



Medizinische Universität Graz

BAKKALAUREATSARBEIT

Die Auswirkungen von Ausdauertraining auf das Herz-Kreislauf-System

Interne

Begutachterin:

Ao.Univ.-Prof. Dr.med.univ. Sabine Horn

Klinische Abteilung für Nephrologie u. Hämodialyse

Auenbruggerplatz 15

8036 Graz

Eingereicht von:

Iris Egarter

0833127

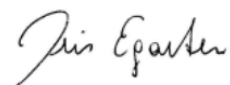
Graz, am 08.10.2012

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebene Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Weiters erkläre ich, dass ich diese Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt habe.

Graz, am 08.10.2012

Unterschrift: Iris Egarter

A handwritten signature in cursive script that reads "Iris Egarter".

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	5
2	Klärung von wesentlichen Begriffen.....	6
2.1	Ausdauer (nach rein sportmedizinischen Gesichtspunkten).....	6
2.2	Training	6
2.3	Laktat.....	6
3	Energiebereitstellung.....	7
4	Ausdauertraining	10
4.1	Aerobe Ausdauer	10
4.2	Anaerobe Ausdauer	12
5	Das Herz-Kreislauf-System.....	14
5.1	Das Herz	14
5.2	Grosser und kleiner Blutkreislauf.....	15
5.3	Blut und Blutdruck	16
5.4	Atmungssystem	17
6	Physiologische Anpassungen des Herz-Kreislauf-Systems an Ausdauertraining.....	19
6.1	Die Herzfrequenz (HF).....	20
6.2	Das Schlagvolumen(SV)	20
6.3	Das Herzminutenvolumen(HMV)	21
6.4	Das Sportherz	22
6.5	Die maximale Sauerstoffaufnahme (Vo2 max.)	23
7	Spiroergometrie.....	23
8	Eigene Daten	25
8.1	Material und Methode	25
8.2	Ergebnisse und Resultate.....	27
8.3	Schlussfolgerung	33

Literaturverzeichnis.....	34
Abbildungsverzeichnis	35
Tabellenverzeichnis.....	35

1 EINLEITUNG

Mit dem Wohlstand der heutigen Gesellschaft in den Industriestaaten, geht ein Mangel an Bewegung einher. Es häufen sich die Fälle von Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Stoffwechselstörungen und Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates, infolge von Fehlbelastungen. Eines der häufigsten gesundheitlichen Probleme in der heutigen Zeit ist das Übergewicht. Durch Aufklärung der Bevölkerung wird versucht, gegen den Bewegungsmangel und das Übergewicht anzukämpfen und Menschen mittleren Alters zu körperlicher Tätigkeit zu motivieren. Epidemiologische Studien belegen, dass regelmäßige sportliche Betätigung eine präventive Wirkung gegenüber den oben genannten Erkrankungen ausübt. Sport wirkt sich positiv auf die Lebensqualität aus und kann diese über längere Zeit erhalten.¹

Besonders das Ausdauertraining ist für die Verhütung von Krankheit, Verminderung von Komplikationen nach Erkrankungen und die Wiederherstellung der Gesundheit geeignet. Auf das Herz-Kreislauf-System bezogen, bewirkt ein regelmäßiges Ausdauertraining vor allem eine Ökonomisierung der Herzfunktion. Dies bedeutet, dass die Herzfrequenz, die Herzarbeit und der Sauerstoffverbrauch in Ruhe und bei Belastung abnehmen und das Herz im Schongang arbeitet. Durch diese funktionellen Anpassungen des Herzens an Ausdauertraining, werden Schutzmechanismen gegenüber Stresseinflüssen des Alltags und bezüglich Herz-Kreislauf-Erkrankungen aktiviert. Des weiteren verhindert Ausdauertraining die Entstehung oder die Weiterentwicklung von Fettstoffwechselstörungen, Bluthochdruck, Übergewicht und Diabetes mellitus. Die Art des Ausdauertrainings soll individuell an den Menschen und seine Vorlieben angepasst werden. Für Übergewichtige ist es nicht ratsam, ein Lauftraining zu starten, da die Gelenke extrem belastet werden. Besser eigenen würden sich in diesem Fall Sportarten wie: Schwimmen, Rad fahren, Gehen, Walken oder Wandern.²

In dieser Arbeit werden zunächst wesentliche Begriffe geklärt. Nach der Erläuterung der Grundlagen in der Energiebereitstellung wird auf die verschiedenen Formen der Ausdauer eingegangen. Auf den Seiten 13-17 folgt eine Übersicht über das Herz-Kreislauf-System. In diesem Zusammenhang wird das Herz, kleiner und großer Blutkreislauf, Blut und Blutdruck und das Atmungssystem erklärt. Anschließend werden die Anpassungen des Herz-Kreislauf-Systems an Ausdauertraining erläutert. Danach wird der Begriff der Superkompensation

¹ (Neumann, et al., 2011, p. 9)

² (Neumann, et al., 2011, pp. 26-28)

erklärt und auf die Veränderung von Herzfrequenz, Schlagvolumen, Herzminutenvolumen, maximaler Sauerstoffaufnahme und auf das Sportherz wird eingegangen. Zuletzt sind einige Beispiele von Sportlern angeführt, die zur Veranschaulichung der Anpassung des Körpers an Ausdauerbelastungen beitragen sollen. Die in der Arbeit dargelegten Anpassungserscheinungen des Herz-Kreislauf-Systems an Belastung, sollen in diesen Beispielen ersichtlich gemacht werden.

2 KLÄRUNG VON WESENTLICHEN BEGRIFFEN

2.1 AUSDAUER (NACH REIN SPORTMEDIZINISCHEN GESICHTSPUNKTEN)

„Ausdauer ist charakterisiert als die Fähigkeit, eine gegebene Leistung über einen möglichst langen Zeitraum durchhalten zu können.“³ Kurz gesagt bedeutet Ausdauer „Ermüdungs-Widerstandsfähigkeit“.

2.2 TRAINING

Der Körper steuert sich selbst über bestimmte Rezeptoren und Regelmechanismen und versucht Schwachstellen, zum Beispiel im Gewebe, sofort zu stärken. Findet eine starke muskuläre Beanspruchung statt, kommt es zu einem Abbau der Glykogenreserven. Diese werden in der Erholungsphase über den alten Stand hinaus wiederaufgefüllt, um auf eine erneute Belastung besser reagieren zu können. Auf diese Vorgangsweise baut sich das gesamte körperliche Training auf. Vorauszusetzen ist, dass der Reiz eine kritische Schwelle überschreitet.⁴

2.3 LAKTAT

Unter Laktat, oder Milchsäure, versteht man das Endprodukt des anaeroben Zuckerabbaus. Ist die Belastung sehr hoch und die Dauer über 2 Minuten, kann das Laktat wegen Sauerstoffmangelbedingungen nicht vollständig abgebaut werden und es kommt zu einer Übersäuerung und schließlich zu einer Blockade der Arbeitsmuskulatur. Das Ziel im Ausdauersport ist es nun, eine möglichst hohe Intensität über einen möglichst langen Zeitraum ohne leistungshemmende Milchsäureproduktion zu erreichen.⁵

³ (Geiger, 2001, p. 11)

⁴ (Hollmann & Strüder, 2009, p. 123)

⁵ (Geiger, 2001, pp. 73-74)

3 ENERGIEBEREITSTELLUNG

Der Stoff, der für die An- und Entspannung der Muskulatur notwendig ist, heißt „Adenosintriphosphat“ (ATP). Bei jeder noch so kleinen Bewegung wird ATP benötigt. Bei der Muskelarbeit wird aus ATP-ADP (Adenosindiphosphat) und Energie wird direkt für die Muskeln freigesetzt. Die Menge an ATP im Körper ist jedoch begrenzt und liefert nur für 1-2 Sekunden Energie. Danach findet die ATP Resynthese (Wiederherstellung) statt, sodass die Menge an ATP konstant bleibt. Zuerst wird ATP durch Kreatinphosphat (KP) synthetisiert. Es liefert schnell Energie, ist jedoch nach 6-8 Sekunden aufgebraucht. Da diese Hilfssysteme keine dauerhafte Lösung darstellen, wird die Energie aus Kohlenhydraten, Fetten und Eiweißen (nur in Extremsituationen) gewonnen. Im Gegensatz zum Fettdepot, das nahezu unbegrenzt ist, kann der Kohlehydratspeicher schneller ausgeschöpft werden.⁶

Energiebereitstellung aus Kohlenhydraten

Kohlenhydrate werden durch die Nahrung in Form von Zucker oder Stärke aufgenommen. Da der Körper nur Glukose (Traubenzucker) verarbeiten kann, wandelt die Leber die anderen Zuckerarten in Glukose um. Die Glukose wird in der Muskelzelle als Glykogen gespeichert und bei Belastung wird auf den Speicher zugegriffen. Das besondere der Kohlenhydrate ist, dass sie nicht nur mit O₂, also aerob, Energie liefern können, sondern auch ohne O₂, also anaerob.⁷ Welche Wahl der Körper trifft, hängt von der Belastungsintensität ab.

- Hohe und/oder schnell ausgeführte Muskelbelastungen: anaerob
- Mittlere Belastungen: gemischt anaerob/aerob
- Niedrige und/oder langsame Belastungen: rein aerob⁸

Die anaerobe Energiegewinnung

Bei sehr hohen Belastungen wird Glykogen ohne Mitwirken von Sauerstoff in Laktat (Milchsäure) umgebaut. Die Energie steht schnell zur Verfügung und ermöglicht einen hohen Muskeleinsatz. Durch das Anhäufen der Milchsäure ist sie allerdings begrenzt. Nach 40 Sekunden maximaler anaerober Arbeitszeit stellt sich ein Leistungsabfall durch Übersäuerung ein. Diese Form der Energiegewinnung wird anaerob-laktazid genannt.⁹

⁶ (Janssen, 2003, pp. 14-15)

⁷ (Haber, 2001, p. 9)

⁸ (Geiger, 2001, p. 35)

⁹ (Geiger, 2001, p. 35)

Die aerobe Energiegewinnung

Bei niedrigen bis mittleren Belastungen kann das Glykogen auch mit Sauerstoff zur Energiegewinnung herangezogen werden. Die Energie wird langsamer zur Verfügung gestellt, reicht jedoch für ca. eine Stunde mit aerober Belastung aus. Die Fettspeicher sind nahezu unbegrenzt. Es können Leistungen niedriger Intensität über mehrere Stunden erbracht werden. Zu beachten ist, dass die Fettverbrennung erst nach ca. 15-30 min. nach Belastungsbeginn einsetzt und mehr Sauerstoff benötigt. Bei niedrigen Belastungen ist dies jedoch kein Nachteil. Die Kohlenhydratverbrennung und die Fettverbrennung laufen parallel ab. Der Anteil der Energiebereitstellung ist jedoch von der Belastungsintensität und dem Trainingszustand abhängig. Zu beachten ist, dass für die Fettverbrennung auch immer gewisse Anteile an Kohlenhydraten notwendig sind.¹⁰

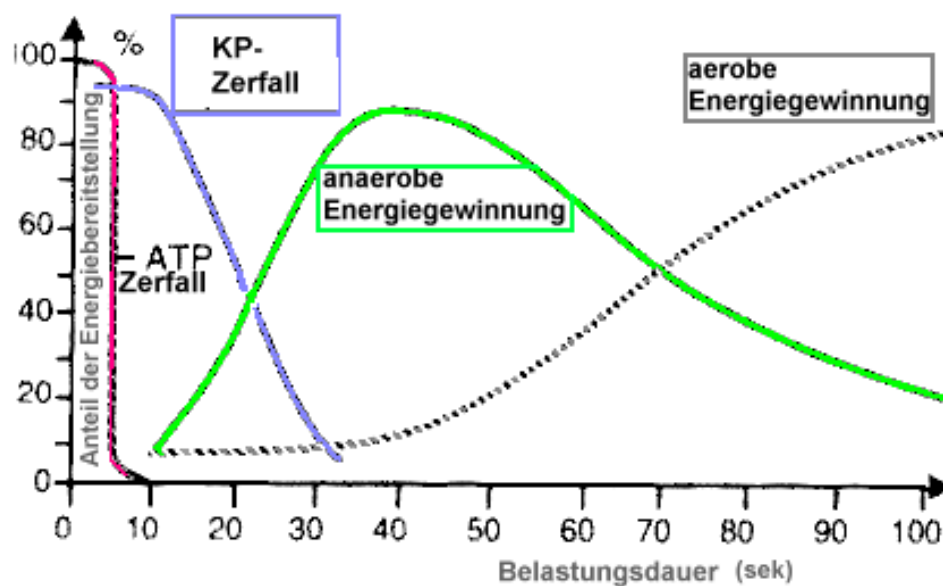


Abb.1: Energiebereitstellung¹¹

¹⁰ (Geiger, 2001, p. 36)

¹¹ //www.sportunterricht.de/lksport/atp.html, Aufruf am 30.08.2012

Mögliche Wege der Energiefreisetzung

1. **Kurze explosive Belastung** bis 2 sec:
Energie wird nur aus ATP-Zerfall gewonnen
Beispiel: Kugelstoßen
2. **Kurze explosive Leistung** bis 8 sec:
Energie aus KP
Beispiel: 50-70m Sprint
3. **Maximale Leistung** bis zu 40-50 sec:
Energiegewinn durch zusätzlichen anaeroben Glukose-Abbau
Beispiel 400-m- Lauf
4. **Intensive Belastungen** von mehr als 2 min. Dauer:
Energiegewinn zunehmend durch aeroben Glukose-Abbau, bei Belastungen über 30-60 min. zusätzlich durch ansteigenden aeroben Fettsäureabbau.¹²

¹² (Geiger, 2001, p. 38)

4 AUSDAUERTRAINING

Eine physiologische Definition, welche unabhängig von Sportart und Wettkampfdauer ist, lautet wie folgt: „*Ausdauer ist die Fähigkeit, durch Muskeltätigkeit verbrauchtes ATP durch Steigerung der Produktion zu resynthetisieren und damit eine neue Leistungshomöostase für ATP einzustellen.*“¹³

Laut Schnabel et al. (1995), ist Ausdauer die Fähigkeit eine zuverlässige Dauerbelastung des Organismus in einer Sportart auszuführen.¹⁴

Die Ausdauer nimmt mit ihren zahlreichen Erscheinungsformen eine zentrale Rolle in vielen Sportarten ein. Je nach Sportartspezifik, muskulärer Energiebereitstellung, motorischer Hauptbeanspruchungsform oder Zeitdauer, wird zwischen allgemeiner und spezieller Ausdauer, aerober und anaerober Ausdauer, Kraft-, Schnellkraft- und Schnelligkeitsausdauer, Kurz-, Mittel- und Langzeitausdauer unterschieden.¹⁵

Die allgemeine Ausdauer bezeichnet häufig die Grundlagenausdauer, die als sportartunspezifisch angesehen wird. Sie ist die Basis für eine bessere Regenerations- und Leistungsfähigkeit. Als spezielle Ausdauer wird die sportartspezifische Ausdauer bezeichnet. Im Training werden spezielle Elemente, die für den Wettkampf benötigt werden mit höchster Intensität trainiert. Zu den Inhalten des Trainings gehören zum Beispiel das Bewältigen von Starts, Zwischen- und Endspurts, Anstiegen und Abfahrten.¹⁶

4.1 AEROBE AUSDAUER

Die Energiebereitstellung bei der aeroben Ausdauer erfolgt durch den oxydativen Abbau von Fettsäuren und/oder Glukose. Die aerobe Leistungsfähigkeit wird mit Hilfe einer Messung der VO₂ max. ermittelt. Je nach Form der Energiebereitstellung, Fettsäuren und/oder Glukose können zwei Unterformen der aeroben Ausdauer unterschieden werden:

¹³ (Haber, 2001, p. 113)

¹⁴ (Neumann, et al., 2011, p. 129)

¹⁵ (Weineck, 2004, p. 141 zit. in Diplomarbeit: Schober Christian, Auswirkungen eines 7-monatigen Marathontrainings auf anthropometrische und Leistungskennwerte, Leistungsentwicklung und der Wettkampfleistung bei mäßig trainierten Personen. p.12)

¹⁶ (Haber, 2001, p. 134)

Extensive-aerobe Ausdauer

Laut Haber (2001) lautet die physiologische Definition der extensiv-aeroben Ausdauer wie folgt: *„Die ATP-Synthese während der Belastung erfolgt mit oxydativen Glukose- und Fettabbau, also immer mit einem Mischstoffwechsel.“*

Bei geringer Belastung dominiert der Fettabbau, welcher bei gesteigerter Intensität kontinuierlich abnimmt und nach und nach durch die Glukoseoxydation ersetzt wird. Bei 50-70% der VO₂ max. wird die Fettsäuremobilisation aus den Speichern vollständig blockiert und die Energie wird nur mehr aus Glukose gewonnen. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich der Laktat Spiegel im Blut auf ca. 4 mmol/l. Spätestens bei 6 mmol/l hat sich der Mischstoffwechsel auf reinen Glukosestoffwechsel umgestellt. Die extensiv-anaerobe Ausdauer ist das Grundgerüst für alle länger dauernden Belastungen und die Basis für Ausdauertraining. Sie trägt zum Erreichen von sportlichen Zielen bei und findet auch in der Prävention und Rehabilitation Anwendung.

Unspezifische, sportunabhängige Wirkungen des extensiv-aeroben Ausdauertrainings sind im Wesentlichen:

- die Zunahme der VO₂ max.
- die Entwicklung eines Sportherzens
- und die positive Wirkung auf Kreislauf, Atmung und andere Organe.

Intensiv-aerobe Ausdauer

Die physiologische Definition der intensiv-aeroben Ausdauer lautet nach Haber (2001) folgendermaßen: *„Die ATP-Synthese erfolgt auf der Basis ausschließlicher Glukoseoxydation.“*

Liegt die Intensität bei 50-60% der VO₂ max. wird wie erwähnt auf reine Glukoseoxydation umgestellt. Dies wird im Blut durch die Laktatwerte angezeigt. Die anaerobe Schwelle liegt bei ca. 4 mmol/l und es herrscht ein sogenanntes Laktat Steady- State, was bedeutet, dass das gebildete Laktat wieder abgebaut werden kann, sofern die Schwelle nicht überschritten wird. Die Energiebereitstellung ist also noch zu 100% aerob. Da die Kohlehydratspeicher jedoch begrenzt sind, kann die Belastung mit dieser erhöhten Intensität nur bis zu 60 Minuten aufrecht erhalten bleiben. Intensives Ausdauertraining ist nur in der Vorbereitung auf entsprechende sportliche Wettkämpfe ratsam. Für medizinische Indikationen ist intensives Ausdauertraining aufgrund erhöhter Risiken abzulehnen.¹⁷

¹⁷ (Haber, 2001, pp. 114-118)

4.2 ANAEROBE AUSDAUER

Die anaerobe Ausdauer ist gekennzeichnet durch eine ATP-Resynthese ohne O₂. Die Belastungsintensität übersteigt die 100% der VO₂ max. Es ist nicht mehr genügend Sauerstoff da, um den aeroben Energiefluss zu decken. Diese Form der ATP-Wiederherstellung wird auch in den ersten 1-2 Minuten einer aeroben Belastung verwendet, da die oxidative Energiebereitstellung erst nach dieser Zeit das notwendige Niveau erreicht hat. Je nach Art der dabei verwendeten energieliefernden Stoffe, können zwei Unterformen unterschieden werden:¹⁸

Die laktazid- anaerobe Ausdauer:

Das Kennzeichen der laktazid-anaeroben Ausdauer ist, dass die ATP-Synthese auf Basis der Glykolyse stattfindet. Diese Form der ATP-Resynthese dominiert bei Maximalbelastungen bis zwei Minuten Dauer und ist nur bei Wettkämpfen, die 6-8 Minuten dauern relevant. Ein Merkmal dieser Ausdauer ist ein schnell ansteigender Laktatspiegel. Die maximale Laktatanstiegsgeschwindigkeit soll möglichst ausgenutzt werden. Sie beträgt bei Untrainierten 21 mmol/l/min. und bei Trainierten bis zu 40 mmol/l/min. Im Vergleich zur aeroben Ausdauer entwickelt sich die laktazid-anaerobe Ausdauer innerhalb 2-3 Monaten, daher sollte diese Form der Ausdauer nur für die Vorbereitung auf entsprechende Wettkämpfe eingesetzt und nur in der Spezialsportart durchgeführt werden. Laktazid- anaerobe Ausdauerbelastungen eignen sich nicht für gesundheitsorientiertes Training.¹⁹

Die alaktazid- anaerobe Ausdauer:

Hierbei findet die ATP-Synthese auf Basis der Kreatinphosphatspaltung statt. Die alaktazid-anaerobe Ausdauer spielt besonders bei Sprints und Kraftleistungen eine Rolle. Diese Ressource ist bereits nach ca.10 Sekunden erschöpft. Das Training der alaktazid anaeroben Ausdauer hat nur im Bereich des Leistungssports (Sprint) einen Sinn.²⁰

¹⁸ (Haber, 2001, p. 118)

¹⁹ (Haber, 2001, pp. 118-119)

²⁰ (Haber, 2001, pp. 119-120)

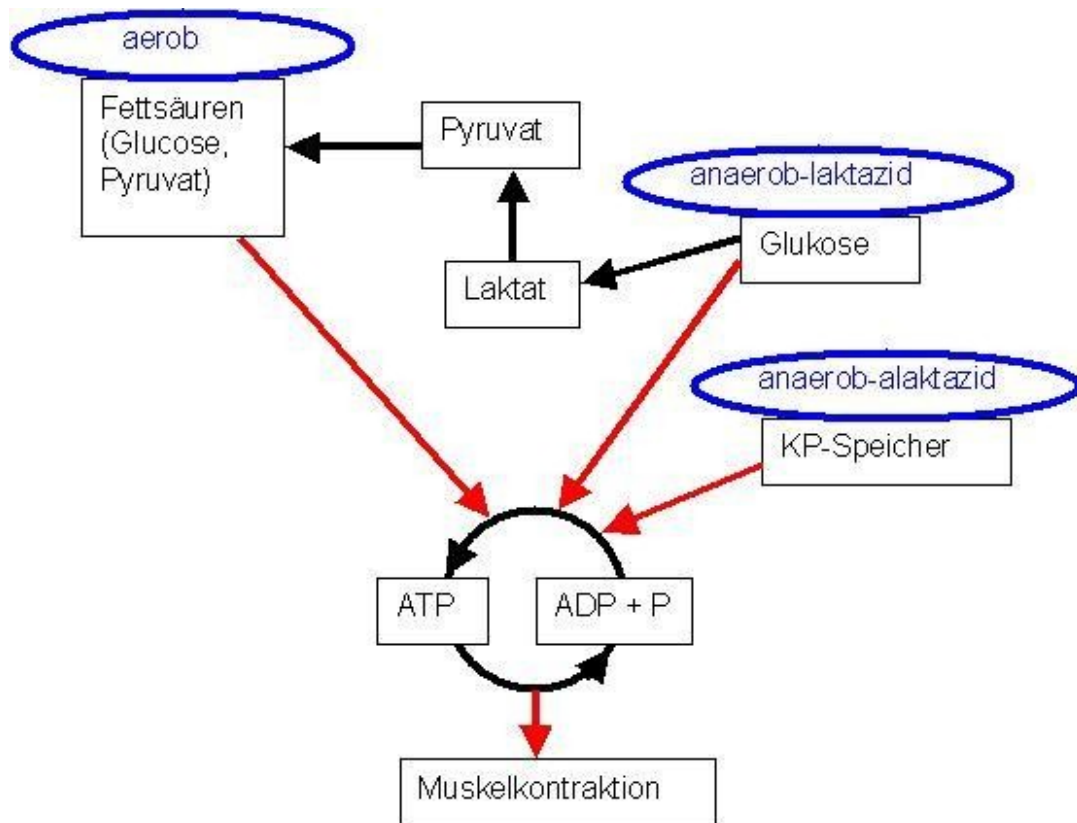


Abb. 2: Ausdauerformen²¹

²¹ <http://goo.gl/rEJgV> Aufruf, am 04.10.2012

5 DAS HERZ-KREISLAUF-SYSTEM

Für die Versorgung der zahlreichen Zellen des menschlichen Organismus ist das Herz-Kreislauf-System mit seinen Kreislauforganen zuständig. Das Blut muss durch den Körper bewegt und weitergeleitet werden. Hierfür sind das Herz und das Gefäßsystem, die zu den Kreislauforganen zählen, verantwortlich. Das Blut wird vom Herzen durch das Gefäßsystem gepumpt, das sich aus Arterien (Schlagadern), Kapillaren (Haargefäße), Venen (Blutadern) und Lymphgefäßen zusammensetzt. Die Aufgabe der Arterien ist es, das Blut vom Herzen wegzuleiten und zu verteilen. In den Kapillaren findet der Austausch von Sauerstoff (O₂) und Nährstoffen statt. Für den Rücktransport des Blutes zum Herzen sind die Venen zuständig. Die Lymphgefäße transportieren Flüssigkeit und Abwehrzellen.²²

5.1 DAS HERZ

Das Herz stellt den Motor des Blutkreislaufes dar. Es handelt sich um ein Hohlorgan, das sich in einem Bindegewebsraum, dem sogenannten Mediastinum befindet, das zwischen Wirbelsäule und Brustbein liegt. Umhüllt wird es von einem Herzbeutel (Perikard). Das Herz hat etwa die Größe der geballten Faust eines Menschen und wiegt durchschnittlich zwischen 300 und 350 Gramm bei Männern und 250-300 Gramm bei Frauen. Am oberen Ende (Herzbasis) ist es flacher und läuft nach unten hin spitz zu (Herzspitze). Die Herzspitze zeigt nach links vorne und liegt in etwa hinter der 5. Rippe. Es gibt vier Herzkammern, welche sich in rechte und linke Herzkammer (Ventrikel) und rechten und linken Vorhof unterteilen. Das "rechte Herz" ist für den Lungenkreislauf und das "linke Herz" für den Körperkreislauf zuständig. Zusätzlich gibt es noch Segelklappen, die Bikuspidalklappe oder Mitralklappe (li) und Trikuspidalklappe (re) heißen und zwischen Vorhöfen und Kammern liegen. Die Taschenklappen nennt man Pulmonalklappe (re) und Aortenklappe (li). Sie befinden sich demnach am Eingang in die A.pulmonalis und die Aorta. Diese Herzklappen bestimmen die Strömungsrichtung des Blutes und verhindern ein Zurückfließen des Blutes nach einer Kammerkontraktion.²³

Die Kontraktion des Kammermyokards wird als Systole und die Erschlaffung als Diastole bezeichnet. Das Blut wird von den Herzkammern in Schüben und synchron in den Truncus pulmonalis und die Aorta gepumpt.²⁴

²² (Faller & Schünke, 2008, p. 234)

²³ (Faller & Schünke, 2008, pp. 235-242)

²⁴ (Faller & Schünke, 2008, p. 245)

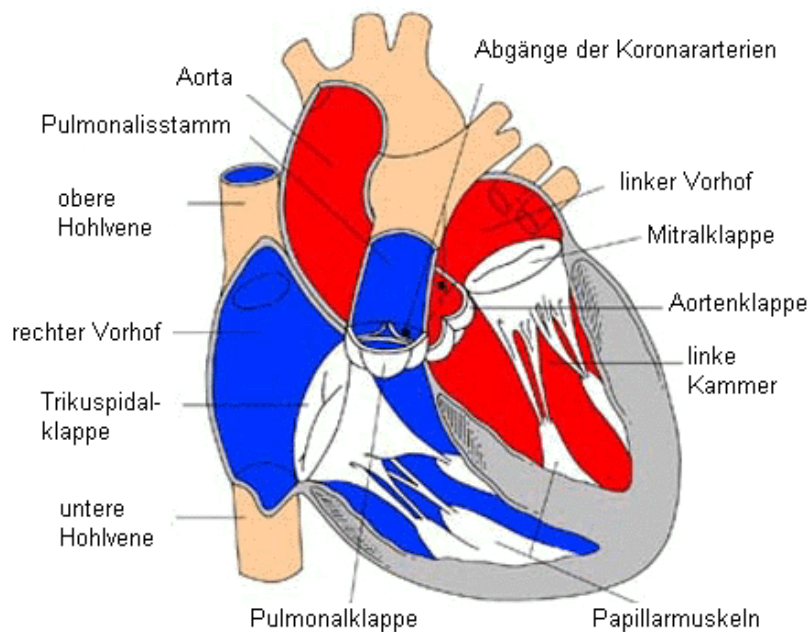


Abb.3: Innenansicht des Herzens²⁵

5.2 GROSSER UND KLEINER BLUTKREISLAUF

Funktionell werden ein großer Körperkreislauf und ein kleiner Lungenkreislauf unterschieden. Zuerst gelangt das sauerstoffarme Blut aus den unteren und oberen Körperregionen über die großen Venenstämme zum rechten Vorhof und schließlich über den linken Ventrikel und die A.pulmonalis zur Lunge. Dieser Abschnitt wird als Lungenkreislauf bezeichnet. Ist das Blut in der Lunge angekommen, wird es mit Sauerstoff angereichert und gelangt über die Vv.pulmonales in den linken Vorhof. Schließlich gelangt es in den linken Ventrikel, von dem es über die Aorta in den großen Kreislauf, dem sogenannten Körperkreislauf gepumpt wird.²⁶

Innerhalb des großen Kreislaufes befindet sich das Pfortadersystem. Das venöse Blut, das aus dem Magen-Darm-Trakt und der Milz kommt, ist mit Nahrungsbestandteilen, welche von der Dünndarmschleimhaut resorbiert wurden angereichert. Es wird über die Pfortader (V.portae) zur Leber transportiert. In der Leber werden Kohlenhydrate gespeichert und es kommt zu einem Ab- und Umbau von Fetten. Das Blut wird von schädigenden Stoffen (z.B. Medikamente) gereinigt, sodass die verbleibenden Nahrungsbestandteile von den Zellen weiter verarbeitet werden können. Über die Lebervene (Vv.hepaticae) strömt das Blut in die

²⁵ <http://goo.gl/aAcl8> Aufruf am 13.08.2012

²⁶ (Faller & Schünke, 2008, p. 263)

untere Hohlvene, die in den rechten Ventrikel mündet. Somit gelangt das Blut in den Lungenkreislauf. Das mit Nährstoffen und O₂ angereicherte Blut wird über den Körperkreislauf zu den Kapillaren gepumpt, in denen letztendlich der Stoffaustausch stattfindet.²⁷

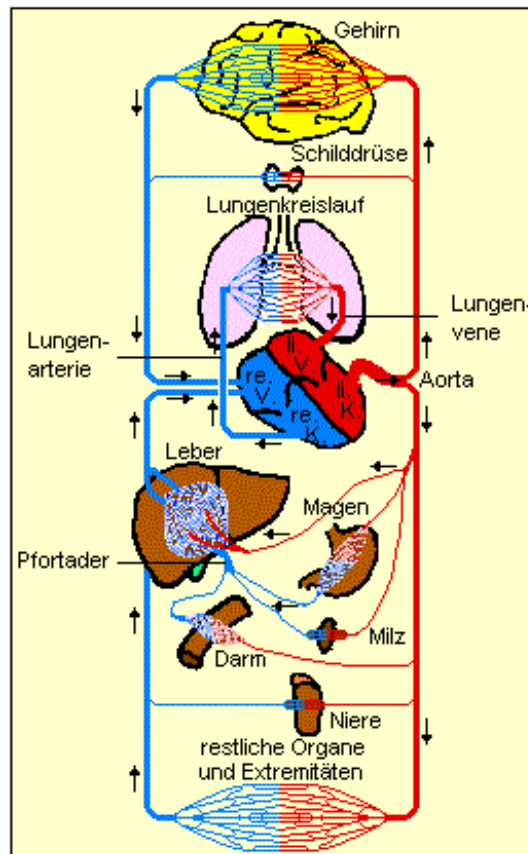


Abb.4: Herz-Kreislauf- und Pfortadersystem²⁸

5.3 BLUT UND BLUTDRUCK

Das Blutvolumen beträgt bei Frauen im Schnitt 4-4,5 Liter und bei Männern 4,5-5 Liter. Das Blut besteht aus festen Blutzellen und Blutplasma und ist für den Transport von O₂, CO₂, Nahrungsstoffen, Stoffwechselendprodukten, Vitamine und Elektrolyte verantwortlich. Zusätzlich gehört der Transport von Wärme, die Signalübermittlung durch Hormone, die Pufferung und die Abwehr körperfremder Stoffe zu den Aufgaben des Blutes.

²⁷ (Faller & Schünke, 2008, pp. 263-264)

²⁸ <http://www.medizinfo.de/venen/anatomie/blutkreislauf.shtml> Aufruf am 04.08.2012

Den größten Teil der festen Blutzellen bilden die Erythrozyten, die für den O₂ Transport und für einen Teil der pH- Pufferung zuständig sind. Die Leukozyten sorgen für die Abwehr von Stoffen und Mikroorganismen. Fehlen noch die Thrombozyten, die zur Blutstillung beitragen.²⁹

Wenn man von Blutdruck spricht, ist immer der arterielle Blutdruck im Körperkreislauf gemeint. Der arterielle Blutdruck bezeichnet den Druck, gegen den die linke Herzkammer das Blut auswerfen muss. Bei der Messung des Blutdrucks, kann man den systolischen Wert (maximaler Blutdruck auf dem Höhepunkt der Austreibungsphase) und den diastolischen Wert (minimaler Blutdruck beim Öffnen der Aortenklappe) ablesen. Die Normalwerte liegen bei: 120 mmHg (systolischer Blutdruck) und 80 mmHg (diastolischer Blutdruck). Der systolische Blutdruck kann bei körperlicher Arbeit für kurze Zeit auf bis zu 200 mmHg steigen. Bei Bluthochdruck (Hypertonie) liegt der diastolische Wert auch in Ruhe über 90 mmHg und der systolische Wert über 140 mmHg. Ein zu geringer Blutdruck (Hypotonie) kann zu Schock, und Gewebeuntergang führen. Das Herzminutenvolumen und der Gefäßwiderstand (Gefäßweite und Gefäßelastizität) haben Einfluss auf den Blutdruck.³⁰

5.4 ATMUNGSSYSTEM

Durch die Atmungsorgane wird dem Organismus Sauerstoff (O₂) zugeführt. Unterschieden wird zwischen luftleitenden Anteilen der Atmungsorgane (obere und untere Luftwege) und den Lungenbläschen (Alveolen), die dem Gasaustausch zwischen Luft und Blut dienen. Grundsätzlich unterscheidet man eine äußere und eine innere Atmung. Bei der äußeren Atmung findet ein Gasaustausch zwischen dem Organismus und der Umwelt statt. Die innere Atmung ist gekennzeichnet durch Verbrennung von Nährstoffen. Bei diesem Vorgang ist eine Zufuhr von O₂ an die Zellen notwendig. Es entsteht Kohlendioxid (CO₂), das aus den Zellen an die Außenluft abgegeben wird. Die Atemgase müssen, um zu den Zellen zu gelangen, weite Strecken zurücklegen. Dies gelingt über Konvektion, also über die luftleitenden Atmungsorgane und über das Blut im Blutkreislauf. Die kurzen Strecken überwinden die Atemgase durch Diffusion. Das bedeutet, dass der Gasaustausch in den Alveolen und im Gewebe durch Diffusion stattfindet.³¹

²⁹ (Silbernagel & Agamemnon, 2007, p. 88)

³⁰ (Faller & Schünke, 2008, p. 255)

³¹ (Faller & Schünke, 2008, p. 382)

Lungen und Atemvolumen

Atemzugvolumen

=Volumen eines Atemzuges, 0,5 l Luft in Ruhe

Inspiratorisches Reservevolumen

=zusätzliches Volumen, das nach normalem Einatmen aufgenommen werden kann, 2,5 l

Expiratorisches Reservevolumen

=nach normalem Ausatmen können noch 1,5 l mehr ausgeatmet werden

Vitalkapazität

= Summe aus normalem Atemzugvolumen, inspiratorischem Reservevolumen und expiratorisches Reservevolumen (etwa 3-7 l)

Die Vitalkapazität ist steht für die Ausdehnungsfähigkeit von Brustkorb und Lunge und ist von Alter, Geschlecht, Körperbau und Trainingszustand abhängig.

Residualvolumen

= Luft die in Lunge verbleibt (etwa 1-2 l) – auch bei maximaler Ausatmung³²

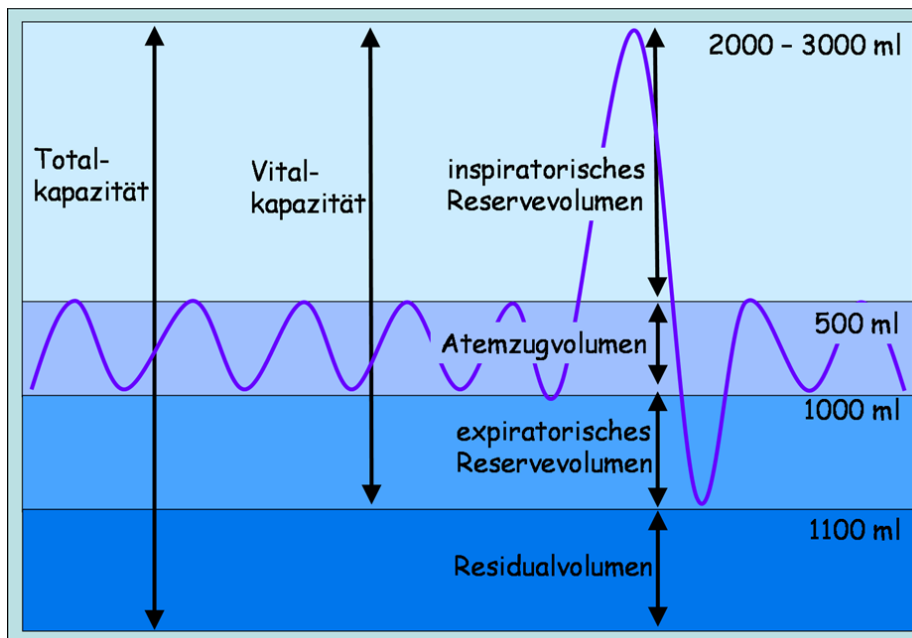


Abb. 5: Atemvolumina³³

³² (Faller & Schünke, 2008, p. 402)

³³ <http://goo.gl/H8g7q>, Aufruf am 3.10.2012

6 PHYSIOLOGISCHE ANPASSUNGEN DES HERZ-KREISLAUF-SYSTEMS AN AUSDAUERTRAINING

Überschreitet eine sportliche Belastung eine bestimmte Intensität, kommt es zu einer Abnahme der Leistungsfähigkeit. Es muss also eine Erholungsphase folgen, damit der Körper die nächste Belastung auf sich nehmen kann. Die Dauer der Erholungsphase ist von der Dauer und Intensität der vorangegangenen Belastung abhängig. In dieser Erholungsphase steigt die Leistungsfähigkeit über ihren Ausgangspunkt an, da der Körper eine weitere Ermüdung verhindern möchte. Dieser Vorgang wird als Superkompensation bezeichnet. Die erhöhte Wiederherstellung des Organismus ist die Grundlage für eine Leistungssteigerung. Training wäre ohne Superkompensation sinnlos. Da das erhöhte Niveau nach einer einmaligen Belastung nicht erhalten bleibt, sondern sich wieder um das Ausgangsniveau einpendelt, sind mehrere Trainingsreize zum richtigen Zeitpunkt, nämlich am Höhepunkt der Superkompensation notwendig. Gelingt dies, findet eine kontinuierliche Steigerung der Leistungsfähigkeit statt.³⁴

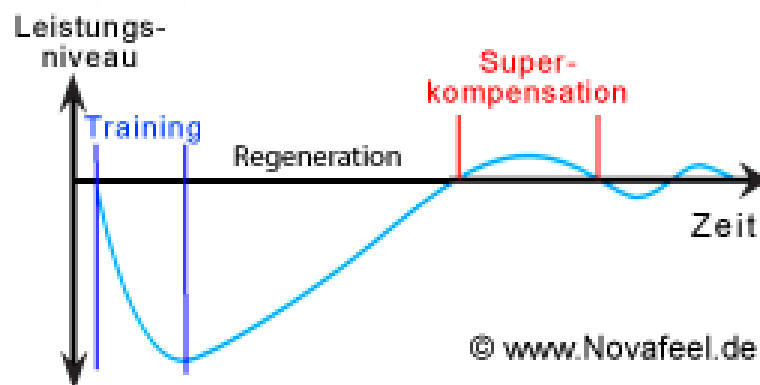


Abb.5: Superkompensation³⁵

Ausdauertraining wirkt sich präventiv auf die Entstehung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen aus. Das Gesamtcholesterin und der Triglyzeridgehalt nehmen ab. Zugleich erhöht sich das HDL, welches Cholesterin von der Zelle zur Leber transportiert und das LDL, das „schlechte Cholesterin“, welches den umgekehrten Transportweg hat, nimmt ab. Zu hoher Blutdruck senkt sich, die Herzmuskeldurchblutung nimmt zu und bestehendes Übergewicht wird

³⁴ (Apolin & Redl, 2004, pp. 41-43)

³⁵ <http://goo.gl/hZZoh> Aufruf am 13.08.2012

abgebaut. Die Ausübung von Sport wirkt sich auch günstig auf die Stressresistenz aus und trägt zu einer Steigerung der Lebensqualität bei.³⁶

Die positiven Auswirkungen von Ausdauertraining auf die Gesundheit sind nicht zu bezweifeln. Durch regelmäßiges Ausdauertraining finden Anpassungen im Herz-Kreislauf-System, im Hormonsystem, im Fettstoffwechsel, beim Stütz- und Bewegungsapparat und im Immunsystem statt. Bei Training mit überwiegendem Ausdaueranteil kommt es zu einer Ökonomisierung der Herzfunktion. Dies bedeutet, dass Herzfrequenz, Herzarbeit und Sauerstoffverbrauch in Ruhe und bei körperlicher Anstrengung abnehmen.³⁷

6.1 DIE HERZFREQUENZ (HF)

Die Herzfrequenz wird in der Praxis häufig als Messinstrument für die Intensität einer Trainingsbelastung herangezogen. Sie steigt linear mit der VO₂ max. an und erhöht sich bei zunehmender Außentemperatur. Die Herzfrequenz kann sich abhängig von den Ruhewerten (60-70/min), um ca. das 3-fache (180-200/min) erhöhen. Der optimale Trainingspuls für z.B. aerobes Ausdauertraining, muss mittels sportärztlicher Untersuchung ermittelt werden und ist von Faktoren wie Alter und Trainingszustand abhängig und von Person zu Person verschieden. Durch Ausdauertraining nimmt der Tonus des N. vagus auf das Herz zu, wodurch es zu einer verminderten Herzfrequenz in Ruhe kommt. Diesen durch Training veränderten Zustand nennt man Trainingsbradykardie. Die im Ruhezustand gemessene Herzfrequenz kann Werte von unter 40 Schlägen pro Minute annehmen. Bei submaximalen Belastungen bewegt sich die HF ebenfalls in einem niedrigeren Bereich, als bei untrainierten Personen.³⁸

6.2 DAS SCHLAGVOLUMEN(SV)

Als Schlagvolumen wird jenes Blutvolumen bezeichnet, das während einer Systole aus der linken Herzkammer ausgeworfen wird. Im Ruhezustand beträgt dies im Durchschnitt ca. 70 ml.³⁹ Wird der Organismus eines Nicht-Sportlers belastet, lässt sich hauptsächlich eine beschleunigte Herzfrequenz beobachten.

³⁶ (Janssen, 2003, p. 181)

³⁷ (Neumann, et al., 2011, pp. 26-27)

³⁸ (Haber, 2001, pp. 67-69)

³⁹ (Haber, 2001, p. 67)

Bei Sportlern arbeitet das Herz bei gleicher Belastung langsamer, da durch die größere linke Herzkammer mehr Blut pro Schlag in den Körper ausgeworfen werden kann und somit das Schlagvolumen erhöht ist.⁴⁰

6.3 DAS HERZMINUTENVOLUMEN(HMV)

Die Formel für das HMV setzt sich aus **SV x HF** zusammen.

HMV= Milliliter Blut, welches das Herz in einer Minute auswerfen kann

SV= Milliliter Blut, welches das Herz pro Herzschlag auswerfen kann

HF= die Zahl der Herzschläge pro Minute⁴¹

Aufgrund einer möglichen Steigerung der HF um das etwa 3-fache und das 1,5-fach gesteigerte SV, kann das HMV um das maximal 4,5-fache erhöht werden. Im Gegensatz zu einem Untrainierten, kann sich nicht nur die HF steigern, sondern auch das SV erhöhen.⁴²

Ein Rechenbeispiel:

Schlagvolumen eines Nicht-Sportlers= 90 ml

HF-Ruhe = 75 S/Min.

HF-max. = 180 S/Min.

HMV-Ruhe = 8000 ml/Min.

HMV-max. = 16200 ml/Min.

Schlagvolumen eines Ausdauersportlers = 200 ml

HF-Ruhe = 40 S/Min.

HF max. = 180 S/Min.

HMV-Ruhe = 8000 ml/Min.

HMV-max. = 36000 ml/Min.⁴³

⁴⁰ (Janssen, 2003, pp. 182-183)

⁴¹ (Janssen, 2003, p. 182)

⁴² (Haber, 2001, p. 68)

⁴³ (Janssen, 2003, p. 183)

6.4 DAS SPOROTHERZ

„Das Sportherz ist das Ergebnis einer normalen, sinnvollen Anpassung an eine vermehrte körperliche Dauerbelastung, wie es nach langjährigem, regelmäßigem, umfangreichem und intensivem Ausdauertraining der Fall ist.“⁴⁴

Nicht jeder, der Sport treibt, bekommt ein Sportherz!

Zu den typischen Sportarten, bei denen sich ein Sportherz entwickelt, zählen Ausdauersportarten wie Langstreckenlauf, Radrennfahren, Schilanglauf, Rennrudern und Triathlon. Das Sportherz ist ein physiologisch vergrößertes Herz, welches durch eine Erweiterung aller Herzkammern (Dilatation) und der zuführenden und abgehenden Gefäße charakterisiert ist. Die Hypertrophie (Verdickung) der Herzmuskulatur und die Erweiterung der Herzkranzgefäße sichern die ausreichende Durchblutung, sowie eine entsprechende Ernährung und Sauerstoffversorgung des Herzmuskels. Es können sogar Querverbindungen zwischen vorhandenen Gefäßen oder neue Kapillaren entstehen, was eine bessere Sauerstoffversorgung der Muskelzellen zur Folge hat. Das Ergebnis ist ein optimal durchbluteter, überdurchschnittlich leistungsfähiger Herzmuskel.⁴⁵

Bei unzureichend behandeltem Bluthochdruck, kann sich das sogenannte „Hochdruckherz“ (Cor hypertonicum) entwickeln. Im Gegensatz zum gesunden Sportherz leidet das kranke Herz unter ständiger Mangeldurchblutung, da die Herzkrankgefäße nicht im Stande sind die verdickte Muskulatur ausreichend zu versorgen.⁴⁶

Das Volumen und die Größe des Sportherzes sind im Vergleich zum normalen Herzen verändert. Ein untrainierter Erwachsener weist im Durchschnitt ein Herzgewicht zwischen 250 und 300g auf und besitzt ein Herzvolumen von 600-800 ml. Der Ausdauertrainierte hat Werte von 350-500g und 900-1300ml. Bei Frauen liegen die Werte in Relation unter jenen der Männer. Der Vorteil dieses Sportherzes ist ein erhöhtes Schlagvolumen in Ruhe und in Belastungssituationen. Die Zufuhr von Sauerstoff kann bis auf das Doppelte gesteigert werden. Im Vergleich zum untrainierten Herz, das nur 20 Liter pro Minute pumpen kann, weist das Sportherz zwischen 30 und 40 Liter auf.⁴⁷

⁴⁴ Dr.Kurt A. Moosburger, <http://www.dr-moosburger.at/pub/pub012.pdf> Aufruf am 16.08.2012

⁴⁵ <http://www.dr-moosburger.at/pub/pub012.pdf> Aufruf am 16.08.2012

⁴⁶ <http://www.dr-moosburger.at/pub/pub012.pdf> Aufruf am 16.08.2012

⁴⁷ (Geiger, 2001, pp. 12-13)

Nach Beendigung des jahrelangen Trainings, bildet sich das Sportherz auch wieder zurück. Es ist empfehlenswert, das Training immer weiter zu reduzieren und nicht plötzlich aufzuhören, da es ansonsten zu einem akuten Entlastungssyndrom kommen kann. Anzeichen eines solchen Syndroms sind harmloses, aber unangenehmes Herzstechen, ungefährliche Rhythmusstörungen und ähnliches.⁴⁸

6.5 DIE MAXIMALE SAUERSTOFFAUFNAHME (VO₂ MAX.)

Die VO₂ max. bezeichnet die maximale Sauerstoffaufnahme während maximaler Belastung und wird in Liter/Minute (l/min.) angegeben. Je höher die maximale Sauerstoffaufnahme, desto besser die allgemeine Ausdauerfähigkeit. Durch eine erhöhte Sauerstoffaufnahme steigt die aerobe Verbrennungskapazität und es kann länger aerob Energie bereitgestellt werden. Die Muskeln übersäuern später, was bedeutet, dass die Belastung länger aufrecht erhalten bleiben kann. Messen kann man die VO₂ max. am besten mittels Spirometrie (z.B. Fahrradergometer). Über eine Maske, die man aufsetzen muss, werden Gaskonzentrationen und Atemvolumina während maximaler Belastung gemessen.

Die Werte von nicht ausdauertrainierten 20-30 Jährigen liegen in etwa bei 35-40 ml/min/kg (Frauen) und bei 40-45 ml/min/kg (Männer). Die Messung der VO₂ max. und die Laktatmessung gehören zu den bedeutendsten Verfahren um die Leistung zu messen.⁴⁹

7 SPIROERGOMETRIE

Unter dem Begriff Spiroergometrie versteht man ein diagnostisches Verfahren, das beim Erfassen von qualitativen und quantitativen Reaktionen von Herz, Kreislauf, Atmung und Stoffwechsel auf muskuläre Arbeit behilflich ist. Ebenso kann die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit beurteilt werden.⁵⁰

Heutzutage wird die Spiroergometrie eingesetzt zur bzw. bei:

- Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit beim Sportler
- Präventiver Untersuchung des kardiopulmonalen Systems
- Abklärung koronarer Herzkrankheiten, des arteriellen Ruhe- bzw. Belastungshochdrucks, des hyperkinetischen Syndroms

⁴⁸ (Geiger, 2001, p. 15)

⁴⁹ (Geiger, 2001, pp. 39-40)

⁵⁰ (Hollmann & Strüder, 2009, p. 336)

- Abklärung von Diffusions- oder Perfusionsstörungen
- Belastungsasthma
- Wissenschaftlichen Untersuchungen



Abb. 7: Gesichtsmaske an einer Testperson

Die Feststellung des Ist-Zustandes sollte vor jeder trainingssteuernden Maßnahme durchgeführt werden. Für den Spitzensportler ist diese sogenannte Leistungsdiagnostik wichtig, um einen Trainingseffekt nachzuweisen und weitere Trainingseinheiten zu planen. Bei diesen Labortests, zu denen die Spiroergometrie gezählt wird, finden immer die gleichen Bedingungen statt. Deshalb können mehrere Untersuchungen untereinander verglichen werden und eine Steigerung oder Verschlechterung des körperlichen Zustandes kann nachgewiesen werden. Durchführen kann man diese Untersuchungen auf einem sportartspezifischen Gerät.

z.B. Fahrradergometer für Rennradfahrer, Ruderergometer für Ruderer oder Laufband für Läufer. Gibt es kein spezifisches Gerät, wird jene Belastungsform ausgewählt, bei der in etwa dieselbe Muskelgruppe wie bei der ausgeführten Sportart beansprucht wird.⁵¹

⁵¹ (Geiger, 2001, p. 63)

8 EIGENE DATEN

Um das Thema „Auswirkungen von Ausdauertraining auf das Herz-Kreislauf-System“ anschaulich darzustellen, führe ich im letzten Abschnitt meiner Arbeit einige Praxisbeispiele an.

8.1 MATERIAL UND METHODE

Wie bereits in der Arbeit erwähnt, eignet sich die Spiroergometrie hervorragend, um Aussagen über die Reaktion von Herz, Kreislauf, Atmung und Stoffwechsel auf eine Belastung zu machen. Die Belastung bei der Spiroergometrie steigt stufenförmig an und dauert so lange, bis die getestete Person ausbelastet ist. Bei den unten angeführten Personen, dauerte eine Stufe 3,00 Minuten. Danach wurde um 30 bzw. 50 Watt gesteigert. Bei Person 5, welche die Diagnostik auf dem Laufband absolvierte, wurde die Geschwindigkeit alle 3,00 Minuten um 2 km/h erhöht.

Datensammlung

Um an die ausgewerteten Daten zu kommen, habe ich fünf Personen aus meinem Bekannten- und Freundeskreis, die eine Spirometrie durchgeführt haben, gebeten, eine Kopie davon zu machen und mir diese zu mailen, oder persönlich auszuhändigen. Die Personen 1,2,3 und 4 haben die Spiroergometrie (Atemgasanalyse) auf dem Fahrrad durchgeführt. Die fünfte Person absolvierte den Leistungstest auf dem Laufband. Bei der Durchführung auf dem Laufband, können um 10% höhere Werte ermittelt werden, als auf dem Fahrrad, da eine größere Muskelmasse im Einsatz ist und beim Fahrradergometer eine lokale Ermüdung des Oberschenkelmuskels eintritt, sofern es sich nicht um einen Radrennfahrer handelt. Diese Art der Leistungsdiagnostik eignet sich bei Sportarten, bei denen das Laufen im Mittelpunkt steht.⁵²

Von den fünf Personen sind zwei weiblich und drei männlich. Vier von den Sportlern befinden sich in der Altersklasse 16- 22 Jahre, eine Person ist 58 Jahre alt. Die Personen gehören verschiedenen Sportarten an. Weitere personenbezogene Daten sind in der folgenden Tabelle aufgelistet:

⁵² (Hollmann & Strüder, 2009, p. 344)

	Alter	Geschlecht	Körpergröße	Gewicht	Sportart
Person 1	16 J.	w	161 cm	58 kg	Schi Alpin
Person 2	18 J.	w	179 cm	66 kg	Schwimmen
Person 3	22 J.	m	184 cm	84 kg	Schi Alpin
Person 4	58 J.	m	173 cm	58 kg	Rad fahren
Person 5	22 J	m	184 cm	69 kg	Triathlon

Tab. 1: Personenbezogene Daten und jeweilige Sportart

Erklärung zu Tabelle 1:

Diese Tabelle enthält Alter, Geschlecht, Körpergröße, Gewicht und die Sportart, welche die Testperson leistungssportlich betreibt. Diese Informationen tragen zur Leistungsbeurteilung bei. Das Gewicht wird zur Berechnung der Wattleistung pro Kilogramm herangezogen und dient zusammen mit der Körpergröße auch zur Berechnung des Body-Mass-Index (BMI). Dieser gibt Auskunft darüber, ob eine Person normal-, unter- oder übergewichtig ist. Allerdings wird bei der Berechnung die Körperzusammensetzung nicht mit einbezogen. So kann es vorkommen, dass eine gut trainierte Person, mit viel Muskelmasse laut BMI als übergewichtig eingestuft wird. Auf das Geschlecht wird bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit ebenfalls Rücksicht genommen. Frauen können in Relation zu Männern nicht so hohe Maximalwerte bei der VO₂ max. oder dem HMV erzielen. Die Sportart ist in der Tabelle angeführt, um Aufzuzeigen, wie die unterschiedlichen Trainingsinhalte auf das Herz-Kreislauf-System wirken. Die Testpersonen aus dem Bereich Schi Alpin und Schwimmen haben im Vergleich zu dem Triathleten und dem Radfahrer weniger Ausdauer-elemente in ihrem Trainingsplan enthalten.

8.2 ERGEBNISSE UND RESULTATE

	Watt/kg km/h	VO2 max.	HF max.	AAS	WGTZ	Laktat max.
Person 1	4,3 W/kg	53,2ml/min/kg	201	Hf 179	14 h	15,4 mmol
Person 2	3,7 W/kg	46ml/min/kg	189	Hf 164	11 h	9,4 mmol
Person 3	4,5 W/kg	53,4ml/min/kg	190	Hf 179	16 h	11,8 mmol
Person 4	5,2 W/kg	71,3ml/min/kg	155	Hf 143	20-25 h	8,9 mmol
Person 5	22 km/h	73,2ml/min/kg	179	Hf 162	10 h	13,2 mmol

Tab.2: Ergebnisse der Spiroergometrie

Wattleistung:

Die Watt/kg und die km/h, die in der Tabelle angegeben wurden, sind Maximalwerte, die bei der Spiroergometrie erreicht wurden und stehen für 100% Leistung.

Die folgende Tabelle gibt Auskunft über die Watt/kg- Werte von einer Normalperson bis zum hoch ausdauertrainierten Spitzensportler.

3 Watt/kg	Normalperson (m), 20-30 Jahre
2,5 Watt/kg	Normalperson (w), 20-30 Jahre
4 Watt/kg	Gut trainierte Breitensportler, Leistungssportler (ohne Ausdauersportler)
5 Watt/kg	Ausdauertrainierte Leistungssportler
6 Watt/kg	Hoch ausdauertrainierte Spitzensportler (Ruderer, Radrennfahrer)

Tab.3: Bewertungsmaßstab für die maximale Ausdauerleistungsfähigkeit in Watt/kg

Vergleicht man diese Tabelle mit den Wattleistungen der oben genannten Probanden, lässt sich erkennen, dass sich alle Personen über dem Leistungslevel der Normalpersonen befinden. Die Personen 1,2 und 3 sind keine reinen Ausdauersportler, sondern legen auch auf das Training anderer konditioneller Faktoren Wert. Bei der Sportart Schi alpin spielt zusätzlich

das Krafttraining eine bedeutende Rolle. Beim Schwimmen darf es ebenfalls nicht vernachlässigt werden. Hierbei muss man auch unterscheiden, um welche Distanz es sich handelt. Die Spezialdisziplin von Person 2 ist 50m Brust. Die Person 4 erzielte beim Leistungstest 5,2 Watt/kg, was in den Bereich „Ausdauertrainierter Leistungssportler“ fällt. Die Trainingsinhalte eines Radfahrers setzen sich vorwiegend aus Ausdauereinheiten zusammen, was die hervorragenden Ergebnisse erklärt.

Relative maximale Sauerstoffaufnahme:

Einer der wichtigsten Faktoren für die Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit ist die relative, also auf das Körpergewicht bezogene, maximale Sauerstoffaufnahme. Die relative VO₂ max. gibt an, wie viele Milliliter Sauerstoff pro Kilogramm Körpergewicht in einer Minute aufgenommen (ml min/kg) und verarbeitet werden können. Sie ist das Maß für die Sauerstoffzufuhr durch die Atmung, den Sauerstofftransport im Herz-Kreislauf-System und die Sauerstoffverwertung in der Muskelzelle. Je höher die VO₂ max., desto länger werden die Muskelzellen mit Sauerstoff versorgt. Das bedeutet, dass auch bei höherer Intensität einer Dauerbelastung genügend Sauerstoff für eine aerobe Energiebereitstellung vorhanden ist.⁵³

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass Personen 4 und 5 Spitzenwerte bei der VO₂ max. erzielt haben, was auf eine sehr gute Ausdauerleistung schließen lässt. Im Unterschied zu den anderen Personen, welche Sportarten betreiben, bei denen die Ausdauer nicht in solch einem großen Ausmaß wie bei Triathlon und Rad fahren trainiert wird, ist die VO₂ max. deutlich höher. Die Normwerte für nicht ausdauertrainierte Personen zwischen 20 und 30 Jahren liegen bei:

40-45 ml/min/kg (Männer) und
35-40 ml/min/kg (Frauen).

Die maximale Wattleistung und die maximale Sauerstoffaufnahme sind beides Werte um die Leistungsfähigkeit zu bestimmen. Es besteht ein enger linearer Zusammenhang zwischen Leistung und O₂ Aufnahme.⁵⁴

Herzfrequenz:

Die Herzfrequenz wird mittels EKG oder Pulsuhr während der Belastung aufgezeichnet. Bei der Ergometrie nimmt sie im Wesentlichen linear mit der Belastungshöhe zu, bis der maximale Wert erreicht wird. Eine Formel für die maximale HF lautet: HF_{max}= 220-Alter (Jahre). Es handelt sich dabei jedoch um einen statistischen Wert und die HF kann sowohl

⁵³ <http://www.dr-moosburger.at/pub/pub027.pdf>, Aufruf am 04.10.2012

⁵⁴ (Geiger, 2001, p. 66)

nach oben als auch nach unten hin abweichen. Bei Proband 4 würde die Rechnung lauten: $220 - 58 (\text{Jahre}) = 162$ (HFmax). Der tatsächliche Wert liegt aber bei 155 Schlägen pro Minute. Bei schlechtem Trainingszustand ist die Herzfrequenz in Ruhe normal, steigt jedoch schon bei geringer Belastung steil an. Um ein erfolgreiches Ausdauertraining zu gewährleisten, werden bei der Ergometrie auch die Trainingsbereiche ermittelt. Dazu werden die Schwellenwerte bei 1,5 mmol, 2mmol, 3mmol, 4mmol und 6 mmol Laktat vermerkt.⁵⁵

Trainingsbereiche:

	Laktat mmol/l	Watt	Watt/kg	VO ₂ l/min	VO ₂ rel. ml/kg/min	%VO ₂ max	Herz- frequenz
1,5 mmol/l FJ 2005	1,5	67	1,15	1,38	23,9	45	145
Extensiver Bereich							
2,0 mmol/l FJ 2005	2,0	103	1,77	1,74	30,0	56	157
3,0 mmol/l FJ 2005	3,0	131	2,25	2,02	34,9	65	169
Intensiver Bereich							
Anaerobe Schwelle FJ 2005	4,0	154	2,66	2,26	38,9	73	179
Vorwiegend anaerober Bereich							
6,0 mmol/l FJ 2005	6,0	182	3,14	2,48	42,8	80	188
Maximalwerte FJ 2005	15,4	251	4,33	3,09	53,2	100	201

Tab. 4: Angabe der Schwellenwerte

In dieser Abbildung sind die Werte, die bei der Spiroergometrie ermittelt wurden noch einmal klar zusammengefasst. Es lässt sich beobachten, dass mit dem Anstieg der Watt/kg auch das Laktat, der Sauerstoffverbrauch sowie die Herzfrequenz in die Höhe steigen. Je nachdem welche Ausdauer diese Person trainieren möchte, muss der Bereich der Herzfrequenz ausgewählt werden. Für Prävention oder Rehabilitation, empfiehlt sich der extensive Bereich, der wiederum von Person zu Person verschieden ist und für ein optimales Training durch eine sportmedizinische Untersuchung festgelegt werden sollte.

Laktat

Die Laktatmessung erfolgt während der Spiroergometrie durch einen Stich in das Ohrläppchen, der zu vordefinierten Zeiten mehrmals wiederholt wird. Ausgegangen wird von einem Ruhewert, der bei 1mmol/l Laktat liegt und langsam ansteigt. Die aerobe Schwelle liegt

⁵⁵ (Haber, 2001, p. 259)

bei 2 mmol/l Laktat und befindet sich im Bereich der aeroben Energiebereitstellung mit wenig Laktatproduktion. Die anaerobe Schwelle, bei 4 mmol/l Laktat lässt die größtmögliche Belastung mit gerade noch annehmbarer Laktatbildung und ausreichendem Laktatabbau zu. Werte über dieser Schwelle führen zu einem stetigen Anstieg der Milchsäurenkonzentration, die auf Dauer nicht tragbar ist und letztendlich zum Abbruch der Leistung führt. Die anaerobe Schwelle kann auch variieren, deshalb wurde der Begriff individuelle anaerobe Schwelle (IAS) eingeführt. Sie kann bei Untrainierten über 4 mmol/l Laktat und bei Trainierten unter 4 mmol/l Laktat liegen. Der maximale Laktatwert ist ein Maß für die anaerob-laktazide Ausdauerfähigkeit.⁵⁶

In der folgenden Laktatleistungskurve sind die Trainingsbereiche eingezeichnet. Beginnend mit dem regenerativen Bereich, der keinen Trainingseffekt hat, sondern nur nach intensiven Trainingseinheiten als Mittel zur aktiven Erholung verwendet wird. GAD1 steht für Grundlagenausdauertraining 1 und bildet zusammen mit der GAD 2 den extensiv-aeroben Trainingsbereich bei 2 und 3 mmol/l Laktat. Wie hoch die Herzfrequenz in diesem Bereich ist, wird ebenfalls bei der Spiroergometrie ermittelt, um das Training mittels Herzfrequenz zu steuern. Anschließend folgt der intensive Bereich. Je näher an der anaeroben Schwelle trainiert werden kann, desto besser kann die Ausdauer ausgebaut werden. Es handelt sich hierbei jedoch um ein intensives Training und sollte deshalb bei Breitensportlern nicht öfter als 2 mal pro Woche stattfinden. Der Entwicklungsbereich liegt in der anaeroben Zone und sollte nur im Leistungssport trainiert werden.

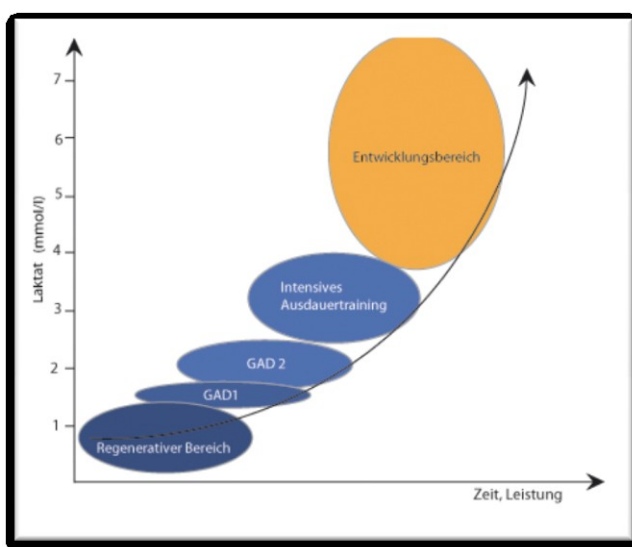


Abb.8: Laktatleistungskurve

⁵⁶ (Geiger, 2001, pp. 73-74)

Verläuft die Kurve lange flach, deutet dies auf eine gut ausgebildete Grundlagenausdauer (GAD) bzw. auf eine gute Ökonomisierung im Bereich des Fettstoffwechsels hin. Steigt die Kurve früh und geradlinig an, oder sind die Ausgangswerte bereits erhöht, ist nur eine schwache Grundlagenausdauer vorhanden. Ein zu intensives Ausdauertraining kann sich ebenfalls in einem raschen Anstieg der Kurve bemerkbar machen. Die Laktatleistungskurve wird für die Ermittlung der Schwellenwerte herangezogen.⁵⁷

Laktatleistungskurve von Person 1

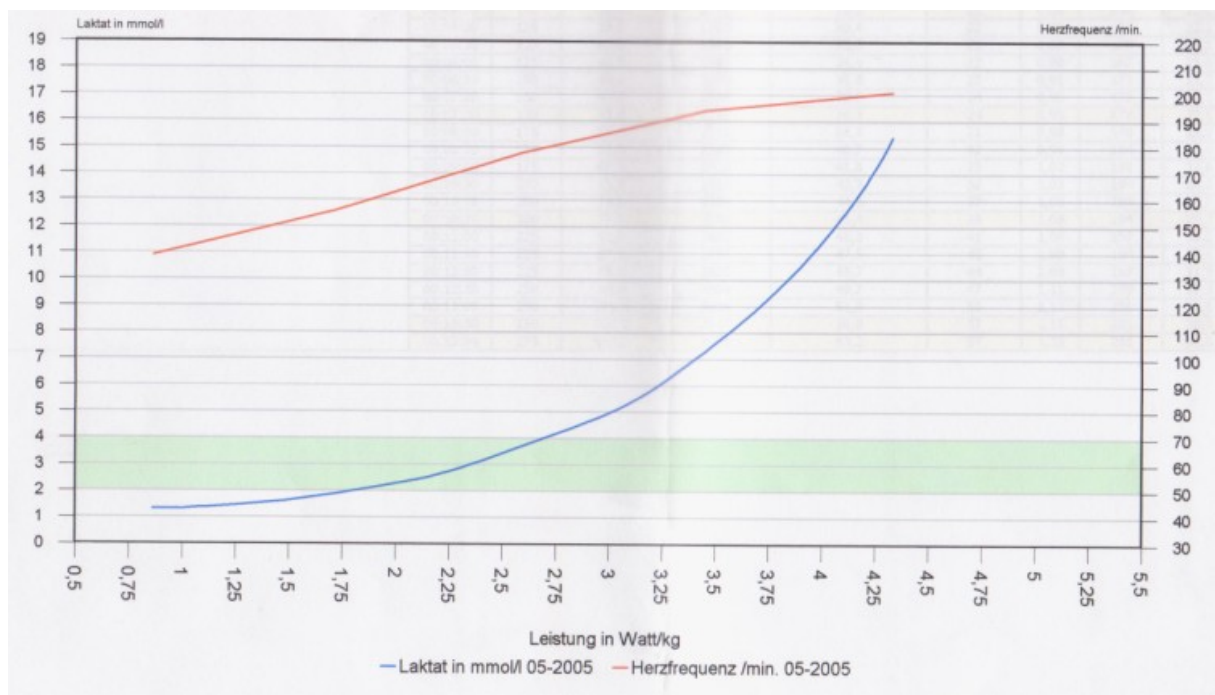


Abb. 9: Laktatleistungskurve Person 1

In dieser Laktatleistungskurve kann man das Laktat in mmol, die Leistung in Watt/kg und die Herzfrequenz pro min. ablesen. Werden mehrere Leistungstests durchgeführt, eignen sich die Laktatleistungskurven ausgezeichnet zum Vergleich. Sie werden übereinandergelegt, um eine mögliche Verbesserung ersichtlich zu machen. Bei Person 1 steigt die Kurve nicht allzu steil, an, was bedeutet, dass eine Grundlagenausdauer vorhanden ist. Um eine Verbesserung zu erzielen, müsste vor allem der intensive Bereich, also um die 4mmol/l Laktat Schwelle trainiert werden und zwischendurch auch im vorwiegend anaeroben Bereich mit zwischenzeitlichem Regenerationstraining.

⁵⁷ http://www.fitnesscoach.co.at/cms/?page_id=794 Aufruf am, 30.09.2012

Wöchentliche Gesamttrainingszeit (WGTZ)

Die wöchentliche Gesamttrainingszeit der Probanden beträgt zwischen 10 und 25 Stunden. Person 4 hat im Vergleich zu den anderen Personen weniger Trainingsstunden pro Woche. Aufgrund der Sportart Triathlon stellt das Ausdauertraining den größten Teil der Trainingseinheiten dar. Somit erzielt der Sportler bessere Werte in der Leistungsdiagnostik als z.B. Person 3, die aus dem Bereich Schi Alpin kommt. Person 5 führt mit 20-25 Stunden Trainingszeit pro Woche das Feld an, was sich auch bei den Werten Watt/kg und VO₂max bemerkbar macht.

AAS (anaerobe Schwelle)

Die Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle ist ein interessanter Parameter für die Trainingssteuerung. Trainiert man als Leistungssportler ungefähr in diesem Bereich, kann man die Ausdauer am besten verbessern.

8.3 SCHLUSSFOLGERUNG

Die hier dargestellten Ergebnisse der Leistungsdiagnostik machen deutlich, dass sich körperliches Training, insbesondere das Ausdauertraining, positiv auf das Herz-Kreislauf-System und die Leistungsfähigkeit auswirkt. Die hier dargestellten Werte stammen zwar von Probanden, die Leistungssport oder zumindest häufig Sport betreiben, eine Verbesserung der Werte ist jedoch auch bei Hobby- und Breitensportlern sichtbar. Diese Werte wurden verwendet um einen deutlichen Unterschied zu nicht Sporttreibenden aufzuweisen. Bereits bei 2-3 maligem wöchentlichem Training mit niedriger Intensität, das kontinuierlich durchgeführt wird, stellt sich ein verbessertes allgemeines Wohlbefinden ein. Unter Berücksichtigung der individuellen Leistungsfähigkeit kann zuerst die Anzahl der Ausdauereinheiten, später die Dauer und zum Schluss erst die Intensität gesteigert werden. Die Ermüdungswiderstands- und Erholungsfähigkeit verbessern sich, was ein häufigeres Training zulässt. Ausdauertraining kann verschiedene Ziele verfolgen. Für den Hobbysportler ist vor allem die präventive Wirkung gegenüber Herz-Kreislauf – Erkrankungen relevant. Es kann zur Gewichtsreduktion dienen, das Immunsystem stärken und das Blutbild positiv beeinflussen. Für den Leistungssportler steht die ständige Leistungssteigerung im Vordergrund. Zu beachten sind auch die Regenerationszeiten, die nicht zu kurz kommen dürfen, da das Training ansonsten keinen Sinn hat und der Sportler in ein Übertraining kommt. Ein Training bis zur Erschöpfung ist im Gesundheitssport zu vermeiden, da es nicht die gewünschten Anpassungen des Herz-Kreislauf-Systems mit sich bringt.

Da Freizeitsportler oft nicht die Möglichkeit haben, eine Leistungsdiagnostik durchzuführen, empfiehlt sich die Trainingssteuerung über die Herzfrequenz, die auf einem niedrigen Niveau gehalten werden muss. Ein Sprechen während der körperlichen Aktivität soll möglich sein. Für gesunde Männer und Frauen unter 50 Jahren, ergibt sich ein ungefährender Wert von 130-160 Schlägen pro Minute. Sportarten die sich gut eignen um in Bewegung zu bleiben sind: Laufen, Rad fahren, Langlaufen, Wandern, Schwimmen, Tennis, Basketball, Fußball, Handball und Rudern.⁵⁸

"Der Mensch bewegt sich nicht weniger, weil er alt wird. Er wird alt, weil er sich weniger bewegt. Also beweg' dich!"

(Gustav-Adolf Schur (*1936), dt. Radrennfahrer)⁵⁹

⁵⁸ (Janssen, 2003, pp. 279-280)

⁵⁹ <http://www.sportunterricht.ch/zitate/zitate10.php>, Aufruf am 1.10.2012

LITERATURVERZEICHNIS

Apolin, M. & Redl, S., 2004. *Know-how, Ausgewählte Materialien und Übungen zur Sportkunde*. Wien: öbv et hpt.

Faller, A. & Schünke, M., 2008. *Der Körper des Menschen*. 15. Auflage ed. Stuttgart: Georg Thieme.

Geiger, L., 2001. *Ausdauertraining*. München: Copress.

Haber, P., 2001. *Leitfaden zur medizinischen Trainingsberatung, Von der Rehabilitation bis zum Leistungssport*. Wien: Springer.

Hollmann, W. & Strüder, H. K., 2009. *Sportmedizin, Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin*. 5. Auflage ed. Stuttgart: Schattauer.

Janssen, P. G., 2003. *Ausdauertraining, Trainingssteuerung über die Herzfrequenz- und Milchsäurebestimmung*. Balingen: spitta.

Neumann, G., Pfützner, A. & Berbalk, A., 2011. *Optimiertes Ausdauertraining*. 6. Auflage ed. Aachen: Meyer&Meyer.

Silbernagel, S. & Agamemnon, D., 2007. *Taschenatlas Physiologie*. 7. Auflage ed. Stuttgart, New York: Thieme.

Diplomarbeit: Schober Christian, *Auswirkungen eines 7-monatigen Marathontrainings auf anthropometrische und Leistungskennwerte, Leistungsentwicklung und der Wettkampfleistung bei mäßig trainierten Personen*.

INTERNETQUELLEN

<http://goo.gl/aAcl8>

<http://www.dr-moosburger.at/pub/pub012.pdf>

www.sportunterricht.de/lksport/atp.html

http://www.fitnesscoach.co.at/cms/?page_id=794

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Energiebereitstellung	Seite 8
Abb. 2: Ausdauerformen.....	Seite 13
Abb. 3: Innenansicht des Herzens.....	Seite 15
Abb. 4: Herz-Kreislauf- und Pfortadersystem.....	Seite 16
Abb. 5: Atemvolumina.....	Seite 18
Abb. 6: Superkompensation.....	Seite 19
Abb. 7: Gesichtsmaske an einer Testperson.....	Seite 24
Abb. 8: Laktatleistungskurve.....	Seite 30
Abb. 9: Laktatleistungskurve Person 1.....	Seite 31

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Personenbezogene Daten und jeweilige Sportart.....	Seite 26
Tab.2: Ergebnisse der Spiroergometrie.....	Seite 27
Tab.3: Bewertungsmaßstab für die maximale Ausdauerleistungsfähigkeit in Watt/kg.....	Seite 27
Tab. 4: Angabe der Schwellenwerte.....	Seite 29