
- Humphries, B. (2000). Kinanthropometric and physiological characteristics of outrigger canoe paddlers. *Journal Sports Science* (18), 395-399.
- Huntsman HD, D. L. (2011). Development of a rowing-specific VO₂max field test. *The Journal of Strength & Conditioning Research* (25), 1774-1779.
- J. Steinacker (Ed.). (1988). *Rudern: Sportmedizinische und sportwissenschaftliche Aspekte*. Springer.
- Jacob, S., Rooney, B., & Smith, R. (7 2008). The metabolic demands of kayaking: A review. *Journal of Sports Science and Medicine* , 1-7.
- Jan Bourgois, A. L. (2000). Anthropometric characteristics of elite male junior rowers. *Journal of Sports Sciences* (34), S. 213-216.
- Joseph Gomory*, K. B. (2011). A system to measure the kinematics, kinetics and effort of dragon boat paddling. *5th Asia-Pacific Congress on Sports Technology (APCST)* (S. 457–463). Procedia Engineering .
- Kau, D. U. (kein Datum). *Ist die transportable Spiroergometrie zur Optimierung des Rudertrainings sinnvoll; hat es Vorteile gegenüber der Lactatdiagnostik*. Abgerufen am 24. 12 2013 von <http://www.drkau.de/>: http://www.drkau.de/fileadmin/downloads/kau_spiro_konstanz.pdf
- Kendal, S. J. (1992). The technique of elite flatwater kayak paddlers using the wing paddle. *International Journal of Sports Biomechanics* (8), 233–250.
- Kendall, L., K., Fukuda, H., D., Smith, E., A., et al. (2012). Predicting Maximal Aerobic Capacity (VO₂max) from the Critical Velocity Test in Female Collegiate Rowers. *Journal of Strength & Conditioning Research* (3), 733-738.

- Kindermann, W. (1978). Regeneration und Trainingsprozeß in den Ausdauersportarten aus medizinischer Sicht. *Leistungssport* (8).
- Koerner, T., & Schwanitz, P. (1985). *Rudern*. Berlin: Sportverlag.
- Kramer JF, L. A. (1994). Rowing performance and selected descriptive, field, and laboratory variables. *Can journal of applied Physiology* (19), 174-84.
- Kreul, J., Dickhut, H., Berg, A., Lehmann, M., & Huber, G. (1981). Allgemeine und sportartspezifische Leistungsdiagnostik im Hochleistungsbereich. *Leistungssport* (5), S. 382-398.
- Löllgen, H., Erdmann, E., & Gitt, A. (2010). *Ergometrie: Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- LLC, K. U. (16. 02 2013). KayakPro. Miami Beach, USA. Abgerufen am 16. 02 2013 von KayakPro: www.kayakpro.com
- Maestu, J. J. Monitoring of performance and training in rowing. *Sports Medicine* (35), 597-617.
- Mellerowicz, H. (1979). *Ergometrie - Grundriß der medizinischen Leistungsmessung - 3. Auflage*. München - Berlin - Wien: Urban und Fischer.
- Messonnier L., F. H. (1997). Lactate exchange and removal abilities in rowing performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* (29), 396-401.
- Mikulić, P. (80-88. 1 2008). Anthropometric and physiological profiles of rowers of varying ages and ranks. *Kinesiology* .
- Mikulic P, V. V. (2011). *Strong relationship between heart rate deflection point and ventilatory threshold in trained rowers*. . Journal of strength conditioning research.
- M. O.: Bruker (1986). *Herzinfarkt, Herz-, Gefäß- und Kreislaufkrankungen*, Lahnstein, von <http://www.novafeel.de/anatomie/herz/ekg.htm> abgerufen am 15.2.2014
- Pierce SJ, Hahn A, A., D., & EW., L. (1999). Prolonged incremental tests do not necessarily compromise VO₂max in well-trained athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport* (2), 356-363.
- R Singh, H. J. (1995). Physical and physiological profiles of Malaysian dragon boat rowers. *British Journal of sports medicine* (29), 13-15.

- Rabindarjeet Singh PhD, H. J. (1995). Physical and physiological profiles of Malaysian dragon boat rowers. *British journal sports medicine* (29), 13-15.
- Rebecca M. Kerra, W. S. (2008). Physiological responses to 1000-m ergometer time-trial performance in outrigger canoeing. *Journal of Sports Sciences*, (26), 1219-1223.
- Rebecca M. Kerra*, W. S. (2008). Comparison of physiological responses to graded exercise test performance in outrigger canoeing. *Journal of Sports Sciences*, 7 (26), 743-749.
- Rebecca M. Sealey, K. F. (2011). *Journal of sports science & medicine* (10), 52-58.
- Rodriguez, F. A. (1986). Physical structure of international lightweight rowers. (T. Reilly, J. Watkins, & J. Borms, Hrsg.) *Kinanthropometry*, S. 255-261.
- Roth, K., & Willimczik, K. (1983). *Bewegungslehre - Grundlagen*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Rumball JS, e. a. (2005). Rowing Injuries. *Sports Medicine* (35), 537-555.
- Sarah Ho, R. S. (2008). Kinetics of simulated on-water dragon boat paddling. *ISBS Conference*, (S. 14-18). Seoul, Korea.
- Schnabel, G., Harre, H.-D., & Krug, J. (2009). *Trainingslehre - Trainingswissenschaft: Leistung-Training-Wettkampf*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Schoen RG, S. M. (2002). Whitewater Injury Survey. . *Wilderness & Environmental Medicine*. (13), 119-124.
- Secher, N. (1993). Physiological and biomechanical aspects of rowing: implication for training. *Sports Medicine* (15), 24-42.
- Shephard, R. (1998). Science and medicine of rowing: A review. *Journal of Sports Sciences* (16), S. 603-620.
- Stanton R, H. B. (2002). Self-reported training habits of Australian outrigger canoe paddlers. *Journal of strength condion research* (16), 477-479.
- Steer, R., McGregor, A., & Bull, A. (5 2006). A comparison of kinematics and performance measures of two rowing ergometers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 52-59.
- Steinacker, J. (1993). Physiological aspects of training in rowing. *International Journal of Sports Medicine* (14), 2-10.

- Terrell, J. Q. (2011). *The Very Important Paddle Stroke For SUP*.
- Vogler AJ, R. A. (2007). Physiological responses to exercise on different models of the concept II rowing ergometer. *Int. Journal Sports Physiol Performance* (2), S. 360-70.
- W. Lormes, R. M.-F. (1998). *Belastungs- und Beanspruchungsempfinden im Rudern*. Springer.
- Weber, S. (09. 02 2013). *WEBA Sport und Med Artikel GmbH*. Abgerufen am 09. 02 2013 von Webersport.at: <http://www.webasport.at/>
- White, P. (Oktober 2013). Improving your stroke with movement doctor Kelly Starrett . *SUP Magazine* .
- White, P. (27. 11 2012). Paddle healthy: reducing shoulder stress with Dave Kalama . *SUP Magazine* .
- Wonisch M., Berent R., Klicpera M., Laimer H., Marko C., Pokan R., et al. (2008). Praxisleitlinien Ergometrie. *Journal für Kardiologie - Austrian Journal of Cardiology* (15), 3-17.
- Wouters, E. (2011). *Über den gesundheitlichen Wert des Rudersports*. Deutsche Sporthochschule Köln, Lehrstuhl für Kardiologie und Sportmedizin:. Köln: Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin.
- Zamparo P, T. S. (2006). Study, Bioenergetics of a slalom kayak (k1) competition - Comparative. *International Journal of Sports Medicine*, 546–552.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Die psychischen Eigenschaften eines Sportlers (Bisanz & Gerisch, 1988, S. 143)	10
Abb.2: Leistungsdiagnostische Verfahren aus den verschiedenen beteiligten Wissenschaftsdisziplinen (Schnabel, Harre, & Krug, 2009, S. 54; Bader, 2007)	10
Abb. 3: Kurven im Elektrokardiogramm (Bruckner 1986)	15
Abb. 4: Übersicht Mittelwerte zu den physiologischen Anforderungen nationaler Wettbewerbsrunderer (vgl. Vogler, 2010)	18
Abb. 5: Ergometer Ergebnisse im Rudersport	22
Abb. 6: Somatotypen von männlichen (A) und weiblichen (B) Leichtgewicht Ruderern/Ruderinnen , die in den letzten Jahrzehnten gemeldet wurden.	28
Abb. 7: VO_2 Messungen (l/min^{-1}) bei Kajakfahrern	33
Abb. 8: VO_2 im Vergleich mit anderen Sportarten	36
Abb. 9: VO_2 - Messungen (l/min^{-1}) bei Kajakern	40
Abb. 10: Morphologische Charakteristiken von Olympischen Sprint-Paddlern in Sydney 2000. (Ackland et al., 2003, S. 288)	42
Abb. 11: „Upper-Cross-Syndrom“ - Muskel-Ungleichgewichts-Syndrom (GrindMedia 2012)	58