



universität
wien

Diplomarbeit

Titel der Diplomarbeit

„Anpassungseffekte und Belastungsindikatoren im Vergleich zwischen Intensität und Dauer im Ausdauertraining“

Verfasser

Norbert Lechner

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (mag.rer.nat.)

Wien, im März 2010

Studienkennzahl laut Studienblatt: A 066 826

Studienrichtung laut Studienblatt: Sportwissenschaft

Betreuer: Univ.-Prof. Dr. Rochus Pokan

Vorwort

Kurzes Intervalltraining oder lange Dauerläufe? Intensives Training oder eher Training mit lockerer Intensität? Das sind die Fragen die man sich stellt wenn es darum geht wie man selbst trainiert, um an den besten und schnellstmöglichen Nutzen, nämlich der Leistungssteigerung, zu gelangen.

Da ich selber Mittelstreckenläufer bin und mich zusätzlich auf die Randsportart des Treppenlaufens spezialisiert habe, die in dieser Arbeit jedoch nicht Thema ist, habe ich mich natürlich schon lange ausgiebig mit dem *Thema des optimalen Trainings* beschäftigt. Jedoch waren die Antworten, die man von unterschiedlichen Literaturstellen bekommt, wie man nun am besten trainiert, einfach zu verschieden, um am Ende zu einem Konsens zu kommen.

Dies jedoch veranlasste mich dazu mich mit diesem Themengebiet noch näher auseinanderzusetzen und Antworten auf die eingangs gestellten Fragen zu finden.

Als jemand der in seinem Training die Intervallmethode schon seit jeher bevorzugt habe ich trotzdem versucht unvoreingenommen die beiden Methoden mit ihren Anpassungseffekten kritisch gegenüberzustellen.

Nach einer kurzen Einleitung folgen in den *Kapiteln 2 bis 6* die in den Studien vorkommenden Basics und Schemata zu den durchgeführten Trainings mit ihren Methoden und Intensitäten als wichtige Parameter für die Diskussion des Themas.

Die Anpassungseffekte des Dauertrainings und der Intervallmethode werden in den *Kapiteln 7 und 8* genau beleuchtet. Diese beiden Kapitel sollen den Kern der Arbeit darstellen.

Kapitel 9 beschäftigt sich weiters mit speziellen Fällen aus der Praxis.

Kapitel 10 beschäftigt sich mit dem Übertraining das die Folge von dauerhaft zu falschem Training ist.

Ebenso behandelt werden neue Trainingsmethoden oder Taktiken wie das sogenannte Tapering, in *Kapitel 11*, oder der Schockzyklus, in *Kapitel 12*.

Enden wird die Arbeit mit einem kurzen Fazit in *Kapitel 13*.

Abstract

Fasst man ein kurzes Fazit aus den in der Arbeit vorkommenden Studien zusammen erhält man Folgendes: Die Intervallmethode ist zeitsparender, ermöglicht die gleiche Leistung bei niedrigerem Umfang, bietet mehr Zeit zur Regeneration und bringt dauerhaft mehr Leistung. Viele Studien berichten über größere Leistungsverbesserungen nach einer Intervallmethode im Vergleich zur Dauermethode. Doch gibt es auch Studien die von einem größeren Effekt oder zumindest gleichem Effekt der Dauermethode berichten. Ganz klar ist, dass es immer von den jeweiligen Intensitäten abhängig ist mit denen die Trainings durchgeführt werden, da es sehr viele verschiedene Formen von Intervalltraining gibt. Jedenfalls haben kurze, maximale, hochintensive, Sprintbelastungen mit einer Dauer von 30 Sekunden, die den größten Effekt auf die Verbesserung der Leistungsfähigkeit und die VO₂max haben.

If we make a brief conclusion from the previously presented studies in this work we get following facts: The interval method is time saving, allows the same performance at a lower level, provides more time to regenerate and brings at least more power. Many studies have reported greater improvements in performance after an interval method compared to the duration method. But there are also studies, which reported a larger effect, or at least the same effect of the duration method. The main message is, that it always depends on the intensity with which the training will be conducted, because there are very many kinds of interval trainings. However short, maximal, high intense sprint loads with a duration of 30 seconds have the greatest effect on the improvement of performance and VO₂max.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	2
Abstract.....	3
1 Einleitung	6
2 Ausdauerleistungsfähigkeit	8
2.1 Ausdauer	8
2.1.1 Die aerobe Ausdauer	8
2.1.2 Die anaerobe Ausdauer	9
3 Energiestoffwechsel	11
4 Maximale Sauerstoffaufnahme – VO ₂ max	13
5 Ausdauertrainingsmethoden	15
5.1 Dauermethode	15
5.1.1 Kontinuierliche Dauermethode	15
5.1.2 Tempowechselmethode	15
5.1.3 Fahrtspiel	15
5.2 Intervallmethode	16
5.2.1 Extensive Intervallmethode	18
5.2.2 Intensive Intervallmethode	18
5.3 Formen der Intervallmethode in den verwendeten Studien	19
5.3.1 Sprintintervalltraining	19
5.3.1.1 Wingate Test	19
5.3.2 Submaximales Intervalltraining	20
5.3.3 Supramaximales Intervalltraining	20
5.3.4 Andere Formen des Intervalltrainings	20
6 Intensitätsbereiche	21
7 Auswirkung der Dauermethode	22
7.1 Auswirkung auf das Herzkreislauf-System	22
7.2 Auswirkung auf Enzymaktivitäten	23
7.3 Auswirkung auf die Leistungsfähigkeit und die VO ₂ max	23
7.3.1 Auswirkung der Dauermethode an der steady-state – Schwelle	24
7.3.2 Auswirkung unterschiedlicher Intensitäten bei Untrainierten	25
7.4	
Speichervergrößerung	26
7.5 Muskelkapillarisation	26
7.6 Auswirkung auf die kontraktile Funktion der Muskelfasern	27
7.7 Auswirkung auf die Genexpression	28

7.8 Auswirkung auf die Entzündungsmarker	28
7.9 Auswirkung auf den oxidativen Stress	28
8 Anpassungseffekte der Intervallmethode	30
8.1 Optimierung des aeroben Muskelstoffwechsels	30
8.2 Glykolysetraining und Speichervergrößerung	40
8.3 Kapillarisierung der Arbeitsmuskulatur	42
8.4 Entwicklung des Sportherzens	45
8.5 Verbesserung der Laktattoleranz	46
8.6 Auswirkung auf die Muskelfaserzusammensetzung	48
8.7 Verbesserung der Leistungsfähigkeit und der VO ₂ max	48
8.8 Auswirkung auf die Insulinaktivität	64
8.9 Auswirkung auf die Natrium – Kalium-ATPase	65
8.10 Auswirkung auf die Blutfette	65
8.11 Auswirkung auf die Gefäßstrukturen	67
9 Einsatz der verschiedenen Trainingsintensitäten für die Wettkampfdistanz	68
9.1 Einsatz von Intervalltrainingsformen	68
9.2 Einsatz von Sprint – und explosivem Krafttraining	72
10 Übertraining	74
11 Tapering	77
11.1 Tapering contra Trainingspause	79
12 Motorenblock – Schockzyklus	80
13 Fazit.....	81
<i>Literaturverzeichnis</i>	83
<i>Anhang</i>	86

1 Einleitung

Schon um 1950, in den Zeiten von Emil Zatopek, dem damaligen Olympiasieger über 5000m und 10.000m, oder Roger Bannister, dem ersten Athleten, der die 1500m unter 4 Minuten lief, wurde das Intervalltraining angepriesen.

Letzterer trainierte sowohl aerobe, als auch anaerobe Formen 5 Tage die Woche das ganze Jahr über, und trainierte lieber weniger Kilometer, und bevorzugte schlussfolgernd mehr qualitative Intervallformen gegenüber quantitativem „Kilometersammeln“.

Die Zahl der Athleten die heutzutage ein ganzes Jahr über an diversen Volksläufen teilnehmen, lässt von einem immer noch aktuellen Laufboom sprechen.

Angefangen von leichtathletischen Wettkämpfen über die Kurzstrecken, weiter bis zu den Mittelstrecken, über Volksläufe verschiedener Distanzen, bis hin zu Halbmarathon und Marathon, trainieren sowohl Breitensportler als auch Profis auf diese Disziplinen hin.

Während im Leistungssport und Hochleistungssport nach individuellen, der Reizschwelle des Sportlers angepassten, Plänen trainiert wird, trifft man unter den Hobbysportlern, die oftmals ihre gesamte Freizeit investieren nur selten Personen die sich ihr Training von erfahrenen Trainern steuern lassen.

Eine Vielzahl jener Läufer sieht einfach den Umstand des „Laufens“ bereits als Training an, ohne auf die verschiedenen Auswirkungen von Intensität, Dauer und Regeneration auf den Körper zu achten.

Dabei sind dies jene Faktoren, die den entscheidenden Einfluss auf die individuelle Leistungsfähigkeit im Ausdauersport besitzen.

Doch welcher Faktor hat nun mehr Auswirkung auf den Trainingszustand und damit verbunden die sportliche Leistungsfähigkeit? Die Trainingsdauer, oder die Trainingsintensität? Oder sind sie untrennbar miteinander verbunden?

Wie soll die Verteilung z.B. in der Marathonvorbereitung zwischen intensiven Intervalleinheiten und umfangreichen Grundlagenausdauerheiten aussehen?

Die Anzahl derer die nach einer Vorlage, einem Plan trainieren lässt sich zwar schwer abschätzen, doch mangelt es nicht an Angeboten für Pläne und auch unterschiedlichen Auffassungen über Training mit seiner Dauer und seiner Intensität. Dies ist nicht nur im Laufsport der Fall, sondern genauso im Radsport oder Schilanglauf.

Um die Ausdauerleistungsfähigkeit zu steigern ist neben dem gewählten Umfang also die Belastungsintensität entscheidend um einen optimalen Effekt zu erreichen. Es ist einsichtig, dass man den optimalen Nutzen von Ausdauertraining nur hat wenn dies richtig dosiert ist.

Was ist am effektivsten, was ist zu viel, was hat welche Wirkung auf den Organismus und die Leistungsfähigkeit?

Die folgende Arbeit soll die neuesten Studien zum Thema Intensität versus Dauer im Ausdauertraining gegenüberstellen, deren unterschiedliche Wirkungsweisen thematisieren und neben bestimmten Fragen, die es zu argumentieren gilt, versuchen, ein Optimum herausfinden.

Die Ergebnisse der Studien werden dazu verwendet um folgende Fragen zu behandeln:

Ist es sinnvoller im Ausdauersport das Training über den Umfang oder die Intensität zu steuern?

Haben Trainingsdauer oder Trainingsintensität mehr Einfluss auf die Gesamtbelastung?

Ist die Wahrscheinlichkeit eines Übertrainings bei langen Grundlagenausdauerseinheiten oder bei häufigen, zeitlich begrenzten, Einheiten größer?

Welchen Anteil sollte anaerobes Training im Ausdauersport haben?

Wie sollte die prozentuale Verteilung der verschiedenen Intensitätsbereiche angepasst an die Bewerbsdistanz aussehen?

Welche Bedeutung hat Training mit hoher Intensität?

Was sind die Vor - oder Nachteile sogenannter Taperings oder Motorenblocks?

Aber die allerwichtigste Frage ist: was ist besser, Intervalltraining oder Dauertraining?

2 Ausdauerleistungsfähigkeit

Die Ausdauerleistungsfähigkeit ist die Fähigkeit die es gilt durch Ausdauertraining zu steigern um zu einer noch besseren Leistung zu kommen. Für Wettkampfsportler soll Ausdauertraining abgesehen von den Effekten, das es hat, hauptsächlich die Leistung im sportlichen Wettstreit verbessern.

Formen von Ausdauer gibt es viele, unterscheiden kann man die Ausdauer in einige Kategorien, jedoch sind diese für diese Arbeit allesamt nicht relevant.

Lediglich zwei Formen spielen eine große Rolle:

Die aerobe Form, zur Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme, steht der anaeroben Form, die die eingegangene Sauerstoffschuld erhöhen soll, gegenüber (Zavorsky, 2000).

Zu verbessern gilt es folgende Punkte der Ausdauerleistungsfähigkeit:

1. die Grundschnelligkeit über kurze Strecken, die durch Schnelligkeit und Muskelkraft bestimmt wird.
2. die lokale Muskelausdauer, und die Fähigkeit eine große Sauerstoffschuld einzugehen, gegeben durch Energiespeicher wie ATP, Kreatinphosphat, Glykogen und Kalium, eine niedrige Konzentration der Milchsäure in der Muskelzelle, eine Zunahme der Enzymaktivitäten, und der Kapillarisation.
3. eine allgemeine Ausdauer, gegeben durch die Leistungsfähigkeit des Herzens (vgl. Burgomaster et al, 2007 & Laursen et al, 2002)

2.1 Ausdauer

Einteilen kann man die Ausdauer nach vielen unterschiedlichen Kriterien, für diese Arbeit wichtig sind jedoch nur die aerobe und die anaerobe Ausdauer beziehungsweise wie Zavorsky (2000), Kubukeli et al. (2002), oder Babraj et al. (2009), beschreiben, die aerobe oder die anaerobe Kapazität relevant.

2.1.1 Die aerobe Ausdauer

Aerobes Training ist die Basis für Maximalleistungen und um diese ausbauen zu können. Diese sind abhängig von monatelangem oder jahrelangem aeroben Training.

Physiologische Anpassungen, die mit diesem Training verbunden und für

Spitzenleistungen von großer Bedeutung sind, sind Anstiege in der maximalen Sauerstoffaufnahme, der Herz-Kreislauf Funktionen und der aeroben Kapazität der Skelettmuskulatur.

Trotz längerer Dauer aeroben Trainings treten allerdings Einbußen in der maximalen und submaximalen Leistung bereits nach einigen Wochen Pause auf (Neufer, 1989).

Bei aerober Ausdauer ist reichlich Sauerstoff für die Verbrennung von Glykogen und Fettsäuren vorhanden. Die Stoffwechselprozesse spielen sich in den Mitochondrien ab.

Bei einem Training mit dieser Belastungsintensität mit aerober Energiebereitstellung spricht man von einem *Sauerstoff-steady-state*, denn Sauerstoffaufnahme und Sauerstoffverbrauch sind im Gleichgewicht (Gastin, 2001).

Priest et al. (1987) schreiben, dass die *steady-state - Geschwindigkeit* in etwa bei 2,2 mmol liegt.

Unterschieden wird jedoch der Zeitraum durch den möglichen prozentualen Anteil der maximalen Sauerstoffaufnahme während der Belastung (Zintl, 2004).

Kubukeli et al. (2002) schreiben, dass Ausdauertraining bei Untrainierten die Sauerstoffaufnahme verbessert, die Kapillarisation der Muskulatur steigert, das Blutvolumen erhöht, und die Herzfrequenz während gleicher Intensität senkt.

Sprinttraining hat jedoch einen größeren Einfluss auf die glykolytische Kapazität als auf den Mitochondriengehalt im Muskel und steigert die Enzymaktivitäten genauso wie die Laktattransportkapazität.

Mehrere Studien in Kapitel 8 werden diese Aussagen näher argumentieren und konkretisieren.

2.1.2 Die anaerobe Ausdauer

Bei der anaeroben Ausdauer steht nicht genügend Sauerstoff zur Verfügung und Stoffwechselvorgänge laufen ohne diesen ab.

Die anhaltende Milchsäurebildung bei der anaeroben Glykolyse führt dann in Folge zur Übersäuerung der Muskeln.

Kurzzeitausdauerbelastungen basieren auf dem alaktaziden Stoffwechsel. Bei einer maximalen dynamischen Beanspruchung von ca. 10 Sekunden erfolgt die Energiebereitstellung durch die energiereichen Phosphate.

Die Glykolyse erreicht ihr Maximum bei einer 40 Sekunden dauernden Belastung und ist

bei 60 Sekunden noch mit 65 - 70 % beteiligt. Längere anaerobe Belastungen von 60 bis 120 Sekunden sind durch eine Zunahme der Glykogenoxidation charakterisiert (Zintl, 2004).

Die anaerobe Kapazität ist neben der VO₂max, der Laufökonomie, und der anaeroben Schwelle eine der wichtigsten Determinanten was die Ausdauerleistungsfähigkeit betrifft (Midgley et al, 2006)

3 Energiestoffwechsel

Dem Körper stehen zur Energiebereitstellung drei verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:

- die aerobe Energiebereitstellung
- die anaerobe-laktazide Energiebereitstellung, und
- die anaerobe-alaktazide Energiebereitstellung

Die aerobe Energiegewinnung hat eine beinahe grenzenlose Kapazität, jedoch ist keine schnelle Energiegewinnung möglich. Die anaerobe Gewinnung zeichnet sich durch schnelle Gewinnung, aber nicht unendlicher Kapazität aus (Gastin, 2001).

Bei der aeroben Energiebereitstellung wird ATP unter Verwendung von Sauerstoff, in den Mitochondrien, gebildet.

Die anaerobe Energiegewinnung erfolgt ohne Sauerstoff, im Zellplasma.

Bei der aeroben Energiebereitstellung, Glucose – oder Fettsäureoxidation, werden immer Kohlenhydrate und Fette herangezogen.

Bei eher intensiveren aeroben Belastungen werden Kohlenhydrate, Glykogen oder Glucose, herangezogen, im Vergleich zur sehr langen Ausdauerbelastungen wie etwa einem Ultramarathon, wo die Fette die große Rolle spielen (Gastin, 2001).

Bei der anaerob-alaktaziden Energiebereitstellung kann die durch die energiereichen Phosphate, Kreatinphosphat und ATP, erzeugte Energie am schnellsten umgesetzt werden, jedoch reicht diese für maximal 6 – 15 Sekunden (Gastin, 2001).

Bei der anaerob-laktaziden Energiegewinnung, oder auch anaeroben Glykolyse, wird die Energie für 15 bis maximal 60 Sekunden bereitgestellt. Der Autor meint, dass diese Belastungen für eine Glucoseverbrennung zu hoch und gleichzeitig zu kurz sind.

Die aus dem Muskelglykogen stammende Glucose wird unvollständig abgebaut und es entsteht Laktat, dass sich in der Muskulatur anhäuft (Gastin, 2001).

Laut Gastin (2001) sind frühere Meinungen zur Energiebereitstellung bei hohen, intensiven, Belastungen nicht richtig, denn die Energiebereitstellung reagiert nicht stereotyp auf Belastungen, und zusätzlich sei die aerobe Energiebereitstellung bei kurzen, intensiven Belastungen nicht zu verachten, wie sich auch des weiteren in dieser Arbeit mehrfach bestätigen wird (Gastin, 2001).

Nicht auch deshalb wird darüber argumentiert in welcher Art und Weise kurze, intensive Intervalltrainings auch die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit verbessern können.

Neuere Studien belegen, dass die aerobe Energiegewinnung bereits nach 60 Sekunden einer hochintensiven Belastung in gleichem Maße zur Energiegewinnung herangezogen wird wie die anaerobe Energiegewinnung (Gastin, 2001).

Studien hierzu siehe Kapitel 8.

4 Maximale Sauerstoffaufnahme - VO₂max

Zintl (2004) beschreibt die VO₂max als Maß der Sauerstoffzufuhr, des Sauerstofftransports, und der Sauerstoffverwertung.

Allgemein ist die VO₂max die maximalste Rate von Sauerstoff die aufgenommen, in die Zellen transportiert, und während körperlicher Aktivität verwendet werden kann (Midgley et al, 2006).

Berechnet wird die VO₂max über das maximale Herzminutenvolumen und die maximale arteriovenöse Sauerstoffdifferenz.

Es ist das Zusammenwirken von Atmungssystem und Herz-Kreislaufsystem in der Sauerstoffversorgung und gilt als Bruttokriterium der aeroben Ausdauer.

Verbesserungen in der VO₂max stehen im Zusammenhang mit den Anpassungen an das Herz-Kreislauf-System (Kubukeli, 2002).

Viele Mittel – und Langstreckenläufer versuchen gerade die maximale Sauerstoffaufnahme zu verbessern, da diese eine der wichtigsten Parameter für Läufer darstellt (Midgley et al, 2006).

Midgley et al. (2006) schreiben, dass über die Verbesserung der VO₂max lange Unklarheit herrschte. Sie schreiben, dass ein Training bei 40 – 50 % der VO₂max jedoch schon eine Verbesserung bei Untrainierten bringen würde.

Guttrainierte Ausdauerathleten müssen mit höheren Intensitäten trainieren. Sie schreiben von anderen Studien die bekräftigen, dass eine Intensität von 70 – 80 % optimal sei (Midgley et al, 2006).

Jedoch muss man hier kritisch anmerken, dass die maximale VO₂ eines Trainierten ja schon von vornherein höher als die eines Untrainierten ist und somit auch der Wert beim jeweiligen Prozentanteil.

Auch schreiben die Autoren weiter, dass die beste Steigerung der VO₂max bei einer Intensität nahe oder direkt an der VO₂max stattfindet (Midgley et al, 2006).

Billat (2001) schreibt, dass die Stärke der Sauerstoffaufnahme der beste Vorhersagewert für die Leistung über 800m, 1500m, 5000m, und das Sauerstoffdefizit der beste metabolische Prädiktor für 100m, 200m und 400m ist.

Zintl (2004) schreibt, dass die VO₂max aber nur für Mittelzeitbelastungen von 2 - 10 Minuten Aussage über die Ausdauerleistungsfähigkeit geben kann, da diese auch gerade

bei Langzeitausdauerbelastungen von Stoffwechselforgängen mitbestimmt wird.

Gemessen werden kann die VO₂max mittels spiroergometrischer Belastungsuntersuchung. Unterschiedliche Belastungs- und Trainingsreize können die VO₂max unterschiedlich beeinflussen, das heißt beträchtlich verbessern, oder kaum verändern.

Auch das ist abhängig vom Leistungszustand des jeweiligen Sportlers, wie sich in den folgenden Studien zeigen wird.

Midgley et al (2006) schreiben, dass je höher die Intensität ist desto höher ist auch die Verbesserung der VO₂max. Ein Training an oder nahe der Intensität der VO₂max hat bei bereits guttrainierten Ausdauerathleten die größte Auswirkung auf diese.

Die Geschwindigkeit an der VO₂max wurde als diese Geschwindigkeit erkannt, die durchschnittlich bei einem 3000m - Lauf gelaufen werden kann (Billat, 2001).

Jedoch wurde schon herausgefunden, dass Läufer bei einem 4 - Minuten – Test die Geschwindigkeit um 3 km/h auf 80% reduzieren konnten ohne die Sauerstoffaufnahme zu senken. Auch wurde herausgefunden, dass die minimalste Geschwindigkeit um die VO₂max zu erreichen bei einem 3 - Minuten - Stufentest unter der eigentlichen Geschwindigkeit an der VO₂max liegen kann (Billat, 2001).

Den besten kardiorespiratorischen Nutzen erhält man bei 90 – 100% der VO₂max. Allgemein kann die Geschwindigkeit an der VO₂max als vernünftige Basis für Intervalltraining für Mittelstrecken – und Langstreckenläufer angesehen werden (Billat, 2001).

5 Ausdauertrainingsmethoden

Zwei Hauptprinzipien gilt es grundsätzlich zu unterscheiden:

1. die Dauermethode
2. die Intervallmethode

Beide Grundformen lassen sich in verschiedene Unterformen unterteilen (Zintl, 2004).

5.1 Dauermethode

Laursen et al. (2002) bezeichnen dies als submaximales Training, das durch eine lange, kontinuierliche Belastung gekennzeichnet ist.

Die Dauermethode ist eine Belastung ohne Unterbrechung mit gleichbleibender Intensität und wird in der Praxis weiter unterschieden (Zintl, 2004).

Sie ist charakterisiert durch eine kontinuierliche, niedrige bis mittlere Trainingsintensität und soll über mehrere Monate die aerobe Kapazität verbessern (Kubukeli, 2002).

5.1.1 Kontinuierliche Dauermethode

In den in dieser Arbeit vorkommenden Studien werden nur die bloßen Intensitäten der durchgeführten Trainings angegeben und die Methode an sich kaum näher erklärt.

Dies will ich in diesem Kapitel in der kürzest möglichen Form zum besseren Verständnis erläutern.

Die extensive Dauermethode wird in der Literatur als Belastung unter oder an der anaeroben Schwelle mit einem Laktatwert von 0,75 - 2,0 mmol/l und einer VO₂max von 45 - 70 % angegeben.

Im Vergleich dazu steht die intensive Dauermethode, die an der individuell anaeroben Schwelle mit einem Laktatwert von 4 - 6 mmol/l und einer VO₂max von 75 - 85 % durchgeführt wird (Zintl, 2004).

5.1.2 Tempowechselmethode

Diese Form der Dauermethode ist durch einen planmäßigen Wechsel der Intensität in einer bestimmten Bandbreite, zwischen 1,5 und 4 mmol/l und einer VO₂max von 60 – 85 % charakterisiert (Zintl, 2004).

5.1.3 Fahrtspiel

Dies ist gekennzeichnet durch einen unplanmäßigen Wechsel der Belastungsintensität von niedrig bis maximal (Zintl, 2004).

Obwohl Zintl (2004) die Dauerethode als Methode mit gleichbleibender Intensität beschreibt würde ich meinen, dass man das Fahrspiel trotz der unterschiedlichen Intensitäten die darin vorkommen zur Dauerethode zählen könnte, da die Belastung nicht durch Pausen wie beim Intervalltraining unterbrochen wird.

5.2 Intervallmethode

Das Intervalltraining beinhaltet kurze bis lange, ziemlich hochintensive, wiederholte, Belastungen, die über der maximalen *Laktat–steady-state - Geschwindigkeit*, oder an derselben, stattfinden, und durch Erholungsphasen mit leichter Intensität oder einer Pause unterbrochen werden (Billat, 2001).

Zintl (2004) schreibt, dass trotz der vielen verschiedenen Varianten ein gemeinsames Grundschema mit planmäßigem Wechsel zwischen Belastungs - und Entlastungsphasen die Intervallmethode auszeichnet.

Laursen et al. (2002) schreiben nur von einem hochintensiven Intervalltraining (HIT), das aus wiederholten Intervallen von kurzer bis mittlerer Dauer, in etwa 10 Sekunden bis 5 Minuten, besteht, und mit einer Intensität über der anaeroben Schwelle durchgeführt wird. Weiters charakterisiert wird dieses Training durch kurze Perioden von aktiver oder inaktiver Pause, die zu einer teilweisen aber nicht vollständigen Erholung führen (Laursen et al, 2002).

Die Methode geht auf Emil Zatopek, Olympiasieger von 1950 über 5000m, 10000m und Marathon, zurück, und seitdem wird sie von Mittel – und Langdistanzläufern genutzt um mit individuellem Wettkampftempo zu trainieren (Billat, 2001).

Emil Zatopek etwa trainierte vor seinen Siegen 400m - Intervalle in einer Zeit von 1:12 Minuten, mit einer Geschwindigkeit von 20km/h, berechnet aus seinen Bestzeiten von 3000 bis zu 10.000m - Rennen, und die mit einer VO₂max von 85 %, wahrscheinlich seinem maximalen *Laktat–steady-state* entsprachen. Diesen 400m-Läufen folgten jeweils 200m Erholung. Wiederholt wurde dies 100mal (Billat, 2001).

Siegfried Hermann, ein ehemaliger deutscher 1500m - Läufer, mit einer Bestzeit von 3:40 Minuten, lief eine Intervallform von 4mal 6mal 200m mit jeweils 50 - 60 Sekunden Pause zwischen den Intervallen und einer Pause von 8 Minuten zwischen den 4 Serien. Dabei fiel auf, dass die Geschwindigkeit, der 1.Serie, mit 30 Sekunden für 200m, mit 24 km/h, bei 98 % der Wettkampfgeschwindigkeit lag und die letzte Serie mit 105 % der

Geschwindigkeit seiner 1500m-Zeit, nämlich bei 28 Sekunden für 200m, lag. Die letzten 200m lief er überhaupt in 25 Sekunden, was 118 % des Wettkampftempos bedeutet hat (Billat, 2001).

1960 wurde eine der ersten Studien von Intervalltraining mit sehr kurzen Belastungen von 5 bis 30 Sekunden veröffentlicht. Ein Läufer mit einer VO₂max von 5,6 l/min oder 67 ml/kg/min machte 15 Sekunden - Läufe an der Geschwindigkeit der VO₂max, mit mehreren Wiederholungen und jeweils 15 Sekunden Pause. Er hielt dieses Training 30 Minuten lang mit einem Wert von 2,3 mmol/l Laktat aus. Als er jedoch statt der 15 Sekunden Pause nur 10 Sekunden machte, kam ein Endwert von 5,6 mmol/l Laktat heraus (Billat, 2001).

Billat (2001) schreibt von amerikanischen Forschern, die die metabolischen Energiequellen bei einem Intervalltraining mit einem genauso lang dauerndem Dauertraining verglichen. Schon damals begründeten die Forscher die Verbesserung der Leistung von Ausdauerathleten mit der langsameren Laktatakkumulation beim Intervalltraining und einer zusätzlichen Verzögerung der Ermüdung.

Arthur Lydiard, ein neuseeländischer Trainer, ließ seine Athleten ein Intervalltraining von 10 - 15 Sekunden dauernden Läufen bei einer VO₂max von 100 % und jeweils gleicher Pausen – wie Belastungsdauer bei 30 – 40 % der VO₂max machen. Die Pausen waren jedoch aktiv und erlaubten den Athleten möglichst lange auf dem Level der VO₂max zu bleiben. Zusätzlich zu diesen Intervallen ließ Lydiard die Athleten reichlich Umfänge und lange Läufe trainieren (Billat, 2001).

Said Aouita, ein nordafrikanischer Mittelstreckenläufer und in den 80er Jahren Weltrekordhalter über 1500m und 5000m, machte Intervalltrainings mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten in derselben Trainingseinheit. Mit der Geschwindigkeit an der maximalen *Laktat-steady-state*, mit 94 % der VO₂max, lief er 5000m, und anschließend lief er Distanzen von 3000m bis zu 200m nach Belieben in ein und derselben Einheit (Billat, 2001).

In den Studien die in dieser Arbeit vorkommen wurde bis auf den Artikel von Billat (2001) das Intervalltraining nicht in eine extensive und intensive Methode unterschieden, sondern nur allgemein von Intervalltraining gesprochen.

5.2.1 Extensive Intervallmethode

Diese Form ist gekennzeichnet durch eine geringere Belastungsintensität, längerer Belastungsdauer und kurzer Pausendauer.

In der Literatur wird hier wieder zwischen zwei Formen differenziert, nämlich zwischen einer extensiven Intervallmethode mit Lang - als auch mit Kurzzeitintervallen, die sich nach der Belastungsdauer richten (Zintl, 2004).

Ob diese Vorgaben mit den in den Studien verwendeten Trainingsintensitäten übereinstimmen, wird *Kapitel 5.3* zeigen.

5.2.2 Intensive Intervallmethode

Wie in *Kapitel 5.2* beschrieben, sprechen etwa Laursen et al. (2002) nur das sogenannte HIT an.

Intensive Intervallmethoden sind charakterisiert durch Intensitäten von 100 - 130 % der VO₂max.

Die Geschwindigkeit wird über die jeweilige Bestleistungsgeschwindigkeit der Wettkampfdistanz bestimmt.

3 Formen werden auch hier unterschieden die hinsichtlich der Belastungsdauer eine Bandbreite von 6 - 9 Sekunden bis hin zu 60 - 90 Sekunden aufweisen (Zintl, 2004).

Dass viele in sämtlicher Literatur auffindbare Formen des Intervalltrainings eher praxisfern sind und Intervallformen oft willkürlich durchgeführt werden beweisen Kubukeli et al. (2002), siehe Kapitel 7.

Die in den Studien dieser Arbeit vorkommenden Intervallformen sollen in Kürze in *Kapitel 5.3* ausgearbeitet, gegenübergestellt, und verglichen werden.

Laursen et al. (2002) schreiben weiters in ihrem Artikel, dass die optimale Pausendauer bei Intervalltrainingsmethoden noch nicht erforscht ist. Sie schreiben von üblichen Belastungs -Pausenverhältnissen von entweder 2:1, 1:1, oder 1:2, oder von einer Reduzierung der Herzfrequenz auf einen bestimmten Prozentsatz der maximalen Herzfrequenz.

Laursen et al. (2002) erwähnen dazu eine Studie die den Einfluss von unterschiedlicher Pausendauer erforscht hat, jedoch dann letztendlich herausfanden, dass dies keine Unterschiede in der Leistung ergab.

5.3 Formen der Intervallmethode in den verwendeten Studien

In kaum einer Literatur wurde das Intervalltraining in ein extensives und intensives Intervalltraining unterschieden, wie es etwa Zintl (2004) macht, lediglich Billat (2001) sprach davon.

Andere Literaturstellen wie zum Beispiel Kubukeli et al. (2002) oder Esfarjani et al. (2007) erwähnen in ihren Artikeln lediglich die Bezeichnung „hochintensives Intervalltraining“ oder „Sprintintervalltraining“ wenn sie die Trainingsmethoden beschreiben.

Die Grenze und der Unterschied zwischen extensivem und intensivem Intervalltraining lässt sich nun schwer oder gar nicht finden beziehungsweise die Auswirkungen auf diese Form des Trainings nur unter dem Aspekt der gesamten Intervallmethode betrachten.

5.3.1 Sprintintervalltraining

Burgomaster et al. (2006) definieren Sprintintervalltraining als kurze wiederkehrende sehr intensive Belastungen.

Kubukeli et al. (2002) führten in ihrem Artikel Intervalle und Sprints mit einer Dauer von 5,15, oder 30 Sekunden oder einer Distanz von 30 – 100m an.

Burgomaster et al. (2005) verwenden 4 - 7 30-Sekunden-Sprints und 4 Minuten Pause.

Auch McKenna et al. (1997), Burgomaster et al. (2007), Iala et al. (2008), und MacDougall et al. (1998) schreiben auch von 30 Sekunden dauernden Sprints in ihren Studien.

Laursen et al. (2002) verwenden in der Studie 8 – 12 maximalen 15 Sekunden Sprints und 45 Sekunden Pause.

5.3.1.1 Wingate Test

Dieser ist der am weitesten verbreitete Test um die anaerobe Leistungsfähigkeit zu bestimmen. Durchgeführt wird dieser an einem mechanischen Ergometer, mit einer von der Drehzahl abhängigen Leistung gegen eine Reibungskraft entsprechend 7,5 % des eigenen Körpergewichts. Die Anforderung besteht darin 30 Sekunden lang so schnell wie möglich zu treten.

Schon ein paar Sekunden nach Beginn erreicht man einen Maximalwert der Leistung, und somit eine Erzeugung der Energie im Muskel durch Glykolyse und die sofort verfügbaren Energiequellen wie ATP und KP.

Der Maximalwert der Leistung (*peak power*), der Mittelwert (*mean power*) über die 30 Sekunden, sowie der Ermüdungsindex ergeben schlussendlich die anaerobe Leistungsfähigkeit (Burgomaster et al, 2006).

5.3.2 Submaximales Intervalltraining

Weston et al. (1997) verwenden 8mal 5 Minuten bei 80% der maximalen Leistung und 1 Minute Pause als Intervalltrainingsform.

Laursen et al. (2002) schreiben über eine Trainingsform von 5mal 4 Minuten bei 100 % VO₂max und 2 Minuten Pause.

5.3.3 Supramaximales Intervalltraining

Jacobs et al. (1987) schreiben von 15 und 30 Sekunden dauernden *all out Sprints* als Trainingsform.

MacDougall et al. (1998) verwendeten 4 - 10 maximale 30-Sekunden - Sprints und 4 – 2,5 Minuten Pause.

Billat (2001) erzählt in ihrem Artikel von einer 4 - 6 Minuten dauernden Belastung, die in Intervallform mit 15 Sekunden Belastung bei 112 % VO₂max durchgeführt wird.

Inwiefern es zwischen einem Sprint – und einem supramaximalen Intervalltraining Unterschiede gibt bleibt unklar, des Namens wegen in den vorkommenden Studien wurde hier jedoch differenziert.

5.3.4 Andere Formen des Intervalltrainings

Burke (1994) schreiben von 3 - 5 Minuten und 2 Minuten dauernden Intervallen.

Yeo et al. (2008) verwenden Intervalle von 8mal 5 Minuten.

Daussin et al. (2008) machten einen Intervallblock mit 5 Minuten Belastung, davon 5 Minuten an der aeroben Schwelle und 1 Minute bei 90% der maximalen Leistung.

6 Intensitätsbereiche

Die verschiedenen Trainingsmethoden spielen sich in unterschiedlichen Trainings – und Pulsbereichen ab.

Faude et al. (2009) schreiben in ihrem Artikel über die Laktatkurve als wichtigste Determinante bezüglich Bestimmung der Intensität im Training.

Die Autoren schreiben darüber, dass der aerob-anaerobe Übergang fast am wichtigsten sei.

Die zwei wichtigsten Faktoren der Laktatleistungskurve, gemessen in einem Stufentest, sind einerseits der Punkt an dem die Kurve zu steigen beginnt, und andererseits die Schwelle an der Laktatproduktion und Laktatelimination in Einklang sind, genannt *maximal-lactat-steady-state (MLASS)* (Faude et al, 2009).

Was die bestimmten Intensitätsbereiche betrifft werden etwa von Billat (2001) auch die Begriffe A1, A2, A3, und A4 verwendet, die die unterschiedlichen Bereiche mit den Herzfrequenzen definieren.

In keiner einzigen anderen in dieser Arbeit vorkommenden Studie ist jedoch eine Notiz über diese etwa von Billat (2001) verwendeten Intensitätsbereiche zu finden. Stattdessen wird die Intensität lediglich über die VO₂max angegeben wie etwa bei Studien von Burgomaster et al. (2007), Kubukeli et al. (2002), Billat (2001), oder Denadai et al. (2006).

Billat (2001) schreibt über eine Studie die das Training von Elitemarathonläufern, Radfahrern, Ruderern, Schilangläufern, und Langläufern unter die Lupe genommen hat, und wo man zu dem Ergebnis gekommen ist, dass sich 75 – 80 % des Trainings in der Zone A1, die bei einer Herzfrequenz zwischen 60 und 70 % vom Maximum liegt, und 15 – 20 % in der Zone A3, die sich zwischen 80 und 90 % der maximalen Herzfrequenz befindet, abspielt, jedoch kaum etwas dazwischen gemacht wird, nämlich 0 – 10 %.

Bergmann et al. (1999) schreiben in ihrem Artikel, dass bei Trainierten die höchste Fettoxidation bei 65 % der Maximalleistung ist, obwohl Untersuchungen belegen, dass der Anteil der Kohlehydrate für die Energieversorgung normalerweise bei größerer Leistung ansteigt (Bergmann et al, 1999).

7 Auswirkungen der Dauermethode

Kubukeli et al.(2002) bestätigen, dass die Dauermethode die aerobe Kapazität verbessert.

Die Anpassungen sind weiters molekular, wie etwa die Zunahme der Mitochondriendichte und somit der oxidativen Kapazität, weiters sind eine verbesserte Kapillarisation, und auch eine Erhöhung der intramuskulären Speicher für Glykogen und Lipide positive Anpassungserscheinungen (Pilegaard et al, 2000).

7.1 Auswirkung auf das Herzkreislauf - System

Anpassungserscheinungen des Herz - Kreislaufsystems haben ebenso als Auswirkung eine verbesserte Kapillarisation der Arbeitsmuskulatur, einen Anstieg des Blutvolumens, sowie eine niedrigere Herzfrequenz bei gleicher Intensität zur Folge (Kubukeli, 2002).

Babraj et al. (2009) bestätigen in ihrem Artikel, dass traditionelles aerobes Ausdauertraining metabolische Anpassungen zur Folge hat und Herz - Kreislauf – Erkrankungen reduziert.

Weitere zentrale Anpassungserscheinungen sind eine niedrigere Herzfrequenz bei gleichbleibenden Trainingsbelastungen gekoppelt mit niedrigerem Blut – und Plasmavolumen.

Diese Faktoren sind begleitet von einem größeren Herzzeitvolumen, einem erhöhten Schlagvolumen, und Anstiegen im Muskelblutfluss (Laursen et al, 2002).

Midgley et al. (2006) meinen jedoch, dass auch wenn ein bestimmtes Training bei guttrainierten Läufern das Blutvolumen erhöhen kann, sei es trotzdem unwahrscheinlich dass es das Schlagvolumen in einem signifikanten Ausmaß verbessert (Midgley et al, 2006).

Zavorsky (2000) schreibt dazu, dass aerobes Ausdauertraining die maximale Herzfrequenz senken kann und diese nach Beendigung aber wieder ansteigen kann.

Insgesamt können Veränderungen von 3 – 7 % auftreten.

Der Autor schreibt weiters, dass es eine hohe Korrelation ($r = 0,76$) zwischen der Veränderung der Hf_{max} und der VO_{2max} gibt (Zavorsky, 2000).

Ein weiterer Effekt von aerobem Ausdauertraining kann eine höhere Anzahl an Erythrozyten sein. Eine höhere Anzahl an Erythrozyten führt zu einem höheren Blutvolumen, einem höheren venösen Rückfluss, einem größeren enddiastolischen

Volumen, einem größeren Schlagvolumen, und zu einer besseren Muskeldurchblutung. Ein weiterer Vorteil ist, dass ein Teil des Blutvolumens zur Hautdurchblutung und Schweißproduktion verwendet wird ohne dass es der Muskulatur entzogen wird, und die Grenzen der Belastbarkeit vorzeitig erreicht werden.

(Midgley et al, 2006).

7.2 Auswirkung auf Enzymaktivitäten

Weitere Anpassungen der Dauermethode sind größere Glykogenspeicher in der Muskulatur, Anstiege in der Aktivität der Natrium-Kalium-Pumpe, Anstiege in den Enzymaktivitäten der Mitochondrien und eine kleine Veränderung in den glykolytischen Enzymen (Kubukeli, 2002).

Andere Faktoren wie zum Beispiel die oxidative Enzymkapazität, oder die Anzahl der Kapillaren pro Muskelfaser und ein größerer Prozentsatz an *slow twitch Fasern* werden die Folge von großem Umfang mit niedrigerer Intensität sein (Laursen et al, 2002).

Gerade der von Laursen et al. (2002) angesprochene veränderte Prozentsatz der *slow twitch Fasern* aufgrund von Trainingsbelastungen in Form der Dauermethode wird in *Kapitel 8* noch diskutiert werden, da es Meinungen gibt, die behaupten die Fasern können aufgrund von Trainingsbelastungen transformierbar sein. Dies jedoch wird widerlegt.

7.3 Auswirkung auf die Leistungsfähigkeit und die VO₂max

Billat (2001) schreibt in ihrem Artikel, dass es noch unklar ist ob ein 40 Minuten Lauf bei 90 % der maximalen Sauerstoffaufnahme oder ein 16 Minuten Lauf mit 100% der Sauerstoffaufnahmekapazität effektiver ist.

Laursen et al. (2002) schreiben in ihrem Artikel, dass ein Dauertraining mit einer Intensität von etwa 70 % der VO₂max, das 3mal jeweils 2 Stunden in der Woche durchgeführt wird, bereits sogenannte zentrale Anpassungserscheinungen zur Folge hat, aber um Faktoren wie die VO₂max zu verbessern, würde man eine längere Periode von etwa 12 – 38 Tagen, 3 - 5 Tage die Woche, trainieren müssen.

Weiters schreiben die Autoren müsste man mehrere Wochen trainieren um Veränderungen in der Muskelmitochondriendichte und Mitochondrienvolumen zu bemerken (Laursen et al, 2002).

Es wurde angenommen, dass Freizeitsportler, mit einer VO₂max < 45ml/kg/min mehrere Jahre brauchen um auf den Wert eines hochausdauertrainierten Athleten zu kommen, der

einen VO₂max Wert von > 60ml/kg/min erreicht.

Die Autoren berichten jedoch von einer Studie von 8 Freizeitsportlern, die ihre VO₂max nach einem 10-wöchigen hochintensiven Intervalltraining um 44 % verbesserten. Das Programm bestand aus 6 Einheiten in der Woche, mit abwechselnd 40 Minuten intensivem Laufen an einem Tag, und 40 Minuten intensivem Radfahren am nächsten Tag.

4 der Athleten erreichten am Ende einen VO₂max Wert > 60ml/kg/min (Laursen et al, 2002).

7.3.1 Auswirkung der Dauerperiode an der *steady-state* - Schwelle

Priest et al. (1987) schreiben, dass Training an der *steady-state* - Schwelle, bei 2,2 mmol/l, das effektivste Training für die aerobe und anaerobe Ausdauer ist.

Priest et al. (1987) untersuchten den Effekt des Trainings mit einer Intensität gleichbedeutend der maximalen *steady-state* - Geschwindigkeit.

Von 12 männlichen Läufern unterschiedlicher Leistungskategorien wurde vor und nach einem 7-wöchigen Training, das 4mal in der Woche aus Läufen zwischen 4 und 16km bestand, die VO₂max, die maximale anaerobe Leistung, die Herzfrequenz bei der *steady-state* - Schwelle, sowie die Laufleistungen über 10km, 3,22km, 600m, und 15m, jeweils gelaufen mit der *steady-state* - Geschwindigkeit, gemessen .

Die Autoren haben mit wöchentlichen 3,22km langen Läufen die *steady-state* - Geschwindigkeit mit einem Laktatwert von 2,2mmol/l ausgerechnet.

Während der Trainingsperiode stieg das Tempo bei der 2,2 mmol - Marke um durchschnittlich 11,3 % an, was einem Geschwindigkeitsanstieg von 3,76 m/s auf 4,19m/s entspricht.

Das Körpergewicht und die maximale Herzfrequenz blieben gleich.

Die absolute VO₂max stieg um durchschnittlich 8,9 % an, die relative maximale Sauerstoffaufnahme, die bezogen auf das Körpergewicht ist, um durchschnittlich 8,1 %, das heißt im Endeffekt um 4,8 ml/kg/min.

Die maximale anaerobe Leistung stieg um 3,7 % an.

Die Herzfrequenz während der Belastung sank um durchschnittlich 6,9 %.

Die gelaufenen Zeiten nach den 7 Wochen auf den verschiedenen Strecken wurden auch allesamt besser. Die Leistungen über 15m wurden um 1,8 %, über 600m um 4,4 %, über 3,22km um 9,6 %, und über 10km um 12,1 % besser (Priest et al, 1987).

Ein Unterschied der erkannt wurde, war, dass für die besser trainierten Läufer die 10km und 3,22km Leistungen um 6,7 % und 4,3 % sanken, im Vergleich dazu diese bei den

Hobbyläufern, um beträchtliche 15,8 % und 13,6 % sanken.

Die Autoren schlossen aus der Studie, dass ein Training genau an der *steady-state - Schwelle* die maximale aerobe und anaerobe Leistung effektiv verbessert, die Laufzeiten bei Kurz – und Mitteldistanzen deutlich reduziert werden und diese Intensität verschiedene Energiebereitstellungssysteme ansprechen kann (Priest et al, 1987).

Ein Aspekt den man aber ansprechen muss, ist der, dass die Verbesserungen der aeroben Leistungsfähigkeit bei den Athleten natürlich vom Leistungszustand vor dem Training abhängt.

Die VO₂max der Trainierten stieg um 5,8 % im Vergleich zu 11,1 % bei den Untrainierten (Priest et al, 1987).

Das Training an *der steady-state - Schwelle* ist also eher ein guter Trainingsbereich für Athleten mit niedrigerer aerober Leistungsfähigkeit.

7.3.2 Auswirkung unterschiedlicher Intensitäten bei Untrainierten

Trainingsintensitäten die die VO₂max erreichen bringen zum Beispiel Untrainierten einen großen Nutzen, jedoch sollte der Umfang bei diesen Intensitäten niedrig bleiben und erst über Jahre ansteigen (Midgley et al, 2006).

Kemi et al. (2005) machten eine Studie in der zwei unterschiedliche Trainingsintensitäten und deren Effekte bei untrainierten Personen in der Herz - Kreislauf - Rehabilitation verglichen wurden.

Es wurde ein hochintensives und ein moderates Training 10 Wochen lang durchgeführt und die Auswirkungen auf die Leistung und die zellulären Funktionen verglichen.

Das intensive Training wurde bei 85 - 90 % der VO₂max ein Stunde lang am Laufband durchgeführt, jeweils 5 Tage die Woche. Das moderate Training fand bei 65 - 70 % statt.

Das Training führte zu einer Verbesserung der VO₂max in der Intensitätsgruppe, um 71 %, und zu einer um 28 % höheren VO₂max in der Gruppe die moderater trainierte.

Die kardiomyozyte Hypertrophie, die Zunahme der Größe und Länge der Kardiomyozyten, stieg um durchschnittlich 14 % in der intensiveren Gruppe, im Vergleich zu 5 % in der weniger intensiven Gruppe. Die kardiomyozyte Funktion stieg um 45 und 23 %, und die Kontraktionsrate sank bei den Gruppen um 43 und 39 %.

Auch diese Studie kommt zum Schluss, dass Anpassungen an das Herz - Kreislaufsystem von der Trainingsintensität abhängig sind.

Ob eine höhere Intensität besser ist wurde in diesem Fall beantwortet, die Frage ist jedoch wie hoch sie letztendlich sein darf (Kemi et al, 2005).

Auch das Plasmavolumen, die Erythrozytenmenge, und das Blutvolumen steigen infolge eines Ausdauertrainings. Jedoch meinen die Autoren, dass das Blutvolumen nur bei untrainierten Personen signifikant ansteigt, und bei guttrainierten jedoch nur sehr gering (Midgley et al, 2006).

7.4 Speichervergrößerung

Niedrigere Plasmlaktatkonzentrationen sind die Folge einer größeren mitochondrialen Kapazität (Kubukeli et al, 2002).

Eine weitere Anpassungserscheinung einer aeroben Dauerethode sind höhere Raten in der Fettverbrennung, die möglicherweise eine längere Dauer bei mittlerer Intensität aushalten lässt, da sie die Kohlenhydratspeicher schonen (Kubukeli et al, 2002).

Friedlander et al. (1999) berichten in ihrem Artikel, dass bei Dauerbelastungen die mit einer Intensität von 65 % der VO₂max durchgeführt werden, und mit einer Intensität von 10 % unter der Ausdauerleistungsgrenze liegen, das Glycerin im Serum und den Umsatz von freien Fettsäuren, im Vergleich zu Belastungen die bei 45 % der VO₂max liegen, um das Doppelte ansteigen lassen.

7.5 Muskelkapillarisation

Studien haben ein Dauertraining, das 2 Stunden am Tag mit einer Intensität von 65 – 75 % VO₂max durchgeführt wurde, untersucht.

Die Leistungssteigerung durch dieses Training war der verbesserten Zufuhr von Sauerstoff zur Arbeitsmuskulatur zuzuschreiben, einer zentralen und peripheren Anpassung, nämlich der verbesserten Verwendung von Sauerstoff in der Arbeitsmuskulatur (Laursen et al, 2002).

Trainieren Athleten jedoch immer nur mit submaximaler Intensität werden sie nach einer gewissen Zeit trotz erhöhtem Umfang jedoch nicht besser werden (Laursen et al, 2002).

Die Kapillarisation der Skelettmuskulatur kann sich durch ein Ausdauertraining verbessern und ist auch ein bedeutender Punkt betreffend einer Verbesserung der VO₂max.

Der größte Stimulus hierfür ist der Kapillardruck der durch einen Anstieg der Blutflussgeschwindigkeit entsteht

Skelettmuskelmyoglobin verbessert die Sauerstoffbewegung von dem Sarkolemm zu der Mitochondrienfläche. Dass dies durch Training verbessert werden kann wurde in Studien bewiesen (Midgley et al, 2006).

Eine erhöhte Sauerstoffkapazität der *fast twitch Fasern* kann die arteriovenöse O₂-Differenz erweitern.

Diese ist ein wichtiger Indikator für die Beurteilung der peripheren Sauerstoffaufnahme. Neben einer Herzvergrößerung kommt es durch ein Training zu einem Anstieg des Blutvolumens, der roten Blutkörperchen und des Hämoglobins. Dadurch erhöht sich die Sauerstofftransportkapazität des Herz - Kreislauf - Systems und somit die Ausdauerleistungsfähigkeit.

Diese *fast twitch Fasern* werden bei Intensitäten von 90 – 100 % der VO₂max oder natürlich darüber rekrutiert. Die VO₂max sollte die niedrigere Grenze setzen um deren oxidative Kapazität zu steigern (Midgley et al, 2006).

7.6 Auswirkung auf die kontraktile Funktion der Muskelfasern

Trappe et al (2006) machten eine Studie um die Auswirkungen eines Dauertrainings auf die kontraktile Funktion einzelner Muskelfasern von Hobbyläufern zu untersuchen.

Bei 7 Läufern, im Alter von 22 ± 1 Jahren, einer Größe von 177 ± 3cm, und einem Gewicht von 68 ± 2 kg, wurden Muskelbiopsien im musculus gastrocnemius vor einem 13-wöchigen Training, danach, und nach einer 3-wöchigen Taperphase gemacht.

Slow twitched und *fast twitched* Fasern wurden auf Größe, Festigkeit und Kontraktionsgeschwindigkeit untersucht.

Das Training war auf die erfolgreiche Teilnahme bei einem Marathon ausgerichtet, der von den Teilnehmern mit Zeiten zwischen 3:56 bis 5:35 gelaufen wurde.

Das 13-wöchige Trainingsprogramm verbesserte die Sauerstoffaufnahme und die Citratsynthaseaktivität.

Die Muskelfasergröße beider Typen ist um ca. 20 % zurückgegangen.

Die Festigkeit der Fasern blieb nach dem Training aufrecht, jedoch stieg diese um 18 % bei den *Typ IIa Fasern* nach dem Tapering. Dies führte zu einer 60 % höheren Kraft pro Querschnittsfläche beider Typen.

Die Kontraktionsgeschwindigkeit stieg um 28 % in den *Typ I Fasern* und blieb in den *Typ IIa Fasern* unverändert.

Die Studie zeigte, dass durch dieses Marathontraining zwar die Größe der Muskelfasern gesenkt wurde, jedoch die anderen Funktionsweisen entweder aufrechterhalten blieben

oder verbessert wurden, und sich durch eine Taperphase sogar noch weiter verbessert haben (Trappe et al, 2006).

7.7 Auswirkung auf die Genexpression

Pilegaard et al. (2000) zeigten in einer Studie, dass ein Ausdauertraining abgesehen von der Methode, entweder Intervall – oder Dauerperiode, bei Untrainierten auf der Molekularebene eine unmittelbare, dem Reiz entsprechende, transiente Aufregulierung der Genexpression in der Muskulatur zur Folge hat.

Diese erholt sich jedoch innerhalb von 24 Stunden wieder zur Gänze.

Die Genexpression funktioniert ähnlich wie das Modell der Superkompensation, denn durch die verschiedenen zeitlich richtig gesetzten Trainingsreize kommt es zur Kumulation der molekularen Antwort, die nach einigen Wochen zu einer signifikanten Erhöhung der muskulären mRNA - Konzentration führen kann (Pilegaard et al, 2000).

7.8 Auswirkung auf die Entzündungsmarker

Der Einfluss von 2 unterschiedlichen Intensitäten einer Dauerperiode auf den Entzündungsmarker, den Leukozytenbestand, sowie auf Muskelschädigungen wurde von Tartibian et al. (2009) untersucht.

18 Probanden liefen pro Einheit 30 Minuten am Laufband mit einer Intensität von entweder 60 % der maximalen O₂-Aufnahme, in der Gruppe „moderat“, oder 75 % der VO₂max, in der Gruppe „intensiv“.

Blut wurde kurz vor der Belastung, direkt danach und 2 Stunden danach abgenommen, um Kreatinkinase, c-reaktives Protein, Interleukin 6, und die weißen Blutkörperchen zu kontrollieren.

Am Ende zeigten sich signifikante Erhöhungen in den Entzündungsmarkern, sowie in den Werten die Auskunft über den Grad der Muskelschädigungen gaben, direkt nach der Belastung, in beiden Gruppen.

Keinen signifikanten Unterschied gab es in beiden Gruppen in den anderen Blutparametern ($p > 0,05$).

Man kommt zu dem Schluss, dass die Intensität in diesem Fall keinen Unterschied machte (Tartibian et al, 2009).

7.9 Auswirkung auf den oxidativen Stress

Seifi-Skishahr et al. (2008) stellen in ihrem Artikel ihre Studie vor, in der sie den Einfluss von zwei verschiedenen Intensitäten auf den oxidativen Stress untersuchten.

20 untrainierte Männer liefen 30 Minuten am Laufband. Die 1. Gruppe lief mit einer Intensität von 60 % der VO₂max, die 2. Gruppe mit 75 %.

Vor und nach dem Test wurde Laktat abgenommen. Eine Art Borg-Skala wurde auch eingesetzt um die subjektive Anstrengung zu erheben.

Blutproben aus der Vene wurden vor dem Test, sofort nachher, sowie 2 und 24 Stunden danach abgenommen.

Malondialdehyd (MDA), ein Marker für den oxidativen Stress der Zelle, die Harnsäure, und Kreatinkinase wurden beobachtet (Seifi-Skishahr et al, 2008).

Die Ergebnisse zeigten keinen signifikanten Unterschied in Blutlaktat, Kreatinkinase, Harnsäure und MDA in beiden Gruppen.

MDA war jedoch in der Gruppe die mit 75 % VO₂max liefen 2 Stunden danach noch erhöht.

Plasmaurinsäurekonzentrationen und Kreatinkinaseaktivitäten waren in beiden Gruppen gleich danach und 2 Stunden danach im Vergleich zu vorher signifikant höher.

Was die Auswirkung auf die weißen Blutkörperchen betrifft, war die Anzahl der Neutrophilen 2 Stunden nach dem Test in beiden Gruppen erhöht, und nur in der 2. Gruppe mit 24 Stunden danach noch erhöht.

Die Anzahl der Monozyten war 2 Stunden danach nur in der 2. Gruppe erhöht (Seifi-Skishahr et al, 2008).

Zu guter letzt sagt diese Studie auch aus, dass Training mit niedrigerer Intensität weniger Lipidperoxidation verursacht als intensiveres Training (Seifi-Skishahr et al, 2008).

8 Anpassungseffekte der Intervallmethode

In *Kapitel 5.3* wurden schon die in der Arbeit vorkommenden Intervallformen gegenübergestellt.

Dabei wurde kaum in extensives und intensives unterschieden.

Aus genau diesem Grund werde ich in dieser Arbeit rein die Effekte des Überbegriffs „Intervalltraining“ beschreiben. Die Intensität des Trainings wird dann sowieso in den Studien erklärt.

8.1 Optimierung des aeroben Muskelstoffwechsels

Burke et al. (1994) schreiben, dass Intervalle die 3 - 5 Minuten dauern, optimal sind um den aeroben Stoffwechsel zu trainieren.

30 Sekunden dauernde Intervalle sind besser geeignet als 2 Minuten dauernde Intervalle um den alaktaziden und laktaziden Stoffwechsel zu trainieren (Burke, 1994).

Kubukeli et al. (2002) schreiben in ihrem Artikel über Studien die belegen, dass Sprintintervalltraining die Phosphofruktokinase erhöht, jedoch ohne die Citratsynthase, Dehydrogenase, 3- hydroxyacyl-CoA-Dehydrogenase und mitochondriale Aktivitäten zu steigern.

Kubukeli et al. (2002) verglichen in Studien mit Probanden, mit einer durchschnittlichen VO₂max von 50ml/kg/min die Auswirkungen eines Intervalltrainings, am Rad oder auf der Laufbahn, auf die Enzymaktivitäten.

Verglichen wurden folgende 11 Gruppen mit jeweiligen Intervalltrainingsformen:

1. G.: 30 - 80 Sprints und 100 - 500m - Läufe, 3 - 4mal/Woche, über 32 Wochen
2. G.: 20 - 40mal 30 - 80m - Sprints mit 95 %, 2 - 3mal/Woche, über 6 Wochen
3. G.: 15mal 10 Sekunden - Sprints mit 350 % VO₂max, 3mal/Woche, über 6 Wochen
4. G.: 2 - 6mal 15 - und 30 - Sekunden dauernde maximale Sprints, 2 - 3mal/Woche über 6 Wochen
5. G.: 16mal 5 - Sekunden - Sprints, 4mal/Woche, über 7 Wochen
6. G.: 30mal 5 - Sekunden - Sprints, 4mal/Woche, über 7 Wochen
7. G.: 4 - 10mal 30 - Sekunden - Sprints in Form von Wingate-Tests, 3mal/Woche, über 7 Wochen
8. G.: 8mal 20 - 30 - Sekunden - Sprints bei 90 % der maximalen Geschwindigkeit, 3mal/Woche, über 5 Wochen

9. G.: 8mal 30 - Sekunden - Sprints, mit maximalem Tretwiderstand, 4mal/Woche, über 8 Wochen

10. G.: insgesamt 25mal 30-minütige Fahrten bei 70 % der maximalen Herzfrequenz und 35mal 15 - 90 - Sekunden - Sprints, in 15 Wochen

11. G.: 30mal 5 - Sekunden - Sprints mit 22 km/h, 3 - 4mal/Woche, über 8 Wochen (Kubukeli et al, 2002)

Zu den Ergebnissen:

Es kam nach den verschiedenen Trainings zu Verbesserungen der Glykogensynthese (GS), Glykogenphosphorylase (GP), Phosphorfruktokinase (PFK), und Pyruvatkinase (PK), jedoch zu keiner Verbesserung in der Laktatdehydrogenase (LDH), und Kreatinphosphokinase (CS), in der 1. Gruppe.

Die 2. Gruppe hatte einen Anstieg in GP, eine gleichbleibende PFK und eine schlechtere CS.

Die 3. Gruppe hatte Anstiege in LDH, PFK, CS, 3-hydroxyacyl CoA dehydrogenase, und CK zur Folge.

Gruppe 4 erreichte eine höhere CS und PFK.

Gruppe 5 hatte eine höhere LDH und PFK, und gleichbleibende CS, und Hexokinase, zur Folge.

Gruppe 6 erreichte eine bessere GP, LDH, PFK, und keine Veränderung in CS.

Gruppe 7 verbuchte Anstiege in HK, PFK, und CS.

Die 8. Gruppe hatte eine verbesserte GP, LDH und PFK, die 9. Gruppe im Vergleich, konnte lediglich eine verbesserte PFK aufweisen.

Gruppe 10 hatte eine gleichbleibende CK, und verbesserte HK, LDH, und PFK, Gruppe 11 ergab Anstiege in CK und ATPase (Kubukeli, 2002).

Burgomaster et al. (2006) schreiben, dass ein hochintensives Intervalltraining möglicherweise metabolische Anpassungen in der Skelettmuskulatur zur Folge hat.

Burgomaster et al. (2006) testeten in einer Studie die Hypothese, dass Kurzzeit – Sprint -Intervalltraining die Glykogenolyse im Skelettmuskel, also den physiologischen Abbau von Glykogen zu Glukose und Glukose¹ - Phosphat, sowie die Laktatakkumulation während der Belastung reduzieren würde.

8 Männer, mit einer VO₂max von 3,8 ± 0,3 l/min, führten über 2 Wochen 6 Einheiten eines Kurzzeitintervalltrainings mit 4 - 7 mal 30 - Sekunden Belastungen und 4 Minuten Erholung dazwischen durch.

Vor und nach dem Intervalltraining wurde im musculus vastus lateralis eine Biopsie durchgeführt, diese sowohl in Ruhe, als auch nach beiden Stufen eines 2 – Stufen - Tests, der als 1.Stufe 10 - Minuten Belastung bei 60 % und als 2.Stufe 10 - Minuten Belastung bei 90 % der VO₂max erforderte.

Um auch Veränderungen der Radfahrleistung zu erfassen, wurde vor und nach den 2 Wochen ein Zeittest mit 250 kJ durchgeführt (Burgomaster et al, 2006).

Das Ergebnis der Studie zeigte einen Anstieg des Muskelglykogengehalts um etwa 50 %. Weiters erhöhte sich die Aktivität der Citratsynthese von $7,0 \pm 0,4$ auf $7,8 \pm 0,4$ mol/kg Protein, jedoch war die maximale Aktivität der L-3-Hydroxyacyl-CoA-Dehydrogenase unverändert. Die Muskelglykogenolyse, nach dem Training bei 100 ± 16 mmol/kg, im Vergleich zu vorher, 139 ± 11 mmol/kg und die Laktatakkumulation, 55 ± 2 mmol/kg, im Vergleich vorher und nachher, 63 ± 1 mmol/kg, waren reduziert.

Im Endeffekt verbesserte sich auch die Fahrleistung, genauer gesagt die Zeit bei dem 250kJ-Test verbesserte sich um 9,6 %, nämlich von $15,5 \pm 0,5$ auf $17,2 \pm 1,0$ Minuten (Burgomaster et al, 2006).

Burgomaster et al. (2005) testeten auch die Wirkung eines Kurzzeitintervalltrainings auf die aerobe Kapazität. Sie untersuchten den Effekt auf die Aktivität der Citratsynthese und die Ausdauerkapazität von 6 Trainingseinheiten über 2 Wochen verteilt, mit jeweils 1 - 2 Tagen Erholung dazwischen und einer Belastung von 80 % der VO₂max (Burgomaster et al, 2006).

8 untrainierte, jedoch aktive Teilnehmer, im Alter von 22 ± 1 Jahren und mit einer maximalen Leistung von 45 ± 3 ml/kg/min waren die Probanden.

Sie hatten pro Einheit 4 - 7 30 Sekunden dauernde Sprints am Programm, mit jeweils 4 Minuten Pause dazwischen.

Nach dem Training erhöhte sich die maximale Aktivität der Citratsynthese um 38 %, und der Restmuskelglykogengehalt erhöhte sich um 26 %.

Die allgemeine Ausdauerleistung erhöhte sich um 100%, so dass man zu dem Ergebnis kommt, dass kurzes Sprintintervalltraining die Ausdauerleistung beträchtlich verbessert (Burgomaster et al, 2006).

In einem Artikel von Parra et al. (2000) wird der Einfluss und Effekt der Erholungsdauer nach einem Intervalltraining argumentiert.

10 Personen nahmen an der Studie teil. Zwei Gruppen zu je 5 Personen mussten insgesamt 14 Einheiten eines Sprintintervalltrainings absolvieren.

Die 1. Gruppe trainierte 2 Wochen lang jeden Tag, die 2. Gruppe hatte nach jedem Training 2 Tage Erholung, so dass sich die Trainings über 6 Wochen hinzogen (Parra et al, 2000).

Die Ergebnisse nach den Trainings zeigten einen signifikanten Anstieg der enzymatischen Aktivitäten der Glykolyse, eine Verbesserung des aeroben Stoffwechsels, der Citratsynthase, mit 38 %, nach dem Training das über die 2 Wochen ging, und 28,4 % nach dem 6-wöchigen Training.

Die Kreatinkinase, mit 35 %, die Laktat-Dehydrogenase, mit 45 %, und die Pyruvatkinase, mit 35 %, stiegen nur in der Gruppe mit dem täglichen Training.

Die 1. Gruppe verzeichnete weiters nach dem Training einen niedrigeren Glykogenabbau sowie eine niedrigere anaerobe ATP-Ausschöpfung, was somit die Leistung nicht verbesserte (Parra et al, 2000).

Die 2. Gruppe, mit den 2 Tagen Pause zeigte eine Verbesserung der Leistung jedoch ohne signifikanten Anstieg der anaeroben ATP-Ausschöpfung (Parra et al, 2000).

Man kommt zum Schluss, dass intensives Intervalltraining die Leistung insgesamt verbessert, die aerobe und anaerobe Enzymaktivitäten verbessert, dies jedoch auch von der Erholung abhängig ist.

Die Leistung der 1. Gruppe nahm jedoch nicht zu, bei verbesserten Werten der Pyruvatkinase, Kreatinkinase und Laktat-Dehydrogenase, jedoch ist die fehlende Steigerung der Leistung auf die Muskelermüdung und Verletzungen der Muskelfasern zurückzuführen ist (Parra et al, 2000).

Yeo et al. (2008) machten eine Studie in der es darum ging die Anpassungen an den Skelettmuskel eines Trainings zu vergleichen, das entweder jeden Tag durchgeführt wurde, oder jeden 2. Tag zweimal.

Durchgeführt wurde das Ganze 3 Wochen lang.

Eine Gruppe von 7 ausdauertrainierten Radfahrern und Triathleten trainierten am 1. Tag 100 Minuten an der Laktatschwelle, und am nächsten Tag machten sie ein hochintensives Intervalltraining mit 8mal 5 Minuten mit selbst ausgesuchter Belastung.

Die 2. Gruppe trainierte jeden 2. Tag 2mal, und zwar zuerst die 100 Minuten an der Schwelle, und 1 - 2 Stunden später machten sie dasselbe Intervalltraining.

48 Stunden vor und nach dem letzten Training machten alle Teilnehmer der Studie noch eine 60 Minuten dauernde *steady-state* - *Fahrt* am Ergometer, und daran anschließend einen 60 Minuten dauernden Leistungstest.

Muskelbiopsien wurden vor und nach der 60-minütigen *steady-state - Fahrt* gemacht. Die Raten von Substratoxidation wurden währenddessen erhoben (Yeo et al, 2008).

Zum Ergebnis:

Rest-Muskelglykogenkonzentration, Raten von Gesamtkörperfettoxidation, maximale Aktivität der Citratsynthase, und Beta-Hydroxyacyl-CoA-Dehydrogenase stiegen nur in der Gruppe die jeden 2.Tag 2mal trainierte.

Der mitochondriale DNA Gehalt und Peroxisome-Proliferator-activated Receptor-Gamma blieben in beiden Gruppen nach dem Training unverändert.

Die Radfahrleistung verbesserte sich in beiden Gruppen um cirka 10 % (Yeo et al, 2008).

Als Resumee meinen Yeo et al. (2008) dass Training 2mal am Tag jeden 2.Tag gegenüber einem Training jeden Tag die hochintensive Trainingskapazität beeinträchtigt.

Die Leistung der 60-minütigen Zeitfahrt verbesserte sich bei beiden Gruppen gleich.

Weston et al. (1997) erforschten zum Vergleich die Pufferkapazität des Skelettmuskels, die Enzymaktivitäten, und die Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit bei guttrainierten Radfahrern nach einem hochintensiven Intervalltraining.

6 guttrainierte Radrennfahrer absolvierten 4 Wochen ein hochintensives submaximales Intervalltraining. Sie hatten eine durchschnittliche VO₂max von 66,2 ml/kg/min.

Das Training ersetzte einen Teil des gewöhnlichen Trainings und wurde 6 mal durchgeführt. Jedes Training beinhaltete 8 Intervalle mit einer Dauer von 5 Minuten und jeweils 1 Minute Erholung dazwischen. Die Intensität der durchgeführten Belastungen spielte sich bei 80 % der maximalen Krafftleistung ab (Weston et al, 1997).

Im Endeffekt stieg die Pufferkapazität nach dem Intervalltraining, die Zeit bis zur Ermüdung wurde länger und die Leistungen beim 40km - Leistungstest waren signifikant höher nach dem Intervalltraining.

Keine Veränderungen gab es in den Aktivitäten der Phosphofruktokinase und Citratsynthase.

Letztendlich korrelierte die Pufferkapazität mit der Zeitfahrleistung über 40km vor dem Intervalltraining. Die Beziehung zu der Veränderung der Pufferkapazität und der Veränderung der 40km Zeitfahrleistung war nahe der Signifikanz.

Die Autoren meinen, dass die Pufferkapazität ein wichtiger Faktor bei Belastungen < 60 Minuten ist und diese bereits nach 6 Intervalltrainingseinheiten positiv beeinflusst sein kann (Weston et al, 1997).

Kubukeli et al. (2002) erwähnen die bessere Leistung nach dem Intervalltraining durch die niedrigere Laktatakkumulation und Kohlehydratverbrennung bei denselben absoluten Arbeitsleistungen und schreiben aber gleichzeitig, dass dies nicht die Erklärung ist warum Probanden bei einem 40km - Zeitfahrtest höhere Intensitäten, nämlich 76 %, im Vergleich zu 72 % von W_{peak} , aushielten. Sie schreiben von beschleunigten Kohlehydratverbrennungsraten von 4,3 bis auf 5,1 g/min.

Muskelbiopsien im musculus vastus lateralis ergaben weiters, dass das Intervalltraining keinen Einfluss auf glykolytische oder mitochondriale Enzymaktivitäten hatte.

Während des Intervalltrainings blieben Hexokinase, Phosphofruktokinase, Citratsynthase und 3-hydroxyacyl CoA Dehydrogenase gleich (Kubukeli et al, 2002).

Kubukeli et al. (2002) schreiben von einer Studie in der Langstreckenläufer zusätzlich zu ihrem normalen Training 14 Wochen lang ein intensives Training mit einer Intensität am Beginn der Blutlaktatakkumulation machten, was eine verbesserte Laktatdehydrogenase in der Beinmuskulatur zur Folge hatte, jedoch keinen Anstieg in der Phosphofruktokinase - und Citratsynthaseaktivität.

Das Intervalltraining hatte in dieser Studie also keinen positiven Einfluss auf die Enzymaktivitäten jedoch verbesserte sich die Muskelpufferkapazität signifikant.

Auch Jacobs et al. (1987) machten eine Studie die den Einfluss eines Sprintintervalltrainings am Radergometer auf die Myoglobinkonzentration in der Muskulatur, und Veränderungen der Enzymaktivitäten nach supramaximalen Belastungen untersuchte.

Die 18 Athleten wurden in eine Versuchs - und Kontrollgruppe eingeteilt. Sie trainierten 3mal in der Woche über 6 Wochen.

Das Intervallprogramm bestand aus jeweils 2 15 - Sekunden und 2 30 - Sekunden dauernden *all - out - Sprints* in der 1.Woche und wurde bis hin zur 6.Woche auf jeweils 6 Sprints gesteigert. Zur Leistungsüberprüfung wurde vor und nach dem Training der Wingate Test gemacht (Jacobs et al, 1987).

Die Trainingsgruppe hatte nach den 6 Wochen einen signifikant höheren peak Laktatwert. Die Kontrollgruppe hatte keine Veränderungen in den Enzymaktivitäten, der Myoglobinkonzentration, und in der Muskelfaserdichte.

In der Trainingsgruppe erhöhte sich der Anteil der oxidativen schnellzuckenden Fasern, den *fast twitched Fasern*, die Myoglobinkonzentration sank, und sowohl Aktivitäten der Citratsynthase als auch Phosphofruktokinase stiegen an (Jacobs et al, 1987).

Man kommt hier zum Schluss, dass mit einem supramaximalen Sprinttraining am Ergometer die Myoglobinkonzentration nicht erhöht werden konnte, dieses Training jedoch andere zelluläre Anpassungserscheinungen hervorrufen konnte, ohne jedoch auch Verbesserungen in der Leistung zu erreichen (Jacobs et al, 1997).

McKenna et al. (1997) untersuchten den Energiestoffwechsel bei wiederholten, kurzen, und intensiven Belastungen.

Die beiden Stoffwechsel, aerob und anaerob, gemeinsam erfordern einen Anstieg im Gasaustausch innerhalb der Muskelzelle.

Die Autoren schreiben, dass bei einem 30 - Sekunden – Sprint 54 % der VO₂max erreicht wurden, so dass sie geschätzt haben, dass bei einer solchen Belastung 28 – 40 % des Energiebedarfs vom aeroben Stoffwechsel gedeckt wird.

Sie meinen weiters, dass die CO₂ - Produktion als Konsequenz auftritt wenn die Verbrennung von Fettsäuren und Glykogen ansteigt (McKenna et al, 1997).

Intensive Belastungen lassen auch die intramuskuläre HCO₃ und H⁺ infolge der Anstiege in der Laktatkonzentration und dem Verlust von intramuskulären Kohlenhydraten ansteigen

(McKenna et al, 1997).

Talanian et al. (2006) machten eine Studie um die Auswirkungen eines 2-wöchigen intensiven Intervalltrainings mit insgesamt 7 Einheiten auf verschiedene Parameter zu untersuchen.

Sie untersuchten die Auswirkungen auf die mitochondrialen Enzymaktivitäten, Fettsäure - Transportproteine, VO₂peak, sowie etliche Reaktionen auf das Stoffwechsel – Hormon – und Herzkreislauf-System.

8 Frauen im Alter von $22,1 \pm 0,2$ Jahren, einem Gewicht von $65,0 \pm 2,2$ kg und einer durchschnittlichen VO₂peak von $2,36 \pm 0,24$ l/min machten vor und nach dem Training neben dem VO₂peak – Test zusätzlich einen 60-minütigen Test am Ergometer bei 60 % VO₂peak.

Jede der 7 Trainingseinheiten bestand aus 10 mal 4 Minuten dauernden Intervallen bei 90 % der VO₂peak und jeweils 2 Minuten Pause (Talanian et al, 2006).

Zu den Ergebnissen:

Die VO₂peak wurde um durchschnittlich 13 % erhöht.

Plasma Epinephrine und die Herzfrequenz waren bei dem 60-Minuten-Test die letzten 30 Minuten niedriger.

Ganzkörperfettverbrennung stieg von $15,0 \pm 2,4$ auf $20,4 \pm 2,5$ g, um 36 %.

Restmuskelglykogen und Triacylglycerol waren unverändert, aber der Glykogenverbrauch war bei dem 60-Minuten - Test niedriger.

Weiters stiegen nach dem Training die Citratsynthase und die beta-Hydroxyacyl-CoA-Dehydrogenase signifikant an.

Insgesamt lässt sich aus der Studie ableiten, dass bereits 7 Einheiten eines intensiven Intervalltrainings das nur über 2 Wochen geht die Gesamtkörper – und Muskelkapazität für die Fettsäureoxidation verbessern können.

Weston et al. (1997) untersuchten auch den Einfluss eines intensiven Intervalltrainings auf die Enzymaktivitäten, Skelettmuskelpufferkapazitäten und natürlich die Leistungsfähigkeit.

Durchgeführt wurde ein intensives, submaximales Intervalltraining, das über 4 Wochen ging.

6 guttrainierte Leistungsradfahrer mit einer durchschnittlichen VO₂max von 66,2 ml/kg/min waren die Probanden.

Das Intervalltraining ersetzte einen Teil des üblichen Trainings und wurde in den 4 Wochen insgesamt 6mal durchgeführt. Es bestand aus 6 - 8 Wiederholungen von 5-minütigen Intervallen bei 80 % des *peak power outputs* und nur 1 Minute Pause dazwischen (Weston et al, 1997).

Zu den Ergebnissen:

Die Skelettmuskelpufferkapazität stieg von 206,6 auf 240,4 *mmol H⁺.g muscle dw⁻¹.pH⁻¹*.

Peak power output, Zeit bis zur Ermüdung bei 150 % des *peak power outputs*, und die 40km-Zeitfahrleistung verbesserten sich signifikant.

Keine Veränderungen wurden hingegen in den Aktivitäten der Phosphofruktokinase und Citratsynthase gefunden.

Weiters war die Beziehung zwischen den Veränderungen der Skelettmuskelpufferkapazität und der 40km-Zeitfahrleistung nahe der Signifikanz, jedoch korrelierte die veränderte Pufferkapazität nicht mit der veränderten Zeitleistung bei 150 % des *peak power outputs* (Weston et al, 1997).

Vermutlich ist die Skelettmuskelpufferkapazität nur ein wichtiger Faktor bei Leistungen die sich unter einer Dauer von 60 Minuten abspielen.

Alles in allem zeigt auch diese Studie, dass ein kurzes intensives Intervalltraining bestimmte Leistungsfaktoren, wie in diesem Fall die Pufferkapazität der beteiligten Skelettmuskeln positiv beeinflussen kann.

Laursen et al. (2002) schrieben in ihrem Artikel von einer Studie mit untrainierten Individuen, die ein Intervalltraining mit 5mal 4 Minuten bei 100 % der VO₂max, und jeweils 2 Minuten Pause durchführten und so die oxidative Kapazität, die Succinat-Dehydrogenase und Cytochrome-c- Oxidase, der Typ II – Fasern erhöht wurde (Laursen et al, 2002).

Die Anstiege der mitochondrialen Fettsäureoxidationsraten hatten nach einem HIT ein größeres Ausmaß als ein kontinuierliches, submaximales Dauertraining (Laursen et al, 2002).

Eine weitere Studie wurde gemacht um ein Dauertraining mit einer Intervallmethode zu vergleichen:

6 Athleten trainierten 30 Minuten mit 50 % der VO₂max, im Vergleich zu 6 Athleten, die über diese Dauer 30 Sekunden mit 100 % der VO₂max und 30 Sekunden Pause trainierten. Durchgeführt wurde das Training 3 Tage die Woche, über 8 Wochen.

Nach dem Training waren die VO₂max, die Arbeitsleistungen, und Ppeak, der Gruppe mit dem Intervalltraining um 9 – 16 % höher, im Vergleich zur Dauergruppe mit Verbesserungen von 5 - 7 %.

Anmerken muss man, dass die Trainingsintensität der Dauergruppe über die 8 Wochen immer angepasst wurde, so dass die Teilnehmer immer mit derselben Herzfrequenz führen. Die Autoren erklären dies so, da ja dieses submaximale Training mit der Dauerperiode die Herzfrequenz bei gleicher Arbeitsleistung senkt (Laursen et al, 2002).

In dieser Studie fällt auf, dass die Citratsynthaseaktivität bei der Dauermethodengruppe sich mehr verbessert hat als in der Intervallgruppe, was im Gegensatz zu anderen Studien interessant ist.

Dies ist womöglich darauf zurückzuführen wie auch Laursen et al. (2002) argumentieren, dass die Herzfrequenz der Dauergruppe immer angepasst wurde.

Laursen et al. (2002) schreiben in ihrem Artikel, von einer Studie, die ein Sprinttraining jeden Tag, über 2 Wochen untersucht hat.

5 Athleten trainierten auf einem Radergometer Intervalle von 8 – 12 mal 15 Sekunden mit maximalen Sprints und jeweils 45 Sekunden Pause.

Signifikante Anstiege wurden in den Muskelaktivitäten der Kreatinkinase, + 44 %, Phosphofruktokinase, + 106 %, Lactat-Dehydrogenase, + 45 %, 3-Hydroxyacyl-CoA-Dehydrogenase, + 60 %, und Citratsynthase, + 38 %, gemessen.

Auffällig in dieser Studie war, dass die Athleten nach einem Tag Pause, nach Trainingsende, keine bessere Leistung in dem 30 Sekunden dauernden *all out* - test erbrachten.

5 Tage später jedoch wurden signifikante Anstiege in der VO₂max, + 11,3 %, und in der Ppeak, + 10,0 %, bei einem Stufentest, im Vergleich zu den Werten vor dem Training, gemessen (Laursen et al, 2002).

MacDougall et al. (1998) untersuchten den Effekt eines supramaximalen, hochintensiven Intervalltrainings auf die Muskelenzymaktivitäten und die Leistung.

12 Athleten mit einer VO₂max von $3,73 \pm 0,13$ l/min trainierten 7 Wochen lang, 4mal/Woche. Die Belastung wurde von anfänglichen 4, auf letztlich 10 Wiederholungen von maximalen 30 Sekunden Radsprints, gesteigert. Auch die Pause wurde, von anfänglichen 4 Minuten auf 2,5 Minuten verkürzt.

Die Athleten verbesserten ihren anaeroben *peak power output* und ihre Gesamtarbeitsleistung über die 30 Sekunden, genauso wie ihre VO₂max signifikant (Mac Dougall et al, 1998).

Die maximalen Enzymkapazitäten von Citratsynthase, Hexokinase, Phosphofruktokinase, Succinat-Dehydrogenase und Malat-Dehydrogenase stiegen auch signifikant an.

MacDougall et al. (1998) schließen daraus, dass im Vergleich zu submaximalem Ausdauertraining, das keine, oder wenig Einfluss auf die glykolytischen Enzymaktivitäten hat, relativ kurzes, aber intensives Intervalltraining gleichzeitig glykolytische und oxidative Enzymaktivitäten, das maximale *peak power output*, und die VO₂max, bei untrainierten Athleten steigern kann.

Die Autoren argumentieren die gleichzeitigen Verbesserungen der aeroben und anaeroben Stoffwechsel mit der progressiv verminderten Pausendauer von 4 auf 2,5 Minuten (MacDougall et al, 1998).

Laursen et al. (2002) schreiben, dass der aerobe Stoffwechsel während der Erholungsphase zwischen den hochintensiven Belastungen wichtig ist für die Resynthese von Phosphokreatin und für die Oxidation von Milchsäure.

Demzufolge kann man annehmen, dass ein hochintensives Sprintintervalltraining, das einen signifikanten Anteil der Energiegewinnung durch aerobe Quellen beinhaltet, auch die Kapazität des aeroben Stoffwechsels verbessert (Laursen et al, 2002).

Das halte ich für eine der Kernaussagen dieser Arbeit. Hochintensive Sprintintervalltrainings verbessern also auch die aerobe Ausdauer. In diesem Fall, wie Laursen et al. (2002) in ihrem Artikel schreiben jedoch auch aufgrund der Erholungsphasen zwischen den Belastungen.

8.2 Glykolysetraining und Speichervergrößerung

Im Vergleich zur Dauermethode hat ein hochintensives Intervalltraining weniger Effekt auf den Mitochondriengehalt der Muskulatur, jedoch mehr Effekt auf die glykolytische Kapazität der Muskeln als ein Dauertraining.

Sprintintervalltraining erhöht also nicht immer die Muskelmitochondrienenzymaktivitäten sondern die Aktivität der glykolytischen Enzyme (Kubukeli, 2002).

Burgomaster et al. (2006) schreiben auch, dass ein Sprintintervalltraining eine Verbesserung der glykolytischen und auch oxidativen Kapazität zur Folge haben kann.

Dies wurde in dem *Kapitel 8.1* durch Studien bereits mehrfach argumentiert.

Billat (2001) untersuchten Folgendes:

Sie wollten zeigen, dass durch kurzes aerobes Intervalltraining der Glykogenabbau durch die Verwendung von Lipiden im Vergleich zu einer Dauermethode mit selber Geschwindigkeit verhindert wird.

Eine hochintensive Belastung die mit 102 % der VO₂max als kontinuierliche Belastung mit maximal 4 - 6 Minuten Belastungsdauer durchgeführt wird, hat nicht denselben Einfluss auf die Muskelfasern, als wenn sie als Intervallform mit jeweils 15 Sekunden Belastung, bei 112 % der VO₂max, und 15 Sekunden Pause, gestaltet wird.

Der Laktatwert der Intervallmethode mit den 15-Sekunden - Belastungen betrug 2mmol/l, im Vergleich zu 10mmol/l bei der kontinuierlichen Belastung.

Weiters war nach der Intervallmethode die Erschöpfung der Typ I und Typ II Fasern signifikant und ident, im Vergleich dazu war bei der Dauermethode der Glykogenabbau in den Typ II Fasern erkenntlicher als in den Typ I Fasern (Billat, 2001).

Vergleicht man Dauermethode und extensives Intervalltraining, so ist der Anteil der Lipolyse an der Energiebereitstellung bei der Dauermethode höher als bei den Intervallen, da bedingt durch die Kurzzeitbelastung bei den Intervallen der Faktor Zeit der Lipolyse nicht genügend Ressourcen zur Verfügung stellt um effektiv anzulaufen (Billat, 2001).

Auch Burgomaster et al. (2007) schreiben in ihrem Artikel, dass leichtes Sprintintervalltraining genauso schnelle Verbesserungen der aeroben Kapazität des Muskels haben kann wie eben Dauertraining.

Sie stellten die Hypothese auf, dass trotz des unterschiedlichen Umfangs und auch der unterschiedlichen Zeit, die die Trainings in Anspruch nehmen, die Anpassungen an den Fettstoffwechsel und die Marker der Kohlenhydrate (CHO) gleich sein würden.

Untrainierte Personen im Alter von 23 ± 1 Jahren fuhren vor und nach 6 Wochen eines Trainings am Radergometer 60 Minuten mit konstanter Belastung von 65 % der VO₂max um Anpassungserscheinungen zu vergleichen.

In jeder Gruppe waren sowohl 5 Männer, als auch 5 Frauen. Die Teilnehmer der Intervalltraining - Gruppe mussten 3 Tage in der Woche den Wingate - Test fahren, mit 6 Wiederholungen von jeweils 30 Sekunden mit maximaler Belastung, und 4 Minuten Pause dazwischen.

Anzumerken ist, dass bei den 30 - Sekunden - Sprints Durchschnittsbelastungen von 500 Watt erreicht worden sind.

Die 2. Gruppe, trainierte 40 - 60 Minuten mit 65 % der maximalen Belastung bei Durchschnittswerten von 150 Watt, insgesamt 5mal/Woche.

Schon die investierte Zeit, von 1,5 Stunden/Woche im Vergleich zu 4,5 Stunden/Woche, könnte man als großen Vorteil der Intervalltrainingsmethode sehen (Burgomaster et al, 2007).

Am Ende ergaben beide Studien gleiche Anstiege in der Fettoxidation, in den mitochondrialen Markern für Muskel – Skelett- CHO, und dem Eiweißgehalt von *perxisome proliferator-activated receptor gamma-Coaktivator-1alpha* (Burgomaster et al, 2007).

Im Endeffekt ergab die Studie auch, dass dieses intensive Intervalltraining eine zeitsparendere Methode ist um die aerobe Kapazität des Skelettmuskels zu steigern und zusätzlich auch zu vergleichbaren metabolischen Anpassungen führt (Burgomaster et al, 2007).

Diese Studie liefert also ein eindeutiges Ergebnis:

Die Intervallmethode ist zeitsparender, ermöglicht die gleiche Leistung bei niedrigerem Umfang, bietet mehr Zeit zur Regeneration, hat zusätzlich eine geringere Gelenkbelastung durch geringeren Umfang zur Folge und bringt dauerhaft mehr Leistung.

Mehrere Studien haben angezeigt, dass das sogenannte HIT die Fettverbrennung im Vergleich zur Dauerperiode eher steigert.

Laursen et al. (2002) schreiben in ihrem Artikel von einer Studie, die 60 Minuten kontinuierliche Belastung bei 50 % VO₂max mit einem 60-minütigen Intervalltraining, bestehend aus 15 Sekunden Belastung bei *P_{peak}* und 15 Sekunden Pause.

Die Ergebnisse zeigten, dass während der Intervallmethode mehr Fette als Glykogen verbraucht wurden, im Vergleich zur Dauerperiode.

Anzumerken ist aber auch, dass es sich bei der Studie um untrainierte Athleten handelte.

8.3 Kapillarisation der Arbeitsmuskulatur

Die Kapillarisation wird durch den erhöhten kapillarischen Blutdruck und die erhöhte Blutflussgeschwindigkeit angeregt. Mit der steigenden Intensität, etwa beim Laufen wird die Blutflussgeschwindigkeit durch die aktive Muskulatur höher (Midgley et al, 2006).

Auch eine Studie von Daussin et al. (2008) untersuchte den Unterschied von Intervall – und Dauerperiode.

6 Männer und 5 Frauen, im Alter von 45 ± 3 Jahren nahmen an der Studie teil.

Die Gruppe, die die Dauerperiode trainierten, fuhr am Beginn der 8 Wochen, 3mal die Woche 20 Minuten, was sich alle 2 Wochen um 5 Minuten steigerte.

Die Gruppe mit dem Intervalltraining fuhr 5–Minuten - Blocks, mit 4 Minuten an der aeroben Schwelle (P_{VT1}), gefolgt von 1 Minute bei 90 % der Maximalleistung. Die Intensität der Dauerperiode wurde aufgrund der Intervallmethode mit folgender Formel berechnet:

$$P_{CT} = [(4 \times P_{VT1} + 90\% \text{ of } P_{max})/5]$$

Während der Dauerperiode war die durchschnittliche Leistung bei 109 ± 3 Watt und bei 61 % der Maximalleistung.

Bei der Intervallmethode waren die 4 Minuten Erholung bei 96 ± 2 Watt sowie die 1 Minute bei 90% der Maximalleistung bei 156 ± 5 Watt (Daussin et al, 2008).

Die Intervallmethode steigerte letztendlich die VO₂max um 15 % im Vergleich zur Dauerperiode, die diese um 9 % verbesserte.

Die Muskelkapillarendichte erhöhte sich nach beiden Formen, wobei ein etwas besserer Wert nach dem Dauertraining zu finden war, $40 \pm 3 \%$, im Vergleich zum Intervalltraining, $21 \pm 1 \%$. Die Sauerstoffkapazität der Mitochondrien im Skelettmuskel war nur nach der Intervallmethode erhöht, von $3.3 \pm 0,4 \%$ von vor auf $4,5 \pm 0,6 \%$ nach dem Training (Daussin et al, 2008).

Durch diese Studie kommt man zum Schluss, dass intensives Intervalltraining eine größere Störung der Homöostase bedeutet als eine Dauerform und so stärkere Anpassungserscheinungen zur Folge hat.

Midgley et al. (2006) schreiben, dass eine verbesserte Kapillarisation mit einer größeren $VO_2\max$ einhergeht.

Weiters sind ein gesteigertes Schlagvolumen, eine erhöhte Myoglobinkonzentration, und eine erhöhte oxidative Kapazität der Typ II Muskelfasern Anpassungen die mit einer Verbesserung der $VO_2\max$ einhergehen (Midgley et al, 2006).

Daussin et al. (2008) hingegen sprechen von den Schwankungen in der Arbeitsleistung und der Sauerstoffaufnahme, die zu der verbesserten Sauerstoffkapazität im Muskel führt.

Kubukeli et al. (2002) schreibt von einer Studie, in der 16 Männer, im Alter von 21 ± 1 Jahren, wie schon in anderen Studien zuvor, 6 Trainingseinheiten innerhalb von 14 Tagen machten.

Zuvor wurde ein 750 kJ Zeitfahrleistungstest durchgeführt um die Leistung danach mit dem Wert mit dem von vor den 2 Wochen zu vergleichen, da angenommen wurde, dass bei diesem Test der aerobe Stoffwechsel beträchtlich beteiligt ist.

Zusätzlich wurde ein 50 kJ Test durchgeführt um die Pufferkapazität der Muskeln aufgrund der anaeroben Beanspruchung zu untersuchen.

Als Intervallmethode für die 1. Gruppe war der Wingate-Test angesagt, denn die Teilnehmer mussten 4-6mal, mit jeweils 4 Minuten Pause, 30 Sekunden lang gegen einen maximalen Widerstand antreten. Die 2. Gruppe musste 90 - 120 Minuten bei 65 % der $VO_2\max$ fahren. Die ersten zwei Einheiten 90 Minuten, die 3. und 4. Einheit 105 Minuten, und die letzten zwei Einheiten 120 Minuten lang.

Investiert hat die 1. Gruppe in Summe 2,5 Stunden, im Vergleich dazu 10,5 Stunden die 2. Gruppe. Zusätzlich stehen 620kJ geleisteten 6500kJ gegenüber (Kubukeli et al, 2002).

Muskelbiopsien die vor und nach dem Training durchgeführt wurden zeigten in beiden

Gruppen gleiche Anstiege der aeroben Kapazität im Muskel (Kubukeli et al, 2002).

Trainingsinduzierte Anstiege wurden ebenso im Glykogengehalt, 28 %, und 17 %, und der Pufferkapazität, von 7,6 %, und 4,2 %, der Muskeln erkannt.

Die Intervalltrainingsgruppe verbesserte ihre Leistung bei dem 750 kJ Test um 10,1 %, während sich die 2. Gruppe um 7,5 % verbesserte, was also keinen signifikanten Unterschied ergab.

Die Durchschnittsleistung steigerte sich von 212 ± 17 auf 234 ± 16 Watt in der 1. Gruppe und von 199 ± 13 auf 212 ± 12 Watt in der 2. Gruppe.

Beim 50kJ Test sank die Zeit um 4,1% in der 1., und 3,5 % in der 2. Gruppe (Kubukeli et al, 2002).

Auch diese Studie zeigt, dass durch einen Bruchteil der Trainingszeit der Dauergruppe trotzdem dieselben Adaptionen durch ein Intervalltraining erreicht werden können.

Interessant ist jedoch wie die Ergebnisse aussehen könnten würde man diese Trainingsformen über mehrere Wochen oder gar Monate vergleichen.

Eine Studie der Universität von Kopenhagen verglich die Effekte eines normalen Ausdauertrainings und einer Tempomethode auf die Sauerstoffkapazität im Muskel, der Kapillarisation, und die Energieaufwendung während submaximaler Belastung und dem Verhältnis zu Mitochondrial Uncoupling Protein 3 (Iala et al, 2008).

17 ausdauertrainierte Läufer wurden in eine Versuchs (n = 9) – und eine Kontrollgruppe (n = 8) eingeteilt.

Für 4 Wochen ersetzte ein Tempotraining das übliche Ausdauertraining von 45 Kilometer in der Woche das Training der Versuchsgruppe, das aus 8 - 12mal 30-Sekunden - Sprints mit jeweils 3 Minuten Pause bestand. Zusätzlich wurden $9,9 \pm 0,03$ km in der Woche mit langsamem Tempo gelaufen.

Die Kontrollgruppe behielt das herkömmliche Training bei.

Nach den 4 Wochen war die Sauerstoffaufnahme im Durchschnitt bei 11, 13, 14,5, und 16km/h durchschnittlich um 6,6 %, 7,6 %, 5 % und 6,4 % niedriger.

Im Blutlaktat wurde bei den submaximalen Läufen keine Veränderungen entdeckt.

Die Aktivität der Citratsynthase und 3-hydroxyacyl-CoA-Dehydrogenase, wie auch die maximale Sauerstoffaufnahme und die 10km - Bestzeit blieben unverändert in beiden Gruppen.

Auch die Kapillarisation der Muskelfasern blieb in der Gruppe die das Intervalltraining

am Plan hatte, unverändert.

Im Endeffekt kann Tempotraining die aerobe Kapazität, die Kapillarisation und die Ausdauerleistung bei bereits trainierten Athleten, trotz signifikanter Reduktion des Trainings, aufrechterhalten

(Iala et al, 2008).

8.4 Entwicklung des Sportherzens

Die VO₂max ist ein Produkt aus dem maximalen Herzzeitvolumen und der maximalen arteriovenösen Sauerstoffdifferenz. Es scheint also so zu sein, dass wenn man durch spezielles Training die funktionale Kapazität der beiden Parameter erhöht auch die VO₂max verbessert wird.

Midgley et al. (2006) schreiben von anderen Empfehlungen, wie etwa bei 75 % der VO₂max zu trainieren den optimalsten Effekt auf die maximale Sauerstoffaufnahme hätte, denn diese Intensität hätte die größten Anpassungen an den Herzmuskel durch diese Beanspruchung zur Folge.

Die Autoren schrieben im selben Atemzug weiter, dass es andere Meinungen gibt, die behaupten, dass ein Training bei 95 – 100 % der VO₂max den größten Effekt hat um diese zu erhöhen (Midgley et al, 2006).

Hier muss man jedoch hinzufügen, dass Parameter wie die Dauer und die Intervallform mit der jeweiligen Intensität natürlich entscheidend sind für den Effekt des Trainings auf die maximale Sauerstoffaufnahme. Denn Intervalle mit 1 Minute Dauer und einer Intensität von 100 % VO₂max werden vielleicht nicht denselben Effekt haben wie Intervalle die 3 Minuten dauern und bei 80 % durchgeführt werden.

Studien hierzu siehe *Kapitel 8.7*

Zusätzlich sind die anfängliche VO₂max und die Häufigkeit des Trainingsprogramms entscheidend (Midgley et al, 2006).

Ein weiterer Punkt ist, dass die VO₂max durch das maximale Herzzeitvolumen begrenzt ist. Dieses ist wiederum abhängig vom maximalen Schlagvolumen, weil die maximale Herzfrequenz dieses entweder senkt oder erhöht (Midgley et al, 2006).

Neuroendokrine Faktoren wie Thyroxin, Testosteron, Angiotensin II und die Katecholamine stimulieren das Herzmuskelwachstum.

Intensitäten an der Schwelle sind der Auslöser für diese Hormone und werden diese einmal übertroffen, steigt deren Rate kurvenförmig mit der steigenden Intensität an.

Jedoch ist die Hormonfreisetzung in Zusammenhang mit der Dauer und der Intensität der Belastung und dem Effekt auf die Herzmuskelhypertrophie noch nicht zur Gänze erforscht (Midgley et al, 2006).

8.5 Verbesserung der Laktattoleranz

Intensität und Dauer bestimmen die Laktatproduktion und Laktatakkumulation. Auswirkungen eines aeroben Intervalltrainings sind ein verbesserter aerober Stoffwechsel und eine niedrigere Laktatproduktion. Wenn jedoch die Intensität die VO₂max erreicht oder übertrifft, spielt die anaerobe Kapazität eine große Rolle um die Leistung aufrechtzuerhalten (Burke et al, 1994).

Kubukeli et al. (2002) schreiben in ihrem Artikel in dem sie über die mögliche Umwandlung der Muskelfasertypen durch ein Sprinttraining sprechen, dass ein hochintensives Sprinttraining die Pufferkapazität nicht unbedingt verbessert.

Die Frage die es zu beantworten gilt, ist mit welcher Dauer und mit welcher Intensität ein Intervalltraining die größte Leistungssteigerung zur Folge hat.

Kubukeli et al. (2002) schreiben, dass die Ermüdung von guttrainierten Ausdauerathleten von der Laktatakkumulation abhängig ist, diese Laktatproduktion im Plasma bis zu einer Belastungsintensität von 80 – 85 % der VO₂peak jedoch wenig ansteigt.

Burgomaster et al. (2006) schreiben davon, dass ein hochintensives Intervalltraining die Laktatabtransportkapazität verbessert.

Billat (2001) erwähnt eine Studie mit einem Intervalltraining mit 30 Sekunden Belastung an der Geschwindigkeit der VO₂max, und 30 Sekunden aktiver Entlastung bei 50 % der VO₂max, bei der die Läufer von der 5. bis zur 18. Erholungsphase bei dem Wert der maximalen Sauerstoffaufnahme waren.

Diese Art des Intervalltrainings erlaubt den Läufern 10 Minuten mit der maximalen Sauerstoffaufnahme zu laufen. Der durchschnittliche Blutlaktatwert war $7,4 \pm 1,8$ mmol/l. Der durchschnittliche Wert bei 4 mmol/l war zwischen der 4. und 6. Minute der Belastung. Daraus wurde geschlussfolgert, dass die Läufer 1 Minute lang mit 4 mmol/l an der VO₂max waren, was jedoch anderen Studien widersprochen hat, die nur einen höheren Laktatwert mit dem VO₂max-Wert assoziierten (Billat, 2001).

Dass dieser Effekt aufgetreten ist, ist vermutlich auf die aktive Pause und die extrem

kurzen Belastungs - und Pausenzeiten zurückzuführen.

Intervalltraining, das den Laktatwert erhöht, verbessert auch die Laktatbeseitigung. Dabei wurde auch angesprochen ob nun die Pause aktiv oder passiv gestaltet werden soll um das Laktat abzubauen (Billat, 2001).

Billat (2001) schreibt in ihrem Artikel über eine bessere Wirkung des Laktatabbaus bei aktiver Pause mit allerdings schwacher Intensität.

Eine weitere Studie wurde diskutiert, wo nach einem Intervalltraining, dass 30 Minuten dauerte der Laktatwert erhoben wurde.

Die Teilnehmer fuhren am Radergometer 30 Sekunden lang mit 400 Watt, was in etwa der VO₂max entsprechen hat, mit anschließenden 60 Sekunden Pause. Bei einer Erhöhung der Belastung und der Pausenzeit um das Doppelte, auf 60 Sekunden Belastung, und 120 Sekunden Pause, wurde der Laktatwert am Ende auf 18mmol/l verdreifacht (Billat, 2001).

Carter et al. (2000) untersuchten in einer Studie den Effekt eines Trainings auf dem Laufband unter und oberhalb der anaeroben Schwelle.

23 Athleten mit einer durchschnittlichen VO₂max von 55ml/kg/min liefen über 6 Wochen 3 - 5mal in der Woche ein Programm am Laufband, das in etwa 30 Minuten in Anspruch nahm.

Die durchschnittliche Intensität der beiden Trainingsformen war gleich, auch wenn das Intervalltraining oberhalb der anaeroben Schwelle lag um eine Laktatakkumulation zu aktivieren.

Was die Intensitäten betraf, trainierten die Athleten der kontinuierlichen Methode, der 1.Gruppe, mit ± 5 Schlägen/Minute der vor dem Training gemessenen Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle, die 2.Gruppe trainierte 10 Herzschläge/Minute darüber.

Das Training der Intervallgruppe bestand aus einem 10-minütigem Aufwärmen und anschließenden 10mal 2 Minuten dauernden Intervallen mit jeweils 2 Minuten Pause dazwischen.

Die durchschnittliche Intensität der 1.Gruppe lag bei 72.6 ± 6.0 % der VO₂max und 76.9 ± 4.3 % VO₂max bei der 2.Gruppe.

Nach den 6 Wochen wurden signifikante Verbesserungen um durchschnittlich 3 % der VO₂max und 4 % der Sauerstoffaufnahme an der anaeroben Schwelle festgestellt.

8.6 Auswirkung auf die Muskelfaserzusammensetzung

Eine Frage die in dem Artikel von Kubukeli et al. (2002) angesprochen wird, ist, welche Wirkung Sprinttraining auf die Muskelfasertypen hat.

Dauertraining hat wenig Effekt auf die Zusammensetzung der Fasern von Typ I, IIa und IIb und auch wenig Auswirkung auf eine mögliche Umwandlung, trotzdem gibt es Diskussionen über eine mögliche Umformung der Muskelfasern nach einem Sprinttraining.

Es wurden in einigen Fällen eine Umwandlung von Typ I zu Typ IIa Fasern erkannt, in einigen Fällen eine Transformation von Typ IIb zu Typ IIa oder einen Anstieg in IIa - *myosin heavy chain isoform expression* innerhalb der Typ IIb Fasern.

Die Veränderungen der Zusammensetzung von Muskelfasern nach einem Sprinttraining sind aber eher mechanisch als strukturell und haben in Untersuchungen gerade einmal 6 - 10 % ergeben (Kubukeli et al, 2002).

Es wurde herausgefunden, dass Sprintleistungen mit dem Prozentanteil der Typ II Fasern in Beziehung stehen und dieser wieder mit der Pufferkapazität korreliert. In weiterer Folge schreiben Kubukeli et al. (2002) dass es auch Studien gibt, die zeigen, dass Sprinttraining die Pufferkapazität bei Untrainierten nicht erhöht, und trotzdem die Leistung steigerte.

8.7 Verbesserung der Leistungsfähigkeit und der VO₂max

Gibala et al. (2008) schreibt vom Intervalltraining als sehr zeitsparende Trainingsmethode, die aber auch zahlreiche metabolische Anpassungen hervorruft die mit einer Dauerperiode in Verbindung gebracht werden.

6 Einheiten von einem intensiven Kurzzeitintervalltraining, über 2 Wochen durchgeführt, mit einer Dauer von insgesamt nur 15 Minuten pro Training, und erreichten 600kJ, erhöht die Sauerstoffkapazität des Skelettmuskels und die Ausdauerleistung, und kann zusätzlich die Energiebereitstellung auch im aeroben Training beeinflussen (Gibala et al, 2008).

Gibala et al. (2008) schreibt weiter in seinem Artikel, dass wenn bereits 15 % des wöchentlichen Umfangs aus Intervalltraining besteht, nach bereits 3 Wochen eine Leistungssteigerung von 5 % erreicht werden kann.

Auch bestätigt er weiters, dass Verbesserungen im aeroben Stoffwechsel auch durch geringere Umfänge mit Intervallformen verbessert werden können und sogar schneller passieren (Gibala et al, 2008).

Westgarth-Taylor et al. (1997) untersuchten ebenso die Auswirkungen eines Sprintintervalltrainings auf die Leistungsfähigkeit von 8 männlichen Radfahrern.

Bei dem Training, das über 6 Wochen ging, wurden 15 % der 300 gefahrenen Kilometer in der Woche durch ein hochintensives Intervalltraining, mit insgesamt 12 Einheiten bestehend aus 6 – 9 Wiederholungen von 5-Minuten – Belastungen bei 80 % der W_{peak} , ersetzt.

Das Training erhöhte die W_{peak} von durchschnittlich 404 auf 424 Watt.

Weiters senkte das Training die Kohlehydratverbrennung und die Plasmalaktatkonzentration gemessen bei 60, 70, und 80 % der Arbeitsleistung von vor den 6 Wochen (Westgarth-Taylor et al, 1997).

Kubukeli et al. (2002) schreiben von einer Studie die zwei Belastungsintensitäten vergleicht. Eine Gruppe fuhr am Radergometer 30 Minuten mit 50 % der VO_{2max} , während die andere Gruppe 30 mal 30 Sekunden dauernde Intervalle mit 100 % VO_{2max} innerhalb von 30 Minuten fuhr.

Die Autoren schreiben, dass die Intervallmethode einen viel höheren Trainingsreiz darstellte.

Anzumerken ist die Tatsache, dass ausdauertrainierte Athleten stundenlang mit 50 % der VO_{2max} fahren könnten, jedoch nur einige Minuten mit 100 % der VO_{2max} (Kubukeli et al, 2002).

Eine Studie hat die drei Formen, die Dauermethode, die Intervallmethode mit kurzen Belastungszeiten, als auch mit langen Belastungszeiten, verglichen, da Billat (2001) in ihrem Artikel von Studien schreibt, die behaupten, dass Kurzzeitintervalle die VO_{2max} weniger effektiv verbessern als eine Dauermethode.

Getestet wurden Freizeitläufer mit einer VO_{2max} von $54,8 \pm 3,0$ ml/kg/min. Die Kurzzeitintervallmethode bestand aus 30 - 40 Wiederholungen mit jeweils 15 Sekunden Belastung und 15 Sekunden Pause und einer VO_{2max} -Geschwindigkeit von 130 %. Die 2. Intervallmethode war charakterisiert durch 4mal 6 4-Minuten dauernden Belastungen mit 2 Minuten Pause und einer VO_{2max} -Geschwindigkeit von 115 %.

Die Dauermethode fand bei 90 % der VO_{2max} -Geschwindigkeit 20 - 30 Minuten statt. Durchgeführt wurde das Ganze 3 Tage die Woche, 6 Wochen lang.

Das Ergebnis zeigte, dass die Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme durch das Langzeitintervalltraining und die Dauerperiode signifikant höher war, nämlich um 6 %, im Vergleich zum Kurzzeitintervalltraining, das um 3,6 % bessere Werte brachte.

Die Begründung der guten Wirkung der Dauerperiode lag an der Intensität von 90 % der maximalen VO₂-Geschwindigkeit, bei der sie 92,5 % der VO₂max erreichten.

Der Prozentanteil der Typ I Fasern des musculus vastus lateralis, die Schrittfrequenz, als auch die Schrittlänge blieben bei allen drei Gruppen unverändert (Billat, 2001).

Zwei Intervalltrainings mit geringem Intensitätsunterschied wurden von Denadai et al. (2006) untersucht.

Die Intensitäten lagen bei 95 % und bei 100 % der VO₂max-Geschwindigkeit und sollten unterschiedliche Effekte auf die 1500m als auch auf die 5000m Leistung haben.

Vor den Trainings wurde die VO₂max bestimmt, die Geschwindigkeit an der VO₂max als auch die Geschwindigkeit bei 3,5mmol/l Laktat.

Nachdem die 17 guttrainierten Läufer auch 1500m und 5000m Zeittests auf einer 400m Bahn absolvierten, wurden sie in die 2 Gruppen geteilt.

Das Training ging über 4 Wochen und beinhaltete jeweils 6 Einheiten pro Woche, und jeweils 2 hochintensive Intervalleinheiten an je nach Gruppe 95 % oder 100 % der VO₂max-Geschwindigkeit, und jeweils zusätzlich 4 submaximale Einheiten (Denadai et al, 2006).

Die Ergebnisse nach den 4 Wochen zeigten folgendes:

Die VO₂max Werte der beiden Gruppen waren nicht anders nach dem Training. Es gab aber einen signifikanten Anstieg der Geschwindigkeit an der VO₂max und eine verbesserte Laufleistung über 1500m bei der Gruppe des 100 % vVO₂max-Trainings.

Die Leistung über 5000m und die Geschwindigkeit bei der 3,5mmol/l Laktatkonzentration waren bei beiden Gruppen höher.

Die Autoren argumentieren abschließend, dass die Geschwindigkeit an der 3,5mmol/l Laktatkonzentration sowie die 5000m Leistung durch ein 4-wöchiges Training mit beiden Intensitäten, und den 4 submaximalen Läufen, verbessert werden kann, die Geschwindigkeit an der VO₂max, und die 1500m-Leistung jedoch von einem Training mit 100% der VO₂max-Geschwindigkeit abhängig sind (Denadai et al, 2006).

Esfarjani et al. (2007) verglichen die Effekte von zwei verschiedenen Intervalltrainings auf die maximale Sauerstoffaufnahme, die Laktatschwelle, sowie die 3000m-Laufleistung.

Von 17 normaltrainierten Läufern wurde vor sowie 10 Wochen nach den drei verschiedenen Trainings die VO₂max gemessen, die Geschwindigkeit an der VO₂max, weiters wie lange dieses Tempo gelaufen werden konnte, T(max), weiters die Geschwindigkeit an der Schwelle, v(LT), sowie die 3000m-Zeit.

Die 17 männlichen Läufer hatten eine durchschnittliche VO₂max von 51,6 ± 2,7 ml/kg/min (Esfarjani et al, 2007).

Die 1. Gruppe, G(1), bestehend aus 6 Läufern, musste folgendes Training absolvieren:

8mal 60 % der Zeit, die mit der Geschwindigkeit der VO₂max gelaufen werden konnte, T(max), mit selbiger Pausen – wie Belastungsdauer.

Die 2. Gruppe, G(2), bestehend aus 6 Läufern, lief 12 mal 30 Sekunden mit 130 % der Geschwindigkeit der VO₂max, vVO₂max, und jeweils 4,5 Minuten Pause.

Die 3. Gruppe, als Kontrollgruppe, lief 4mal die Woche 60 Minuten mit 75 % der vVO₂max.

G(1) und G(2) liefen pro Woche 2mal 60 Minuten mit 75 % vVO₂max zusätzlich zu 2mal dem vorgegebenen Intervalltraining (Esfarjani et al, 2007).

Die Ergebnisse zeigten Folgendes: Signifikante Verbesserungen der 1. Gruppe, G(1), in der maximalen Sauerstoffaufnahme, nämlich + 9,1 %, + 6,4 % der vVO₂max, + 11,7 % der Zeit die mit vVO₂max gelaufen werden konnte, und eine schnellere 3000m-Zeit um 7,3 % (Esfarjani et al, 2007).

Auch in der G(2) gab es folgende Verbesserungen nach dem Training: VO₂max: + 6,2 %, vVO₂max: + 7,8 %, T(max): + 32 %, 3000m-Zeit: - 3,4 %, aber keine signifikante Verbesserung, + 4,7 %, (p=0,07), bei der v(LT) (Esfarjani et al, 2007).

In der Kontrollgruppe wurden keine signifikanten Veränderungen gefunden.

Als Abschluss schreiben Esfarjani et al. (2007) dass hochintensive Intervalle diese Parameter verbessern können, jedoch empfehlen sie Intervalle mit einer Intensität von vVO₂max und einer Dauer von 60 % bei T(max).

Kubukeli et al. (2002) schreiben in ihrem Artikel von einer Studie die mit 7 Läufern gemacht worden ist, die über 8 Wochen ein Intervalltraining mit einer Intensität von 90 - 95 % maximaler Intensität durchführten.

Sie verbesserten nach den 8 Wochen die 10km-Laufleistung um 3 %, und die durchschnittlichen Wettkampfzeiten verbesserten sie von 35:27 Minuten auf 34:24 Minuten. Interessant ist, dass sie trotz dieser Leistungssteigerung keine Verbesserungen in der VO₂max erreichten.

Eine weitere Studie wurde mit Radrennfahrern gemacht. Sie fuhren in der Woche durchschnittlich 300 Kilometer, hatten eine durchschnittliche VO₂max von 65ml/kg/min und durchschnittlich 400 Watt *peak power output, peak work rate, W(peak)*.

Als Leistungsüberprüfung wurde eine 40km-Zeitfahrtest sowie ein 1-minütiger Test mit 150 % von W(peak) durchgeführt.

In den 6 Wochen ersetzten die Athleten 15 % ihres Trainings durch 6-12 Einheiten eines hochintensiven Intervalltrainings.

Ein Intervalltraining, das entweder einmal oder zweimal die Woche durchgeführt wurde bestand aus 6-9 5-minütigen Fahrten bei ca. 85 % VO₂max und mit jeweils 1 Minute Pause.

Die Leistung beim 1-minütigen Test von 150 % der W(peak) verbesserte sich nach zwei Wochen um 12 %, und nach 4 Wochen um bereits 22 %.

W(peak) selbst stieg um ca. 1,6 - 4,3 % (Kubukeli et al, 2002).

Kubukeli et al. (2002) berichten von einer Nachfolgestudie, die zeigte, dass 4, 8 und 12 Intervalltrainings in 2, 4, und 6 Wochen die W(peak) um 3,7, 4,2 und 4,9 % erhöhte.

Die Autoren merken an, dass die Verbesserungen bis 6 Intervalltrainings sichtbar waren, sich W(peak) nach mehr als 6 Intervalltrainings aber nicht mehr verbesserte.

In dem Artikel von Hamilton et al. (2006) wurde der Gewinn eines hochintensiven Intervalltrainings auf die Sprint – und Ausdauerleistung bei Radrennfahrern untersucht. Zusätzlich zu dem üblichen Training in ihrer Wettkampfphase wurde ein Intervalltraining eingebaut.

Nun wurde in einer Studie der Einfluss eines hochintensiven Intervalltrainings bei 20 Langstreckenläufern 5 - 7 Wochen lang ausgetestet. Geteilt wurden die Läufer in eine Versuchs- und eine Kontrollgruppe. Die Versuchsgruppe ersetzte einen Teil des Trainings der Wettkampfphase durch 10 mal 30 Minuten dauernde Trainings, die 3mal 20 Einbeinsprünge pro Seite und 3 Serien von 5mal 30-Sekunden - Sprints auf dem Laufband mit jeweils 30 Sekunden Erholung dazwischen, beinhalteten.

Vor und nach der Periode wurde am Laufband ein Stufentest durchgeführt um die Laktatschwelle und die maximale Geschwindigkeit zu testen, sowie Tests am Laufband um die 800m und die 1500m Leistung vorherzusagen, sowie Tests im Freien für eine Vorhersage für die 5000m-Zeit (Hamilton et al, 2006).

Im Vergleich zur Kontrollgruppe waren die durchschnittlichen Verbesserungen folgende:

Eine erhöhte maximale Laufgeschwindigkeit von $1,8 \pm 1,1$ %, eine um $3,5 \pm 3,4$ % erhöhte

Geschwindigkeit an der Laktatschwelle, eine Vorhersage für eine um $3,6 \pm 1,8$ % höheres 800m-Tempo, eine Vorhersage für ein um $3,7 \pm 3,8$ % höheres 1500m-Tempo, und eine Vorhersage für ein um $1,2 \pm 1,1$ % höheres 5km-Tempo.

Alles in allem sprechen die Ergebnisse für ein hochintensives Intervalltraining in der Wettkampfphase (Hamilton et al, 2006).

Helgerud et al. (2007) wollten in ihrer Studie den Einfluss von verschiedenen Trainingsintensitäten auf die VO₂max untersuchen.

Weiters wurden die Auswirkungen auf das Blutvolumen, das Schlagvolumen des Herzens, der Einfluss auf die Laktatschwelle, sowie auf die Laufökonomie beobachtet.

40 junge, durchschnittlich-trainierte Männer wurden in 4 verschiedene Gruppen eingeteilt und trainierten 8 Wochen lang 3mal die Woche:

Die 1.Gruppe lief lange und langsam, bei 70 % der maximalen Herzfrequenz(max.HF).

Die 2.Gruppe lief an der Schwelle, bei 85 % der max.HF, die 3.Gruppe machte ein Intervalltraining von jeweils 15 Sekunden Belastung bei 90 - 95 % der max.HF, mit jeweils 15 Sekunden aktiver Pause bei 70 % max.HF, die letzte Gruppe lief 4mal 4 Minuten Intervalle mit 90 % und anschließenden 3 Minuten aktiver Pause bei 70 % (Helgerud et al, 2007).

Die VO₂max der Intervalltrainingsgruppen stieg im Vergleich zu den Gruppen die an der Laktatschwelle und mit nur 70 % der Hfmax trainierten signifikant an ($P < 0,01$).

Während die 1.Gruppe mit den 15-Sekunden Belastungen einen Anstieg von 5,5 % zu verzeichnen hatte, war dieser bei der Gruppe mit den 4 Minuten um 7,2 %.

Das Schlagvolumen stieg nach dem Intervalltraining um 10 % signifikant an ($P < 0,05$).

Das Ergebnis der Studie sagt aus, dass um die VO₂max zu erhöhen ein intensiveres Intervalltraining besser geeignet ist als ein Training mit nur 70% oder gar an der Schwelle (Helgerud et al, 2007).

Eine Studie von Laursen et al. (2002) untersuchte drei hochintensive Intervalltrainings mit deren Auswirkungen auf die VT₁, die VT₂, die anaerobe Kapazität und das Plasmavolumen bei guttrainierten Radrennfahrern.

Die Teilnehmer, insgesamt 38, hatten eine durchschnittliche VO₂max von $64 \pm 5,2$ ml/kg/min. Gemessen wurde diese, sowie die anderen Parameter wie VT₁, VT₂, die Leistung an der VO₂max, ein 40km-Zeitfahrtest, sowie ein Zeittest an der maximalen Leistung T(max), vor und nach 2 und 4 Wochen des Trainings, für welches sie in 4 Gruppen mit folgender Trainingsrichtlinie eingeteilt wurden:

Gruppe 1, (G1), musste 8mal 60 % der T(max) in ihrem Training fahren, mit jeweils einer Pausendauer von 2mal der Belastungsdauer, Gruppe 2, (G2), 8mal 60 % der T(max) mit einer Pausendauer bei 65 % der maximalen Herzfrequenz, Gruppe 3, G(3), musste 12 mal 30 Sekunden bei 175 % der gemessenen Höchstleistung treten mit anschließenden 4,5 Minuten Erholung, und Gruppe 4, G(4), fungierte als Kontrollgruppe (Laursen et al, 2002).

Die anaerobe Kapazität, VT1, VT2 und die maximale Leistung stiegen in den Gruppen 1, 2, und 3 signifikant an.

Das Plasmavolumen blieb unverändert.

Die Leistung bei dem 40km-Zeitfahrtest verbesserte sich in ähnlicher Relation wie die anderen Parameter.

Alles in allem konnte man die Veränderung in der Leistung zu den unterschiedlichen Parametern in Beziehung setzen(G1, $r = 0,41$; G2, $r = 0,34$; G3, $r = 0,41$).

Laursen et al. (2005) schreiben in ihrem Artikel über eine fast idente Studie wie 2002. Sie schreiben, dass es nicht klar ist, welche Art von Intervalltraining bei bereits guttrainierten Radfahrern die größten Verbesserungen mit sich bringen.

An der Studie nahmen 41 Probanden teil, die die genau gleichen Intervallprogramme über die gleiche Zeitspanne fuhren.

Die Ergebnisse waren wieder fast dieselben. Alle Gruppen verbesserten die 40km-Zeitleistung um durchschnittlich 4,4 - 5,8 %, sowie *peak power output* um 3 - 6,2 %. Die 1.Gruppe verbessert die VO2 peak um 5,4 %, die 2.Gruppe um 8,1 %.

Die Schlussfolgerung ist die, dass wenn ein Intervalltraining mit einer Intensität der VO2*peak power output* und mit einer Dauer von 60 % der Tmax durchgeführt wird, hochausdauertrainierte Radfahrer ihre 40km-Zeitfahrleistung signifikant verbessern können (Laursen et al, 2005).

Sie schreiben weiters in ihrem Artikel von einer Studie mit 20 ausdauertrainierten Radfahrern, die 2mal in der Woche über 3 Wochen 5 verschiedene Intervalltrainingsmethoden fuhren. Interessanterweise ergaben zwei komplett verschiedene Programme die ähnlichsten Ergebnisse und Verbesserungen des *peak power output* und in der 40km-Zeitfahrleistung.

Die eine Methode bestand aus submaximalen Intervallen, mit 8 mal 4-minütigen Belastungen bei 85 % des *peak power outputs*, und jeweils 90 Sekunden Pause dazwischen.

Die 2. Methode beinhaltete supramaximale Intervalle mit 12 mal 30-Sekunden Belastungen bei 175 % des *peak power outputs* und 4,5 Minuten Pause (Laursen et al, 2005).

Die Ausdauerleistung verbesserte sich nach beiden Trainings gleich. Jedoch war für die Autoren die Leistungsverbesserung beeindruckend, da bis dato so kurze supramaximale Intervalle für eine 60-minütige Belastung noch nicht relevant schienen und in der Trainingspraxis nicht durchgeführt wurden (Laursen et al, 2005).

Kritisch anzumerken zu dieser Studie ist eventuell die kleine Anzahl von 4 Probanden pro Gruppe.

Ein zu hoher Umfang oder eine zu hohe Intensität hat möglicherweise auch negative Auswirkungen auf die sportliche Leistungsfähigkeit. Entweder kann die Leistung stagnieren, schlechter werden und vielleicht sogar ein Übertraining resultieren.

McNicol et al. (2009) untersuchten in ihrer Studie die Auswirkungen von zwei verschiedenen Trainings auf die Ausdauerleistung, die VO₂max, die Maximalleistung, sowie die Laktatschwelle.

Insgesamt 28 Probanden, untrainierte Männer und Frauen, trainierten 6 Wochen lang, 3mal jeweils 20 Minuten am Laufband.

Vor und nach dem Training wurde die maximale Sauerstoffaufnahme, die normale O₂-Aufnahme, die Geschwindigkeit an der anaeroben Schwelle, sowie die maximale Geschwindigkeit mittels Stufentest untersucht. Weiters wurde die 5000m-Laufleistung erhoben (McNicol et al. 2009).

Zu den Trainingsintensitäten:

Die 1. Gruppe begann das 20-minütige Training auf dem Laufband mit einer Geschwindigkeit von 0,8 km/h unter der Schwelle und diese wurde bei jedem Training um genau 0,1 km/h gesteigert.

Die 2. Gruppe lief 6 Wochen lang jedes Training mit 0,8 km/h unter der Schwelle.

Beide Gruppen hatten nach den Trainings Anstiege der VO₂max, eine höhere Geschwindigkeit an der Schwelle, eine höhere VO₂ an der Schwelle, sowie eine verbesserte 5000m-Laufzeit zur Folge.

Es gab keine signifikanten Unterschiede in den Anstiegen der maximalen Sauerstoffaufnahme, der maximalen Geschwindigkeit, und in der 5000m-Zeit, jedoch waren die Anstiege der 1. Gruppe, nämlich die Geschwindigkeit an der Schwelle, sowie die

O₂-Aufnahme an der Schwelle höher (McNicol et al, 2009).

Stepito et al. (1999) überprüften den Einfluss eines Sprinttrainings auf die Ausdauerleistungsfähigkeit.

Hochtrainierte Radrennfahrer machten in einer Trainingseinheit die 60 Minuten dauerte insgesamt 12 30-Sekunden dauernde Sprints mit 175 % der Maximalleistung, die aus einem Stufentest erhoben wurde.

Zusätzlich zum normalen Training wurde dieses 2mal die Woche über 3 Wochen durchgeführt.

Die Leistung in einem 40km-Zeitfahrtest war danach signifikant erhöht (Stepito et al, 1999).

Die Autoren argumentieren, dass die Ermüdungswiderstandsfähigkeit mit einem hochintensiven Intervalltraining immens verbessert werden kann, was bei einer Dauerperiode womöglich nicht der Fall ist (Stepito et al, 1999).

Smith et al. (2003) untersuchten die Auswirkung von zwei verschiedenen Intervalltrainingsformen, die auf dem Laufband durchgeführt wurden, auf die 3000m – und die 5000m-Leistung.

Die Laufzeiten dieser 2 Distanzen, die VO₂max, die Zeit, die an der VO₂max gelaufen werden kann, T_{max}, die Geschwindigkeit an der VO₂max, vVO₂max, und die Schwellenwerte wurde bei 27 guttrainierten Läufern gemessen.

Es gab drei Gruppen, eine davon war eine Kontrollgruppe, die anderen beiden absolvierten ihr Intervalltraining am Laufband mit einer Dauer von entweder 60 % der T_{max}, als auch 70 % der T_{max}, und einer Intensität von vVO₂max. Das Training ging über 4 Wochen.

In der Woche wurde das Intervalltraining 2mal durchgeführt, die 1.Gruppe trainierte mit 60 % der T_{max}, und machte pro Training 6 Wiederholungen, die 2.Gruppe mit 70 % jedoch nur 5 (Smith et al, 2003).

Das Ergebnis zeigte eine signifikante Verbesserung der 3000m-Zeitleistung in der 1.Gruppe im Vergleich zur 2.Gruppe.

Die Zeit der T_{max} stieg um durchschnittlich 26 Sekunden im Vergleich zu 6,3 Sekunden bei der 2. Gruppe.

Auf die 5000m-Zeitleistung hatten die Trainings keinen signifikanten Effekt.

Es gab weiters keine signifikanten Verbesserungen der drei Trainings auf die VO₂max und die vVO₂max. Die Veränderungen der VO₂max korrelieren jedoch mit der

Verbesserung der 3000m-Leistung.

Weiters war die T_{max} in der Gruppe die mit 60 % von T_{max} trainierten nachher signifikant höher als vorher.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die 3000m-Leistung durch ein 4-wöchiges Training, das mit einer Intensität von der Geschwindigkeit an der VO_{2max} und einer Dauer von 60 % der maximalen Leistung an der VO_{2max} durchgeführt wird, verbessert werden kann (Smith et al, 2003).

Tansiho et al. (2009) machten eine Studie mit Lacrosse-Spielern, um bei Ihnen die Auswirkungen auf die Leistung und Ausdauerfähigkeit einer Form eines Intervalltrainings im Vergleich zu einer Dauerperiode gegenüberzustellen.

Genauer gesagt wollten sie die Effekte auf die Intervalleistung untersuchen.

Die 18 Teilnehmer wurden zu je 6 Personen in eine Intervall – eine Dauer - als auch in eine Nichttrainingsgruppe eingeteilt. Trainiert wurde 3mal die Woche über insgesamt 15 Wochen an Radergometern.

Das Dauertraining bestand aus 20 - 25 Minuten kontinuierlicher Belastung, während das Intervalltraining aus 10 Serien mit 10 Sekunden maximalem Treten und 20 Sekunden Erholung bestand.

Zusätzlich gab es vorher und nachher einen Test, der aus Serien mit 10mal 10-Sekunden - Sprints und 40-Sekunden – Intervallen bestand.

Die maximale O_2 -Aufnahme und die anaerobe Leistungsfähigkeit wurden vor und nach den 15 Wochen erhoben um zu vergleichen.

Das Ergebnis zeigte einen signifikanten Anstieg der maximalen anaeroben Leistung der Intervallgruppe ($p \leq 0,05$) (Tansiho et al, 2009).

Die O_2 -Aufnahme stieg in beiden Gruppe signifikant an ($p \leq 0,05$)

Die durchschnittliche Fahrleistung bei dem Belastungstest stieg ebenfalls in beiden Gruppen signifikant an, jedoch verbesserte sich die Leistung zwischen den Intervallen 8 und 10 nur in der Intervallgruppe.

Folglich lässt sich sagen, dass die Dauerperiode zwar die Laktatproduktion reduziert und die durchschnittliche Leistung verbessert, jedoch nur geringe Auswirkungen auf die maximale Fahrleistung hatte.

Zur Intervallgruppe lässt sich noch sagen, dass die Laktatproduktion zwar nicht sank, aber der *maximale Kraftoutput* nur in der Intervallgruppe stieg und sich auch nur in dieser Gruppe die Ermüdbarkeit gegen Ende der Intervalle reduzierte (Tansiho et al, 2009).

Diese Studie wollte im Vergleich zu vielen anderen Studien nicht den Einfluss auf die Ausdauerleistungsfähigkeit untersuchen, sondern auf die eine Art Intervalltrainingsleistung.

Kubukeli et al. (2002) berichten von einer Studie die mehrere Intervalltrainings verglichen hat.

Die teilnehmenden Radfahrer hatten eine durchschnittliche VO₂max von 65ml/kg/min und eine Wpeak von ca. 400 Watt.

Der Effekt wurde anhand des 40km-Zeitfahrttests und der Wpeak verglichen.

Folgende Intervalltrainings wurden in Gruppen durchgeführt:

G 1: 12mal 30 Sekunden mit 175 % Wpeak, 6mal in 3 Wochen

G 2: 12mal 1 Minute mit 100% Wpeak, 6mal in 3 Wochen

G 3: 12mal 2 Minuten bei 90 % Wpeak, 6mal in 3 Wochen

G 4: 8mal 4 Minuten bei 85 % Wpeak, 6mal in 3 Wochen

G 5: 4mal 8 Minuten bei 80% Wpeak, 6mal in 3 Wochen

G 6: Intervalle bei 90 - 95 % der Hfpeak, 3mal/Woche über 8 Wochen

G 7: 6-8mal 5 Minuten bei Hfpeak, 3mal in 2 Wochen

Das Ergebnis zeigt die größten Verbesserungen in der 40km-Zeitfahrleistung bei den Intervallen mit den 8mal 4 Minuten bei 85 % der Wpeak mit insgesamt 3,3 %.

Mit 3,0 % hatte die Gruppe mit den Intervallen bei 90 - 95 % Hfpeak die 2.beste Verbesserung.

Die 3.beste Leistungssteigerung mit 2,1 % hatte die Gruppe die 6 - 8mal 5 Minuten dauernde Intervalle bei 80 % Wpeak fuhr.

Es folgten G1 mit 1,9 % und G3 mit 1,6 %, während die Gruppen 2 und 5 stagnierten und keine bessere Leistung erreichten.

Was die Wpeak betrifft, erreichte Gruppe 4 mit den 8mal 4 Minuten bei 85 % eine Steigerung um 3,6 %.

Die Gruppen 3 mit 1,8 % und 7 mit 1,6 %, hatten die nächstbesten Anstiege.

Die Gruppe 5 mit 1,1 %, Gruppe 1 mit 0,5 %, und die Gruppe 6 mit gleichbleibender VO₂peak stagnierten (Kubukeli et al, 2002).

Kubukeli et al. (2002) diskutieren, ob es nicht am besten sei mit Intensitäten zu trainieren mit denen man auch den Wettkampf läuft oder fährt.

Die Leistungsverbesserung der 1.Gruppe mit den 175 % der Wpeak widerspricht dieser Empfehlung jedoch, da es vor der Studie nicht erwartet wurde, dass Sprinttraining die

Radleistung für 40km in so einer Art und Weise verbessern kann.

Weiters ist es meiner Meinung nach wieder vom status quo der Leistungsfähigkeit und dem vorrangigen Ziel für das man trainiert abhängig.

Kurios in diesem Fall ist auch die Tatsache, dass die Gruppe mit dem Training bei 175 % die Wpeak aber schließlich nur um 0,5 % verbesserte.

Burke et al. (1994) verglichen zwei unterschiedliche Intervalltrainings und deren Auswirkung auf die aerobe und anaerobe Schwelle.

21 Teilnehmerinnen trainierten über 7 Wochen jeweils 4mal die Woche am Radergometer. Die 1.Gruppe machte 30-Sekunden - Intervalle, mit jeweils gleicher Pausen – wie Belastungsdauer, die 2.Gruppe machte 2-Minuten - Intervalle. Die Athleten trainierten immer bis zur vollen Erschöpfung.

Die 1.Woche trainierten die Athletinnen an der anaeroben Schwelle, die Wochen 2 und 3 trainierten sie mit 85 % der VO₂max, die Wochen 4 und 5 mit 90 %, und die letzten 2 Wochen mit 95 % der VO₂max.

Das Ergebnis zeigte bei beiden Gruppen Verbesserungen der VO₂max, die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen waren aber nicht signifikant. Gruppe 1 verbesserte diese um 5%, Gruppe 2 um 6 %.

19,5 % und 18,5 % Anstiege an der aeroben Schwelle wurden gemessen, genauso wie 19,4 % der 1.Gruppe und 22,4 % der 2.Gruppe an der anaeroben Schwelle.

Weiters wurde eine Korrelation zwischen der aeroben und anaeroben Schwelle vor und nach dem Training erkannt und dass die Veränderungen unabhängig von der Belastungsdauer sind (Burke et al, 1994).

Demarle et al. (2001) testeten in einer Studie ebenso die Auswirkungen eines harten 8-wöchigen Intervalltrainings auf die Sauerstoffaufnahme und die Ausdauerleistung.

6 Mittel – und Langstreckenläufer nahmen an der Studie teil. Von ihnen wurden vor und nach dem Training die VO₂max, die Geschwindigkeit an der VO₂max, und die Schwellen bestimmt.

Die Athleten machten vor und nach dem Training auf einer 400m-Laufbahn einen Stufentest sowie einen Ausbelastungstest mit der anfänglichen Geschwindigkeit von 93 % der VO₂max, die aus einem 3000m Leistungstest abgeleitet wurde, da die Autoren meinen, dass diese Geschwindigkeit mit der Geschwindigkeit der VO₂max fast übereinstimmt.

Alle 3 Minuten wurde die Geschwindigkeit um 1 km/h erhöht. Nach jeder Stufe hatten die Athleten 30 Sekunden Erholung.

Die Zeit bis zur Ausbelastung sollte vor und nach dem Training verglichen werden. Trainiert wurde 5mal die Woche mit 3 Einheiten bei 60 - 70 % $vVO_2\max$, was einer Geschwindigkeit von $11,8 \pm 0,2$ km/h entsprach, mit einer Dauer zwischen 45 und 60 Minuten und 2 Intervalleinheiten mit 93 % $vVO_2\max$, mit $17,0 \pm 0,4$ km/h, und einer Dauer von 25 - 50 % der T_{\max} , 294 ± 20 Sekunden (Demarle et al, 2001).

Das Ergebnis zeigte folgendes:

Die $vVO_2\max$ erhöhte sich signifikant.

Das Sauerstoffdefizit sank nach den 8 Wochen signifikant

Nur 3 der Athleten verbesserten die Zeit bis zur Ausbelastung.

Die Veränderungen des Sauerstoffdefizits korrelierten signifikant mit den Veränderungen der Ausbelastungszeit (Demarle et al, 2001).

Renoux et al. (1999) bestätigen in ihrem Artikel, dass zwischen dem Sauerstoffdefizit und der Zeit der Ermüdung an der $vVO_2\max$ eine positive Beziehung besteht, dies jedoch auch von der anaeroben Kapazität abhängt. Keine Studie hat jedoch die Beziehung zwischen Sauerstoffdefizit und die Zeit der Ermüdung bei submaximalen Belastungen untersucht (Renoux et al, 2001).

McKenna et al. (1997) machten eine Studie, in der 8 männliche Athleten über insgesamt 7 Wochen ein Sprintintervalltraining am Radergometer durchführten um die Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe während und nach den Belastungen untersuchen zu können.

Sie trainierten 3mal in der Woche und machten maximale 30-Sekunden - Sprints, die von der 1. bis zur 4. Woche von 4 bis zu 10 Wiederholungen gesteigert wurden.

In den restlichen Wochen wurden zusätzlich zu den 10 Wiederholungen auch die Erholungsphasen von 4 auf 3 Minuten reduziert.

VO_2 und VCO_2 wurden vor und nach dem Training, sowie vor, während und nach einer maximalen 30 Sekunden Belastung gemessen.

Das Training steigerte die VE um $15,7 \pm 7,1$ %, die VCO_2 um $9,3 \pm 2,1$ %, und die VO_2 um $15,0 \pm 4,2$ %.

Der Maximalwert der 30-Sekunden - Sprintbelastung stieg um durchschnittlich $3,9 \pm 1,0$ % an, und der Ermüdungsindex sank nach dem Training um $9,2 \pm 1,5$ %.

Die maximalen Laktatwerte blieben unverändert (McKenna et al, 1997).

Ein verbesserter aerober Stoffwechsel nach einem Sprinttraining führt vermutlich zu einer langsameren Ermüdung während maximaler Belastung (McKenna et al, 1997).

In dieser Studie von McKenna et al. (1997) hat das Intervalltraining die Leistung bei dem maximalen Stufentest um 10 % verbessert, genauso wie die maximalen Werte der VE, VO₂ und VCO₂.

Die Leistung bei dem 30-Sekunden - Test war im Vergleich zu vorher um 12 % erhöht. Dabei sprechen die Autoren von einem Anstieg der *peak power* um 4 % und einem niedrigeren Ermüdungsindex von 9 % (McKenna et al, 1997).

Man kann schlussfolgern, dass kurzes intensives Intervalltraining mit 30-Sekunden dauernden Belastungen und nur kurzen Erholungspausen die Leistung bei Stufenbelastungen verbessern und auch die Ermüdung bei maximalen Belastungen hinauszögern kann.

O'Brien et al. (2008) untersuchten die durchschnittliche VO₂ während einer konstanten Belastung und 2 verschiedenen Intervalltrainings.

17 normaltrainierte, männliche Athleten trainierten 3mal in drei Wochen.

Die 1. Gruppe, die 20 Minuten konstant lief, trainierte mit einer Geschwindigkeit die durchschnittlich 75 % der VO₂peak der Intervallgruppen entsprach.

Die 2. Gruppe machte Intervalle von 10mal 1 Minute mit der Geschwindigkeit der VO₂peak, mit jeweils 1 Minute Pause bei 50 % VO₂peak.

Die 3. Gruppe machte 5mal 2 Minuten Intervalle an der VO₂peak mit 2 Minuten Pause bei 50 % VO₂peak.

Durchschnittliche Werte der VO₂ waren in der 1. Gruppe 2909 ± 584 ml/min, in der 2. Gruppe 3076 ± 641 ml/min, und in der 3. Gruppe 3200 ± 661 ml/min (O'Brien et al, 2008).

Beide Intervallformen erzeugten höhere durchschnittliche VO₂-Werte als die Dauerethode.

Zusätzlich erreichte die 3. Gruppe mit den 2 Minuten Intervallen 90 % der VO₂peak (O'Brien et al, 2008).

Die Autoren schließen aus der Untersuchung, dass ein Intervalltraining ein viel größerer Stimulus für eine Verbesserung der VO₂max und in weiterer Folge für die Verbesserung der Leistungsfähigkeit ist.

Paton et al. (2009) schreiben, dass kurzes, intensives Intervalltraining in der Vorwettkampfphase immensen Leistungsgewinn bringen kann.

In einer Studie versuchten sie unterschiedliche Formen zu vergleichen.

18 Radfahrer wurden in zwei verschiedene Gruppen eingeteilt und änderten für 4 Wochen einen Teil ihres Trainings. Sie machten insgesamt 8 30-minütige Einheiten, die zusätzlich zu Intervallen am Ergometer auch explosive Einbeinsprünge beinhalteten.

Die Intervalle wurden entweder mit einer Frequenz von 60 - 70 Umdrehungen oder 110 - 120 Umdrehungen pro Minute gefahren.

Vorher und nachher wurde die Testosteronkonzentration gemessen, zusätzlich wurde mittels Ausbelastungstest die durchschnittliche 60-Sekunden - Leistung, die VO₂max, und die 4mmol/l - Schwelle bestimmt (Paton et al, 2009).

Die Testosteronkonzentration stieg durchschnittlich um etwa 97 ± 39 % in der Gruppe mit der niedrigen Frequenz, im Vergleich zu 62 ± 23 % in der anderen Gruppe.

Die Leistung verbesserte sich in der 1. Gruppe mit der niedrigeren Frequenz mehr als in der anderen Gruppe. Die verbesserte 60-Sekunden - Leistung war im Durchschnitt um 2,5 % höher.

Peak power war in der 1. Gruppe um 3,6 % höher, die Leistung bei der 4mmol/l Schwelle war um 7 % höher.

Die maximale Sauerstoffaufnahme steigerte sich in der 1. Gruppe im Vergleich der 2. Gruppe um 3,2 % (Paton et al, 2009).

Die Studie zeigte, dass ein Intervalltraining am Radergometer mit niedrigerer Tretfrequenz größeren Effekt auf die Leistung von guttrainierten Radfahrern hat als Sprints mit höherer Frequenz. Ob dieses Ergebnis auch bei untrainierten Radfahrern herausgekommen wäre ist unklar.

Franch et al. (1998) machten eine Studie in der sie 3 verschiedene Trainingsmethoden – und Intensitäten verglichen.

36 Freizeitläufer, mit einer durchschnittlichen VO₂max von $54,8 \pm 3,0$ ml/kg/min, führten entweder ein Training mit einer Dauer- oder einer Intervallmethode durch.

Sie trainierten 3mal in der Woche, über 6 Wochen, in Summe jeweils 2,2 Stunden/Woche, und einer durchschnittlichen Intensität von 65 % der maximalen Herzfrequenz.

Die 1. Gruppe lief 30 - 40mal 15 Sekunden mit einer Geschwindigkeit von 20,4 km/h, und jeweils 15 Sekunden Pause. Die 2. Intervallgruppe, als Langzeitintervallgruppe, trainierte 4 - 6 mal 4 Minuten bei 16 km/h und 2 Minuten Pause. Die 3. Gruppe, als Dauergruppe, lief pro Training ca. 26 Minuten bei 15 km/h (Franch et al, 1998).

Die Ergebnisse zeigten Folgendes:

Sowohl die Dauergruppe, als auch die Langzeitintervallgruppe verbesserten ihre VO₂max signifikant mehr, um 3 - 6 % ($p < 0,05$), als die Kurzzeitintervallgruppe.

Die Zeit bis zur Ausbelastung bei einer Intensität von 85 % VO₂max verbesserte sich bei der Dauergruppe am meisten, mit + 93 %. Die Verbesserungen der Langzeitintervallgruppe, mit + 67 % und die Kurzzeitintervallgruppe, mit + 65 %, waren nicht ganz so hoch (Franch et al, 1998).

Zu dieser Studie muss man anmerken, dass diese fast schon imposanten Verbesserungen in der VO₂max und in der Zeit bis zur Ausbelastung bei einer Intensität von 85 % VO₂max daran liegen, dass die Athleten vor den 6 Wochen eher schwach trainiert waren.

Die Autoren bestätigen, dass wenn man diese Studie mit besser trainierten Athleten gemacht hätte, die Verbesserungen, gerade nach dem Dauertraining bei weitem nicht so enorm gewesen wären (Franch et al, 1998).

Harmer et al. (2000), schreibt von einer Studie, in der ein Sprinttraining mit 4 - 10 maximalen Sprints am Radergometer, mit 3 - 4 Minuten Pause, das 3 Tage/Woche über 7 Wochen durchgeführt wurde, die Zeit bis zur Ermüdung bei einem Belastungstest bei 130 % der VO₂max-Arbeitsleistung, um 21 % verbessert hat.

Diese Leistungssteigerung wurde den Autoren zufolge auf eine geringere anaerobe ATP - Erzeugung, und einer höheren Beteiligung des aeroben Stoffwechsels auf die Energiegewinnung zurückgeführt.

Eine Studie von Tabata et al. (1996) bekräftigt wieder, dass die Intensität entscheidend für die Verbesserung der Leistungsfähigkeit ist.

In einer Studie trainierte eine Gruppe 4mal in der Woche über 6 Wochen ultra-intensive Intervalle bei 170 % der VO₂max. Die Belastungsdauer war nur 20 Sekunden, mit jeweils 10 Sekunden Pause danach. Wiederholt wurde dies 8mal pro Einheit. Eine 5. Einheit in der Woche trainierten die Athleten an ihrer *steady-state-Schwelle*.

Die 2. Gruppe trainierte nur 60-minütige Einheiten an der *steady-state-Schwelle*, bei 70 % VO₂max.

Die Ergebnisse zeigten eine Verbesserung der VO₂max in der 2. Gruppe von 52 auf 57 ml/kg/min, im Vergleich zur 1. Gruppe, die eine Steigerung von 48 auf 55 ml/kg/min erreichte.

Dass die Gruppe mit den *steady-state-Belastungen* am Ende eine höhere VO₂max aufwies liegt klarerweise auch daran, dass die anfängliche maximale Sauerstoffaufnahme auch bereits höher war.

Für die Autoren war das Ergebnis eindeutig. Sie interpretierten, dass die 2. Gruppe ihre anaerobe Kapazität nicht verbesserte, jedoch ihre VO₂max dennoch um 5 ml/kg/min steigerte.

Die 1. Gruppe verbesserte nicht nur die VO₂max um 7 ml/kg/min, sondern auch die anaerobe Kapazität um 28 % wie die Autoren interpretierten.

Letztendlich steigerten aber beide Gruppen ihre Leistungsfähigkeit. (Tabata et al, 1996).

8.8 Auswirkung auf die Insulinaktivität

Babraj et al. (2009) schreiben in ihrem Artikel, dass hochdosiertes aerobes Training Herz-Kreislauf - Erkrankungen reduziert, aber beträchtliche Zeit in Anspruch nimmt. Die Autoren bestätigen eine Verbesserung der aeroben Kapazität eines hochintensiven Intervalltrainings mit niedrigem Umfang, und sie bestätigen weiters die metabolischen Anpassungen nach einem traditionellen aeroben Ausdauertraining.

Weiters führen Barbaj et al. (2009) an dass dieses aerobe Training, mehrere Stunden in der Woche Training bei moderater Intensität, die Insulin Aktivität verbessert, jedoch eben mehr Zeit in Anspruch nimmt.

Es ist jedoch nicht bekannt ob ein intensives Intervalltraining die Insulin Aktivität und folglich die Glykämische Kontrolle verbessert.

16 junge Männer, im Alter von 21 ± 2 Jahren, einem BMI von 23.7 ± 3.1 kg, einem Körpergewicht von 82 ± 17 kg, bei einer Größe von $1,83 \pm 0,08$ m, und einer VO₂max von 48 ± 9 ml/kg trainierten 2 Wochen lang, insgesamt 6 mal jeweils 15 Minuten.

Pro Einheit machten sie, überwacht, 4-6 30-Sekunden - Sprints am Radergometer, mit jeweils 4 Minuten Erholung ohne Widerstand. Treten mussten sie 75 % der maximalen Wattleistung bei einer Tretfrequenz von 90 Umdrehungen pro Minute.

Das Ergebnis der Studie zeigte, dass ein Intervalltraining, dass nur einige Minuten dauerte, und über zwei Wochen 6mal durchgeführt wurde zu einer Verbesserung der Insulin-Aktivität und Glukose Stoffwechsel führte und somit zusätzlich eine neue Trainingsempfehlung vorbeugend gegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen sein kann.

8.9 Auswirkung auf die Natrium – Kalium-ATPase

Eine Studie von Aughey et al. (2007) erforschte die Effekte eines hochintensiven Intervalltrainings vor und nach dem Training auf die Natrium-Kalium-ATPase und die Proteinmenge.

12 guttrainierte Ausdauerathleten, mit Durchschnittsalter von 31 Jahren, einem täglichen Training und einer durchschnittlichen Wochenkilometeranzahl von >350km, wurden vor und nach drei Wochen eines Intervalltrainings, das durch 7 Serien, und jeweils 8mal 5 Minuten bei 85 % der VO₂max, der maximalen Sauerstoffaufnahme, charakterisiert war, getestet.

Das Training erhöhte die maximale Natrium - Kalium-ATPase-Aktivität um 6 % trotz unverändertem Inhalt und Proteinmenge. Das Ergebnis zeigt, dass eine erhöhte Natrium -Kalium-ATPase-Aktivität zu einer verminderten Ermüdung nach dem Training beitragen kann.

Es kam heraus, dass hochintensives Intervalltraining keinen signifikanten Effekt auf die Proteinmenge der jeweiligen Na - K-ATPase hatte.

8.10 Auswirkung auf die Blutfette

Thomas et al. (1984) schrieben in ihrem Artikel über eine Studie die nicht nur wie so oft den Einfluss einer Dauer- und einer Intervallmethode auf die maximale Sauerstoffaufnahme beobachtete, sondern auch den prozentualen Fettanteil und die Blutfette untersuchte.

59 Athleten, sowohl Männer als auch Frauen im Alter von 18 - 32 Jahren wurden auf 4 Gruppen mit jeweils unterschiedlichen Vorgaben eingeteilt. Trainiert wurde 3mal die Woche, über insgesamt 12 Wochen.

Gruppe 1 lief 4 Meilen mit einer Herzfrequenz von 75 % der maximalen Herzfrequenz, was laut Thomas et al. (1984) circa 500 Kalorien pro Trainingseinheit sein sollten.

Die 2. Gruppe hatte die Vorgabe 2 Meilen mit einer Intensität von 75 % der maximalen Herzfrequenz zu laufen. Dies entspräche 250 Kalorien.

Gruppe 3 als Intervallgruppe lief Intervalle von 8mal 1 Minute bei 90 % Hfmax, und anschließend 3 Minuten Gehpause.

Die 4. Gruppe diente als Kontrollgruppe und hatte kein Trainingsprogramm.

Die VO₂max wurde am Laufband vor und nach den 12 Wochen erhoben. Der Körperfettanteil wurde ebenso vorher und nachher mittels hydrostatischer Wägung gemessen. Cholesterin, Triglycerid, und HDL wurden ebenso vorher und nachher analysiert (Thomas et al, 1984).

Die Ergebnisse brachten niedrigere Werte des Körperfettanteils in allen Trainingsgruppen. Die Autoren schreiben jedoch, dass kein Trainingsprogramm überragend war.

Die Veränderungen der Triglycerid – Cholesterin und HDL-Werte war in den 3 Trainingsgruppen gleich. Das unterschiedliche Training machte also diesbezüglich keinen Unterschied (Thomas et al, 1984).

Weiters ist zu erwähnen, dass auch Männer wie Frauen gleich auf die Trainings ansprachen, beziehungsweise trotz unterschiedlicher Ausgangswerte in VO₂max, HDL und Körperfettanteil, vor der Trainingsperiode, ähnliche Veränderungen sichtbar waren.

Was generell die VO₂max betrifft, war festzustellen, dass sich diese bei der Intervalltrainingsgruppe am meisten verbesserte und somit die aerobe Kapazität mehr steigerte als eine Dauerperiode (Thomas et al, 1984).

Musa et al. (2009) schreiben zum Vergleich in ihrem Artikel über eine Studie, die den Einfluss eines hochintensiven Intervalltrainings auf das Cholesterin, HDL-Cholesterin, sowie den Atherogenen Index beobachtet.

An der Studie nahmen 36 untrainierte Männer im Alter zwischen 21 und 36 Jahren teil. Eingeteilt wurden die Teilnehmer in eine Intervallgruppe, die aus 20 Personen bestand, sowie eine aus 16 Teilnehmern bestehende Kontrollgruppe (Musa et al, 2009).

Das Intervalltraining sah wie folgt aus:

Die 36 Personen mussten 3 mal die Woche, über 8 Wochen, ein Intervalltraining mit 3,2 km bei einem Puls von 90% der maximalen Herzfrequenz durchführen. Die Pausendauer war ident mit der Belastungsdauer.

Das Ergebnis nach den 8 Wochen zeigte einen signifikanten Abfall der Werte von HDL-Cholesterin von durchschnittlich 1,3 auf 1,1 mmol/l ($p < 0,0001$).

Der Atherogene Index sank von durchschnittlich 3,8 auf 3,1 mmol/l und zeigte ebenfalls ein signifikantes Ergebnis.

Einzig das Gesamt-Cholesterin sank nur von durchschnittlich 3,9 auf 3,8 mmol/l.

Dieser Wert änderte sich womöglich deshalb nur gering, da er auch vor dem Training schon relativ normal war.

Jedoch kann man schlussfolgern, dass ein Intervalltraining eine Möglichkeit bietet die Blutfettwerte erheblich zu verbessern, sofern dieses aufgrund der Intensität und Dauer nicht an die Grenzen der jeweiligen Fitness stößt (Musa et al, 2009).

8.11 Auswirkung auf die Gefäßstrukturen

Rakobowchuk et al. (2008) untersuchten auch den Effekt unterschiedlicher Trainingsintensitäten.

Sie stellten sich die Frage ob ein Sprintintervalltraining und eine traditionelle Dauerperiode die gleichen Anpassungseffekte auf Gefäßstrukturen - und Funktionen haben.

Die Hypothese wurde getestet, ob das Intervalltraining und die Dauerperiode die Dehnbarkeit der peripheren Blutgefäße, die Endothelfunktion, und die Dehnbarkeit der zentralen Blutgefäße gleich verbessern.

20 untrainierte Athleten im Alter von $23,3 \pm 2,8$ Jahren wurden in zwei Gruppen aufgeteilt. Die Intervallgruppe trainierte über 6 Wochen lang, 3mal/Woche 4-6 30-Sekunden - Sprints, dem Wingate Test entsprechend, mit jeweils 4,5 Minuten Pausendauer dazwischen.

Die Dauerperiodengruppe trainierte mit einer Intensität von 65 % der VO_{2peak} und einer Dauer von 40 - 60 Minuten, 5mal/Woche.

Die Endothelfunktion war nach dem Training bei beiden Gruppen gleich verbessert.

Die Dehnbarkeit der Blutgefäße etwa war in beiden Gruppen nach dem Training kaum verändert (Rakobowchuk et al, 2008).

Die Autoren betonen, dass das Sprintintervalltraining eine zeitsparendere Methode ist um dieselben Veränderungen der peripheren Gefäßstrukturen hervorzurufen wie eine umfangreichere Dauerperiode.

Jedoch scheinen Veränderungen der Dehnbarkeit der zentralen Blutgefäße längere Trainingsstimuli zu brauchen als in diesem Fall bei diesen Athleten (Rakobowchuk et al, 2008).

9 Einsatz der verschiedenen Trainingsintensitäten für die Wettkampfdistanz

In der vorliegenden Arbeit wurden bisher schon so einige Studien darüber vorgestellt die den Einfluss von einer Dauer- als auch von einem Intervalltraining auf die unterschiedlichsten Parameter untersuchte.

Die Frage ist nun welche Form und welche Intensitäten nun für ganz bestimmte Wettkampfdistanzen am besten sind.

Das Training von den besten Mittel – und Langstreckenläufern des 20. Jahrhunderts weist zum Beispiel auf einen umfangreichen Bereich von Geschwindigkeits - und Intervalltraining zwischen maximalem *Laktat-steady-state* bis zur maximalen Geschwindigkeit hin (Billat, 2001).

9.1 Einsatz von Intervalltrainingsformen

Fasst man ein kurzes Fazit aus den bisher gelesenen Studien in dieser Arbeit zusammen erhält man folgendes:

Die Intervallmethode ist zeitsparender, ermöglicht die gleiche Leistung bei niedrigerem Umfang, bietet mehr Zeit zur Regeneration, hat zusätzlich eine geringere Gelenkbelastung durch geringeren Umfang zur Folge und bringt dauerhaft mehr Leistung. Viele Studien berichten über größere Leistungsverbesserungen nach einer Intervallmethode im Vergleich zur Dauer- Methode. Doch gibt es auch Studien die von einem größeren Effekt oder zumindest gleichem Effekt der Dauer- Methode berichten. Ganz klar ist, dass es immer von den jeweiligen Intensitäten abhängig ist mit denen die Trainings durchgeführt werden.

Midgley et al. (2006) etwa schreiben, wie schon in *Kapitel 4* erwähnt, dass über die Verbesserung der VO₂max lange Unklarheit herrschte.

Das Training bei Intensitäten von 40 – 50 % der VO₂max bringt jedoch bereits erste Anpassungserscheinungen bei Untrainierten.

Die Auswirkungen eines Sprintintervalltrainings auf die oxidativen und glykolytischen Enzymaktivitäten und die Leistungsfähigkeit untersuchten auch wie schon in *Kapitel 7.1* erwähnt MacDougall et al. (1998).

Hier wurde also schlussgefolgert, dass nach kurzem Intervalltraining die oxidativen und glykolytischen Enzymaktivitäten verbessert werden können, die VO₂max erhöht werden kann und natürlich auch die Leistung gesteigert werden kann (MacDougall et al, 1998).

Guttrainierte Athleten jedoch müssen mit höheren Intensitäten trainieren. Studien in

Kapitel 8 haben dies nun mehrfach bewiesen.

Midgely et al. (2006) schreiben zwar, dass die größte Verbesserung der Leistung an oder nahe der VO₂max stattfindet, bei hochausdauertrainierten Athleten sind aber noch intensivere Sprintintervalle effektiver, wie sämtliche Studien, wie etwa Helgerud et al. (2007), Burgomaster et al. (2007), oder Billat (2001) berichten.

Billat (2001) schreibt, dass die Stärke der Sauerstoffaufnahme der beste Vorhersagewert für die Leistung über 800m, 1500m, 5000m, und das Sauerstoffdefizit der beste metabolische Prädiktor für 100m, 200m und 400m ist.

Für Mittelstreckenläufer sind Intervallprogramme über der VO₂max und wahrscheinlich mit einer Intensität von 105 – 140 % der VO₂max sinnvoll und angebracht.

Läufer, für die die anaerobe Kapazität nicht so wichtig ist wäre es wichtiger ihre Intervalle zwischen 50 und 105 % der VO₂max durchführen.

Die ist wichtig um bei guttrainierten Läufern die anaerobe Schwelle zu erhöhen (Midgley et al, 2006).

Lausen et al. (2002) bestätigen in ihrem Artikel, dass bereits hochausdauertrainierte Athleten ein anderes Training, andere Reize, benötigen als Untrainierte. Sie sprechen wieder das hochintensive Intervalltraining an, dass am besten geeignet sei um die VO₂max etwa zu verbessern.

Die Frage die man sich stellt, ist, wann gehört man zu den guttrainierten Ausdauerathleten, gibt es Richtlinien in Form einer bestimmten VO₂max?

Die aerobe Energiebereitstellung ist bei Läufen über 400m wichtiger, obwohl bei einem 400m Lauf über 52 Sekunden, die VO₂max von 170 % in den letzten 20 Sekunden eruiert wurde und die Energie zu 46 % von oxidativer Phosphorylierung im Vergleich zu 69 % bei einem 800m-Lauf über 1:58 Minuten und 83% bei einem 1500m-Lauf über 4:02 Minuten bereitgestellt wurde (Billat, 2001).

So kommt man zum Schluss, dass in allen Mitteldistanzen alle Formen von Intervalltraining angewandt werden könnten oder sollten, bis hin zu 10.000m Läufen, wo bei den Eliteläufern ja sogar die letzte Runde unter einer Minute, und schneller als 24km/h, gelaufen wird (Billat, 2001).

Für Mittelstreckenläufer ist es eines der effektivsten Trainings 1 - 8 Minuten dauernde Läufe bei 90 – 100% der maximalen Sauerstoffaufnahme ins Training einzubauen um die VO₂max und die Leistung zu verbessern.

Ein Programm zeigte Folgendes:

Das Training mit 7mal 2 Minuten an der VO₂max wurde mit aktiven Pausen unterbrochen, bis die Herzfrequenz auf unter 130 Schläge pro Minute sank. Dann wurde ersichtlich, dass in der ersten Minute nach der Pause 70 % der VO₂max erreicht wurden und in der 2. Minute die 100%. Durch die Ausschöpfung des Kreatinphosphats wurden dann hohe Laktatwerte erreicht (Billat, 2001).

Die VO₂max setzt die obere Grenze der VO₂ bei der anaeroben Schwelle. Bei Mitteldistanzen werden jedoch schon Geschwindigkeiten mit einer VO₂ gelaufen, die über der VO₂max liegen (Midgley et al, 2006).

Midgley et al. (2006) schreiben, dass es viele Eliteläufer gibt, die ihre VO₂max über Jahre weg einfach nicht verbesserten. Ein Grund dafür ist, weil die Athleten nicht genug Umfang mit intensiven Einheiten machten um die VO₂max zu verbessern.

In weiterer Folge sprechen Midgley et al. (2006) an, dass guttrainierte Ausdauerathleten mit der Intensität bei ihren Intervalltrainings wahrscheinlich zu wenig lange auf dem Wert der VO₂max verbleiben.

Eine Studie verglich den Einfluss von mehreren Intervalltrainings auf die VO₂max.

Dieses wurde zusätzlich zum gewöhnlichen Training eingebaut.

Folgende Ergebnisse wurden beschrieben:

8 Athleten, die über 4 Wochen wöchentlich ein Intervalltraining mit vVO₂max liefen, verbesserten die VO₂max um 2,1 %, bei einem Ausgangswert von bereits 71,2 ml/kg/min.

9 Athleten, die einen Wert von 66,3 ml/kg/min hatten, führten über 8 Wochen jeweils 2 Einheiten mit der 3 – und 10km – Wettkampfgeschwindigkeit durch und verbesserten die VO₂max um 5,4 %.

7 männliche Langstreckenläufer mit einem durchschnittlichen Ausgangswert von 65,3 ml/kg/min liefen einmal in der Woche, über 8 Wochen, Intervalle bei 90 – 95 % Hfmax und verbesserten die VO₂max um 0,7 %.

7 weitere Langstreckenathleten mit einem Ausgangswert von 61,0 ml/kg/min trainierten über 6 Wochen einmal in der Woche maximale Läufe um in etwa 190 Herzschläge/Minute

zu erreichen. Sie erhöhten die VO₂max um 4,1 %.

7 andere Mittel – und Langstreckenläufer mit einer anfänglichen VO₂max von 61,0 ml/kg/min trainierten über 8 Wochen jeweils 2 Intervalleinheiten bei 93 % vVO₂max, und hatten einen Anstieg von 4,0 % (Midgley et al, 2006).

In einer weiteren Untersuchung machten 5 Mittelstreckenathleten mit einem Wert von 61,0 ml/kg/min 2 Intervalleinheiten/Woche über 4 Wochen mit Läufen an vVO₂max und hatten Anstiege der VO₂max von 4,9 % zur Folge.

Auch 27 Athleten, die einen Ausgangswert von 60,5 ml/kg/min hatten und über 4 Wochen jeweils 2 Intervalleinheiten an vVO₂max machten, erreichten Anstiege von 5,0 % (Midgley et al, 2006).

Interessant ist, dass nur eine einzige Gruppe ein signifikantes Ergebnis aufwies, nämlich die 9 Athleten, die eine Erhöhung um 5,4 % mit dem Training durch Intervalle mit der 3 – und 10km-Wettkampfgeschwindigkeit erreichten.

Auffällig ist natürlich, dass alle jene die 2mal in der Woche ein intensives Intervalltraining durchführten Anstiege in der VO₂max von fast 5 % hatten, ganz abgesehen vom Ausgangswert.

Auch das Training mit den Läufen bei Spitzenherzfrequenzwerten von 190 hatte trotz einmaliger Durchführung in der Woche einen immensen Effekt mit Anstiegen von durchschnittlich 4,1 %.

Inwieweit der Ausgangswert der VO₂max hier eine Rolle spielt ist ungewiss. Doch wie schon beschrieben brauchen besser trainierte Athleten mit einer höheren anfänglichen VO₂max höhere Intensitäten um diese weiter steigern zu können.

Wie schon in Kapitel erwähnt, ist es nicht klar ob ein 40-minütiger Lauf bei 90 % der VO₂max oder ein 16minütiger Lauf bei 200 % der VO₂max effektiver ist (Billat, 2001).

Athleten mit guter aerober Leistungsfähigkeit sollten laut Priest et al. (1987) also eher bei 90 – 100 % der VO₂max Intervalltrainingsformen trainieren oder bei einem Laktatwert von 4mmol trainieren um zum Beispiel Verbesserungen an der *steady-state-Schwelle* zu erreichen, die anaberobe Schwelle zu erhöhen oder Verbesserungen in den Leistungen bei den Distanzen von 3,22 bis 10km zu erreichen (Priest et al, 1987).

Das Tempo der Wettkampfgeschwindigkeit in den Strecken von 3,2km bis 16,9km korreliert hoch mit der maximalen steady-state-Geschwindigkeit, das heißt diese Strecken

können mit einem Laktatwert von 2,2mmol gelaufen werden (Priest et al, 1987).

Summa summarum kann man sagen, dass Athleten mit einer niedrigeren VO₂max für ein 10km -Rennen große Erfolge haben werden wenn sie bei 2,2mmol Laktat trainieren, hingegen Athleten mit höherer VO₂max höhere Reize setzen sollten.

9.2 Einsatz von Sprint – und explosivem Krafttraining

Paavolainen et al. (1999) bestätigen, dass die 5000m-Laufgeschwindigkeit mit der maximalen Geschwindigkeit, den Kontaktzeiten, und der Schrittfrequenz, mit den Werten von 20m korreliert. Derselbe Autor verkündete, dass 32 % des Trainingsumfangs durch explosives Krafttraining ersetzt wurde, zu dem unter anderem auch Sprungübungen und verschiedene Sprints gehörten, und die 5km-Laufzeit so heruntersetzte.

Zurückzuführen ist dies durch eine verbesserte Laufökonomie und eine verbesserte maximale Geschwindigkeit.

Houmard (2009) schreibt in seinem Artikel von einer Studie die mit Schwimmern gemacht worden ist dessen Ergebnis aussagt, dass ein weniger intensives Training mit hohem Umfang keine Vorteile gegenüber einem Training mit hoher Intensität und weniger Umfang hat.

Houmard (2009) berichtet über eine Studie, in der der Umfang eines Trainings von jungen Langstreckenläufern um 20 % reduziert wurde, und stattdessen explosive Kraftübungen gemacht worden sind. Im Endeffekt verbesserte sich die anaerobe Leistung, ohne jedoch die aerobe Kapazität negativ zu beeinflussen.

Er schreibt weiters, dass auch die Leistung im Wettkampf Aussage genug über ein effektives Training ist (Houmard, 2009).

Kubukeli et al. (2002) sprechen auch in ihrem Artikel das Krafttraining an.

Radfahrer, die in der Woche 200 Kilometer fahren mussten zusätzlich 3mal die Woche über 6 Wochen ein Krafttrainingsprogramm absolvieren.

Das Training bestand aus jeweils 3 Serien und 6 - 8 Wiederholungen auf der Beinpresse, und aus Übungen für Kniestrecke und die hinteren Oberschenkelmuskulatur.

Die Muskelkraft stieg nach den 6 Wochen um 25 %, teilweise hatte der Kraftgewinn keine positiven Auswirkungen auf die 40km-Zeitfahrleistung, und teilweise konnten die Athleten die Zeit von 62 auf 59 Minuten senken

Einige Athleten fühlten sich aufgrund des Krafttrainings zu müde für das Training am Rad und mussten dieses um 20 % reduzieren (Kubukeli, 2002).

Anpassungseffekte und Belastungsindikatoren von Intensität und Dauer im Ausdauertraining

Möglicherweise war das Krafttraining in diesem Fall falsch dosiert, sodass es den gegenteiligen Effekt herbeiführte, nämlich eine Ermüdung.

10 Übertraining

Die Vorbereitung auf einen Wettkampf beziehungsweise ein Training sollte klarerweise dosiert sein, die Reize die man richtig setzen sollte um sich zu verbessern, sollten also nicht das Gegenteil herbeiführen, so dass man eventuell auf die Dauer hin betrachtet in ein sogenanntes Übertraining schlittert.

Lehmann et al. (1992) haben in einer Studie versucht bei ausdauertrainierten Männern ein Übertrainingssyndrom zu erzeugen.

Der durchschnittliche Trainingsumfang von 85,9 km wurde in der 2.Woche auf 115,1 km, in der 3.Woche auf 143 km, bis 174,6 km in der letzten Woche gesteigert. Trainiert wurde 6 Tage die Woche, mit durchschnittlich 30km pro Tag in der letzten Woche.

Untersucht wurden die Auswirkungen des Trainings auf Herz Kreislauf -, Stoffwechsel - und hormonelle Parameter, sowie der Einfluss auf die Plasma – und Urinkatecholamine.

Vor dem Training, sowie am 14. als auch am 28.Tag wurden die Athleten am Laufband getestet.

Zu den Erkenntnissen:

6 Läufer stagnierten mit ihrer Leistung, die mit der Geschwindigkeit beim aerob-anaeroben Übergang gemessen wurde.

Weiters fiel ihre maximale Leistung ab.

2 der 8 Läufer erreichten bei den Laufbandtests statt der anfänglichen 4719m lediglich 4361m.

Während der 4 Wochen Training konnten die Athleten ihre persönlichen Bestleistungen also nicht erreichen.

Folgende Werte sanken signifikant: Glucose, Laktat, Ammoniak, Glycerin, freie Fettsäuren, Eiweiß, LDL, VLDL-Cholesterin, Hämoglobin, Leukozyten, sowie die Herzfrequenz vor und nach dem Training.

Kreatinin, Harnstoff, Harnsäure, die Serumelektrolyte, Calcium und Phosphat ausgenommen, blieben zu den gemessenen Zeiten konstant.

Lehmann et al. (1992) verglichen in einer Studie die Wirkung eines erhöhten Umfangs und ein Jahr darauf die Wirkung einer gesteigerten Intensität auf die Leistung von 8 Mittel – und 9 Langstreckenläufern. 7 Läufer waren an beiden Tests beteiligt.

Bei der ersten Studie wurde das Trainingspensum von 85,9km in der 1.Woche auf 176km innerhalb von 3 Wochen gesteigert. Durchgeführt wurden lange Dauerläufe bei durchschnittlich 67 % der VO₂max.

Die Intervallläufe, und die schnellen Tempodauerläufe beliefen sich auf in etwa 9km in der

1. Woche, und stiegen auf bis zu 22,7km innerhalb der 4 Wochen, bei einer Zunahme des Gesamtumfangs von 61,6 km auf 84,7 km.

Beinhaltet hat das Intervalltraining Formen wie 10mal 400m oder 10mal 1000m.

Als Resultat zeigte sich nach den 4 Wochen eine höhere Geschwindigkeit an der 4mmol-Schwelle der Intervallgruppe, jedoch nicht in der Dauergruppe.

Bei 6 von 8 Athleten der Dauergruppe sank die Maximalleistung beim Stufentest, während sich diese 7 von 9 Läufern der Intervallgruppe verbesserte.

Symptome wie Burn-Out, Müdigkeit oder Muskelsteifigkeit waren in der Dauergruppe signifikant höher (Lehmann et al, 1992).

Die nächtliche Katecholaminausschüttung sank in der Umfangsgruppe um 47 - 53 % im Vergleich zur Intervallgruppe, deren Werte um 9 - 26% sanken.

Plasmakatecholamine stiegen in der Umfangsgruppe, Cortisol - und Aldosteron Gehalt sanken in der Umfangsgruppe.

Dopaminveränderungen waren in beiden Gruppen nicht signifikant.

Adrenalin - und Noradrenalinausschüttung blieben im selben Ausmaß.

Die belastungsinduzierte Katecholaminausschüttung sank jedoch in der Intervallgruppe, im Vergleich zur anderen.

Die Cortisol - und Aldosteronwerte blieben konstant.

Keine Unterschiede der beiden Gruppen gab es bezüglich Insulin, Testosteron, Somatotropin (STP), dem follikelstimulierenden Hormon (FSH), dem luteinisierendem Hormon, Gonadotropin, den Schilddrüsenstimulierenden Hormonen (TSH), und Thyroxin (Lehmann, 1992).

Auch wenn in dieser Studie ein Übertraining absichtlich herbeigeführt wurde, zeigt es welche Folgen ein dauerhaft falsch dosiertes Training für den Organismus haben kann.

Was die Häufigkeit der Durchführung von intensiven Intervalltrainings betrifft wurde in keinen der in dieser Arbeit verwendeten Studien wirklich Auskunft gegeben. Lediglich bestimmte Programme die über mehrere Wochen gingen wurden auf ihre Wirkung hin beobachtet, was aber wäre würde man nur Intervalltrainings machen, nämlich alle Trainingseinheiten in der Woche, das ganze Jahr über, darüber lässt sich nur mehr diskutieren.

Einzig werden Empfehlungen über die Häufigkeit eines hochintensiven Intervalltrainings von Midgley et al. (2006) gegeben.

Die Autoren schreiben von einer Studie, in der guttrainierte Athleten über 4 Wochen 3mal in der Woche ein hochintensives Intervalltraining durchführten, und leichte Anzeichen eines Übertrainingssyndroms auftraten.

Andere Empfehlungen ergeben, dass ein intensives Intervalltraining maximal 2mal in der Woche durchgeführt werden sollte, mit mindestens 48 Stunden Pause dazwischen (Midgley et al, 2006).

Solche Empfehlungen halte ich für sehr oberflächlich, da zum Beispiel das genaue Intervallprogramm, die Intensität, der Umfang, die individuelle Regeneration, der Trainingszustand, das Trainingsalter, die Trainingsphase oder auch noch viele andere Punkte eine zu wichtige Rolle spielen.

11 Tapering

Houmard et al. (2009) schreibt auch vom sogenannten Tapering als Trainingsmethode, einer Phase vor einem Wettkampf, wo das Training reduziert wird, um die Leistung zu verbessern, und in der das Training eigentlich wirken soll. Hier ist jedoch die optimale Durchführung noch nicht bewiesen worden.

Kubukeli et al. (2002) schreiben in ihrem Artikel, dass die Reduktion des Trainings eine bestimmte Zeit vor einem Wettkampf, genannt Tapering noch schlecht verstanden ist. Es ist aber auf alle Fälle wichtiger die Trainingsintensität im Gegensatz zum Trainingsumfang aufrechtzuerhalten.

Natürlich ist es auch möglich, dass das optimale Tapering von der Intensität des bisherigen Trainings abhängt (Kubukeli et al, 2002).

12 - 14 Tage vor einem Wettkampf sollte das Training drastisch reduziert werden. Viele Athleten haben jedoch immer noch die Angst, dass eine Reduktion auf Kosten der Fitness geht.

Es gibt keine Studie, die das Optimum an Reduktion beschreibt, jedoch ist es wichtig die Intensität aufrechtzuerhalten und nur den Umfang zu reduzieren (Kubukeli et al, 2002).

Eine Studie berichtet über männliche Langstreckenläufer die ihren Trainingsumfang über 3 bis 4 Wochen um 70% reduzierten und trotzdem bei einem Wettkampf ihre 5km-Laufleistung um 1 % von 16,8 auf 16,6 Minuten verbesserten.

Langsamere Laufzeiten wurden mit einem höheren Kohlehydratstoffwechsel während dem Wettkampf assoziiert, obwohl es keine Veränderungen im Plasmavolumen und VO₂peak gab (Kubukeli, 2002).

Weiters kann, im Gegensatz zur Reduktion des Umfangs, ein Anstieg der Trainingsintensität in der Taperingphase die Leistung steigern.

Teilnehmer einer Studie testeten nach einer 4-Wochen dauernden Trainingsperiode jeweils Taperphasen von nur einer Woche. In den 4 Wochen trainierten die Teilnehmer 80 Kilometer in der Woche mit einer VO₂max von 70 – 80 %. Anschließend machten eine Gruppe entweder komplett Pause, andere liefen mit einer Intensität von < 60 % der VO₂max insgesamt 30 Kilometer/Woche die letzte Woche, wieder andere machten hochintensives Sprinttraining mit 120 % der VO₂max und insgesamt 10 Kilometern in der Woche.

In der 2. Gruppe wurde die Intensität um 15 % und der Umfang um 60 % reduziert, die 3. Gruppe ersetzte das normale Training durch jeweils 3 - 5 500m-Intervallläufe am Tag mit

6 - 7 Minuten Pausendauer (Kubukeli et al, 2002).

Das Ergebnis war verblüffend:

Diejenigen die den Trainingsumfang um 60 % reduzierten hatten Anstiege in der isometrischen Kontraktionsstärke des Quadrizeps ohne jedoch die VO₂peak zu verändern.

Das Intervalltraining der 3. Gruppe ließ das Blutvolumen, die Citratsynthaseaktivität im Muskel und zu guter letzt die Wettkampfleistung steigen. Die 1500m-Leistungen verbesserten sich von 320 auf 250 Sekunden um ca. 20 % (Kubukeli et al, 2002).

Houmard et al. (2009) untersuchten ebenso die Wirkung einer Form des Taperings bei dem der Umfang um 85 % reduziert wurde und stattdessen ein intensives Intervalltraining mit 90 % der VO₂peak durchgeführt wurde. Das Tapering dauerte ebenso nur eine Woche und wurde von einigen Teilnehmern am Rad durchgeführt, die anderen liefen.

Die Intervalle am Rad hatten keinen positiven Einfluss auf die 5km-Laufleistung, die Laufintervalle jedoch reduzierten die Zeit um 3 % von 17,3 auf 16,8 Minuten.

Eine weitere Studie wurde mit Radfahrern gemacht, die eine Stunde am Tag, 5 Tage die Woche, mit einer VO₂peak von 75 - 85 % fuhren und anschließend ihren Trainingsumfang um 50 % reduzierten. Die 1. Gruppe führte das Tapering für 4 Tage, die 2. Gruppe um 8 Tage durch.

Beide Formen erhöhten die Leistung an der aeroben Schwelle um ca. 27 Watt, was 11 % entspricht.

Über die Anpassung und Auswirkungen auf eine Wettkampfleistung wurde nichts gefunden (Kubukeli, et al, 2002).

Eine weitere Studie mit Mittelstreckenläufern ergab, dass eine Reduktion des intensiven Intervall – und des Dauertrainings um 50 bis 75 % über 6 Tage die Erythrozytenanzahl und die Hämoglobinkonzentration senkte, aber keinen signifikanten Effekt auf die 800m-Laufzeit hatte (Kubukeli, et al, 2002).

Zavorsky (2000) schreibt, dass aerobes Ausdauertraining die maximale Herzfrequenz senken kann und diese nach Beendigung jedoch wieder ansteigen kann. Auch Tapering kann die maximale Herzfrequenz wieder erhöhen.

Insgesamt können Veränderungen von 3 – 7 % auftreten.

Der Autor schreibt weiters, dass es eine hohe Korrelation ($r = 0,76$) zwischen der Veränderungen der Hf_{max} und der VO_{2mx} gibt was das sowohl das Training als auch was das Tapering betrifft (Zavorsky, 2000).

11.1 Tapering contra Trainingspause

Andere Studien haben ergeben, dass 2 - 4 Wochen Trainingspause bereits eine niedrigere maximale Sauerstoffaufnahme zu Folge hat. Dies scheint mit einer verringerten Herzleistung und auch einem verringerten Schlagvolumen bei gleichzeitiger geringerer oder nicht auftretender Veränderung der maximalen Herzfrequenz einher zu gehen (Neufer, 1989).

Der Abfall der Enzymaktivitäten in der Skelettmuskulatur ist nicht unbedingt mit Veränderungen der VO_{2max} verbunden, jedoch kann dies mit einer beschleunigten Kohlehydratverbrennung und Laktatproduktion bei einer bestimmten Intensität in Beziehung stehen (Neufer, 1989).

Anpassungen eines aeroben Trainings können jedoch trotz reduziertem Training über Monate beibehalten werden (Neufer, 1989).

12 Motorenblock - Schockzyklus

Stolen et al. (2005) sprechen hierbei von einem Zyklus mit dem man innerhalb kürzester Zeit die aerobe Kapazität verbessern kann.

Stolen et al. (2005) machten eine Studie in der der Einfluss eines Motorenblocks auf die VO₂max von Fußballspielerinnen einer norwegischen 2.Ligamannschaft untersucht wurde.

Eine Gruppe, bestehend aus 10 Spielerinnen trainierte jeden Tag 4mal 4 Minuten dauernde Intervalle bei 90 – 95 % der maximalen Herzfrequenz und jeweils 3 Minuten Erholung bei 60 – 70 % HF.

Die andere Gruppe, auch bestehend aus 10 Spielerinnen trainierte nach der Dauerethode, nämlich 28 Minuten kontinuierlich bei 70 – 75 % Hfmax.

Die Dauer des Motorenblocks betrug 10 Tage. Die VO₂max wurde davor und danach gemessen.

Das Ergebnis zeigte eine Verbesserung der VO₂max in der 1.Gruppe um 7,3 % und um 1,8 % in der 2. Gruppe (Stolen et al, 2005).

13 Fazit

Viele Empfehlungen für ein optimales Training basieren entweder auf Studien oder auf Erfahrungen von Trainern mit entweder trainierten oder untrainierten Athleten.

Entscheidend ist meiner Meinung nach die Ausgangsposition in der sich der Athlet befindet.

Nicht jeder Reiz stellt für das Individuum das Optimum dar. Was für einen Untrainierten gewinnbringend ist mag für einen hochausdauertrainierten Spitzenathleten vielleicht nichts nützen.

Die Trainingsform, die Methode, die Dauer und die Intensität müssen weiters natürlich auf das Ziel ausgerichtet werden für das trainiert wird. Dabei spielt wieder die Ausgangsposition die entscheidende Rolle.

Die Arbeit jedoch hat gezeigt, dass selbst für 400m-Läufe ein gewisser Anteil aerober Kapazität notwendig ist, da hier auch die aerobe Energiebereitstellung beteiligt ist. Was soll man also tun? Muss ein 400m-Läufer lange Dauerläufe in sein Training einbauen? Die Antwort liegt nahe und kann von meiner Seite mit einem Nein beantwortet werden, da Studien gezeigt haben, dass mit hochintensiven Intervalltrainings nicht nur die anaerobe, sondern auch die aerobe Kapazität trainiert wird.

Andererseits scheinen lange Dauerläufe gar nicht zu schaden.

Was also das Optimum des Trainings ist, ist weiterhin nicht eindeutig, denn auch wenn sich in dieser Arbeit das Intervalltraining als besser darstellt, gibt es einfach zu viele Variationen bezüglich Dauer, Intensität und Pause, dass man nicht eindeutig sagen kann, was am allerbesten ist.

Wie auch Midgley et al. (2006) in ihrem Artikel schreiben, sind die meisten Trainingsformen – und Methoden ein Produkt aus Versuchen und Experimenten, aus denen man gelernt hat, und das zeigen auch die Studien, die in dieser Arbeit vorkommen, die jedoch eindeutig kurze, intensive Sprintintervalltrainings mit 30 Sekunden dauernden Belastungen als eine der besten Trainings in den Mittelpunkt stellen.

Das Ziel dieser Arbeit war weiters den Effekt des Intervalltrainings im Vergleich zu einem Dauertraining zu durchleuchten.

Die Ergebnisse verschiedenster Studien zeigen dass die Wirkungen beider Trainings verblüffend ähnlich sein können.

Fast alle Studien, bei denen vorwiegend das Thema „Verbesserung der VO₂max“ im Vordergrund steht, beweisen, dass jedoch ein hochintensives Intervalltraining sehr gut,

wenn nicht am besten dafür geeignet ist, einfach aus dem simplen Grund weil es nicht nur die besseren Ergebnisse lieferte sondern auch vielmehr die zeitsparendere Methode war und ist.

Training mit hohen Intensitäten kann also dieselben Veränderungen herbeiführen wie ein langes weniger intensiveres Training, auch wenn die Gesamtbelastungszeit und der Gesamtenergieumsatz nicht ident sind.

Ein weiterer Vorteil von einem Intervalltraining ist auch die mögliche Verbesserung der Erholungsfähigkeit durch sogenannte lohnende Pausen, deren Dauer man auch verändern und verringern kann.

Eine interessante Methode um die Ausdauerleistungsfähigkeit zu verbessern wäre also eine Dauermethode mit einer intensiven Intervallmethode zu kombinieren, in dem man in einen 60-minütigen Dauerlauf kurze Sprints oder längere Intervalle einbaut, und so verschiedene Intensitätsbereiche anspricht, und sowohl die aerobe und anaerobe Kapazität, die Erholungsfähigkeit, die Sprintfähigkeit, und auch den Fettstoffwechsel trainiert.

Ideal wäre diese Form, die in der Literatur auch unter der Bezeichnung „Fahrtspiel“ auftritt, natürlich dann auch für Sportarten wo kurze, intensive Belastungen durch lockere Phasen unterbrochen werden.

Als Abschluss muss und kann man also sagen, dass die Anpassungen durch beide Trainingsmethoden, die Dauer – und die Intervallmethode ähnlich, jedoch bei einem Intervalltraining größer sind.

Die Tatsache, dass bei wiederholter, intensiver Belastung auch ein großer Anteil oxidativer Energiebereitstellung beteiligt ist und auch der Fettstoffwechsel verbessert wird, spricht für das Intervalltraining und ist der entscheidende Punkt der Thematik, dass dieses intervallartige Training nicht nur anaerobe, sondern auch die aerobe Kapazität sehr verbessert.

Literaturverzeichnis

- Aughey, R.J., Murphy, K.T., Clark, S.A., Garnham, A.P., Snow, R.J., Cameron-Smith, D., Hawley, J.A., McKenna, M.J. (2007). Muscle Na⁺-K⁺-ATPase activity and isoform adaptations to intense interval exercise and training in well-trained athletes. *J Appl. Physiol*, 103(1), 39-47
- Bergmann, B.C., Butterfield, G.E., Wolfel, E.E., Cassazza, G.A., Brooks, G.A. (1999). An evaluation of exercise and training on muscle lipid metabolism. *Am J Physiol*, 276, 106-117.
- Babraj, J.A, Volvaard, N.B, Keast, C., Guppy, F.M, Cottrell, G., Timmons, J.A. (2009). Extremely short duration high intensity interval training substantially improves insulin action in young healthy males. *BMC Endocr Disord*, 28; 9:3.
- Billat, L.V. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle - and long - distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Med*, 31(1), 13-31.
- Billat, L.V. (2001). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle - and long - distance running. Part II: anaerobic interval training. *Sports Med*, 31(2), 75-90.
- Burgomaster, K.A., Heigenhauser, G.J., Gibala, M.J. (2006). Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J Appl Physiol*, 100(6), 2041-2047.
- Burgomaster, K.A., Howarth, K.R., Phillips, S.M., Rakobowchuk, M., Macdonald, M.J., McGee, S.L., Gibala, M.J. (2007). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol*, 586(1), 151-160.
- Burgomaster, K.A., Hughes, S.C., Heigenhauser, G.J., Bradwell, S.N., Gibala, M.J. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol*, 98(6), 1985-1990.
- Burke, J., Thayer, R., Belcamino, M. (1994). Comparison of effects of two interval-training programmes on lactate and ventilatory thresholds. *Br J Sports Med*, 28(1), 18-21.
- Carter, H., Jones, A.M., Barstow, T.J., Burnley, M., Williams C., Doust, J.H. (2000). Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *J Appl. Physiol*, 89(5), 1744-52.
- Daussin, F.M., Zoll, J., Dufour, S.P., Ponsot, E., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., Mettauer, B., Piquard, F., Geny, B., Richard, R. (2008). Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 295(1), 264-72.
- Demarle, A.P., Slawinski, J.J., Laffite, L.P., Bocquet, V.G., Koralsztein, J.P., Billat, V.L. (2001). Decrease of O₂ deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. *J Appl Physiol*, 90(3), 947-53.
- Denadai, B.S., Ortiz, M.J., Greco, C.C., de Mello, M.T. (2006). Interval training at 95% and 100% of the velocity at VO₂max: effects on aerobic physiological indexes and running performance. *Appl Physiol Nutr Metab*, 31(6), 737-43.
- Esfarjani, F., Laursen, P.B. (2007). Manipulating high-intensity interval training: effects on VO₂max, the lactate threshold and 3000m running performance in moderately trained males. *J Sci Med Sport*, 10(1), 27-35.
- Faude, O., Kindermann, W., Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med*, 39(6), 469-90.
- Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M.S., Pedersen, P.K. (1998). Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Med Sci Sports Exerc*, 30(8), 1250-6.
- Friedlander, A.L., Casazza, M.A., Horning, M.A., Brooks, G.A. (1999). Plasma free fatty acid rate of appearance is increased in men following endurance training. *J Appl Physiol*, 86, 2097-2105.

- Gastin, P.B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med*, 31, 725-741.
- Gibala, M.J., McGee, S.L. (2008). Metabolic adaptations to short-term high intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev*, 36(2), 58-63.
- Gibala, M.J., Little, J.P., Van Essen, M., Wilkin, G.P., Burgomaster, K.A., Safdar, A., Raha, S., Tarnopolsky, M.A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol*, 575(Pt3), 901-911.
- Hamilton, R.J., Paton, C.D., Hopkins, W.G. (2006). Effect of high-intensity resistance training on performance of competitive distance runners. *Int J Sports Perform*, 1(1), 40-9.
- Harmer, A.R., McKenna, M.J., Sutton, J.R., Snow, R.J., Ruell, P.A., Booth, J., Thompson, M.W., Mackay, N.A., Stathis, C.G., Cramer, R.M., Carey, M.F., Eager, D.M. (2000). Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. *J Appl Physiol*, 89(5), 1793-1803.
- Helgerud, J., Hoydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjeerkas, M., Simonsen, T., Helgesen, T., Hjørth, N., Bach, R., Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc*, 39(4), 665-71.
- Hoppeler, H., Fluck, M. (2003). Plasticity of skeletal muscle mitochondria: structure and function. *Med Sci Sports Exerc*, 35(1), 95-104.
- Houmard, J.A. (2009). Endurance athletes: what is the optimal training strategy? *Int J Sports Med*, 30(5), 313-4.
- Iaia, F.M., Hellsten, Y., Nielsen, J.J., Fernström, M., Sahlin, K., Bangsbo, J. (2008). Four weeks of speed endurance training reduces energy expenditure during exercise and maintains muscle oxidative capacity despite a reduction in training volume. *J Appl Physiol*, 106(1), 73-80.
- Jacobs, I., Esbjörnsson, M., Sylvén, C., Holm, I., Jansson, E. (1987). Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Med Sci Sports Exerc*, 19, 368-374.
- Kemi, O.J., Haram, P.M., Loennechen, J.P., Osnes, J.B., Skomedal, T., Wisloff, U., Ellingsen, O. (2005). Moderate vs. high exercise intensity: differential effects on aerobic fitness, cardiomyocyte contractility, and endothelial function. *Cardiovasc Res*, 67(1), 161-72.
- Kubukeli, Z.N., Noakes, T.D., Dennis, S.C. (2002). Training techniques to improve endurance exercise performance. *Sports Med*, 32(8), 489-509.
- Laursen, P.B., Jenkins, D.G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med*, 32(1), 53-73.
- Laursen, P.B., Shing, C.M., Peake, J.M., Coombes, J.S., Jenkins, D.G. (2002). Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Med.Sci Sports Exerc*, 34(11), 1801-1807.
- Laursen, P.B., Shing, C.M., Peake, J.M., Coombes, J.S., Jenkins, D.G. (2005). Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. *J Strength Cond Res*, 19(3), 527-33.
- Lehmann, M., Dickhut, H.H., Gendrich, G., Lazar, W., Thum, M., Kaminski, R., Aramendi, J.F., Peterke, E., Wieland, W., Keul, J. (1992). Training-overtraining. A prospective, experimental study with experienced middle- and long-distance runners. *Int J Sports Med*, 12(5), 444-52.
- Lehmann, M., Gastmann, U., Petersen, K.G., Bachl, N., Seidel, A., Khalaf, A.N., Fischer, S., Keul, J. (1992). Training-overtraining: performance, and hormone levels, after a defined increase in training volume versus intensity in experienced middle- and long-distance runners. *Br J Sports Med*, 26(4), 233-42.
- MacDougall, J.D., Hicks, A.L., MacDonald, J.R., McKelvie, R.S., Green, H.J., Smith, K.M. (1998). Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol*, 84, 2138-2142.
- McKenna, M.J., Heigenhauser, G.J.F., McKelvie, R.S., Obminski, G., MacDougall, D.G., Jones, L.N.

- (1997). Enhanced pulmonary and active skeletal muscle gas exchange during intense exercise after sprint training in men. *J Physiol*, 501(3), 703-716.
- McNicol, A.J., O'Brien, B.J., Paton, C.D., Knez, W.L. (2009). The effects of increased absolute training intensity on adaptations to endurance exercise training. *J Sci Med Sport*, 12(4), 485-9.
- Midgley, A.W., McNaughton, L.R., Jones, A.M. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Med*, 37(10), 857-80.
- Midgley, A.W., McNaughton, L.R., Wilkinson, M. (2006). Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners? : Empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sports Med*, 36(2), 117-132.
- Musa, D.I., Adeniran, S.A., Dikko, A.U., Sayers, S.P. (2009). The effect of a high-intensity interval training program on high-density lipoprotein cholesterol in young men. *J Strength Cond Res*, 23(2), 587-592.
- Neufer, P.D. (1989). The effect of detraining and reduced training on the physiological adaptations to aerobic exercise training. *Sports Med*, 8(5), 302-20.
- O'Brien, B.J., Wibskov, J., Knez, W.L., Paton, C.D., Harvey, J.T. (2008). The effects of interval-exercise duration and intensity on oxygen consumption during treadmill running. *J Sci Med Sport*, 11(3), 287-90.
- Parra, J., Cadefau, J.A., Rodas, G., Amigo, N., Cusso, R. (2000). The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. *Acta Physiol Scand*, 169(2), 157-65.
- Paton, C.D., Hopkins, W.G., Cook, C. (2009). Effects of low - vs. high - cadence interval training on cycling performance. *J Strength Cond Res*, 23(6), 1758-63.
- Pilegaard, H., Ordway, G.A., Saltin, B., Neufer, P.D. (2000). Transcriptional regulation of gene expression in human skeletal muscle during recovery from exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 279(4), 806-814.
- Priest, J.W., Hagan, R.D. (1987). The effects of maximum steady state pace training on running performance. *Br J Sports Med*, 21(1), 18-21.
- Rakobowchuk, M., Tanguay, S., Burgomaster, K.A., Howarth, K.R., Gibala, M.J., MacDonald, M.J. (2008). Sprint interval and traditional endurance training induce similar improvements in peripheral arterial stiffness and flow-mediated dilation in healthy humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 295(1), 236-42.
- Renoux, J.C, Petit, B., Billat, V., Koralsztein J.P. (1999). Oxygen deficit is related to the exercise time to exhaustion at maximal aerobic speed in middle distance runners. *Arch Physiol Biochem*, 107, 280-285.
- Seifi-Skishahr, F., Siahkohian, M., Nakhostin-Roohi, B. (2008). Influence of aerobic exercise at high and moderate intensities on lipid peroxidation in untrained men. *J Sports Med Phys Fitness*, 48(4), 515-521.
- Smith, T.P., Coombes, J.P., Geraghty, D.P. (2003). Optimising high-intensity treadmill training using the running speed at maximal O₂ uptake and the time for which this can be maintained. *Eur J Appl Physiol*, 89(3-4), 337-43.
- Stephens, N.K., Hawley, J.A., Dennis, S.C. & Hopkins, W.G. (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Med Sci Sports Exerc*, 31 (5), 736-741.
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., Wisloff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Med*, 35(6), 501-36.
- Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Myachi, M., Yamamoto, K. (1996). Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Med Sci Sports Exerc*, 28 (10), 1327-30
- Talanian, J.L., Galloway, S.D., Heigenhauser, G.J., Bonen, A., Spriet, L.L. (2006). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *J Appl Physiol*, 102(4), 1439-47.

- Tanisho, K., Hirakawa, K. (2009). Training Effects on Endurance Capacity in Maximal Intermittent Exercise: Comparison Between Continuous and Interval Training. *J Strength Cond Res*.
- Tartibian, B., Azadpoor, N., Abbasi, B. (2009). Effects of two different type of treadmill running on human blood leukocyte populations and inflammatory indices in young untrained men. *J Sports Med Phys Fitness*, 49(2), 214-223.
- Thomas, T.R., Adeniran, S.B., Etheridge, G.L. (1984). Effects of different running programs on VO₂ max, percent fat, and plasma lipids. *Can J Appl Sport Sci*, 9(2), 55-62.
- Trappe, S., Harber, M., Creer, A., Gallagher, P., Slivka, D., Michev, K., Whitsett, D. (2006). Single muscle fiber adaptations with marathon training. *J Appl Physiol*, 101(3), 721-7.
- Westgarth-Taylor, C., Hawley, J.A., Rickard, S., Myburgh, K.H., Noakes, T.D., Dennis, S.C.: (1997). Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 75(4), 298-304.
- Weston, A.R., Myburgh, K.H., Lindsay, F.H., Dennis, S.C., Noakes, T.D., Hawley, J.A. (1997). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 75(1), 7-13.
- Yeo, W.K., Paton, C.D., Garnham, A.P., Burke, L.M., Carey, A.L., Hawley, J.A. (2008). Skeletal muscle adaptation and performance responses to once a day versus twice every second day endurance training regimes. *J Appl Physiol*, 105(5), 1462-70.
- Zavorsky, G.S. (2000). Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training and tapering. *Sports Med*, 29(1), 13-26.
- Zintl, F., Eisenhut, A. (2004). *Ausdauertraining. Grundlagen – Methoden – Trainingssteuerung*. (5.Auflage) München: BLV Verlagsgesellschaft mbH.

Anhang

Lebenslauf

Geburtsdatum: 23.05.1983

Geburtsort: St.Pölten

Nationalität: Österreich

Adresse:

Bretschkastraße 8

3550 Langenlois

Ausbildung:

1989-1993 Volksschule 3550 Langenlois

1993-1997 Bundesrealgymnasium Piaristengasse 3500 Krems

1997-2001 Bundesoberstufenrealgymnasium 3500 Krems

2001-2002 Grundwehrdienst beim österreichischen Bundesheer

2002-2007 Bakkalaureatsstudium Gesundheitssport

2007-2010 Magisterstudium Sportwissenschaften

Praktika:

September 2005: Praktikum im Institut für präventive und angewandte Sportmedizin im
Landeskrankenhaus Krems

März - Juni 2008: Praktikum in der Ordination für Sportheilkunde und Innere Medizin
v. Dr. Heribert Waitzer in St.Pölten