

Aus der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik Tübingen
Abteilung Innere Medizin V - Sportmedizin
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. A. Nieß

**Die Bestimmung der aeroben und anaeroben Leistungsfähigkeit
im Jahreslängsschnitt
bei trainierten und untrainierten Männern**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der

MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Emanuela Heller
aus Ochsenhausen

2007

Dekan:	Professor Dr. I. B. Autenrieth
1. Berichterstatter:	Professor Dr. A. Nieß
2. Berichterstatter:	Professor Dr. H. Northoff

Omnia mutantur nos et mutamur in illis.

Kaiser Lothar I. (795-855)

Meinen Eltern und Geschwistern
in Dankbarkeit
zur Freude

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	9
1.1 Allgemeines	9
1.2 Aerobe Leistungsdiagnostik	9
1.3 Anaerobe Leistungsdiagnostik	13
1.4 Problemstellung	14
1.5 Untersuchungsziele	15
2. Untersuchungsgut und Methoden	17
2.1 Probanden	17
2.1.1 Auswahlkriterien	17
2.1.2 Trainingsphasen und Trainingsumfang der Probandengruppe I	18
2.1.3 Anthropometrische Daten	20
2.2 Voruntersuchungen	20
2.3 Mehrstufentest	21
2.3.1 Vorbereitung	21
2.3.2 Belastungsmodus	21
2.3.3 Laktatbestimmung	22
2.3.4 Herzfrequenzmessung	23
2.4 Submaximale Sprinttestserie	23
2.4.1 Vorbereitung	23
2.4.2 Ermittlung der Laufgeschwindigkeit für die submaximale Sprinttestserie	24
2.4.3 Untersuchungsablauf	24
2.4.4 Laktatmessung	25
2.4.5 Messung der Sprintdauer	25
2.5. Modus der Auswertung	25
2.5.1 Mehrstufentest	25
2.5.2 Sprinttestserie – Bestimmung der Anaeroben Kapazität	26
2.6. Statistik	28

3. Ergebnisse	29
3.1 Allgemeine Ergebnisse	29
3.2 Mehrstufentest	29
3.2.1 Geschwindigkeit	29
3.2.1.1 Geschwindigkeit an der individuellen anaeroben Schwelle V_{IAS}	29
a) V_{IAS} der Trainierten	30
b) V_{IAS} der Untrainierten	31
c) V_{IAS} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich	32
3.2.1.2 Geschwindigkeit an der aeroben Schwelle V_{LT}	35
a) V_{LT} der Trainierten	35
b) V_{LT} der Untrainierten	36
c) V_{LT} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich	37
3.2.1.3 Maximalgeschwindigkeit im Mehrstufentest V_{MAX}	39
3.2.2 Laktatdiagnostik	40
3.2.2.1 Laktatwerte in Ruhe	41
a) Laktatwerte in Ruhe der Trainierten	41
b) Laktatwerte in Ruhe der Untrainierten	41
c) Laktatwerte in Ruhe der Trainierten und Untrainierten im Vergleich	42
3.2.2.2 Laktat an der individuell-anaeroben Schwelle LK_{IAS}	42
a) LK_{IAS} der Trainierten	42
b) LK_{IAS} der Untrainierten	43
c) LK_{IAS} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich	44
3.2.2.3 Laktat an der aeroben Schwelle LK_{LT}	46
a) LK_{LT} der Trainierten	46
b) LK_{LT} der Untrainierten	47

c) LK_{LT} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich	48
3.2.2.4 Laktatwerte an der maximalen Laufgeschwindigkeit LK_{MAX}	51
a) LK_{MAX} der Trainierten	51
b) LK_{MAX} der Untrainierten	52
c) LK_{MAX} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich	53
3.2.3 Herzfrequenzen	55
3.2.3.1 Herzfrequenzen in Ruhe HF_{Ruhe}	55
3.2.3.2 Herzfrequenzen an der individuellen anaeroben Schwelle HF_{IAS}	57
a) HF_{IAS} der Trainierten	57
b) HF_{IAS} der Untrainierten	58
c) HF_{IAS} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich	59
3.2.3.3 Herzfrequenzen an der aeroben Schwelle HF_{LT}	60
a) HF_{LT} der Trainierten	60
b) HF_{LT} der Untrainierten	61
c) HF_{LT} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich	62
3.2.3.4 Herzfrequenzen an der maximalen Laufgeschwindigkeit HF_{MAX}	64
a) HF_{MAX} der Trainierten	64
b) HF_{MAX} der Untrainierten	65
c) HF_{MAX} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich	66
3.3 Sprinttestserie	67
3.3.1 Anaerobe Kapazität der Trainierten	67
3.3.2 Anaerobe Kapazität der Untrainierten	68
3.3.3 Anaerobe Kapazität der Trainierten und Untrainierten im Vergleich	69
4. Diskussion	71
4.1 Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit	72

4.2 Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit	75
4.3 Schlussfolgerungen	79
5. Zusammenfassung	81
6. Literaturverzeichnis	83

1. Einleitung

1.1 Allgemeines

Höher, schneller, weiter, die Konkurrenz bei allen Wettkämpfen, sei es auf dem Fussballplatz oder bei der Tour De France, wird immer stärker. Wer sich als Leistungssportler behaupten will, sollte überdurchschnittlich viel Talent mitbringen und enorm hart trainieren. Einfacher ist es, mit Anabolika und anderen Dopingmitteln der eigenen Leistungsfähigkeit auf die Sprünge zu helfen, wie zahlreiche Beispiele aus dem nationalen und internationalen Sportgeschehen belegen.

Die konventionelle Art der Leistungssteigerung ist das gezielte Training der jeweils geforderten Muskeln, des Nervensystems und anderer Stoffwechselforgänge. So baut ein Radsportler vorwiegend Bein- und Rumpfmuskulatur auf, eine Gymnastin wird auf Beweglichkeit und Kraftausdauer setzen und ein 400m Läufer wird versuchen, seine anaerobe Leistungsfähigkeit zu steigern.

Nicht nur die Quantität sondern vor allem die Qualität des Trainings ist entscheidend, und die Effektivität hängt von vielen unterschiedlichen Faktoren ab, unter anderen auch von individuellen Eigenschaften und Veranlagungen (12, 27,68). Gleiche Trainingsreize führen aufgrund individueller Unterschiede zu unterschiedlich starken Trainingseffekten (44). Es stellt sich die Frage nach der Effektivität eines Trainings und Trainingsplans und ihrer Überprüfbarkeit in Längsschnittuntersuchungen durch entsprechende valide und reliable Testverfahren.

1.2 Aerobe Leistungsdiagnostik

Die Geschichte der aeroben Leistungsdiagnostik reicht schon bis in die 30er Jahre des vorigen Jahrhunderts zurück (23,24). In den 50er und 60er Jahren

erwies sich die Fahrradergometrie zur Beurteilung der allgemeinen körperlichen Leistungsfähigkeit als geeignet (65). Um der Forderung der sportartspezifischen Leistungsdiagnostik nachzukommen, wurden ab ca. 1970 speziell die Laufband-, Skilanglauf-, Ruder- und Schwimmergometrie eingeführt (65), von denen in der Sportmedizin heute insbesondere der Laufbandbelastung eine große Bedeutung zukommt (41). Demgegenüber wird die Radergometrie in einigen Fachbereichen (z.B. Kardiologie) zur medizinischen Diagnostik z.B. von Durchblutungsstörungen des Herzens eingesetzt.

Anfang des letzten Jahrhunderts stand aus klinischer Sicht die Messung des Funktionszustandes von Lunge und Herz zur Beurteilung des allgemeinen Gesundheitszustandes und zur Abschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit im Vordergrund. Nachdem zunächst die Bestimmung der Herzfrequenzen unter Belastung als Kennwerte für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit dienten, wurde Mitte der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts die Laktatdiagnostik im Mehrstufentest von Mader et al. als Maß für die aerobe und teilweise auch anaerobe Leistungsfähigkeit eingeführt (46). Der Laktat-Mehrstufentest auf dem Laufband und dem Fahrradergometer ist heute wohl das meistgebräuchliche Testverfahren zur Leistungsdiagnostik in der Sportmedizin (37).

Der Laktatwert in Ruhe liegt normalerweise bei ca. 1 mmol/l. Bei stetig steigender Belastung, wie im Mehrstufentest, verändern sich die Laktatwerte in der Anfangsphase kaum. Laktatbildung und -abbau in Skelettmuskel, Herzmuskel und Leber liegen im Gleichgewicht (sog. Fließgleichgewicht oder „Steady-state“). Bei weiterer Belastungszunahme erfolgt die Energiebereitstellung zu einem immer grösser werdenden Teil durch anaerobe Glykolyse, deren Stoffwechselprodukt das Laktat darstellt. Es kommt zur Laktatakkumulation (41). Aus dem Verlauf der Laktatkonzentration, abgenommen zwischen den Belastungsstufen bei zunehmender Belastung, erhält man eine Laktatleistungskurve (aufgetragen gegen die Laufgeschwindigkeit bei der Laufbandergometrie oder der Wattzahl beim

Fahrradergometrie), deren Verlauf während der unterschiedlichen Belastungsstufen Rückschlüsse erlaubt auf Parameter wie LT (Laktatschwelle) oder IAS (individuell-anaerobe Schwelle), auf die später noch eingegangen werden soll.

Grundsätzlich sind beim Mehrstufentest Stufendauer, Belastungszunahme (Inkrement) und auch Eingangsbelastung variabel. Mittlerweile wird bei einem Mehrstufentest auf dem Laufband meist eine Eingangsgeschwindigkeit von 4 bis 6 km/h bei einer Stufendauer von 3 Minuten und einer Steigerung um 2 km/h pro Belastungsstufe bei einer Laufbandsteigung von einem Grad angewandt.

1976 prägte Mader (46) den Begriff der individuell-anaeroben Schwelle, auch Leistungsgrenze genannt, als den Bereich vom Übergang der aeroben zur (laktazid) anaeroben Energiebereitstellung. Diese Schwelle wurde von Mader bei 4 mmol/l als sogenannte 4 mmol-Schwelle festgesetzt. Dieses Konzept liess sich jedoch fast nur bei Sportlern mit geringer oder mittlerer Ausdauerleistung anwenden. Bei Sportlern mit hoher Ausdauerleistungsfähigkeit, z.B. bei Marathonläufern, wurden meist zu hohe Geschwindigkeiten an der Dauerleistungsgrenze gemessen, zumal nicht alle Läufer diese 4 mmol-Schwelle überschritten (18, 19).

In der weiteren Entwicklung wurden eine ganze Reihe neuer, individueller Schwellenkonzepte erarbeitet (11,39,66,67,72), von denen hier nur auf einige eingegangen werden soll. Stegmann et al. ermittelten 1981 die individuell-anaerobe Schwelle (IAS) anhand des Laktatverlaufs unter Belastung und in der Erholungsphase. Durch den Laktatwert in der Erholungsphase, der dem Laktat bei Belastungsabbruch entsprach, wurde eine Tangente an die Laktat-Leistungskurve gelegt (sog. Tangentenverfahren, 72). Simon et al. bestimmten für Schwimmer die individuell-anaerobe Schwelle (IAS) 1,5 mmol/l oberhalb der aeroben Schwelle (LT) (66,67). Ähnlich wie Simon entwickelten Dickhuth et al. 1991 ein Konzept zur Bestimmung der IAS 1,5 mmol/l über dieser LT (aerobe

Schwelle) bei Läufern (11, Abb. 2).

Die aerobe Schwelle (LT) entspricht dabei der Belastungsintensität beim ersten Laktatanstieg auf den unteren Belastungsstufen oder dem „minimalen Laktatäquivalent“, d.h. dem Punkt der Laktat-Leistungskurve, an dem der Quotient Laktat/Leistung am geringsten ist. Diesem Zustand liegt ein Fließgleichgewicht des an- und abflutenden Laktats zugrunde (18). Die Energiegewinnung ist hauptsächlich aerob. Limitierend ist u.a. die verfügbare Menge des Stoffwechselsubstrates Glycogen (18,20).

Die individuelle anaerobe Schwelle (IAS) hingegen kann als „maximales steady-state“ definiert werden, d.h. als der Punkt, an dem bei maximaler Leistung noch ein Gleichgewicht des an- und abflutenden Laktats besteht (71). Unterhalb dieses Punktes sei die Energiebereitstellung hauptsächlich aerob, oberhalb dieses Punktes zunehmend anaerob. Die Bestimmung der IAS im Mehrstufentest dient mithin zur Abschätzung der aeroben Leistungsfähigkeit.

Anhand dieser Laktatleistungskurve mit der LT, IAS und dem Verlauf der Herzfrequenzen können nun konkrete trainingsrelevante Belastungsempfehlungen, v.a. für den aeroben Bereich, abgeleitet werden (1,11,59).

Zur Abschätzung der anaeroben Leistungsfähigkeit eignet sich der Mehrstufentest jedoch nicht. Dies liegt u.a. daran, dass die limitierenden Stoffwechselvorgänge intrazellulär ablaufen und die Laktatmessung nur indirekte Aussagen darüber zulässt (20,25). Zum anderen laufen schon nach ca. 10 Sekunden auch glykolytische Stoffwechselvorgänge ab, alaktazide und laktazide Vorgänge wahrscheinlich schon zu Beginn der Belastung gleichzeitig, sodass eine Differenzierung durch den Mehrstufentest nicht möglich erscheint (64). Schon Anfang der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts wurde deshalb begonnen, neue Testverfahren für die anaerobe Diagnostik zu entwickeln.

1.3. Anaerobe Leistungsdiagnostik

Anhand des anaeroben Testverfahrens nach Wingate (30) wurde auf einem drehzahlabhängigen Ergometer nach einer Aufwärmphase versucht, gegen eine bestimmte Bremskraft eine maximale Drehzahlgeschwindigkeit zu erreichen und zu halten. Die maximale Leistung bei der höchsten Pedalgeschwindigkeit wurde mit der maximalen alaktaziden Leistungsfähigkeit gleichgesetzt. Es zeigte sich jedoch eine Abhängigkeit der maximalen Leistung von mehreren Faktoren, u.a. der eingestellten Bremskraft, sodass dieses Messverfahren keine zuverlässigen Aussagen über die tatsächliche anaerobe Leistungsfähigkeit zulässt.

Monod und Scherrer entwickelten 1965 (52) den Critical-Power-Test, bei dem anhand der maximalen Belastungszeit von drei getrennt durchgeführten submaximalen Belastungen die erbrachte Arbeit berechnet und in ein Arbeits-Zeit-Diagramm aufgetragen wird. Diese Theorie besagt, dass eine grosse Leistung nur über kurze Zeit aufrechterhalten werden kann und eine Leistung geringer Intensität über lange Zeit möglich ist. Die größtmögliche Leistung, die über sehr lange Zeit aufrechterhalten werden kann, wird als Critical Power (CP) bezeichnet. In der Regel sind mehrere Einzeltests mit unterschiedlichen Belastungsintensitäten notwendig, um daraus eine Hyperbel zu erstellen. Nach linearer Regression ergibt sich eine Gerade, deren Schnittpunkt mit der Y-Achse (Y-Achsenabschnitt) der anaeroben Kapazität gleichzusetzen ist (14,16,17,35, Abb. 3).

Abgesehen von dem relativ großen Zeitaufwand weist auch dieses Verfahren weitere Problempunkte auf. So lässt sich auf dem Laufband zwar die horizontale Laufarbeit anhand der gelaufenen Strecke berechnen, die vertikal verrichtete Arbeit ist jedoch nur näherungsweise bestimmbar. Einen weiteren Problempunkt birgt die Beschleunigungszeit des Laufbands oder Fahrradergometers in sich, da bis zum Erreichen der Zielgeschwindigkeit schon Arbeit verrichtet wurde, die keine Berücksichtigung findet.

1.4 Problemstellung

Die Frage nach anwendbaren Messverfahren stellt sich sowohl im Freizeit- als auch besonders im Leistungssport hinsichtlich der Trainingssteuerung und der durch Training induzierten Leistungssteigerung und deren Kontrolle. Ein Leistungssportler fordert sportmedizinische Daten mit Hilfe entsprechender Testverfahren. Er möchte wissen, ob sein Training zu einer Leistungssteigerung geführt hat oder nicht.

Für die aerobe Leistungsdiagnostik steht mit der Bestimmung der IAS im Mehrstufentest ein zuverlässiges und etabliertes Verfahren zur Verfügung. Test-Retest-Ergebnisse ergaben eine Abweichung von nur 1 % (9).

Dass sich durch gezieltes Training Verbesserungen der aeroben Leistungsparameter erreichen lassen, wurde bei Ausdauersportarten wie z.B. im Langstreckenlauf schon gezeigt (56). Auch im anaeroben Bereich ließ sich durch hochintensives Intervalltraining eine Steigerung der anaeroben Kapazität zeigen (26,34,49,50,54,61). Diese Verbesserungen ließen sich an einzelnen Zeitpunkten zeigen, es liegen jedoch noch keine Längsschnittuntersuchungen vor, wie sich die aerobe bzw. anaerobe Leistungsfähigkeit im Laufe eines Jahres nach entsprechenden Trainingsphasen bei spezifisch Trainierten und untrainierten Probanden verhalten.

Das aerobe und anaerobe System wurde bisher getrennt voneinander betrachtet, was sich bei vielen Sportarten, die hauptsächlich auf jeweils ein Energie lieferndes System angewiesen sind, (z.B. Marathonläufer vs. Gewichtheber) durchaus anwenden lässt. Doch wie sieht es bei Sportarten aus, bei denen sowohl aerobe wie auch anaerobe Anforderungen an den Stoffwechsel gestellt werden und deren Training sowohl die Grundlagenausdauerfähigkeit als auch die Sprintfähigkeit steigern soll, wie z.B. bei Mittelstreckenläufern (800m-Läufer) deren Energiebereitstellung auf aerobem und auf anaerobem Weg erfolgt.

Es stellt sich die Frage, ob sich bei solchen Sportarten, die auf beide Energiesysteme angewiesen sind, ebenfalls durch gezieltes Training Verbesserungen der aeroben bzw. anaeroben Parameter ergeben und ob sich diese im Jahreslängsschnitt nach den entsprechenden Trainingsphasen mittels des Laktat-Mehrstufentests (zur Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit mittels IAS) bzw. eines auf der Basis des Critical-Power-Konzepts bestehenden Messverfahrens (zur Bestimmung der anaeroben Kapazität) aufzeigen lassen.

1.5 Untersuchungsziele

Daraus leiten sich folgende Untersuchungsziele ab:

1. Anwendung eines modifizierten Verfahrens nach Monod und Scherrer zur Bestimmung der anaeroben Kapazität als Mass für die anaerobe Leistungsfähigkeit anhand einer submaximalen Sprinttestserie auf dem Laufbandergometer.
2. Anwendung des Mehrstufentests mit Bestimmung der IAS (individuell-anaeroben Schwelle) als Messverfahren für die aerobe Leistungsfähigkeit.
3. Überprüfung der Anwendbarkeit dieser beider Verfahren an zwei Probandenkollektiven (T, UT) die sich in Trainingsniveau und -dynamik grundlegend unterscheiden.

Bewertung der Messdaten unter folgender Fragestellung:

Lässt sich mit den beiden dargestellten Untersuchungsverfahren zur Messung der aeroben bzw. anaeroben Leistungsfähigkeit die der Nullhypothese H_0 (H_0 = es gibt Veränderungen im Jahreslängsschnitt) entsprechenden Veränderungen

in Abhängigkeit der Trainingsphase (in der Grundlagentrainingsphase Verbesserung der aeroben und ein Abfall der anaeroben Leistungsfähigkeit, in der Wettkampfphase umgekehrt Verbesserung der anaeroben und Abfall der aeroben Leistungsfähigkeit) im Jahreslängsschnitt bei speziell trainierten Probanden darstellen?

Im Gegensatz hierzu wird angenommen, dass sich bei nicht spezifisch Trainierten Probanden bzw. Untrainierten keine derartigen Veränderungen zeigen.

2. Untersuchungsgut und Methoden

2.1 Probanden

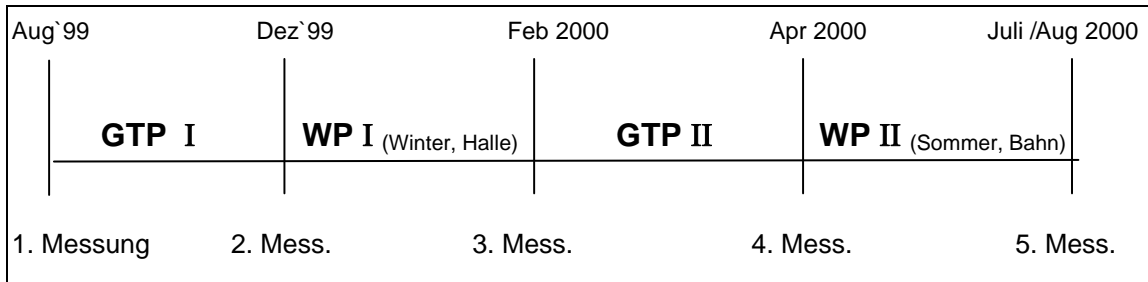
2.1.1 Auswahlkriterien

Es wurden zwei Gruppen von Probanden im Alter von 16 bis 25 Jahren untersucht. Alle Probanden wurden über Untersuchungsziel, Vorgehensweise und mögliche Risiken der Untersuchungen aufgeklärt und gaben ihr Einverständnis zur Teilnahme.

Die erste Gruppe (T, n=5) bestand aus männlichen Mittelstreckenläufern eines hohen Leistungsniveaus, die seit mindestens 2 Jahren ein wettkampfspezifisches Training durchführten. Dieses Training umfasste neben Trainingseinheiten zur Verbesserung der Grundlagenausdauer auch Elemente zur Steigerung der Kraftausdauer und intensive Tempoläufe.

Innerhalb eines Jahres durchliefen die Mittelstreckenläufer (T) verschiedene Trainingsphasen mit unterschiedlichen Trainingsschwerpunkten. Während der ersten Trainingsphase (GTP I) wurden hauptsächlich lange Dauerläufe unterhalb der individuell-anaeroben Schwelle zu Steigerung der Grundlagenausdauer durchgeführt. Danach folgte eine mehrwöchige Wettkampfphase (WP I), in der vorwiegend anaerob trainiert wurde. Anschließend folgte wieder eine Grundlagenausdauertrainingsphase (GTP II) und zum Schluss wieder eine Wettkampfphase (WP II). Vor der ersten Trainingsphase und jeweils am Ende einer Trainings- bzw. Wettkampfphase wurden ein Mehrstufen- und eine sub-maximale Sprinttestserie durchgeführt (Tab.1).

Die zweite Probandengruppe (UT, n=5) setzte sich aus männlichen Freizeitsportlern zusammen, die pro Woche nicht mehr als 1,5 Stunden Sport trieben und deren Trainingsverhalten sich innerhalb des Jahres nicht ändern sollte.



Tab.1: Trainingsphasen im Jahresverlauf (GTP = Grundlagentrainingsphase, WP = Wettkampfphase).

2.1.2 Trainingsphasen und Trainingsumfang der Probandengruppe I

Das Grundlagentraining bestand überwiegend aus lockeren regelmäßigen Dauerläufen, die von mittlerer oder auch längerer Dauer waren. Diese Trainingsphase diente der Verbesserung der Grundlagenausdauer, die Herzfrequenzen während des Trainings lagen niedriger als die Herzfrequenzen an der IAS. Die Zahl der Trainingsstunden pro Woche variierte zwischen 8 und 14 Stunden.

In der Wettkampfphase wurden weniger Dauerläufe durchgeführt. Stattdessen lag hier die Betonung auf wettkampfspezifischen hochintensiven Trainingseinheiten zum Aufbau der Kraftausdauer und des Spitzenbereichs.

Die Probanden nahmen auch an diversen Wettkämpfen teil, nach denen 2 bis 3 Tage pausiert oder regenerative Dauerläufe durchgeführt wurden. Das Wochenpensum lag unter dem des Grundlagentrainings.

Die Bestzeiten der Probandengruppe eins lagen auf 1500 m zwischen 3:56,94 Minuten und 4:22,40 Minuten.

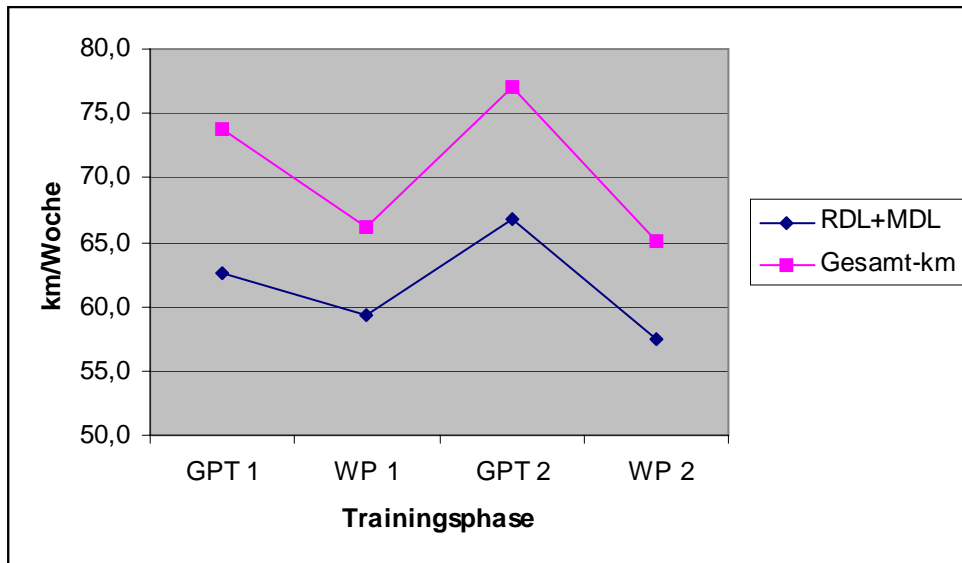


Abb. 1: Gesamttrainingskilometerumfang sowie km-Umfang regenerativer und mittlerer Dauerlauf in den vier Trainingsphasen.



Abb. 2: Km-Umfang Tempodauerlauf und Extensive Tempoläufe sowie intensive Tempoläufe und Wettkampf-km in den vier Trainingsphasen.

2.1.3 Anthropometrische Daten

Gruppe	n	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Grösse (cm)
T	5	18,4 ± 3,6	62,98 ± 8,38	175 ± 4,30
UT	5	24 ± 1	69,04 ± 14,5	176,94 ± 14,06

Tab. 2: Daten der untersuchten Probanden, Mittelwerte mit Standardabweichungen (T = Trainierte, UT = Untrainierte).

2.2 Voruntersuchungen

Vor Untersuchungsbeginn wurden die Probanden einer allgemeinen Anamnese unterzogen. Nach Ausschluss leistungsmindernder oder das subjektive Wohlbefinden beeinträchtigender Faktoren (Erkrankungen, Erkältungen, Muskelkater) wurden Größe, Gewicht, Körperfett, Vitalkapazität und die Ein-Sekunden-Kapazität ermittelt.

Zur Bestimmung der Vital- und Ein-Sekunden-Kapazität wurde ein Spirometer (Vitalograph, Medical Instruments GmbH, England/Irland) verwendet.

Die Probanden wurden zur Messung der Vitalkapazität aufgefordert, nach Inspiration maximal auszuatmen und nach einer Minute zur Bestimmung der Ein-Sekunden-Kapazität nach Inspiration so schnell und kräftig wie möglich auszuatmen.

2.3 Mehrstufentest

2.3.1 Vorbereitung

Am rechten Ohrflüppchen wurde nach durchblutungsfördernden Maßnahmen (mechanische Reibung, durchblutungsfördernde Salbe) mithilfe einer kleinen Lanzette arterialisiertes Kapillarblut entnommen.

Anlegen des Pulsmessers (Polar Sport Tester, Polar Electro, Oy, Finnland) und Bestimmung der Ausgangsherzfrequenz.

2.3.2 Belastungsmodus

0 min Stehen auf dem Laufband

1 min Belastungsbeginn mit 6 km/h
stufenweise Steigerung um 2 km/h nach jeweils 3 Minuten

Anhalten des Laufbandes für max. 30 Sek. zwischen den jeweiligen Geschwindigkeitsstufen zur Kapillarblutentnahme

bis x min Laufen bis zur subjektiven Ausbelastung oder bis HF 220
Schläge/Minute
Belastungsabbruch frühestens nach 2 min der jeweiligen Stufe

+1 bis +5 Erholung im Stehen

Laufbandsteigung: 1 Prozent

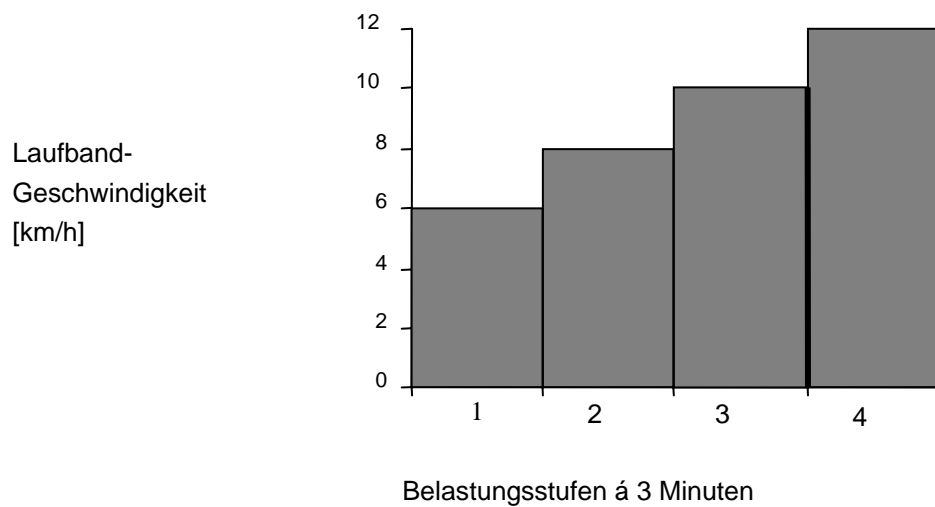


Abb. 3: Darstellung des Belastungsmodus, hier bis zu einer Geschwindigkeit von 12 km/h

2.3.3 Laktatbestimmung

Aus dem gut durchbluteten Ohrläppchen wurde jeweils 20 µl arterialisiertes Kapillarblut entnommen und nach Hämolyse die Laktatkonzentration mit der enzymatischen Methode (ESAT 6661 Lactat, Eppendorf) automatisiert bestimmt und protokolliert.

Zeitpunkte der Blutentnahmen:

- vor Belastungsbeginn
- in den Pausen zwischen den Belastungsstufen (also nach 6, 8, 10, ... km/h)
- nach Ende der Belastung zum Zeitpunkt 0 und 3 Minuten

Normaler Laktatwert in Ruhe: 0,666-2,442 mmol/l
(Kruse-Jarres, Laboratoriumsmedizin 1987)

2.3.4 Herzfrequenzmessung

Die Probanden trugen während des gesamten Mehrstufentests einen Pulsmesser (Polar Sport Tester, Polar Electro, Oy, Finnland) um den Brustkorb. Die Herzfrequenzen (HF) wurden zeitgleich auf dem Laufbandmonitor angezeigt.

Ablesen und Protokollieren der Herzfrequenzen:

- vor Belastungsbeginn
- am Ende der jeweiligen Geschwindigkeitsstufe
- nach Beendigung der Belastung zum Zeitpunkt 0, 1 ,3 und 5 Minuten

2.4 Submaximale Sprinttestserie

2.4.1 Vorbereitung

Vor den hochintensiven submaximale Sprintbelastungen auf dem Laufband wurde den Probanden ein Brustgurt angelegt, der über ein Seil an einem festgeschraubten Stahlgestell über dem Laufband befestigt war. Die Länge des Seiles wurde vor dem Sprint auf einen Knie-Boden-Abstand von 10 cm eingestellt. Die Haltevorrichtung des Gurtes war mit dem Laufband so gekoppelt, dass ein Ziehen am Gurt bzw. das Körpergewicht am Seil automatisch zum unvermittelten Anhalten des Laufbandes führte.

Am Ende der Sprintbelastung konnten sich die Probanden einfach fallen lassen und hingen sicher über dem Laufband.

Nach sorgfältigem Anlegen des Haltegurtes und Einstellen des Seil-Boden-Abstandes war die Durchführung des jeweiligen Sprinttests ohne Gefährdung der Probanden möglich.

2.4.2 Ermittlung der Laufgeschwindigkeit für die submaximale Sprinttestserie

Zur Festlegung der Laufgeschwindigkeiten der Sprintserie wurden zunächst einmalig auf der Laufbahn die maximale Laufgeschwindigkeit ermittelt. Dazu wurden die Probanden aufgefordert, nach ausreichendem Anlauf eine festgelegte Strecke von 10 m möglichst schnell zu durchlaufen.

Dies wurde zwei Mal wiederholt und aus dem Mittelwert der gestoppten Zeiten die maximale Sprinttestgeschwindigkeit errechnet.

2.4.3 Untersuchungsablauf

Eine Sprinttestserie setzte sich aus drei Einzeltests zusammen, zwischen denen jeweils eine Stunde Pause lag. Ziel dieser Pause war es, für die Probanden eine ausreichende Regenerationszeit zu gewährleisten.

Beim ersten Durchlauf wurde mit der ermittelten Maximalgeschwindigkeit gesprintet, beim zweiten bzw. dritten mit 2 bzw. 4 km/h geringerer Geschwindigkeit (Tab. 3).

<i>Sprint</i>	<i>Geschwindigkeit</i>
Nr.1 eine Stunde Pause	22 km/h
Nr.2 eine Stunde Pause	20 km/h
Nr.3	18 km/h

Tab.3: Beispiel für einen Sprinttest bei einer maximalen Geschwindigkeit von 22 km/h.

2.4.4 Laktatmessung

Es wurde vor und nach jedem Einzeltest am hyperämisierten rechten Ohrfläppchen 20 µl arterialisiertes Kapillarblut entnommen.

Die Laktatmessung erfolgte wie beim Mehrstufentest automatisiert.

2.4.5 Messung der Sprintdauer

Die Dauer des jeweiligen Sprinttests wurde per Hand mit einer Stoppuhr gemessen. Dazu wurde der Laufbandergometer auf schnellster Stufe auf die vorgegebene Geschwindigkeit hochgefahren, was in Abhängigkeit der jeweiligen Geschwindigkeit unterschiedlich lange dauerte (Tab.4).

V_{MAX}	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
t	5,5	5,5	6	6,5	7	7	7,5	7,5	8	8,5

Tab.4: Beschleunigungsdauer des Laufbandes (t in Sekunden) bis zum Erreichen der Sprintgeschwindigkeit (V_{MAX} in km/h).

Gestoppt wurde die Zeit zwischen Erreichen der Sprintgeschwindigkeit und Abbruch des Laufs, also die Zeit, die der Proband in der vorgegebenen Geschwindigkeit gelaufen war.

2.5 Modus der Auswertung

2.5.1 Mehrstufentest

Der Laktatkonzentration im Kapillarblut in Ruhe liegt normalerweise bei ca. 1 mmol/l. Bei stetig zunehmender Belastung wie im Mehrstufentest verändert sich

der Laktatwert in der Anfangsphase meist kaum. Bei zunehmender Belastung erfolgt die Energiebereitstellung zu einem immer größer werdenden Teil durch anaerobe Glykolyse, deren Stoffwechselprodukt das Laktat darstellt. Es kommt zur Laktatakkumulation. Aus dem Verlauf der Laktatkonzentration aufgetragen gegen die Laufgeschwindigkeit lassen sich die aerobe Schwelle (LT) und die individuellen anaerobe Schwelle (IAS) ermitteln.

Die IAS gilt als Mass für die aerobe Leistungsfähigkeit und liegt nach Dickhuth et al. (11) 1,5 mmol/l über der LT (Abb.2).

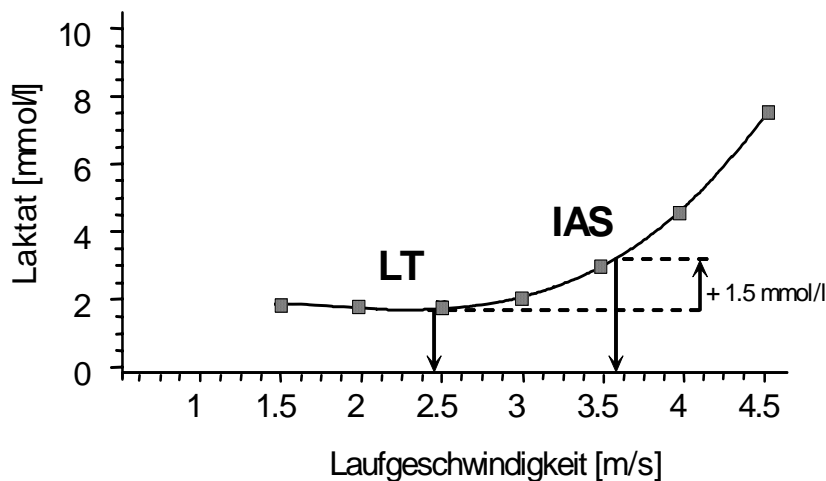


Abb. 4: Bestimmung der individuell-anaeroben Schwelle (IAS [m/s])

2.5.2 Sprinttestserie - Bestimmung der Anaeroben Kapazität AC

Für die Auswertung der Sprinttestserien wurde ein an das Critical-Power-Modell nach Monod/Scherrer (52) angelegtes Testverfahren verwendet. Es wird davon ausgegangen, dass eine Belastungsintensität und die Zeitdauer, die die jeweilige Belastungsintensität aufrechterhalten werden kann in einem hyperbolen Zusammenhang stehen. D.h. eine niedrige Belastung wie z.B. im

Sprint kann über längere Zeit aufrechterhalten werden, eine sehr große Belastung ist nur für kurze Zeit möglich. Trägt man die geleistete Arbeit gegen die Zeit auf, erhält man ein Arbeits-Zeit-Diagramm in Form einer Hyperbel. Je kürzer die Zeit, desto größer ist die verrichtete Arbeit (W in kJ) und je länger die Zeit (t in Sekunden), desto kleiner ist W .

Die Ableitung dieser Hyperbel ergibt annähernd eine Gerade (Abb. 3) mit positiver Steigung und positivem y-Achsenabschnitt, der der anaeroben Kapazität gleichzusetzen ist (14, 17).

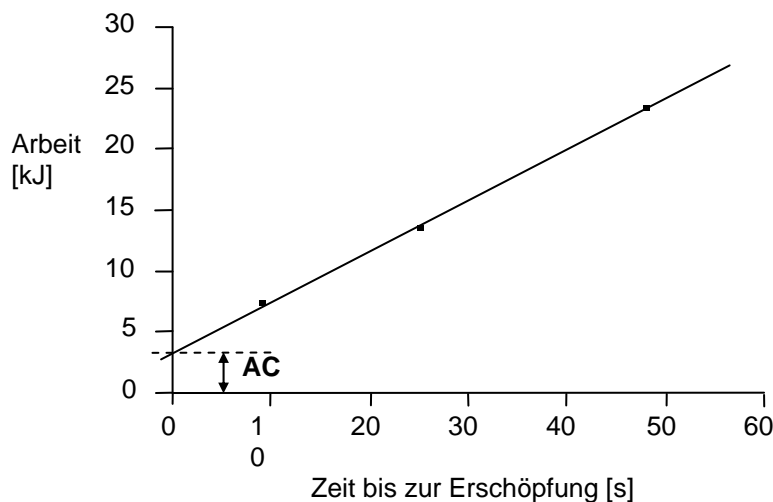


Abb. 5: Bestimmung der anaeroben Kapazität (AC [kJ]).

Anhand folgender Formel ließ sich nach oben genannter Theorie die pro Einzeltest geleistete Arbeit (W in kJ) berechnen:

$$W = [(S \times 0,25 + 2,11) \times KG \times V + 2,2 \times V - 151] : 10,5 \times 1000 \times T$$

S = Steigung, KG = Körpermasse [kg],

V = Laufgeschwindigkeit [km/h], T = Einzeltestdauer [s]

Diese Auswertungen erfolgten unabhängig vom Untersucher in standardisierten PC-Verfahren.

2.6 Statistische Auswertung

Die Rohdaten wurden mit Hilfe des Statistikprogrammes JMP dargestellt und graphisch weiterbearbeitet.

Da sich u.a. aufgrund der geringen Stichprobenzahl keine Normalverteilungen ergaben wurden die Ergebnisse in Form von Medianen und Quartilen dargestellt.

3. Ergebnisse

3.1 Allgemeine Ergebnisse

Das durchschnittliche Körpergewicht der Untrainierten liegt mit 72 kg 5,5 kg über dem der Trainierten, die 66,5 kg wogen. Die Freizeitsportler weisen mit 8,1 % einen höheren Körperfettgehalt auf als die Leistungssportler, deren Wert bei 5,5 % liegt. Die Vitalkapazität ist mit 5,32 l bei beiden Gruppen gleich. Bei der Einsekundenkapazität liegen die Trainierten mit 4,78 l/sec um 0,67 l/sec über dem Wert der Untrainierten (Tab.5).

	T	UT
KG [kg]	66,5 (55,3/ 68)	72 (58/ 78)
Körperfett [%]	5,5 (5/ 7)	8,1 (7,1/ 9,5)
Vitalkapazität [l]	5,32 (4,97/ 5,78)	5,32 (4,53/ 5,93)
FEV₁ [l/sec]	4,78 (3,97/ 5,11)	4,11 (3,86/ 4,78)

Tab. 5: Mediane, 25%- und 75%-Quartile für Gewicht, Körperfett, Vitalkapazität und Ein- Sekunden-Kapazität (FEV₁) der Trainierten (T) und Untrainierten (UT) an den fünf Messterminen.

3.2 Mehrstufentest

3.2.1 Geschwindigkeit

3.2.1.1 Geschwindigkeit an der individuell-anaeroben Schwelle V_{IAS}

Die Mediane der Laufgeschwindigkeiten an der individuell-anaeroben Schwelle (V_{IAS}) der Trainierten liegen mit Werten zwischen 14,7 km/h und 16,21 km/h deutlich höher als die der Untrainierten mit 9,67 km/h und 10,97 km/h (Tab. 6).

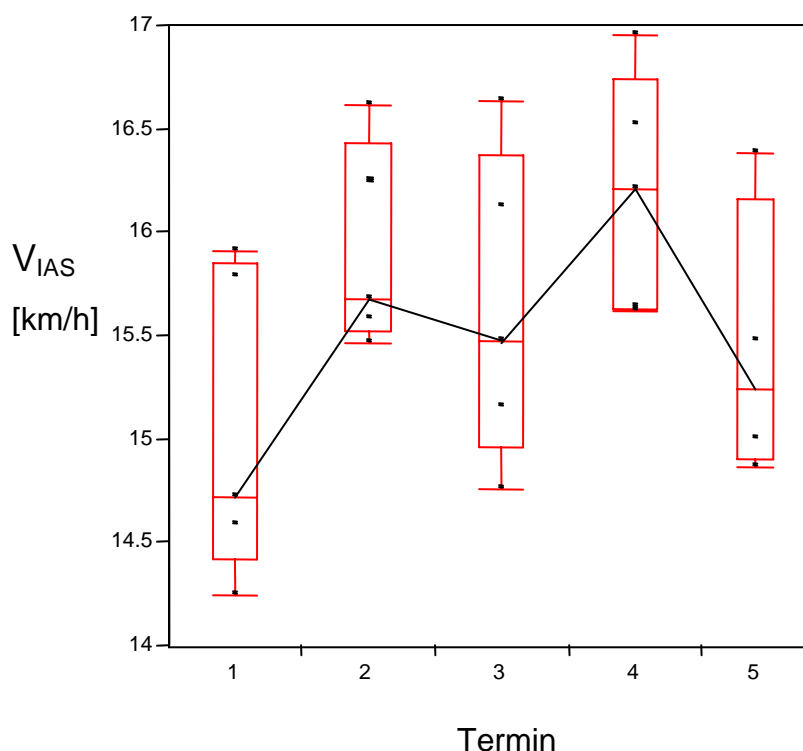
a) V_{IAS} der Trainierten

Abb. 6: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile für die Laufgeschwindigkeit an der individuell-anaeroben Schwelle (V_{IAS} [km/h]) der Trainierten, an den fünf Messterminen.

Der niedrigste Medianwert für die Laufgeschwindigkeit an der individuell-anaeroben Schwelle (V_{IAS}) der Trainierten wird mit 14,7 km/h bei der ersten Messung im September/Oktober `99 erreicht. Danach steigt die V_{IAS} nach der ersten Grundlagentrainingsphase (GTP I) um 0,98 km/h auf 15,68 km/h an, um bei der dritten Messung wieder um 0,2 km/h auf 15,48 km/h abzufallen. Nach der darauffolgenden zweiten Grundlagentrainingsphase (GTP II) steigt die V_{IAS} abermals um 0,73 km/h auf 16,21 km/h an, und fällt bei der letzten Messung wieder um 0,97 km/h auf 15,24 km/h ab (Abb. 4, Tab. 6).

Demnach verläuft die V_{IAS} der Trainierten zweimal auf- und absteigend, wobei ein Ansteigen der V_{IAS} immer nach dem absolvierten aeroben

Grundlagentraining (GTP) zu beobachten ist, während sie nach der anaeroben Wettkampfphase (WP) abfällt.

b) V_{IAS} der Untrainierten

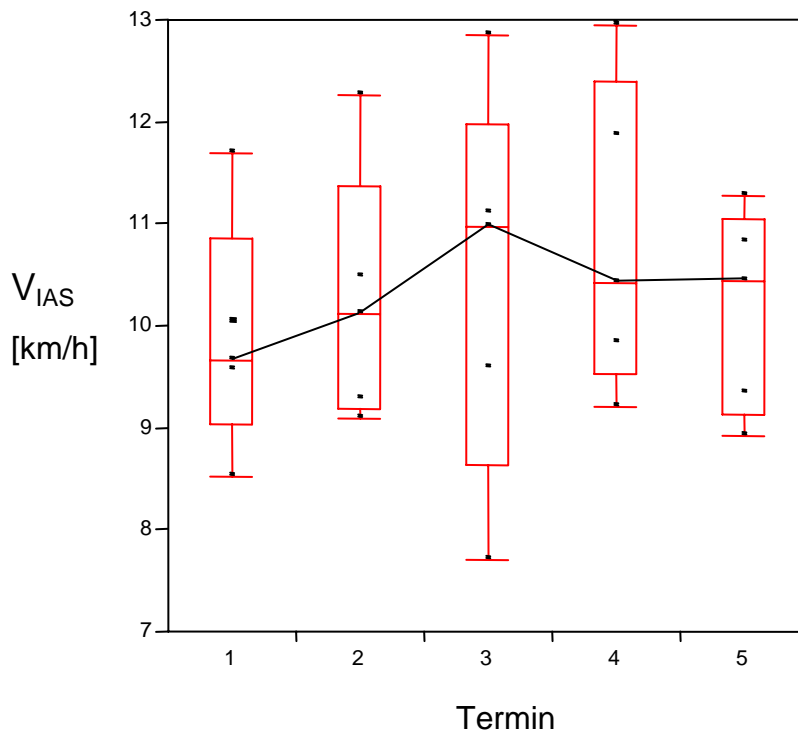


Abb. 7: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile für die Laufgeschwindigkeit an der individuell-anaeroben Schwelle (V_{IAS} [km/h]) der Untrainierten, an den fünf Messterminen.

Bei den Untrainierten wird ebenfalls bei der ersten Messung im August '99 mit 9,67 km/h der niedrigste Medianwert für die V_{IAS} erreicht, die bei der zweiten Messung um 0,45 km/h auf 10,12 km/h ansteigt und sich bei der dritten Messung im Februar/März 2000 um 0,85 km/h auf 10,97 km/h steigert. Nach einem Absinken um 0,55 km/h auf 10,42 km/h im April 2000 bleibt sie bis zur letzten Messung fast gleich und liegt am Ende bei 10,44 km/h (Abb. 5, Tab. 6). Die V_{IAS} der Untrainierten erreicht bei der dritten Messung ihren Gipfel.

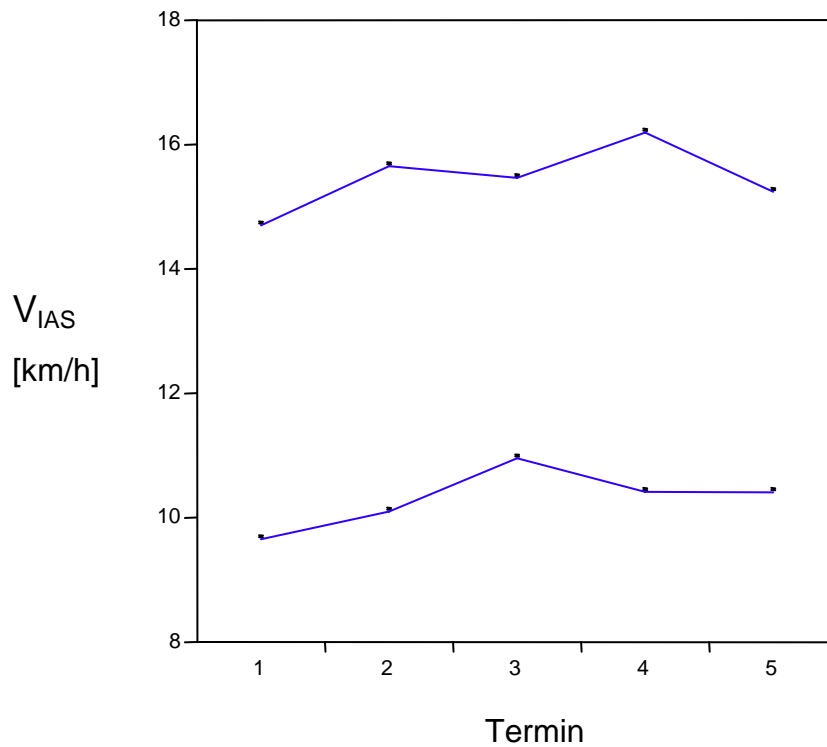
c) V_{IAS} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich

Abb. 8: Medianverläufe der Laufgeschwindigkeit an der individuell-anaeroben Schwelle (V_{IAS} [km/h]) der Trainierten (T, obere Kurve) und der Untrainierten (UT, untere Kurve).

Beim direkten Vergleich der Medianverläufe liegen die Medianwerte der Trainierten ca. 3 km/h über denen der Untrainierten. Auch die unterschiedlichen Verläufe werden deutlich. Die Kurve der Trainierten verläuft zweihöckrig mit jeweils hohen Werten nach dem aeroben Grundlagentraining. Die Kurve der Untrainierten verläuft eingipflig (Abb. 6).

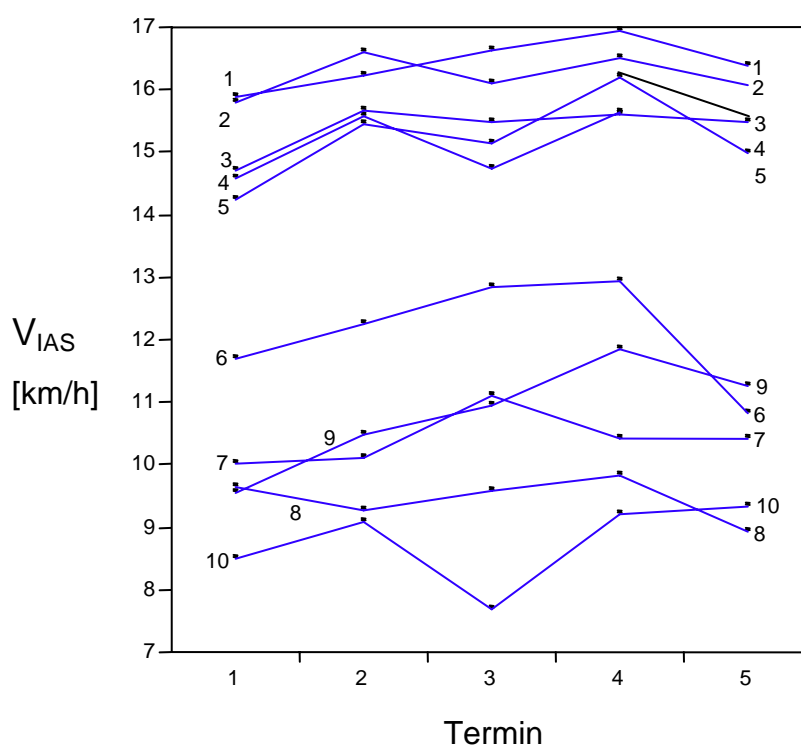


Abb. 9: Einzelverläufe der individuell-anaeroben Schwelle (V_{IAS} [km/h]) der Trainierten (Kurven 1-5) und der Untrainierten (Kurven 6-10).

Die Verläufe der V_{IAS} der einzelnen Trainierten bewegen sich zwischen 14,25 km/h und 16,96 km/h (Abb. 7, Kurven 1-5) und stellen bei drei von fünf Trainierten den oben beschriebenen zweihöckrigen Verlauf der Mediane (Abb. 6, obere Kurve) dar. Wenn man die Anfangspunkte der Trainierten von oben nach unten durchnummeriert, handelt es sich dabei um die Kurven zwei, vier und fünf. Bei Kurve zwei lässt sich bis zur vierten bzw. letzten Messung ein steigender Verlauf erkennen.

Die Einzelverläufe der V_{IAS} der Untrainierten (Abb. 7, Kurven 6-10) sind breiter gefächert von 7,71 km/h bis 12,95 km/h. Die Kurven sechs bis neun steigen zwischen der zweiten und dritten Messung an, im Vergleich zu den Trainierten, bei denen die V_{IAS} zu diesem Zeitpunkt in vier von fünf Fällen abfällt.

Ein annähernd zweihöckriger Verlauf bei den Untrainierten, vergleichbar dem der Trainierten, weist lediglich die unterste Kurve auf. Insgesamt sind die Werte inhomogen und teilweise auch gegenläufig, wie z.B. die Kurven sieben und zehn.

Messtermin	T [km/h]	UT [km/h]
1 (Sep/Okt `99) [GTP 1]	14,7 (14,42/ 15,85)	9,67 (9,05/ 10,87)
2 (Dez `99) [WP 1]	15,68 (15,53/ 16,43)	10,12 (9,2/ 11,38)
3 (Feb/März 2000) [GTP 2]	15,48 (14,96/ 16,38)	10,97 (8,65/ 11,99)
4 (Apr 2000) [WP 2]	16,21 (15,63/ 16,74)	10,42 (9,53/ 12,41)
5 (Juli/Aug 2000)	15,24 (14,9/ 16,16)	10,44 (9,14/ 11,05)

Tab. 6: Mediane, 25%- und 75%-Quartile für die Laufgeschwindigkeit an der individuellen anaeroben Schwelle (V_{IAS} [km/h]) der Trainierten (T) und Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen. GTP = Grundlagentrainingsphase, WP = Wettkampfphase.

3.2.1.2 Geschwindigkeit an der aeroben Schwelle V_{LT}

a) V_{LT} der Trainierten

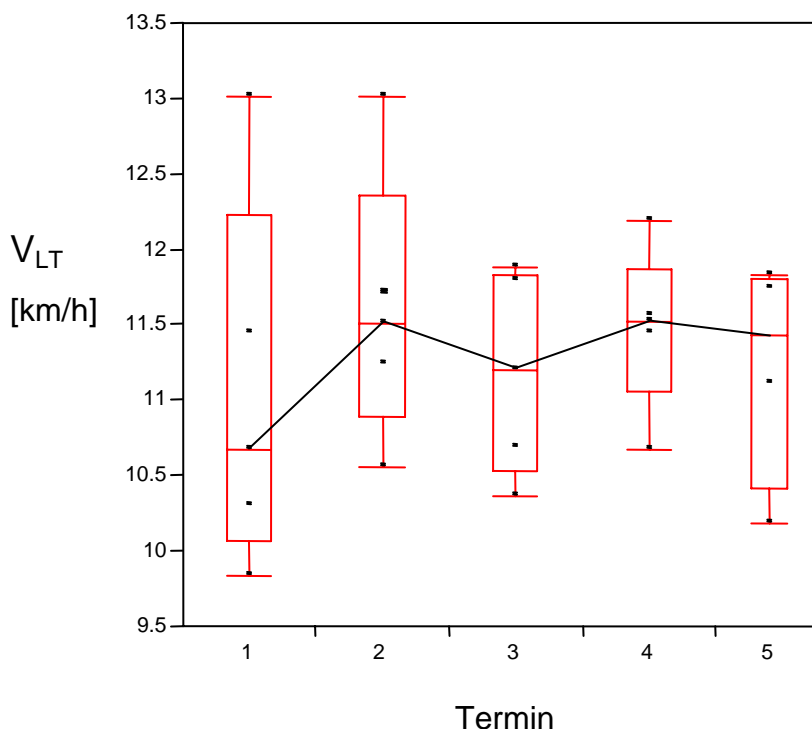


Abb. 10: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile für die Laufgeschwindigkeit an der aeroben Schwelle (V_{LT} [km/h]) der Trainierten, an den fünf Messterminen.

Der niedrigste Medianwert der Laufgeschwindigkeit an der aeroben Schwelle (V_{LT}) der Trainierten wird mit 10,68 km/h bei der ersten Messung im September/Oktober `99 erreicht. Danach steigt die V_{LT} nach der ersten Grundlagentrainingsphase (GTP I) um 0,83 km/h auf 11,51 km/h an, um bei der dritten Messung wieder um 0,31 km/h auf 11,2 km/h abzufallen. Nach der darauf folgenden zweiten Grundlagentrainingsphase (GTP II) steigt die V_{LT} abermals um 0,32 km/h auf 11,52 km/h an, und fällt bei der letzten Messung wieder leicht ab auf 11,44 km/h (Abb. 8, Tab.7).

Wie an der IAS verlaufen die Mediane für die Laufgeschwindigkeit der Trainierten an der aeroben Schwelle V_{LT} zweimal an- und wieder absteigend.

b) V_{LT} der Untrainierten

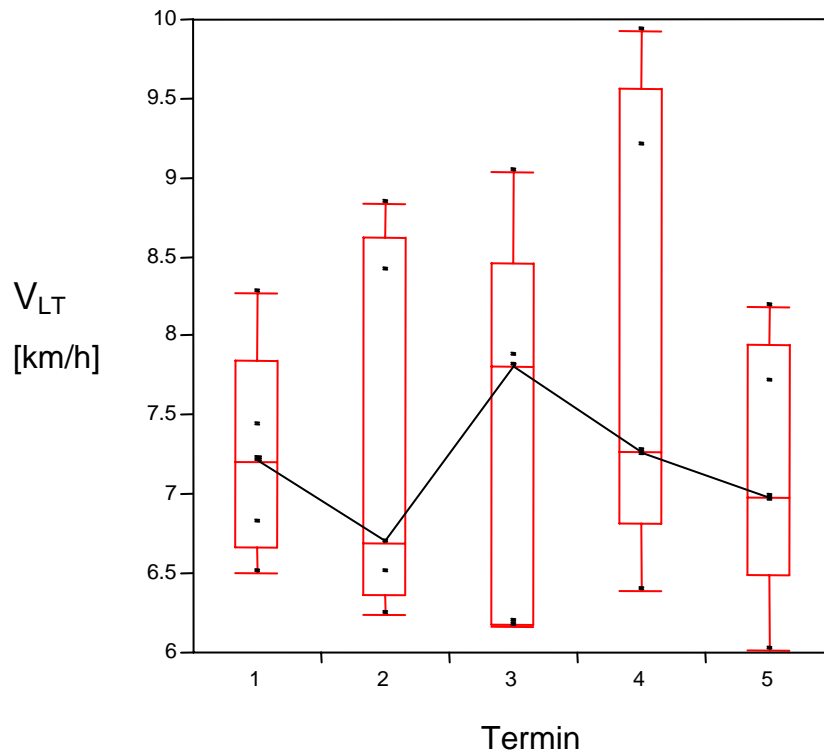


Abb. 11: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile für die Laufgeschwindigkeit an der aeroben Schwelle (V_{LT} [km/h]) der Untrainierten, an den fünf Messterminen.

Bei den Untrainierten wird bei der ersten Messung ein V_{LT} -Wert von 7,21 km/h erreicht, der bei der zweiten Messung im Dezember '99 um 0,52 km/h auf 6,69 km/h abfällt und sich bei der dritten Messung im Februar/März 2000 um 1,12 km/h auf 7,81 km/h steigert. Nach einem Absinken um 0,54 km/h auf 7,27 km/h im April 2000 sinkt die Geschwindigkeit an der aeroben Schwelle bis zur letzten Messung noch um 0,29 km/h und liegt am Ende bei 6,98 km/h (Abb. 9, Tab. 7).

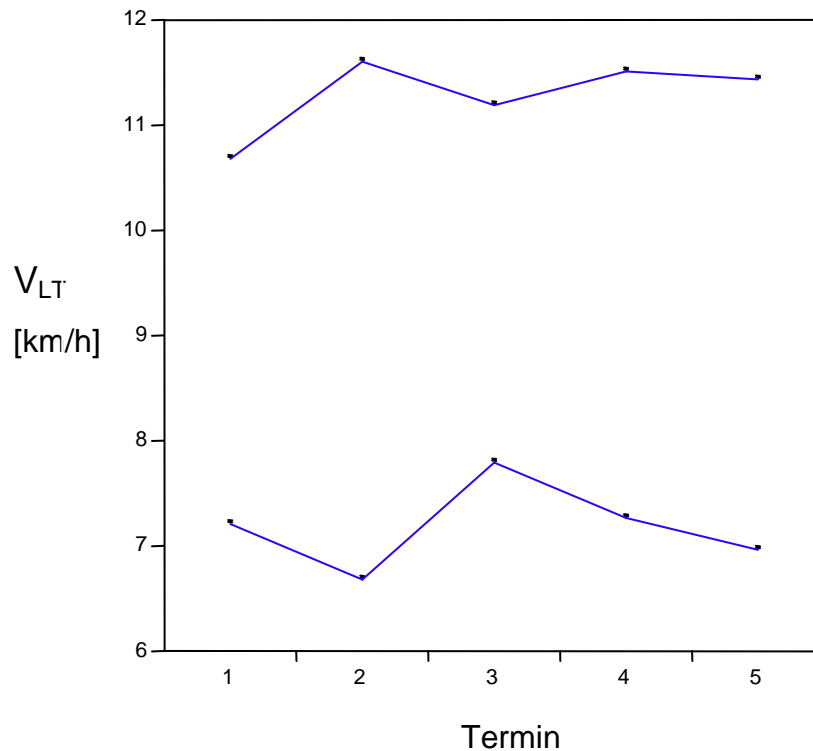
c) V_{LT} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich

Abb. 12: Medianverläufe der Laufgeschwindigkeit an der aeroben Schwelle (V_{LT} [km/h]) der Trainierten (T, obere Kurve) und der Untrainierten (UT, untere Kurve).

Wieder lassen sich die Kurven der trainierten Probanden (Kurven eins bis fünf) von denen der untrainierten Probanden (Kurven sechs bis zehn) anhand der Laufgeschwindigkeit abgrenzen, die bei den Trainierten wieder um mehr als 3 km/h höher liegt als bei den Untrainierten (Abb. 10, 11). Wie bei der IAS verlaufen die Mediane der Trainierten an der LT zweihöckrig, wohingegen bei den Untrainierten wieder ein Gipfel bei der dritten Messung liegt (Abb. 10).

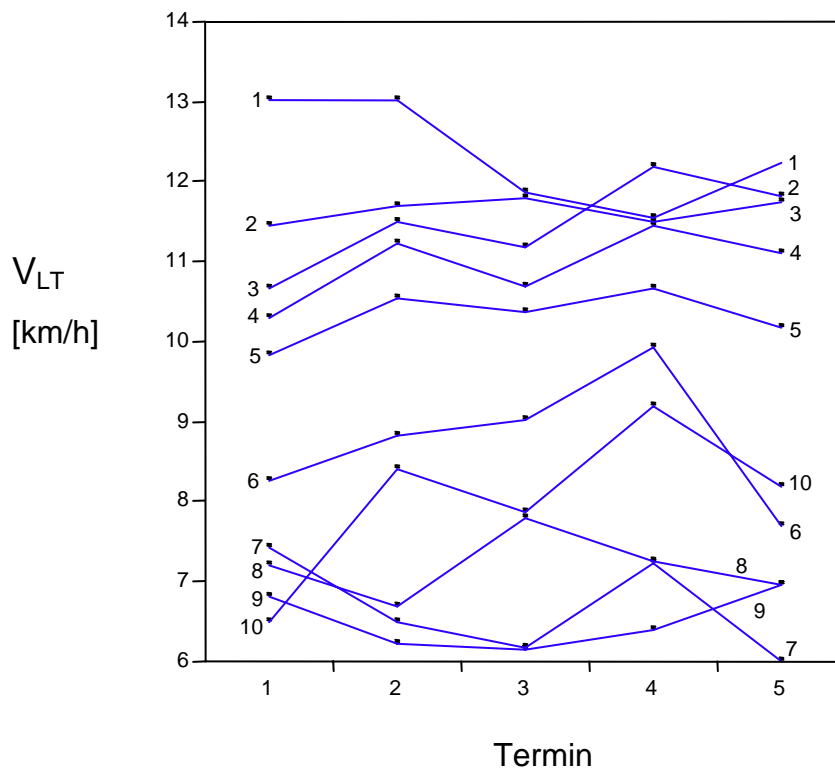


Abb. 13: Einzelverläufe der Laufgeschwindigkeit an der aeroben Schwelle (V_{LT} [km/h]) der Trainierten (Kurven 1-5) und der Untrainierten (Kurven 6-10).

Wie an der IAS weisen auch die einzelnen Laufgeschwindigkeiten an der aeroben Schwelle V_{LT} bei drei von fünf Trainierten (Kurven drei bis fünf) oben beschriebenen zweihöckrigen Verlauf auf (Abb. 11, Tab. 7). Bei den Untrainierten verläuft die zehnte Kurve zweihöckrig. Bei den restlichen Einzelverläufen der untrainierten Probanden lässt sich keine Struktur erkennen.

Messtermin	T [km/h]	UT [km/h]
1	10,68 (10,07/ 12,24)	7,21 (6,67/ 7,86)
2	11,51 (10,9/ 12,32)	6,69 (6,38/ 8,63)
3	11,2 (10,53/ 11,84)	7,81 (6,18/ 8,46)
4	11,52 (11,07/ 11,88)	7,27 (6,83/ 9,57)
5	11,44 (10,42/ 11,81)	6,98 (6,49/ 7,95)

Tab. 7: Mediane, 25%- und 75%-Quartile für die Laufgeschwindigkeit an der aeroben Schwelle (V_{LT} [km/h]) der Trainierten (T) und Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

Messtermin	T [km/h]	UT [km/h]
1	20 (19/ 21)	14 (13/ 17)
2	20 (20/ 22)	14 (13/ 17)
3	20 (18/ 21)	14 (12/ 17)
4	20 (19/ 20)	14 (12/ 16)
5	19 (18/ 20)	16 (12/ 17)

Tab. 8: Mediane, 25%- und 75%-Quartile für die Maximalgeschwindigkeit im Mehrstufentest (V_{MAX} [km/h]) der Trainierten (T) und Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

3.2.1.3 Maximalgeschwindigkeit im Mehrstufentest V_{MAX}

Die maximale Laufgeschwindigkeit im Mehrstufentest der Trainierten beträgt bei den ersten vier Messungen 20 km/h, bei der letzten Messung liegt sie mit

19km/h um 1 km/h niedriger. Die Untrainierten erreichten Höchstgeschwindigkeiten von 14km/h, die sich bei der letzten Messung um 2 km/h auf 16 km/h steigern (Tab. 8).

3.2.2 Laktatdiagnostik

	T [mmol/l]	UT [mmol/l]
Laktat_{Ruhe}	1,16 (1,05/ 1,4)	1,05 (0,96/ 1,43)
Laktat_{IAS}	3,4 (3,1/ 3,7)	2,35 (2,2/ 2,6)
Laktat_{LT}	1,9 (1,6/ 2,2)	0,9 (0,7/ 1,1)
Laktat_{MAX}	7,0 (5,82/ 9,51)	8,22 (6,4/ 9,48)

Tab. 9: Mediane, 25%- und 75%-Quartile des Laktats in Ruhe, an der IAS, an der LT und maximale Laktatwerte [mmol/l] bei den Trainierten (T) und Untrainierten (UT), an allen fünf Messterminen zusammen.

Die Laktatwerte in Ruhe (Laktat_{Ruhe}) liegen, alle fünf Messungen zusammen betrachtet, bei den Trainierten mit 1,16 mmol/l um 0,11 mmol/l höher als bei den Untrainierten. Beim Laktatwert an der individuellen anaeroben Schwelle (Laktat_{IAS}) werden bei den Untrainierten ebenfalls mit 2,35 mmol/l niedrigere Werte gemessen als bei den Trainierten mit 3,4 mmol/l. Die Laktatwerte an der maximalen Laufgeschwindigkeit (Laktat_{MAX}) liegen bei den Untrainierten mit 8,22 mmol/l um 1,22 mmol/l höher als bei den Trainierten (Tab. 9).

Messtermin	T [mmol/l]	UT [mmol/l]
1	1,06 (0,85/ 1,5)	1,03 (0,94/ 1,51)
2	1,36 (1,13/ 1,51)	1,04 (0,89/ 1,12)
3	1,23 (0,9/ 1,65)	1,05 (0,94/ 1,37)
4	1,13 (1,03/ 1,395)	1,50 (1,07/ 1,81)
5	1,1 (0,89/ 1,3)	1,04 (0,84/ 1,35)

Tab. 10: Mediane, 25%- und 75%-Quartile des Laktats in Ruhe ($Laktat_{Ruhe}$ [mmol/l]) der Trainierten (T) und Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

3.2.2.1 Laktatwerte in Ruhe

a) Laktatwerte in Ruhe der Trainierten

Den niedrigsten Medianwert für das Ruhelaktat weisen die Trainierten bei der ersten Messung mit 1,06 mmol/l auf. Bei der zweiten Messung im Dezember `99 steigt der Wert um 0,3 mmol/l auf 1,36 mmol/l an, um bei der dritten Messung im Februar 2000 um 0,1 mmol/l auf 1,23 mmol/l abzufallen. Das Ruhelaktat fällt auch bei den letzten beiden Messungen um 0,1 mmol/l auf 1,13 mmol/l und um 0,03 mmol/l auf 1,1 mmol/l weiter ab (Tab. 10). Es lässt sich zusammenfassend erst ein Anstieg und nach der zweiten Messung ein steter Abfall des Ruhelaktats bei den Trainierten erkennen.

b) Laktatwerte in Ruhe der Untrainierten

Bei den Untrainierten wird der niedrigste Medianwert für das Ruhelaktat ebenfalls bei der ersten Messung im September/Okttober `99 mit 1,03 mmol/l erreicht, um dann jeweils um 0,01 mmol/l bei der zweiten und dritten Messung auf 1,04 mmol/l bzw. 1,05 mmol/l anzusteigen. Im April 2000 bei der vierten Messung macht das Ruhelaktat bei den Untrainierten einen Sprung um 0,45

mmol/l nach oben auf den höchsten Wert von 1,5 mmol/l. Bei der letzten Messung ist ein Abfall um 0,46 mmol/l auf den gleichen Wert wie bei der zweiten Messung (1,04 mmol/l) zu verzeichnen (Tab. 10). Insgesamt lässt sich ein eingipfliger Verlauf des Ruhelaktates erkennen mit dem höchsten Wert im April 2000, wobei zu den anderen Messzeitpunkten annähernd gleiche Werte erreicht werden.

c) Laktatwerte in Ruhe der Trainierten und Untrainierten im Vergleich

Beim direkten Vergleich der Medianverläufe des Ruhelaktats liegen die Werte bei beiden Gruppen im Bereich zwischen ca. 1 mmol/l und 1,5 mmol/l. Dabei weisen die Trainierten ein höheres Ruhelaktat bei der zweiten Messung im Dezember '99 auf, die Untrainierten bei der vierten Messung im April 2000.

3.2.2.2 Laktatwerte an der individuell-anaeroben Schwelle LK_{IAS}

a) LK_{IAS} der Trainierten

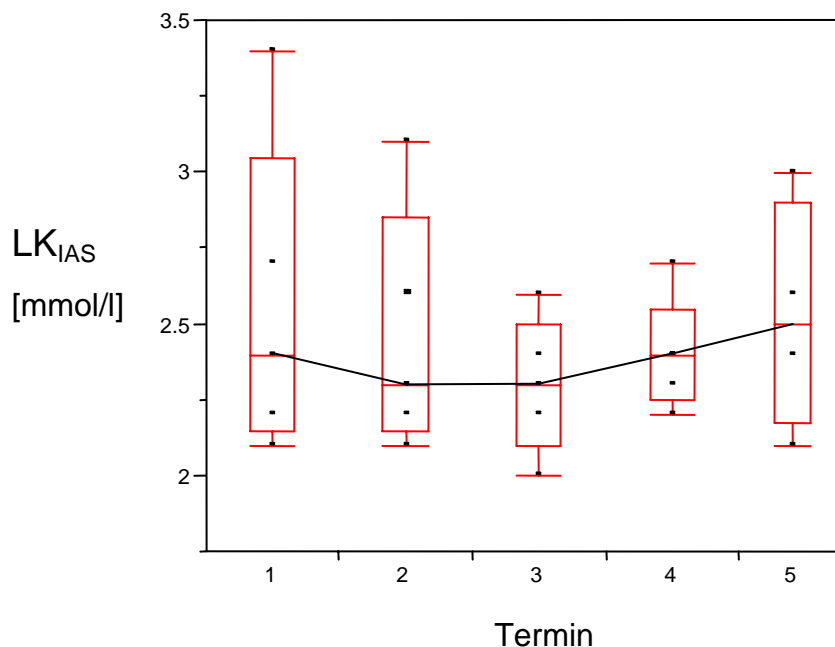


Abb. 14: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile des Laktats an der individuellen anaeroben Schwelle ($Laktat_{IAS}$ [mmol/l]) der Trainierten (T), an den fünf Messterminen.

Die Laktatwerte der Trainierten an der individuellen anaeroben Schwelle ($Laktat_{IAS}$) fallen nach der ersten Messung von 2,4 mmol/l auf 2,3 mmol/l ab. Dieser Wert wird auch im Februar/März 2000 (3. Messung) erreicht. Bei den letzten beiden Messterminen kommt es jeweils zu einem Anstieg um 0,1 mmol/l auf 2,4 mmol/l bzw. 2,5 mmol/l im Juli/August 2000 (Tab. 11). Die Unterschiede der Laktatwerte sind gering, im Verlauf lassen sich insgesamt erst eine Ab- und später eine Zunahme erkennen (Abb. 12).

b) LK_{IAS} der Untrainierten

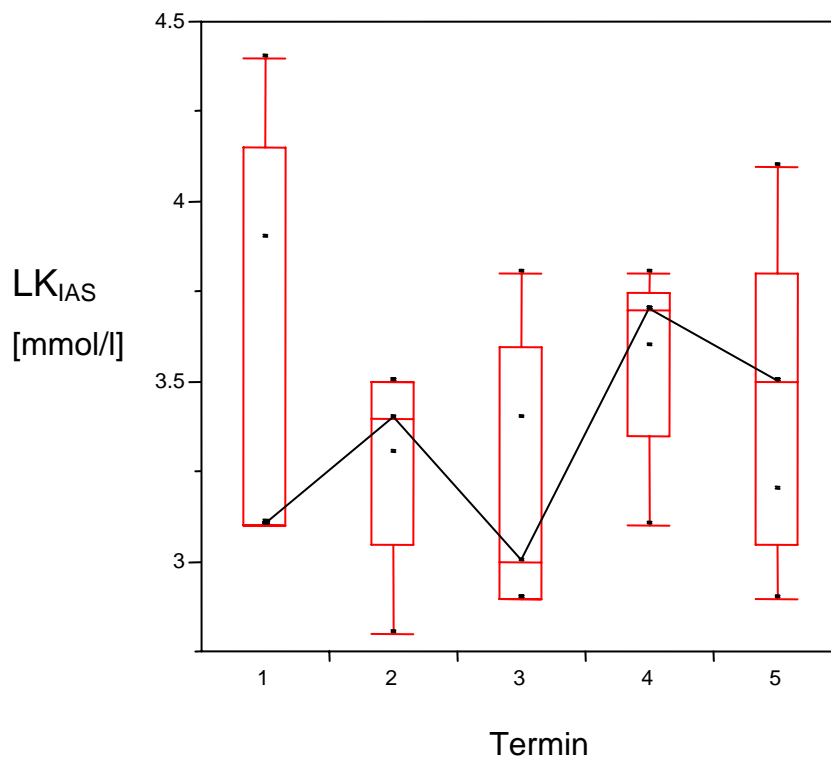


Abb. 15: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile des Laktats an der individuellen anaeroben Schwelle ($Laktat_{IAS}$ [mmol/l]) der Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

Bei der ersten Messung wird bei den Untrainierten ein Laktatwert im Median von 3,1 mmol/l erreicht, der nach einem Anstieg um 0,3 mmol/l auf 3,4 mmol/l bei der 3. Messung im Februar/März 2000 wieder auf 3,0 mmol/l absinkt. Nach einer erneuten Zunahme um 0,7 mmol/l auf 3,7 mmol/l bei der vierten Messung im April 2000 sinkt der Laktatwert im Median an der IAS bei den Untrainierten erneut um 0,2 mmol/l auf 3,5 mmol/l ab (Abb. 13, Tab. 11).

c) LK_{IAS} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich

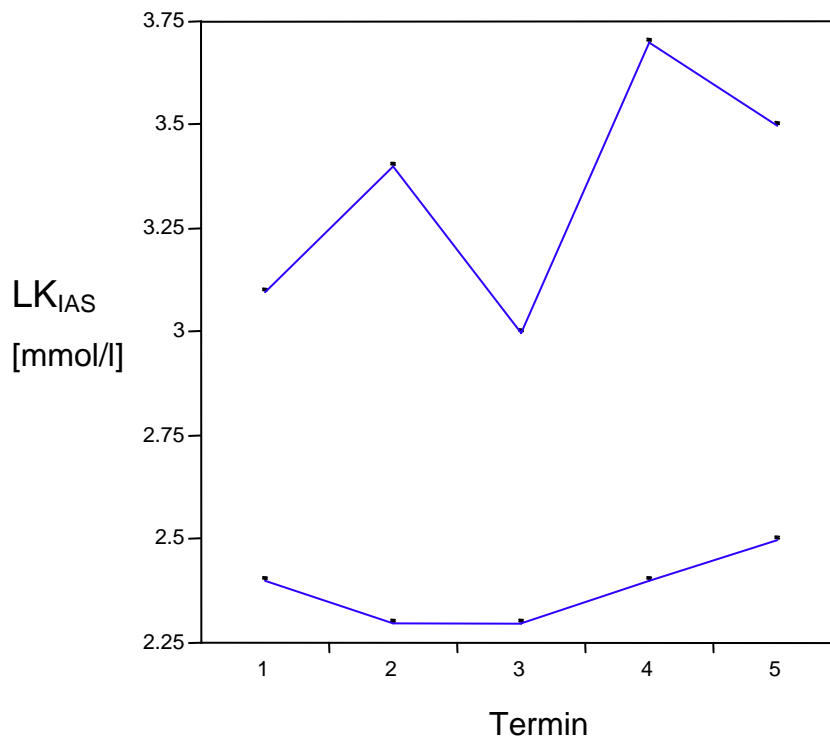


Abb. 16: Medianverläufe der Laktatwerte an der individuelle anaeroben Schwelle ($Laktat_{IAS}$ [mmol/l]) der Trainierten (T, untere Kurve) und der Untrainierten (UT, obere Kurve).

Im Vergleich liegen die Mediane der Laktatwerte an der IAS der Untrainierten mit Werten zwischen 3,0 mmol/l und 3,7 mmol/l über denen der Trainierten, die sich zwischen 2,3 mmol/l und 2,5 mmol/l bewegen. Die Laktatwerte der Untrainierten weisen einen zweigipfligen Verlauf auf, wohingegen die Laktatwerte der Trainierten insgesamt erst abfallen und später ansteigen (Abb. 14, Tab. 11).

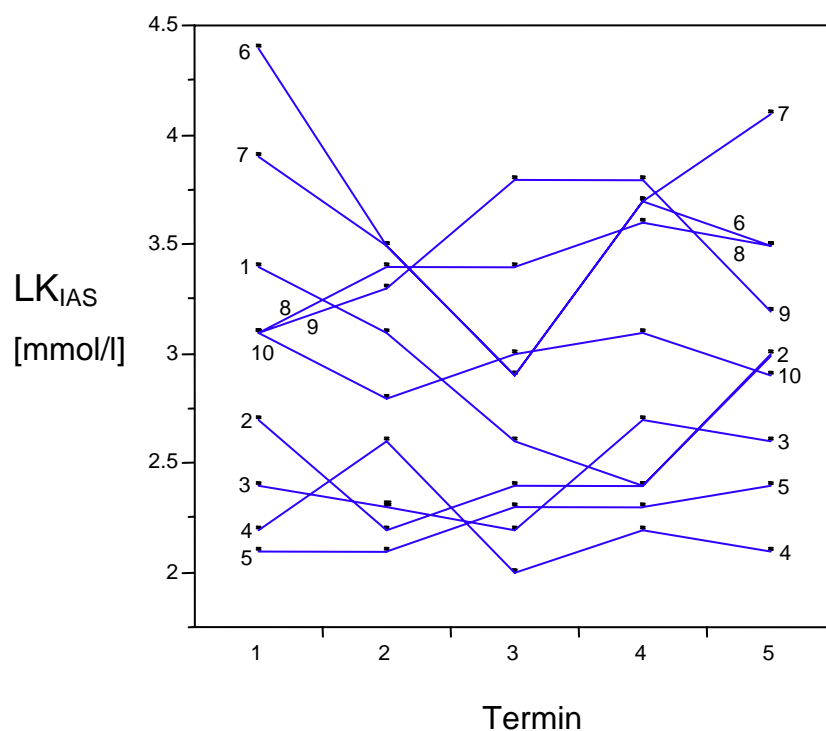


Abb. 17: Einzelverläufe der Laktatwerte an der individuell-anaeroben Schwelle (Laktat_{IAS} [mmol/l]) der Trainierten (Kurven 1-5) und Untrainierten (Kurven 6-10).

Messtermin	T [mmol/l]	UT [mmol/l]
1	2,4 (2,1/ 3,05)	3,1 (3,1/ 4,15)
2	2,3 (2,15/ 2,85)	3,4 (3,05/ 3,5)
3	2,3 (2,1/ 2,5)	3,0 (2,9/ 3,6)
4	2,4 (2,25/ 2,55)	3,7 (3,35/ 3,75)
5	2,5 (2,18/ 2,9)	3,5 (3,05/ 3,8)

Tab. 11: Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Laktatwerte an der individuellen anaeroben Schwelle (Laktat_{IAS} [mmol/l]) der Trainierten (T) und Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

3.2.2.3 Laktatwerte an der aeroben Schwelle LK_{LT}

a) LK_{LT} der Trainierten

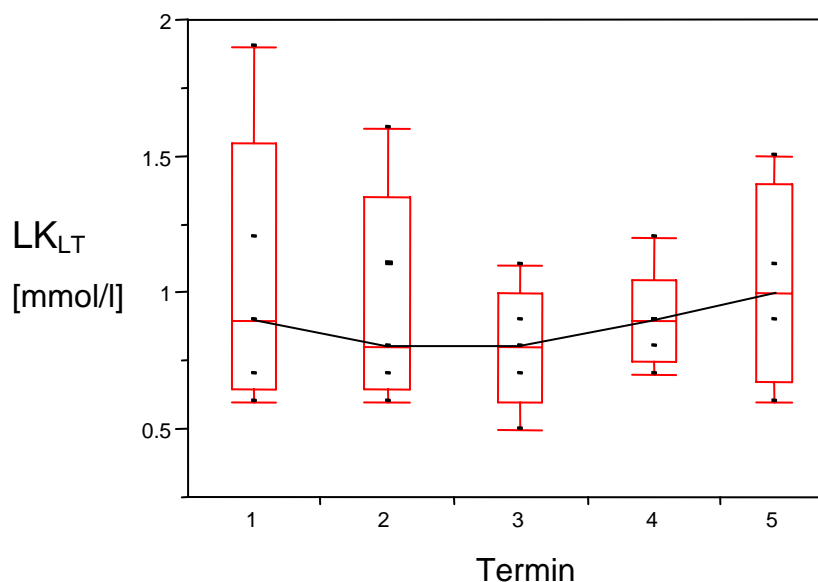


Abb. 18: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Laktatwerte an der aeroben Schwelle (Laktat_{LT} [mmol/l]) der Trainierten (T), an den fünf Messterminen.

Die Mediane der Laktatwerte an der aeroben Schwelle ($Laktat_{LT}$) der Trainierten weisen nur geringe Differenzen auf. Bei der ersten Messung im August '99 wird ein Laktatwert von 0,9 mmol/l erreicht, der bei der zweiten Messung im Dezember '99 auf 0,8 mmol/l abfällt. Bei der dritten Messung im Februar/März 2000 beträgt das Laktat an der LT ebenfalls 0,8 mmol/l. Im Juli/August wird am fünften Messtermin mit 1,0 mmol/l der höchste Wert erreicht (Abb.16, Tab. 12). Im Verlauf gesehen fallen die Mediane für das Laktat an der LT der Trainierten erst leicht ab, um nach der dritten Messung wieder anzusteigen.

b) LK_{LT} der Untrainierten

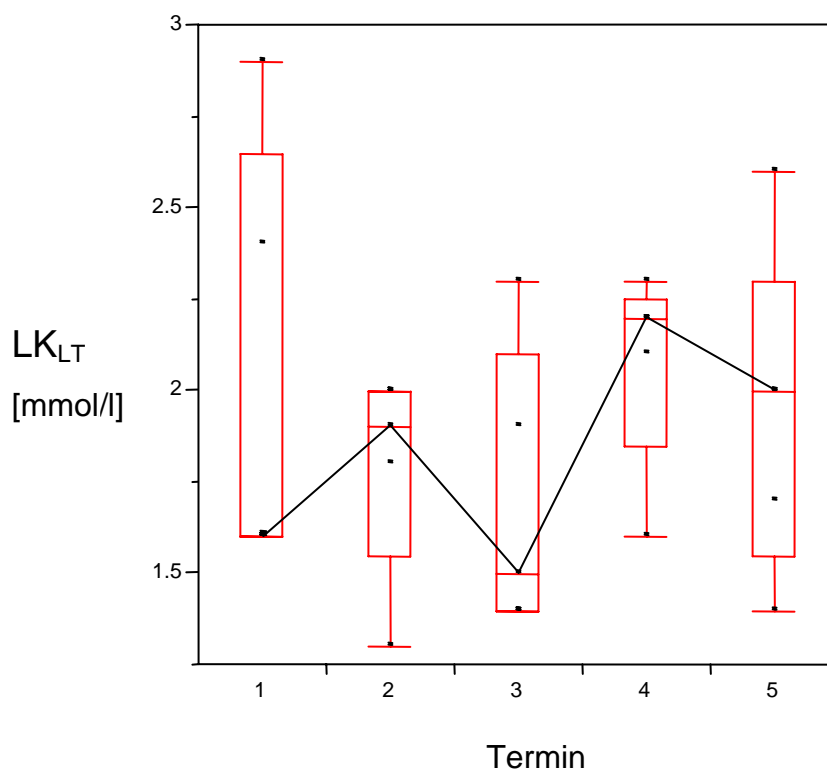


Abb. 19: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Laktatwerte an der aeroben Schwelle ($Laktat_{LT}$ [mmol/l]) der Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

Bei den Untrainierten steigt der Median der Laktatwerte an der aeroben Schwelle (Laktat_{LT}) von 1,6 mmol/l nach der ersten Messung im August '99 um 0,3 mmol/l auf 1,9 mmol/l an, um beim dritten Termin im Februar/März 2000 wieder um 0,4 mmol/l auf 1,5 mmol/l abzusinken. Nach einem erneuten Anstieg um 0,7 mmol/l auf 2,2 mmol/l bei der vierten Messung im April 2000 wird bei der letzten Messung im Juli/August 2000 ein Wert von 2,0 mmol/l erreicht (Abb. 17, Tab. 12). Die Laktatwerte an der LT der Untrainierten verlaufen somit zweimal an- und wieder absteigend.

c) LK_{LT} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich

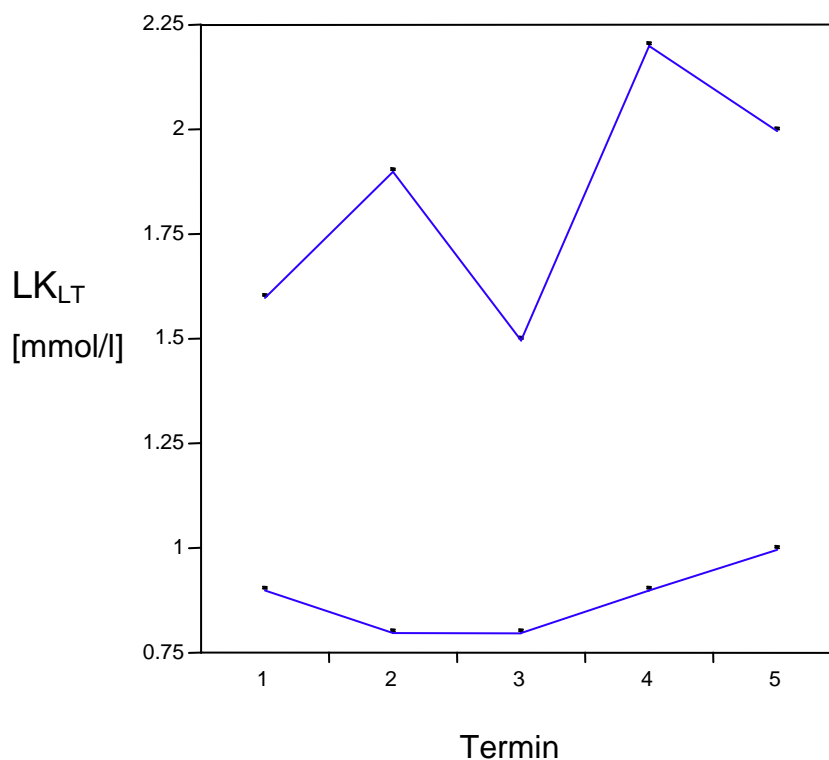


Abb. 20: Medianverläufe der Laktatwerte an der aeroben Schwelle (Laktat_{LT} [mmol/l]) der Trainierten (T, untere Kurve) und der Untrainierten (UT, obere Kurve).

Im Vergleich liegen die Mediane der Laktatwerte an der aeroben Schwelle (Laktat_{LT}) der Untrainierten mit Werten zwischen 1,5 mmol/l und 2,2 mmol/l über denen der Trainierten, die sich zwischen 0,8 mmol/l und 1,0 mmol/l bewegen. Die Laktatwerte der Untrainierten weisen einen zweigipfligen Verlauf auf, wohingegen die Laktatwerte der Mittelstreckenläufer erst ab- und dann ansteigen (Abb. 16, 17, 18, Tab. 12).

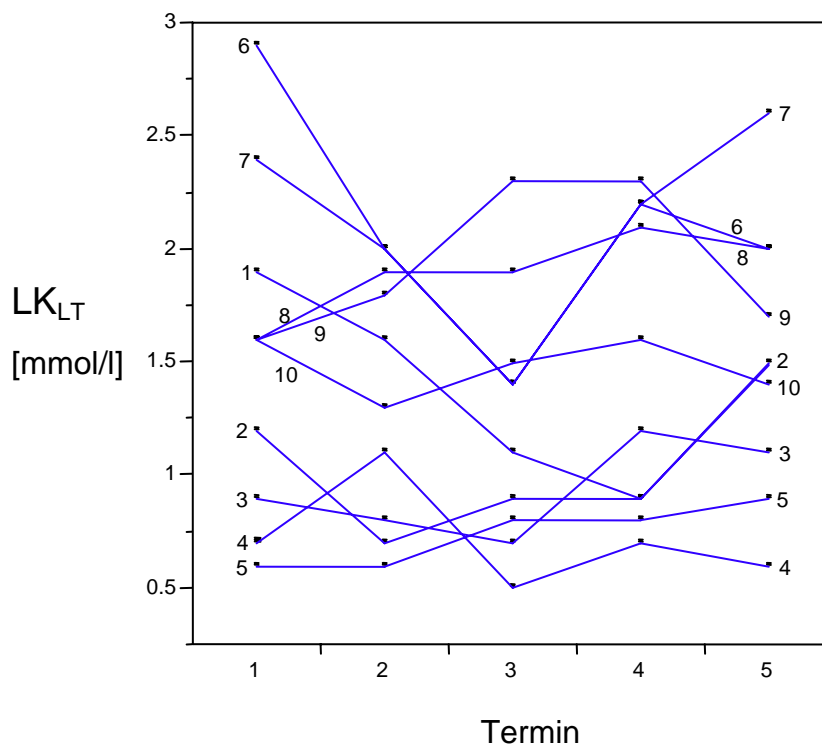


Abb. 21: Einzelverläufe der Laktatwerte an der aeroben Schwelle (Laktat_{LT} [mmol/l]) der Trainierten (Kurven 1-5) und der Untrainierten (Kurven 6-10), an den fünf Messterminen.

Bei den Einzelverläufen der Trainierten zeigen die Kurven zwei und fünf von der zweiten bis zur vierten Messung kaum eine Veränderung. Ein zweigipfliger Verlauf lässt sich bei den Trainierten nur bei Kurve vier erkennen. Bei den Untrainierten lässt sich bei Kurve acht ein zweigipfliger Verlauf erkennen (Abb. 19).

Messtermin	T [mmol/l]	UT [mmol/l]
1	0,9 (0,65/ 1,55)	1,6 (1,6/ 2,65)
2	0,8 (0,65/ 1,35)	1,9 (1,55/ 2,0)
3	0,8 (0,6/ 1,0)	1,5 (1,4/ 2,1)
4	0,9 (0,75/ 1,05)	2,2 (1,85/ 2,25)
5	1,0 (0,68/ 1,4)	2,0 (1,55/ 2,3)

Tab. 12: Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Laktatwerte an der aeroben Schwelle (Laktat_{LT} [mmol/l]) der Trainierten (T) und Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

Messtermin	T [mmol/l]	UT [mmol/l]
1	9,54 (6,95/ 11,13)	9,3 (8,24/ 10,82)
2	7,33 (6,23/ 9,84)	7,67 (5,94/ 9,76)
3	6,54 (5,33/ 6,9)	6,92 (5,56/ 8,65)
4	7,13 (5,71/ 9,43)	6,46 (4,94/ 8,48)
5	6,06 (5,35/ 9,13)	8,69 (7,67/ 10,19)

Tab. 13: Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Laktatwerte an der maximalen Laufgeschwindigkeit (Laktat_{MAX} [mmol/l]) der Trainierten (T) und Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

3.2.2.4 Laktatwerte an der maximalen Laufgeschwindigkeit LK_{MAX}

a) LK_{MAX} der Trainierten

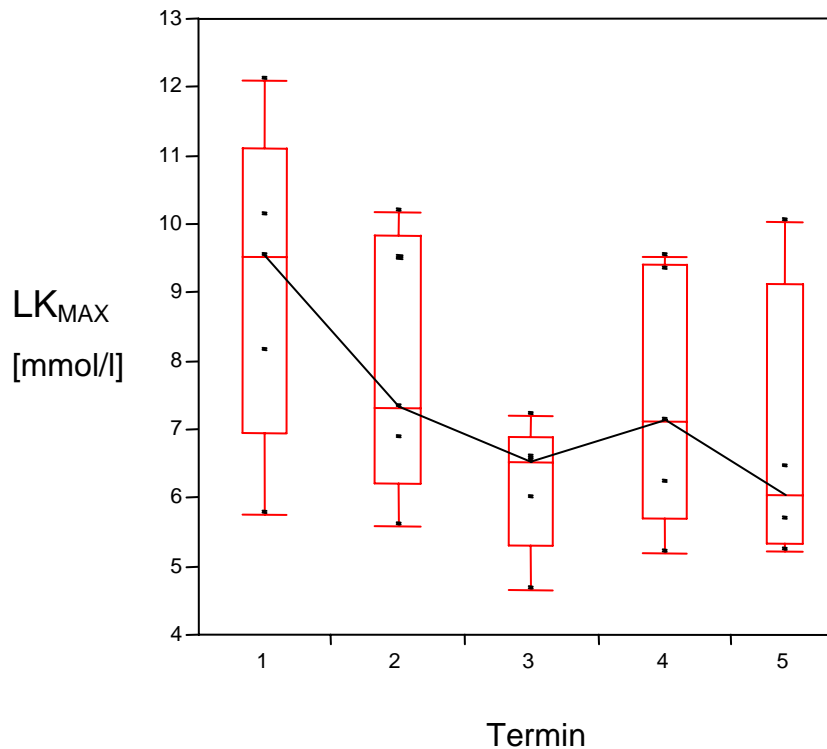


Abb. 22: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Laktatwerte an der maximalen Laufgeschwindigkeit ($Laktat_{MAX}$ [mmol/l]) der Trainierten (T), an den fünf Messterminen.

Bei der ersten Messung wird bei den Trainierten ein Medianlaktatwert von 9,54 mmol/l erreicht, der nach einem Abfall um 2,21 mmol/l auf 7,33 mmol/l bei der 3. Messung im Februar/März 2000 erneut um 0,83 mmol/l auf 6,5 mmol/l absinkt. Nach einer Zunahme um 0,59 mmol/l auf 7,13 mmol/l im April 2000 sinkt der Laktatwert an der maximalen Laufgeschwindigkeit am Ende um 1,07 mmol/l auf 6,06 mmol/l ab (Abb. 20, Tab. 13).

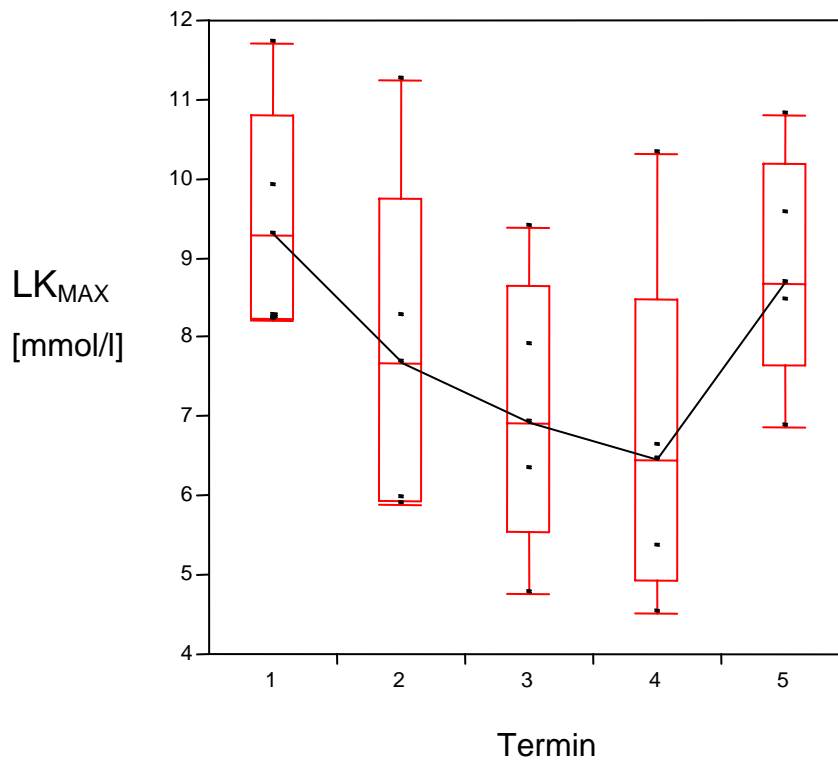
b) LK_{MAX} der Untrainierten

Abb. 23: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Laktatwerte an der maximalen Laufgeschwindigkeit ($Laktat_{MAX}$ [mmol/l]) der Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

Bei den Untrainierten wird bei der ersten Messung mit 9,3 mmol/l der höchste Wert des LK_{MAX} erreicht, der bei der zweiten Messung um 1,63 mmol/l auf 7,67 mmol/l abfällt. Auch bei der dritten Messung im Februar 2000 sinken die Laktatwerte an der maximalen Laufgeschwindigkeit um 0,75 mmol/l auf 6,92 mmol/l ab, um nach einem letzten Abfall um 0,46 mmol/l auf 6,46 mmol/l im April 2000 den niedrigsten Wert zu erreichen. Bei der fünften und letzten Messung steigt dieser Wert wieder um 2,23 mmol/l auf 8,68 mmol/l an (Abb. 21, Tab. 13).

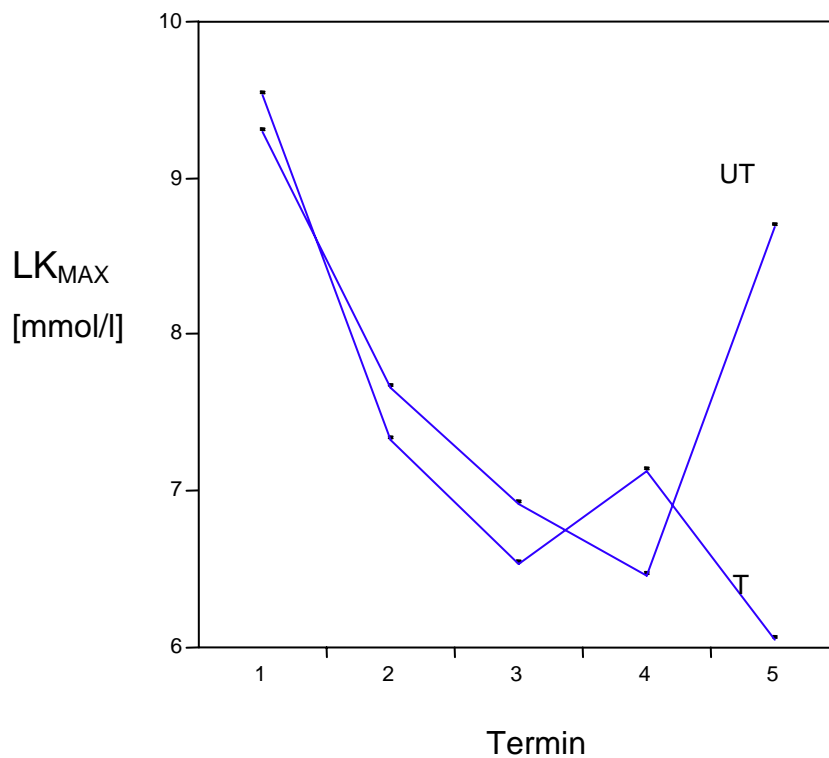
c) LK_{MAX} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich

Abb. 24: Medianverläufe der Laktatwerte an der maximalen Laufgeschwindigkeit ($Laktat_{MAX}$ [mmol/l]) der Trainierten (T) und der Untrainierten (UT).

Die Mediane der Maximallaktatwerte verlaufen bei den trainierten und untrainierten Probanden bis zur dritten Messung absteigend. Die Untrainierten fallen auch bei der vierten Messung ab und steigen zum Schluss auf den zweithöchsten Wert an, wohingegen die Trainierten bei der letzten Messung den tiefsten Wert erreichen (Abb. 22).

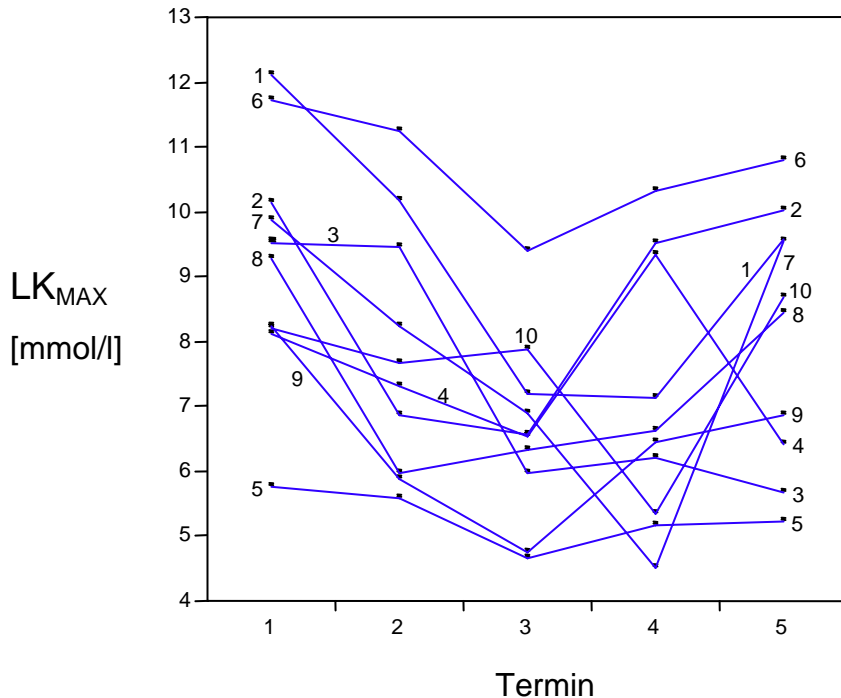


Abb. 25: Einzelverläufe des Laktats an der maximalen Laufgeschwindigkeit (Laktat_{MAX} [mmol/l]) der Trainierten (Kurven 1-5) und der Untrainierten (Kurven 6-10).

Die Einzelverläufe bewegen sich bei beiden Vergleichsgruppen zwischen 4,5 mmol/l und 12 mmol/l. Es fällt auf, dass alle fünf Probanden aus der Gruppe der Trainierten (Kurven 1-5) zwischen der zweiten und dritten Messung, also nach der ersten Wettkampfphase (vgl. Tab. 13) mit dem Maximallaktat abfallen. Vier der fünf Trainierten (Kurven 2-5) weisen bei der vierten Messung, also nach der zweiten Grundlagentrainingsphase, wieder einen Anstieg auf. Bei den Untrainierten fällt bei allen fünf Probanden das Maximallaktat von der ersten bis zur zweiten Messung ab. Bei allen Untrainierten steigen die Werte zur letzten Messung wieder an (Abb. 23).

3.2.3 Herzfrequenzen

	T	UT
HF_{Ruhe}	79 (69/ 85,8)	81 (74/ 91)
HF_{IAS}	177,5 (171,3/ 188,3)	171 (167/ 173)
HF_{LT}	149,5 (144/ 156)	141 (132,5/ 151,5)
HF_{MAX}	199,5 (195,3/ 218)	192 (187/ 196,5)

Tab. 14: Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Herzfrequenzen in Ruhe, an der IAS (individuellen anaeroben Schwelle), an der LT (aeroben Schwelle) und maximale Herzfrequenzen bei den Trainierten (T) und Untrainierten (UT), an allen fünf Messterminen zusammen.

Die Mediane der Herzfrequenzen in Ruhe der Trainierten und Untrainierten bewegen sich, bei allen fünf Messungen zusammen betrachtet, mit 79 Schlägen pro Minute und 81 Schlägen pro Minute fast auf gleicher Höhe. An der IAS liegen die Herzfrequenzen bei den Trainierten mit 177,5 Schlägen pro Minute um 6,5 Schläge pro Minute höher als die der Untrainierten mit 171 Schlägen pro Minute. Auch an der LT liegen die Werte der trainierten Probanden mit 149,5 Schlägen pro Minute um 8,5 Schläge pro Minute höher als die der Untrainierten, die sich bei 141 Schlägen pro Minute bewegen. Die Trainierten erreichen mit 199,5 Schlägen pro Minute höhere maximale Herzfrequenzen als die Untrainierten mit 192 Schlägen pro Minute (Tab. 14).

3.2.3.1 Herzfrequenzen in Ruhe

Die Herzfrequenzen vor Belastungsbeginn liegen bei allen Probanden im Normbereich. Sie bewegen sich bei den Trainierten zwischen 72 und 83

Schlägen pro Minute und unterscheiden sich nur unwesentlich von denen der Untrainierten, die sich zwischen 72 Schlägen pro Minute und 87 Schlägen pro Minute bewegen (Tab. 15).

Messtermin	T [1/min]	UT [1/min]
1	82 (70,5/ 92)	86 (74,5/ 95,5)
2	73 (63/ 87,5)	72 (69/ 92,5)
3	83 (74/ 93)	81 (73,5/ 89)
4	72 (61,5/ 86)	79 (75/ 92,5)
5	81 (74,8/ 85)	87 (76,5/ 114)

Tab. 15: Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Herzfrequenzen in Ruhe (HF_{Ruhe} [1/min]) der Trainierten (T) und Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

Messtermin	T [1/min]	UT [1/min]
1	177 (172/ 191)	173 (171/ 177,5)
2	175 (171,5/ 193,5)	172 (166,5/ 172)
3	186 (171,5/ 194)	168 (164,5/ 171,5)
4	183 (170/ 196,5)	173 (165/ 176)
5	183,5 (169,8/ 204,8)	171 (164,5/ 172)

Tab. 16: Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Herzfrequenzen an der individuell-anaeroben Schwelle (HF_{IAS} [1/min]) der Trainierten (T) und Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

3.2.3.2 Herzfrequenzen an der individuell-anaeroben Schwelle HF_{IAS}

a) HF_{IAS} der Trainierten

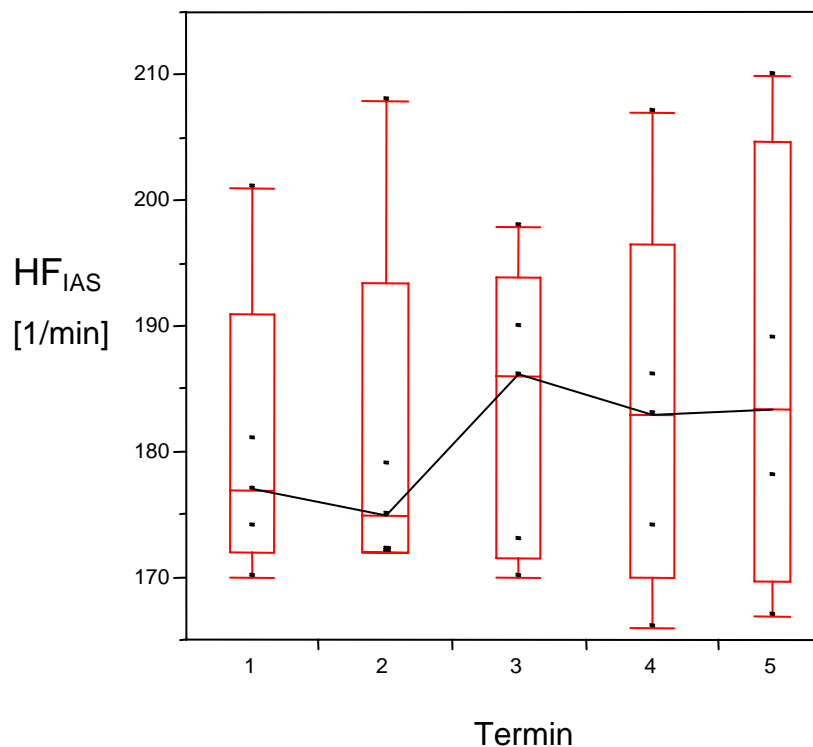


Abb. 26: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Herzfrequenzen an der individuellen anaeroben Schwelle (HF_{IAS} [1/min]) der Trainierten (T), an den fünf Messterminen.

Die Mediane der Herzfrequenzen an der individuellen anaeroben Schwelle (HF_{IAS}) der Trainierten erreichen mit 175 Schlägen pro Minute bei der ersten Messung und 174 Schlägen pro Minute bei der zweiten Messung die niedrigsten Werte. Nach einem Anstieg um 11 Schläge pro Minute steigt die Herzfrequenz bei der dritten Messung im Februar/März 2000 auf den höchsten Wert von 186 Schlägen pro Minute an. Danach fällt die HF_{IAS} bei der vierten Messung im April 2000 um 3 Schläge auf 183 Schläge pro Minute ab und

bleiben bei der fünften und letzten Messung mit 183,5 Schlägen pro Minute fast auf gleicher Höhe (Abb. 24, Tab. 16).

b) HF_{IAS} der Untrainierten

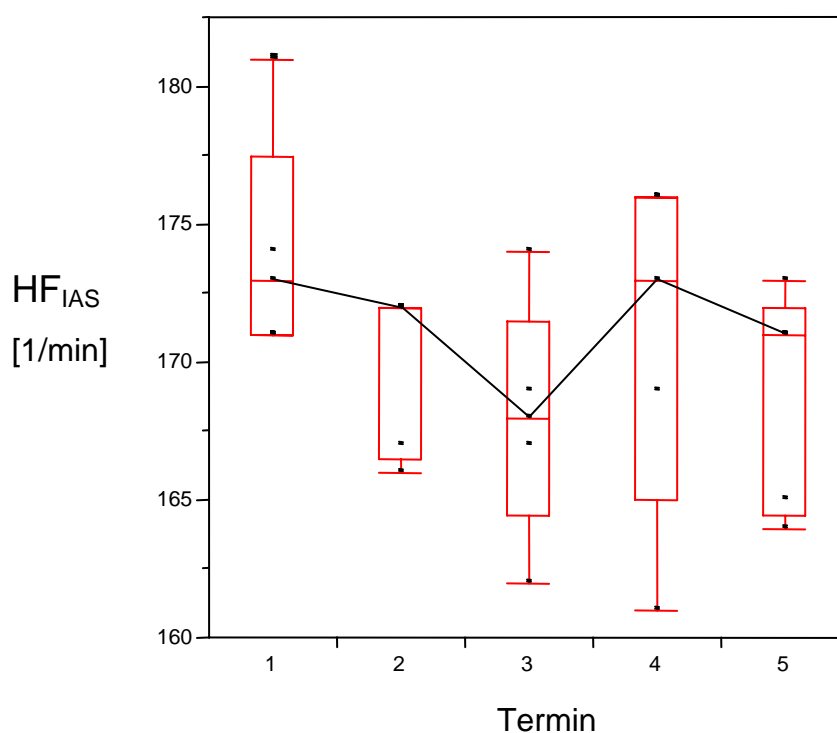


Abb. 27: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Herzfrequenzen an der individuellen anaeroben Schwelle (HF_{IAS} [1/min]) der Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

Bei den Untrainierten wird bei der ersten Messung ein Wert von 173 Schlägen pro Minute erreicht, der bei der zweiten Messung im Dezember `99 mit 172 Schlägen pro Minute fast gleich bleibt und zur dritten Messung um 4 Schläge pro Minute auf 168 Schläge pro Minute absinkt. Nach einem Anstieg um 5 Schläge pro Minute wird mit 173 Schlägen pro Minute der gleiche Wert wie bei der ersten Messung erreicht, der bei der fünften Messung im Juli/August um 2 Schläge pro Minute auf 171 Schläge pro Minute absinkt (Abb. 25, Tab. 16).

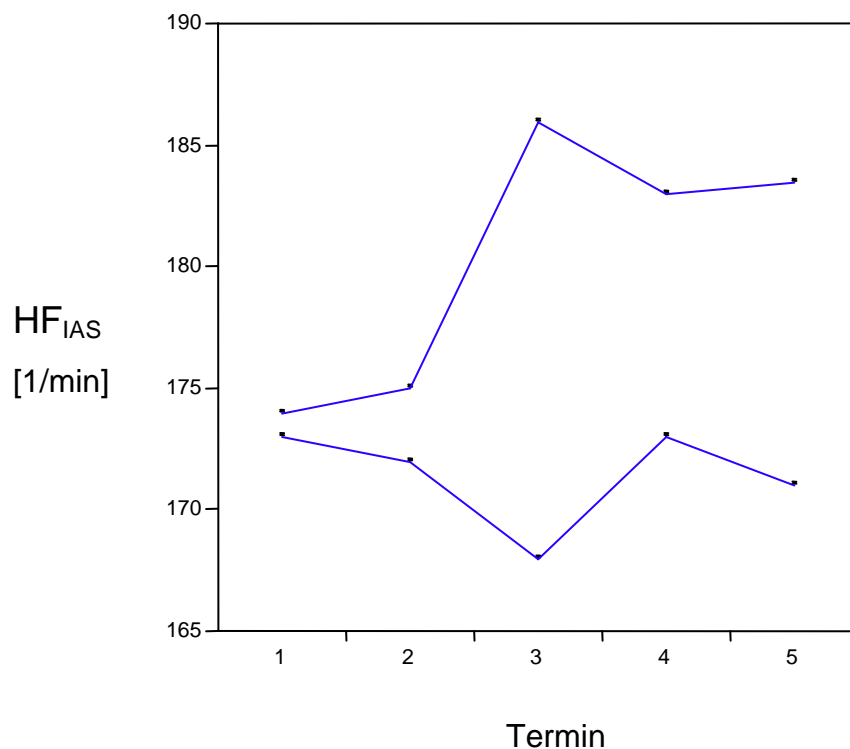
c) HF_{IAS} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich

Abb. 28: Medianverläufe der Herzfrequenzen an der individuell-anaeroben Schwelle (HF_{IAS} [1/min]) der Trainierten (T, obere Kurve) und der Untrainierten (UT, untere Kurve).

Beim Vergleich der Medianverläufe der HF_{IAS} der Trainierten und der Untrainierten fällt auf, dass sich diese gegenläufig verhalten. Außerdem weisen die trainierten Probanden höhere Werte und auch größere Schwankungen zwischen 174 Schlägen pro Minute und 186 Schlägen pro Minute auf, wohingegen sich die Herzfrequenzen der Untrainierten zwischen 167 Schlägen pro Minute und 173 Schlägen pro Minute bewegen (Abb. 24, 25, 26, Tab. 16).

3.2.3.3 Herzfrequenzen an der aeroben Schwelle HF_{LT}

a) HF_{LT} der Trainierten

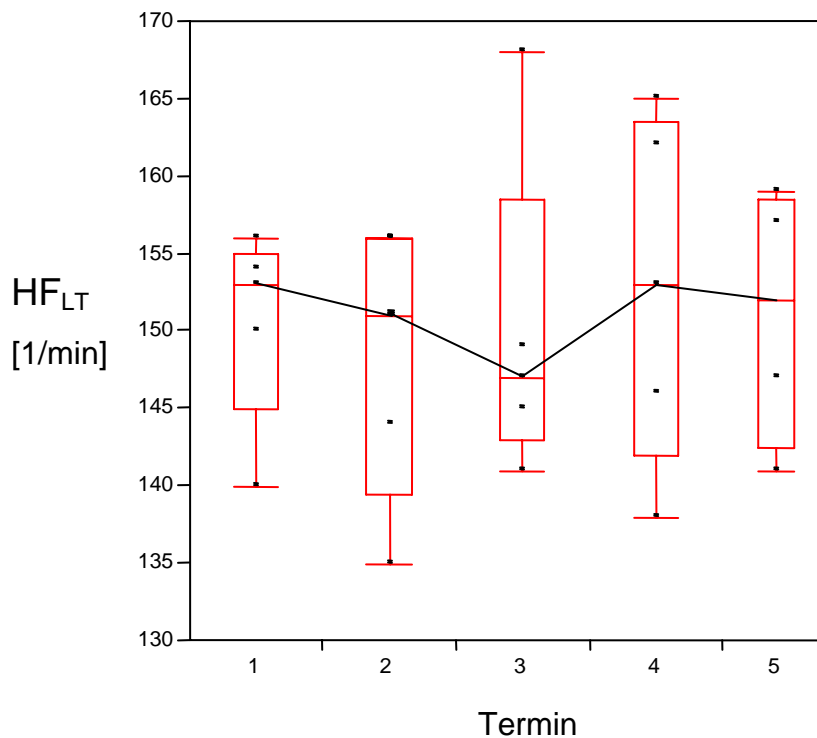


Abb. 29: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Herzfrequenzen an der aeroben Schwelle (HF_{LT} [1/min]) der Trainierten (T), an den fünf Messterminen.

Bei der ersten Messung liegt die Herzfrequenz an der LT bei den Trainierten mit 150 Schlägen pro Minute nahezu auf gleichem Niveau wie bei der zweiten Messung mit 151 Schlägen pro Minute. Im Februar 2000 wird der niedrigste Wert mit 147 Schlägen pro Minute erreicht. Bei der vierten Messung drei Monate später wird mit 153 Schlägen pro Minute fast die gleiche Herzfrequenz wie bei der fünften und letzten Messung mit 152 Schlägen pro Minute erreicht (Abb. 27, Tab. 17). Der Verlauf der Herzfrequenzen an der LT weist bei den Trainierten nahezu einen zweigipfligen Verlauf auf. Nach den aeroben Trainingsphasen steigen die Werte an, um nach den anaeroben Trainingsphasen wieder abzufallen.

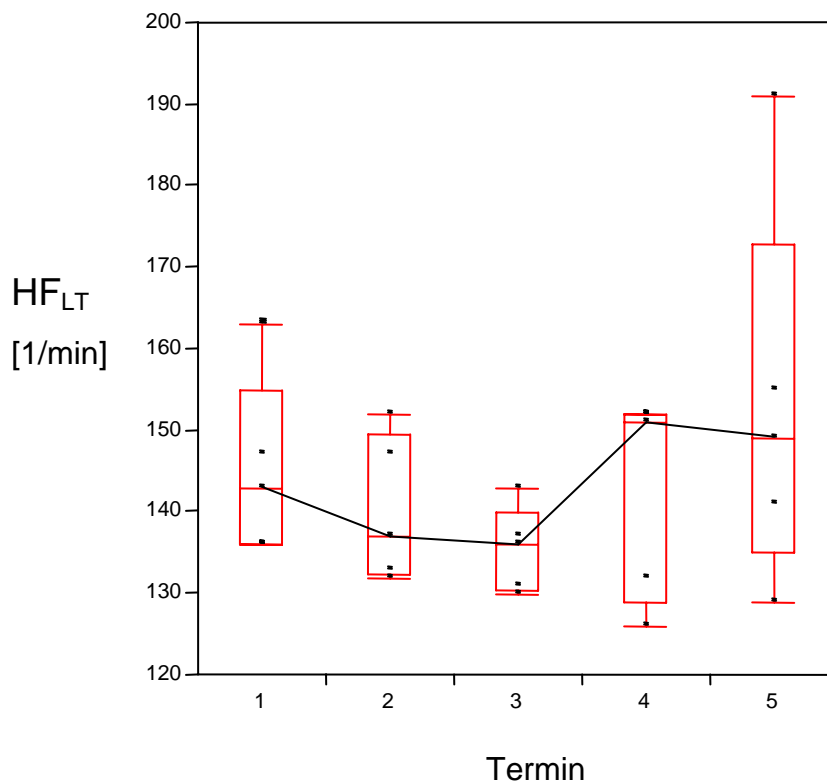
b) HF_{LT} der Untrainierten

Abb. 30: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Herzfrequenzen an der aeroben Schwelle (HF_{LT} [1/min]) der Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

Bei den Untrainierten wird bei der ersten Messung eine Herzfrequenz an der LT von 143 Schlägen pro Minute erreicht, die bei der zweiten Messung im Dezember '99 um 6 Schläge pro Minute auf 137 Schläge pro Minute abfällt. Auch bei der dritten Messung fällt die Herzfrequenz an der LT weiter ab auf 136 Schläge pro Minute, um im April 2000 bei der vierten Messung auf den höchsten Wert von 151 Schlägen pro Minute um 15 Schläge pro Minute anzusteigen. Bei der fünften Messung sinken die Herzfrequenzen an der LT wieder leicht ab auf 149 Schläge pro Minute (Abb. 28, Tab. 17).

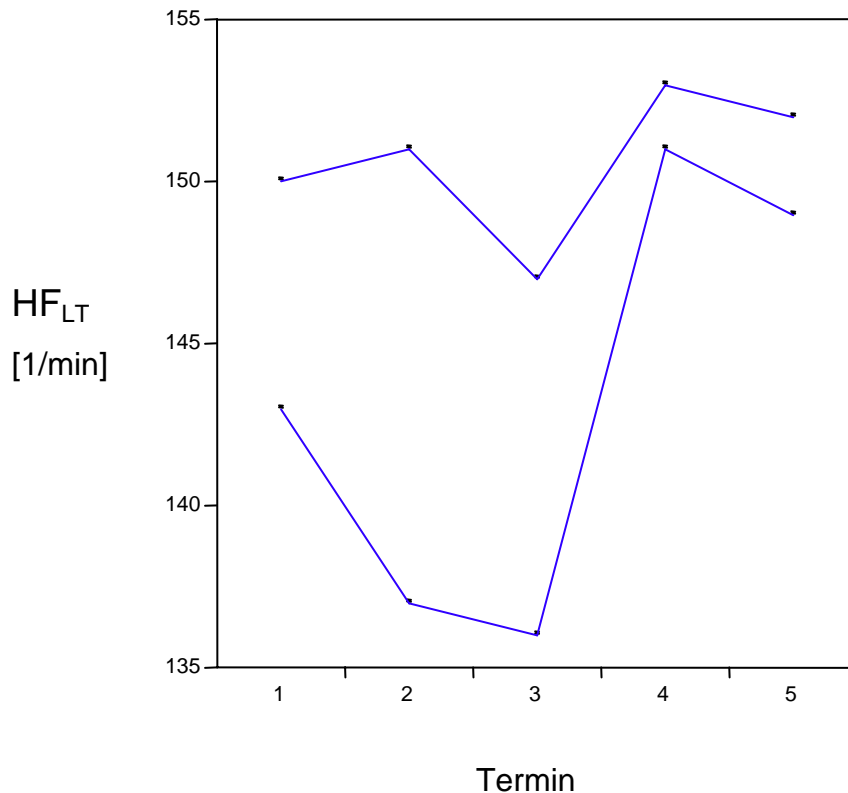
c) HF_{LT} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich

Abb. 31: Medianverläufe der Herzfrequenzen an der aeroben Schwelle (HF_{LT} [1/min]) der Trainierten (T, obere Kurve) und der Untrainierten (UT, untere Kurve).

Beim Vergleich der Herzfrequenzen an der LT liegen die Werte der Trainierten (obere Kurve) über denen der Untrainierten (untere Kurve). Die Kurve der Trainierten zeigt den bereits beschriebenen zweigipfligen Verlauf. Die Kurve der Untrainierten steigt ebenfalls zwischen der dritten und vierten Messung an. Wie bei den Trainierten fällt sie nach der zweiten und vierten Messung ab.

Bei den beiden letzten Messungen im April und Juli/August 2000 liegen die Mediane der Herzfrequenzen an der LT nahe beieinander mit einem Unterschied von zwei bzw. drei Schlägen pro Minute (Abb. 27, 28, 29, Tab. 17).

Messtermin	T [1/min]	UT [1/min]
1	150 (142/ 155)	143 (136/ 155)
2	151 (139,5/ 156)	137 (132,5/ 149,5)
3	147 (143/ 158,5)	136 (130,5/ 140)
4	153 (142/ 163,5)	151 (129/ 152)
5	152 (142,5/ 158,5)	149 (135/ 173)

Tab. 17: Mediane, 25%- und 75%-Quartile der Herzfrequenzen an der aeroben Schwelle (HF_{LT} [1/min]) der Trainierten (T) und Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

Messtermine	T [1/min]	UT [1/min]
1	200 (198/ 218)	199 (194/ 211,5)
2	196 (190,5/ 230)	187 (185/ 207,5)
3	201 (192/ 216)	189 (180/ 190,5)
4	204 (191,5/ 222,5)	195 (179/ 196)
5	196,5 (185,8/ 215,5)	192 (190/ 197,5)

Tab. 18: Mediane, 25%- und 75%-Quartile der maximalen Herzfrequenzen (HF_{MAX} [1/min]) der Trainierten (T) und Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

3.2.3.4 Herzfrequenzen an der maximalen Laufgeschwindigkeit HF_{MAX}

a) HF_{MAX} der Trainierten

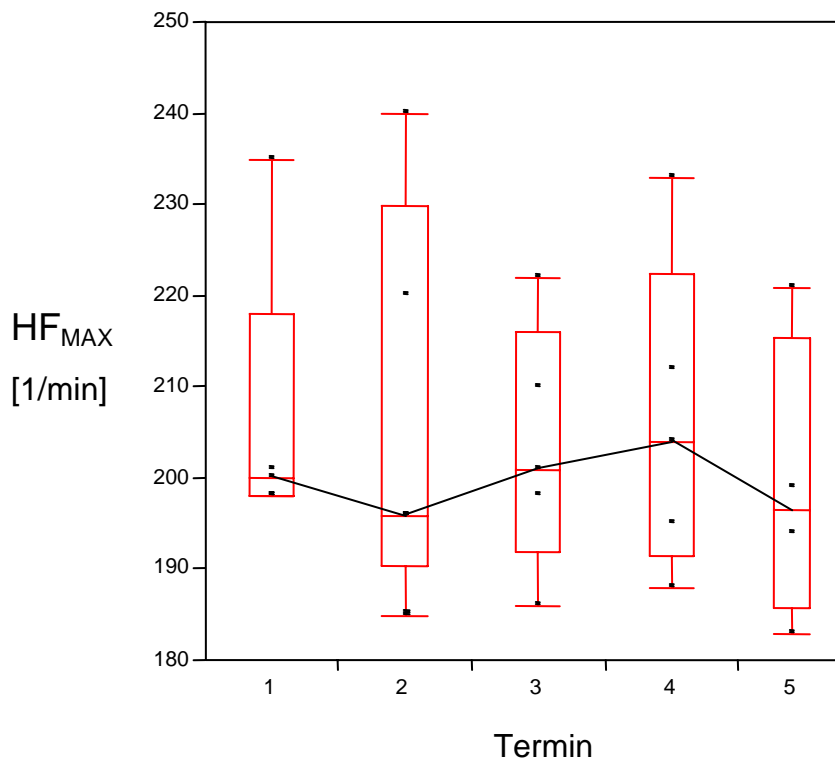


Abb. 32: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile der maximalen Herzfrequenzen (HF_{MAX} [1/min]) der Trainierten (T), an den fünf Messterminen.

Die Herzfrequenzen an der maximalen Laufgeschwindigkeit liegen bei den Trainierten zwischen 196 Schlägen pro Minute und 204 Schlägen pro Minute. Bei der ersten Messung im August 1999 wird ein Medianwert von 200 Schlägen pro Minute erreicht, der bei der zweiten Messung um 4 Schläge pro Minute auf 196 Schläge pro Minute abfällt. Bei der dritten Messung im Februar 2000 steigen die Herzfrequenzen an der maximalen Laufgeschwindigkeit am Median wieder um 5 Schläge pro Minute auf 201 Schläge pro Minute an. Zwei Monate später steigen die Herzfrequenzen weiter auf den höchsten Wert von 204 Schlägen pro Minute an. Zur fünften und letzten Messung fallen die Herzfrequenzen wieder um 7,5 Schläge pro Minute auf 196,5 Schläge pro Minute ab (Abb. 30, Tab. 18).

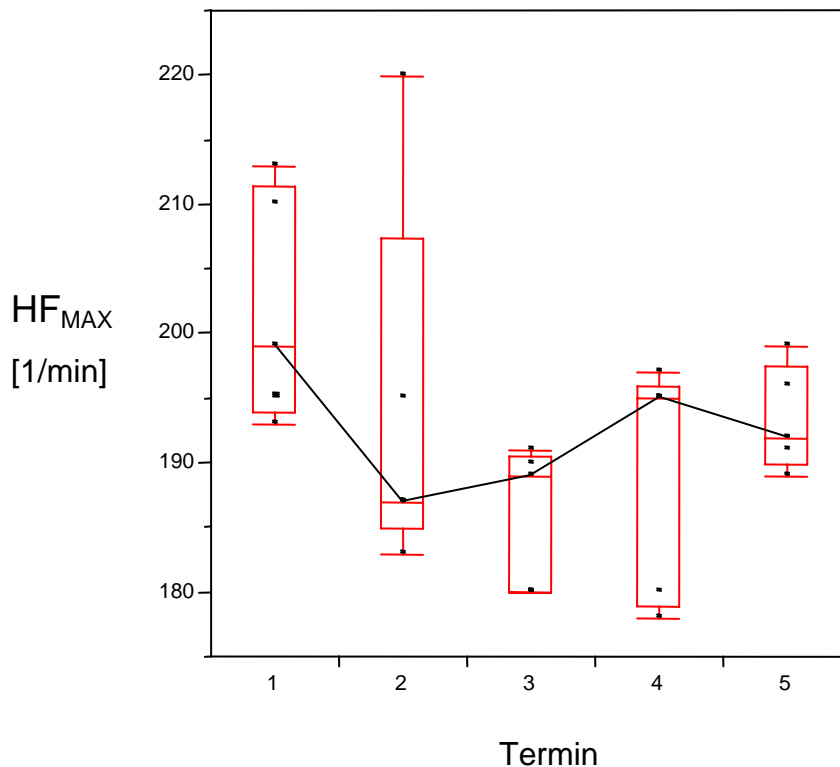
b) HF_{MAX} der Untrainierten

Abb. 33: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile der maximalen Herzfrequenzen (HF_{MAX} (UT), an den fünf Messterminen.

Die Herzfrequenzen der untrainierten Probanden an der maximalen Laufgeschwindigkeit erreichen bei der ersten Messung im August '99 mit 199 Schlägen pro Minute den höchsten Wert. Nach einem Abfall um 12 Schläge pro Minute auf 187 Schläge pro Minute bei der zweiten Messung steigt der Wert bei der dritten Messung im Februar 2000 wieder leicht an auf 189 Schläge pro Minute. Nach einem weiteren Anstieg um 6 Schläge pro Minute auf 195 Schläge pro Minute bei der vierten Messung fallen die Herzfrequenzen bei der letzten Messung wieder um 3 Schläge pro Minute auf 192 Schläge pro Minute ab (Abb. 31, Tab. 18).

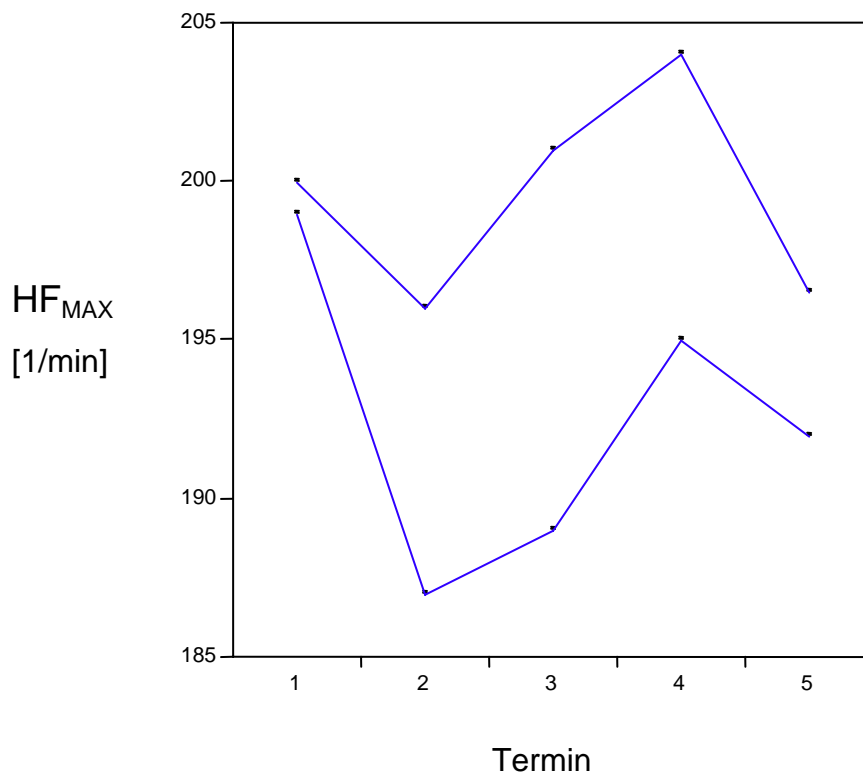
c) HF_{MAX} der Trainierten und Untrainierten im Vergleich

Abb. 34: Medianverläufe der maximalen Herzfrequenzen (HF_{MAX} [1/min]) der Trainierten (T, obere Kurve) und der Untrainierten (UT, untere Kurve).

Die Herzfrequenzen an der maximalen Laufgeschwindigkeit der trainierten und untrainierten Probanden verlaufen gleichsinnig. Beide Gruppen erreichen bei der ersten Messung annähernd gleiche Werte mit 199 bzw. 200 Schlägen pro Minute. Bei beiden Gruppen fallen die maximalen Herzfrequenzen bei der zweiten Messung ab, bei den Untrainierten (untere Kurve) allerdings um 12 Schläge pro Minute mehr. Die Untrainierten erreichen den höchsten Wert bei der ersten Messung, die Trainierten bei der vierten Messung im April 2000 (Abb. 30, 31, 32, Tab. 18).

3.3 Submaximale Sprinttestserie

3.3.1 Anaerobe Kapazität der Trainierten

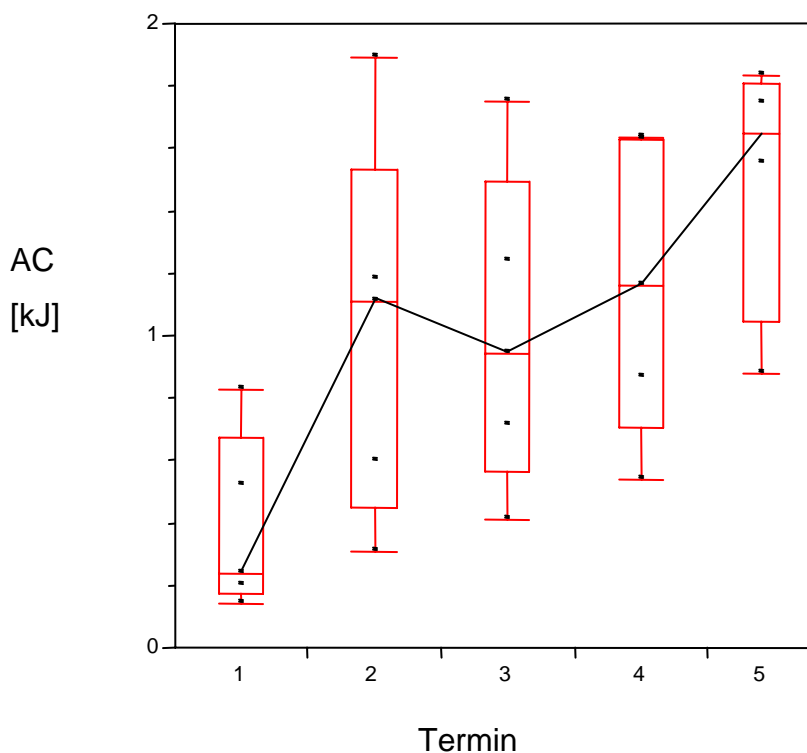


Abb. 35: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile der anaeroben Kapazität (AC [kJ]) der Trainierten (T), an den fünf Messterminen.

Die Mediane der anaeroben Kapazitäten (AC [kJ]) bewegen sich bei den Trainierten zwischen 0,24 kJ bei der ersten und 1,65 kJ bei der letzten Messung. Die niedrigsten Werte für die anaerobe Kapazität werden bei der ersten Messung im August '99 erreicht. Die anaerobe Kapazität steigt bei der zweiten Messung um 0,88 kJ auf 1,12 kJ an, um bei der dritten Messung im Februar 2000 nach der ersten aeroben Grundlagentrainingsphase um 0,17 kJ auf 0,95 kJ abzufallen. Bei der vierten Messung steigt die anaerobe Kapazität um 0,21 kJ auf 1,16 kJ an. Bei der Fünften Messung wird mit 1,65 kJ nach der zweiten anaeroben Trainingsphase der höchste Medianwert für die anaerobe Kapazität erreicht (Abb. 33, Tab. 19).

3.3.2 Anaerobe Kapazität der Untrainierten

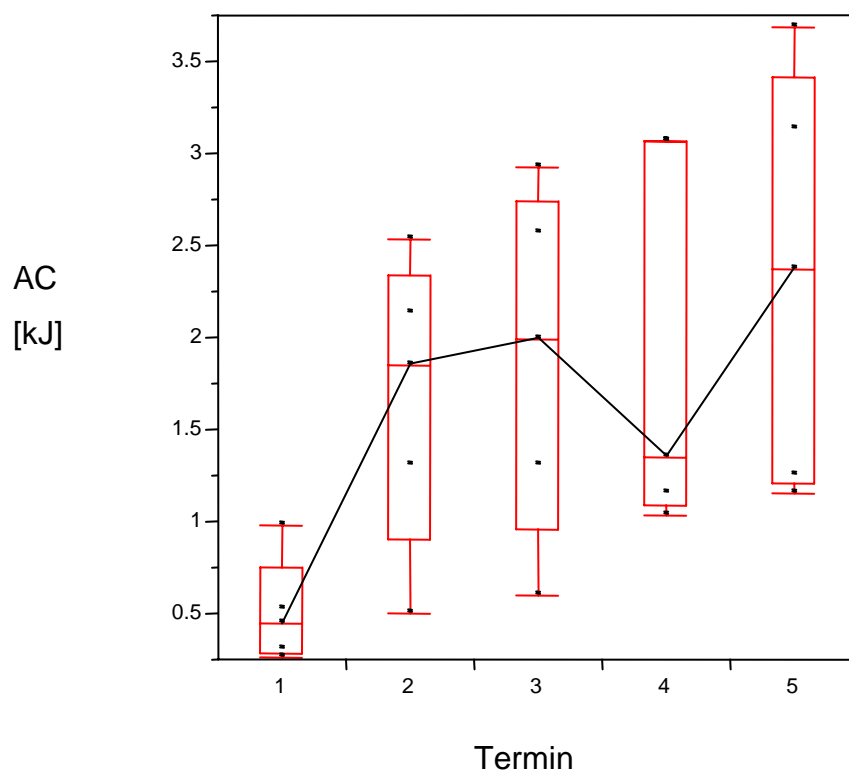


Abb. 36: Einzelwerte, Mediane, 25%- und 75%-Quartile der anaeroben Kapazität (AC [kJ]) der Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

Bei den Untrainierten verlaufen die Mediane der anaeroben Kapazitäten insgesamt gesehen ebenfalls ansteigend und liegen zwischen 0,45 kJ und 2,37 kJ. Wie bei den Trainierten wird bei der Gruppe der Untrainierten der niedrigste Wert der anaeroben Kapazität bei der ersten Messung mit 0,45 kJ erreicht. Nach einem Anstieg um 1,41 kJ bei der zweiten Messung im Dezember '99 steigt die anaerobe Kapazität weiter um 0,14 kJ auf 2,00 kJ bei der dritten Messung. Nach einem Abfall um 0,65 kJ auf 1,35 kJ erreichen die Untrainierten bei der fünften und letzten Messung nach einem Anstieg von über 1 kJ den höchsten gemessenen Wert der anaeroben Kapazität mit 2,37 kJ (Abb. 34, Tab. 19).

3.3.3 Anaerobe Kapazität der Trainierten und Untrainierten im Vergleich

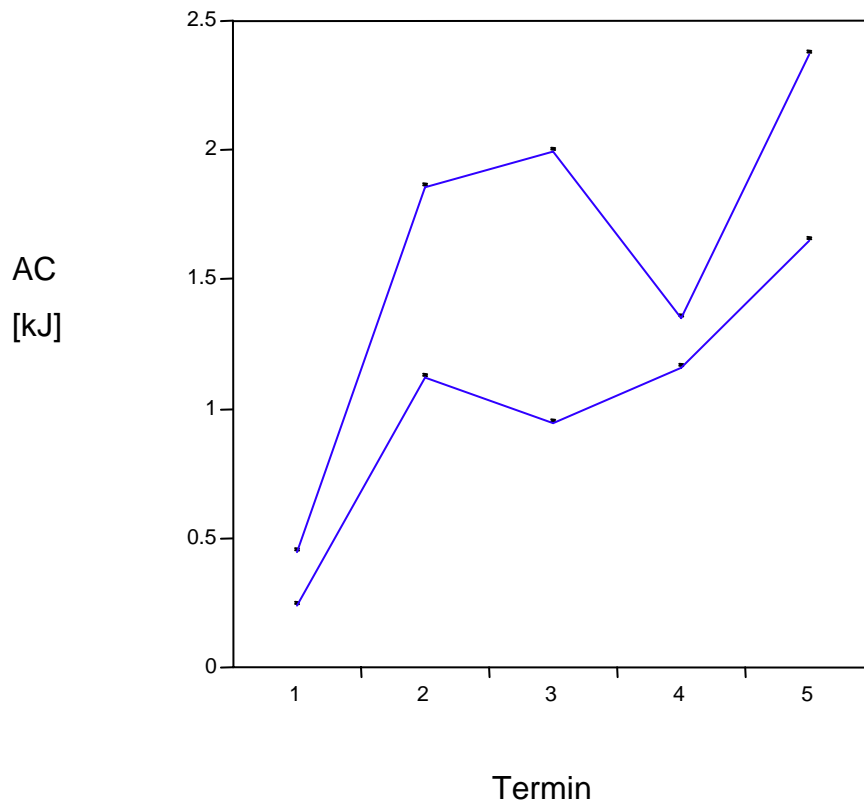


Abb. 37: Medianverläufe der anaeroben Kapazität (AC [kJ]) der Trainierten (T, untere Kurve) und der Untrainierten (UT, obere Kurve).

Im Vergleich liegen die Mediane der anaeroben Kapazität der Untrainierten höher als die der Trainierten. Bei beiden Gruppen werden die niedrigsten Werte bei der ersten und die höchsten Werte bei der letzten Messung erreicht. Bei beiden Gruppen verläuft die anaerobe Kapazität insgesamt gesehen ansteigend. Bei der vierten Messung fällt die anaerobe Kapazität bei den Untrainierten stark ab, wohingegen die anaerobe Kapazität der Trainierten bei dieser Messung leicht zunimmt. Bei der fünften und letzten Messung nehmen die anaerobe Kapazitäten bei beiden Gruppen wieder deutlich zu (Abb. 33, 34, 35, Tab. 19).

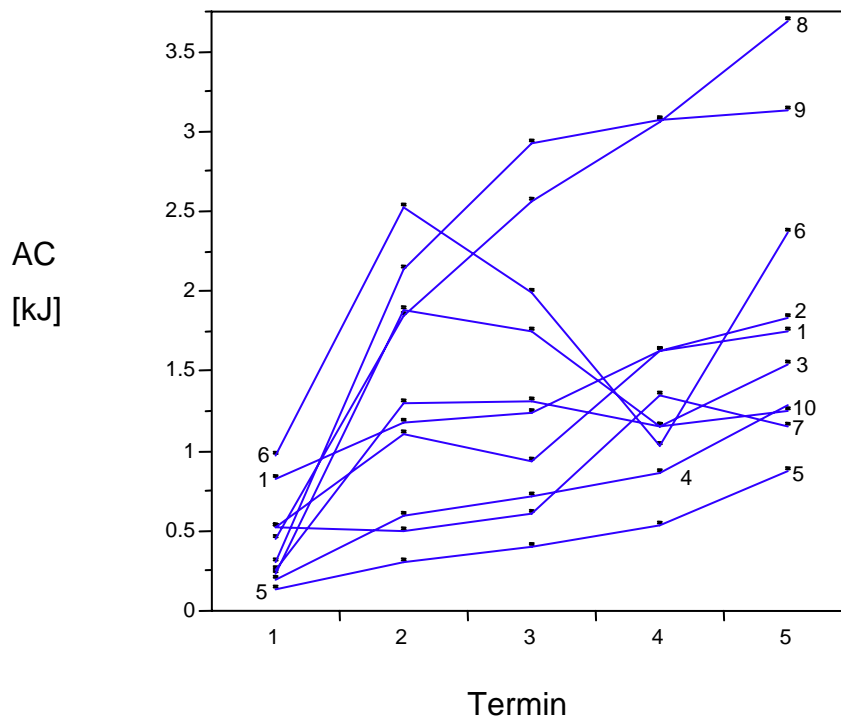


Abb. 38: Einzelverläufe der anaeroben Kapazität (AC [kJ]) der Trainierten (Kurven 1-5) und der Untrainierten (Kurven 6-10).

Bei den Einzelverläufen lässt sich bei den Trainierten ein tendenzieller Anstieg der anaeroben Kapazitäten erkennen (Abb. 36).

Messtermin	T [kJ]	UT [kJ]
1	0,24 (0,17/ 0,68)	0,45 (0,29/ 0,76)
2	1,12 (0,45/ 1,54)	1,86 (0,91/ 2,34)
3	0,95 (0,56/ 1,50)	2,00 (0,96/ 2,75)
4	1,16 (0,71/ 1,63)	1,35 (1,10/ 3,07)
5	1,65 (1,05/ 1,81)	2,37 (1,21/ 3,42)

Tab. 19: Mediane, 25%- und 75%-Quartile der anaeroben Kapazität (AC [kJ]) der Trainierten (T) und Untrainierten (UT), an den fünf Messterminen.

4. Diskussion

Bei Ausdauerbelastungen zwischen zwei und fünf Minuten hat die Verfügbarkeit der aeroben und anaeroben Glykolyse entscheidenden Einfluss auf den Wettkampferfolg. Eine Diagnostik der Leistungsfähigkeit von Mittelstreckenläufern, wie beispielsweise 800m- oder 1500m-Läufern, deren Wettkampfbelastungszeiten zwischen 1:45 Minuten und 4:30 Minuten liegen, muss daher sowohl die aeroben wie auch die anaeroben Stoffwechselfvorgänge umfassen (3, 63).

Zur Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit und Trainingssteuerung im Leistungssport wird seit nunmehr drei Jahrzehnten der Mehrstufentest auf dem Laufband- oder Fahrradergometer angewandt (10,38,51,65). Studien konnten zeigen, dass sich nach Ausdauertraining die aerobe Leistungsfähigkeit steigern lässt (36,44,57,73,74,77,81). Die Verbesserung der aeroben Leistungsfähigkeit nach entsprechendem Training bewegte sich zwischen zwei und zehn Prozent (7,13,69).

Im Gegensatz zur Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit stellt sich die Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit, insbesondere bei Tests auf Laufbandergometern, wesentlich schwieriger dar (4,63,76). Ein einheitliches Testverfahren hat sich bis heute nicht herauskristallisieren können (5,43,78). Wesentliche Studien auf diesem Gebiet führten zur Bestimmung des anaeroben Leistungsvermögens wiederholte submaximale Belastungen auf dem Fahrradergometer durch, über die dann die anaerobe Kapazität durch unterschiedliche mathematische Verfahren berechnet werden konnte (14,16,22,55,58,62). Dabei ließ sich eine Verbesserung der anaeroben Leistungsfähigkeit durch entsprechendes hochintensives Training darstellen (26,40,50,53,54,61).

Die genannten Studien zeigten aber nur einmalige trainingsinduzierte Veränderungen, es gibt jedoch keine Daten über trainingsinduzierte

Veränderungen, die sowohl den aeroben wie anaeroben Leistungsbereich im Jahreslängsschnitt betreffen.

Diese unzureichende Datenlage und das Fehlen von Jahreslängsschnittsuntersuchungen gaben Anlass zu dieser Studie, die in der Annahme durchgeführt wurde, dass es eine Veränderung der aeroben bzw. anaeroben Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der unterschiedlichen Trainingsphasen gibt. Ein vermehrtes aerobes Grundlagentraining müsste zu einer Verbesserung der aeroben und einer Reduzierung der anaeroben Leistungsfähigkeit führen. Umgekehrt wurde davon ausgegangen, dass das hochintensive Training in der Wettkampfphase zu einer Verbesserung der anaeroben und einer Reduzierung der aeroben Leistungsfähigkeit führt.

Mit der Annahme dieser trainingsbedingten Veränderungen stellt sich die Frage nach der geeigneten Messmethodik. Zur Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit steht mit Bestimmung der IAS (individuell-anaeroben Schwelle) auf der Basis einer stufenförmig gesteigerten Belastung auf dem Laufbandergometer ein standardisiertes Verfahren zur Verfügung (10). Hierzu wird aus der gewonnenen Laktat-Leistungskurve die IAS 1,5 mmol/l über der LT als Maß für die aerobe Leistungsfähigkeit herangezogen. Eine Verbesserung der IAS stellt dabei eine Verbesserung der aeroben Leistungsfähigkeit dar.

Zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit hat sich trotz zahlreicher Untersuchungen und Ansätze (14,20,21,42,43,65,70,75), wie bereits ausgeführt, noch kein standardisiertes Messverfahren etablieren können. In der hier durchgeführten Studie wurde ein von Monod und Scherrer (52) entwickeltes Verfahren herangezogen und in abgewandelter Form angewandt, dessen Problematik im folgenden noch dargestellt werden soll.

4.1. Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit

Es stellte sich Frage, ob sich mit dem hier gewählten Verfahren zur Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit die der Nullhypothese entsprechenden Veränderungen im Jahreslängsschnitt bei einem speziell trainierten Probandenkollektiv von Mittelstreckenläufern darstellen lassen.

Nach der Nullhypothese wurde ein Anstieg der aeroben Leistungsfähigkeit nach den aeroben (GTP I und GTP II) und ein Abfallen derselben nach den anaeroben Trainingsphasen (WP I und WP II) erwartet. Es zeigte sich im Mehrstufentest dieses erwartete Ergebnis. Nach den aeroben Trainingsphasen kam es bei den trainierten Probanden T zu einer Zunahme der Geschwindigkeit an der individuellen-anaeroben Schwelle (V_{IAS}). Nach den anaeroben Wettkampfphasen nahm die V_{IAS} wieder ab. Es wurde also der erwartete zweiphasige Verlauf gefunden (Abb. 4).

Im Vergleich dazu änderte sich die V_{IAS} bei der Gruppe UT dergestalt, dass in den ersten drei Untersuchungsterminen ein zunehmender Anstieg ergab, während es in den letzten beiden Untersuchungsterminen wiederum zu einem Abfall der V_{IAS} kam (Abb. 5). Hierbei sei noch einmal angemerkt, dass die UT nicht den Trainingsphasen der Gruppe T unterlag. Schwankungen in dieser Gruppe sind möglicherweise mit anderen Einflüssen, wie z.B. Jahreszeiten, in Verbindung zu bringen. Bei der untrainierten Gruppe kam es im Jahresverlauf insgesamt zu einer Leistungszunahme, was sich möglicherweise auch dadurch erklären lässt, dass allein schon das Laufen auf dem Laufband während der Messungen für diese Probanden einen Trainingsreiz darstellte. Auch wirkte sich diese Studie auf einen Teil der Gruppe der UT trotz der Vorgabe, das bisherige Sportverhalten beizubehalten, möglicherweise motivationsfördernd auf die sportliche Aktivität aus. Außerdem wurden bei beiden Gruppen jeweils bei der ersten Messung im August `99 die niedrigste V_{IAS} erreicht, was sich bei beiden Gruppen auch durch fehlende Laufbänderfahrung und damit Gewöhnung an die Laufbandergometerbelastung erklären lässt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich die V_{IAS} bei der Gruppe T entsprechend der Nullhypothese darstellte. Im Gegensatz hierzu konnte bei der Gruppe UT kein typischer Verlauf gefunden werden.

Gleiches gilt auch für die V_{LT} , die bei der Gruppe T entsprechende den Trainingsphasen einen typischen Anstieg bzw. Abfall zeigte, während sich bei der Gruppe UT kein typischer Verlauf der V_{LT} ergab (Abb. 10). Hinsichtlich der maximalen Laufgeschwindigkeit im Mehrstufentest (V_{MAX}) ergaben sich im Jahresverlauf bei beiden Gruppen bis auf den letzten Messtermin, bei dem sich die Gruppe UT um 2 km/h steigerte und sich die Gruppe T um 1 km/h verschlechterte nahezu gleichbleibende Werte. Bei den UT lässt sich dieses Ergebnis möglicherweise wieder auf den Trainingseffekt der Studie selbst zurückführen.

In Übereinstimmung mit früheren Untersuchungen zeigten sich an der IAS und LT für die Gruppe T niedrigere Laktatwerte als für die Gruppe UT (48,60). Die wichtigste Ursache hierfür dürfte der höhere Anteil an slow-twitch Muskelfasern mit hoher aerober Kapazität bei der Gruppe T sein (6). Im Gegensatz hierzu zeigten die Laktatwerte an der IAS ($Laktat_{IAS}$) bei den Trainierten keinen typischen Verlauf im Jahreslängsschnitt. Es kam während der ersten drei Messtermine zu einem leichten Abfall der $Laktat_{IAS}$ -Werte, während sich dann bei den letzten beiden Terminen wieder ein geringfügiger Anstieg zeigte. Eine Anpassungsreaktion während der aeroben Grundlagentrainingsphasen, die sich in einem erniedrigten $Laktat_{IAS}$ widerspiegeln würde, konnte nicht gefunden werden. Bei der Gruppe UT zeigte sich ebenfalls kein typischer Verlauf (Abb. 14). Entsprechendes fand sich auch für die Laktatwerte an der LT (Abb. 18).

Die Herzfrequenzen in Ruhe schwankten bei der Gruppe T stark und lagen jeweils nach der aeroben Trainingsphase im Median um 10 Schläge pro Minute tiefer, was als Effekt des aeroben Ausdauertrainings gesehen werden kann (8, 29,80). Dieser Effekt war reversibel, nach den anaeroben Trainingsphasen lagen die Ruheherzfrequenzen bei beiden Messungen (dritte und fünfte

Messung) wieder in Höhe des Ausgangswertes (Abb. 15). Die Herzfrequenzen an der IAS (HF_{IAS}) zeigten bei den Trainierten hingegen keinen typischen Verlauf. Während der Median an den ersten beiden Messterminen bei 175 Schlägen pro Minute lag, zeigte sich bei den übrigen drei Messterminen ein Wert von 183 bis 185 Schlägen pro Minute. Im Gegensatz hierzu kam es bei der Gruppe UT zunächst während den ersten drei Messterminen zu einem kontinuierlichen Abfall der HF_{IAS} , während die HF_{IAS} -Werte der letzten beiden Termine wieder auf höherem Niveau lagen. Eine typische Erniedrigung der HF_{IAS} , wie dies nach vermehrtem aeroben Grundlagenausdauertraining zu erwarten gewesen wäre, konnte mithin nicht gefunden werden (Abb. 26). Für die maximalen Herzfrequenzen im Mehrstufentest (HF_{MAX}) fand sich gleichfalls kein typischer Verlauf (Tab. 18).

4.2. Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit

Im Gegensatz zur aeroben Leistungsfähigkeit, die entsprechend der Nullhypothese bei der Gruppe T nach den aeroben Trainingsphasen zu- und nach den anaeroben Wettkampfphasen abnahm, verhielt sich die anaerobe Kapazität, die aus der submaximalen Sprinttestserie auf der Basis des Critical-Power-Konzepts nach Monod und Scherrer berechnet wurden, nicht erwartungsgemäß. Dem lag die Annahme zugrunde, dass sich nach einer vornehmlich anaeroben Wettkampfphasen auch die anaerobe Kapazität (AC) verbessern würde. Es müsste sich folglich am dritten und fünften Messtermin eine höhere AC ergeben.

Entgegen dieser Annahme stieg bei den Trainierten die AC bei der zweiten Messung, also auch nach primär aeroben Training an (Abb. 33). Es zeigte sich mithin eine Steigerung der AC nach primär aeroben Training, wohingegen diese nach der Nullhypothese hätte abfallen müssen. Umgekehrt verhielt es sich nach der darauffolgenden anaeroben Wettkampfphasen (WP I). Hier fiel die anaerobe Kapazität ab, obwohl ein Anstieg zu erwarten gewesen wäre. Erst

nach der zweiten anaeroben Phase (WP II) ergab sich den Erwartungen entsprechend ein deutlicher Anstieg der AC (Abb. 33).

Der deutliche Anstieg der AC zwischen den Messterminen eins und zwei lässt sich möglicherweise dadurch erklären, dass selbst für Probanden mit Laufbänderfahrung submaximale Sprinttests auf dem Laufband ungewohnt waren. Mit dem Sicherheitsgurt zu laufen und sich nach dem Sprinttests in den Gurt fallen zu lassen, während das Band noch einige Sekunden weiterläuft und erst später anhält, war für die Probanden trotz der Sicherheitsvorkehrungen und technischen Erklärungen durch die Untersucher möglicherweise mit Bedenken oder sogar mit Angst verbunden.

Gleiches gilt für die Gruppe UT. Auch hier liegt die AC am Messtermin eins deutlich niedriger als bei den Folgemessungen. Auch hier ist anzunehmen, dass die mangelnde Erfahrung, bei submaximalen Geschwindigkeiten auf dem Laufbändergometer zu laufen, mit einer gewissen Unsicherheit in Verbindung steht. Die bei den weiteren Messterminen ermittelten AC-Werte zeigten bei der Gruppe UT mit Ausnahme des Messtermins vier eine ansteigende Tendenz (Abb. 34).

Insgesamt betrachtet nahm also die AC sowohl bei den Trainierten als auch bei den Untrainierten im Verlauf über sämtliche fünf Messtermine zu. Dies kann zum einen Folge des bereits erwähnten Gewöhnungseffektes sein. Mit zunehmender Laufbänderfahrung können sich zudem Motorik und Lauftechnik der Probanden entsprechend angepasst haben. Zum andern spielte bei der Gruppe UT möglicherweise der durch die Tests selbst resultierende Trainingseffekt eine Rolle.

Zusammenfassend kann für die submaximalen Sprinttests festgehalten werden, dass sich bei der Gruppe T nur bei der fünften und letzten Messung ein der Nullhypothese entsprechendes Ergebnis zeigte, während sich bei den übrigen

vier Messungen die AC-Werte nicht entsprechend der theoretischen Annahmen verhielten.

Es erscheint aufgrund dieser Ergebnisse sehr fraglich, ob die angewandte Messmethodik zur Bestimmung der AC geeignet ist, um Veränderungen der AC im Jahreslängsschnitt darstellen zu können. Zum einen sind die submaximalen Sprinttests auf dem Laufbandergometer motivationsabhängig, da die maximale Belastungsdauer in den einzelnen Sprittests direkt in die Formel zur Berechnung der AC eingeht (2,33,79). Dies ist generell bei der angewandten Methode zur Bestimmung der AC im Vergleich zur aeroben Leistungsdiagnostik ein Nachteil, da die Motivation, sich maximal auszubelasten, einer ganzen Reihe von äußeren Einflüssen unterliegt, die von Messtermin zu Messtermin nicht konstant gehalten werden können (65). Dieses Problem stellt sich bei der Bestimmung der IAS zur Abschätzung der aeroben Leistungsfähigkeit nicht, da dieses Verfahren im Gegensatz hierzu nicht von der Ausbelastung des Probanden und damit motivationsunabhängig ist (20). Eine „schlechte“ Tagesform bei Durchführung der submaximalen Sprinttestserie konnte daher starke Auswirkungen auf das Testergebnis haben. Besonders nach den Wettkampfphasen waren die Probanden subjektiv weniger motiviert sich auszubelasten, als in den aeroben Trainingsphasen.

Überdies stellt sich das Problem der interindividuell vergleichbaren Belastungsintensität für die einzelnen submaximalen Sprinttests. Die Sprintgeschwindigkeiten wurden anhand von im Feldtest auf der Laufbahn ermittelten maximalen Laufgeschwindigkeiten bestimmt. Zwar wurden diese bei allen Probanden in identischer Vorgehensweise durchgeführt, jedoch ist die maximale Laufgeschwindigkeit selbst motivationsabhängig. Folge dieses Problems ist, dass die Abbruchzeiten in den einzelnen submaximalen Sprinttests unterschiedlich lange waren. Dies wiederum führt zu weiteren Ungenauigkeiten der Methode, da gezeigt werden konnte, dass die Höhe der AC von den Abbruchzeiten der einzelnen submaximalen Sprinttests abhängig ist (47).

Ein weiteres Problem bei Untersuchungen auf Laufbandergometern liegt darin begründet, dass das Laufband einige Sekunden benötigt, um auf die eingestellte Geschwindigkeit hochzufahren. Da das Hochfahren des Ergometers für unterschiedliche Geschwindigkeiten unterschiedlich lange dauert, können sich hieraus für die Bestimmung der AC zusätzliche Ungenauigkeiten ergeben.

Auffällig ist weiterhin, dass die in der vorliegenden Untersuchung gemessenen absoluten Werte für die AC deutlich niedriger liegen als bei Vergleichsstudien auf Fahrradergometern (16,17). Dies kann darin begründet liegen, dass im Gegensatz zu Untersuchungen auf Fahrradergometern die Leistung bei Untersuchungen auf Laufbandergometern nicht direkt bestimmt werden kann, sondern über eine Formel näherungsweise bestimmt werden muss (28). Auf dem Laufbandergometer kann nur die vertikal verrichtete Arbeit direkt bestimmt werden, während sich die horizontal verrichtete Arbeit nur abschätzen lässt (32). Von Einfluss sind hierbei auch die in den einzelnen submaximalen Sprittests erreichten Abbruchzeiten, deren Länge, wie bereits erwähnt, Einfluss auf die absolute Höhe der AC hat (2,33).

Schlussendlich sind auch die Grundüberlegungen des Modells zur Bestimmung der AC nach Monod und Scherrer kritisch zu bewerten. Diese gehen von der Überlegung aus, dass eine bestimmte Belastungsintensität nur für eine bestimmte Zeitdauer erbracht werden kann. Eine hohe Belastungsintensität kann nur für kurze Zeit erbracht werden, eine Belastung niedriger Intensität kann dagegen über längere Zeit durchgehalten werden.

Solange man mittlere Belastungsintensitäten wählt, mögen diese Voraussetzungen stimmen. Je mehr sich die Belastungszeiten aber den Randbereichen nähern, desto kritischer ist die Anwendung dieses Modells zu bewerten (79). Bei sehr niedrigen Belastungsintensitäten geht die Zeitdauer gegen unendlich, wohingegen kein Sportler unendlich laufen kann, egal wie

niedrig die Belastungsintensität gewählt wird. Umgekehrt geht bei sehr großen Belastungsintensitäten die Zeitdauer, die diese Belastungsintensität erbracht werden kann, gegen null.

In den Randbereichen weist dieses Modell folglich Ungenauigkeiten und Schwachstellen auf (22,79). Doch bewegten sich die Probanden beim submaximalen Sprinttest genau in diesem Randbereich. Einerseits ist es sinnvoll, die Belastungsintensität bei den einzelnen Sprittests möglichst hoch zu wählen, um Mischdarstellungen zwischen aerober und anaerober Energiebereitstellung zu verhindern (20,31,45,64). Denn je niedriger die Belastungsintensität gewählt wird, d.h. je länger diese durchgehalten werden kann, desto größer wird der Einfluss des aeroben Metabolismus (15). Bereits bei einer Belastungsdauer von 45 Sekunden beträgt der Anteil der anaeroben zur aeroben Energiebereitstellung 80% zu 20% (2). Andererseits führen sehr hohe Belastungsintensitäten gerade bei Belastungen auf Laufbandergometern zu koordinativen Problemen für die Probanden. Bei sehr hohen Belastungsintensitäten betrug die Abbruchzeit teilweise nur 2 oder 3 Sekunden, was wiederum zu Messfehlern führen kann.

Aufgrund der dargestellten Problempunkte, sowohl des theoretischen Ansatzes des Modells nach Monod und Scherrer wie auch bei der praktischen Durchführung hochintensiver Belastungen auf dem Laufbandergometer, scheint eine exakte Abschätzung der anaeroben Kapazität im Jahreslängsschnitt bei trainierten und untrainierten Probanden nicht möglich. Mithin lassen sich mit den angewandten Verfahren zur Bestimmung der anaeroben Kapazität eine Leistungsverbesserung bzw. -reduzierung aufgrund primär anaerobem bzw. primär aerobem Training nicht sicher darstellen.

4.3. Schlussfolgerungen

Aufgrund der obigen Ausführungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Mit Hilfe der Laktatdiagnostik zur Bestimmung der IAS scheinen sich trainingsbedingte Veränderungen der aeroben Leistungsfähigkeit im Jahreslängsschnitt bei Mittelstreckenläufern darstellen zu lassen. Zur Verifizierung dieses Ansatzes sind weitere Untersuchungen an größeren Probandenkollektiven notwendig.
2. Die Anwendung eines modifizierten Critical-Power-Modells nach Monod und Scherrer als Messverfahren für die anaerobe Kapazität auf dem Laufbandergometer scheint nicht geeignet, Veränderungen der anaeroben Kapazität im Jahreslängsschnitt darzustellen.

5. Zusammenfassung

In der Leistungsdiagnostik zur Trainingssteuerung bzw. zur Überprüfung des Trainingserfolges hat sich bei Ausdauersportarten der Mehrstufentest als das meistgebräuchliche Testverfahren zur Bestimmung der aeroben Kapazität bewährt. Dies geschieht über die Bestimmung der individuell-anaeroben Schwelle (IAS), welche im Mehrstufentest motivationsunabhängig bestimmt werden kann.

Im Gegensatz hierzu gibt es zur Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung bei Sprint(ausdauer-)sportarten zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit trotz zahlreicher Ansätze bis heute kein gängiges Testverfahren. Die Bestimmung der anaeroben Kapazität hat nicht nur bei reinen Sprintern Relevanz sondern z.B. auch bei Mittelstreckenläufern, bei denen die Gesamtleistung sowohl aus aerober als auch aus anaerober Glykolyse limitiert wird.

Zur Bestimmung der anaeroben Kapazität wandten wir einen modifizierten Ansatz des Critical-Power-Modells von Monod/Scherrer an und ermittelten durch wiederholte submaximale Einzelsprinttests auf dem Laufbandergometer die anaerobe Kapazität zu fünf unterschiedlichen Messzeitpunkten im Jahreslängsschnitt an einem Trainiertenkollektiv von Mittelstreckenläufern und einer Kontrollgruppe. Zur Bestimmung der aeroben Kapazität an den vorbeschriebenen Messzeitpunkten wurde ein Mehrstufentest auf dem Laufbandergometer durchgeführt und die individuell-anaerobe Schwelle nach Dickhuth et al. bestimmt (Basislaktat plus 1,5 mmol/l).

Es wurde angenommen, dass sich nach den Grundlagentrainingsphasen im Herbst und Frühjahr jeweils eine verbesserte Grundlagenausdauerleistungsfähigkeit gemessen an der IAS ergibt, während nach den Wettkampfperioden im Winter und Sommer eine Verbesserung der anaeroben Leistungsfähigkeit gemessen anhand des Critical-Power-Konzepts

erwartet wurde. Entsprechend der Annahme zeigte sich beim trainierten Probandenkollektiv eine Verbesserung der aeroben Kapazität nach den Grundlagentrainingsphasen. Eine Verbesserung der anaeroben Kapazität nach den Wettkampfphasen konnte hingegen nur nach der letzten Wettkampfphase verzeichnet werden. Auch zeigten sich im Vergleich zu bisherigen Bestimmungen der anaeroben Kapazität auf Fahrradergometern insgesamt deutlich niedrigere Werte.

Das von uns modifizierte Modell nach Monod und Scherrer scheint insgesamt nicht geeignet, entsprechende Veränderungen der anaeroben Kapazität im Jahreslängsschnitt darzustellen. Im Gegensatz hierzu scheinen sich Veränderungen der aeroben Leistungsfähigkeit im Jahreslängsschnitt durch Bestimmung der IAS darstellen zu lassen. Zur Verifizierung dieses Ansatzes sind weitere Untersuchungen an einem größeren Probandenkollektiv notwendig.

6. Literaturverzeichnis

1. Billat, L. V. (1996)

Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. Recommendations for long-distance running. *Sports Med.* 22: 157-175.

2. Bishop, D., Jenkins, G., Howard, A. (1998)

The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise test chosen. *Int. J. Sports. Med.* 19: 125-129.

3. Bogdanis, B. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., Lakomy, H. K (1996)

Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J. Appl. Physiol.* 80: 876-884.

4. Boulay, M. R., Lortie, G., Simoneau, J. A., Hamel, P., Leblanc, C., Bouchard, C., (1985)

Specificity of aerobic and anaerobic work capacities and powers. *Int. J. Sports. Med.* 6: 325-328.

5. Bulbulian, R., Jeong, J. W., Murphy, M. (1996)

Comparison of anaerobic components of the Wingate and Critical Power tests in males and females. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 28: 1336-1341.

6. Burkle, R. E. (1980)

Motorunit types: functional specialisations in motorcontrol. *Trends. Neuro. Sci.* 3: 255-258.

7. Carter, H., Jones, A. M., Doust, J. H. (1999)

Effect of 6 weeks of endurance training on the lactate minimum speed. *J. Sports Sci.* 17: 957-967.

8. Chacon-Mikahil, M. P., Forti, V. A., Catai, A. M. (1998)

Cardiorespiratory adaptations induced by aerobic training in middle-aged men: the importance of a decrease in sympathetic stimulation for the contribution of dynamic exercise tachycardia. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 31: 705-712.

9. Coen, B., Urhausen, A., Kindermann, W. (2001)

Individual anaerobic threshold: methodological aspects of its assessment in running. *Int. J. Sports. Med.* 22: 8-16.

10. Dickhuth H. H (2000)

Einführung in die Sport- und Leistungsmedizin: S. 199 ff. Hofmann, Schorndorf.

11. Dickhuth, H. H., Huonker, M., Münzel, T., Drexler, H., Berg, A., Keul, J. (1991)

Individual anaerobic threshold for evaluation of competitive athletes and patients with left ventricular dysfunction. In: Bachl, N., Graham, T. E., Löllgen, H. (Hrsg.) *Advances in ergometry*. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo.

12. Esbjornsson, M., Sylven, C., Holm, I., Jansson, E. (1993)

Fast twitch fibres may predict anaerobic performance in both females and males. *Int. J. Sports. Med.* 14: 257-263.

13. Gaesser, G. A., Poole, D. C. (1986)

Lactate and ventilatory thresholds: disparity in time course of adaptations to training. *J. Appl. Physiol.* 61: 999-1004.

14. Green, S. (1995)

Measurement of anaerobic work capacities in humans. *Sports. Med.* 19: 32-42.

15. Green, S., Dawson, B. (1993)

Measurement on anaerobic capacities in humans. Definitions, limitations and unsolved problems. *Sports. Med.* 15: 312-327.

16. Green, S., Dawson, B. T. (1996)

The Y-intercept of the maximal work-duration regression and field tests of anaerobic capacity in cyclists. *Int. J. Sports. Med.* 17: 41-47.

17. Green, S., Dawson, B. T., Goodman, C., Carey, M. F. (1994)

Y-intercept of the maximal work duration relationship and anaerobic capacity in cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 69: 550-556.

18. Heck, H., "Aerob-anaerobe Schwelle" In: Löllgen, H., Winter, U. J., Erdmann, E. (1995)

"Ergometrie" Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis. Springer Heidelberg.

19. Heck, H. (1990)

Laktat in der Leistungsdiagnostik. Hofmann, Schorndorf.

20. Heck, H., Mader, A., Schulz, H. (1998)

Grundlagen der anaeroben Leistungsdiagnostik. *Dtsch. Z. Sportmed.* 49: 32-37.

21. Hellwig, T., Liesen, H., Mader, A., Hollmann, W. (1988)

Möglichkeiten einer sprintspezifischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung mit Hilfe der Blutlaktatkonzentration. *Dtsch. Z. Sportmed.* 39: 392-406.

22. Hill, D. W. (1993)

The critical power concept. A review. *Sports. Med.* 16(4): 237-54

23. Hill, A. V., Long, C. N., Lupton, H. (1924)

Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilisation of oxygen. Parts I-III. *Prpc. R. Soc. Cond.* B96, 438-375. Parts IV-VI. *Prpc. R. Soc. Cond.* B97, 84-138.

24. Hollmann, W. (1985)

Historical remarks on the development of the aerobic-anaerobic threshold up to 1966. *Int. J. Sports. Med.* 6: 109-116.

25. Housh, T. J., Johnson, G. O., McDowell, S. L., Housh, D. J., Pepper, M. L (1992)

The relationship between anaerobic running capacity and peak plasma lactate. *J. Sports. Med. Phys. Fitness* 32: 117-122.

26. Houston, M. E., Thomson, J. A. (1977)

The response of endurance-adapted adults to intense anaerobic training. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 15: 207-213.

27. Howald, H. (1985)

Malleability of the motor system: training for maximizing power output. *J. Exp. Biol.* 11: 65-73.

28. Hughson, R. L., Orok, C. J., Staudt, L. E., (1984)

A high velocity treadmill running test to assess endurance running potential. *Int. J. Sports. Med.* 5: 23-25.

29. Huonker, M., Schmidt-Truckass, A., Heiss, H. W., Keul, J. (2002)

Effects of physical training and age-induced structural and functional changes in cardiovascular system and skeletal muscles. *Z. Gerontol. Geriatr.* 35: 151-156.

30. Inbar, O., Bar-Or, O., Skinner, J. S. (1996)

The Wingate anaerobic test. *Human Kinetics, Champaign, IL.*

31. Jacobs, I., Tesch, P. A., Bar-Or, O., Karlsson, J., Dotan, R. (1983)

Lactate in human skeletal muscle after 10 and 30s of supramaximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 55: 365-367.

32. Jaskolska, A., Goossens, P., Veenstra, B., Jaskolski, A., Skinner, J. S. (1999)

Comparison of treadmill and cycle ergometer measurements of force-velocity relationships and power output. *Int. J. Sports Med.* 20:192-197.

33. Jenkins, D., Kretek, K., Bishop, D. (1998)

The duration of predicting trials influences time to fatigue at critical power. *J. Sci. Med. Sport.* 1: 213-218.

34. Jenkins, D. G., Quigley, B., M (1993)

The influence of high-intensity exercise training on the W_{lim} - T_{lim} relationship. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 25: 275-282.

35. Jenkins, D. G., Quigley, B. M. (1991)

The y-intercept of the critical power function as a measure of anaerobic work capacity. *Ergonomics.* 34: 13-22.

36. Jones, A. M, Carter, H. (2000)

The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med.* 29:373-386.

37. Kindermann, W. (1985)

Laufbandergometrie zu Leitungsdiagnostik im Spitzensport. In: Franz. I.-W., Mellerovicz, H., Noack, W. (Hrsg.): *Training und Sport zur Prävention der technisierten Umwelt.* Springer Verlag, Berlin, 68-80.

38. Kindermann, W., Simon, G., Keul, J. (1979)

The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 42: 25-35.

39. Keul, J., Simon, G., Berg, A., Dickhuth, H. H., Goertler, I., Kübel, R. (1979)

Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung. Dtsch. Z. Sportmed. 30: 212-218.

40. Levesque, M., Boulay, M. R., Bouchard, C., Simoneau, J. A. (1997)

Time course of training-induced changes in maximal exercise of short duration in men and women. Int. J. Sports. Med. 18: 464-469.

41. Löllgen, H., Winter, U. J., Dirschedl, P. "Laufbandergometrie" In: Löllgren, H., Winter, U. J., Erdmann, E. (1995)

"Ergometrie" Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis. Springer Heidelberg.

42. Lorenz, R., Brieke, A., Jeschke, D.

Bestimmung der alaktaziden Kapazität mittels wiederholter Maximalsprints auf dem Laufband. In: Lorenz, R., Brieke, A., Jeschke, D. Leistungsphysiologie: 203-206.

43. Lorenz, R., Jeschke, D., Fray, H. (1995)

Komplexe anaerobe Leistungsdiagnostik unter Nutzung von Arbeit-Zeit-Regressionen. In: Sportartspezifische Leistungsdiagnostik – Energetische Aspekte: 99-105.

44. Lortie, G., Simoneau, J. A., Hamel, P., Boulay, M. R., Landry, F., Bouchard, C. (1984)

Responses of maximal aerobic power and capacity to aerobic training. Int. J. Sports. Med. 5: 232-236.

45. Mader, A. (1994)

Energiestoffwechselregulation, Erweiterungen des theoretischen Konzepts und seiner Begründungen – Nachweis einer praktischen Nützlichkeit der Simulation der Energiestoffwechsels. In.: Mader, A., Allmer, H.: Computersimulation. Möglichkeiten zur Theoriebildung und Ergebnisinterpretation. Brennpunkte der Sportwissenschaft 8: 124-162.

46. Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Philippi, H., Rost, R., Schürch, P., Hollmann, W. (1976)

Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. Sportarzt Sportmed. 27: 80-88; 109-112.

47. McLellan, T. M., Cheung, S. S., Jacobs, I (1995)

Variability of time to exhaustion during submaximal exercise. Can. J. Appl. Physiol. 20: 39-51.

48. McNaughton, L., Curtin, R., Goodman, G., Perry, D., Tumer, B., Showell, C. (1991)

Anaerobic work and power output during cycle ergometer exercise: effects of bicarbonate loading. J. Sports. Sci. 9: 151-160.

49. Medbo, J. I. (1993)

Anaerobic capacity—theoretical basis and methods for practical testing. Tidsskr. Nor. Laegeforen. 113: 591-594.

50. Medbo, J. I., Burgers, S. (1990)

Effect of training on the anaerobic capacity. Med. Sci. Sports. Exerc. 22: 501-507.

51. Mellerowicz, H. (1979)

Ergometrie, Grundriß der medizinischen Leistungsmessung. Urban & Schwarzenberg, München-Berlin-Wien.

52. Monod, H., Scherrer, J. (1965)

Work capacity of a synergistic muscular group. *Ergonomics* 8: 329-338.

53. Nevill, M. E., Boobis, L. H., Brooks, S., Williams, C. (1989)

Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J. Appl. Physiol.* 67: 2376-2382.

54. Numela, A., Mero, A., Rusko, H. (1996)

Effects of sprint training on anaerobic performance characteristics determined by the MART. *Int. J. Sports. Med.* 17: S114-S119.

55. Numela, A., Mero, A., Stray-Gundersen, J., Rusko, H. (1996)

Important determinants of anaerobic running performance in male athletes and non-athletes. *Int. J. Sports. Med.* 17: S91-S96.

56. Poole, D. C., Gaesser, G. A. (1985)

Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training. *J. Appl. Physiol.* 58: 1115-1121.

57. Ready, A. E., Quinney, H. A. (1982)

Alterations in anaerobic threshold as the result of endurance training and de-training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14: 292-296.

58. Ribeiro, J. P., Fielding, R. A., Hughes, V., Black, A., Bochese, M. A., Knuttgen, H. G. (1985)

Heart rate break point may coincide with the anaerobic and not the aerobic threshold. *Int. J. Sports. Med.* 6: 220-224.

59. Roecker, K., Niess, A. M., Horstmann, T., Striegel, H., Mayer, F., Dickhuth, H. H. (2002)

Heart rate prescriptions from performance and anthropometrical characteristics. *Med. Sci. Sports Exerc* 34: 881-887.

60. Röcker, K., Striegel, H., Freund, T., Dickhuth, H. H.(1994)

Relative functional buffering capacity in 400-meter runners, long-distance runners and untrained individuals. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol 68: 430-434.

61. Schnabel, A., Kindermann, W. (1983)

Assessment of anaerobic capacity in runners. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 52: 42-46.

62. Scott, C. B., Roby, F. B., Lohman, T. G., Bunt, J. C. (1991)

The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. Med. Sci. Sports. Exerc. 23: 618-624.

63. Seresse, O., Lortie, G., Bouchard, C., Boulay, M. R. (1988)

Estimation of the contribution of the various energy systems during maximal work of short duration. Int. J. Sports. Med. 9: 456-460.

64. Silbernagl, S., Despopoulos, A.(1991)

Taschenatlas der Physiologie: S. 46 ff. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, Deutscher Taschenbuch Verlag.

65. Simon, G. (1998)

Prinzipien der aeroben Leistungsdiagnostik. Dtsch. Z. Sportmed. 49: 44-46.

66. Simon, G. (1986)

Trainingssteuerung im Schwimmsport. Dtsch. Z. Sportmed. 37: 376-379.

67. Simon, G., Thiesmann, M. (1986)

Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit im Schwimmsport. Leistungssport 16: 29-31.

68. Simoneau, J. A., Lortie, G., Boulay, M.R., Marcotte, M., Thibault, M. C., Bouchard, C. (1986)

Inheritance of human skeletal muscle and anaerobic capacity adaption to high-intensity intermittent training. *Int. J. Sports. Med.* 7: 167-171.

69. Smith, D. A., O'Donnell, T. V. (1984)

The time course during 26 weeks' endurance training of changes in Vo_{2max} and anaerobic threshold as determined with a new computerized method. *Clin. Sci (Lond.)* 67: 229-236.

70. Spriet, L. L. (1992)

Anaerobic metabolism during high-intensive exercise. In: Hargreaves, M. (Ed.): *Exercise Metabolism. Human Kinetics, Champaign, IL*, 1-40.

71. Stegmann, H., Kindermann, W. (1982)

Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4 mmol.l⁻¹ lactate. *Int. J. Sports. Med.* 3: 105-110.

72. Stegmann, H., Kindermann, W., Schnabel, A. (1981)

Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int. J. Sports. Med.* 2: 160-165.

73. Steinhaus, L. A., Dustman, R. E., Ruhling, R. O., Emmerson, R. Y., Johnson, S. C., Shearer, D. E., Latin, R. W., Shigeoka, J. W., Bonekat, W. H. (1990)

Aerobic capacity of older adults: a training study. *J. Sports med. Phy. Fitness* 30; 30:163-172.

74. Takeshima, N., Kobayashi, F., Watanabe, T., Tanaka, K., Tomita, M., Pollock, M. L. (1996)

Cardiorespiratory responses to cycling exercise in trained and untrained elderly: with special reference to the Lactate threshold. *Appl. Human Sci.* 15: 267-273.

75. Thomson, J. M. (1981)

Prediction of anaerobic capacity: a performance test employing an optimal exercise stress. *Can. J. Appl. Sport. Sci.* 6: 114-118.

76. Thomson, J. M., Garvie, K., J. (1981)

A laboratory method for determination of anaerobic energy expenditure during sprinting. *Can. J. Appl. Sport. Sci.* 6: 21-26.

77. Vaitkevicius, P. V., Ebersold, C., Shah, M. S., Gill, N. S., Katz, R. L., Narrett, M. J., Applebaum, G. E., Parrish, S. M., O`Connor, F. C., Fleg, J. L. (2002)

Effects of aerobic exercise training in community-based subjects aged 80 and older: a pilot study. *J. Am. Geriatr. Soc.* Dec;50: 2009-2013.

78. Vandevaille, H., Peres, G., Monod, H., (1987)

Standard anaerobic exercise test. *Sports. Med.* 4: 268-289.

79. Vandevaille, H., Vautier, J. F., Kachouri, M., Lechevalier, J. M., Monod, H. (1997)

Work exhaustion time relationship and the critical power concept. *J. Sports. Med. Phys. Fitness* 37: 89-102.

80. Wilmore, J. H., Green, J. S., Stanforth, P R., Gagnon J., Rankinen T., Leon, A. S., Rao, D. C., Skinner, J. S., Bouchard, C. (2001)

Relationship of changes in maximal and submaximal aerobic fitness to changes in cardiovascular disease and non-insulin-dependent diabetes mellitus risk factors with endurance training: the HERITAGE Family Study. *Metabolism* 50:1255-1263.

81. van der Woude, L. H., van Croonenborg, J. J., Wolff, I., Dallmeijer, A. J., Hollander, A. P. (1999)

Physical work capacity after 7 wk of wheelchair training: effect of intensity in able-bodied subjects. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31: 331-341.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. H.-H. Dickhuth und Herrn Prof. Dr. med. A. Nieß möchte ich für die freundliche Überlassung des Themas dieser Dissertation, die hilfreiche Unterstützung und die großzügige Bereitstellung aller benötigten Hilfsmittel herzlichen Dank sagen.

Ganz besonderer Dank gebührt Herrn Dr. med. H. Striegel für seine intensive und geduldige Betreuung und Unterstützung zur Durchführung und Fertigstellung dieser Arbeit. Ohne seine wertvollen Ratschläge und Hilfestellungen wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen.

Ausserdem möchte ich Frau P. Schumacher und Frau L. Opavski, Institut für Sportmedizin, für ihre Mitarbeit bei der Ergometrie danken. Dank gilt auch Frau E.-B. Kruse für zahlreiche Ergometriemessungen und für die freundschaftliche Unterstützung sowie allen an der Studie beteiligten Probanden für die gute Compliance.

Curriculum vitae

Emanuela Heller

- 03.10.76 geboren in Ochsenhausen
Eltern: Gerlinde Heller, geb. Hack
Lehrerin
Max Heller
Maler, Bildhauer
Sechs ältere Brüder
- 1983-1987 Grundschule Hürbel
1987-1996 Gymnasium Ochsenhausen
- 1996-1998 Medizinstudium in Leipzig
1998 Physikum
1998-2003 Medizinstudium in Tübingen
1999 1. Staatsexamen
2002 2. Staatsexamen
30.04.2003 3. Staatsexamen
- von 9/03 – 09/04 Beschäftigung als ÄiP in der Medizinischen Klinik Tübingen,
Abteilung IV
- von 10/04 – 07/05 Beschäftigung als Assistenzärztin in der Medizinischen Klinik
Tübingen, Abteilung IV