

Aus der Betriebsmedizinischen Untersuchungsstelle
der Universität Würzburg
Leiter: Prof. Dr. med. Schardt

Die Bedeutung des Quotienten aus maximaler
Sauerstoffaufnahme und maximalem
Laktatwert für die Leistungsdiagnostik

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg
vorgelegt von
Jutta Aßmann
aus Veitshöchheim

Würzburg, Mai 2002

Referent: Prof. Dr. F. Schardt
Korreferent Prof. Dr. Voelker
Dekan: prof. Dr. V. ter Meulen

Tag der mündlichen Prüfung: 08. November 2002

Die Promovendin ist Ärztin

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	3
2.1	Historischer Überblick	3
2.2	Der Zusammenhang zwischen Leistung und Sauerstoffaufnahme	4
2.3	Die Funktion und die Einflussfaktoren des Atmungssystem	5
2.3.1	Das System der Atmungsregulation	6
2.3.2	O ₂ - und CO ₂ -Bindung und -Transport im Blut	7
2.3.3	Atemminutenvolumen	9
2.3.4	Die Sauerstoffaufnahme (\dot{V}_{O_2})	10
2.3.5	Die Kohlendioxidabgabe	12
2.3.6	Der Sauerstoffpuls in Verbindung mit der Herzfrequenz	13
2.3.7	Der respiratorische Quotient	14
2.3.8	Das Atemäquivalent-O ₂ und das Atemäquivalent-CO ₂	14
2.3.9	Die Sauerstoffschuld	15
2.4	Die Muskulatur	16
2.4.1	Die Physiologie des Muskels	16
2.4.2	Die Energiebereitstellung des Muskels	17
2.4.3	Anaerobe Schwelle und Laktatmetabolismus	18
2.4.4	Der Vergleich von aerober und anaerober Energieversorgung	20
2.4.5	Die Zusammensetzung des Muskels	22
2.5	Allgemeine Veränderungen im Körper während körperlicher Belastung	23
2.6	Die verschiedenen Belastungsformen	24
3	Problemstellung	26
4	Methodik	27
4.1	Probandengut	27
4.1.1	Klassifizierung des Probandenguts	28
4.2	Versuchsbedingungen	28
4.3	Definition der gebrauchten Abkürzungen	29

4.3.1	Ventilation und Lungenperfusion	29
4.4	Technische Methoden	29
4.4.1	Ergospirometrie	29
4.4.1.1	Art der Belastung	30
4.4.1.2	Messtechnik für Ventilationswerte mit Gasanalyse	30
4.4.1.3	Herzfrequenz	31
4.4.2	Laktatanalyse	31
4.4.2.1	Grundlagen der Messung	31
4.4.2.2	Methodik zur Bestimmung der Laktatschwelle	32
4.4.3	Statistische Verfahren zur Verarbeitung der wichtigen Parameter	32
5	Ergebnisse	34
5.1	Herzfrequenz	34
5.1.1.1	Korrelationen zwischen der maximalen Herzfrequenz und dem Alter	37
5.2	Der Sauerstoffpuls (ml / Herzschlag)	37
5.3	Laktatwerte (mmol/l)	38
5.3.1	Korrelationen zwischen Herzfrequenz und Δ Laktat	42
5.4	Ventilationswerte	43
5.4.1	Atemzugvolumen (l / Atemzug)	43
5.4.2	Atemminutenvolumen (l / min)	46
5.4.3	Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg Körpergewicht)	49
5.4.3.1	Korrelationen zwischen Herzfrequenz und $\Delta \dot{V}_{O_2}$	53
5.4.3.2	Korrelationen zwischen $\Delta \dot{V}_{O_2}$ und Δ Laktat	55
5.4.3.3	Frequenz der Atemzüge	55
5.4.3.4	Respiratorischer Quotient	59
5.4.3.5	Atemäquivalent- O_2 , - CO_2 (l/l)	59
5.5	Quotient der Δ-Sauerstoffaufnahme und der Δ-Laktatwerte bei der anaeroben Schwelle	61
5.6	Quotient der maximalen Δ-Sauerstoffaufnahme und der maximalen Δ-Laktatwerte	62
6	Diskussion	64

7	Zusammenfassung	73
8	Literaturangaben	75
9	Anhang	83

1 Einleitung

In allen Medien gewinnt der Sport, unterstützt von den unterschiedlichsten Wirtschaftsbereichen, schon seit Jahren an Bedeutung. Dieser Gegebenheit wird in der medizinischen Ausbildung kaum Rechnung getragen. Diese Tatsache verwundert zudem, da die Sportmedizin den ganzen Körper betrachtet, insbesondere das Zusammenspiel von Muskelapparat mit dem Herz-Kreislauf-System. Obwohl in Deutschland Meilensteine in der Sportwissenschaft gelegt wurden, wird auch hier wenig Wert auf die Weiterbildung in der Sportmedizin gelegt. Letztendlich ist die Sportmedizin für den Trainer und die Sportler eine wichtige Voraussetzung um auch in Zukunft die Gesundheit und die optimale Leistungsfähigkeit des Sportlers zu gewährleisten.

Dazu bedarf es zunächst einer genauen Untersuchung der wichtigsten Parameter zur Erkennung des aktuellen Trainingszustandes. Obwohl schon jahrelang die Ermittlung der Parameter Stand der Technik ist, fällt deren Deutung immer noch schwer. So stellen die Sauerstoffaufnahme und die Laktatkonzentration bereits durchaus leistungsfähige Mittel der sportmedizinischen Diagnostik dar, sind aber in ihrer Interaktion noch nicht ausreichend erforscht. Weitere Kenntnisse über ermittelte Parameter könnten mehr über den Leistungsstand des Sportlers preisgeben.

Im Rahmen dieser Arbeit werden weitere Aspekte ausgesuchter Parameter und deren Abhängigkeit voneinander untersucht.

Nach der jahrzehntelangen Diskussion über die anaerobe Schwelle könnte der Quotient aus der maximalen Sauerstoffaufnahme und dem Laktatwert einen wertvollen Parameter in der Beurteilung des Trainingszustandes darstellen.

1 Einleitung

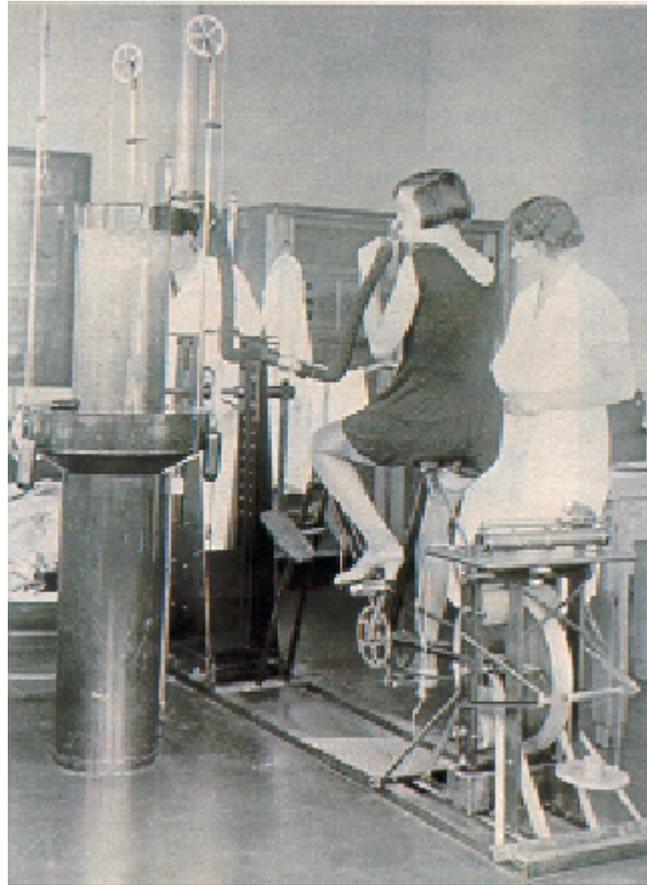


Abbildung 1: Messung des Erholungsvermögens nach körperlicher Belastung, Kaiser-Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie, Darmstadt, 1927

2 Literaturübersicht

2.1 Historischer Überblick

Das Interesse für Sport begann nicht erst mit der Austragung der ersten Olympischen Spiele. Bereits die Chinesen (2800 v.Chr.) und die Inder (1800 v. Chr.) erkannten die Wichtigkeit sportlichen Betätigung (Chronik des Sports). So entwickelte sich langsam das Interesse für Sportwissenschaft. Im Jahr 1789 konnten der Biochemiker LAVOISIER und der Arzt SEGUIN durch die Errungenschaft technischer Hilfsmittel die ersten Gasstoffwechsellmessungen während Pedalarbeit ermöglichen. Ende des 19. Jahrhunderts folgte eine große Entdeckung der anderen. Grund dafür war die Erfindung des Drehkurbelergometers von dem Arzt SPECK im Jahre 1883. Darauf folgten viele Veröffentlichungen von SCHMIDT und HUEPPE. Auch der Engländer SMITH begann 1891 Sportleruntersuchungen durchzuführen. Das Ende des Jahrhunderts wurde 1896 durch die Wiedereinführung der Olympischen Spiele gekrönt, was eine Triebfeder für die sportmedizinische Forschung im neuen Jahrhundert bedeutete (ENGELHARDT; NEUMANN).

EULER und LILJESTRAND untersuchten als Erste die Mechanismen der Ventilation, Perfusion und Diffusion. Zur besseren Belastungsanalyse wurde mit Hilfe der Spiroergometrie Atmung und Sauerstoffaufnahme untersucht. Damals geprägte Begriffe finden noch heute Verwendung. In Deutschland war es der Wissenschaftler HERBST, der 1928 die Bestimmung der maximalen O₂-Aufnahme mit Hilfe der DOUGLAS-Sack-Verfahren einführte. BRAUER und KNIPPING entwickelten ein Verfahren zur kontinuierlichen Messung des Gasstoffwechsels (KNIPPING). Jedoch erst in den 50er Jahren konnte diese Methode durch die Entwicklung eines so genannten offenen Systems (JAEGER) auch für höhere Leistungsstufen eingesetzt werden

Im Jahre 1807 beschrieb BERZELIUS erstmals den Parameter Muskellaktat. Er erkannte den Zusammenhang zwischen körperliche Leistung und Laktatbildung. Weiterhin beschäftigten sich HILL et al. mit diesem Thema., um eine Verbindung zwischen Bildung und Abbau der Milchsäure herauszufinden (HILL, A.V.). MARGARIA et al. erweiterte diese Theorie und behauptete, dass ab einer bestimmten Muskelleistung der aerobe Metabolismus nicht mehr ausreicht und

2 Literaturübersicht

statt dessen bei weiterer Leistungssteigerung der Weg der anaerobe Glykolyse eingeschlagen wird (MARGARIA). Neben vielen anderen Parametern hat die Laktatmessung in der Leistungsdiagnostik einen wichtigen Stellenwert. Sie bietet dem Trainer wichtige Informationen über den Trainingsstand seiner Sportler.

2.2 Der Zusammenhang zwischen Leistung und Sauerstoffaufnahme

Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen Leistung und Sauerstoffaufnahme. Diese leistungsphysiologische Größe wird von internen und externen Faktoren limitiert (ZIEGLER):

Interne Faktoren:

- Lungenventilation
- Diffusionskapazität des Lungenparenchyms
- Herzminutenvolumen
- Sauerstofftransportkapazität des Blutes
- Periphere Sauerstoffverwertung
- Muskelfaserzusammensetzung

Äussere Faktoren:

- Belastungsmodus
- Eingesetzte Muskelmasse
- Körperhaltung
- Sauerstoffpartialdruck des eingeatmeten Gases
- Klimatische Umgebung

Diese verschiedenen Faktoren werden nachfolgend erläutert.

2.3 Die Funktion und die Einflussfaktoren des Atmungssystem

Das Atmungssystem regelt die Sauerstoffaufnahme und die Kohlendioxidabgabe des Körpers. Zu diesem System gehören im Einzelnen:

- das Einatmen der Luft,
- die Diffusion des O₂ durch die Lungenalveolen in das kapillare Gefäßsystem,
- die O₂-Bindung an die Erythrozyten und die physikalische Lösung im Serum,
- der Transport des aufgenommenen Sauerstoffs über das Blut an die Orte des Bedarfs sowie
- die Abgabe des Sauerstoffs an das Gewebe.

Das Atmungssystem greift ineinander mit dem gesamten Herz-Kreislauf-System. Durch körperliche Belastung wird die Leistung beider Systeme ange-regt. Die Höhe der Leistung variiert von Mensch zu Mensch. Gründe dafür sind einerseits erbliche Voraussetzungen und andererseits der Trainingsstatus. Im Extremfall können Ausdauertrainierte eine doppelt so hohe Sauerstoffaufnahme als Untrainierte entwickeln (BERNARD).

Dempsey diskutierte die Limitierungsfaktoren für den pulmonalen Sauerstoff-durchsatz. Er behauptete, dass bei Belastung das Blut aufgrund der kurzen Aufenthaltsdauer in der Lunge nicht mehr vollständig mit O₂ gesättigt wird. Weitere pulmonale Einflussfaktoren sind für ihn sich änderndes Herzminutenvolumen, Ermüdung des Zwerchfells, steigender Sauerstoffbedarf durch die Atemarbeit und mangelnde Druckerzeugung der inspiratorischen Muskulatur (DEMPSEY).

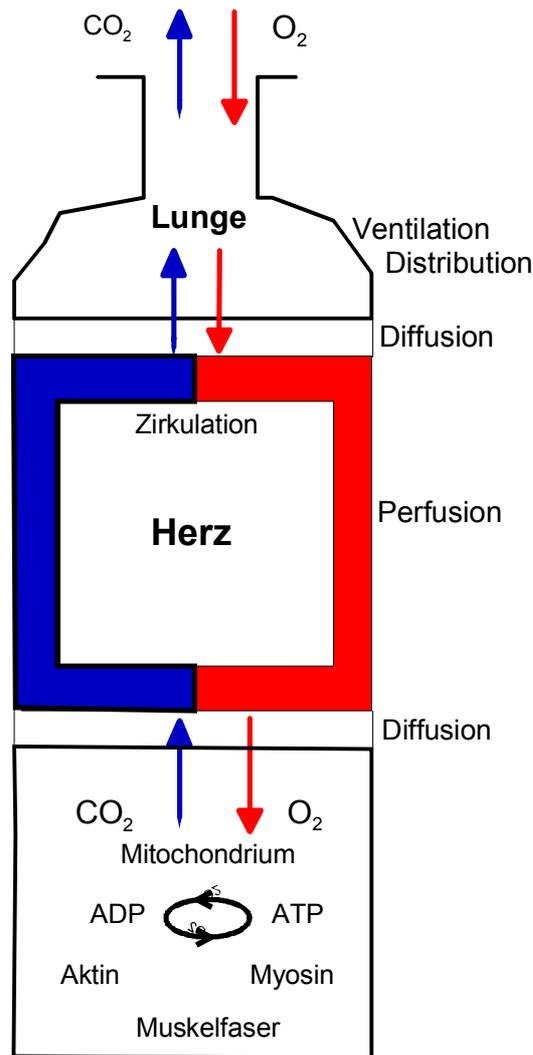


Abbildung 2: Das Atmungssystem. Konvektion: O_2 und CO_2 werden mit Hilfe eines Trägers weiterbefördert (HOPPELER).

2.3.1 Das System der Atmungsregulation

Um die beim Stoffwechsel anfallende Metaboliten zu verarbeiten benötigt der Organismus Sauerstoff. Eine kurzfristige Steigerung der Sauerstoffaufnahme kann der Körper durch eine Mehratmung erreichen. Die folgenden Punkte haben Einfluss auf die Regulation der Sauerstoffaufnahme:

- Der Sauerstoffpartialdruck wird vom Körper durch periphere Chemorezeptoren an Aorta und A. carotis detektiert. Die Signalweiterleitung übernimmt der N. glossopharyngeus und der N. vagus. Sie veranlassen entweder Abfall oder Anstieg der Atmung.

2 Literaturübersicht

- Eine erhöhte Wasserstoffionenkonzentration und eine erhöhte Kohlendioxidkonzentration erregen das Atemzentrum direkt. Indirekt können aber dadurch auch die oben genannten Chemorezeptoren angeregt werden.
- Durch Abfall als auch durch Anstieg der Temperatur können Kälte- und Wärmerezeptoren, die sich über den gesamten Körper verteilen, eine Mehratmung veranlassen (MORRIS).
- Verschiedene Steroidhormone und Adrenalin bewirken eine Atemsteigerung.
- Aussergewöhnliche Einflüsse wie psychische Erregung, verschiedene Reflexe wie Niessen, Husten, Schlucken, Aspirieren, Erbrechen und der Lungendehnungsreflex verändern die Atemfrequenz.
- Abgesehen von den oben genannten Einflüssen tritt das Phänomen der kortikaler Mitinnervation auf. Gemeint ist damit, die Anregung der Atmung parallel zu Beginn der motorischen Leistung, bevor die oben genannten Faktoren zum Tragen kommen (GALLEGO).

2.3.2 O₂- und CO₂-Bindung und -Transport im Blut

Den von allen Organen benötigten Sauerstoff wird mit Hilfe des Blutes transportiert. An das in den roten Blutkörperchen enthaltene Hämoglobin (ein Fe⁺⁺-Komplex) wird O₂ gebunden. Dies entspricht annähernd auch dem Gesamt-Sauerstoffgehalt des Blutes, da die physikalische Lösung des O₂ vernachlässigbar gering ist. Das Hämoglobin besitzt vier Untereinheiten mit je einer Häm-Gruppe. Diese Gruppen besitzen unterschiedliche Affinitäten zu O₂. Sobald eine Gruppe mit einem O₂-Molekül besetzt ist, erhöht sich die Affinität der übrigen Häm-Gruppen zu O₂. Zudem erhöht sich die O₂-Affinität bei niedrigem p_{CO2}, erhöhtem pH-Wert, Erniedrigung der Temperatur und des im Erythrozyten befindlichen Bisphosphoglyzerates. Dies stammt aus der Glykolyse und bindet sich an Hb (nicht jedoch an Oxy-Hb), wodurch die O₂-Affinität verringert wird. Die Bindung von Sauerstoff an die Häm-Gruppen reduziert sich erheblich, sobald das periphere Gewebe durch eine hohe CO₂-Konzentration und niedrigem pH-Wert signalisiert, dass Sauerstoff gebraucht wird (BOHR-Effekt). Im postka-

2 Literaturübersicht

pillären und venösen Bereich steigt der pH-Wert wieder an und die Erythrozyten geben nun weniger Sauerstoff ab.

Im Austausch gelangt das überflüssige CO_2 in das Blut. Im Gegensatz zur Sauerstoffaufnahme wird CO_2 zusätzlich in 20mal höherer Konzentration im Plasma physikalisch gelöst. Der Hauptanteil des aus der Körperzelle aufgenommenen CO_2 diffundiert in den Erythrozyten. Dort erhöht sich die Konzentration an physikalisch gelöstem CO_2 und wird zudem auch chemisch gebunden. Bei der Bindung von CO_2 entsteht HCO_3^- , das zu $\frac{3}{4}$ im Austausch mit Cl^- den Erythrozyten wieder verlässt. Ausserdem geht Hämoglobin mit dem CO_2 eine Karbaminoverbindung ein. Bei beiden Reaktionen entstehen H^+ -Ionen, die hauptsächlich vom Hämoglobin abgepuffert werden. Dabei kann das reduzierte Hämoglobin mehr H^+ -Ionen aufnehmen als das oxygenierte (Haldane-Effekt). In der Lunge verlaufen diese Reaktionen genau umgekehrt. HCO_3^- wird wieder in den Erythrozyt aufgenommen, verbindet sich dort mit H^+ wieder zu CO_2 . Die Oxygenierung von Hb unterstützt durch vermehrte Freigabe von H^+ diese Umwandlung (LEHNINGER).

Die Gase können nur in die Kapillaren (in der Lunge) oder ins Gewebe (im Organ) gelangen, wenn ein Konzentrationsgefälle bezüglich dieses Gases besteht:

Lungenarterie		Alveole		Arterie
$p_{\text{O}_2} = 50 \text{ mmHg}$	\Rightarrow	$p_{\text{O}_2} = 100 \text{ mmHg}$	\Rightarrow	$p_{\text{O}_2} = 80 \text{ mmHg}$
$p_{\text{CO}_2} = 56 \text{ mmHg}$	\Rightarrow	$p_{\text{CO}_2} = 40 \text{ mmHg}$	\Rightarrow	$p_{\text{CO}_2} = 40 \text{ mmHg}$

2 Literaturübersicht

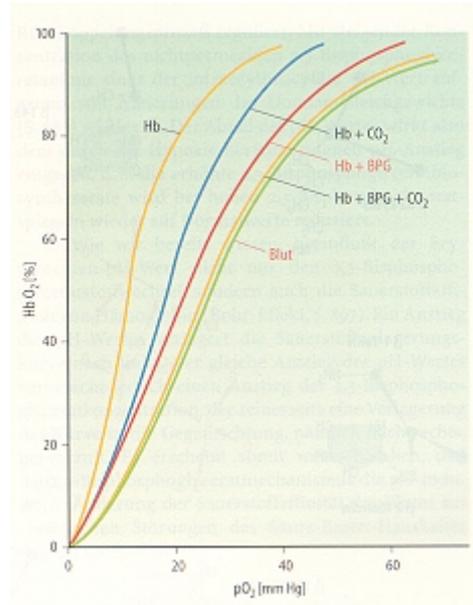


Abbildung 3: Die O₂-Bindungskurve

Demnach wird in der Alveole O₂ an die Kapillare abgegeben und CO₂ diffundiert von der Kapillare in die Alveole. Dieser Diffusionsweg von 1-2 µm wird innerhalb der Zeit von 0,7 sec in Ruhe überwunden. Bei Belastung verkürzt sich diese Zeit um 1/3 des Ruhewertes. Wenn nun ein Diffusionshindernis, z.B. eine Membranverdickung aufgrund eines Lungenödems besteht ist die Sauerstoffversorgung eher bei Belastung als in Ruhe gefährdet (ZIEGLER). Das Blut wird normalerweise nur zu 95-98 % mit Sauerstoff gesättigt, da nicht das gesamte Blut mit durchlüfteten Alveolen in Berührung kommt (HANEL).

2.3.3 Atemminutenvolumen

Das Atemminutenvolumen (\dot{V}_E) ist das Produkt aus Atemzugvolumen (V_t) und Atemfrequenz (BF). Das AZV ist das Luftvolumen eines Atemzugs.

$$\dot{V}_E \text{ (l / min)} = V_t \text{ (l)} \cdot \text{BF (1 / min)}$$

\dot{V}_E wird während körperlicher Arbeit des gesunden Menschen von Geschlecht, Alter, Trainingszustand, Körperhaltung und Intensität der Leistung bestimmt.

2 Literaturübersicht

Ein anfänglicher Anstieg dieses Wertes kommt vor allem durch das Atemzugvolumen zustande, und dies jedoch auf Kosten des inspiratorischen Reservevolumens (LÖLLGEN).

Bei einer Belastung bis 50-60% der maximalen Kreislaufleistungsfähigkeit steigt die Sauerstoffaufnahme nahezu linear zu dem Atemminutenvolumen an (DICKHUTH). Die Beziehung zu Leistung, Sauerstoffaufnahme (\dot{V}_{O_2}) und Kohlendioxidabgabe (\dot{V}_{CO_2}) zeigt bei erhöhter Belastung durch erhöhte Atemfrequenz, die den fehlenden Anstieg von V_t ausgleichen soll, einen unlinearen Anstieg, wodurch das Atemäquivalent ($\dot{V}_E / \dot{V}_{O_2}$) ebenfalls zunimmt (BERG, 1980). Dieser Punkt des Endes der Linearität wird auch als Punkt des „optimalen Wirkungsgrades“ bezeichnet (HOLLMANN). Die maximale Sauerstoffaufnahme wird letztendlich durch das maximale \dot{V}_E limitiert (LÖLLGEN).

Oberhalb dieses Punktes kann das vermehrt freigesetzte CO_2 nicht mehr die Laktatproduktion respiratorisch kompensieren und es kommt zu einer Azidose. Wird der Punkt des „optimalen Wirkungsgrades“ sehr viel früher erreicht, sind dies Anzeichen für chronisch-obstruktiver Ventilationsstörung oder chronische Herzerkrankungen. Hier kommt es frühzeitig zu einer Azidose (URHAUSEN).

Die unterschiedlichen Muskelgruppen brauchen unter Belastung verschieden viel Sauerstoff. Da bei verschiedenen Sportarten verschiedene Muskelgruppen beansprucht werden, differiert die Sauerstoffaufnahme von Sportart zu Sportart zum Teil erheblich (JAMES). Die Art des Trainings kann die Sauerstoffaufnahme verbessern. Beispielsweise kann Ausdauerleistungstraining eine Erhöhung von der Sauerstoffaufnahme bewirken, da \dot{V}_E durch eine Erhöhung von AZV vergrößert wird.

2.3.4 Die Sauerstoffaufnahme (\dot{V}_{O_2})

Für die körperliche Leistung werden verschiedene Eigenschaften benötigt, wie Schnelligkeit, Ausdauer und Kraft, die durch die Ergospirometrie erfasst werden können, aber auch Flexibilität und Koordination.

2 Literaturübersicht

Mit der Zunahme der Muskeltätigkeit steigt die Notwendigkeit der zusätzlichen Sauerstoffaufnahme. Die maximale Sauerstoffaufnahme bestimmt die Leistungsfähigkeit in den verschiedenen Sportarten. Dabei spielt auch das Alter eine Rolle. Zwischen dem 15. und dem 20. Lebensjahr entwickelt sich die aerobe Kapazität am stärksten. Deswegen ist in diesem Alter $\dot{V}_{O_2\max}$ ein nicht sehr aussagekräftiger Parameter für die Wettkampfleistung (HEITKAMP). Ein weiterer Aspekt in Hinblick auf $\dot{V}_{O_2\max}$ ist die Bewegungsökonomisierung bzw. Koordination, durch die die Sauerstoffaufnahme verringert wird (PLACHETA).

Brauer und Knipping stellten im Jahre 1929 fest, dass \dot{V}_{O_2} der aussagekräftigste Parameter als bestes Kriterium für die Beurteilung der aerobe Kapazität (BERG, 1990). Demgegenüber steht die Meinung, dass \dot{V}_{O_2} nicht zur Bestimmung der Leistung herangezogen werden darf, da sie sich nach mehrmonatigem Training nur geringfügig verändert, während man an den Laktatwerten bereits eine Verbesserung relativiert auf die Leistung feststellen kann (COYLE). In der Inneren Medizin ist die Störung der Sauerstoffaufnahme ein Symptom der Hypertonie. Bei Hypertonikern liegt $\dot{V}_{O_2\max}$ deutlich niedriger, zusätzlich zeigen die Laktatwerte ein früheres Eintreten der anaeroben Schwelle (GOODMAN).

Bei gleichmäßig ansteigender Leistung in einem Bereich von 100-180 Schlägen / min steigt beim Gesunden die Sauerstoffaufnahme linear (LE GALLAIS). Zwischen Leistung bzw. Herzzeitvolumen und Sauerstoffverbrauch besteht also folgender Zusammenhang (BIZOUARN):

Ficksches Prinzip:

$$\begin{aligned}\dot{V}_{O_2} &= Q \cdot avDO_2 \\ &= HF \cdot SV \cdot avDO_2\end{aligned}$$

wobei:

Q: Herzzeitvolumen

2 Literaturübersicht

avDO₂: arterio-venöse O₂-Differenz

HF: Herzfrequenz

SV: Schlagvolumen

Zu Beginn der körperlichen Belastung tritt eine Steigerung des \dot{V}_{O_2} erst verzögert ein, weil zuerst energiereiche Phosphate (ATP, Kreatin-P) abgebaut werden. Je schneller der Körper auf den erhöhten O₂-Bedarf reagiert, desto besser kann er auch die anfallenden Stoffwechselmetaboliten abbauen. Somit entsteht auch bei jeder Mehrbelastung für die Anfangszeit eine Minderversorgung an Sauerstoff (Sauerstoffdedizit), die dann wieder nach der Belastung aufgeholt werden muss (Sauerstoffschuld) (NOAKES). Als „steady-state“ bezeichnet man eine von Mensch zu Mensch variierende Leistung, bei deren Einhaltung O₂-Aufnahme und Laktatgehalt gerade noch konstant bleiben. Wird dieser Punkt überschritten, steigt bei konstanter Leistung sowohl Sauerstoffaufnahme, als auch der Laktatgehalt an (BRAUMANN).

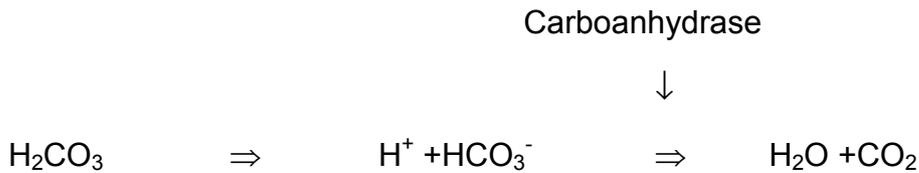
Am Ende der Belastung kommt es häufig vor, dass die Leistung noch gesteigert werden kann, \dot{V}_{O_2} jedoch nicht mehr weiter ansteigt. Dieses Phänomen wird als „levelling off“ beschrieben.

Für die Spitzensportler der verschiedenen Sportarten bestehen unterschiedliche Mittelwerte für die maximale Sauerstoffaufnahme (BASSET). So stehen die Radrennfahrer und Ruderer an der Spitzenposition, gefolgt von Kanuten und Schwimmern.

2.3.5 Die Kohlendioxidabgabe

Im Körper fällt aufgrund des aeroben Stoffwechsels CO₂ an. Dieses CO₂, das zuerst durch Pufferung mit Bikarbonat aufgefangen werden kann, wird später abgeatmet (vgl. 2.3.2). Mit der CO₂- Abgabe in der Lunge ist eine H⁺- Eliminati- on aus dem Blut verbunden, so dass die Pufferwirkung verstärkt wird. Ein weitere- rer weniger wichtiger Puffer sind die Proteinate.

2 Literaturübersicht



Für die Regulation der Atmung gibt es im Organismus Sensoren (vgl. 2.3.1), die empfindlich sind für erhöhte Laktatwerte, verminderten Sauerstoffpartialdruck und erhöhten Kohlendioxidpartialdruck, und das Atemzentrum anregen. Bis etwa 60-70 % der Maximalbelastung steigt die CO₂-Abgabe linear zur O₂-Aufnahme. Nach Überschreitung der Hyperventilationsschwelle steigt die CO₂-Abgabe überproportional an. Ausdauertraining führt zu einem Abfall von CO₂-Produktion (WASSERMANN, 1994). Dadurch wird auch der Quotient aus Kohlendioxidabgabe zu Sauerstoffaufnahme (RQ) kleiner. Begründet liegt dies in einem Rückgang der Oxidation der Kohlenhydrate und einer vermehrten Fettverbrennung (COGGAN).

2.3.6 Der Sauerstoffpuls in Verbindung mit der Herzfrequenz

Der Sauerstoffpuls ist der Quotient aus O₂-Aufnahme (ml / min) und Pulsfrequenz (1 / min). Bei ansteigender Leistung nimmt der O₂-Puls infolge der Steigerung des Schlagvolumens und der verbesserten peripheren Ausschöpfung zunächst steil, dann flacher verlaufend zu. Bei der maximalen Leistung vergrößert sich der O₂-Puls nicht mehr. Im Bereich des maximalen „steady state“ liegen die Werte bei untrainierten Männern um 15-20 ml, bei Frauen um 10-13 ml liegen. Bei Ausdauertrainierten können Werte um 30 ml pro Puls erreicht werden (DE MAREES).

Mit Hilfe dieses Quotienten kann die Ökonomie und die Leistungsreserven des kardio-zirkulatorischen Systems eingeschätzt werden. Je höher diese Werte sind, desto effektiver ist die jeweilige Testperson kardial trainiert. Der Sportler kann seinen maximalen Puls nicht verbessern, sehr wohl aber die Sauerstoffaufnahme pro Pulsschlag. Der maximale Puls ist abhängig vom Alter und wird grob geschätzt als 220 pro min minus Lebensalter, wobei es auch hier starke individuelle Unterschiede gibt. Weitere Faktoren haben zudem Einfluss auf die Herzfrequenz. Psychische Anstrengung, verbunden mit einer erhöhten Adrena-

2 Literaturübersicht

linproduktion kann die Frequenz in die Höhe treiben. Normalerweise wird beim maximalen Puls auch die maximale Sauerstoffaufnahme erreicht (BUSHKIEL).

2.3.7 Der respiratorische Quotient

Um \dot{V}_{O_2} mit \dot{V}_{CO_2} direkt vergleichen zu können, wurde der Respiratorische Quotient (RQ) eingeführt $\dot{V}_{CO_2} / \dot{V}_{O_2}$, der sich aus einer metabolischen und ventilatorischen Komponente zusammensetzt. Dieser Faktor wird beeinflusst durch die Ernährung des Sportlers (bei kohlenhydratreicher Kost: RQ=1,00; fettreich: RQ=0,7; eiweißreich: RQ= 0,85). Somit findet er auch Verwendung in der Ernährungsforschung, wo er als Indikator für die Fettmobilisierung angesehen wird (WETSERTERP). Hier zeichnete sich der respiratorische Quotient durch seine hohe Sensitivität aus (SCHUTZ). Es gilt auch hier das Alter zu berücksichtigen, führt doch falsche Ernährung bei älteren Menschen zu Veränderungen des RQ, bedingt durch herabgesetzte Kompensationsmechanismen. Erstaunlich ist die Tatsache, dass der RQ bedingt lichtabhängig ist. Es kommt bei einer Verdunklung zu dessen Abfall, bedingt durch die nächtliche Körpertemperatursenkung, die mit einer veränderten Verbrennung einhergeht.

Laut Jensen hat der weibliche Östrogenspiegel keinen Einfluss auf die RQ-Werte (JENSEN).

In einer Studie, in der afrikanische und kaukasische Frauen miteinander verglichen wurde, zeigte sich, dass die Herkunft der Probanden nicht auf den RQ-Wert auswirkt (TOUBRO).

Bis zum Höhepunkt der Anstrengung erreicht RQ, aufgrund der Hyperventilation einen Wert von 1,15. Bei Erholung kann er über 1,7 ansteigen (LÖLLGEN).

2.3.8 Das Atemäquivalent-O₂ und das Atemäquivalent-CO₂

Generell ist das Atemäquivalent der Quotient aus Atemminutenvolumen (\dot{V}_E) und O₂-Aufnahme bzw. CO₂-Abgabe (HOLLMANN, 1971).

Das Atemäquivalent-O₂ ist ein guter Parameter zur Beschreibung der Atemökonomie. Man kann damit die Menge an Atemminutenvolumen messen, die nötig

2 Literaturübersicht

ist, um einen Liter Sauerstoff aufzunehmen. Der Verlauf dieser Kurve fällt am Anfang der Belastung ab und steigt danach wieder an. Dieser Punkt der Umkehr wird als Zustand der „optimalen Sauerstoffauswertung“ bezeichnet (HOLLMANN, 1985). Aufgrund des niedrigeren Diffusionskoeffizienten ($1/5 - 1/6$ vom CO_2 -Diffusionskoeffizienten) ist ein erhöhtes Atemäquivalent- O_2 auch ein Zeichen für eine Diffusionsstörung. Bei Ausdauertrainierten ist ein Abfall des Atemäquivalent unter 20 festzustellen. Die Atmung kann durch Training effizienter gestaltet werden. Bei Trainierten führt dies dazu, dass sie langsamer und tiefer einatmen und somit die Totraumventilation so gering wie möglich halten können. Dies fällt vor allem bei Schwimmern auf, die allein aus schwimmtechnischen Gründen dazu gezwungen sind, in kurzer Zeit, in regelmäßigen Abständen soviel Sauerstoff wie möglich einzuzatmen (MARTARITIS).

Die Kohlendioxidabgabe verhält sich wie die Sauerstoffaufnahme. Auch sie ist abhängig von dem Atemminutenvolumen und somit auch von der Effektivität der Atmung.

Diese Parameter sind sehr hilfreich, um internistische Fragestellungen zu beantworten, da das Atemäquivalent bei den unterschiedlichsten Erkrankungen des Herzens und der Lunge mitbeeinflusst wird. Als Beispiel können hier obstruktiven Lungenerkrankungen aufgeführt werden. Dennoch ist die Aussagekraft dieser Parameter recht eingengt, da eine enorme Streubreite von $\pm 20\%$ nachweisbar ist. Daher sollte dieser Wert auch eher zur Verlaufskontrolle herangezogen werden.

2.3.9 Die Sauerstoffschuld

Wie im Kapitel 2.3.4 schon bemerkt, setzt die Steigerung der O_2 -Aufnahme nicht direkt bei Leistungsbeginn ein, sondern erst verzögert. In dieser Zeit wird die benötigte Energie aus der anaeroben Glykolyse und aus dem Kreatinphosphat-Abbau gewonnen und erzeugt ein vorübergehendes Sauerstoffdefizit. Dies kann den vorübergehenden Sauerstoffmangel kompensieren.

Nach der Belastung sinkt die erhöhte Sauerstoffaufnahme nicht sofort, sondern sistiert noch einige Zeit. In dieser Zeit beseitigt der Körper sein O_2 -Defizit. Dies wird Sauerstoffschuld genannt.

2 Literaturübersicht

Dieser Wert ist zur Bestimmung der anaeroben Kapazität bedeutend. Nach supramaximaler und konstant hoher Belastung besteht eine Korrelation zu Höhe und Dauer der Sauerstoffschuld.

Kann die O₂-Aufnahme den Bedarf nicht mehr decken, kommt es über die anaerobe Glykolyse zu einer Anhäufung von Laktat. (HILL, D.W.)

2.4 Die Muskulatur

2.4.1 Die Physiologie des Muskels

Der Muskel stellt das offensichtlich arbeitende bzw. bewegende Organ des Menschen dar. Er ermöglicht die sportliche Betätigung. Nachdem schon die grundlegenden Herz-Kreislauf-Funktionen besprochen wurden, wird nun das Endglied der sportlichen Aktivität, der Muskel erläutert.

Die Muskelkontraktion wird ausgelöst durch eine elektrische Erregung, die über einen Nerven auf die Muskeloberfläche geleitet wird. Dadurch kommt es zum vermehrten Ca⁺⁺-Einstrom in die Muskelzelle. Die Calcium-Ionen aktivieren über die Muskeluntereinheit, einen Aktin-Myosin-Komplex, das Enzym ATP-ase. Dies erfolgt in Anwesenheit von Magnesium-Ionen. Dadurch kann das Adenosintriphosphat (ATP) in eine energiereiche Verbindung gespalten werden. Hierbei entsteht ein Teil Phosphat, ein Teil Adenosindiphosphat (ADP) und eine bestimmte Menge an Energie wird frei. Die gewonnene Energie bewirkt eine Muskelkontraktionen. Dies wird durch Kippbewegungen der Brückenverbindungen von Myosin zu Aktin möglich. Makroskopisch führt das zu einer wahrgenommenen Bewegung. Dieser Ablauf kann solange wiederholt werden, bis die Ca⁺⁺-Konzentration aufgebraucht ist und bis keine Energie, in Form von ATP mehr vorhanden ist. In einer Studie wurde herausgefunden, dass auch mit einer geringen Ca⁺⁺-Konzentration diese Brückenbindungen eingegangen werden können, aber ein aktiver Kraftaufwand so nicht möglich ist (SCHIERECK).

Das notwendige ATP wird gewonnen aus dem Muskelglykogen, das durch enzymatische Spaltung in Glukose umgewandelt wird. Somit hängt die Energiebereitstellung auch von der Beladung der Muskelzelle mit Glykogen ab.

2 Literaturübersicht

Außerdem wird sie beeinflusst von der körperlichen Vorbelastung und von der Ernährung (SCHMIDT, A.).

2.4.2 Die Energiebereitstellung des Muskels

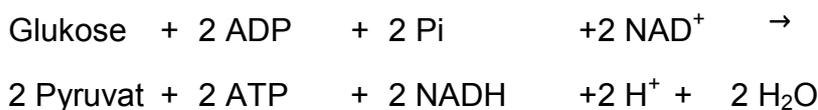
Die Skelettmuskeln verbrauchen beim ruhenden Menschen etwa 50 % und bei körperlicher Belastung bis zu 90 % des gesamten Sauerstoffs (LEHNINGER).

Im Muskel befinden sich mehrere Energiespeicher, zum einen Adenosin-triphosphat und zum anderen Kreatinphosphat (KP). Beide können kurzfristig eine gewisse Energiemenge bereitstellen, um schnelle Bewegungen zu ermöglichen. Im Muskel selbst befindet sich eine sehr kleine Menge an ATP, die direkt in Energie umgesetzt wird.

Das ebenfalls in der Muskelzelle vorhandene KP ist dafür zuständig, das energiearme ADP mit einem Phosphat zu ATP zu resynthetisieren. Dadurch ermöglicht das Kreatinphosphat die ersten 6-8 Sekunden der hohen Belastung (JIOKA).

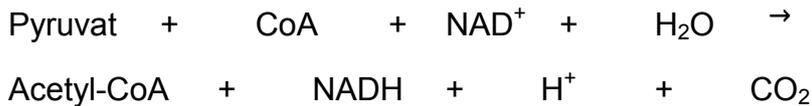
Auch durch Oxidation v.a. von freien Fettsäuren und Ketokörpern kann die erforderliche Energie bereitgestellt werden (ESSEN-GUSTAVSON). Beim Abbau dieser Stoffe entsteht die energiereiche Bindung Acetyl-CoA, das in dem Zitronensäure-Zyklus unter Abspaltung von H^+ -Ionen und CO_2 abgebaut wird. In der Atmungskette werden zuerst verschiedene Substrate mit diesem Wasserstoff dehydriert. Der gebundene Wasserstoff wird dann mit Sauerstoff zu H_2O umgesetzt, wobei mit Hilfe eines Protonengradienten ATP entsteht.

Zu dem wird bei leichter Belastung die freie Glukose aus dem Blut genutzt. Diese wird über Pyruvat zu Acetyl-CoA abgebaut, das im Zitronensäure-Zyklus oxidiert wird:



Pyruvat wird weiterhin abgebaut:

2 Literaturübersicht



Nicht nur Glukose, sondern auch Fettsäuren und die Aminosäuren werden über Acetyl-CoA unter Energiegewinnung abgebaut. Gerade bei längeren körperlichen Höchstleistungen, z.B. der 10000 m-Lauf benötigt man eine gesteigerte Bildung an Acetyl-CoA, um die Leistung auf aerobem Weg zu meistern.

Dazu muss auch eine bestimmte Menge Ca^{++} in der Zelle vorhanden sein. Auch das Hormon Adrenalin, das bei körperlicher und psychischer Belastung gebildet wird, fördert die Glykogenolyse. Dieses Depot kann nur von diesem Muskel selbst genutzt werden, weil Glykogen im Muskel nicht zu freier transportfähigen Glukose umgebaut werden kann. Aber auch dieser Vorrat ist stark begrenzt (WATT).

2.4.3 Anaerobe Schwelle und Laktatmetabolismus

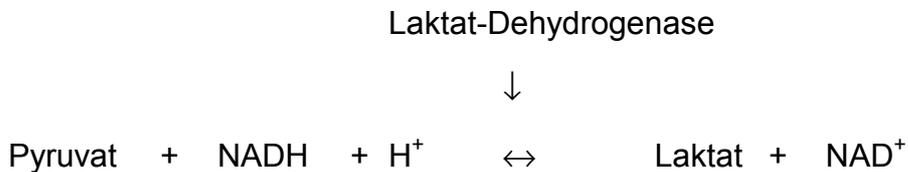
Um bei größerer Belastung die fehlende Energie aufbringen zu können, wird die anaerobe Kapazität ausgenutzt. Darunter versteht man die Summe aus alaktazidem und laktazidem Metabolismus zur ATP-Resynthese. Ca. 80 % dieser anaeroben Kapazität werden durch die anaerobe Glykolyse unter Bildung von Laktat, ca. 20 % durch Spaltung energiereicher Phosphate abgedeckt. In einem bestimmten Bereich kann der Körper das anfallende Laktat nicht mehr ausreichend abbauen, d.h. die Produktion ist größer als die Elimination. Dieser Bereich wird als anaerobe Schwelle bezeichnet (GREEN). Diese Schwelle darf aber nicht mit dem Punkt des „optimalen Wirkungsgrades“ gleichgesetzt werden, auch wenn ein großer Zusammenhang besteht (vgl. Kapitel 2.3.8) (SCHARDT). Bis zum Punkt der Glykolyse funktioniert diese Art der Energiebereitstellung ähnlich der aeroben Oxidation. Wenn der vermehrte Energiebedarf nicht mehr gedeckt werden kann, wird die ATP-Hydrolyse angekurbelt. Daraus folgt ein H^+ -Überschuss:



Durch diesen H^+ -Überschuss wird eine Steigerung der Glykolyse erreicht. Das vermehrt anfallende Pyruvat und $\text{NADH}+\text{H}^+$ wird in der anaeroben Glykolyse

2 Literaturübersicht

verbraucht. Beides würde sonst den Glykolyseablauf behindern, da sie auf die 3-Phosphoglycerinaldehyd-Dehydrogenase hemmend wirken (MICHAEL).



Das bedeutendste Merkmal der anaeroben Glykolyse ist die Laktatproduktion. Der pH-Wert fällt bei Laktatakkumulation stark ab, da Laktat die stärkste organische Säure mit einem pK-Wert von 2,9 darstellt. Das bedeutet eine Ermüdung des Muskels. Das angefallene Laktat wird nach Ende der Belastung in der Leber in der Glukoneogenese wieder in Glukose umgewandelt. Danach wird es als Glykogen im Muskel wieder gespeichert. Dieser Kreislauf wird Cori-Zyklus genannt und findet in der Erholungsphase statt. Der Muskel muss während der Belastung noch alleine mit der erhöhten Anzahl der H^+ -Ionen zurecht kommen. Dies ist möglich durch die Hilfe von verschiedenen Puffern, wie z.B. Bicarbonat und Proteinen. Bei Sportlern wurde gezeigt, dass die Retikulozytenzahl im Blut aufgrund des Trainings erhöht ist. Diese jungen Erythrozyten haben eine höhere Pufferkapazität als die Älteren. Bei intensiver Belastung bremsen sie damit die Ansäuerung des Organismus durch Kohlensäure und Milchsäure (BÖNING). Aufgrund dieser Erkenntnisse wird schon seit über 50 Jahren versucht, die sportliche Leistung mittels medikamentöser Alkalisierung zu verbessern. Das saure pH- Niveau muss vermieden werden, um eine Senkung der Enzymleistung, insbesondere der ATPase zu verhindern. Dabei stand immer die schlechte Verträglichkeit dieser Substanzen im Vordergrund. Der aktive Muskel soll dabei einen Teil des Laktats oxidieren, wobei vor allem Herz- und Skelettmuskulatur beteiligt sind. Der andere Teil, in etwa $\frac{3}{4}$ des angefallenen Laktats wird über die Leber umgesetzt. Hierfür scheint eine Ankurbelung des Lebermetabolismus sinnvoll (DIEFENBACH).

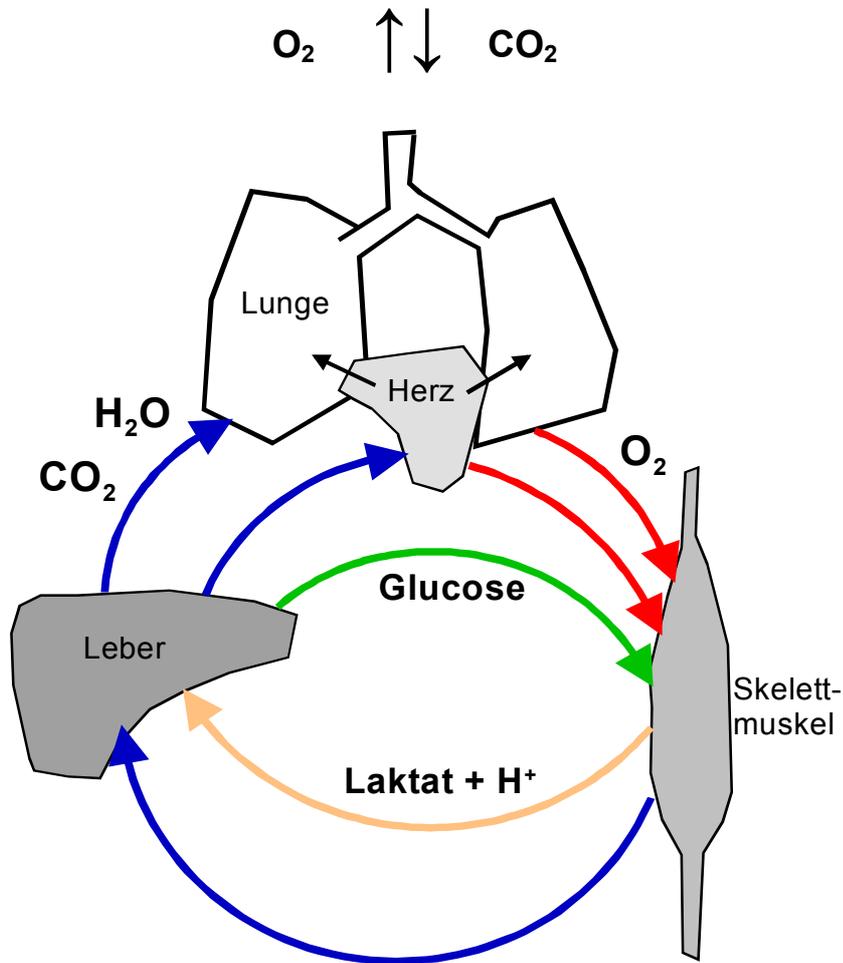


Abbildung 4: Der Laktatkreislauf nach Diefenbach

2.4.4 Der Vergleich von aerober und anaerober Energieversorgung

Somit ist die Energieversorgung mit und ohne Sauerstoff geklärt. Die aerobe Oxidation wird bei langandauernden Belastungen angestrebt. In einer Gegenüberstellung wird deutlich, warum dies günstiger ist:

Aerobe Glykolyse:

*Gewonnene Energie: 36 mol ATP/mol Glucose

*Keine Laktatbildung

*relativ langsame Energiebereitstellung, da abhängig von der Kapazität der arbeitenden Enzyme und von der O₂-Zufuhr, die durch das kardio-pulmonale System limitiert werden

Anaerobe Glykolyse:

*Gewonnene Energie: 2 mol ATP/mol Glucose

*Laktatbildung, der begrenzende Faktor

*Schnelle Energiebereitstellung, da alle nötigen „Wertstoffe“ direkt im Muskel in ausreichender Menge vorliegen

Daraus folgt, dass mit der aeroben Oxidation weniger ATP pro Zeiteinheit produziert werden kann. Die Auswertung der Glucose ist jedoch effektiver. Sie findet nur im Mitochondrium statt. Die Anzahl an Mitochondrien im Muskelgewebe ist bei Ausdauersportlern gegenüber Nichtsportlern erhöht. Außerdem ist die Mitochondrienoberfläche größer; dies führt zu einer verbesserten O₂-Aufnahme (BÖNING).

Demgegenüber findet die anaerobe Glykolyse direkt bei den Untereinheiten der Muskelzellen statt. Damit liegt sie nahe bei den ausführenden Organellen- den Myofibrillen, die dann auch das gebildete ATP sofort verwerten.

Eine Studie von SCHMIDT et al. zeigt, dass es auch bei hoher Belastung ein niedriger Laktatspiegel resultieren kann. Nach intensiven Intervallbelastungen, mit Laktatspiegeln von mehr als 7 mmol / l kommt es zu einer erheblichen Ausschöpfung der Glykogenvorräte. Demgegenüber werden bei Dauerbelastungen mit vergleichbarem Zeitumfang Laktatwerte von nur 3-6 mmol/l gemessen. Muskelbiopsien beschreiben eine Glykogenreduktion von 50-70 %. Bei den Tempoläufen hingegen ist davon auszugehen, dass 90 % des Energiebedarfs aus Glykogen gezogen wird. Schon nach einer Anstrengung mit dem Verbrauch von 40 % des Gesamtglykogengehalts des Muskels reicht oft eine Ruhephase von 18 Stunden nicht aus, um die Glykogenreservoirs wieder aufzufüllen. Bei einer zu schnell nachfolgenden Belastung kann die Muskulatur die Energie nicht mehr aus der anaeroben Glykolyse gewinnen. Dafür ist der Glykogenge-

2 Literaturübersicht

halt der Muskulatur zu gering. Folglich wird auch weniger Laktat produziert. Eine ähnliche Veränderung wird auch nach Ernährung mit reduziertem Kohlenhydratanteil beschrieben (MAASSEN). Eine Superkompensation kann durch eine fast ausschließliche Kohlenhydratzufuhr erreicht werden, wobei es zu einer erhöhten Laktatakkumulation kommt. Zudem hängt die Laktatakkumulation von der Konstitution der Sportler und des Trainingsstandes ab (SPENGLER). Gleichzeitig senkt Ausdauertraining die Höhe des Maximallaktats (CASABURI).

2.4.5 Die Zusammensetzung des Muskels

Es entwickeln sich abhängig von der Belastung und von den Erbanlagen unterschiedliche Muskelarten. Sie werden von α -Motoneuronen nervös versorgt. Es existieren die tonischen, dünneren Muskelfasern, die von vielen Kapillaren umgeben sind. Dadurch ist die Diffusionsstrecke für den Sauerstoff äußerst gering. Sie sind durch das vermehrte Myoglobin rot gefärbt. Der vermehrt verfügbare Sauerstoff befähigt die Muskelfasern zu ausdauernder Haltearbeit. Dies wird durch die aerobe Energiebereitstellung durch die Glykolyse ermöglicht (TOROK).

Zudem gibt es die phasischen, dickeren Muskelfasern, die belastungsfähiger sind. Sie sind durch ihre schnelle Kontraktions- und Erschlaffungsgeschwindigkeit und durch ihre hellere Farbe charakterisiert. Der Energiebedarf für diese Schnellkraft wird durch die anaerobe Glykolyse gedeckt.

Die gesamte Muskulatur passt sich den Belastungen an und vergrößert den muskulären Funktionsbereich im Bezug auf Kraft und Schnelligkeit (TAYLOR). Durch Training soll die Effizienz der Bewegung verbessert und damit eine spätere Ermüdung erreicht werden.

Die Muskelfasern können zudem noch nach dem unterschiedlichen Gehalt an dem ATP-spaltenden Enzym Myosin-ATPase unterschieden werden. Die roten Muskelfasern werden Typ I, die weißen Typ II genannt, wobei man die weißen noch in drei Untereinheiten A, B, C unterteilen kann. Sie werden nach der Schnelligkeit der Innervation eingeteilt; außerdem ist sie abhängig von der Art der Myosinmolekülketten. Es gibt schwere und leichte Ketten, die jeweils durch

2 Literaturübersicht

langsame und schnelle Komponenten geprägt werden. Alle diese Komponenten unterscheiden sich untereinander.

Fasertyp	Schweres Myosin	Leichtes Myosin	Innervationsfrequenz
I	I	I und s	s≈10 / s
IIC	I und s	I und s	s≈25 / s
IIA, IIB	s	s	s≈40 / s

Tabelle 1: Die Unterschiede der Muskelfasern; s = schnelle Fasern ; I = langsame Fasern

Dabei fällt auf, dass die I und IIC- Fasern sowohl langsame als auch schnelle Myosin- Elemente enthalten., wobei man die IIC- Fasern als Übergang den Typ I –Fasern sieht. Es wurde herausgefunden, dass man die Art der Muskelfasern umwandeln kann, wenn man sie mit einer anderen Frequenz innerviert. So ist es möglich, dass sich Typ I Fasern durch Elektrostimulation mit höherer Frequenz in Typ II Fasern bis zu einem gewissen Grad verwandeln. Typ I Fasern können durch Training ihre ATP-Aktivität und damit ihre Geschwindigkeit steigern (SCHLUTER). Bei einer Umwandlung von Typ II zu Typ I Fasern erfährt der gesamte Muskel eine Veränderung mit einer verstärkten Kapillarisation und einer Enzymveränderung zur Verbesserung der aeroben Energiebereitstellung (SECHER). So ist also rein trainingstechnisch eine Umwandlung vom Sprinter zum Ausdauersportler möglich (BAUMANN).

Außerdem wurde festgestellt, dass keine statistisch relevanten Unterschiede in der Muskelstruktur bei Sportlern und Nichtsportlern auftraten. Nur das subkutane Fettgewebe war bei den Sportlern weniger stark ausgeprägt (STROJINIK). Zudem konnte bei konsequentem Training, ob auf Kraft oder Ausdauer konzentriert, eine allgemeingültige Umwandlung von Typ IIB in IIA verzeichnet werden (KRAEMER).

2.5 Allgemeine Veränderungen im Körper während körperlicher Belastung

Wie schon angesprochen steigt bei körperlicher Belastung die Laktatkonzentration im Blut an, aber auch einige Elektrolyte (z.B. Kalium) und organische Sub-

2 Literaturübersicht

stanzen (z.B. Transaminasen) können vermehrt durch die Muskelzellmembran ins Blut gelangen. Dies ist klinisch wichtig für Blutuntersuchungen (Serum) nach körperlicher Hochbelastung. Die verschiedenen Parameter können noch Tage nach Belastung ihren Ursprungswert noch nicht erreicht haben. Zudem kommt eine Veränderung im Hormonhaushalt dazu. Eine gesteigerte Adrenalinproduktion erhöht die Mobilisierung der Fett- und Glykogenreserven und stimuliert außerdem die Herztätigkeit und die Bewußtseinsklarheit. Unter Belastung findet sich eine verminderte Glukose-stimulierte Plasmainsulinkonzentration im Sinne einer verbesserten Insulinempfindlichkeit, während bei Glukagon eine Zu- und Abnahme beobachtet wird. Insgesamt kann v.a. bei Diabetikern eine Abnahme der Glukosewerte erreicht werden. Außerdem sind Anstiege der HDL- und Abfälle der LDL-Cholesterine beschrieben worden (URHAUSEN).

2.6 Die verschiedenen Belastungsformen

Man unterscheidet die Belastungsarten Ausdauer, Kraft und Kraft- und Schnelligkeitsausdauer, die eine Kombination aus den ersten beiden darstellt. Sie werden sowohl durch Training als auch durch erbliche Voraussetzungen beeinflusst. Um Leistungssteigerungen im jeweiligen Bereich zu erreichen, müssen verschiedene für die Belastung spezifische Trainingseinheiten absolviert werden.

Die allgemeine Ausdauer ist die Fähigkeit, eine bestimmte muskuläre Leistung langdauernd zu erbringen, also ermüdungswiderstandsfähig zu sein (HOLLMANN). Sie wird begrenzt durch die kardiopulmonale Kapazität und die aerobe Energiebereitstellung. Eine Zwischenstellung nimmt die Schnelligkeitsausdauer ein. Hier werden größere Muskelgruppen mit maximaler Intensität für 20 – 120 Sekunden dynamisch beansprucht, wobei die Energiebereitstellung anaerob erfolgt.

Somit steht beim Krafttraining die gesteigerte Aktivierung der Skelettmuskulatur im Vordergrund, wobei ein ökonomischer Bewegungsablauf das Training effektiver macht.

Die Ziele dieses Vorgangs sind:

*die Muskelkraft zu steigern,

2 Literaturübersicht

*die Verkürzungsgeschwindigkeit des Muskels zu erhöhen und

*die muskuläre Ausdauer im statischen und im dynamischen Bereich zu verbessern.

Die Muskelkraft kann aufgeteilt werden in Maximalkraft und in Schnellkraft. Die Maximalkraft hängt von dem Muskelquerschnitt, der Muskelfaserzahl, der Muskelvordehnung und der Koordination der beteiligten Muskeln ab. Die Schnellkraft wird dagegen von der möglichen Maximalkraft, von der schon beschriebenen Muskelfaserzusammensetzung, von der Vordehnung des Muskels und von der Anzahl der Aktionspotentiale bestimmt. Eine gute Sprintleistung hängt ab von der Faszikellänge (nicht unbedingt identisch mit der Muskelfaserlänge sondern als funktionelle Einheit bedeutender für die Muskelkontraktion) und auch von dem Fiederungswinkel (Winkel zwischen der Wirkungsrichtung des Muskels und der Längsachse der Fasern) (KUMAGAI).

Die Verkürzungsgeschwindigkeit nimmt mit zunehmender Last ab, da bei großer Last mehr Zeit für die Knüpfung der Aktin- und Myosinfilament – Brücken in den aktivierten Muskeleinheiten benötigt wird. Durch Training kann eine Steigerung der Brückenbildung pro Zeiteinheit erreicht werden und damit kommt es zu einer Zunahme der Verkürzungsgeschwindigkeit.

Bei der statischen Muskelarbeit wird Kraft ohne sichtbare Muskelverkürzung aufgebracht; es wird nur der Schwerkraft entgegengewirkt. Hierbei ermüdet der Muskel schneller als bei der dynamischen Muskelarbeit, bei der ein Wechsel zwischen Kontraktion und Erschlaffung stattfindet.

3 Problemstellung

Die Diskussion über das Thema aerobe und anaerobe Kapazität ist schon seit vielen Jahren im Gange. Hier sollen die Unterschiede der verschiedenen Sportarten betrachtet werden. Die Sprint-, Ausdauer-, Kraftausdauersportarten und die Nichtsportler werden voneinander unterschieden. Dieses Problem wurde mit Hilfe verschiedener Parameter untersucht. Zur Bestimmung der allgemeinen aeroben Ausdauer schien die maximale Sauerstoffaufnahme ein hilfreicher und entscheidender Faktor. Auch andere Merkmale aus dem kardiozirkulatorischen System gaben nützliche Informationen (HOPPELER). Der Stoffwechsel der Muskelzelle vervollständigte die Sicht über die aerobe und anaerobe Ausdauer. Daraus ergibt sich somit das Problem, inwieweit Unterschiede zwischen den verschiedenen Sportlergruppen in Hinsicht auf Laktat, $\dot{V}_{O_2 \max}$ und andere, damit verbundene Parameter bestehen.

Insgesamt sollen damit die folgenden Fragen beantwortet werden:

1. Inwieweit bestehen Unterschiede zwischen den einzelnen Probandengruppen im Ruhe-, Schwellen-, Maximal- und Erholungsbereich bei den Parametern:
 - Herzfrequenz
 - Sauerstoffpuls
 - Atemzugvolumen
 - Atemminutenvolumen
 - Sauerstoffaufnahme
 - Atemfrequenz
 - Respiratorischer Quotient
 - Atemäquivalent
2. Vergleich des Quotienten aus maximaler Sauerstoffaufnahme und maximalem Laktat.
3. Korrelationen zwischen diesen Parametern zu verschiedenen Zeiten innerhalb der unterschiedlichen Gruppen von Probanden.

4 Methodik

4.1 Probandengut

Bei den Probanden handelte es sich um ein Kollektiv von 64 Männern, die im Mittel $22,56 \pm 1,57$ Jahre alt waren, wobei die Streubreite wegen den vereinzelt 40-Jährigen relativ groß war. Das Gewicht der Männer betrug im Mittel $73,05 \pm 2,53$. Die Probanden konnten in verschiedene Gruppen eingeteilt werden.

Die erste Gruppe waren die Untrainierten, die in ihrer Freizeit kaum bzw. keinen Sport trieben, aber dennoch versuchten, im Test die Höchstleistung zu erreichen.

Die zweite Gruppe waren die Sprinter, die hauptsächlich Kurzstrecken gelaufen sind, wobei die Schnellkraft im Vordergrund stand. Auch ihr Trainingszustand war vergleichbar.

In der dritten Gruppe untersuchten wir Marathonläufer, die sich alle im Wettkampfniveau befanden. Nur von der Anzahl der bereits gelaufenen Marathons und der damit verbundenen Erfahrung, gab es Differenzen.

Die vierte Gruppe stellten die Radrennfahrer dar, die sich gerade in Trainingsvorbereitung befanden und eine enorme Ausdauerleistung zeigten und zudem noch gut bis sehr gut auf Kraft trainiert waren. Der Trainingszustand der einzelnen Sportler war miteinander vergleichbar und homogen.

Zudem ist zu sagen, dass sich die unterschiedlichen Sportarten mit deren Trainingsschwerpunkten nicht bei der Ergospirometrie bemerkbar gemacht hatten, da die geforderte Belastung nicht immer mit der gewohnten Muskelbeanspruchung vergleichbar war. Trotzdem hat sich die Fahrradergometerbelastung als Basismethode für die Leistungsdiagnostik bewährt, da sie fast keine Koordination voraussetzt.

Demgegenüber hätte ein Test mit der Laufbandergometrie schlechter abgeschnitten, da von den Sportlern ein erhöhtes Maß an Koordinationsfähigkeiten abverlangt worden wäre, das der Durchschnittsbürger nicht sofort ohne Übung leisten kann (EISELE).

4 Methodik

4.1.1 Klassifizierung des Probandenguts

Die Probanden waren alle in einem guten Gesundheitszustand und bis zur subjektiven Leistungsgrenze belastbar.

Wir wollten herausfinden, ob es Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen bezüglich der ausgesuchten Parameter gibt.

- Gruppe 1: Nichtsportler bzw. sportlich ungeübt, die in ihrer Freizeit keinen regelmäßigen Sport betreiben (n=13)
- Gruppe 2: Sprinter für Kurzstrecken bzw. Kraftsportler in Wettkampfvorbereitung, die im Schnitt 4 mal / Woche trainieren (n=12)
- Gruppe 3: Marathonläufer in Wettkampfvorbereitung mit einem Trainingspensum von im Schnitt 4 mal / Woche (n=21)
- Gruppe 4: Sowohl kraft- als auch ausdauertrainierte Spitzensportler mit im Schnitt 5 Trainingseinheiten pro Woche(n=18)

Die wichtigen Zeitpunkte, die untersucht werden sollten:

- a) Ruhewert
- b) Laktatschwelle
- c) Maximalleistung
- d) Nach 5 Minuten Erholung

4.2 Versuchsbedingungen

Alle Untersuchungen wurden im Lungenfunktionslabor der Betriebsärztlichen Untersuchungsstelle der Universität Würzburg vorgenommen. Die Tests erfolgten mindestens 2 Stunden nach der letzten Nahrungsaufnahme.

Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit wurden an jedem Tag registriert. Für die nötige Belüftung wurde immer gesorgt. Optische und akustische Reize oder Störungen wurden von den Versuchspersonen vor und während der Untersuchung ferngehalten.

4.3 Definition der gebrauchten Abkürzungen

Die benutzten Abkürzungen und Symbole für Messgrößen und Messeinheiten entsprechen den deutschen und international üblichen Bezeichnungen. Wir verwendeten fast ausschließlich die von der „Societas Europae Physiologicae Clinicae Respiratoriae“ (SEPCR) empfohlenen SI-Einheiten.

4.3.1 Ventilation und Lungenperfusion

\dot{V}	Gasvolumen pro Zeiteinheit
\dot{V}_E	pro Zeiteinheit ausgeatmetes Volumen =Atemminutenvolumen
\dot{V}_{CO_2}	Kohlendioxid-Abgabe pro min
\dot{V}_{O_2}	Sauerstoff-Aufnahme pro min
RQ	$\dot{V}_{CO_2} / \dot{V}_{O_2}$
EqO ₂	Atemäquivalent für Sauerstoff (l/l)
EqCO ₂	Atemäquivalent für Kohlendioxid (l/l)
HF	Herzfrequenz pro min
BF	Atemfrequenz pro min
Δ -Werte:	um die verschiedenen Ausgangswerte zu relativieren werden hier die Δ-Werte verwendet

4.4 Technische Methoden

4.4.1 Ergospirometrie

Der Belastungstest wurde mit einem Fahrradergometer der Firma JAEGER durchgeführt. Es handelte sich dabei um ein Ergometer, das eine drehzahlabhängige Leistungsregelung erlaubte. Nach den üblichen Empfehlungen wurde ein Drehzahloptimum von 60 Umdrehungen pro Minute durchgehalten. Das

4 Methodik

Ergometer ermöglichte dem Probanden eine weitgehend aufrechte Sitzhaltung (ca. 70°). Durch diese aufrechte Haltung konnte eine erleichterte Lungenentfaltung gewährleistet werden.

4.4.1.1 Art der Belastung

Vor Belastung wurde darauf geachtet, dass sich die Pulsfrequenz normalisiert hatte und der RQ auf einem Wert stabilisiert hatte, der bei $0,85 \pm 0,05$ lag. Meist war dies aber selbst nach einer längeren Referenzphase nicht möglich. Mit 40 Watt wurde die Belastung begonnen und dann anfangs um 20 Watt gesteigert. Die ersten beiden Stufen, also von 40 und 60 Watt wurden 2 Minuten beibehalten; danach dauerte jede Stufe 3 Minuten. Diese vergleichsweise langsame Belastungssteigerung wurde gewählt, um respiratorische und metabolische Veränderungen genauer differenzieren zu können. Bei allen Probanden wurde nach Belastung eine Phase von 5 Minuten eingeräumt, in der noch das vollständige Programm mit Laktatentnahmen und Ventilationsmessungen durchgeführt wurde, um die Erholung anhand der Laktatwerte und der Ventilationsparameter zu begutachten.

4.4.1.2 Messtechnik für Ventilationswerte mit Gasanalyse

Die benutzte Ergospirometrieinheit arbeitete nach dem offenen System, es wurde also Raumluft eingeatmet; das expiratorische Volumen wurde mit einem Messgerät der Firma Jaeger registriert. Über eine mit einem O₂/CO₂-Gasanalysator verbundene Atemmaske (Totraum ca. 50 ml) waren die Probanden mit dem Messplatz über den Computer verbunden auf diese Weise wurden die Atemgaswerte gemessen. Mittels eines paramagnetischen Differential-O₂-Analysators und einem schnellen Infrarot-CO₂-Analysator (Ansteigzeiten, T10-90: 40ms) wurden die Parameter Ventilation, Sauerstoffaufnahme, Kohlendioxidaufnahme und -abgabe usw. ermittelt.

4 Methodik

4.4.1.3 Herzfrequenz

Die Herzfrequenz wurde elektrokardiographisch über Brustwandelektroden durch einen 12-Kanalschreiber (QRS Card) der Firma pulse Biomedical ermittelt. Auf einem separaten Monitor konnten alle Ableitungen gleichzeitig beobachtet und laufend registriert werden. Durch diese ständige Kontrolle konnten Artefakte, ausgelöst durch enorme Oberkörperbewegungen, aber auch Herzveränderungen sofort identifiziert werden. Zudem war die Herzfrequenz ein wichtiges Merkmal für die Ausbelastung der Probanden, wobei vorrangig die maximale Pulsleistung von $220 - \text{Lebensalter}$ als Richtlinie benutzt wurde. Sicherlich war dies nur eines von mehreren Abbruchkriterien, die individuell verschieden waren.

Die Analogsignale der gemessenen Primärdaten wie Expirationsvolumen und Herzfrequenz wurden digitalisiert und zur weiteren Verarbeitung an den Computer weitergeleitet.

Wir eichten vor jeder Messung die Gasanalysatoren mit Eichgasen, um die Genauigkeit der Messung zu gewährleisten.

4.4.2 Laktatanalyse

Nachdem vor dem Versuch dem Patienten ein durchblutungsfördernde Salbe auf ein Ohrläppchen gerieben wurde, konnte hier während des Versuchs laufend Blut entnommen werden. Meist genügte ein Stich mit einer Lanzette, um minütlich während der Belastung und die darauf folgenden zehn Minuten jeweils $2 \mu\text{l}$ Blut zu entnehmen und in eine 2 ml -Küvette zu pipettieren.

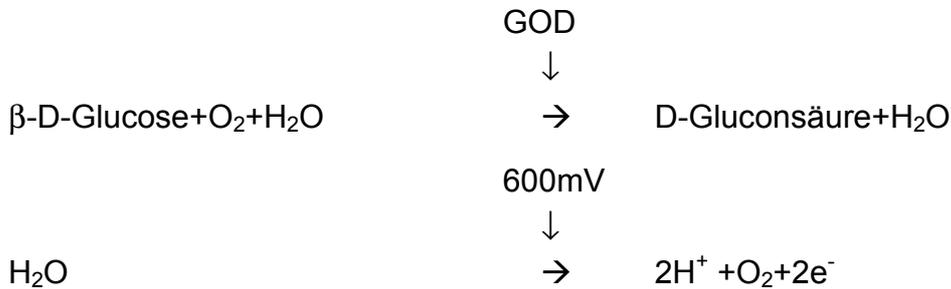
4.4.2.1 Grundlagen der Messung

Für die Laktatanalyse wurde EBIO 6666 verwendet. Es ist ein Gerät zur quantitativen Bestimmung von Laktat im Vollplasma oder Serum auf enzymatisch-amperometrischer Grundlage. Bei dieser Laktatbestimmung wurde die Konzentration einer elektrochemisch aktiven Substanz gemessen, die bei der irreversiblen Oxydation von Laktat zu Pyruvat durch das Enzym Laktatoxidase umgewandelt wurden.

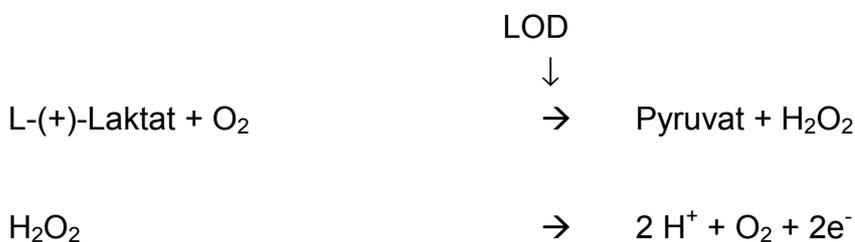
4 Methodik

Enzymatische Reaktion:

Grundlage:



Laktatmembran (LOD-Laktatoxidase):



4.4.2.2 Methodik zur Bestimmung der Laktatschwelle

Aus den Ruhewerten und den Werten, die noch im selben Niveau lagen ermittelten wir den Durchschnittswert. Der nächstfolgende Wert, der den bis dahin gemessenen Durchschnittswert mit einer Signifikanz von $p=0,05$ überschritten hat, legten wir als den Punkt der Laktatschwelle fest.

4.4.3 Statistische Verfahren zur Verarbeitung der wichtigen Parameter

Zunächst wurden bei allen Untersuchungswerten, getrennt nach den Sportlergruppen die Mittelwerte mit den Konfidenzintervallen und den Standardabweichungen errechnet und nach Normalverteilung untersucht. Da dies für den Grossteil der Ergebnisse nicht zutraf, entschieden wir uns für den nicht-parametrischen Test zum Vergleich der Mittelwerte. Im H-Test nach Kruskal und Wallis verglichen wir einen Wert zwischen den Gruppen; wenn dieser signifikante Unterschiede aufwies, gebrauchten wir den U-Test nach Mann und

4 Methodik

Whitney, um jeweils zwei Gruppen miteinander zu vergleichen und signifikante Unterschiede feststellen zu können.

Signifikanz:

$p > 0,05$	nicht signifikant
$p \leq 0,05$	signifikant
$p \leq 0,01$	sehr signifikant
$p \leq 0,001$	höchst signifikant

Um Korrelationen zwischen den Werten zu den unterschiedlichen Zeitpunkten herauszustellen, berechneten wir den Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman.

Wert:	Interpretation:
bis 0,2	sehr geringe Korrelation
bis 0,5	geringe Korrelation
bis 0,7	mittlere Korrelation
bis 0,9	hohe Korrelation
über 0,9	sehr hohe Korrelation

5 Ergebnisse

5.1 Herzfrequenz

a) In Ruhe unterschieden sich die vier Gruppen nicht signifikant voneinander, die Tendenz ist zwar zu erkennen, dass die Ausdauertrainierten eine niedrigere Herzfrequenz haben. Die Spannweiten innerhalb der Gruppen jedoch waren zu hoch, um eine Signifikanz festzustellen. Zudem ist die Tatsache überraschend, dass die Frequenzen im Allgemeinen so hoch liegen, obwohl wir versuchten die Probanden, nach Positionierung auf dem Ergometer sich in etwa 5 Minuten an die Bedingungen gewöhnen zu können.

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	83,00 ± 7,34	83,5 ± 11,5
Sprinter	81,12 ± 10,69	82,00 ± 16,83
Marathonläufer	77,24 ± 8,24	75,00 ± 18,11
Radrennfahrer	75,68 ± 6,92	74,00 ± 14,36

Tabelle 2: Mittelwerte der Herzfrequenz (Schläge/min) und die Mediane der 4 Gruppen in Ruhe

b) Im Schwellenbereich konnten teilweise signifikante ($p \leq 0,05$) Unterschiede festgestellt werden, obwohl auch hier die Streuung sehr hoch war. Vor allem die Marathonläufer setzten sich sowohl signifikant von den Unsportlichen, als auch von den Sprintern ab. Es wurden teilweise sehr niedrige Werte besonders von den älteren Sportlern erzielt. Diese gelangten aufgrund ihres niedrigeren Maximalpulses bei niedrigeren Pulsen an die anaerobe Schwelle. Die Trainierten im Kraft- und Ausdauerbereich setzten sich ebenso signifikant von den Sprintern ab. Diese müssen für kurze Antritte ihre aerobe Kapazität nicht so sehr beanspruchen.

5 Ergebnisse

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	149,67 ± 9,84	152,50 ± 16,11
Sprinter	151,67 ± 5,20	149,00 ± 8,18
Marathonläufer	162,95 ± 7,29	161,00 ± 16,02
Radrennfahrer	160,42 ± 7,10	161,00 ± 14,66

Tabelle 3: Die Mittelwerte der Herzfrequenz (Schläge/min) und die Mediane der 4 Gruppen an der anaeroben Schwelle

c) Bei Maximalbelastung konnte man die Mittelwerte der Gruppen nicht signifikant voneinander abgrenzen:

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	182,25 ± 5,61	185,00 ± 8,82
Sprinter	184,17 ± 2,89	184,00 ± 4,39
Marathonläufer	186,67 ± 5,64	186,00 ± 12,39
Radrennfahrer	189,05 ± 5,30	191,00 ± 10,99

Tabelle 4: Die Mittelwerte der Herzfrequenz (Schläge/min) und die Mediane der 4 Gruppen bei maximaler Belastung

Allgemein ist es schwer diesen Parameter richtig zu deuten, da die interindividuellen Unterschiede des Maximalpulses stark variieren können. Zudem spielt dabei, wie schon erwähnt, das Alter eine große Rolle.

d) Die Werte in der Erholungsphase nach 5 Minuten waren nicht voneinander abzugrenzen. Auch hier war eine enorme Streuung zu verzeichnen gewesen. Grund dafür ist wahrscheinlich die lange Zeitspanne von 5 Minuten, in der sich der Puls wieder regenerieren kann.

5 Ergebnisse

	Mittel:
Nichtsportler	115,17 ± 6,23
Sprinter	113,50 ± 5,49
Marathonläufer	117,14 ± 8,50
Radrennfahrer	114,05 ± 3,92

Tabelle 5: Die Mittelwerte der Herzfrequenz (Schläge/min) der 4 Gruppen nach 5 Minuten Erholung

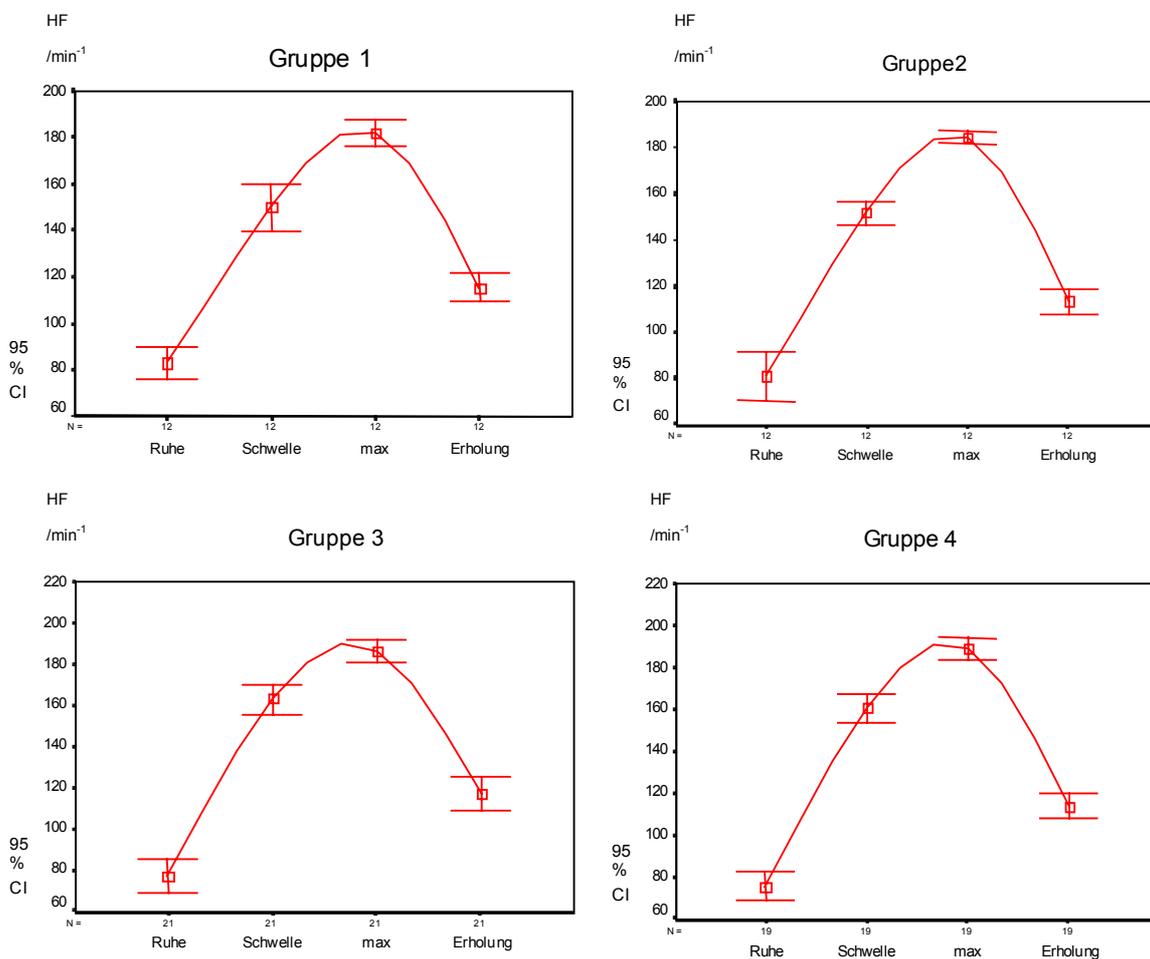


Abbildung 5: Die Herzfrequenz (Schläge/min) der verschiedenen Gruppen bei den Werten Ruhe, Schwelle, Maximalbelastung und Erholung mit Konfidenzintervallen

5 Ergebnisse

5.1.1.1 Korrelationen zwischen der maximalen Herzfrequenz und dem Alter

Das Alter korrelierte mit der maximalen Herzfrequenz nur in Gruppe 3 ($r=-0,725$; $p\leq 0,01$) und 4 ($r=-0,639$; $p\leq 0,01$). Bei den anderen beiden Gruppen kann die allgemeine Regel nicht angewandt werden. In Gruppe 1 und 2 wurde der Test häufig wegen Muskelermüdung abgebrochen, wo vielleicht eine Herzfrequenzsteigerung noch möglich gewesen wäre.

5.2 Der Sauerstoffpuls (ml / Herzschlag)

Dieser Wert war im Bereich der maximalen Sauerstoffaufnahme am interessantesten. Die Gruppe 1 unterschied sich sehr signifikant von allen anderen Gruppen. Außerdem war ein deutlicher Unterschied ($p\leq 0,05$) zwischen den Gruppen 2 und 3 zu verzeichnen. Gruppe 4 zeigte keine Unterschiede zu den Gruppen 2 und 3.

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	15,59 ± 1,13	15,55 ± 1,77
Sprinter	18,84 ± 1,67	18,30 ± 2,63
Marathonläufer	20,65 ± 1,15	20,70 ± 2,54
Radrennfahrer	20,29 ± 1,69	21,00 ± 3,51

Tabelle 6: Die Mittelwerte des Sauerstoffpulses (ml / Herzschlag) und die Mediane der 4 Gruppen bei maximaler Belastung

5 Ergebnisse

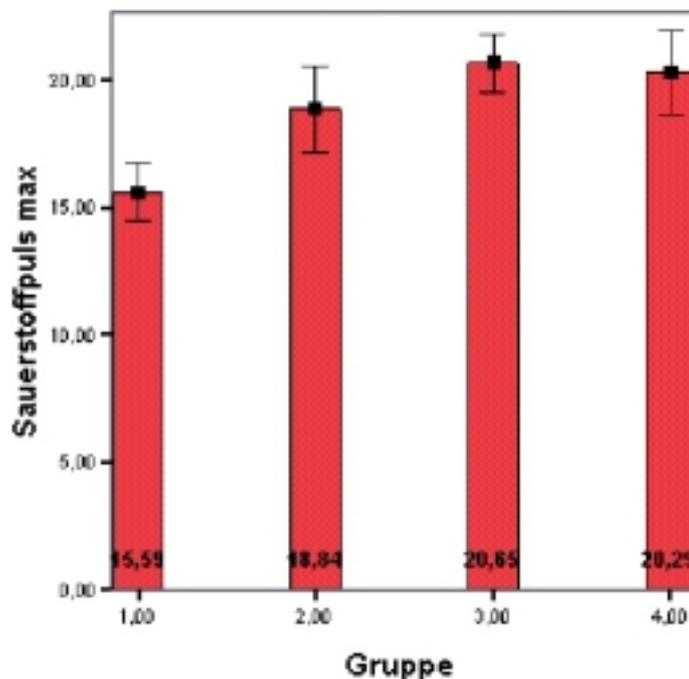


Abbildung 6: Die Mittelwerte des maximalen Sauerstoffpulses (ml / Herzschlag) bei den verschiedenen Gruppen

5.3 Laktatwerte (mmol/l)

a) Die Laktatwerte in Ruhe unterscheiden sich kaum voneinander. Die Testpersonen wurden zwar gebeten, direkt vor dem Test kein extremes Training zu absolvieren, da sich aber alle in Wettkampfvorbereitung befanden, war dies fast nicht möglich. Unter anderem deshalb waren die Ruhelaktatwerte auch etwas höher als es in der Literatur beschrieben wurde. Wegen dieser Tatsache entschieden wir uns dafür, die Laktatwerte b), c), d) als Δ -Werte anzugeben.

	Mittel:
Nichtsportler	0,96 \pm 0,23
Sprinter	1,08 \pm 0,24
Marathonläufer	1,06 \pm 0,42
Radrennfahrer	1,14 \pm 0,36

Tabelle 7: Die Mittelwerte des Laktats (mmol/l) der 4 Gruppen in Ruhe

5 Ergebnisse

b) An der anaeroben Schwelle waren die Δ -Laktatwerte hingegen bei manchen Fällen sehr unterschiedlich. Einen sehr signifikanten Unterschied konnten zwischen den Nichtsportlichen und den Sprintern herausgestellt werden. Die auf Kraft und Ausdauer Trainierten unterschieden sich signifikant von den Unsportlichen. Sie konnten sich aber nicht von den Sprintern absetzen, was die Kraftkomponente dieser Gruppe bewies. Aufgrund dessen unterschieden sich die reinen Sprinter auch hochsignifikant von den Marathonläufer.

	Mittel:
Nichtsportler	1,30 ± 0,42
Sprinter	1,8 ± 0,2
Marathonläufer	1,25 ± 0,53
Radrennfahrer	1,6 ± 0,4

Tabelle 8: Die Mittelwerte des Laktats (mmol/l) der 4 Gruppen an der anaeroben Schwelle

c) Wenn sich im maximalen Leistungsbereich Unterschiede bemerkbar machten, dann gleich mit $p < 0,001$ (1.: $6,27 \pm 0,93$; 2.: $8,7 \pm 1,9$; 3.: $6,24 \pm 0,75$; 4.: $9,01 \pm 0,81$). Der Median der Gruppe 3 lag bei $6,39 \pm 1,63$, bei Gruppe 4 lag er bei $8,81 \pm 1,68$; bei den anderen beiden Gruppen war die Streuung zu vernachlässigen. Die höchsten Laktatwerte wurden bei den Gruppen 2 und 4 erzielt, also wieder die Sportler mit einer enormen Kraftkomponente in der Trainingsstrategie. Die Gruppen 1 und 3 unterschieden sich nicht, während die beiden Gruppenpaare untereinander hochsignifikant verschiedene Ergebnisse zeigten.

5 Ergebnisse

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	6,27 ± 0,93	6,25 ± 0,95
Sprinter	8,7 ± 1,9	8,73 ± 1,93
Marathonläufer	6,24 ± 0,75	6,39 ± 1,63
Radrennfahrer	9,01 ± 0,81	8,81 ± 1,68

Tabelle 9 Die Mittelwerte des Laktats (mmol/l) und die Mediane der 4 Gruppen bei maximaler Belastung

d) In der Ruhephase nach fünf Minuten war die Höhe des Laktats in allen Gruppen gestiegen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das im Muskel produzierte Laktat nicht sofort ins Blut gelangt, sondern erst mit einer Zeitverzögerung messbar wird. Zu den Nichtsportler wiesen die Sprinter einen höchst signifikant unterschiedlichen Mittelwert auf, während sich die nicht von der ersten, sehr wohl aber von der zweiten Gruppe unterschieden. Die vierte Gruppe unterschied sich von der ersten und dritten ($p \leq 0,001$), nicht aber von der zweiten Gruppe.

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	6,40 ± 1,54	5,67 ± 2,34
Sprinter	8,85 ± 2,17	8,85 ± 2,17
Marathonläufer	6,74 ± 1,51	6,58 ± 1,64
Radrennfahrer	9,45 ± 1,50	9,36 ± 1,50

Tabelle 10: Die Mittelwerte des Laktats (mmol/l) und die Mediane der 4 Gruppen nach 5 Minuten Erholung

5 Ergebnisse

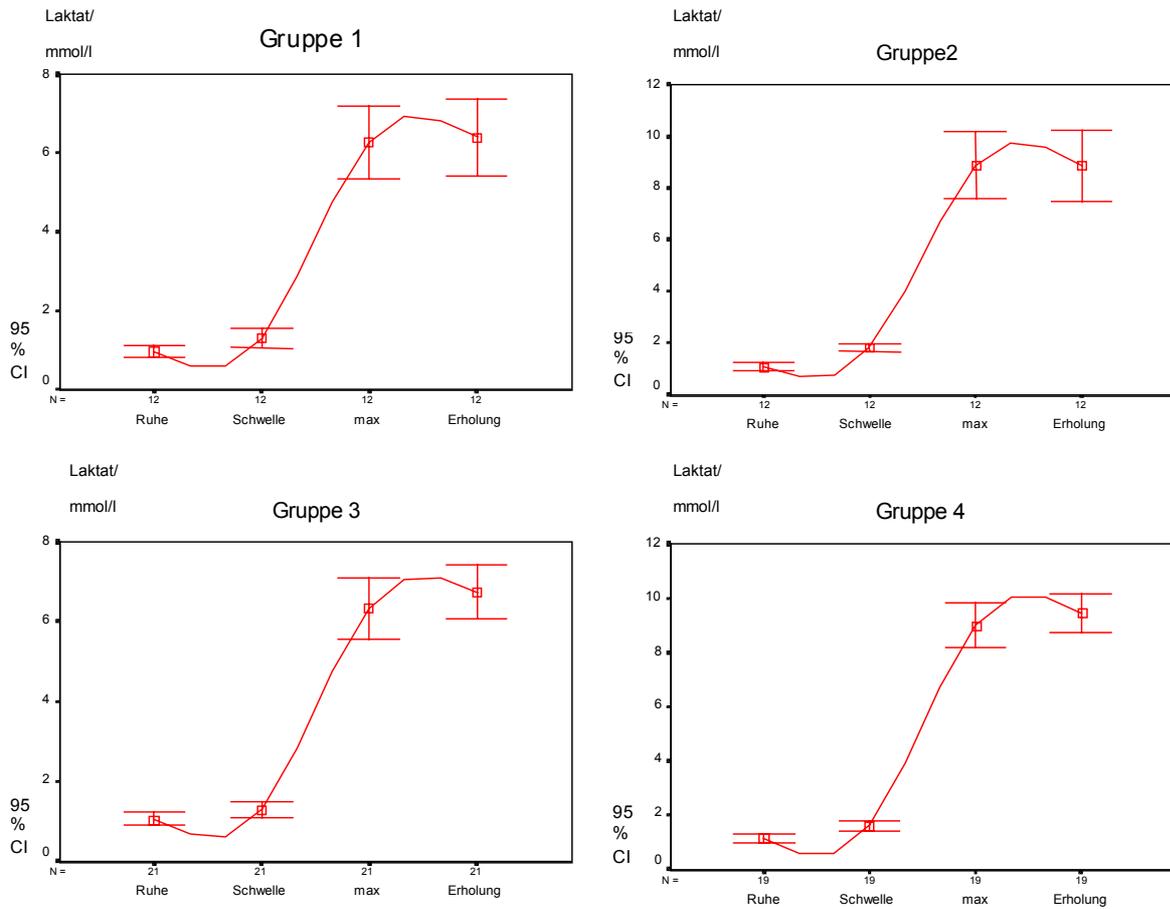


Abbildung 7: Die Laktatwerte (mmol/l) der verschiedenen Gruppen zu den unterschiedlichen Zeiten mit Konfidenzintervallen

In der direkten Gegenüberstellung wurden die Unterschiede deutlicher:

5 Ergebnisse

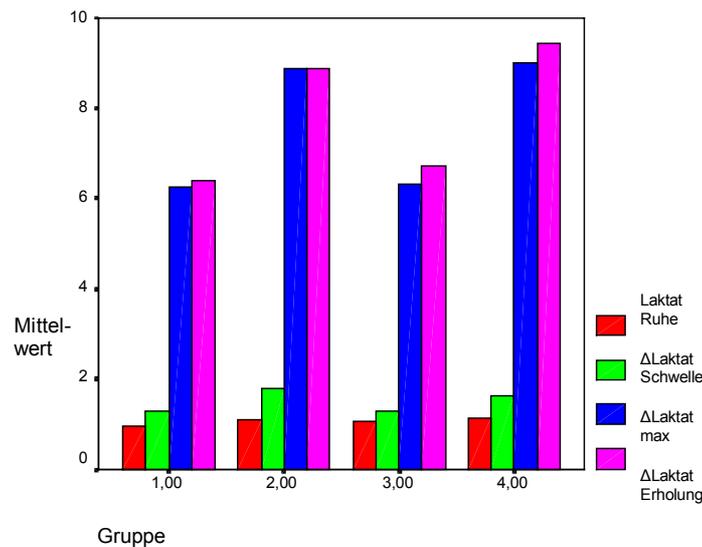


Abbildung 8: Die direkte Gegenüberstellung der mittleren Laktatwerte (mmol/l) der unterschiedlichen Gruppen zu den verschiedenen Zeiten

5.3.1 Korrelationen zwischen Herzfrequenz und Δ Laktat

Korrelationen zwischen Herzfrequenz und Laktat waren in Gruppe 4 gar nicht aufzuweisen. Dafür konnten in Gruppe 1 eine negative Korrelation zwischen maximaler Herzfrequenz und Δ -Ruhelaktatwert ($r=-0,749$; $p\leq 0,01$) festgestellt werden. In Gruppe 2 besteht eine Korrelation zwischen HF an der Schwelle und dem Δ -Schwellenlaktatwert ($r=0,644$; $p\leq 0,05$). Bei Gruppe 3 waren die engsten Beziehungen zwischen den Parametern HF und Δ -Laktat vorzuweisen. Die Herzfrequenz korrelierte an der Schwelle mit dem Δ -Laktatschwellenwert ($r=0,612$; $p\leq 0,01$) und mit dem Δ -Laktatmaximalwert ($r=0,542$; $p\leq 0,05$). Ebenso korrelierte HF_{max} mit dem Δ -Laktatschwellenwert ($r=0,610$; $p\leq 0,01$) und mit dem Δ -Laktatmaximalwert ($r=0,531$; $p\leq 0,05$).

Im Gesamtkollektiv ist im Maximalbereich eine Korrelation von $r=0,283$ mit $p\leq 0,05$. Im Schwellenbereich war keine signifikante Abhängigkeit festzustellen.

5 Ergebnisse

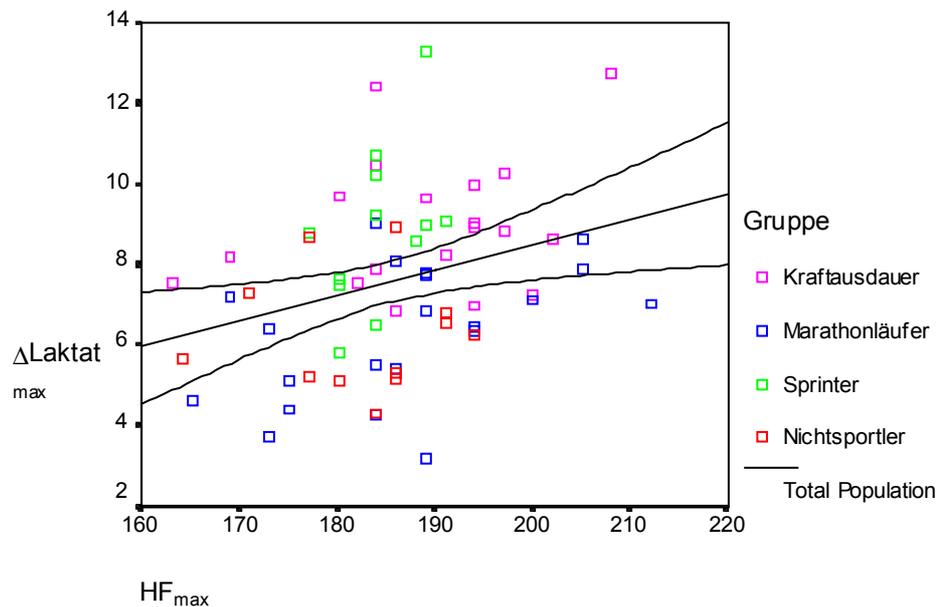


Abbildung 9: Korrelation von HF und Δ Laktat (mmol/l) beim Maximum im Gesamtkollektiv

5.4 Ventilationswerte

5.4.1 Atemzugvolumen (l / Atemzug)

a) Das Atemzugvolumen in Ruhe der Gruppe 1 war sehr signifikant verschieden zu allen anderen Gruppen. Die anderen Gruppen untereinander waren nicht signifikant verschieden.

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	0,66 ± 0,17	0,57 ± 0,27
Sprinter	0,69 ± 0,08	0,71 ± 0,13
Marathonläufer	0,85 ± 0,12	0,80 ± 0,27
Radrennfahrer	0,91 ± 0,14	0,80 ± 0,30

Tabelle 11: Die Mittelwerte und die Mediane der 4 Gruppen des Atemzugsvolumens (l / Atemzug) in Ruhe

5 Ergebnisse

b) Diese Tatsache blieb auch bei der Laktatschwelle erhalten. Wieder waren die Unterschiede zu Gruppe 1 sehr signifikant verschieden. Die anderen Gruppen zeigten keine eindeutigen Unterschiede.

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	1,84 ± 0,14	1,80 ± 0,21
Sprinter	2,40 ± 0,37	2,31 ± 0,34
Marathonläufer	2,43 ± 0,20	2,36 ± 0,21
Radrennfahrer	2,64 ± 0,38	2,52 ± 0,60

Tabelle 12: Die Mittelwerte und die Mediane der 4 Gruppen des Atemzugvolumens (l / Atemzug) an der Laktatschwelle

c) Unterschiede zwischen den Gruppen 3 und 4 konnten in diesem Bereich festgestellt werden ($p \leq 0,05$). Auch hier war Gruppe 1 signifikant verschieden zu allen anderen Gruppen.

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	2,28 ± 0,19	2,32 ± 0,33
Sprinter	2,94 ± 0,31	3,07 ± 0,49
Marathonläufer	2,67 ± 0,21	2,66 ± 0,23
Radrennfahrer	3,20 ± 0,49	3,11 ± 1,03

Tabelle 13: Die Mittelwerte und Mediane des Atemzugvolumens der 4 Gruppen am Maximalpunkt

5 Ergebnisse

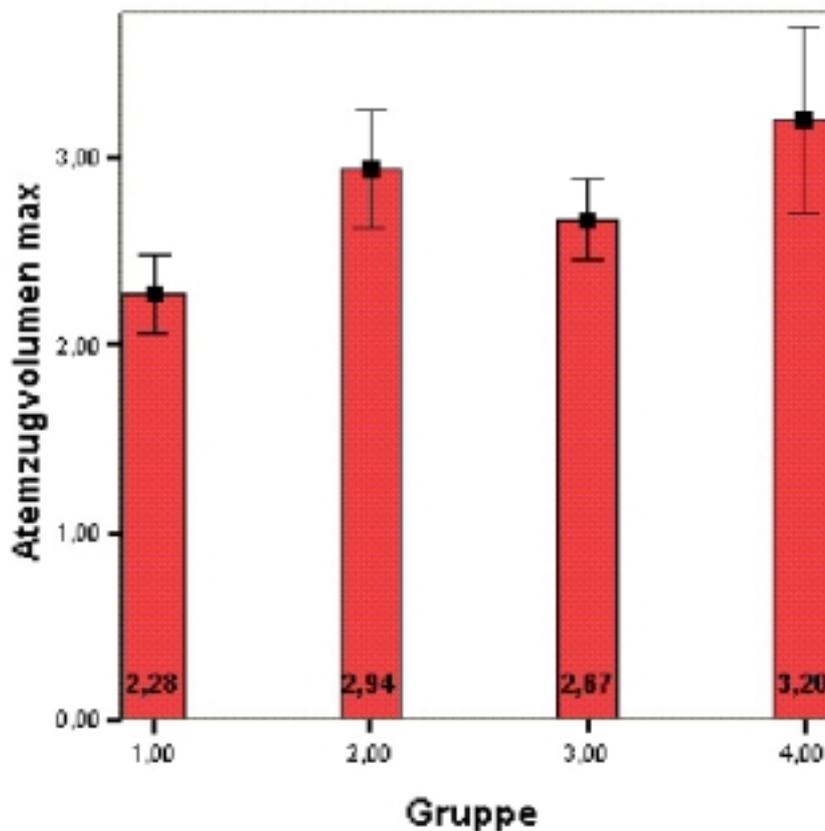


Abbildung 10: Mittelwerte des maximalen Atemzugvolumens (l / Atemzug) mit Konfidenzintervalle der 4 Gruppen

d) Signifikante Unterschiede waren hier nur zur Gruppe 1 gegeben. Die andere Gruppen unterschieden sich untereinander nicht.

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	0,91 ± 0,07	0,89 ± 0,10
Sprinter	1,12 ± 0,14	1,08 ± 0,22
Marathonläufer	1,19 ± 0,16	1,19 ± 0,34
Radrennfahrer	1,36 ± 0,33	1,17 ± 0,48

Tabelle 14: Die Mittelwerte und Mediane der 4 Gruppen des Atemzugvolumens (l / Atemzug) in der Erholungsphase

5 Ergebnisse

Aufgrund der großen Streuung innerhalb der Gruppe 4, besteht kein signifikanter Unterschied zu den anderen Gruppen.

5.4.2 Atemminutenvolumen (l / min)

a) Das Mittel aller Ruhewerte unterschied sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$).

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	11,7 ± 1,4	11,40 ± 2,29
Sprinter	12,8 ± 2,3	11,60 ± 3,62
Marathonläufer	13,97 ± 1,40	13,60 ± 3,06
Radrennfahrer	13,99 ± 1,93	12,40 ± 4,02

Tabelle 15: Die Mittelwerte und Mediane der 4 Gruppen des Atemminutenvolumens (l / min) in Ruhe

b) Schon bei der anaeroben Schwelle machte sich das Training und die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Gruppen bemerkbar. Die Spitzenreiter waren die Marathonläufer, die sich höchst signifikant von den beiden ersten Gruppen unterschieden. Die vierte zeigte ebenfalls höchst signifikante Unterschiede zu Gruppen eins und zwei, somit aber keine zu Gruppe drei. Auch Gruppen eins und zwei zeigten Unterschiede ($p \leq 0,05$). Hier lässt sich schon die möglichen Reserven der einzelnen Sportlergruppen voraussehen. Da die Sauerstoffaufnahme parallel zur Leistung ansteigt, lässt sich erkennen, dass die auf Ausdauer trainierten Sportler weit später ihre anaerobe Schwelle haben.

5 Ergebnisse

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	44,92 ± 3,82	46,35 ± 6,02
Sprinter	54,60 ± 5,95	53,05 ± 9,36
Marathonläufer	74,36 ± 5,78	75,10 ± 12,67
Radrennfahrer	70,37 ± 5,71	73,60 ± 11,82

Tabelle 16: Die Mittelwerte und Mediane der 4 Gruppen des Atemminutenvolumens (l / min) an der anaeroben Schwelle

c) Noch deutlicher wurden die Differenzen bei Betrachtung der maximalen Leistung. Bei der vierten Gruppe war eine enorme Streuung bei der Standardabweichung zu erkennen, die durch einen Maximalwert von 181,1 begründet ist. Dazu wies die dritte Gruppe keine enormen Unterschiede auf, wobei auch hier eine große Streuung vorlag. Beide Gruppen unterschieden sich höchst signifikant von den Nichtsportlern, Gruppe vier war signifikant ($p \leq 0,05$) verschieden von den Sprintern.

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	81,43 ± 11,50	78,55 ± 18,17
Sprinter	107,18 ± 17,63	101,15 ± 27,74
Marathonläufer	123,46 ± 12,27	118,50 ± 26,95
Radrennfahrer	135,3 ± 11,8	138,40 ± 24,57

Tabelle 17: Die Mittelwerte und Mediane der 4 Gruppen des Atemminutenvolumens (l / min) bei maximaler Belastung

d) In der Erholung fiel \dot{V}_E bei allen stark ab. Die Streuung in den Gruppen 3 und 4 war relativ hoch, so dass gerade zwischen den Gruppen 1 / 3, 2 / 3 und 2 / 4 keine nennenswerten Unterschiede festgestellt werden konnten. Gruppe 4 unterschied sich von den Marathonläufern signifikant und von den Sprintern höchstsignifikant. Verschieden waren die Gruppen 1 und 2

5 Ergebnisse

($p \leq 0,05$). Die Ruhewerte waren bei jüngeren Probanden relativ rasch erreicht, so dass hier auch Unterschiede aufgrund des Alters entstanden. Zudem geben diese Werte Aufschluss auf die vorherig erreichte Höchstbelastung und auch auf die Ausbelastung. Je schneller und je tiefer die Werte fallen, desto weniger waren die Probanden ausgelastet. Ein Grund dafür ist das Abbruchkriterium Muskelschwäche. Dies hat nichts mit der konditionellen Verfassung des Sportlers zu tun.

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	20,53 ± 1,98	19,50 ± 3,11
Sprinter	24,50 ± 2,56	23,70 ± 4,03
Marathonläufer	27,22 ± 6,59	21,50 ± 14,49
Radrennfahrer	30,11 ± 5,37	27,00 ± 11,13

Tabelle 18: Die Mittelwerte und Mediane der 4 Gruppen des Atemminutenvolumens (l / min) nach 5 Minuten Ruhe

5 Ergebnisse

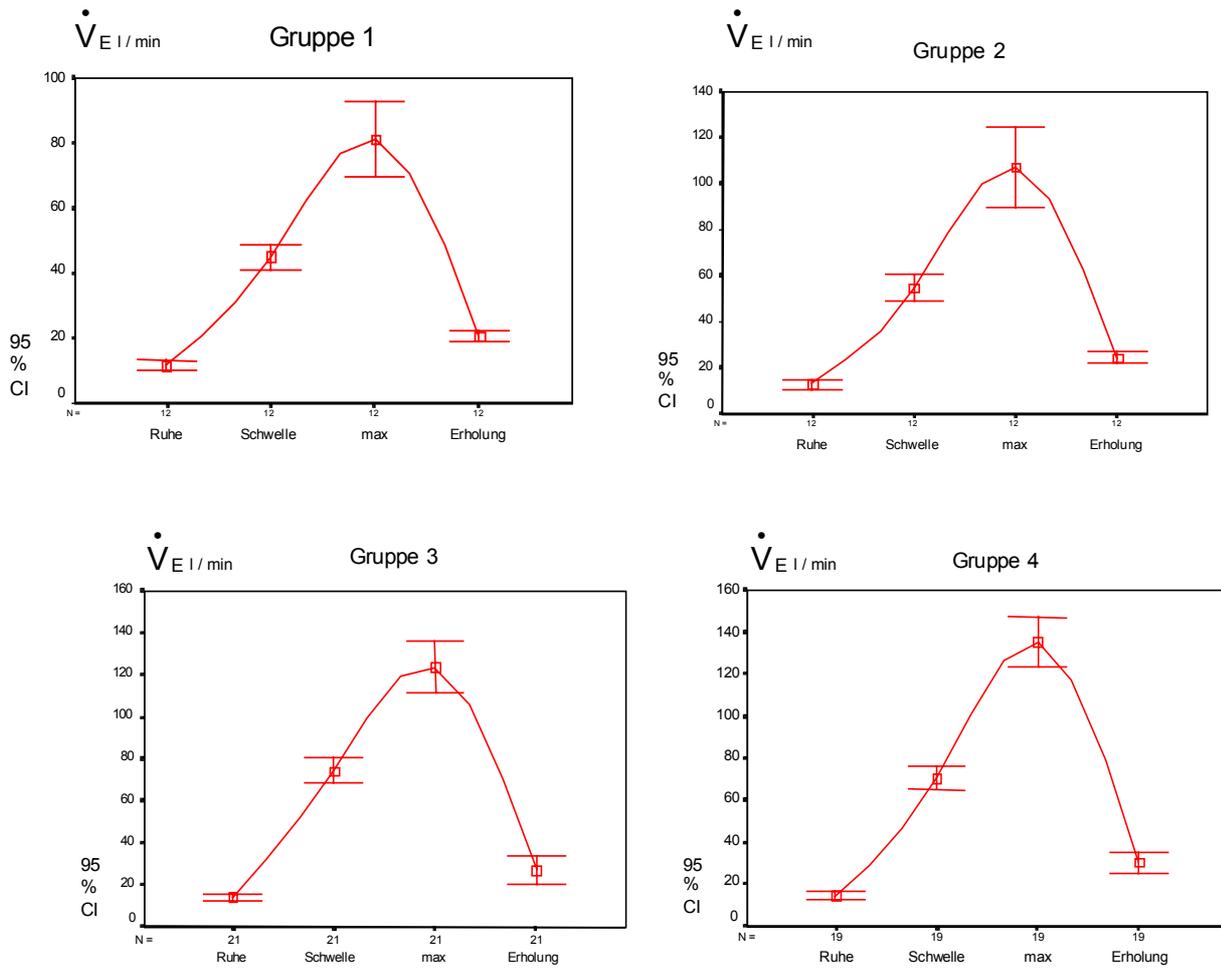


Abbildung 11: Die Mittelwerte des Atemminutenvolumens der 4 Gruppen zu den verschiedenen Zeiten mit Konfidenzintervallen

5.4.3 Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg Körpergewicht)

- a) In Ruhe unterscheiden sich die Werte kaum voneinander, bis auf Gruppen 1 und 3 ($p \leq 0,01$).

5 Ergebnisse

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	5,40 ± 0,71	5,40 ± 0,71
Sprinter	5,50 ± 1,24	5,65 ± 1,24
Marathonläufer	6,80 ± 1,59	6,60 ± 1,59
Radrennfahrer	6,15 ± 1,74	5,90 ± 1,54

Tabelle 19: Die Mittelwerte und die Mediane der 4 Gruppen der Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg KG) in Ruhe

b) An der Schwelle war der Zuwachs der Sauerstoffaufnahme, bis auf Gruppen 3 und 4 recht unterschiedlich. Die Nichtsportler unterschieden sich von allen anderen (1 zu 2: $p \leq 0,05$; 1 zu 3: $p \leq 0,001$; 1 zu 4: $p \leq 0,001$). Auch die Sprinter unterschieden sich von beiden Gruppen, die ausschließlich oder kombinierten Ausdauersport betrieben (zwischen 2 und 3, 2 und 4 ist jeweils $p \leq 0,001$).

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	20,0 ± 4,9	20,05 ± 4,88
Sprinter	24,6 ± 4,9	24,31 ± 4,94
Marathonläufer	37,8 ± 7,1	38,40 ± 7,12
Radrennfahrer	34,0 ± 6,2	34,60 ± 6,17

Tabelle 20: Die Mittelwerte und die Mediane der 4 Gruppen der Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg KG) an der anaeroben Schwelle

c) Die größten Differenzen zwischen den Gruppen waren in diesem Bereich festzustellen, da sich alle voneinander höchstsignifikant unterschieden. Hier waren auch die Nichtsportler von den Sprintern verschieden ($p \leq 0,01$). Nur die beiden Gruppen 3 und 4 zeigten keine Unterschiede, zudem waren sie noch weiter gestreut als die beiden ersten Gruppen.

5 Ergebnisse

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	32,10 ± 3,46	32,10 ± 5,45
Sprinter	38,62 ± 3,42	37,60 ± 5,39
Marathonläufer	49,55 ± 3,83	52,0 ± 8,5
Radrennfahrer	47,36 ± 3,34	44,40 ± 6,94

Tabelle 21: Die Mittelwerte und die Mediane der 4 Gruppen der Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg KG) bei maximaler Belastung

d) Die Unterschiede blieben auch in der Ruhephase recht eindeutig. Auch hier war der Unterschied zwischen 1 und 2 mit $p \leq 0,01$ und bei den übrigen Konstellationen lag p bei 0,001, bis auf die Gruppen 3 und 4, die sich kaum unterschieden. Auch hier waren bei den Mittelwerten bzw. die Medianen wieder große Streuungen zu verzeichnen; außerdem wird deutlich, dass die Werte nach Belastung nicht so schnell wieder zurückgehen, da offensichtlich noch eine hohe O_2 -Schuld besteht.

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	31,56 ± 5,70	32,90 ± 2,34
Sprinter	38,15 ± 6,00	37,6 ± 6,0
Marathonläufer	48,68 ± 9,60	50,4 ± 9,6
Radrennfahrer	46,79 ± 6,83	44,30 ± 6,83

Tabelle 22: Die Mittelwerte und die Mediane der 4 Gruppen der Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg KG) nach 5 Minuten in Ruhe

5 Ergebnisse

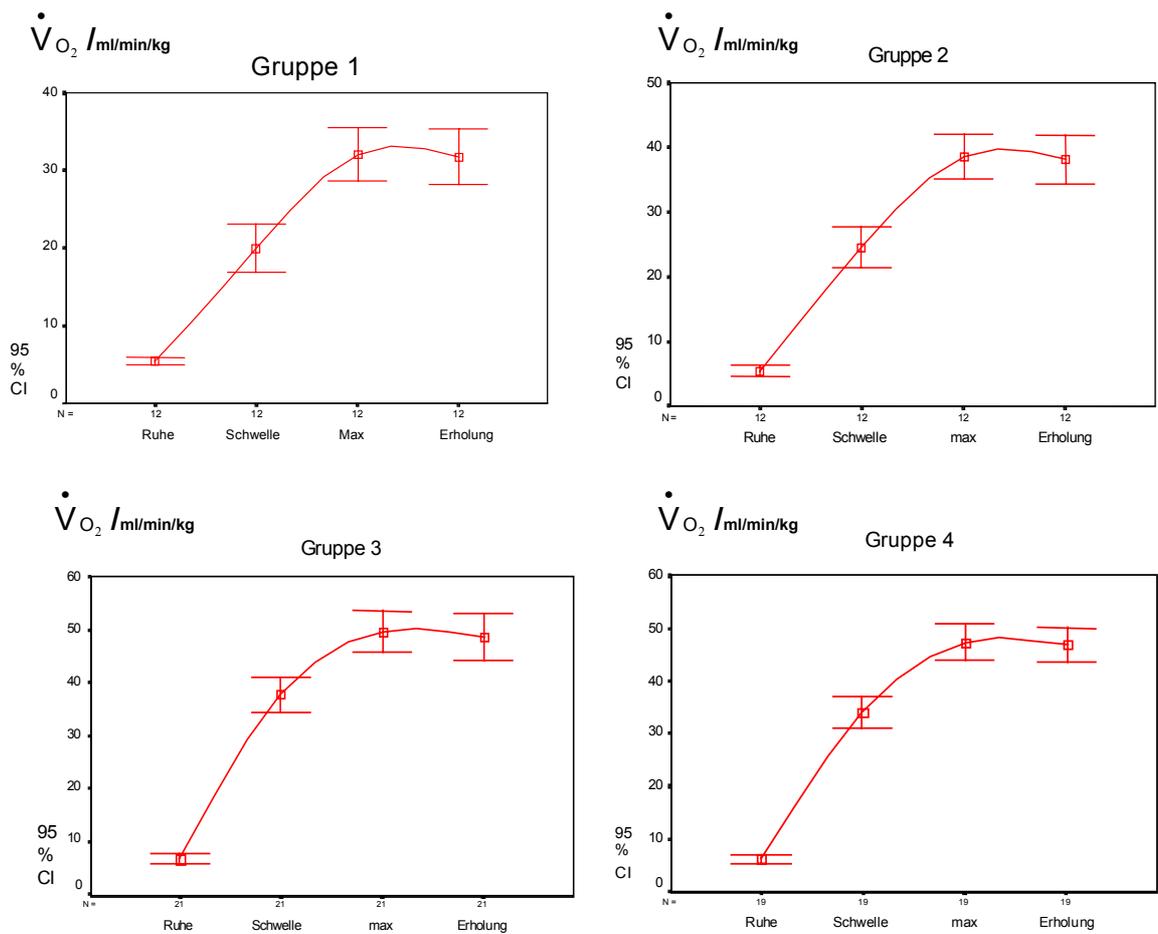


Abbildung 12: Die Mittelwerte der 4 Gruppen der Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg KG) mit Konfidenzintervallen

Die Gruppen erreichten bis zur Schwelle einen unterschiedlich hohen prozentualen Anteil des $\dot{V}_{O_2 \max}$:

Nichtsportler	62,3 %
Sprinter	63,7 %
Marathonläufer	76,3 %
Radrennfahrer	71,8 %

Tabelle 23: Erreichte Prozentzahl des $\dot{V}_{O_2 \max}$ bis zur Schwelle der 4 Gruppen

5 Ergebnisse

Im Diagramm wird dies deutlicher:

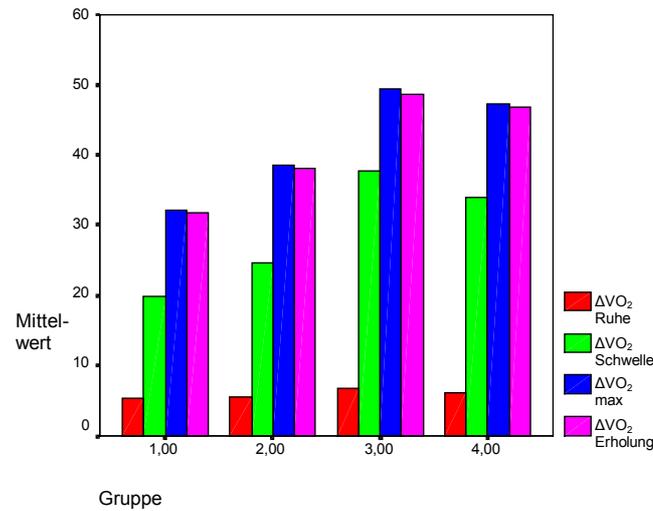


Abbildung 13: Mittelwerte der Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg KG) der 4 Gruppen zu den verschiedenen Zeiten

5.4.3.1 Korrelationen zwischen Herzfrequenz und $\Delta \dot{V}_{O_2}$

Die Herzfrequenz in Ruhe korrelierte mit $\Delta \dot{V}_{O_2 \text{ Schwelle}}$ bei Gruppe 2 negativ ($r = -0,656$; $p \leq 0,01$). Diese negative Korrelation setzte sich fort bei $\Delta \dot{V}_{O_2 \text{ max}}$ und HF_{Ruhe} in Gruppe 2 ($r = -0,830$; $p \leq 0,01$), während in diesen Bereichen in den anderen Gruppen keine negativen Korrelationen festgestellt werden konnten.

$\Delta \dot{V}_{O_2 \text{ max}}$ korrelierte mit HF_{Schwelle} in Gruppe 1 ($r = 0,674$; $p \leq 0,05$), 3 ($r = 0,612$; $p \leq 0,01$) und 4 ($r = 0,611$; $p \leq 0,01$). Im Verlauf korrelierte dann $\Delta \dot{V}_{O_2 \text{ max}}$ mit HF_{max} in den Gruppen 1 ($r = 0,733$; $p \leq 0,01$) und 3 ($r = 0,610$; $p \leq 0,01$).

Das Gesamtkollektiv korreliert im Maximalbereich der Werte mit $r = 0,491$ und $p \leq 0,01$. Im Schwellenbereich fand sich sogar eine Korrelation von $r = 0,664$ mit $p \leq 0,01$.

5 Ergebnisse

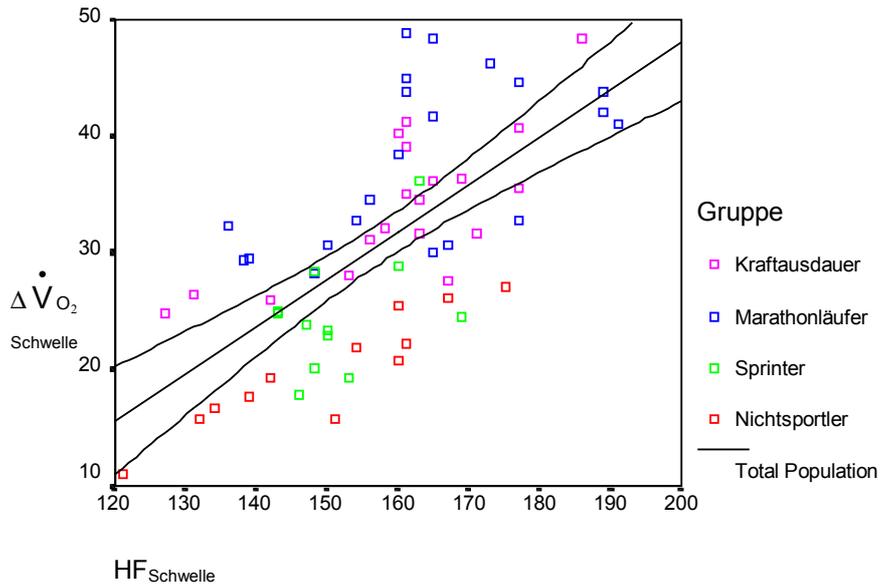


Abbildung 14: Korrelation von $\Delta \dot{V}_{O_2}$ (ml/min/kg KG) und Herzfrequenz im Schwellenbereich mit einem Konfidenzintervall von 95 %

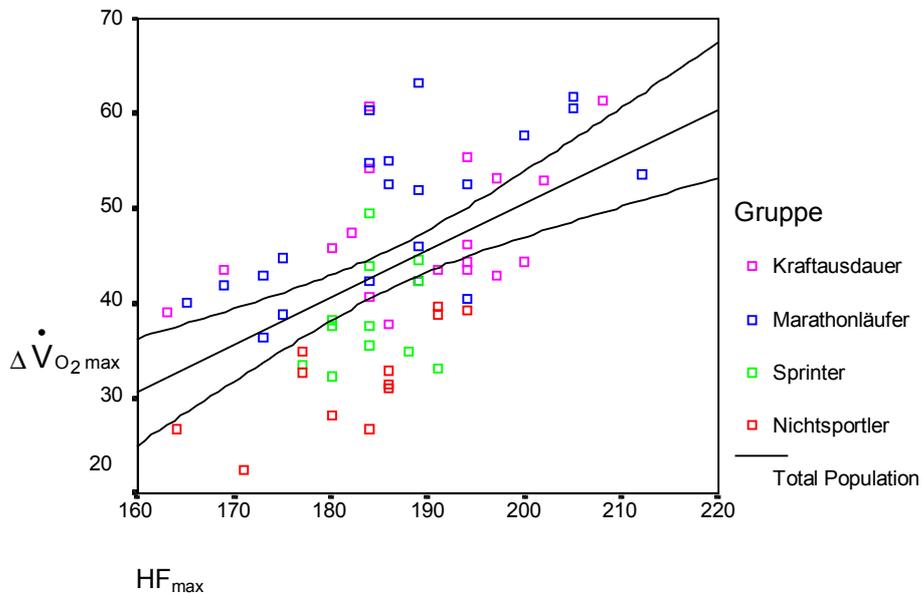


Abbildung 15: Korrelation von $\Delta \dot{V}_{O_2 \max}$ (ml/min/kg KG) und HF_{max} mit dem Konfidenzintervall von 95 %

5 Ergebnisse

5.4.3.2 Korrelationen zwischen $\Delta \dot{V}_{O_2}$ und Δ Laktat

Die Zusammenhänge zwischen $\Delta \dot{V}_{O_2}$ und Δ Laktat werden zuerst behandelt. In der ersten Gruppe fiel eine Korrelation auf, die bei den anderen Gruppen so nicht zu finden war. Eine negative Korrelation besteht zwischen $\Delta \dot{V}_{O_2 \text{ Schwelle}}$ und Laktat_{Ruhe} ($r = -0,620$; $p \leq 0,05$), d.h. je größer $\Delta \dot{V}_{O_2}$ an der Schwelle war, desto kleiner war der Ruhelaktatwert. Bei Gruppe 4 korrelierten diese Werte positiv ($r = 0,495$; $p \leq 0,05$).

Korrelationen bestanden bei den Gruppen 2, 3 ($r = 0,578$; $p \leq 0,05$) und 4 ($r = 0,706$; $p \leq 0,01$) im Bereich von $\dot{V}_{O_2 \text{ max}}$ und Laktat_{max}. Beim Gesamtkollektiv besteht eine Korrelation beider Werte mit $r = 0,373$ und $p \leq 0,01$ (vgl. Abb. 15).

Eine sehr hohe Korrelation bestand bei den Sprintern ($r = 0,734$; $p \leq 0,01$) und bei den Kraftausdauersportlern ($r = 0,750$; $p \leq 0,01$) zwischen den Werten $\Delta \dot{V}_{O_2 \text{ Schwelle}}$ und Laktat_{max}. Das bedeutet also, je später die Schwelle erreicht war, desto höher war das Laktat am Ende. Dies konnte nur bei den ganz oder teilweise auf Kraft Trainierten erreicht werden. Die Laktatwerte steigen bei diesen nach der anaeroben Schwelle mit der Leistung stärker an als bei den Ausdauersportlern.

5.4.3.3 Frequenz der Atemzüge

a) In Ruhe unterschieden sich diese kaum voneinander. Die Werte sind recht hoch. Dies liegt daran, dass die Probanden diesen Test nicht kannten und vielleicht recht aufgeregt waren.

5 Ergebnisse

	Mittel:
Nichtsportler	18,8 ± 2,7
Sprinter	18,6 ± 2,6
Marathonläufer	17,2 ± 1,9
Radrennfahrer	16,3 ± 2,3

Tabelle 24: Mittelwerte der Frequenz der Atemzüge der 4 Gruppen in Ruhe

b) Die Frequenz stieg unterschiedlich stark bis zur Schwelle, da die Schwellen zu verschiedenen Zeiten erreicht wurden. Signifikante Unterschiede konnten nur zwischen 1 und 3 und zwischen 2 und 3 festgestellt werden ($p \leq 0,005$). Außerdem war die Streuung bei den Gruppen 3 und 4 besonders hoch, so dass es in diesem Bereich schon zu Maximalwerten von 44, im Gegensatz zu den Minimalwerten von 16. Die höchsten Werte wurden von weniger erfahrenen Hochleistungssportlern erreicht.

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	24,50 ± 1,93	24,50 ± 3,03
Sprinter	23,83 ± 3,82	25,00 ± 6,16
Marathonläufer	31,52 ± 3,22	33,00 ± 7,06
Radrennfahrer	28,26 ± 3,86	29,00 ± 7,61

Tabelle 25: Mittelwerte der Frequenz der Atemzüge und Mediane der 4 Gruppen an der anaeroben Schwelle

c) Auch bei Maximalbelastung besteht ein leistungsbezogener Unterschied zwischen den Gruppen, die länger durchhalten konnten und denen, die eher abbrechen mussten. Innerhalb aller Gruppen lag eine hohe Streuung vor, die sowohl vom Trainingszustand, als auch von der Routine abhing. Gruppe 1 erreichte ein Maximum von 45 und ein Minimum von 28, Gruppe 2 lag bei einem Maximum von 50 und einem Minimum von 20, Gruppe 3 bei dem Maximum von 69 und dem Minimum von 28 und die Gruppe 4 zeigte ein Maximum von 79 und ein Minimum von 26.

5 Ergebnisse

	Mittel:
Nichtsportler	35,83 ± 3,68
Sprinter	36,92 ± 5,24
Marathonläufer	47,1 ± 5,15
Radrennfahrer	45,52 ± 7,16

Tabelle 26: Mittelwerte der Frequenz der Atemzüge der 4 Gruppen bei maximaler Belastung

d) In Ruhe waren die Unterschiede sehr schnell wieder verschwunden. Selbst die Probanden, die enorm hohe Werte erreicht hatten, kamen schnell wieder auf das Ausgangsniveau. So pendelten die Werte nach 5 Minuten Ruhe wieder um 22 Atemzüge.

5.4.3.3.1 Korrelationen zwischen $\Delta \dot{V}_{O_2}$ und der Atemfrequenz

In Gruppe 2 besteht eine Korrelation zwischen $\Delta \dot{V}_{O_2}$ - und dem Atemfrequenzruhwert ($r=0,733$; $p \leq 0,01$). Zwischen den Schwellenwerten von $\Delta \dot{V}_{O_2}$ und BF bestehen signifikante Korrelationen in den Gruppen 1 ($r=0,643$; $p \leq 0,05$) und 3 ($r=0,436$; $p \leq 0,05$). In der Gruppe 1 zeigen auch die Maximalwerte eine starke Korrelation ($r=0,605$; $p \leq 0,05$).

Im Gesamtkollektiv besteht eine signifikante Abhängigkeit im Bereich des Schwellenwertes mit $r=0,45$ und $p \leq 0,05$. Beim Maximum liegt eine Korrelation von $r=0,577$ und $p \leq 0,05$ vor.

5 Ergebnisse

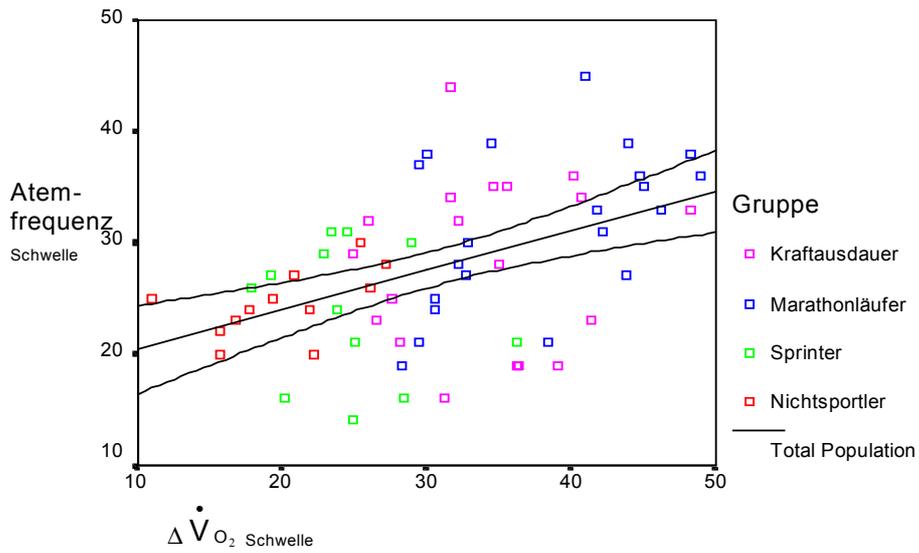


Abbildung 16: Korrelation von $\Delta \dot{V}_{O_2}$ (ml/min/kg KG) und Atemfrequenz im Schwellenbereich mit dem Konfidenzintervall von 95 %

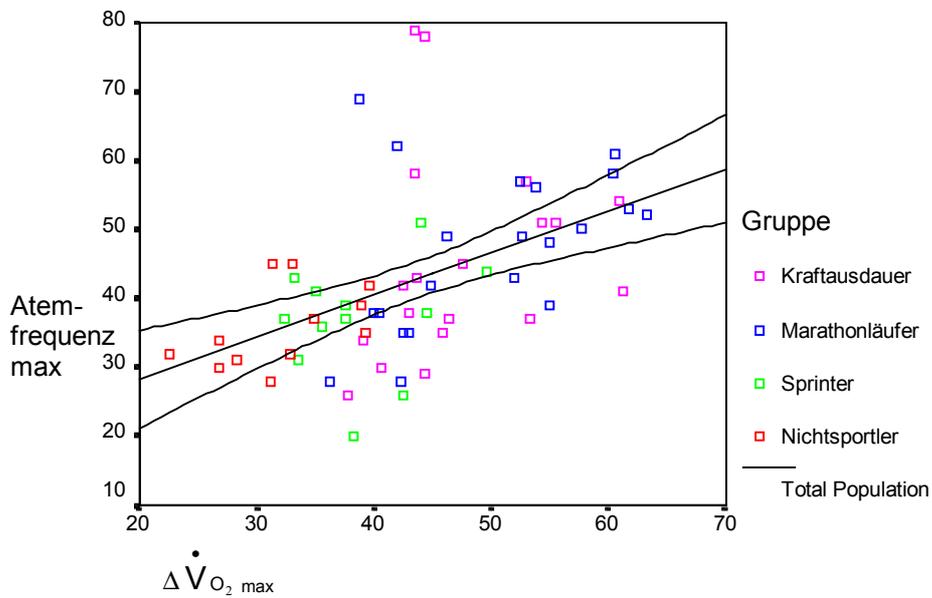


Abbildung 17: Korrelation von $\Delta \dot{V}_{O_2}$ und Atemfrequenz beim Maximum mit dem Konfidenzintervall von 95 %

5 Ergebnisse

5.4.3.4 Respiratorischer Quotient

In allen Phasen waren keine signifikanten Unterschiede festzustellen gewesen. Nur in der Ruhephase war ein Unterschied von $p \leq 0,05$ zwischen den Gruppen 1 und 3 aufzuweisen. Zudem waren die Ruhewerte weitaus höher, als es in der Literatur beschrieben ist. Die Werte nach 5 Minuten Ruhe waren ein wenig unterschiedlich.

RQ in Ruhe	0,90 ± 0,05
RQ an der Schwelle	1,00 ± 0,02
RQ bei maximaler Belastung	1,14 ± 0,03

Tabelle 27: Respiratorischer Quotient in Ruhe, an der Schwelle und bei maximaler Belastung

	Mittel:
Nichtsportler	1,13 ± 0,09
Sprinter	1,10 ± 0,12
Marathonläufer	1,03 ± 0,05
Radrennfahrer	1,08 ± 0,05

Tabelle 28: Mittel des respiratorischen Quotienten in den 4 Gruppen nach 5 Minuten Erholung

5.4.3.5 Atemäquivalent- O_2 , $-CO_2$ (l/l)

Bei diesem Parameter fiel auf, dass die Gruppen untereinander nur wenig Unterschiede zeigten, innerhalb der Gruppen lagen ähnliche Streubreiten vor.

a) Im Bereich des Ruhewertes lag ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) des Parameters E_{QO_2} zwischen den Gruppen 2 und 4. Gruppen 1 und 3 sind keine signifikanten Unterschiede festzustellen.

5 Ergebnisse

	EQO₂	EQCO₂
Nichtsportler	22,87 ± 1,64	26,07 ± 1,32
Sprinter	22,70 ± 1,45	25,56 ± 1,35
Marathonläufer	24,59 ± 1,84	28,04 ± 2,78
Radrennfahrer	24,32 ± 1,64	26,63 ± 1,60

Tabelle 29: Mittelwerte der Atemäquivalente O₂ (l/l) und CO₂ (l/l) in Ruhe

b) An der Schwelle sind folgende Werte gemessen worden:

	EQO₂	EQCO₂
Nichtsportler	22,18 ± 2,10	22,04 ± 2,45
Sprinter	22,23 ± 1,45	21,94 ± 1,63
Marathonläufer	22,30 ± 2,38	23,49 ± 1,34
Radrennfahrer	23,4 ± 1,4	23,11 ± 1,32

Tabelle 30: Mittelwerte von EQO₂ (l/l) und EQCO₂ (l/l) an der Schwelle mit Konfidenzintervallen der 4 Gruppen

c) Im Bereich der maximalen Leistung traten Unterschiede zwischen den Gruppen 1 und 3 auf, und zwar sowohl bei EQO₂ ($p \leq 0,05$) als auch bei EQCO₂ ($p \leq 0,005$); die Gruppen 2 und 4 waren nicht unterschiedlich. Zwischen den Gruppen 1 und 4 waren hochsignifikante Unterschiede bei beiden Parametern, zwischen den Sprintern und den Kraft-Ausdauersportlern bei dem Parameter EQO₂ festzustellen. Die höchsten Werte wurden also von den Gruppen 3 und 4 erreicht. Dies zeigt, dass sie mehr einatmen mussten, um die gleiche Menge Sauerstoff einatmen zu können. Da aber diese beiden Gruppen viel länger durchgehalten haben, kann man davon ausgehen, dass sie näher an ihrer Höchstleistungsgrenze waren. Deswegen wurde auch die Effizienz der Atmung schlechter.

5 Ergebnisse

	EQO₂	EQCO₂
Nichtsportler	28,59 ± 3,60	24,16 ± 2,40
Sprinter	31,37 ± 5,48	26,33 ± 3,06
Marathonläufer	33,46 ± 3,58	29,13 ± 3,48
Radrennfahrer	34,85 ± 2,61	30,13 ± 1,42

Tabelle 31: Mittelwerte von EQO₂ (l / l) und EQCO₂ (l / l) bei maximaler Belastung mit Konfidenzintervallen der 4 Gruppen

d) Im Bereich nach 5 Minuten Erholung war auch ein sehr signifikanter Unterschied des Wertes EQCO₂ zwischen den Gruppen 1 und 4 aufzuweisen; Gruppe 3 unterschied sich bei EQO₂ ($p \leq 0,05$) und bei EQCO₂ ($p \leq 0,01$) von der Gruppe 4; in diesem Bereich war Gruppe 2 nicht signifikant verschieden von den anderen Gruppen. Man muss hierbei beachten, dass dieser Wert stark von der regelmäßigen Atmung abhängig ist und von daher relativ wenig Aussagekraft hat, es sei denn, es handelt sich um eine Verlaufskontrolle.

	EQO₂	EQCO₂
Nichtsportler	33,18 ± 3,08	30,01 ± 2,22
Sprinter	32,95 ± 2,49	31,19 ± 2,19
Marathonläufer	30,77 ± 3,34	30,69 ± 2,05
Radrennfahrer	36,18 ± 3,34	34,17 ± 2,55

Tabelle 32: Mittelwerte von EQO₂ (l / l) und EQCO₂ (l / l) nach 5 Minuten Erholung mit Konfidenzintervallen der 4 Gruppen

5.5 Quotient der Δ -Sauerstoffaufnahme und der Δ -Laktatwerte bei der anaeroben Schwelle

Die Werte in den Gruppen waren sehr unterschiedlich, v.a. fiel die große Streubreite bei Gruppen 3 und 4 auf. Nur zwischen 1 und 2 lagen keine signifikanten

5 Ergebnisse

Unterschiede vor. Gruppe 3 zeigte die größte Streuung mit einem. Hierbei muss erwähnt werden, dass der höchste Wert bei 95,88 lag und von einem sehr gutem Ausdauersportler erreicht wurde, der bei einem Laktatzuwachs von nur 0,51 mol / l einen enormen Sauerstoffzuwachs von 48,9 l / min erreichte. Insgesamt erreichten in dieser Gruppe 5 Sportler einen Quotienten über 50. Der Mittelwert der Gruppe 3 war von Gruppen 1 und 2 höchst signifikant und von Gruppe 4 sehr signifikant verschieden. Gruppe 4 wies zu Gruppe 1 ($p \leq 0,05$) und zu Gruppe 2 ($p \leq 0,001$) einen Unterschied auf.

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	16,8 ± 6,3	16,61 ± 6,28
Sprinter	13,7 ± 2,3	13,41 ± 2,32
Marathonläufer	34,70 ± 20,78	27,38 ± 20,78
Radrennfahrer	21,80 ± 6,01	22,41 ± 6,01

Tabelle 33: Mittelwerte und Mediane des Quotienten der Δ -Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg Körpergewicht) und den Δ -Laktatwerten (mmol/l) der 4 Gruppen an der anaeroben Schwelle

5.6 Quotient der maximalen Δ -Sauerstoffaufnahme und der maximalen Δ -Laktatwerte

Diese Werte zeigten hochsignifikante Unterschiede. Die Nichtsportler unterschieden sich von Gruppe 2 ($p \leq 0,05$), von 3 ($p \leq 0,001$), jedoch nicht von Gruppe 4. Diese Gruppe der auf Kraft- und Ausdauer-Trainierten unterschied sich wiederum von den Gruppen 2 ($p \leq 0,01$) und 3 ($p \leq 0,001$). Gruppe 2 unterschied sich von allen anderen Gruppen. Gruppe 3 unterschied sich von allen anderen Gruppen höchst signifikant. Hierauf baut die von uns gestellte Hypothese auf, dass man durch diesen Parameter einen grundsätzlichen Hinweis auf die verschiedenen Tendenzen der einzelnen Sportler auf bestimmte Sportarten aufzeigen kann.

5 Ergebnisse

	Mittel:	Median:
Nichtsportler	5,3 ± 1,1	5,87 ± 1,15
Sprinter	4,5 ± 0,8	4,41 ± 0,78
Marathonläufer	8,4 ± 2,6	7,84 ± 2,57
Radrennfahrer	5,3 ± 0,6	5,17 ± 0,60

Tabelle 34: Mittelwerte und Mediane des Quotienten der Δ -Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg Körpergewicht) und den Δ -Laktatwerten (mmol/l) der 4 Gruppen bei maximaler Belastung

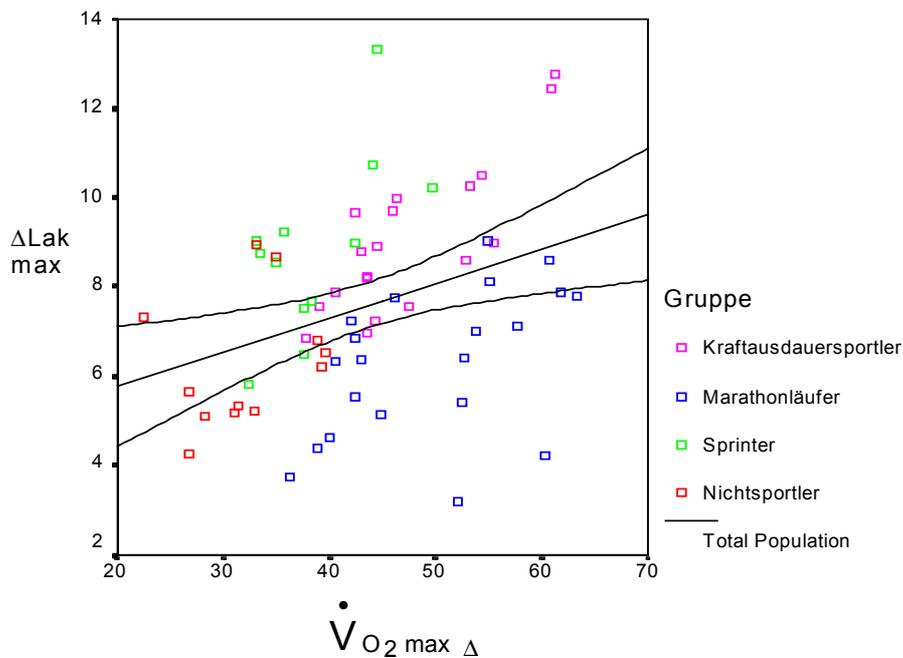


Abbildung 18: Das Verhältnis der gesamten Probanden von $\Delta \text{Laktat}_{\text{max}}$ (mmol/l) und $\dot{V} \text{O}_2 \text{max}$ (ml/min/kg Körpergewicht). Zudem ist eine Regressionsgerade mit dem Konfidenzintervall von 95% eingetragen.

6 Diskussion

Grundlegende Schwierigkeiten bei der simultanen Beurteilung von O₂-Aufnahme und Laktat sind der differente Metabolismus und Diffusionskoeffizienten. Durch die Einführung der Δ -Werte wurde versucht dieses Problem weitgehend zu lösen. Es wurde dabei jedoch kein wesentlicher Unterschied zu den Absolutwerten festgestellt.

Ein Streitpunkt während dieser Untersuchung war die schon oft beschriebene Laktatschwelle. Eine besondere Schwierigkeit der Laktatdiagnostik besteht darin, dass die in Blut und Plasma gemessene Konzentration von verschiedenen, z. T. gegenläufigen Einflussgrößen abhängt. Dabei handelt es sich um die Produktion im Muskel, die Einschleusung in die Blutbahn und die Elimination aus dem zirkulierenden Blut.

Der Shuttle-Mechanismus an der Mitochondrienmembran für zytoplasmatisches NADH₂ ist für Ausmaß und Zeitpunkt der Muskel- und Blutlaktatakkumulation von Bedeutung (STOCKHAUSEN).

Die Laktatkonzentration im Blut hängt einmal von der Produktion im anaerob arbeitenden Muskel ab, deren Ausmaß je nach Ausgangsbedingungen (z.B. Ernährung, Muskelfasertypen der arbeitenden Muskulatur), Beanspruchung und Arbeitsdauer variiert; außerdem wird sie von der Eliminationsrate beeinflusst. Der aktuelle Status des Säure-Base-Haushalts spielt für die Kompensationskapazität des Blutes genauso eine Rolle wie die Ventilation. Bei Belastung entsteht mit Laktatproduktion eine metabolische Azidose mit Blut-pH-Werten von bis zu 6,8, die im Körper durch Hyperventilation kompensiert wird (Abnahme des arteriellen pCO₂). Die Laktatverteilung wiederum wird vom Verteilungsraum, dem Transportsystem und der Zeit der Belastung beeinflusst. Bei der Elimination besteht eine Korrelation zwischen Laktatkonzentration und der Geschwindigkeit der Elimination. Die Belastungsintensität wirkt signifikant auf die Laktaterholungskurve. Außerdem nimmt mit wachsender Leistungsfähigkeit die Belastung zu, bei der eine signifikante Laktatbildung beginnt (HECK, 1991).

Die Lehrmeinung geht in der Diskussion über die Laktatschwelle weit auseinander und konnte in den letzten Jahren nicht ausreichend geklärt werden. So gibt es einen Standpunkt, dass man die 4-mmol Grenze als Laktatschwelle heran-

6 Diskussion

nimmt und die Probanden ober- und unterhalb dieser Schwelle trainiert (HECK, MADER, 1985). Aber auch unter den Verfechtern dieser Meinung gibt es enorme Differenzen. So meint SJÖDEN et al., dass ein Training an dieser anaeroben Schwelle einen größeren Trainingszuwachs bringt als eines ober- oder unterhalb der 4 mmol- Schwelle. Allerdings kann HOPPELER et al. mit seinen Untersuchungen beweisen, dass ein Training oberhalb dieser Schwelle die funktionellen Messgrößen wirksamer verbessert als unterhalb der Schwelle (LEUENBERGER). Konträr dazu zeigten KEITH et al., dass ein kontinuierliches Training an der anaeroben Schwelle die gleichen Leistungsverbesserungen erbrachte wie ein intermittierendes Training von der gleichen Intensität, aber mit Trainingsanteilen ober- und unterhalb der Schwelle.

Schon die unterschiedlichen Ergebnisse bei diesen Untersuchungen weisen auf Fehler hin, die vielleicht auch in der Festlegung einer nicht individuellen anaeroben Laktatschwelle ihren Ursprung haben. Denn bei fixen Schwellen muss die Auswahl der Probanden berücksichtigt werden. Bei Athleten mit einer hohen aeroben Kapazität werden zum Teil extrem niedrige Schwellenlaktatwerte gefunden (STEGMANN, 1982). Andere leiten die Schwelle aus dem Punkt des überproportionalen Anstieges des Atemminutenvolumens gegenüber der Sauerstoffaufnahme ab (WASSERMANN, 1971). STEGMANN et al. berechnet die Schwelle aus der Laktatkinetik in der Belastungs- und Nachbelastungsphase. Wieder andere behaupten, dass der Punkt des ersten Laktatanstieges vom „steady state level“ die besagte Schwelle ist (WHIPP).

Per definitionem wird unter der anaeroben Laktatschwelle die Belastungsintensität verstanden, bei der während einer Dauerbelastung gerade noch ein „steady state“ besteht (Bereich des maximalen Laktat „steady-state“ , max-Lass) (HECK, HESS, 1985).

Bei diesen verschiedenen Forschungsergebnissen fällt auf, dass verschiedene Belastungsanstiege, -dauer und -arten gewählt wurden und somit nicht unmittelbar miteinander vergleichbar sind. Auch muss man bemerken, dass die Laktatschwellen bei der Fahrradergometrie grundsätzlich verschieden zu denen bei Laufbandergometrie sind. Aus technischen Gründen sind auf dem Laufband Laktatmessungen nur mit Messpausen möglich, die bisher noch nicht standardisiert worden sind. Somit wäre eine Standardisierung der Untersuchungs-

6 Diskussion

methoden und der Auswahl der Sportler der verschiedenen Sportarten von großer Bedeutung (HECK).

Während Laktatproduktion, Diffusion und Transport in das arterielle System ungefähr eine Minute benötigt, werde für die Veränderung im Gasaustausch, d.h. hier die Sauerstoffaufnahme lediglich 15-20 Sekunden angesetzt (SCHARDT,1994).

Im Wesentlichen sind folgende Unterschiede zwischen den verschiedenen Sportlergruppen sind bei der Bearbeitung der Ergebnisse aufgefallen:

1. \dot{V}_{O_2} ist bei den Marathonläufern schon in Ruhe höher als bei den anderen Sportlern. Das setzt sich weiter fort im Schwellenbereich, wobei sich hier auch die Kraftausdauersportler deutlich von den ersten beiden Gruppen absetzen. Auch im Maximalbereich bilden die Nichtsportler das Schlusslicht. Bei den Leistungssportlern war aufgefallen, dass die maximale Sauerstoffaufnahme bei einem Plateau sistierte. Dieses Phänomen wurde schon in Kapitel 2.3.4 als „levelling-off“ beschrieben.
2. Die Laktatwerte sind im Bereich der maximalen Leistung bei den auf Kraft trainierten Sportlern deutlich höher als bei den reinen Ausdauersportlern und bei den Nichtsportlern.
3. Im Vergleich von Herzfrequenz und \dot{V}_{O_2} zeigt sich, dass bei der Gruppen 1 und 2 die Herzfrequenz im Verhältnis zu \dot{V}_{O_2} steiler ansteigt als bei den auf Ausdauer trainierten Gruppen. Daraus ergibt sich auch ein höherer Sauerstoffpuls der Gruppen 3 und 4.
4. \dot{V}_E ist bei den Gruppen 3 und 4, also bei den Sportlern, die auf Ausdauer trainiert sind, im Maximalbereich deutlich höher als bei den anderen beiden Gruppen.
5. \dot{V}_E fällt nach Belastung bei allen relativ schnell wieder ab. Gerade bei den Unsportlichen fällt der Wert auf den tiefsten Punkt. Dies hängt aber mit dem geringeren vorher erreichten Maximalatemminutenvolumen zusammen. Die Ruhewerte sind bei Jüngeren und Ausdauertrainierten relativ rasch erreicht.

6 Diskussion

6. Die Atemfrequenz wird unterschiedlich stark gesteigert. Die höheren Werte bei den leistungsstärkeren Gruppen sind begründet in dem längeren Durchhalten der Sportler. Auch Belastungen über die Maximalgrenzen bei den Gruppen 3 und 4 waren zu beobachten.
7. Der Quotient aus $\Delta \dot{V}_{O_2 \max}$ und $\Delta \text{Laktat}_{\max}$ liegt bei den Sprintern deutlich niedriger als bei den Marathonläufern.

Die Probanden dieser vier Gruppen besitzen unterschiedliche aerobe und anaerobe Kapazitäten. Sie sind durch den Trainingsstil in der jeweiligen Sportart geprägt. Bei den Nichtsportlern sind bestimmte Veranlagungen, ohne spezielles Training gegeben. Hier ist noch unklar, inwieweit der Körper durch Training beeinflusst werden kann und wie viel erblich bedingt ist (BOUCHARD, C).

Aufgezeigt werden kann die aerobe und anaerobe Kapazität anhand verschiedener Parameter, die sich unterschiedlich zueinander verhalten. Die Erblichkeit kann hiermit nicht bewiesen werden, aber eine ganz klare Differenzierung zwischen Ausdauersportlern und Sprintern kann gezeigt werden.

Wichtige Parameter sind alle die, welche mit der Sauerstoffaufnahme zusammenhängen (JAMES). Also v.a. \dot{V}_{O_2} und \dot{V}_E . Wie bei den Ergebnissen der Arbeit schon beschrieben wurde, haben die Ausdauersportler, also hier Gruppen 3 und 4 sowohl im Ruhezustand, als auch unter Maximalbelastung eine höhere Sauerstoffaufnahme. Dies hängt, wie in Kapitel 2.4.5 beschrieben, mit der unterschiedlichen Muskelstruktur zusammen. Unter Ausdauerbelastung vergrößern sich die Mitochondrienvolumina im Muskel, die Enzymaktivität und die Myoglobinmengen (TOROK). Dies alles sorgt für eine bessere Sauerstoffversorgung der roten Muskulatur während aerober Belastung. Durch diese Veränderung kann mehr Sauerstoff aufgenommen werden. Die Sprinter hingegen besitzen in ihrer weißen Muskulatur keine vergrößerten Mitochondrienvolumina, somit hält sich die Sauerstoffaufnahme auch im Normalbereich (TAYLOR). Durch Aufwärmen vor dem Wettkampf oder durch Training kann die schnellere O_2 -Aufnahmesteigerung und effizientere Verwertung erreicht werden (GASTIN).

6 Diskussion

Ebenso verhält es sich mit dem Atemminutenvolumen. Dies ist bei den Ausdauersportlern wieder signifikant höher als bei den Sprintern. Das Atemäquivalent korreliert bei den Gruppen 1, 3 und 4 mit der Atemfrequenz im Maximalbereich, d. h. je höher die Atemfrequenz ist, desto niedriger ist die O₂-Ausschöpfung pro Atemzug und damit die Effizienz der Atmung. Grund dafür ist frühzeitige Erschöpfung (Gruppe 1) und die Hyperventilation bei Überbelastung (Gruppen 3 und 4).

Unterschiede im Atemzugvolumen zwischen den Gruppen 2 bis 4 konnten nicht festgestellt werden. Sie lagen im Vergleich zu den Nichtsportlern aber zu allen verwerteten Zeiten höher. Das erklärt auch zum Teil den Unterschied im Atemminutenvolumen. In der Erholungsphase lagen die Werte der Gruppen 3 und 4 auch höher als die der anderen Gruppen. Das hängt mit der erreichten Ausbelastung zusammen. Da bei den Nichtsportlern nicht immer wegen der vorzeitigen Muskelermüdung eine Maximalbelastung erreicht werden kann, sind die maximalen Sauerstoffwerte und die Werte in der Erholungsphase nur bedingt vergleichbar.

Daher kann man darauf schließen, dass trainierte Sportler die Steigerung der Sauerstoffaufnahme v.a. durch effiziente Atmung einer besser trainierten Atemmuskulatur ermöglichen (EISELE). Ab einem gewissen Leistungspunkt kann aber das Volumen, das durch einen Atemzug aufgenommen wird, nicht mehr gesteigert werden. Ab hier muss der benötigte Sauerstoff durch eine Atemfrequenzsteigerung aufgenommen werden. Dass die Sprinter nicht auf die höhere \dot{V}_E gekommen sind, liegt, wie oben schon beschrieben, an ihrem weitgehend anaerob ausgerichteten Training.

Auch die Herzfrequenz zeigt typische Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen. Zunächst muss erwähnt werden, dass die Ruheherzfrequenz in allen Probandengruppen ungewöhnlich hoch ist. Ein Grund dafür ist sicherlich die nervliche Anspannung der Probanden, die den Test zum ersten Mal gemacht haben. Wie schon in Kapitel 2.3.6 erwähnt, ist die Herzfrequenz von vielen Faktoren abhängig. Dazu zählen physische und psychische Belastungen, die hier auf jeden Fall gegeben waren. Besonders gehört dazu das Alter der Beteiligten. Da einige Teilnehmer fast 40 Jahre alt waren, war deren maximale Herzfrequenz nicht so hoch wie bei den Jüngeren.

6 Diskussion

Diese Faktoren machen sich dann auch im Sauerstoffpuls bemerkbar. Das kann hier nur bedingt aufgelöst werden, wenn man von der Annahme einer konstanten arterio-venösen Gehaltsdifferenz im Maximalbereich ausgeht (vgl. Kapitel 2.3.6). Die pro Herzschlag aufgenommene Sauerstoffmenge ist beim Nichtsportler deutlich geringer als bei den Sportlergruppen. Auch hier stehen die Marathonläufer ganz vorne. Die Herzfrequenzsteigerung bei ihnen ist im Verhältnis zur \dot{V}_{O_2} -Steigerung geringer als bei den anderen Gruppen. Dies zeigt das höhere Schlagvolumen des Herzens, das durch eine Vergrößerung des Herzens durch Ausdauertraining bedingt ist. Hierbei spricht man vom Sportlerherzen. Die Gruppen 2 und 3 zeigen ebenso einen höheren O_2 -Puls. Somit ist gezeigt, dass man durch Training die Sauerstoffversorgung deutlich verbessern kann (PLACHETA).

Diese Faktoren geben Aufschluss zu der aeroben Kapazität. Da aber der Schwerpunkt der Sprinter auf der anaeroben Leistungskapazität liegt, benötigt man weitere Faktoren, um auch diese zu bewerten. Der Parameter Laktat spiegelt am besten die Vorgänge im Muskel wider. Besser wären sicherlich Muskelbiopsien gewesen, um die veränderten Enzymaktivitäten genauer beurteilen zu können. Das ist aber mit einem enorm hohen Kostenaufwand verbunden. Zudem wäre die Bereitschaft der Probanden, diesen Test zu machen entschieden gesunken.

Aber auch die Laktatmessung gibt reichlich Informationen über die anaerobe Kapazität der Sportler. Die Testpersonen, die auf Kraft bzw. auf Sprint trainiert waren, wiesen insgesamt zu allen Testzeiten, also an der Schwelle, beim Maximum und in der Erholungsphase höhere Laktatwerte auf. Um höhere Laktatwerte tolerieren zu können, muss dies jedoch trainiert werden. Die Enzyme dieser Sportler sind auf die vermehrte anaerobe Belastung ausgerichtet (siehe Kapitel 2.4.2). Zudem sind die Glykogenvorräte im Muskel bei Sprintern höher, und die Enzyme der Glykogenolyse vermehrt (WATT). In diesem Gesamtkollektiv waren nur wenige mit extrem hohen Laktatwerten dabei, dennoch war der oben beschriebene Unterschied deutlich festzustellen. Außerdem werden bei der Fahrradergometrie generell niedrigere Werte als auf dem Laufband oder im Feldtest erreicht (HOLLMANN, 1971). Sportler mit einer hohen anaeroben Kapazität aktivieren früher ihre Glykogenvorräte als Ausdauersportler. Sie können

6 Diskussion

ab einer bestimmten Belastung nicht mehr auf die aerobe Glykolyse und Lipolyse zurückgreifen, da ihr Muskel nicht darauf ausgerichtet ist (SCHARDT, 1993). Auch die Untrainierten und Nichtsportler weisen unter Belastung eine niedrige aerobe und anaerobe Kapazität auf. Somit lässt sich die vergleichbar niedrige Laktatkonzentration und die hinzukommende niedrige Sauerstoffaufnahme erklären.

Um einen schnellen und doch genauen Überblick über die Eigenschaften eines Sportlers zu erhalten, kann man einen Quotienten $\Delta \dot{V}_{O_2} / \Delta\text{-Laktat}$ des Maximalbereichs aufstellen. Da er sich sowohl bei der O_2 -Aufnahme (VO_2/kg) als auch bei Laktat (mmol/l) auf das Körpergewicht relativiert, ist er in der physikalischen Dimension gut vergleichbar. Durch die Verzögerung des Laktatstoffwechsels bei einer ansteigenden Belastung und die Entnahme am hyperämisierten Ohrläppchen auch noch eine gewisse Transportzeit benötigt, bestimmt man am besten den maximalen Laktatwert der Erholungsphase mit der $VO_{2\text{max}}/\text{kg}$. Damit ist auch die simultane Vergleichbarkeit gewährleistet. Dieser Quotient korreliert mit der jeweiligen Sportlergruppe. Der Mittelwert der Gruppe 3, also der Ausdauersportler ist am höchsten. Dies kann theoretisch zwei Gründe haben. Entweder ist das $\Delta \dot{V}_{O_2}$ so hoch, oder bzw. und der maximale Laktatwert so niedrig. Da bei diesen reinen Ausdauersportlern beides der Fall ist, kann dieser hohe Wert erreicht werden. Das Mittel der Gruppe zwei ist signifikant am niedrigsten. Auch hier können zwei Gründe ausschlaggebend dafür sein. Das $\Delta \dot{V}_{O_2}$ kann sehr niedrig sein, oder bzw. und der Laktatwert hoch. Beides ist im Vergleich der Fall (siehe Ergebnisse).

Diese beiden Gruppen können also ohne Weiteres unterschieden werden. Die Gruppen 1 und 4 sind nicht signifikant verschieden voneinander. Die Mittelwerte liegen genau zwischen den Werten der beiden anderen Gruppen. Gründe hierfür sind, dass entweder beide Werte recht niedrig oder recht hoch sind. Gruppe 4 zeigt in den Ergebnissen Spitzenwerte bei der $\Delta \dot{V}_{O_2}$, und zudem auch hohe Laktatwerte. Dies ist also ein Zeichen für eine gute aerobe und anaerobe Ausdauer und konnte auch durch den Trainer bestätigt werden. Die Nichtsportlichen zeigen einen ähnlichen Quotienten. Sie weisen jedoch sowohl niedrige Δ -

6 Diskussion

Laktatwerte, als auch niedrige $\Delta \dot{V}_{O_2}$ -Werte auf. Sie können somit nicht anhand dieses Quotienten von den Spitzensportlern unterschieden werden. Da aber in den Ergebnissen deutlich wird, dass die besagten Werte signifikant niedriger sind als die Werte der Gruppe 4, besteht kein Zweifel mehr über die Unterschiede der beiden Gruppen. Dieser Quotient ($\Delta \dot{V}_{O_2} / \Delta$ -Laktat) muß also stets im Zusammenhang mit der maximalen Leistung bzw. maximalen O_2 -Aufnahme pro kg KG gesehen und beurteilt werden. Gleichzeitig gibt er auch einen Hinweis auf den mehr oder weniger genetisch bedingten Muskeltyp, d.h. ob bei dem Sportler vorrangig weiße (schnelle) oder rote (langsame) Muskelfasern bei der körperlichen Leistung eingesetzt werden.

Grundsätzlich besteht eine Tendenz, dass die verschiedenen Trainingsschwerpunkte durch diesen Quotienten festgestellt werden können. Dennoch kann er nur ein Hilfsmittel sein. Ein kurzfristiger Trainingserfolg läßt sich besser mit Laktatwerten beurteilen, jedoch sagt $\Delta \dot{V}_{O_{2max}}$ über die aeroben Ressourcen eines Sportlers weit mehr aus. Durch alle erwähnten Parameter zusammen kann eine bessere Differenzierung gemacht werden (DICKHUTH, 1982).

Der Test ist für alle Sportler gleich gut geeignet gewesen. Die Marathonläufer sind es gewohnt lange und ausdauernd die gleiche Leistung zu bringen. Somit stellten die 3-Minuten-Stufen kein Problem für ihn dar. Zu Schwierigkeiten kam es erst, als höhere Wattzahlen erreicht wurden. Diese Gruppe war von der Kraft her nicht so gut trainiert. Die Sprinter hingegen sind kraftvolle Anstrengungen gewohnt, so dass die später erreichten hohen Wattzahlen nicht der Grund für das Beenden des Tests waren. Sie waren der Dauer der Stufen nicht gewachsen, da ihre aerobe Ausdauer nicht so gut trainiert war.

Schwierigkeiten ergaben sich bei dem Vergleich mit den Nichtsportlern. Die Hochleistungssportler sind es gewohnt, sich auszubelasten. Bei den Nichtsportlern konnte man nicht sicher sagen, ob die erreichte Leistungsstufe schon die Maximalleistung darstellte. Im Vergleich zu den Sportlern wäre anhand des Maximalpulses sicher noch eine Leistungssteigerung möglich gewesen. Subjektiv meinten die Probanden, ausbelastet worden zu sein. Bei ihnen war das häufigste angegebene Abbruchkriterium die Muskelschwäche.

6 Diskussion

Insgesamt gesehen bietet der Quotient aus VO_{2max} /kg und $Laktat_{max}$ /l im Zusammenhang mit der maximalen O_2 - Aufnahme eine schnelle Information über das Verhältnis von aerober und anaerober Kapazität. Wir empfehlen deshalb diesen Parameter als „aerob-anaeroben Quotienten“ zu bezeichnen und ihn zukünftig in der Beurteilung der Leistungsdiagnostik zusammen mit der maximalen Leistung (Watt) und der O_2 -Aufnahme mit zu berücksichtigen.

7 Zusammenfassung

Die aerobe und anaerobe Leistungsfähigkeit sind ein wesentliches Kriterium in der Beurteilung der Leistungsfähigkeit verschiedener Sportler. Dazu bedarf es zunächst einer genauen Untersuchung der wichtigsten Parameter zur Erkennung des aktuellen Trainingszustandes. Die beste Methode der Leistungsdiagnostik stellt hierbei die Ergospirometrie vorrangig mit den Parametern $\dot{V}O_{2\max}/\text{kg}$ und der maximale Laktatwert dar.

Die ausgesuchten Probanden der Sportlergruppen Sprinter, Marathonläufer, Kraftausdauersportler (Radrennfahrer) und der Nichtsportler zeigten hier signifikante Unterschiede.

Die Probanden dieser vier Gruppen besitzen aufgrund ihres Trainingsschwerpunktes unterschiedliche aerobe und anaerobe Kapazitäten. Aufgezeigt werden können diese Kapazität anhand verschiedener Parameter. Wichtige Parameter sind alle die, die mit der Sauerstoffaufnahme zusammenhängen.

Dabei setzten sich die Marathonläufer klar von den anderen Gruppen ab. Sie zeigten die größte aerobe Kapazität anhand ihres hohen $\dot{V}O_2$ in Ruhe bis hin zum $\dot{V}O_{2\max}$. Demgegenüber standen die Nichtsportler, die im Vergleich zu allen anderen Gruppen die niedrigste Sauerstoffaufnahmefähigkeit bewiesen. Genauso verhält es sich mit dem Atemminutenvolumen. Die Kraftausdauersportler zeigen bei beiden Parametern Spitzenwerte. Die Sprinter lagen bei der Sauerstoffaufnahmefähigkeit zwischen den Nichtsportlern und den Ausdauersportlern.

Bei der Höhe der Laktatkonzentration bildeten die Sprinter die Spitze. Auch die Kraftausdauersportler bewiesen eine hohe anaerobe Fähigkeit. Da die Marathonläufer keine gewaltigen kurzzeitigen Sprints bewältigen müssen, wird die aerobe Glykolyse im Vergleich zur Lipolyse nur im begrenzten Masse im Anspruch genommen. Der Muskel kann auch nicht eine höhere Laktatkonzentration tolerieren.

Um einen Hinweis auf den Trainingszustand des Sportlers zu bekommen, besteht die Möglichkeit den Quotienten $\Delta \dot{V}O_{2\max} / \Delta \text{Laktat}_{\max}$ heranzuziehen. Eine Unterscheidung zwischen aerob und anaerob Trainierten ist hierdurch

7 Zusammenfassung

möglich. In den Ergebnissen wurde festgestellt, dass die Sprinter einen signifikant niedrigeren Quotienten zeigen als die Ausdauersportler. Sicherlich müssen zur Differenzierung noch andere Parameter herangezogen werden, um den Trainingszustand der jeweiligen Probanden zu analysieren. Dennoch kann dieser Quotient die Arbeit des Trainers erleichtern. Er kann damit den mehr oder weniger genetischen Muskeltyp abschätzen und auch den Trainingszustand beurteilen.

Somit bietet der Quotient aus VO_{2max} /kg und $Laktat_{max}$ /l im Zusammenhang mit der maximalen O_2 - Aufnahme eine schnelle Information über das Verhältnis von aerober und anaerober Kapazität. Wir empfehlen deshalb diesen Parameter als „aerob-anaeroben Quotienten“ zu bezeichnen und ihn zukünftig in der Beurteilung der Leistungsdiagnostik mit zu berücksichtigen.

8 Literaturangaben

- Basset F.A., Boulay M.R.: Specificity of treadmill and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. Eur. J. Appl. 81(3) (2000), S. 214-221
- Berg A., Jakob E., Sehmam M., Dickhuth H.H., Huber G., Keul J.: Aktuelle Aspekte der modernen Ergometrie. Pneumologie 44 (1990), S. 517-534
- Berg, A., J. Stippig, J. Keul, G. Huber :Bewegungstherapie und ambulante Coronargruppen. Dtsch. Z. Sportmed. 31(7) (1980) S. 199-205
- Bernard Marti, Raija Laukkanen, Toni Held: Beurteilung der Ausdauer aufgrund der $\dot{V}_{O_2 \max}$: Standards des BASPÖ. Schweiz. Z. f. Sportmedizin 47 (1999), S.173-174
- Bizouarn P.; Blanloeil Y.; Pinaud M.: Comparison of cardiac output measured continuously by thermodilution and calculated according to Fick's principle. Ann Fr Anesth Reanim ;13(5), (1994), S. 685-689
- Böning, D., W. Schmidt: Das trainierte Blut – Blutvolumenregulation und Ausdauersport. Spektrum 97(2) (1997), S. 5-17
- Bouchard. C.: Erbllichkeit und Trainierbarkeit. Dtsch. Z. für Sportmedizin 10 (1986), S. 318-322
- Braumann K.-M., Tegtbur U., Busse M.W., Maassen N.: Die „Laktatsenke“- Eine Methode zur Ermittlung der individuellen Dauerleistungsgrenze. Dtsch. Z. Sportmed. 42(6) (1991), S. 240-246
- Bushkiel W., Ziegler M., Zapf J., Boeck-Behrens W.-U., Zieschang K.: Möglichkeiten der Belastungsdosierung auf dem Fahrradergometer unter Berücksichtigung physischer und psychischer Parameter. Spektrum 97(2) (1997), S. 42-55
- Casaburi R., Strorer T.W., Ben-Dov I., Wasserman K.: Effect of endurance training on possible determinants of \dot{V}_{O_2} during heavy exercise. J. appl. physiol. 62(1) (1987)
- Coggan A.R., Habash D.L., Mendenhall L.A., Swanson S.C., Kien C.L.: Isotopic estimation of CO₂ production during exercise before and after endurance training. J. appl. physiol. 75(1) (1993), S. 70-75
- Coyle E.F.: Integration of the physiological factors determining endurance

8 Literaturangaben

- performance ability. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 23 (1995), S. 25-63
- De Marées Horst: *Sportphysiologie*. Verlag Sport und Buch Strauß 8. Aufl. (1996)
- Dempsey, J.A. and Johnson, B.D.: Demands vs. capacity in the healthy pulmonary system. *Schweiz. Zeitsch. Sportmed.* 40 (1999), S. 55-64
- Dickhuth H.-H., Aufenanger W., Schmid P., Simon G., Huonker M., Keul J.: Möglichkeiten und Grenzen der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Mittel- und Langstreckenlauf. *Leistungssport* 19 (1989)
- Dickhuth, H.-H., Yin, L.; Nieß, A.; Rucker, K.; Mayer, F.; Heitkamp, H.-C.; -- Horstmann T.: Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. *Int-J-Sports-Med.* 20 (2) (1999), S. 122-127
- Diefenbach M.: Pufferkapazitätssteigerung versus Alkalisierung. *TW Sport+Medizin* 1 (1996), S. 50-52
- Egan D., head T.: Energy substrate metabolism during dual work rate exercise: effects of order. *J. Sports Sci.* 17(11) (1999)
- Eisele R., Köllmann F., Hutsteiner H., Simon G.: Sauerstoffaufnahme während Fahrrad- und Laufbandergometrie. *Dtsch. Zeitschr. f. Sportmedizin* 47, Nr. 2 (1996)
- Engelhardt / Neumann: *Sportmedizin, Grundlagen für alle Sportarten*; BLV Sportwissen (1994), S. 9-11
- Essen-Gustavsson B., Tesch P.A.: Glycogen and triglyceride utilization in relation to muscle metabolic characteristics in men performing heavy resistance exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 61 (1990), S. 5-10
- Gallego J., Denot-Ledunois S., Vardon G., Perruchet P.: Ventilatory responses to imagined exercise. *Psychophysiology* Nov; 33(6) (1996), S. 711-719
- Gastin P.B., Costill D.L., Lawson D.L., Krzeminski K., McConell G.K.: Accumulated oxygen deficit during supramaximal all-out and constant intensity exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27(2) (1995), S. 255-263

8 Literaturangaben

- Goodman J.M., McLaughlin P.R., Plyley M.J., Holloway R.M., Fell D., Logan A.G., Liu P.P.: Impaired cardiopulmonary response to exercise in moderate hypertension. *Can J Cardiol* 8(4) (1992), S. 363-371
- Green S., Dawson B.: Measurement of anaerobic capacities in humans. Definitions, limitations, unsolved problems. *Sports Med.* 15 (5) (1993), S. 312-327
- Hanel B.; Clifford P.S.; Secher N.H.: Restricted postexercise pulmonary diffusion capacity does not impair maximal transport for O₂. *J. Appl. Physiol.*, Nov; 77(5), (1994), S. 2408-2412
- Heck H., Hess G., Mader A.: Vergleichende Untersuchungen zu unterschiedlichen Laktat-Schwellenkonzepten. *Dtsch. Z. Sportmed.* 36 (1985), S.19-25; 40-52
- Heck H., Mader A., Hess G., Mücke S., Müller R., Hollmann W.: Justification of the 4-mmol / l lactate threshold; *Int. J. Sports Med.* 6 (1985), S. 117-130
- Heck H., Roßkopf P., Hirsch A., Hoberg T., Hoppe W., Reichwein R.: Einfluss des Vorbelastungslaktats, der Pausendauer und des Belastungsanstiegs auf die Laktatsenke. *Dtsch. Z. für Sportmed.* 42, Nr. 6 (1991), S. 248-263
- Heck H.: Laktat in der Leistungsdiagnostik. Habilitationsschrift, Dtsch. Sporthochschule Köln.
- Heitkamp H.-Ch., Moll D., Nieß A., Horstmann T., Mayer F., Dickhuth H.-H.: Leistungsdiagnostische Tests und Wettkampfprognose im Skilanglauf. *Dtsch. Zeitschr. f. Sportmedizin* 49, Nr. 11+12 (1998), S. 347-350
- Hill A.V.: Die Beziehung zwischen der Wärmebildung und den im Muskel stattfindenden chemischen Prozessen; *Erg. Physiol.* 15 (1996), S. 340-479
- Hill D.W.: Determination of accumulated O₂ deficit in exhaustive short-duration exercise. *Can. J. Appl. Physiol.* Feb;21(1) (1996), S. 63-74
- Herbst: Der Gasstoffwechsel als Maß der Körperlichen Leistungsfähigkeit S. 33-50
- Hollmann, W., H. Heck, B. Schmücker, A. Stolte, H. Liesen, M.D. Fotescu, D.N. Mathur, K.H. Joura: Vergleichende spiroergometrische Untersuchungen über den Effekt und die Aussagekraft von Laufband- und Fahrradergometerbelastungen. *Sportarzt und Sportmedizin* (1971), 6: S. 123-134

8 Literaturangaben

- Hollmann, W., During: Historical remarks on the development of the aerobic-anaerobic threshold up to 1966. *Int. J. Sports Med.* Jun. 6(3), (1985), S. 109-116
- Hoppeler H.: Limitierung im Respiratorischen System: Beschränkt das Herz die maximale O₂-Aufnahme? *Schweiz. Z. f. „Sportmedizin und Sporttraumatologie“* 3 (1995), S. 6-8
- James D.V., Doust J.H.: Oxygen uptake during high intensity running: response following a single bout of interval training. *Europ. J. Appl. Physiol.* 79(3) (1999), S. 243-273
- Jensen M.D., Levine J.: Effects of oral contraceptives on free fatty acid metabolism in women. *Metabolism* 47(3) (1998), S. 280-284
- Jioka S., Moser D., Lech G., Evengelisti M., Verde T., Chance B., Kuno S.: Muscle deoxygenation in aerobic and anaerobic exercise. *Adv. Exp. Med. Biol.* 454 (1998), S. 63-70
- Kamber M.: Laktatmessungen in der Sportmedizin: Messmethodenvergleich. *Schw. Z. Sportmed.* 40 (1992)
- Keith S.P., Jakobs I., Mc Lellan T.M.: Adaptations to training at the individual anaerobic threshold. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 65 (1992), S. 316-323
- Knipping H.W.: Die Untersuchung der Ökonomie von Muskelarbeit bei Gesunden und Kranken; *Z. ges. exp. Med.* 66 (1929), S. 517-534
- Konstantaki M., Swaine I.L.: Lactate and cardiopulmonary responses to simulated arm-pulling and leg-kicking in collegiate and recreational swimmers. *Int. J. Sports. Med.* 20(2) (1999)
- Kraemer W.J., Patton J.F., Gordon S.E., Harman E.A., u. a.: Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physiol.* 78(3) (1995), S. 976-989
- Kumagai, K. et al.: Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *J. Appl. Physiol.* 88 (2000), S. 811-816

8 Literaturangaben

- Le Gallais, D.; Hayot, M.; Hue, O.; Wouassi, D.; Boussana, A.; Ramonatxo, M.; Prefaut, C.: Metabolic and cardioventilatory responses during a graded exercise test before and during 24 h after a triathlon. *Eur. J. Appl. Physiol.* 79 (2) (1999), S. 176-181
- Lehmann: Lehrbuch der Physiologischen Chemie; Bd.1, Leipzig (1850)
- Lehninger, Nelson , Cox: Prinzipien der Biochemie. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin, Oxford (1994), S. 207-218, S. 849-853
- Leuenberger M., Grünenfelder A., Hoppeler H.: Funktionelle und strukturelle Anpassungen an ein Dauerleistungstraining ober- und unterhalb der 4 mmol / l-Laktatschwelle. *Schweiz. Z. für „Sportmedizin und Sporttraumatologie“* 45(2) (1997),S. 97-101
- Maassen, N., G. Schneider, A. Caspers, M.W. Busse: Dauerleistungsfähigkeit und Laktatleistungskurve bei Ausdauertrainierten und Untrainierten nach Glycogenbeladung. *Dtsch. Z. f. Sportmed.* 43 (1992), S. 511-520
- Martaritis I.: Factors limiting performances in the triathlon. *Can. J. Appl. Physiol.* 21(1), (1996),S. 1-15
- Margaria R., Edwards H.T., Dill D.B.: The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction; *Amer. J. Physiol.* 106 (1933), S. 689-715
- Michael, Madigan, John, Martinko, J. Parker: Brock- Biology of microorganisms.(2000), S. 109-148
- Morris J.G., Nevill M.E., Williams C.: Physiological and metabolic responses of female games and endurance athletes to prolonged,, intermittent, high-intensity running at 30 degrees and 16 degrees C ambient temperatures. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81(1-2) (2000), S. 84-92
- Noakes T.D.: Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand : Med. Sci. Sports* 10(3) (2000), S. 123-145
- Placheta, Z., Novak A., Havlat T., Dazil V.: Zur Aussage des indirekt bestimmten Sauerstoffaufnahmemaximums für die Beurteilung der aeroben Arbeitskapazität. *Med. u. Sport* 14 (1974), S. 22-30
- Schardt, F.: Habilitationsschrift (1987)

8 Literaturangaben

- Schardt, F.: Kompensationsmechanismen der Muskulatur, des Kreislaufs und der Ventilation während körperlicher Belastung. Österr. J. für Sportmedizin 1 (1993), S. 3-11
- Schardt, F.: Detecting thresholds and compensation capacities by continuous blood gas and lactate monitoring during ergospirometry. Europ. Appl. Physiol. Suppl. 69(3) (1994), S.34
- Schiereck, P., van Heijst B.G., Jansen P.M., Schiereck J., van der Leun M., Bras W., de Beer E.L.: Force generation and shift of mass between myosin and actin in skinned striated muscle fibres at low calcium concentrations. Eur. Biophys. J. 27(6) (1998), S. 575-581
- Schluter, J.M., Fitts R.H.: Shortening velocity and ATPase activity of rat skeletal muscle fibers: effects of endurance exercise training. Am. J. Physiol. Jun;266(6 Pt 1), (1994), C, S. 1699-1673
- Schmidt A., Lim W.-K., Haaker R., Simon G.: Akuter Einfluss eines intensiven Trainings auf Leistungsfähigkeit während Laufbandergometerbelastung. Dtsch. Zeitschrift für Sportmedizin 44, Nr. 5 (1993), S. 184-192
- Schmidt R. F., Thews G.: Physiologie des Menschen. Springer-Verlag Aufl. 26 (1995)
- Schutz Y.: The adjustment of energy expenditure and oxidation to energy intake: the role of carbohydrate and fat balance. Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord. 17 Suppl .3 (1993), S. 23-43
- Secher N.H., Mizuno M., Saltin B.: Adaptation of skeletal muscles to training. Bull. Eur. Physiopathol. Respir. Sep.-Oct., 20(5), (1984), S. 453-457
- Sjöden B., Jakobs I., Svedenhag J.: Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. Eur. J. Appl. Physiol. 49 (1982), S.45-57
- Spengler C.M., Roos M., Laube S.M., Boutellier U.: Decreased exercise blood lactate concentration after respiratory endurance training in humans. Eur. J. Appl. Physiol. 79(4) (1999), S. 299-305
- Stegmann H., Kindermann W.: Comparison of Prolonged Exercise Tests at the individual Anaerobic Threshold and the fixed Anaerobic Threshold of 4 mmol / l Lactate. Int. J. Sports Med. 3 (1982), S.105-110

8 Literaturangaben

- Stegmann H., Weiler B., Kindermann W.: Vergleich verschiedener anaerober Schwellenkonzepte bei Sportlern unterschiedlicher Sportarten. Sport: Leistung und Gesundheit. Dtsch. Ärzte-Verlag Köln (1983),S. 163-164
- Stockhausen W., Huber G., Maier J. B., Tinsel J., Keul J.: Ein einzeitiges Verfahren zur Bestimmung des maximalen Laktat-Steady-State auf dem Fahrradergometer. Dtsch. Z. für Sportmed. 46, Nr. 6 (1995), S.291-302
- Strojnik V., Apih T., Damsar F.: Cross-section areas of calf muscles in athletes of different sports. J. Sports Med. Phys. Fitness 35(1) (1995),S. 25-30
- Taylor A.W., Bachmann L.: The effects of endurance training on muscle fibre types and enzyme activity. Can: J. Appl. Physiol. 24(1) (1999),S. 41-53
- Torok D.J., Duey W.J., Bassett D.R. jr., Howley E.T., Mancuso P.: Cardiovascular responses to exercise in sprinters and distance runners. Med, Sci. Sports Exerc. 27(7) (1995),S.1050-1056
- Toubro S, Sorensen TI, Hindsberger C, Christensen NJ, Astrup A.: Twenty-four hour respiratory quotient: the role of diet and familial resemblance. J. Clin. Endocrinol. Metab. 83(8), (1998), S. 2758-2764
- Urhausen A., Schwarz M., Stefan S., Schwarz L., Gabriel, Kindermann W.: Kardiovaskuläre und metabolische Beanspruchung durch einen Kraftausdauer-Zirkel in der ambulanten Herztherapie. Deutsche Z. f. Sportmedizin 51 (2000), S. 130-136
- Wassermann K., Whipp B.J., Castagna I.: Cardiodynamic hyperpnea: Hyperpnea secondary to cardiac output increase. J. Appl. Physiol. 36 (1974)
- Wasserman K., Stringer W.W., Casaburi R., Koike A., Cooper C.B.: Determination of the anaerobic threshold by gas exchange: biochemical considerations, methodology and physiological effects. Z Kardiol 83 Suppl 3, (1994), S. 1-12
- Watt M.J., Howlett K.F., Febbraio M.A., Spriet L.L., Hargreaves M.: Adrenaline increases skeletal muscle glycogenolysis, pyruvate dehydrogenase activation and carbohydrate oxidation during moderate exercise in humans. J. Physiol. Jul. 1;534(Pt 1), (2001) S. 269-278
- Westen A.R, Karamizrak O., Smith A., Noakes T.D., Myburgh K.H.: African runners exhibit greater fatigue resistance, lower lactate accumulation, and higher oxidative enzyme activity. J. Appl. Physiol. 86(3) (1999),S. 457-464

8 Literaturangaben

- Wetsjerterp K.R.: Food quotient, respiratory quotient, and energy balance. Am. J. Clin. Nutr. 1 57(5 suppl) (1993), S. 759-765
- Whipp B.J., Ward S. A.: Ventilatory control dynamics during muscular exercise in man. Int. J. Sports Med. 1 (1980),s.146-159
- Ziegler, Rudolf: Gezielte Reduktion der Atemarbeit – Königsweg zum aeroben Leistungshoch. TW Sport + Medizin 8 (1996), S. 368-369
- Stryer, Lubert: Biochemistry 4th ed (1995)
- Dtsch. Arch. Klin. Med. 162: Der Gasstoffwechsel als Maß der Körperlichen Leistungsfähigkeit, 1. Die Bestimmung des Sauerstoffaufnahmevermögens beim Gesunden. (1928)
- Silbernagl, S., Despopoulos, A.: Taschenatlas der Physiologie 4. Aufl. Stuttgart; New York: Thieme; München: Dtsch. Taschenbuchverl (1991)
- Löllgen H. : Kardiopulmonale Funktionsdiagnostik, 2.Auflage Ciba-Geigy, Wehr, S. 24-46

9 Anhang

Abbildungsverzeichnis:

<i>Abbildung 1: Messung des Erholungsvermögens nach körperlicher Belastung, Kaiser-Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie, Darmstadt, 1927.....</i>	<i>2</i>
<i>Abbildung 2: Das Atmungssystem. Konvektion: O₂ und CO₂ werden mit Hilfe eines Trägers weiterbefördert (HOPPELER).....</i>	<i>6</i>
<i>Abbildung 3: Die O₂-Bindungskurve</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 4: Der Laktatkreislauf nach Diefenbach.....</i>	<i>20</i>
<i>Abbildung 5: Die Herzfrequenz (Schläge/min) der verschiedenen Gruppen bei den Werten Ruhe, Schwelle, Maximalbelastung und Erholung mit Konfidenzintervallen....</i>	<i>36</i>
<i>Abbildung 6: Die Mittelwerte des maximalen Sauerstoffpulses (ml / Herzschlag) bei den verschiedenen Gruppen</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 7: Die Laktatwerte (mmol/l) der verschiedenen Gruppen zu den unterschiedlichen Zeiten mit Konfidenzintervallen</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 8: Die direkte Gegenüberstellung der mittleren Laktatwerte (mmol/l) der unterschiedlichen Gruppen zu den verschiedenen Zeiten.....</i>	<i>42</i>
<i>Abbildung 9: Korrelation von HF und ΔLaktat (mmol/l) beim Maximum im Gesamtkollektiv.....</i>	<i>43</i>
<i>Abbildung 10: Mittelwerte des maximalen Atemzugvolumens (l / Atemzug) mit Konfidenzintervalle der 4 Gruppen</i>	<i>45</i>
<i>Abbildung 11: Die Mittelwerte des Atemminutenvolumens der 4 Gruppen zu den verschiedenen Zeiten mit Konfidenzintervallen.....</i>	<i>49</i>
<i>Abbildung 12: Die Mittelwerte der 4 Gruppen der Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg KG) mit Konfidenzintervallen.....</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 13: Mittelwerte der Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg KG) der 4 Gruppen zu den verschiedenen Zeiten.....</i>	<i>53</i>
<i>Abbildung 14: Korrelation von $\dot{\Delta V}_{O_2}$ (ml/min/kg KG) und Herzfrequenz im Schwellenbereich mit einem Konfidenzintervall von 95 %.....</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 15: Korrelation von $\dot{\Delta V}_{O_2 \max}$ (ml/min/kg KG) und HF_{\max} mit dem Konfidenzintervall von 95 %.....</i>	<i>54</i>

9 Anhang

<i>Abbildung 16: Korrelation von $\Delta\dot{V}_{O_2}$ (ml/min/kg KG) und Atemfrequenz im Schwellenbereich mit dem Konfidenzintervall von 95 %.....</i>	<i>58</i>
<i>Abbildung 17: Korrelation von \dot{V}_{O_2} und Atemfrequenz beim Maximum mit dem Konfidenzintervall von 95 %.....</i>	<i>58</i>
<i>Abbildung 18: Das Verhältnis der gesamten Probanden von $\Delta\text{Laktat}_{max}$ (mmol/l) und \dot{V}_{O_2max} (ml/min/kg Körpergewicht). Zudem ist eine Regressionsgerade mit dem Konfidenzintervall von 95% eingetragen.</i>	<i>63</i>

9 Anhang

Tabellenverzeichnis:

<i>Tabelle 1: Die Unterschiede der Muskelfasern; s = schnelle Fasern ; l = langsame Fasern</i>	23
<i>Tabelle 2: Mittelwerte der Herzfrequenz (Schläge/min) und die Mediane der 4 Gruppen in Ruhe</i>	34
<i>Tabelle 3: Die Mittelwerte der Herzfrequenz (Schläge/min) und die Mediane der 4 Gruppen an der anaeroben Schwelle</i>	35
<i>Tabelle 4: Die Mittelwerte der Herzfrequenz (Schläge/min) und die Mediane der 4 Gruppen bei maximaler Belastung</i>	35
<i>Tabelle 5: Die Mittelwerte der Herzfrequenz (Schläge/min) der 4 Gruppen nach 5 Minuten Erholung</i>	36
<i>Tabelle 6: Die Mittelwerte des Sauerstoffpulses (ml / Herzschlag) und die Mediane der 4 Gruppen bei maximaler Belastung</i>	38
<i>Tabelle 7: Die Mittelwerte des Laktats (mmol/l) der 4 Gruppen in Ruhe</i>	38
<i>Tabelle 8: Die Mittelwerte des Laktats (mmol/l) der 4 Gruppen an der anaeroben Schwelle</i>	39
<i>Tabelle 9 Die Mittelwerte des Laktats (mmol/l) und die Mediane der 4 Gruppen bei maximaler Belastung</i>	40
<i>Tabelle 10: Die Mittelwerte des Laktats (mmol/l) und die Mediane der 4 Gruppen nach 5 Minuten Erholung</i>	40
<i>Tabelle 11: Die Mittelwerte und die Mediane der 4 Gruppen des Atemzugvolumens (l / Atemzug) in Ruhe</i>	43
<i>Tabelle 12: Die Mittelwerte und die Mediane der 4 Gruppen des Atemzugvolumens (l / Atemzug) an der Laktatschwelle</i>	44
<i>Tabelle 13: Die Mittelwerte und Mediane des Atemzugvolumens der 4 Gruppen am Maximalpunkt</i>	44
<i>Tabelle 14: Die Mittelwerte und Mediane der 4 Gruppen des Atemzugvolumens (l / Atemzug) in der Erholungsphase</i>	45
<i>Tabelle 15: Die Mittelwerte und Mediane der 4 Gruppen des Atemminutenvolumens (l / min) in Ruhe</i>	46
<i>Tabelle 16: Die Mittelwerte und Mediane der 4 Gruppen des Atemminutenvolumens (l / min) an der anaeroben Schwelle</i>	47
<i>Tabelle 17: Die Mittelwerte und Mediane der 4 Gruppen des Atemminutenvolumens (l / min) bei maximaler Belastung</i>	47

9 Anhang

<i>Tabelle 18: Die Mittelwerte und Mediane der 4 Gruppen des Atemminutenvolumens (l / min) nach 5 Minuten Ruhe</i>	48
<i>Tabelle 19: Die Mittelwerte und die Mediane der 4 Gruppen der Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg KG) in Ruhe</i>	50
<i>Tabelle 20: Die Mittelwerte und die Mediane der 4 Gruppen der Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg KG) an der anaeroben Schwelle</i>	50
<i>Tabelle 21: Die Mittelwerte und die Mediane der 4 Gruppen der Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg KG) bei maximaler Belastung</i>	51
<i>Tabelle 22: Die Mittelwerte und die Mediane der 4 Gruppen der Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg KG) nach 5 Minuten in Ruhe</i>	51
<i>Tabelle 23: Erreichte Prozentzahl des $\dot{V}_{O_2\max}$ bis zur Schwelle der 4 Gruppen</i>	52
<i>Tabelle 24: Mittelwerte der Frequenz der Atemzüge der 4 Gruppen in Ruhe</i>	56
<i>Tabelle 25: Mittelwerte der Frequenz der Atemzüge und Mediane der 4 Gruppen an der anaeroben Schwelle</i>	56
<i>Tabelle 26: Mittelwerte der Frequenz der Atemzüge der 4 Gruppen bei maximaler Belastung</i>	57
<i>Tabelle 27: Respiratorischer Quotient in Ruhe, an der Schwelle und bei maximaler Belastung</i>	59
<i>Tabelle 28: Mittel des respiratorischen Quotienten in den 4 Gruppen nach 5 Minuten Erholung</i>	59
<i>Tabelle 29: Mittelwerte der Atemäquivalente O_2 (l/l) und CO_2 (l/l) in Ruhe</i>	60
<i>Tabelle 30: Mittelwerte von EQO_2 (l/l) und $EQCO_2$ (l/l) an der Schwelle mit Konfidenzintervallen der 4 Gruppen</i>	60
<i>Tabelle 31: Mittelwerte von EQO_2 (l/l) und $EQCO_2$ (l/l) bei maximaler Belastung mit Konfidenzintervallen der 4 Gruppen</i>	61
<i>Tabelle 32: Mittelwerte von EQO_2 (l/l) und $EQCO_2$ (l/l) nach 5 Minuten Erholung mit Konfidenzintervallen der 4 Gruppen</i>	61
<i>Tabelle 33: Mittelwerte und Mediane des Quotienten der Δ-Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg Körpergewicht) und den Δ-Laktatwerten (mmol/l) der 4 Gruppen an der anaeroben Schwelle</i>	62
<i>Tabelle 34: Mittelwerte und Mediane des Quotienten der Δ-Sauerstoffaufnahme (ml/min/kg Körpergewicht) und den Δ-Laktatwerten (mmol/l) der 4 Gruppen bei maximaler Belastung</i>	63

Danksagung

Meinem Doktorvater Professor Dr. F. Schardt danke ich für die Überlassung des Themas und für die hilfreichen Diskussionen.

Herrn Professor Dr. Voelker danke ich für die Übernahme des Koreferats.

Herrn Stefan Bedel danke ich besonders für seine technische Unterstützung, die Erklärung der Computerprogramme und die unermüdliche Hilfe bei der Durchführung der zahlreichen Untersuchungen.

Des weiteren danke ich allen Personen, die sich als Probanden zur Verfügung gestellt haben.

Außerdem bedanke ich mich bei Max Hartmann und meinen Eltern für die andauernde Hilfe.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Jutta Aßmann
Anschrift: Speckertsweg 41
97209 Veitshöchheim
Geburtsdatum/-ort: 13. August 1975, Würzburg
Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulbildung

1982-1986 Julius-Echter-Grundschule, Veitshöchheim
1986-1995 Deutschhaus-Gymnasium, Würzburg

Studium

11/1995-5/2002 Julius - Maximilians Universität

Praktika

08/95-10/95 Praktikum in der Kinderfachklinik Satteldüne auf Amrum
03/96 Pflegepraktikum im Juliusspital Würzburg auf der Urologie und Kardiologie

Famulaturen

09/97 Allgemeinmedizin bei Dr. Wirth in Veitshöchheim
03/98 Unfallchirurgie im KKH Garmisch - Partenkirchen
03/99 Innere Medizin im KKH Karlstadt
04/00 Plastische Chirurgie in Pretoria / Südafrika
SS 2000 Kinderheilkunde in der Praxis bei Dr. Lick in Würzburg

Praktisches Jahr

1. Tertial Anästhesie in Burgdorf / Bern
2. Tertial -Allgemeinchirurgie im Toronto im East General Hospitaf
-Gefäßchirurgie in der Universitätsklinik Würzburg
3. Tertial Innere Medizin im Lehrkrankenhaus Coburg