Aus der Abteilung für Rehabilitative und Präventive Sportmedizin
der Medizinischen Universitätsklinik Freiburg im Breisgau

Kardiopulmonale und Metabolische Kenngrößen beim Skilanglaufspezifischen Rollskitraining

INAUGURAL – DISSERTATION
zur
Erlangung des Medizinischen Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät
der Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg i.Br.

Vorgelegt 2001
von Jochen Mühlschlegel
geboren in Stuttgart

Dekan:	Prof. Dr. Dr. h.c. H.E. Blum
1. Gutachter:	Prof. Dr. A. Berg
2. Gutachter:	PD Dr. J. C. Virchow Jr.

Jahr der Promotion: 2001

Meinen Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. J. Keul, möchte ich für die freundliche Überlassung des Themas und die Möglichkeit des selbständigen wissenschaftlichen Arbeitens in der Abteilung für Rehabilitative und Präventive Sportmedizin danken. Leider verstarb er überraschend während der Verfassung der Arbeit. Seinen Tod bedauerte ich sehr. Freundlicherweise wurde meine Arbeit daraufhin von Herrn Prof. Dr. med. A. Berg übernommen. Dafür möchte ich ihm recht herzlich danken.

Herrn Dr. med. E. Jakob danke ich für die geduldige und großzügige Unterstützung meiner Arbeit. Seine zahlreichen Anregungen auf theoretischem sowie praktischem Gebiet waren nicht nur hilfreich, sondern entscheidende Impulsgeber bei der Entwicklung und Fertigstellung der Arbeit.

Dem Institut möchte ich für das stets freundliche Entgegenkommen und die bereitwillige Hilfeleistung bei der Bewältigung der praktischen Durchführung danken.

Den an den Ergometrien teilnehmenden Sportlern danke ich für ihr Engagement. Ebenso danke ich deren Trainern, die mir mit Rat und Tat beim Aufbau der Testanordnung zur Seite standen.

Mein Dank gilt auch Herrn Helmut Schwab, meinen Eltern und Frau Susanne Meyer-Neumühlen, die sich der undankbaren Aufgabe annahmen, die Arbeit Korrektur zu lesen.

Inhaltsverzeichnis

I Einleitung *7*

II Material und Methodik *9*

II.1 Untersuchungsgut **9**

II.2 Testmethoden **9**
II.2.1 Spirometrie 9
II.2.2 Labortest 10
II.2.3 Feldtest 11

II.3 Auswertung der Daten **12**
II.3.1 Programme 12
II.3.2 Auswahl der Messwerte 13
II.3.3 Statistische Methoden 13

III Ergebnisse *14*

III.1 Ergebnisse Laufbandergometrie **14**
III.1.1 Stufentest 14
III.1.2 Abbruchtest 17

III.2 Feldtest **17**
III.2.1 Stabilisierungsbereich 17
III.2.2 Entwicklungsbereich 19
III.2.3 Grenzbereich 20

III.3 Korrelation **22**
III.3.1 Abbruchtest 22
III.3.2 Abbruchtest zu Feldtest 22
III.3.3 Feldtest 22

IV Diskussion *23*

IV.1 Laufbandergometrie **23**
IV.1.1 Sauerstoffaufnahme 23
IV.1.2 Laktat 25
IV.1.3 Geschwindigkeit 26
IV.1.4 Herzfrequenz 27

IV.2 Feldmessungen **27**
IV.2.1 Geschwindigkeit 28
IV.2.2 Laktat 29
IV.2.3 Herzfrequenz 30
IV.2.4 Ventilation 31

IV.3 Leistungsprognose und Anwendbarkeit **35**

V Zusammenfassung *37*

VI Tabellen und Abbildungen *38*

VI.1.1 Tabellen 38
VI.1.2 Abbildungen 41

VII Abbildungsverzeichnis *55*

VII.1 Tabellen **55**
VII.2 Abbildungen **56**

VIII Literaturverzeichnis *58*

IX Anhang *67*

IX.1.1 Geräte 67
IX.1.2 Abkürzungen 68

I Einleitung

Ein Leistungssportler muss regelmäßig seine Leistung kontrollieren. Gerade bei Ausdauerathleten ist die **Trainingskontrolle** von entscheidender Bedeutung, um positive oder negative Trainingseffekte zu beurteilen und sein Training entsprechend anzupassen . Das Ableiten von physischen Leistungen aus Labormessungen war schon immer von großem Interesse für Trainer, Athleten und Ärzte. Meist werden Laufband- oder Fahrradergometrien herangezogen, die dann Werte wie Herzfrequenz, Blutlaktatkonzentration und Sauerstoffaufnahme über verschiedene Belastungsstufen erfassen und einen Einblick in die physiologischen Systeme geben (34) (44) (57) (82). Für den Skilanglauf gilt die allgemeine **aerobe Ausdauer** als der wichtigste Faktor, der im Training auch die meiste Aufmerksamkeit bekommt.

Ausdauer wird definiert als die Fähigkeit, eine gegebene Leistung über einen möglichst langen Zeitraum durchhalten zu können. Somit ist Ausdauer identisch mit Ermüdungs-Widerstandsfähigkeit. Unter der **lokalen Ausdauer** versteht man die Ausdauer einer Muskelmasse, die kleiner ist als 1/7 bis 1/6 der gesamten Skelettmuskulatur. Das entspricht in etwas der Muskulatur eines Beines. Die **allgemeine aerobe Ausdauer** stellt die Ausdauer einer Muskelmasse in einer Größenordnung von mehr als 1/7 bis 1/6 der gesamten Skelettmuskulatur dar.

Die Wirkungen eines **Ausdauertrainings** sind sowohl hämodynamischer als auch metabolischer Natur. Die hämodynamischen Wirkungen betreffen eine verbesserte Vaskularisierung und Blutverteilung. Der metabolische Effekt besteht in einer Vergrößerung des intramuskulären Glykogengehalts, einer Vermehrung der Myoglobinmenge, einer Vergrößerung und Vermehrung der Mitochondrien, einer Aktivitätssteigerung anaerob und aerob wirksamer Enzyme und einer prozentualen Steigerung der Fett- gegenüber der Kohlenhydratverbrennung auf submaximalen Belastungsstufen. Das Endergebnis dieser Adaptation ist eine vergrößerte periphere hämodynamische, metabolische und physikalische Leistungsfähigkeit (45).

Um der zeitlichen Beanspruchung gerecht zu werden, wird die Ausdauer in drei Untergruppen aufgeteilt, denen jeweils unterschiedliche leistungsbegrenzende Faktoren zugrunde liegen. Die allgemeine aerobe **Kurzzeitausdauer** beinhaltet Beanspruchungen mit einer Belastungsdauer von 3 - 10 Minuten, wobei hier die absolut höchste maximale

Sauerstoffaufnahme als Ausdruck des aeroben Leistungsvermögens erreicht wird. Bei der allgemeinen aeroben **Mittelzeitausdauer**, die eine Belastungsdauer von 10 - 30 Minuten aufweist, kann der Wert der maximalen Sauerstoffaufnahme schon nicht mehr erreicht werden. Die allgemeine aerobe **Langzeitausdauer** schließt kontinuierliche Belastungen von mehr als 30 Minuten Dauer ein.

Es ist von großer Bedeutung, ein **geeignetes Testverfahren** zu finden, um dem Sportler eine individuelle Beurteilung seiner Leistungsfähigkeit zu geben. Die in dieser Arbeit untersuchten Athleten wurden regelmäßig auf dem Laufband getestet, dies stellt aber nur eine unbefriedigende Möglichkeit der Leistungsdiagnose dar, denn die Athleten laufen zwar im Training auch viele Kilometer, jedoch überwiegt bei ihnen das sportartspezifische Training auf den Skirollern und auf den Langlaufski. Auf dem Laufband werden den Athleten koordinative und technische Fertigkeiten abverlangt, die so in ihrer Sportart nicht auftreten. Des weiteren wird im Skilanglauf die Oberkörpermuskulatur (Schulter, Arm, Rumpf) wesentlich mehr beansprucht, als dies beim Laufen der Fall ist, und auch die inter - und intramuskuläre Koordination unterscheidet sich deutlich (71). Der Skilangläufer trainiert im Sommer deshalb oft auf Skirollern, die ihm die sportartspezifische Belastung bieten können, die er braucht, um möglichst wettkampfähnlich trainieren zu können. Es wäre zu erwarten, dass durch die erhöhte Rekrutierung trainierter Muskelgruppen vor allem im Rücken und Oberkörper die kardiopulmonalen und metabolischen Anforderungen an den Organismus im sportartspezifischeren Feldtest höhere Werte erreicht als auf dem Laufband.

Ziel dieser Arbeit ist es nun herauszuarbeiten, wie sich kardiozirkulatorische, ventilatorische und metabolische Größen bei jugendlichen Skilangläufern im spiroergometrischen Laufbandtest und in wettkampfsspezifischen Belastungen auf Skirollern verhalten und unterscheiden.

II Material und Methodik

II.1 Untersuchungsgut

An der Laboruntersuchung sowie am Feldtest nahmen 20 Skilangläufer teil (7 weiblich, 13 männlich). Das Durchschnittsalter der Athleten betrug 16 Jahre und 4 Monate mit einer Streubreite von 14 bis 20 Jahren. Alle Sportler waren zum Zeitpunkt der Untersuchung in einem Landeskader und werden regelmäßig einer Leistungsuntersuchung unterzogen. Sie sind alle erfahrene Sportler und auf nationaler und auch internationaler Ebene erfolgreich.

Gruppe	*N*	*Größe (cm)*	*SD*	*Gewicht (Kg)*	*SD*	*Alter (J)*	*SD*
Mittel Männer	13	176,6	6,5	64,8	5,0	16,3	1,8
Mittel Frauen	7	167,7	4,1	55,9	5,5	16,0	1,6
Gesamt	**20**	**173,5**	**7,2**	**61,7**	**6,7**	**16,2**	**1,8**

Tabelle II.2.1-1 Antropometrische Daten der Athleten

II.2 Testmethoden

II.2.1 Spirometrie

Alle spirometrischen Messungen erfolgten mit dem Gerät MetaMax (Firma Cortex®). Als mobiles Gerät ist das MetaMax für den Betrieb bei Erschütterungen in bestimmtem Ausmaß ausgelegt. Das Gerät hat den Vorteil, dass es mit einem speziellen Tragesystem zu einem Rucksack umfunktioniert werden kann. Dieser Rucksack wiegt einschließlich Spirometer und Akkus 3 kg und verfügt über eine Vielzahl von Verstellmöglichkeiten, so dass er den verschiedensten Anforderungen gemäß eingestellt werden kann. Der integrierte Datenlogger dient der Speicherung von Messdaten. Nach Kopplung mit einem seriellen Kabel können die Daten vom PC übernommen werden. Um eine Vergleichbarkeit der Messungen zu garantieren wurde der O_2- und CO_2- Sensor des MetaMax-Gerätes täglich an der Trainingsstrecke kalibriert. Dafür müssen zwei

Messreihen mit unterschiedlichen Gasgemischen durchgeführt werden (Maximale Genauigkeit: < 0.1 Vol. %).

II.2.2 Labortest

Für die regelmäßige Leistungsuntersuchung der Landeskader-Langläufer besteht ein spezielles Laufbandprogramm. Der Laufbandtest setzt sich aus einem **Stufentest** und einem **Abbruchtest** mit Spirometrie zusammen. Das Laufband ist ein Lamellenlaufband (Woodway, Weil, Germany)

Der **Stufentest** besteht aus einer konstanten Laufbandneigung von 4% bei den Frauen und 7,5% bei den Männern mit einer Anfangsgeschwindigkeit von jeweils 7 km/h. Für auf dem Laufband unerfahrene Athleten wird mit einer Geschwindigkeit von 6 km/h begonnen, was einem schnellen Gehtempo gleichkommt. Die Laufbandgeschwindigkeit wird alle drei Minuten um 1 km/h gesteigert, bis die Herzfrequenz von 180 deutlich überschritten wird. Je nach Ausdauerleistungsfähigkeit dauert der Stufentest zwischen 24 – 27 min. In Ruhe und nach jeder Belastungsstufe von 3 Minuten wird die Herzfrequenz aus dem simultan registrierten EKG nach Wilson ausgemessen. Zur Laktatbestimmung werden 20µl Kapillarblut aus dem hyperämisierten Ohrläppchen entnommen und nach Enteiweißung auf dem Analyseautomaten Epos (Fa. Eppendorf, Hamburg) gemessen (23) (75).

Nach einer Pause von 5 Minuten beginnt der **Abbruchtest**. Dieser spirometrische Testteil fängt mit einer konstanten Geschwindigkeit von 12 km/h an. Die anfängliche Steigung von 5% bei den Frauen und 8% bei den Männern nimmt alle 30 Sekunden um 1% zu bis zum Abbruch des Tests. Bei Erschöpfung des Athleten wird der Test abgebrochen. Sofort nach Abbruch und 3 Minuten danach wird eine Laktatprobe aus dem hyperämisierten Ohrläppchen entnommen und die Herzfrequenz gemessen (49).

Der Stufentest hat zwar ein vorgegebenes Ende, kann aber trotzdem von schwächeren Athleten wegen Erschöpfung nicht fertig gelaufen werden. Da dieser Testabschnitt aber der Bestimmung der aeroben und anaeroben Schwellen dient, reicht es aus, wenn die Athleten einen Puls von 180 /min und eine Laktatwert von 6 mmol/l überschreiten. Der Abbruchtest hat kein vorgegebenes Ende und wird daher bis zur totalen Erschöpfung gelaufen.

II.2.3 Feldtest

Der Feldtest fand im Sommer auf der asphaltierten Trainingsstrecke des Olympiastützpunkts Schwarzwald statt. Es ist ein 2936 m langer Rundkurs in Form einer „8“. Es sind mehrere Steigungen vorhanden, wobei die steilste Stelle mit 16,8 % am Schluss der Runde war. Der Anfang dieser Steigung war ein langsamer 200m langer Anstieg von durchschnittlich 7%, dann eine kurze 10% Abfahrt mit einer Länge von 50m, gefolgt von dem Schlussanstieg, der 130m lang war und durchschnittlich 12% aufwies. Die Diagonal- und Doppelstocktechnik wurde vorgegeben, jedoch mit freier Einteilung je nach Leistungsstand und Streckenprofil. Aufgrund des Streckenprofils wurden ca. 1700m (58%) im flachen Gelände bzw. bergauf gefahren und ca. 1200m (42%) bergab gefahren, davon 800 m mit der Doppelstocktechnik mit Zwischenschritt (DSZ) und 900 m mit der Diagonaltechnik (DG).

Die Athleten sind insgesamt 5 Runden auf ihren Skirollern gelaufen, also annähernd 15 km mit unterschiedlicher Intensität. Es wurde vorgegeben, dass die erste und die letzte Runde mit einer Intensität von ca. 85% - 90% der maximalen Leistungsfähigkeit gelaufen werden. Diese werden im Langlauf als **Stabilisierungsbereiche (SB)** bezeichnet. Die als **Entwicklungsbereiche (EB)** bezeichneten zweiten und vierten Runden sollten mit einer Intensität von 90%-95% gelaufen werden. Die dritte Runde war die Runde im **Grenzbereich (GB)** und sollte mit höchster Intensität gelaufen werden. Da die Athleten diese Einteilungen oft im Training laufen, wurde deshalb angenommen, dass sie durch Selbsteinschätzung und mit Hilfe eines Pulsmessers die vorgegebenen Intensitäten laufen können. Zusätzlich wurde die Zeit jeder Runde gestoppt.

Nach jeder Runde wurde der Laktatwert gemessen sowie über die gesamte Dauer des Tests die Herzfrequenz alle 5 Sekunden mit einem POLAR® Pulsmeßgerät festgehalten und anschließend mit POLAR Schnittstelle in den Computer überspielt.

Als Rollskier wurden die eigenen Trainingsroller der Firmen Hosprint® und DMS® verwendet. Die Athleten verwendeten die gleichen Skistöcke wie im Schnee, jedoch mit einer Spezialspitze.

Der Füllungszustand der Glykogendepots in der Muskulatur beeinflusst die Laktat-Leistungs-Kurve. Bei annähernd entleertem Glykogenspeicher wird die Laktat-Leistungs-Kurve nach rechts und nach "Kohlenhydratmast" nach links verschoben. Die hier zu besprechende Leistungsdiagnostik wurde bei allen Probanden unter denselben Bedingungen vorgenommen. Die Messungen fanden im Zuge eines Trainingslagers statt;

deshalb wurden sowohl das Training gemeinsam durchgeführt als auch die Mahlzeiten gemeinsam eingenommen (11). Alle Probanden waren gesund und leistungsfähig. Es ist daher von einer regelrechten Stoffwechsellage im Untersuchungszeitraum auszugehen ohne paradox verschobener Laktatleistungskurve (12).

Bereich	*Laufgeschwindigkeit (%)*	*Herzfrequenz (/min)*	*Laktat (mmol/l)*
WB	100	180	8 – 10
GB	95 – 100	180	8
EB	90 – 95	160 - 180	3 – 7
SB	80 – 90	140 - 160	3

Tabelle II.2.3-1 Feldtest : Intensitätsbereiche im Skilanglauf (Nitzsche 1989, S. 129)

WB : Wettkampfbereich **GB : Grenzbereich**
EB : Entwicklungsbereich **SB : Stabilisierungsbereich**

II.3 Auswertung der Daten

II.3.1 Programme

Das Erfassen der spirometrischen Daten in einem Computer erfolgte beim Laborversuch sowie beim Feldversuch mit dem Programm *MetaMax Capture*, während die Auswertung mit dem Programm *MetaMax Analyse* gemacht wurde. Die Herzfrequenz wurde mit dem Programm *Polar HF Analyse* Programm ausgewertet. Die Daten wurden anschließend mit Hilfe des *SPSS-Programms 8.0* (*Statistical Package for the Social Sciences*) sowie *Microsoft Excel* statistisch verarbeitet. Korreliert wurde immer die Gesamtpopulation von weiblichen und männlichen Athleten. Es wurden durch das Programm *SPSS* sämtliche Daten auf eine Korrelation geprüft, wobei hier nur die signifikanten Ergebnisse dargestellt werden.

II.3.2 Auswahl der Messwerte

Sowohl bei den Messungen im Labor als auch bei den Feldmessungen wurden die Geschwindigkeit, das Laktat und die Herzfrequenz gemessen. An spirometrischen Messwerten wurden die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_2 ml/min/kg), das Atemminutenvolumen (AMV l/min), der respiratorische Quotient (R) und das Atemäquivalent (EqO_2) ausgewählt.

II.3.3 Statistische Methoden

Bei den direkt vergleichbaren Daten wurden für die einzelnen Gruppen **Mittelwert** und **Standardabweichung** (SD) bestimmt. Der Vergleich der Gruppen untereinander erfolgte mittels U-Test von Mann und Whitney für unpaarige Stichproben.

Die Normalverteilung der Ergebnisse wurde anhand des Kolmogorov-Smirnov Tests bestätigt. Die Beobachtung zweier Merkmale mit bivariater Verteilung erfolgte mittels Regressionsanalyse und Darstellung einer linearen Regressionsgeraden von y auf x und Bestimmung der Korrelationskoeffizienten r nach Pearson.

Das Signifikanzniveau wurde mit $p<0,05$ als signifikant und mit $p<0,01$ als hochsignifikant bezeichnet (Backhaus 1990).

III Ergebnisse

III.1 Ergebnisse Laufbandergometrie

III.1.1 Stufentest

Beim Stufentest erreichten alle Probanden mindestens die geforderte Herzfrequenz von 180 Schlägen pro Minute, die als Abbruchkriterium galt. Acht der 21 Probanden schafften eine Geschwindigkeit von 15 km/h über 3 min.

Als Ruhewerte wurden **Laktatspiegel** zwischen 0,99 mmol/l und 1,83 mmol/l gemessen, was eine mittlere Laktatkonzentration von 1,33 mmol/l bei den Frauen und 1,58 mmol/l bei den Männern ergab. Die **Herzfrequenzen** bewegten sich in Ruhe zwischen 37 /min und 104 /min. Die durchschnittliche HF war bei 63 /min (Frauen) bzw. 57 /min (Männer).

Die Ermittlung der **individuellen anaeroben Schwelle (ind. an. Schw.)**, die bei 5 von 7 Frauen und 11 von 13 Männern durchgeführt wurde, ergab Laktat-Schwellenwerte (LACschw) zwischen 2,77 mmol/l und 4,00 mmol/l. Die durchschnittliche Höhe des Laktatspiegels an der ind. an. S. lag bei 3,05 mmol/l (Frauen; SD 0,24) bzw. 3,32 mmol/l (Männern; SD 0,31). Die Bestimmung der Herzfrequenzen ergab durchschnittliche Werte von 182 /min (SD 5) bei den Frauen und 186 /min (SD 10) bei den Männern an der ind. an. S.

Die in diesem Test erreichten Maximalwerte lagen für den Laktatspiegel durchschnittlich bei 5,58 mmol/l (Frauen; SD 1,81) und 7,36 mmol/l (Männer; SD 2,54). In Bezug auf die Herzfrequenz wurden Werte zwischen 183 /min und 210 /min gemessen, der Mittelwert lag hier bei 192 /min (Frauen) und 197 /min (Männer).

Der Verlauf der **Laktatkurven** zeigte initial ausgehend von den Ruhewerten relativ geringe Änderungen. Bei den Frauen kam es zu einem leichten Abfall des Laktatspiegels, welcher hauptsächlich auf die ersten 6 Minuten fiel, sich aber bis in die 9. Minute ausdehnen konnte. Von den relativ konstanten Laktatkonzentrationen der ersten 15 Minuten erfolgte ab einer Geschwindigkeit zwischen 10 km/h – 11 km/h ein Laktatanstieg, welcher exponentiellen Charakter zeigte.

Der Verlauf der **Herzfrequenzleistungskurve** (Abbildung VI.1.2-5) zeigte am Anfang von der Ruhefrequenz ausgehend einen starken Anstieg, gefolgt von einer konstanten Steigung bis zum Erreichen des Maximalwertes. Die Kurve zeigte eine leicht

hyperbolische Form. Der Unterschied im Kurvenverlauf zwischen den männlichen und weiblichen Probanden war nur unwesentlich.

m/s	*Männer*		*Frauen*		*Durchschnitt*	
	Laktat	*HF*	*Laktat*	*HF*	*Laktat*	*HF*
0	1,58	57	1,33	63	1,50	59
1,9	1,61	123	1,54	133	1,59	126
2,2	1,66	138	1,44	141	1,58	139
2,5	1,77	151	1,39	156	1,63	153
2,8	1,88	160	1,67	167	1,81	162
3,1	2,19	170	2,16	178	2,18	173
3,3	2,83	180	3,32	185	3,00	182
3,6	3,78	187	4,88	189	4,09	188
3,9	5,54	193	6,68	190	5,77	192
max	7,36	197	5,58	192	6,74	195

Tabelle III.1.1-1 Stufentest : Die Laktatwerte (mmol/l) bei der jeweiligen Geschwindigkeitsstufe. Die Frauen laufen bei 4%, die Männer bei 7,5%.

Test	*Stufe*	*V km/h*	*V m/s*	*Steigung Frauen %*	*Steigung Männer %*	*Zeit Sec.*	*Ges. Zeit Min.*	*Meßgröße*
Ruhe								LA, HF
Stufe	1	7	1,9	4	7,5	180	3	LA, HF
Stufe	2	8	2,2	4	7,5	180	6	LA, HF
Stufe	3	9	2,5	4	7,5	180	9	LA, HF
Stufe	4	10	2,8	4	7,5	180	12	LA, HF
Stufe	5	11	3,1	4	7,5	180	15	LA, HF
Stufe	6	12	3,3	4	7,5	180	18	LA, HF
Stufe	7	13	3,6	4	7,5	180	21	LA, HF
Stufe	8	14	3,9	4	7,5	180	24	LA, HF
Stufe	9	15	4,2	4	7,5	180	27	LA, HF
	5 min. Pause							
Abbruch	10	12	3,3	5	8	30	0,5	Spiro
Abbruch	11	12	3,3	6	9	30	1	Spiro
Abbruch	12	12	3,3	7	10	30	1,5	Spiro
Abbruch	13	12	3,3	8	11	30	2	Spiro
Abbruch	14	12	3,3	9	12	30	2,5	Spiro
Abbruch	15	12	3,3	10	13	30	3	Spiro
Abbruch	16	12	3,3	11	14	30	3,5	Spiro
Abbruch	17	12	3,3	12	15	30	4	Spiro
Abbruch	18	12	3,3	13	16	30	4,5	Spiro
etc...	19	12	3,3	14	17	30	5	Spiro
1. Min. post								LA, HF
3. Min post								LA, HF

Tabelle III.1.1-2 Belastungsprotokoll im Stufen- und Abbruchtest. Der Unterschied zwischen Frauen und Männern ist die höhere Steigung im Stufentest (4% vs. 7,5%) und die höhere Anfangssteigung im Abbruchtest (5% vs. 8%). (LA : einmalige Laktatmessung am Ende jeder Belastungsstufe; HF : durchgehende Herzfrequenzmessung; SPIRO : durchgehende spirometrische Messung)

III.1.2 Abbruchtest

Die Frauen liefen bei 4% Steigung im Durchschnitt 4 min 5 sec (SD 1:05), während die Männer bei 7,5% Steigung im Schnitt 3 min 38 sec (SD 0:48) liefen. Die bei diesen Belastungen gemessenen **Laktatspiegel** erreichten Werte von durchschnittlich 9,99 mmol/l (Frauen; SD 2,84) und 9,64 mmol/l (Männer; SD 1,83). Die Streuung lag zwischen 5,4 mmol/l (Mann) und 13,56 mmol/l (Frau). Auch die **Herzfrequenz** lag über den im Stufentest gemessenen Werten. Bei den Frauen ist im Durchschnitt eine Frequenz von 196 /min (SD 6 /min) gemessen worden, bei den Männern eine Frequenz von 200 /min (SD 7 /min). Das entspricht 3 /min bzw. 4 /min mehr als im Stufentest. Der am niedrigsten gemessene Wert war 188 /min, der höchste 214 /min.

Die Bestimmung der **Sauerstoffaufnahme (VO_2)** ergab Werte zwischen 1971 ml/min und 6174 ml/min. Die spezifische Sauerstoffaufnahme (spez VO_2) lag zwischen 37,2 ml/kg/min und 85,4 ml/kg/min. Der Durchschnitt bei den Frauen betrug 53,0 ml/kg/min (SD 9,9), bei den Männern 66,7 ml/kg/min (SD 6,8).

Für das **AMV** wurden Durchschnittswerte von 105,6 l/min (Frauen; SD 10,6), bzw. 141,4 l/min (Männern; SD 19,3) gemessen.

III.2 Feldtest

Im Feldtest hatten alle Probanden die folgenden Einheiten nach Nitzsche (Tabelle II.2.3-1) zu absolvieren : Stabilisierungsbereich (SB), Entwicklungsbereich (EB) und Grenzbereich (GB). Nitzsche beschrieb auch noch einen Wettkampfbereich (WB), der hier allerdings nicht getestet wurde, da man den Athleten nicht zumuten kann, während eines Wettkampfs ein 3 kg schweres Gerät mit Maske zu tragen. Die Reihenfolge der Runden war SB1 - EB1 - GB - EB2 - SB2.

III.2.1 Stabilisierungsbereich

In SB1 wurde eine durchschnittliche **Geschwindigkeit** von 4,47 m/s (Frauen; SD 0,16), bzw. von 4,83 m/s (Männer; SD 0,27) erreicht. In SB2 liefen die Frauen eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 4,30 m/s (SD 0,39), die Männer von 4,85 m/s (SD

0,26). Die Männer sind trotz der dazwischenliegenden hohen Belastung in SB2 praktisch die gleiche Geschwindigkeit wie in SB1 gelaufen. Die Frauen waren hingegen um 0,17 m/s langsamer.

In SB1 wurden **Laktatwerte** von 3,60 mmol/l (Frauen; SD 1,25) und 3,36 mmol/l (Männer; SD 0,79) gemessen, wobei die Streuung zwischen dem niedrigsten Wert von 2,14 mmol/l und dem höchsten von 5,72 mmol/l recht groß war. Bezogen auf die im ergometrischen Test bestimmten Werte lagen die Laktatwerte bei den Frauen durchschnittlich bei 101,3% der Werte an der individuellen anaeroben Schwelle und 118,0% bei den Männern. Die im Feldtest gemessenen Maximalwerte waren denen im Ergometertest sehr ähnlich. In SB2 bot sich aufgrund der Laktatakkumulation durch die dazwischenliegenden höheren Belastungen ein anderes Bild. Die Frauen hatten einen Durchschnitt von 4,88 mmol/l (SD 1,43) und die Männer von 6,96 mmol/l (SD 1,99). In EB2 lagen die Frauen im Schnitt noch bei 45% ihres Maximalwertes, die Männer schon bei 72 %.

Trotz den theoretisch gleichen Belastungen in SB1 und SB2 wurden bei der Messung der **Herzfrequenzen** wie bei den Laktatwerten aufgrund der geringeren Vorbelastung in SB1 niedrigere Werte als in SB2 gemessen. Die Frauen kamen auf einen Schnitt von 183,5 /min (SD 4,7) in SB1 und auf 188,6 /min (SD 7,8) in SB2. Die Männer erreichten 172,4 /min (SD 7,5) in SB1 und 178,5 /min (SD 10,5) in SB2. Die Frauen erreichten damit schon Werte, die 94% bzw. 96% von ihren im Abbruchtest gemessenen Maximalwerten lagen. Die Männer erfüllten die SB Vorgabe schon wesentlich besser und erzielten 86% bzw. 89% ihres Maximalwertes.

Bei der **spez. VO_2** erreichten die Frauen in SB1 einen Wert von 43 ml/kg/min (SD 5,02), in SB2 von 43 ml/kg/min (SD 4,05). Auch die Männer zeigten keinen Unterschied zwischen SB1 (49 ml/kg/min; SD 3,92) und SB2 (49 ml/kg/min; SD 4,58). Dies entsprach 87% des maximalen VO_2 im Labor bei den Frauen und 89% bei den Männern.

Für das **AMV** in SB1 wurden bei den Frauen ein Durchschnitt von 73,5 l/min (SD 12,5) erreicht, bei den Männern von 105,8 l/min (SD 17,5). In SB2 kamen die Frauen auf 81,3 l/min (SD 11,0), die Männer auf 115,8 l/min (24,0).

Der **respiratorische Quotient (RQ)**, das Verhältnis von VCO_2 zu VO_2 als ein Parameter der metabolischen Belastungsreaktion, lag bei den Männer im Spitzenbereich von SB1 bei 1,06, bei den Frauen bei 1,02. In SB2 kamen die Männer ebenfalls noch >1 mit einem Wert von 1,03 während die Frauen knapp unter 1 blieben.

Das **Sauerstoffäquivalent (EqO_2)**, der Quotient aus AMV und VO_2, ebenfalls Indikator für die Stoffwechselsituation, fing bei beiden Geschlechtern bei ca. 30 an, um dann vor dem zweiten Berg in SB1 auf 29,4 bei den Frauen und auf 25,6 bei den Männern zu fallen. Der maximale Wert, der in SB1 erreicht wurde, war 35,5 (Frauen) bzw. 34,4 (Männer). In SB2 fiel der eqO2 bei den Frauen von einem Wert von 36,7 stetig ab, bis er sich bei knapp über 30 einpendelte. Die Männer waren beim ersten Berg in SB2 noch bei 37,3, während sie beim zweiten Berg, der eigentlich eine höhere Belastung aufweist, nur noch 32,7 erreichten. Im Diskussionsteil wird näher darauf eingegangen.

Abschließend muss gesagt werden, dass die SB Einheiten nicht unbedingt sehr aussagekräftig waren. Sie waren eher als eine Eingewöhungsphase für die EB und GB Runden gedacht. Die Läufer mussten sich auch an das ungewohnte Tragen einer Maske und die leicht eingeschränkte Beweglichkeit durch den Rucksack gewöhnen.

III.2.2 Entwicklungsbereich

Die **Laufgeschwindigkeiten** in EB1 und EB2 waren im Gegensatz zu SB1 und SB2 schon deutlich höher. Die Frauen erreichten in EB1 mit 4,86 m/s 95,4% ihrer Maximalgeschwindigkeit und in EB2 mit 4,67 m/s 91,8% ihrer Maximalgeschwindigkeit. Die Männer kamen mit 5,52 m/s und 5,33 m/s auf 93,4% und 90,3% respektive.

Auch die **Laktatwerte** waren ebenfalls deutlich höher, was sich vor allem in EB2 bemerkbar machte. Die Frauen erreichten eine durchschnittliche Laktatkonzentration von 5,93 mmol/l (SD 1,88) in EB1 und 7,51 mmol/l (SD 1,72) in EB2. Die Männer erreichten 5,86 mmol/l (SD 1,10) und 9,31 mmol/l (SD 2,16) in EB1 und EB2. Die interindividuellen Schwankungen in EB2 zwischen 4,93 mmol/l und 11,90 mmol/l waren aber erheblich. Im Schnitt kamen die Frauen in EB1 zu 54% an dem höchsten im Abbruchtest gemessenen Wert, in EB2 zu 69%. Dabei ist aber anzumerken, dass selbst in GB die Frauen nur zu 83,8% an ihren Maximalwert herankamen. Die Männer dagegen kamen in EB1 auf 60%, in EB2 sogar auf 96,6%.

Bei den **Herzfrequenzen** war die gesamte Gruppe recht homogen. Mit Ausnahme eines Athleten, der in EB1 nur auf 84% seines Maximalwertes kam, lagen alle anderen Sportler zwischen 91% und 101% ihres im Abbruchtest gemessenen Maximalwertes. Der Schnitt lag bei den Frauen in beiden EB Runden bei 99% ihres Maximalwertes. Die Männer kamen auf 94% (EB1) und 95% (EB2). Die Frauen kamen auf einen Schnitt von

191,8 /min (SD 3,4) in EB1 und auf 194,1/min (SD 5,0) in EB2. Die Männer erzielten 187,6 /min (SD 5,9) in EB1 und 189,7 /min (SD 4,6) in EB2.

Die **spez. VO_2** zeigte sich in EB1 und EB2 recht einheitlich. Die Frauen kamen in EB1 auf 46,89 ml/kg/min (SD 3,43) und in EB2 auf 45,77 ml/kg/min (SD 4,05). Das entspricht 90% bzw. 88% des ergometrisch bestimmten Maximalwertes. Die Männer erreichten eine spez. VO_2 von 55,89 ml/kg/min (SD 3,53) in EB1 und 53,93 ml/kg/min (SD 4,60) in EB2, was jeweils 84% und 81% ihres Maximalwertes entsprach. In Anbetracht der Tatsache, dass alle Athleten selbst in der GB Runde nur an 94% (Frauen) bzw. 86% (Männer) ihrer ergometrischen Maximalwerte herankamen, waren diese Werte für EB Runden schon recht hoch. Im Mittel waren beide Geschlechter bei 96% ihrer spezifischen maximalen Sauerstoffaufnahme im Feldtest.

Das **AMV** war bei den Frauen im Durchschnitt bei 92,3 l/min (SD 9,0) in EB1 und bei 96,9 l/min (SD 8,7) in EB2. Das entspricht 87,4% bzw. 91,7% ihres maximal erreichten AMV im Abbruchtest. Die Männer erreichten Prozentzahlen, die einiges höher lagen. In EB1 kamen sie mit einem Wert von 131,4 l/min (SD 24,22) auf 93% ihres Abbruchtestmaximums während sie in EB2 mit 142,6 l/min (SD 24,08) auf 100,8% dessen kamen.

Bei dem zweigipfligen Verlauf des **RQ** kamen die Frauen auf einen maximalen Wert von 1,04 in EB1 und 0,98 in EB2. Die Männer kamen bei allen 4 Gipfeln auf konstante 1,09.

Das Verhältnis von AMV zu VO_2, das **EqO_2**, schloss sich an die Werte in SB1 an und stieg dann bis auf Werte von 38,5 (Frauen) und 40,1 (Männern). Auf der anderen Seite der Kurve im EB2-Bereich fielen die Werte von den Spitzen in GB langsam ab. Der EqO_2 war bei den Frauen am ersten Anstieg von EB2 noch auf 38,7, während sie beim zweiten, steileren Anstieg nur noch auf 36,7 kamen. Bei den Männern verhielt es sich ähnlich. Der erste Gipfel war noch bei 42,3, der zweite bei 40,9.

III.2.3 Grenzbereich

Die **Geschwindigkeiten**, die in der GB Runde gemessen wurden, waren die für den jeweiligen Läufer maximal zu erreichende Geschwindigkeit. Sie sind aber aufgrund der unterschiedlichen Skiroller nur bedingt vergleichbar. Eine der Messungen fällt aus dem Rahmen der sonst relativ einheitlichen Werte. Abgesehen von dieser sehr jungen Läuferin,

die mit 4,21 m/s langsamer war als in ihrer EB1 Runde, schwankten die Geschwindigkeiten zwischen 5,0 m/s und 6,66 m/s. Zieht man die eine Ausnahmemessung nicht in Betracht, so kamen die Frauen auf eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 5,24 m/s (SD 0,21) während die Männer eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 5,91 m/s (SD 0,45) erreichten.

Bei den **Laktatwerten** wurde eine Streuung von 6,82 mmol/l bis 11,98 mmol/l gemessen. Daraus ergaben sich Durchschnittswerte von 9,09 mmol/l (Frauen; SD 2,12) bzw. 9,57 mmol/l (Männer; SD 1,36). Das waren für die Frauen Werte, die 83,9% ihres Maximalwertes im Abbruchtest bedeuteten. Die Männer stellten mit 99,4% ihre Maximalwerte fast ein.

Die **Herzfrequenzen** erreichten ähnliche Werte wie die im Abbruchtest gemessenen. Die Frauen überschritten mit 198,1 /min (SD 4,9) mit 101,4% ihre Maximalwerte im Abbruchtest, die Männer waren mit 195,5 /min (SD 5,0) zu 97,9% an ihren Maximalwerten. Die Streuung lag zwischen 184 /min und 205 /min.

Die Messung der **spez. VO_2** ergab Durchschnittswerte von 48,4 ml/kg/min (Frauen; SD 4,64) bzw. 57,2 ml/kg/min (Männer; SD 5,17). Vergleicht man das mit der spez. max. VO_2 im Abbruchtest, so erreichten die Frauen 93,7%, davon während die Männer nur auf 86,2% kamen. Die Streuung war groß und reichte von 45,6 ml/kg/min bis 64,7 ml/kg/min.

Die Messung des **AMV** ergab Durchschnittswerte, die sowohl bei den Frauen (102,7%) als auch bei den Männern (110,6%) höher lagen als im Abbruchtest. Die Frauen erreichten Werte im Schnitt von 108,5 l/min (SD 13,88), die Männer 156,4 l/min (SD 26,6).

Der **RQ** erreichte bei den Frauen einen Spitzenwert von 1,13, bei den Männern von 1,20.

Der **EqO_2** in der GB Runde schloss sich an die höchsten Werte in EB1 an und stieg weiter bis auf 43,8 (Frauen), bzw. auf 45,8 (Männer).

III.3 Korrelation

III.3.1 Abbruchtest

Vergleicht man die Werte des Abbruchtests untereinander so stellt man eine deutliche Beziehung zwischen dem Atemminutenvolumen und der spez. max. VO_2 fest ($p< 0,05$). Auch die Herzfrequenz an der ind. an. Schwelle korreliert hoch mit der maximal gemessenen Herzfrequenz ($p = 0,001$).

III.3.2 Abbruchtest zu Feldtest

Erwartungsgemäß korreliert die spez. VO_2 und das AMV in jeder Runde im Feldtest mit der spez. max. VO_2 im Abbruchtest ($p<0,01$). Eine Korrelation von $p<0,05$ besteht zwischen der spez. max. VO_2 im Abbruchtest und der Geschwindigkeit in allen Runden im Feldtest. Das AMV im Labor korreliert mit der spez. VO_2 im Feldtest ($p<0,05$). Dagegen wurde kein statistischer Zusammenhang zwischen der spez. max. VO_2 im Labor und der HF oder dem Laktat im Feldtest festgestellt.

III.3.3 Feldtest

Während die Geschwindigkeiten in SB1 nicht sehr aussagefähig sind, korrelieren sie in den anderen Runden untereinander stark ($p< 0,01$). Die Geschwindigkeiten, bzw. Zeiten korrelieren auch mit der Sauerstoffaufnahme in EB1, GB, EB2 und SB2 ($p<0,01$), das heißt, je höher die VO_2 eines Athleten ist, umso schneller wird er auch die Runde bewältigen. Es besteht eine enge Beziehung zwischen der Geschwindigkeit in GB und dem Laktatwert in der GB Runde ($p<0,05$) und zwischen Geschwindigkeit EB2 / Laktat EB2 und SB2 / Laktat SB2 ($p<0,01$). Das Atemminutenvolumen korreliert ebenfalls mit den Rundengeschwindigkeiten und den Laktatwerten ($p<0,01$).

IV Diskussion

IV.1 Laufbandergometrie

Die meisten Sportarten sind so komplex, dass nur Teilkomponenten der sportlichen Leistung gemessenen werden können, die deshalb für die spätere Wettkampfleistung auch nur bedingt aussagefähig sind. Dennoch, eine wichtige Voraussetzung für einen Leistungstest ist die **Reproduzierbarkeit und Authentizität**, und zwar für Verlaufskontrollen des Athleten und um Vergleiche zwischen verschiedenen Athleten zuzulassen. Dies ist bei konditionellen und koordinativen Fähigkeiten, wie sie im Skilanglauf genutzt werden, möglich.

Sowohl im Labor wie auch bei den Feldmessungen wurden die Geschwindigkeit (V; m/s), das Laktat (mmol/l) und die Herzfrequenz (HF; 1/min) gemessen, ebenso wurde ausgewählt die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_2; ml/min/kg), das Atemminutenvolumen (AMV; l/min), der respiratorische Quotient (R) und das Atemäquivalent (Eq O_2) (53).

Die wichtigsten Kriterien zur Beurteilung der Frage, ob tatsächlich oder annähernd die maximale O_2 -Aufnahme des jeweiligen Sportlers erreicht wurde, sind das „**levelling-off-Phänomen**“ - der weitere horizontale Verlauf der O_2-Aufnahme trotz gesteigerter Belastungsintensität - als Ausdruck des Ausbleibens einer weiteren Zunahme der Sauerstoffaufnahme bei zusätzlicher Erhöhung der Belastungsintensität, die Überschreitung einer Pulsfrequenz von 190/min, das Überschreiten eines Atemäquivalentwertes von 30-35, das Erreichen eines Laktatwertes von 10 mmol/l und ein maximaler Respiratorische Quotient von 1,05. (54) (64).

IV.1.1 Sauerstoffaufnahme

Die Ausdauerleistungsfähigkeit ist an die Sauerstoffmenge gebunden, die pro Zeiteinheit dem Organismus über Atmung, Herz und Kreislauf zugeführt werden kann. Aus diesem Grund wird unter stärkster körperlicher Belastung die maximale Sauerstoffaufnahme ermittelt, um als objektives Kriterium der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit zu gelten. Sie ist definiert als diejenige VO_2, bei der die Leistung noch

ansteigt, die VO_2 aber konstant bleibt und ein Plateau bildet (levelling-off-Phänomen) (5). Die max. VO_2 gilt in Verbindung mit weiteren diagnostischen Größen (z.B. Laktat, HF) als ein Kriterium zur Bewertung des aeroben Trainingszustandes und der körperlichen Leistungsfähigkeit. Sie kann je nach Art der Belastung in Litern pro Minute als absolute max. VO_2 angegeben werden oder bezogen auf das Körpergewicht der Person als spezifische max. VO_2. Da im Skilanglauf, im Gegensatz zu Sportarten wie Rudern oder Schwimmen, das Körpergewicht mitgetragen werden muss, ist hier die spezifische max. VO_2 aussagekräftiger. Ihre Größe ist abhängig von Alter, Geschlecht, Trainingszustand, Körpergröße, Körpermasse, Muskelfasertypverteilung und Testmodus (9) (11).

Der Geschlechtsunterschied lässt sich nicht nur durch die niedrigere Hämoglobinkonzentration der Frauen erklären, sondern ist auch in großem Maße durch die Dimension des Sauerstofftransportsystems und der Muskulatur zu begründen (22) (73).

Der Testmodus ist ganz entscheidend, um die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Probandengruppen zu erhalten. Beim Bergauflaufen werden die höchsten VO_2 Werte gemessen, gefolgt vom Laufen im flachen Gelände und Fahrradergometerarbeit im Sitzen. (19) untersuchten die Frage, ob nach Erreichen des absoluten maximalen Sauerstoffaufnahmewertes während des Laufens eine zusätzliche Steigerung der Sauerstoffaufnahme durch eine Zusatzarbeit mit den Armen zu erreichen sei. Die Sauerstoffaufnahme stieg hierbei jedoch nicht weiter an, sondern als Ausdruck des energetischen Mehrbelastung lediglich der Laktatspiegel. In Untersuchungen von Bergh (1976) wurde festgestellt, dass die max. VO_2 bei Laufbandbelastungen und bei Arm- plus Beinarbeit identisch ausfiel, wenn die Armarbeit 20%-30% der gesamten Arbeitsrate ausmachte. Die max. VO_2 hingegen nahm um mehr als 10% ab, wenn die Armarbeit auf 40% des Gesamtarbeit anstieg. Hierdurch bekommt man einen deutlichen Hinweis auf die leistungsbegrenzende Rolle der zentralen Zirkulation, da die Unterschiede in der aeroben Kapazität zwischen Beinarbeit einerseits und Arm - plus Beinarbeit andererseits wesentlich geringer ausfielen, als erwartet werden könnte. Goss (29) entdeckte auch, dass sich bei einer Skilanglaufsimulation durch eine Erhöhung der Bewegungsfrequenz der Extremitäten auch die maximale VO_2 steigerte.

Ein im Labor ermittelter max. VO_2 ist für die spätere Wettkampfleistung in Ausdauerdisziplinen nicht sehr aussagekräftig. Entscheidend ist nämlich nicht nur die absolute Höhe der max. VO_2, sondern der Prozentsatz, der über die gesamte Wettkampfdistanz durchgehalten werden kann, der Wert der VO_2 an der anaeroben Schwelle und der Prozentsatz der individuellen max. VO_2, den der Athlet in seiner

Wettkampfdisziplin in Anspruch nehmen muss. Ein Weltklasseathlet kann 100% seiner max. VO_2 etwa 10 min lang durchhalten, 95% über 30 min, 85% über 60 min und 80% während 120 min (45). Sproule fand auch, dass sich die Ökonomie der Laufarbeit nach 60 minütiger Belastung bei 80% der max. VO_2 verschlechtert. (26) (83)

Die Trainierbarkeit der VO_2 beruht auf den oben genannten Punkten. Von der Pubertät abgesehen (46) ist eine Zunahme der max. VO_2 durch Training nur geringfügig möglich und liegt im Bereich von 15% - 20%. Im Vergleich dazu kann der Anteil der max. VO_2 an der aeroben Schwelle mit bis zu 60% Trainierbarkeit wesentlich mehr gesteigert werden. Im trainierten Zustand setzt die Milchsäurebildung erst bei einer höheren Sauerstoffaufnahme ein.

Internationale männliche Spitzenlangläufer, Ruderer und Radrennfahrer haben maximale Sauerstoffaufnahmen zwischen 80 - 90 ml/kg/min (59). Unsere Athleten kamen nur auf max. VO_2 Werte von 53,0 ml/kg/min (Frauen) und 66,7 ml/kg/min (Männer) mit dem Spitzenwert des ältesten Skilangläufers von 85,4 ml/kg/min. Es ist jedoch zu bedenken, dass die gemessenen Werte der internationalen Spitze sportspezifisch ermittelt worden sind, während die max. VO_2 Werte unsere Athleten auf dem für sie ungewohnten Laufband gemessen wurden. Es wäre zu erwarten, dass durch die erhöhte Rekrutierung trainierter Muskelgruppen im Rücken und Oberkörper, welche die geeignete Kapillarisierung und enzymatische Ausstattung aufweisen, die maximale VO_2 im sportartspezifischeren Feldtest höhere Werte erreicht als auf dem Laufband. Ob dies im Feldtest bestätigt wird, ist noch zu zeigen.

IV.1.2 Laktat

Im Abbruchtest erreichten die Athleten deutlich höhere Laktatwerte als im Stufentest. Der Sinn des **Stufentests** ist es, die ind. an. Schwelle mit der dazugehörigen Geschwindigkeit und HF an dieser Schwelle zu bestimmen. Alle Athleten haben die Schwelle deutlich überschritten und haben dann im Abbruchtest, trotz vorangegangener Belastung, ihren maximalen Laktatwert erreicht. Der hohe Laktatwert von > 8 mmol/l und ein EqO_2 von > 30 deutet auf einen hohen Ausbelastungsgrad im Abbruchtest hin (15).

	Rampentest	*Abbruchtest*
Durchschnitt Männer (mmol/l)	**7,36**	**9,63**
SD (mmol/l)	2,44	1,75
Durchschnitt Frauen (mmol/l)	**5,58**	**10,84**
SD (mmol/l)	1,67	1,71

Tabelle IV.1.2-1 Labortest : Die maximalen Laktatwerte mit jeweiliger Standardabweichung (SD) gemessen unter Laborbedingungen im Rampentest und anschließend im Abbruchtest. Die Werte sind im Abbruchtest, in dem bis zur Erschöpfung gelaufen wird, wesentlich höher.

Untersuchungen von Föhrenbach (25) an Läuferinnen zeigen, dass der intensitätsbezogene Laktatwert im Training mit zunehmender Ausdauerleistungsfähigkeit sinkt. Während 800-m-Läuferinnen im Training Laktatwerte von im Mittel ca. 3,5 mmol/l aufweisen, liegen die Laktatwerte der Marathonläuferinnen zwischen 1 und 1,5 mmol/l. Dies bestätigen auch andere Studien in denen gezeigt wird, dass es bei ausdauertrainierten Athleten zu einer Rechtsverschiebung der Laktatleistungskurve kommt, da sie bessere aerob entwickelte Enzymsysteme besitzen. Ausdauertrainierte haben ein Schwellenlaktat zwischen 2,5 - 3,5 mmol/l ,während nicht Ausdauertrainierte ein Schwellenlaktat um 4 - 5 mmol/l haben. (3) (8) (32) (33) (81). Der mittlere Laktatwert an der ind. an. Schwelle lag bei unseren weiblichen Athleten bei 3,05 mmol/l und bei den männlichen Athleten bei 3,32 mmol/l.

IV.1.3 Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit an der ind. an. Schwelle lag bei 86,8% der Maximalgeschwindigkeit bei den Männern bzw. 90,8% bei den Frauen. Die HF zeigte mit 92,9% bzw. 94,1% eine ähnlich Kinetik, während sich der Laktatwert aufgrund eines Anstiegs mit exponentiellem Charakter deutlich unterschied. Der Laktatwert hat unterhalb der ind. an. Schwelle einen sehr flachen Verlauf, um danach umso steiler anzusteigen, während die Geschwindigkeit einen linearen Verlauf aufzeigt. An der ind. an. Schwelle lag der Laktatwert bei 36,% bzw. 27,0% seines Maximalwertes.

Die Beurteilung der Geschwindigkeit an der ind. an. Schwelle als Prozentsatz der Maximalgeschwindigkeit ist aber mit Vorsicht zu genießen. Im Stufentest ist die Vorgabe für ein Testabbruch ein Puls von über 180/min und ein Laktatwert von mindestens 6 mmol/l .Die erfahrenen Athleten wissen dies und brechen den Test früher ab als die

Unerfahrenen. Die ind. an. Schwelle erreichen sie natürlich alle, aber der Athlet, der den Test etwas früher beendet, wird einen höheren Prozentsatz seines Maximalwertes erreichen. Dies wird auch deutlich, wenn man die maximalen Laktatwerte des Stufentests und des Abbruchtests vergleicht.

IV.1.4 Herzfrequenz

Die Herzfrequenzkurve zeigt einen leicht hyperbolischen Charakter mit einem schnellen, steilen Anstieg gefolgt von einer Abflachung bis hin zum Erreichen der maximalen Herzfrequenz. Die Ruheherzfrequenz war, abgesehen von einer sehr nervösen Athletin mit einer Frequenz von 104 /min, bei durchschnittlichen 57 /min (Herren) bzw. 56 /min (Frauen). Einige Athleten zeigten Anzeichen für eine Bradykardie des Ausdauerleistungssportlers und hatten trotz der mentalen Belastung einer bevorstehenden Untersuchung Herzfrequenzen zwischen 37 - 47 /min (8).

Bezogen auf die HF waren unsere weiblichen Athleten an ihrer aeroben Schwelle bei 83,5% ihrer maximalen Leistungsfähigkeit während die männlichen Athleten bei 80,3% lagen. Die maximale Herzfrequenz lag mit 195 /min (Frauen) und 200 /min (Männer) deutlich über den geforderten 190 $^{S}/_{min}$ und deuten zusammen mit dem hohen Laktatwert >9 mmol/l und dem RQ >1,05 auf einen hohen Ausbelastungsgrad hin.

IV.2 Feldmessungen

Nach einstimmiger Meinung zahlreicher Autoren stellt die Feldmessung eine sehr gute Methode dar, um die Leistungsfähigkeit eines Sportlers in seiner Sportart festzustellen.(60) (61). In unserem Fall war der Feldtest nicht 100% sportartspezifisch, da die Messungen im Sommer auf Rollskiern durchgeführt wurden und nicht auf Schnee. Es wurde aber in einigen Studien schon gezeigt, dass sich die leistungsphysiologischen Werte zwischen Rollskilanglauf und Schneeskilanglauf nicht groß unterscheiden. Unser Interesse galt eher der Beobachtung physiologischer Parameter in einer wettkampfähnlichen Situation unter annähernd sportartspezifischen Bedingungen. Wir haben daher auf eine Standardisierung des Tests verzichtet und haben die Laboruntersuchung als standardisierte Grundlage genommen, um die Vorteile aus beiden Untersuchungen zu verbinden.

Wir haben uns dafür entschieden, als Skitechnik sowohl den Diagonalschritt als auch die Doppelstocktechnik zu verwenden. Dafür gibt es mehrere Gründe. Schaut man in der Literatur nach so findet man teils unterschiedliche Aussagen bezüglich der max. VO_2, AMV, HF, empfundener Anstrengung und Geschwindigkeit bei den verschiedenen Skitechniken (6) (14) (16) (36) (37) (38) (39) (40) (41) (42) (43) (50) (68) (70) (88). Es muss unterschieden werden, ob auf ebenem Gelände oder an Anstiegen gemessen wird. Im flachen Gelände ist die Diagonaltechnik die langsamste Skitechnik und auch die Technik mit der größten empfundenen Anstrengung bei gleichem Energieaufwand. Dafür hat sie die größten kardiopulmonalen Anforderung an den Körper mit der größten VO_2 und auch der höchsten Herzfrequenz. Die alleinige Doppelstocktechnik hat dagegen die geringste VO_2 und HF, verbindet man sie aber mit einem Zwischenschritt (DSZ), folgt sie noch vor der Skatingtechnik dicht dem Diagonalschritt. Die Skatingtechnik ist im flachen Gelände die schnellste Technik mit dem geringsten Anstrengungsempfinden, am Berg über 7,5% aber eher ungeeignet (20).

Auf unsere Trainingsstrecke bedeutet dies, dass an der größten Steigung am Ende jeder Runde mit der Diagonaltechnik gelaufen wird, die das metabolische und kardiopulmonale Maximum erzeugen soll. Auf den flacheren Zwischenabschnitten wird mit Doppelstock und kick Doppelstock gelaufen.

Der letztendlich wichtige kardiovaskuläre Trainingseffekt scheint bei der Diagonal- als auch der Skatingtechnik ähnlich zu sein (37). Entscheidend für das Training der einen oder anderen Technik ist eher eine motorische Schulung in Hinblick auf den Wettkampf. Die höheren anaeroben Anforderungen der Doppelstocktechnik machen sie für längere Trainingseinheiten im Grundlagenbereich ungeeignet.

IV.2.1 Geschwindigkeit

Wie aus der Abbildung VI.1.2-19 deutlich hervorgeht, waren die gelaufenen Geschwindigkeiten und dadurch auch die Zeiten in den SB und EB Runden ähnlich, obwohl die Athleten nicht die Vorgabe hatten, die gleichen Rundenzeiten zu laufen. Die Aufgabenstellung war, sich an das Belastungsprofil nach Nitzsche zu halten (Tabelle II.2.3-1), in dem sie in den SB Runden 80% - 90% und in den EB Runden 90% - 95% ihrer Maximalgeschwindigkeit laufen sollten. Diese Vorgabe hielten die Athleten ein.

Der Vergleich der Geschwindigkeit untereinander ist aufgrund von verschiedenen Witterungsbedingungen und unterschiedlichem Material nicht von Bedeutung. Wie Millet (69) zeigte, haben verschieden schnelle bzw. gebremste Skiroller auch keine Auswirkungen auf das Verhältnis von empfundener Anstrengung und Herzfrequenz mit der VO_2. Dadurch werden die zentralen kardiovaskulären Anpassungsvorgänge nicht von dem Rollwiderstand der Ski beeinflusst. Die Ski mit höherem Rollwiderstand haben eher die Tendenz die aerobe Anpassung des Oberkörpermuskulatur zu fördern, als Ski mit geringerem Rollwiderstand.

IV.2.2 Laktat

Die Laktatmessung erleichtert die Beurteilung der metabolischen Vorgänge bei körperlicher Belastung. Zielgröße der Befundung ist die anaerobe Schwelle (21) (81). Die Messwerte sind stets im Zusammenhang mit den klinischen Parametern und den ergospirometrischen Größen zu betrachten.

Der Stabilisierungsbereich (SB) entspricht der aeroben Ausdauer und bekommt im Training der Skilangläufer die meiste Aufmerksamkeit. Er findet in einem Laktatbereich zwischen 2 - 4 mmol/l statt und ist damit zwischen der aeroben und der anaeroben Schwelle. Die im Labor gemessene ind. an. Schwelle wurde in der ersten SB-Runde im Feldtest leicht übertroffen. Die Frauen waren zu 118% über ihrer ind. an. Schw. während die Männer mit 101% über der ind. an. Schw. fast identische Laktatwerte erzielten. Im Gegensatz dazu waren die Werte in der zweiten SB-Runde erheblich höher. Bei den Frauen wurden Werte gemessen, die 160% über ihrer ind. an. Schw., lagen während die Männer schon bei 210% über ihrer Schwelle lagen.

Das Laktat, welches im Rahmen der anaeroben Glykolyse im Muskel entsteht, wird über die Blutbahn zur Leber transportiert, wo es entweder zu CO_2 und H2O abgebaut wird oder bei Energieüberschuss wieder zu Glukose und weiter zu Glykogen aufgebaut wird (18). Nach Untersuchungen von Åstrand wird das Laktat zu 50% zu Glykogen umgebaut und nur zu 10% über die Leber verstoffwechselt (2). Durch die andauernde Belastung im anaeroben Bereich kommt es zu einer Laktatakkumulation, die durch eine Erhöhung des Quotienten Laktatproduktion zu Laktatabbau herbeigeführt wird (Abbildung VI.1.2-18) Das überschüssige Laktat reichert sich in Blut und Muskel an und verringert dort den ph-Spiegel. Durch das Verlassen des ph-Optimums der Enzyme und den folgenden

Substratmangel verringert sich die Leistungsfähigkeit (52). Ausdauertrainierte Athleten zeichnen sich durch eine bei gleicher Belastungsintensität geringere Laktatproduktion und einen erhöhten Abbau aus (62) (84).

Diese Beobachtung haben wir auch bei unseren Athleten feststellen können. Schaut man sich die Trendlinien an, so kann man feststellen, dass während des Feldtests der Laktatwert steil ansteigt, das AMV und die Herzfrequenz nur noch leicht ansteigen, und die VO_2 und die Rundengeschwindigkeit minimal abfallen (Abbildung VI.1.2-25,Abbildung VI.1.2-26). Das gesteigerte AMV wird durch eine Hyperventilation herbeigeführt, mit der der Körper versucht, die durch das Laktat verursachte metabolische Azidose zu kompensieren (31). Die leicht erhöhte Herzfrequenz, gepaart mit der etwas langsameren Rundengeschwindigkeit, deuten auf einen Leistungsabfall hin.

IV.2.3 Herzfrequenz

Die Variationen der Herzfrequenzkurve entsprechen der Belastungsintensität (51). In unserem Fall kann man anhand der HF-Kurve (Abbildung VI.1.2-20) auch auf das Streckenprofil schließen. In jeder Runde ist eine zweigipflige Kurve zu sehen, wobei der zweite Gipfel immer höher ist als der erste. Das stimmt mit der Strecke überein, die im ersten Abschnitt einen längeren Anstieg enthält, der mit der DSZ gelaufen wird, während im zweiten Abschnitt der sehr steile Schlussanstieg mit der Diagonaltechnik noch höhere Anstrengungen erfordert. Wie Bilodeau auch herausfand, hat die Wahl der Langlauftechnik auf die Herzfrequenz kaum Einfluss (14). Daraus lässt sich schließen, dass die Veränderung der Herzfrequenz eine Folge des Streckenprofils und nicht der Rollertechnik ist.

Zur Steuerung der Trainingsintensität ist die Herzfrequenz ein hervorragender Parameter (8) (17). Wir haben auf das Bestimmen einer Ruheherzfrequenz verzichtet, da die Athleten sich vor der ersten Runde schon leicht warm gemacht hatten und die Ruhefrequenz somit keine Aussagekraft gehabt hätte. Die weiblichen Athleten hatten Schwierigkeiten, die Herzfrequenzbelastungsvorgaben für die jeweiligen Runden einzuhalten. Sie waren in den SB-Runden schon bei 93% bzw. 95% ihres Maximalwertes, was für das Trainieren der aeroben Ausdauer, wie es im Stabilisierungsbereich vorgesehen ist, zu hoch ist. Betrachtet man im Gegensatz dazu aber den Laktatwert der ersten SB-

Runde, so war er durchschnittlich bei 3,60 mmol/l, was sehr wohl dem SB-Bereich nach Nitzsche entspricht (Tabelle II.2.3-1).

Wie ist diese Diskrepanz zu erklären? Wir haben immer die maximale Herzfrequenz einer Runde genommen und haben diesen Wert mit der Maximalfrequenz im Labor verglichen. Die max. HF im Feldtest kam allerdings immer am Ende einer Runde zustande, an der eine 16,8% Steigung zu bewältigen war und die Athleten hatten dadurch die Trainingsaufgabe um einiges überschritten. Der Polar® Pulsmesser war so eingestellt, dass er alle 5 Sekunden eine Messung abspeichert. Das gibt bei einer SB-Rundenzeit von ca. 11 Minuten um die 130 Messungen. Nimmt man daraus den Durchschnitt, so kommen die Frauen auf eine Durchschnittsfrequenz von 84% ihres Maximalwertes in SB1 und 88% in SB2. In den EB-Runden waren sie dann bei 90% bzw. 92% und in der GB-Runde bei 93% ihres Maximalwertes. Von der GB-Runde abgesehen entspricht das sehr wohl der gestellten Trainingsaufgabe. Der Durchschnitt der GB-Runde ist nicht im Bereich von 95%-100%, da das Streckenprofil aufgrund Schussfahrten mit niedrigerem Puls solch hohe Durchschnittswerte nicht zulässt. Von den Maximalwerten ausgehend erreichten die Frauen sogar noch höhere Werte als im Labortest, wobei 1,4% statistisch nicht relevant sind.

Die Athleten haben in dem Belastungszeitraum von ca. einer Stunde kaum Flüssigkeit zu sich genommen. Man könnte vermuten, dass die Dehydration einen Einfluss auf die Herzfrequenz hat. Wie in Untersuchungen von Hamilton (30) und McConell (63) aber festgestellt wurde, entstehen bei einer Belastung von unter einer Stunde weder negativen Folgen, noch ergibt sich durch das Zuführen von Flüssigkeit ein Vorteil.

IV.2.4 Ventilation

Die Laufzeit inklusive der Laktatabnahmen unserer Athleten im Feldtest war zwischen 45 - und 63 Minuten mit einem Durchschnitt von 50 Minuten. Da sie aber nicht über die gesamte Zeit mit voller Intensität gelaufen sind, sondern ihre Runden in verschiedene Intensitäten eingeteilt wurden, fällt der Feldtest auf keinen Fall in die Rubrik der allgemeinen Langzeitausdauer. Die einzige Runde, die mit 100% Intensität gelaufen wurde, war die Runde im Grenzbereich und sie dauerte im Durchschnitt 8:48 min. Das würde der allgemeinen aeroben Kurzzeitausdauer entsprechen und man könnte erwarten,

dass die maximale Sauerstoffaufnahme erreicht würde. Warum das nicht der Fall war, wird später noch besprochen.

Unter Belastung nimmt das AMV zunächst proportional zur Leistung und Sauerstoffaufnahme zu. Ab etwa 50%-60% der maximalen Leistungsfähigkeit steigt das AMV überproportional an. Entsprechend nimmt das Atemäquivalent (AMV/VO_2), das die Ökonomie der Atmung widerspiegelt, zu. Dieser Übergang des linearen zum exponentiellen Anstieg des AMV im Vergleich zu VO_2 (Sauerstoffaufnahme) und VCO_2 (Kohlensäureabgabe) wird auch als anaerobe Schwelle bezeichnet, die eine relativ gute Übereinstimmung mit der durch die Laktatbestimmung festgestellten Schwelle hat. Oberhalb der anaeroben Schwelle führt die Laktatproduktion zur metabolischen Azidose, die zunächst durch $NaHCO_3$ als Puffer kompensiert wird. Hierdurch wird auch vermehrt CO_2 freigesetzt, wodurch das VCO_2 ansteigt. Die Laktatazidose und der erhöhte Kohlensäurepartialdruck (p_aCO_2) führen zu einer Stimulation des Atemzentrums mit **Hyperventilation** (87). Bei chronisch-obstruktiver Ventilationsstörung und chronischer Herzerkrankung zum Beispiel steigt das AMV durch die früher als normal einsetzende Laktatazidose früher und stärker an (58).

Bei den Männern war das AMV in der GB-Runde um 10,6% höher als der maximal gemessene Wert im Abbruchtest. Zusätzlich war die AF, der RQ und das EqO_2 bei maximaler Belastung erhöht im Vergleich zum Abbruchtest. All diese Messungen deuten auf eine im Feldtest deutlich ausgeprägte Hyperventilation hin, die die physiologische Belastungshyperventilation im Labor um einiges übertraf.

Ein Grund für diese Hyperventilation im Feldtest ist sicherlich im Versuchsaufbau zu finden. Im Abbruchtest wird ohne Zuhilfenahme der Arme zu Fuß gelaufen, während im Feldtest die gesamte Oberkörpermuskulatur beansprucht wird. Dadurch wird eine wesentlich größere Muskelmasse in Anspruch genommen, die vermehrt Laktat freisetzt. Durch die entstehende metabolische Azidose und durch den erhöhten p_aCO_2 wird der Körper zur Hyperventilation angeregt.

In Studien von Koyal (55), Beneke (7) und Miles (66) wurde der Unterschied zwischen Laufband - und Fahrradergometrie untersucht. Koyal (55) verglich in einer Studie das Verhalten von Ventilation und Säure-Basen-Haushalt bei vergleichbarer O_2–Aufnahme während Laufband– und Fahrradergometerbelastung. Er fand, dass bei der Fahrradergometerarbeit, ähnlich wie bei unseren Athleten beim Skirollern, das Laktat und das AMV höher und der pH und das Bikarbonat niedriger waren als bei Laufbandergometerarbeit. Er führte diese Ergebnisse auch auf die größere metabolische

Azidose zurück. Miles (66) konnte ähnliche Schlüsse ausmachen, folgerte aber daraus, dass es aufgrund einer kleineren Muskelmasse beim Fahrradergometer eher zu einer lokalen Ermüdung kommt und der Laktatspiegel höher ist als bei einer größeren Muskelmasse.

Wir führen also die Hyperventilation auf eine längeranhaltende metabolische Azidose zurück, die aufgrund der wesentlich größeren Muskelmasse und längeren Dauer stärker ausgeprägt ist als im Abbruchtest (86).

Vergleicht man die gemessenen Werte im Feldtest mit denen im Labor, so stellt man fest, dass sie, abgesehen von der Hyperventilation, sich eigentlich nur wesentlich in der Sauerstoffaufnahme unterscheiden. Worin besteht der Unterschied der zwei Leistungstests, um solch unterschiedliche Ergebnisse bei der maximalen Sauerstoffaufnahme zu bekommen ?

Bergh (10) fand in einer Studie, dass die max. VO_2 bei Arm- und Beinergometerarbeit höher ist als nur bei einem von beiden. Er macht auch die Höhe der Sauerstoffaufnahme von der **arbeitenden Muskelmasse** abhängig. Würden unsere Athleten also unter Laborbedingungen einen Stufentest zu Fuß und auf Rollerski absolvieren, wären angesichts der größeren Muskelmasse beim Skiroller dort auch höhere Sauerstoffaufnahmewerte zu erwarten (68). Auch Faria (24) beobachtet in einem Versuchsaufbau mit verschiedenen Armarbeitsformen, dass die Doppelstocktechnik durch verstärkte Benutzung der Oberkörpermuskulatur eine höhere Sauerstoffaufnahme aufzeigte als die Diagonalstocktechnik.

Warum das VO_2 nicht wie zu erwarten erhöht, sondern eher erniedrigt ist, kann mehrere Ursachen haben. Erstens könnte es ein Messfehler des Spirometers sein. Zweitens besteht die Möglichkeit, dass die Athleten sich nicht ausbelastet haben. Drittens könnte der Berg, an der die höchsten Werte gemessen werden, zu kurz sein, um die maximale Sauerstoffaufnahme zu erreichen. Viertens ist eventuell die Belastung, die vor der maximalen Runde geleistet wurde, zu groß, um noch die maximale Sauerstoffaufnahme zu erreichen. Fünftens, wäre es möglich, dass das Gewicht des Spirometers die Leistungen negativ beeinflusst.

Der **Messfehler** des Spirometers kann ausgeschlossen werden. Es wurde sowohl für die Messung im Labor als auch für den Feldtest das gleiche MetaMax Gerät verwendet. Auch Masken, Volumen- und Flusssensoren waren identisch. Das Spirometer wurde an beiden Testorten vor jedem Messtag geeicht und war in einwandfreiem Zustand.

Wie oben schon während des Stufentests besprochen, sind die wichtigsten **Ausbelastungskriterien** das levelling-off-Phänomen, die Überschreitung einer Pulsfrequenz von 190/min, das Überschreiten eines Atemäquivalentwertes von 30-35, das Erreichen eines Laktatwertes von 10 mmol/l und ein maximaler Respiratorische Quotient von 1,05. Das levelling-off-Phänomen konnte aufgrund der Streckenbeschaffenheit nicht festgestellt werden. Zum Ende der GB-Runde am Ende des steilsten Anstieges wurde der höchste VO_2 Wert gemessen. Betrachtet man den Verlauf der Kurve in Abbildung VI.1.2-21 so kann kein Abflachen der Kurve festgestellt werden (76). Wenn der Anstieg noch weiter gegangen wäre, hätte sich die VO_2 Kurve an diesem Punkt sowieso abgeflacht oder wäre sie noch weiter angestiegen ? Sowohl die männlichen als auch die weiblichen Athleten überschritten die Ausbelastungskriterien für die HF, das EqO_2 und den RQ deutlich. Allein der Laktatwert erreichte nicht ganz den erforderlichen Wert von 10 mmol/l. Da der Laktatwert im Feldtest aber ähnlich hohe Werte erreichte wie im Abbruchtest, gehen wir nach diesen Kriterien von einer 100% Ausbelastung der Athleten aus.

Das Ende einer jeweiligen Runde wurde benutzt, um den Athleten möglichst maximal auszubelasten. Betrachtet man die Beschaffenheit der letzten Steigung, so sind das insgesamt 380m, wobei 50m davon eine 10% steile Abfahrt waren. Diese Abfahrt konnten die Athleten auch nutzen um Schwung für den darauffolgenden Anstieg zu bekommen. Die Eigentliche **Belastungszeit** im Diagonalschritt war dann höchstens zwischen 2-2,5 Minuten. Im Abbruchtest war die durchschnittliche Zeit bis zur Aufgabe 3:40 min für die Frauen und 4 min für die Herren. Das ergibt im Feldtest eine deutlich verkürzte Belastungszeit, die nicht ausreicht um die maximale Sauerstoffaufnahme zu erreichen. Betrachtet man die Abbildungen von Herzfrequenz- und VO_2 Kurven (Abbildung VI.1.2-20, Abbildung VI.1.2-21) während der GB-Runde, so fällt auf, dass sich die HF von ihrem Verlauf fast dem Gelände anpasst und sehr schnell ihr Maximum erreicht, während die VO_2 ab dem Beginn der Steigung konstant ansteigt und ihr Maximum nicht erreicht. Es findet sich weder bei der HF noch bei der VO_2 –Kurve ein Plateau als Zeichen des „levelling-off-phänomens“. Da die Herzfrequenz jedoch an dieser letzten Steigung den maximal gemessenen Werten im Labor entspricht, gehen wir hier von Maximalwerten aus. Aus dem um ca. 10% geringeren VO_2 als maximal im Labor gemessen schließen wir, dass die Streckenbeschaffenheit das Erreichen der maximalen VO_2 nicht zulässt. Vergleicht man die maximalen Werte im Feldtest mit den entsprechenden Zeiten bei ca. 2 min im Abbruchtest, so kann man ähnliche VO_2 Werte

feststellen. Die anderen Atmungsparameter wie R, EqO2 und AMV sind aber im Abbruchtest auf dieser Stufe noch wesentlich niedriger.

Eine andere Ursache für die erniedrigte VO_2 im Feldtest könnte die große **Belastung im Vorfeld** der letzten Steigung sein (1) (48) (65). Die Athleten sind bis zu dem Zeitpunkt der "Maximalmessung" 8,5 Kilometer in 25 Minuten gelaufen (SB1, EB1 und GB). Sie sind ab Beginn der EB1 Runde im anaeroben Bereich mit einem Laktat > 4mmol/l und einem RQ > 1. Wie oben schon erwähnt können Weltklasseathleten ihre max. VO_2 höchstens 10 min aufrechterhalten. Unsere Jugendläufer sind bis zum Erreichen ihrer GB Runde schon mehrere Minuten in den vorangegangenen Runden an ihrer maximalen Ausbelastungsfähigkeit gelaufen. Wie auch in Untersuchungen von Martinez (61) gefunden wurde, der die leistungsbegrenzenden Faktoren auf einem Fahrradergometer und auf Rollschuhen im Vergleich zum Laufen eher auf lokale Ermüdungserscheinungen (local muscle fatigue) als auf kardiovaskuläre Faktoren zurückführte, könnte das auch bei unseren Athleten der leistungsbegrenzende Faktor in Hinblick auf die max. VO_2 sein (77).

Das Gewicht eines Spirometers ist vergleichbar mit dem Gewicht eines Biathlongewehrs das mindestens 3,5 kg wiegt. Rundell (78) verglich in einer Studie die physiologischen Größen, die bei einer Skirollerergometrie von Biathleten mit und ohne Gewehr gemessen wurden. Zusätzlich untersuchte er noch, ob beim Tragen eines Gewehres im Energieaufwand ein Geschlechtsunterschied besteht. Er stellte bei beiden Geschlechtern gleichermaßen eine Zunahme von HF, VO_2, AMV, Laktat fest. Die Zunahme im VO_2 war aber nicht mehr als der prozentuale Anteil des Gewehrgewichts am Körpergewicht. Das Tragen eines Spirometers kann also nicht die Ursache für ein erniedrigtes VO_2 im Feldversuch sein, im Gegenteil müsste es um einige Prozente höher sein (67).

IV.3 Leistungsprognose und Anwendbarkeit

Die gewonnen Erkenntnisse aus dem Feldtest zeigen klar, dass man von den im Labor gemessenen Daten auf die Leistung im Feldtest schließen kann. Die Athleten, die im Labor eine hohe max. VO_2 erzielten, hatten auch im Feldtest die höchsten VO_2 Werte ($p<0,01$) und waren auch von den Rundenzeiten die schnellsten (56).

Schwieriger wird es schon, ohne Spirometrie im Feldtest die Leistungsfähigkeit eines Athleten zu beurteilen. Da sich aber gezeigt hat, dass die Rundengeschwindigkeiten stark

mit dem VO_2 und dem AMV einer jeweiligen Runde korrelieren, lassen sich bei ähnlich eingestellten Skirollern dadurch Rückschlüsse ziehen. Die Rückschlüsse haben natürlich nur im Gruppentraining einen Sinn, um den Querschnitt der Leistung der Athleten zu beurteilen bzw. um im Längsschnitt eine Verlaufskontrolle darzubieten. Zweckmäßig ist diese Beurteilung auch nur bei Athleten mit ausgereifter Technik, da sonst wesentlich technische Verbesserungen und dadurch erzielte schnellere Rundenzeiten das Bild eines Athleten mit verbesserter VO_2 vortäuschen.

Aufgrund der Erkenntnis, dass die max. VO_2 auf dieser Skirollerstrecke nicht erreicht werden kann, ist es sicherlich sinnvoll für das Training im GB-Bereich auf andere Trainingsmittel oder, wenn vorhanden, auf eine andere Strecke zurückzugreifen. Wertvoll wird wohl immer das normale Lauftraining bleiben, da hierbei die Bodenkontakte pro zurückgelegter Strecke wesentlich häufiger sind als beim Skirollern. Auch die Bergabpassagen können beim Lauftraining noch genutzt werden und es kann kein Schwung mit auf die Anstiege genommen werden. Eine weitere Trainingsmethode, die gerade im Jugendbereich genutzt werden sollte, um die VO_2 zu steigern, ist der Skigang. Nicht nur sind hier die gleiche Anzahl an Bodenkontakten vorhanden wie beim Lauftraining, sondern es wird auch noch als sportartspezifischeres Training die Oberkörpermuskulatur hinzugezogen (74).

Gerade das Training oberhalb der anaeroben Schwelle scheint das wirkungsvollste Mittel zur Verbesserung der max. VO_2 zu sein während das Distanztraining mit relativ niedriger Intensität eher auf die Verbesserung der submaximalen Ausdauer und der anaeroben Schwelle abzielt (13) (28) (47) (72) (79) (80) (82) (85).

Die im Labor ermittelten individuellen Schwellen sind für die Festlegung der Trainingsintensität von großer Bedeutung (35) (89). Das Trainieren mit einer Pulsuhr ermöglicht den Athleten genau die erwünschten Bereiche zu trainieren. Gerade im hügeligen Terrain ist es aber sicherlich sinnvoller bei SB - und EB - Runden nach dem Durchschnittspuls einer Runde zu trainieren, da die Anstiege und Abfahrten oft nicht in diesen HF - Bereichen möglich sind (4) (51).

V Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Arbeit wurde das Verhalten verschiedener physiologischer Parameter bei jugendlichen Skilangläufern untersucht, und zwar bei laufbandergometrischer Belastung einerseits und bei einer sportartspezifischen Trainingseinheit mit wettkampfähnlichem Charakter (Feldtest) anderseits. Untersucht wurde die Sauerstoffaufnahme, das Atemminutenvolumen, der respiratorischen Quotient, der Atemäquivalent, die Herzfrequenz und das Serumlaktat.

Der Feldtest war in Form einer Trainingseinheit mit ansteigender und abfallender Intensität aufgebaut. Die physiologischen Belastungsreaktionen, mit Ausnahme der Sauerstoffaufnahme die zwischen 7% (Frauen) und 14% (Männer) niedriger war als im Labor, waren in den SB, EB und GB-Einheiten im Feldtest vergleichbar mit den Ergebnissen der Laufbandergometrie, wobei die Runde im Grenzbereich (GB) am ehesten mit den maximalen Werten im Labortest zu vergleichen ist. Es bestand eine enge Korrelation zwischen der Sauerstoffaufnahme im Feldtest und im Abbruchtest (VO2 Feldtest = 0,43 x VO2 Labor + 18,83; $p<0,01$). Im Feldtest selber korrelierten die jeweiligen Rundengeschwindigkeiten mit dem AMV ($p<0,01$) und den Serumlaktatwerten ($p<0,05$).

Aufgrund der ausgewählten Strecke des Feldtests, die zwar anspruchsvoll war aber keine langen Anstiege beinhaltete, und der Vorbelastungen war es für die Athleten nicht möglich, die auf dem Laufbandergometer erreichten max. VO_2 -Werte zu erzielen. Die Belastungszeit von ca. 2 min am Schlussanstieg reichte nicht aus, um die für die Ausbelastung wichtige Plateauphase der maximalen VO_2 zu erreichen. Die anderen physiologischen Kenngrößen erreichten mindestens die Werte des Abbruchtests, wobei das Atemminutenvolumen aufgrund der größeren benutzten Muskelmasse beim Skirollertraining mit einer starken Hyperventilation hervorzuheben ist.

Das im Skilanglauf wichtige Training im Bereich der maximalen VO_2 zur Verbesserung des aeroben Leistungsvermögens kann auf dieser Trainingsstrecke nicht absolviert werden und auch deren Bestimmung ist hier nicht möglich. Es wird eine Strecke mit längerem Anstieg empfohlen oder die Integration von anderen Trainingseinheiten wie Lauftraining oder Skigang.

VI Tabellen und Abbildungen

VI.1.1 Tabellen

Schwellenbestimmung	*Aerobe Schwelle*		*IAS*		*2mmol*	*4mmol*
	Laktat mmol/l	*HF S/min*	*Laktat mmol/l*	*HF S/min*	*HF S/min*	*HF S/min*
Durchschnitt Männer	1,82	161	3,32	186	167	184
SD	0,31	10,1	0,31	9,9	20,1	12,3
Durchschnitt Frauen	1,55	162	3,05	182	174	182
SD	0,24	5,6	0,24	5,1	4,8	5,1

Tabelle VI.1.1-1 Stufentest : Die Ergebnisse der Schwellenbestimmung im Stufentest. Aufgelistet sind der Laktatwert und die Herzfrequenz an der aeroben und der individuellen anaeroben Schwelle (IAS), und die Herzfrequenz an der 2mmol und der 4 mmol Schwelle.

HF	*Laufbandgeschw. (m/s)*										
S/min	*0*	*1,9*	*2,2*	*2,5*	*2,8*	*3,1*	*3,3*	*3,6*	*3,9*	*4,2*	*max*
Durchschnitt Männer 1/min	57	123	138	151	160	170	180	187	193	199	197,4
SD	12,5	8,2	12,5	11,9	10,5	10,1	8,7	8,1	8,1	9,7	8,1
Durchschnitt Frauen 1/min	63	133	141	156	167	178	185	189	190		191,9
SD	18,4	18,4	14,6	9,8	9,2	7,9	8,8	6,5	3,6		5,7
Laktat	*Laufbandgeschw. (m/s)*										
mmol/l	*0*	*1,9*	*2,2*	*2,5*	*2,8*	*3,1*	*3,3*	*3,6*	*3,9*	*4,2*	*max*
Durchschnitt Männer (mmol/l)	1,58	1,61	1,66	1,77	1,88	2,19	2,83	3,78	5,54	8,19	7,36
SD	0,17	0,22	0,31	0,33	0,42	0,45	0,73	0,97	1,54	2,14	2,44
Durchschnitt Frauen (mmol/l)	1,33	1,54	1,44	1,39	1,67	2,16	3,32	4,88	6,68		5,58
SD	0,23	0,18	0,31	0,32	0,30	0,40	1,07	1,70	1,75		1,67

Tabelle VI.1.1-2 Stufentest : Der Verlauf der Herzfrequenzen und der Laktatwerte über die einzelnen Stufen im Stufentest. (siehe auch Abbildung VI.1.2-5)

Abbruchtest Maximalwerte	*Zeit min:sec*	*HF S/min*	*Laktat mmol/l*	*AMV L/min*	*VO2 ml/kg/min*
Durchschnitt Männer	03:38	199,8	9,63	141,4	66,7
SD	00:46	6,9	1,75	19,3	6,5
Durchschnitt Frauen	04:05	194,8	10,84	105,6	53,0
SD	00:58	5,4	1,71	10,6	9,1

Tabelle VI.1.1-3 Abbruchtest : Die maximal erreichten Werte im Abbruchtest. Die Frauen sind mit 5% gestartet, die Männer mit 8% (siehe dazu auch Tabelle III.1.1-2).

Zeit						
min:sek		*SB1*	*EB1*	*GB*	*EB2*	*SB2*
Männer		10:09	08:53	08:19	09:13	10:06
SD		00:34	00:32	00:40	00:39	00:32
Frauen		10:57	10:06	09:40	10:33	11:29
SD		00:24	00:33	00:55	01:01	01:11
Herzfrequenz						
1/min		*SB1*	*EB1*	*GB*	*EB2*	*SB2*
Männer		172	188	195	190	178
SD		7,5	5,9	5,0	4,6	10,5
Frauen		184	192	198	194	189
SD		4,7	3,4	4,9	5,0	7,8
VO2						
ml/kg/min		*SB1*	*EB1*	*GB*	*EB2*	*SB2*
Männer		49,9	55,9	57,2	53,9	49,8
SD		3,9	3,5	5,2	4,6	4,6
Frauen		43,4	46,9	48,4	45,8	43,1
SD		5,0	3,4	4,6	4,1	4,0
AMV						
l/min		*SB1*	*EB1*	*GB*	*EB2*	*SB2*
Männer		105,8	131,4	156,4	142,5	115,8
SD		17,5	24,2	26,6	24,1	24,0
Frauen		73,5	92,3	108,5	96,9	81,3
SD		12,5	9,0	13,9	8,7	11,0
Laktat						
mmol/l	*Ruhe*	*SB1*	*EB1*	*GB*	*EB2*	*SB2*
Männer	2,03	3,36	5,86	9,57	9,31	6,96
SD	0,67	0,79	1,10	1,36	2,16	1,99
Frauen	1,65	3,60	5,93	9,09	7,51	4,88
SD	0,64	1,25	1,88	2,12	1,72	1,43

Tabelle VI.1.1-4 Feldtest : Die Rundenzeiten, die Herzfrequenz, die Sauerstoffaufnahme (VO_2), das Atemminutenvolumen (AMV), und die Laktatwerte mit dazugehöriger Standardabweichung (SD) für die jeweiligen Runden des Feldtests.

Zeit	AMV	R	EqO_2	spez. VO_2	Runde
s:min:sek	l/min			ml/kg/min	
00:18:20	122,06	1,02	34,53	52,87	
00:18:30	123,94	1,02	34,86	53,23	Ende EB1
00:18:40	121,84	1,03	35,06	52,77	
00:18:50	118,09	1,03	34,69	51,91	
00:19:00	111,91	1,03	34,32	50,32	Beginn GB
00:19:10	108,39	1,04	34,39	48,75	
00:19:20	105,63	1,05	35,23	46,90	
00:19:30	100,99	1,07	35,99	44,51	
00:19:40	95,48	1,07	35,71	42,45	
00:19:50	94,28	1,06	36,19	41,13	
00:20:00	95,93	1,06	37,24	40,34	
00:20:10	101,61	1,09	38,57	40,44	
00:20:20	106,17	1,09	39,16	41,04	
00:20:30	111,81	1,09	39,66	42,05	
00:20:40	115,63	1,09	39,90	42,96	
00:20:50	118,75	1,09	39,79	43,98	
00:21:00	119,07	1,08	39,65	44,75	
00:21:10	118,51	1,08	39,77	45,18	
00:21:20	117,69	1,07	39,79	45,31	
00:21:30	120,84	1,07	39,98	45,94	
"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"
00:24:50	113,33	1,15	42,54	42,54	
00:25:00	110,13	1,15	42,45	40,95	
00:25:10	110,25	1,14	42,46	40,22	
00:25:20	112,31	1,12	42,73	40,12	
00:25:30	115,63	1,10	42,48	40,89	
00:25:40	121,59	1,07	42,22	42,52	
00:25:50	127,34	1,05	41,70	44,66	
00:26:00	131,13	1,03	41,16	46,67	
00:26:10	132,97	1,02	40,71	48,23	
00:26:20	135,23	1,02	40,64	49,50	
00:26:30	138,51	1,02	40,80	50,66	
00:26:40	141,31	1,02	40,77	51,76	
00:26:50	145,36	1,02	40,74	53,00	
00:27:00	147,62	1,02	40,68	53,99	
00:27:10	148,81	1,03	40,74	54,72	
00:27:20	149,66	1,05	40,80	55,21	
00:27:30	152,04	1,05	40,92	55,84	
00:27:40	154,47	1,06	41,03	56,50	
00:27:50	154,98	1,06	41,11	56,91	Ende GB
00:28:00	147,64	1,07	40,75	56,00	
00:28:10	136,66	1,08	40,32	53,80	
00:28:20	123,79	1,09	40,18	50,41	Beginn EB2

Tabelle VI.1.1-5 Feldtest : Beispiel der Aufzeichnung des Spirometers für die Werte Atemminutenvolumen (AMV), respiratorischer Quotient (R), Atemäquivalent (EqO_2), und spezifischer Sauerstoffaufnahme (spez. VO_2). Dargestellt sind das Ende der EB1-Runde bis zum Beginn der EB2-Runde. Die GB-Runde ist in der Mitte um 3,5 Minuten gekürzt.

VI.1.2 Abbildungen

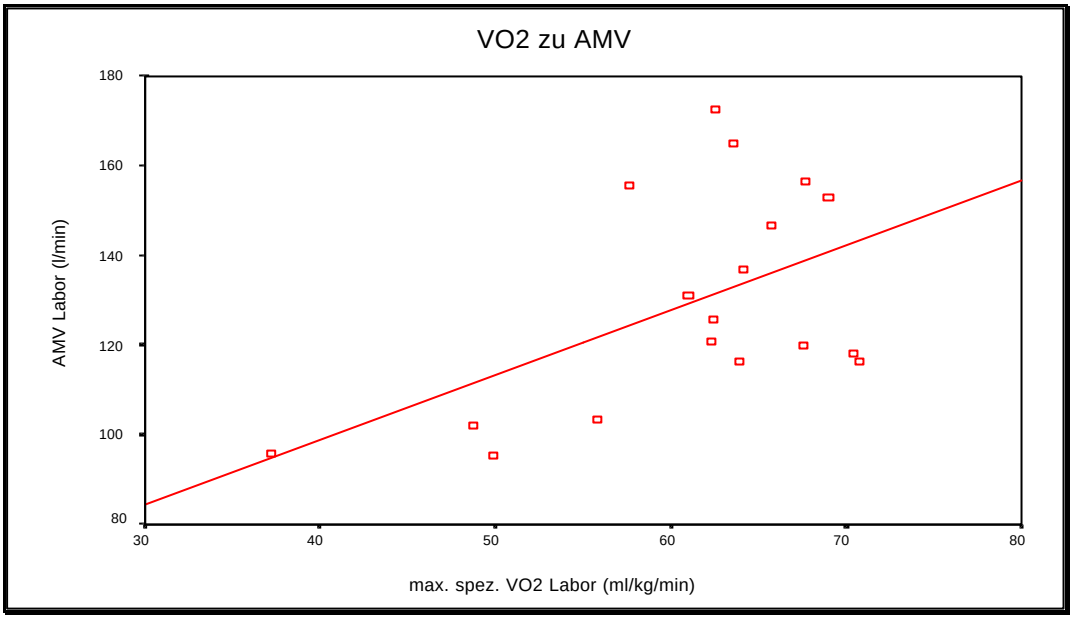

Abbildung VI.1.2-1 Abbruchtest : signifikante Korrelation zwischen der maximalen spezifischen Sauerstoffaufnahme (max VO_2) und dem Atemminutenvolumen (AMV) (r = 0,522; p < 0,05) (Regressionsgerade).

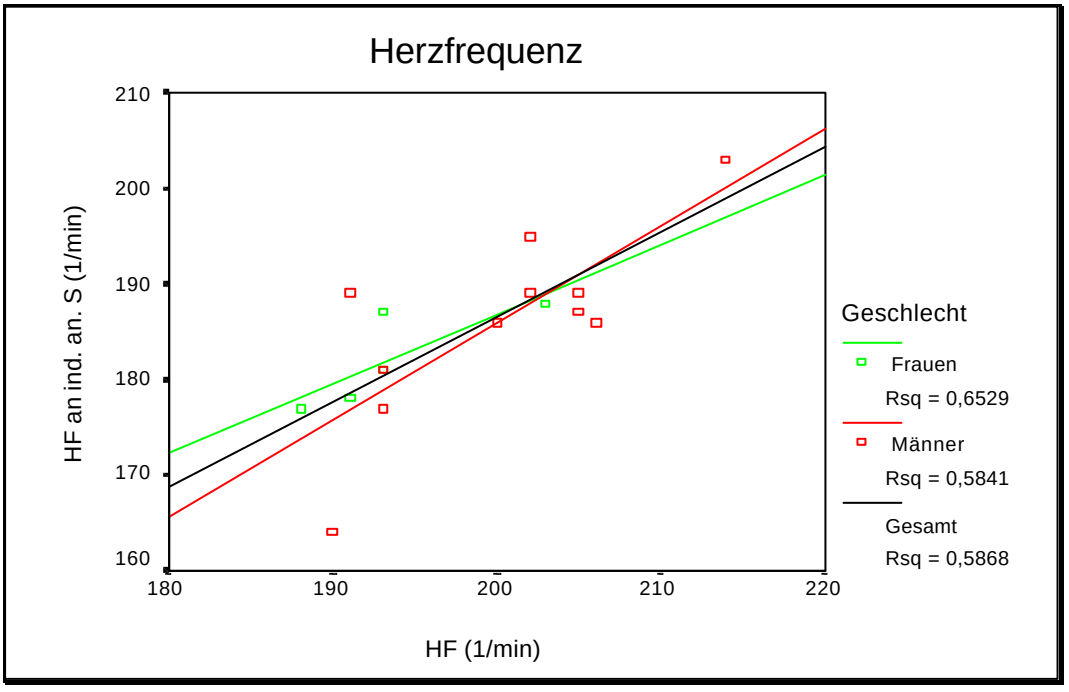

Abbildung VI.1.2-2 Abbruchtest : Die maximale gemessene Herzfrequenz korreliert hochsignifikant mit der Herzfrequenz an der individuellen anaeroben Schwelle im Labor. (Rsq = r^2) (Regressionsgeraden).

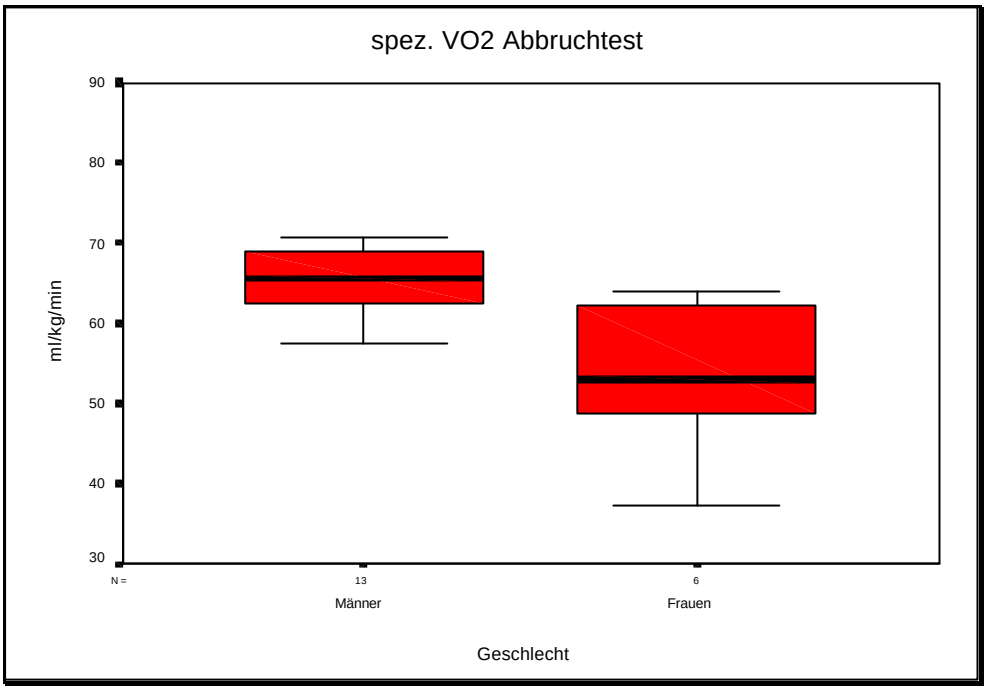

Abbildung VI.1.2-3 Abbruchtest : maximale spezifische VO_2 nach Geschlecht getrennt. (Box enthält 50% der Werte, dicker Strich in Box zeigt den Median, Striche nach außen die Extremwerte)

Abbildung VI.1.2-4 Abbruchtest : Atemminutenvolumen nach Geschlecht getrennt. (Box enthält 50% der Werte, dicker Strich in Box zeigt den Median, Striche nach außen die Extremwerte)

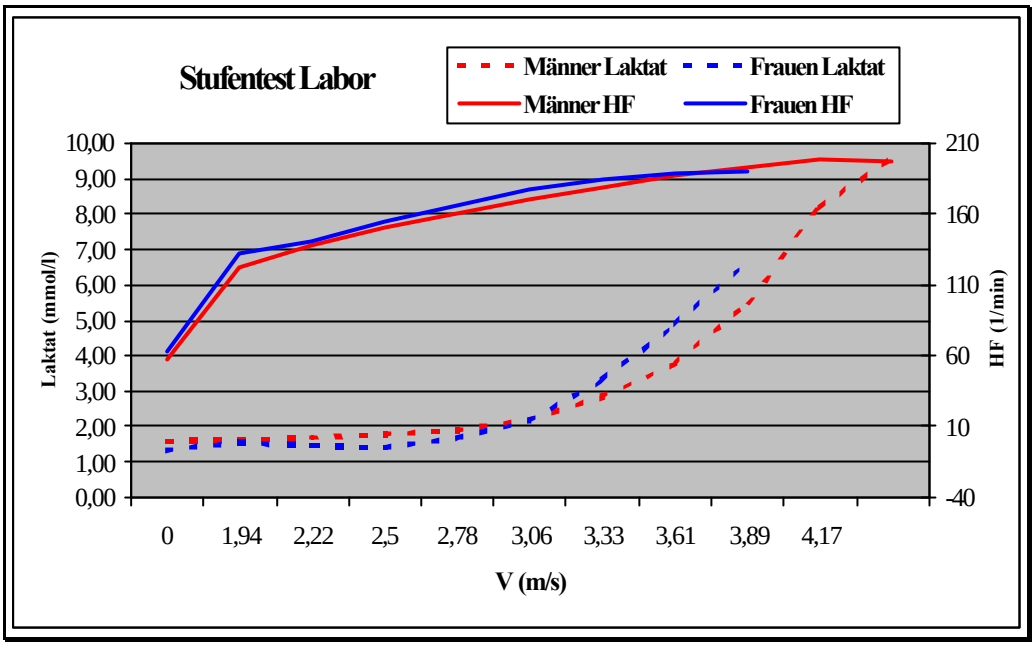

Abbildung VI.1.2-5 Stufentest : Der Verlauf der Laktat- und Herzfrequenzkurven nach Geschlecht aufgeteilt.

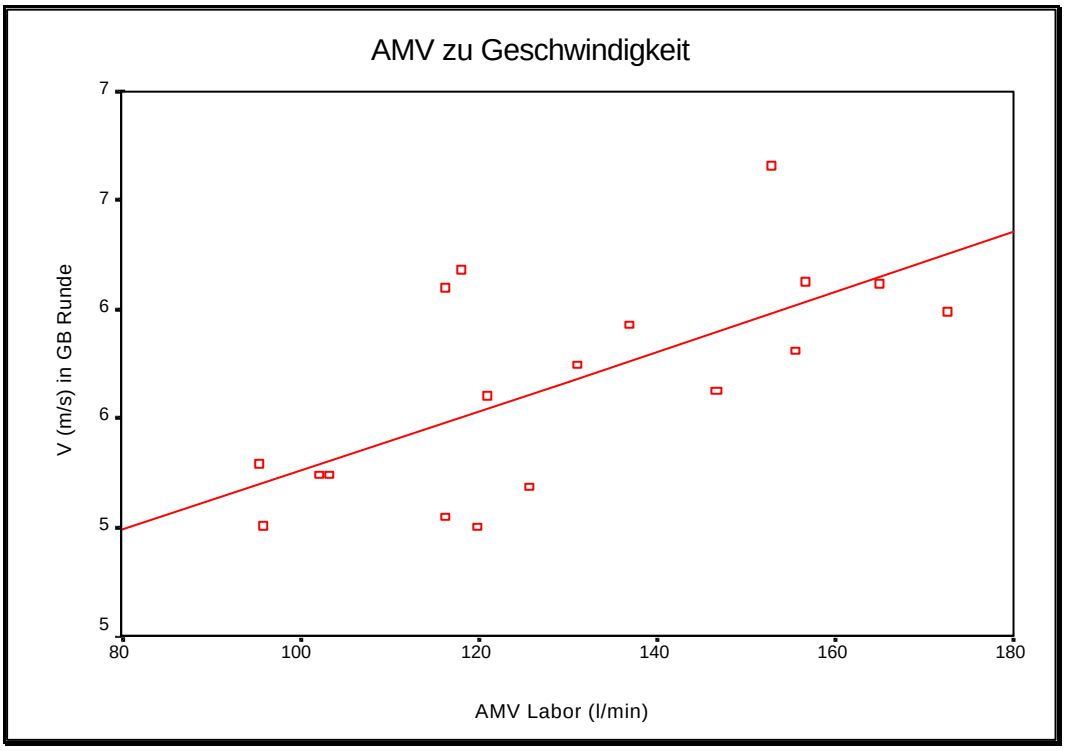

Abbildung VI.1.2-6 Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: Maximales Atemminutenvolumen (AMV) im Abbruchtest verglichen mit dem Maximalwert der Geschwindigkeit (V) in der GB Runde im Feldtest (r = 0,777; p < 0,001) (Regressionsgerade).

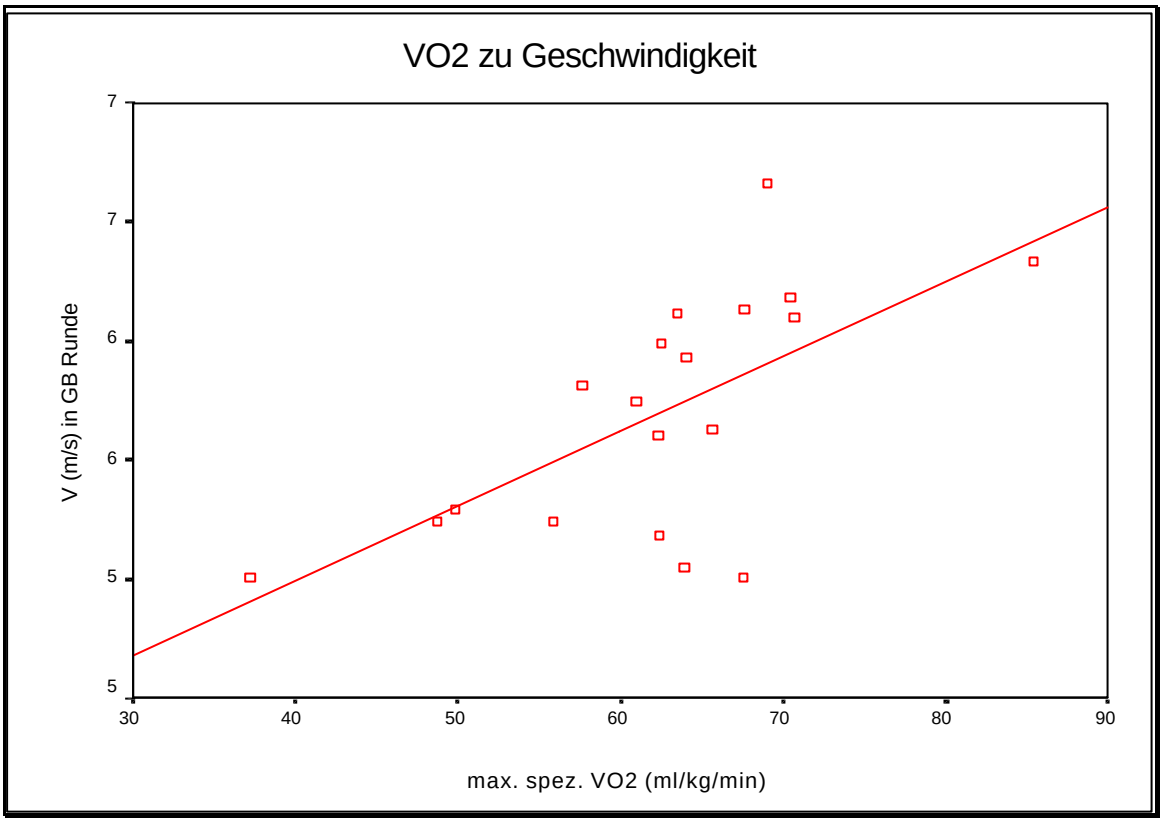

Abbildung VI.1.2-7 Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: Maximale spezifische Sauerstoffaufnahme (VO_2) im Abbruchtest verglichen mit dem Maximalwert der Geschwindigkeit (V) in der GB Runde im Feldtest (r = 0,636; p = 0,003) (Regressionsgerade).

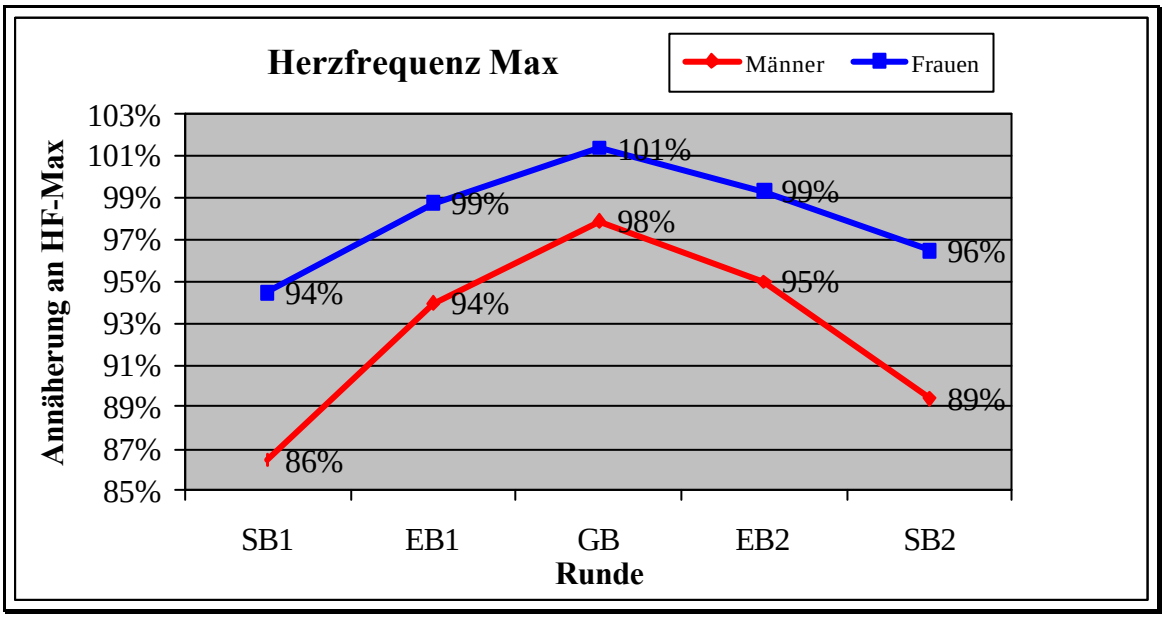

Abbildung VI.1.2-8 Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: Die prozentuale Annäherung der Herzfrequenzen im Feldtest an die im Abbruchtest gemessenen Maximalwerte

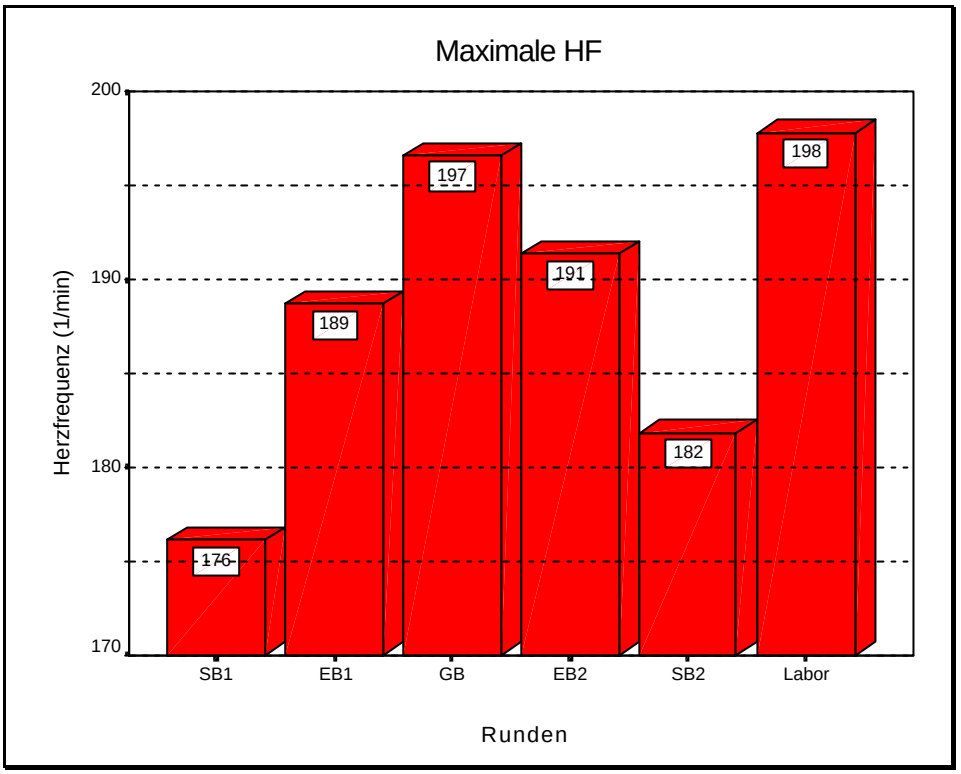

Abbildung VI.1.2-9 Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: maximale Herzfrequenz (1/min) pro Runde aller Athleten im Vergleich mit dem im Abbruchtest maximal gemessenen Wert.

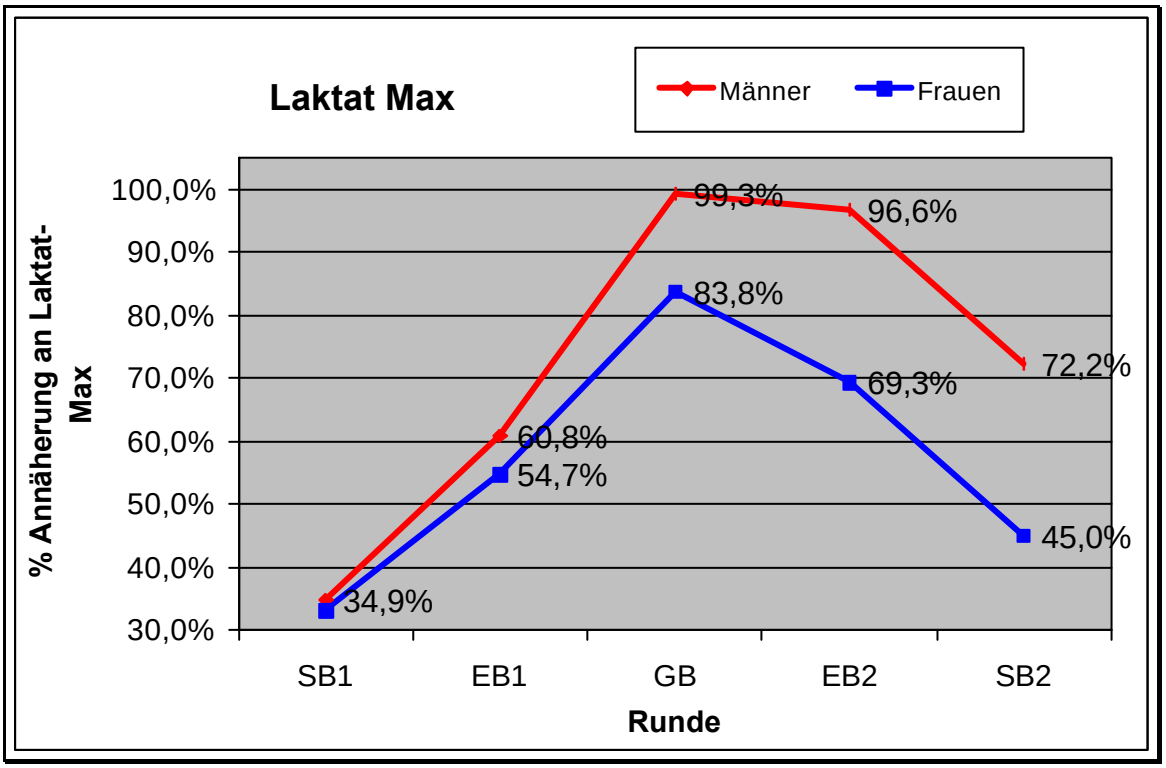

Abbildung VI.1.2-10 Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: Prozentuale Annäherung der Laktatwerte im Feldtest an die höchsten gemessenen Laktatwerte im Abbruchtest

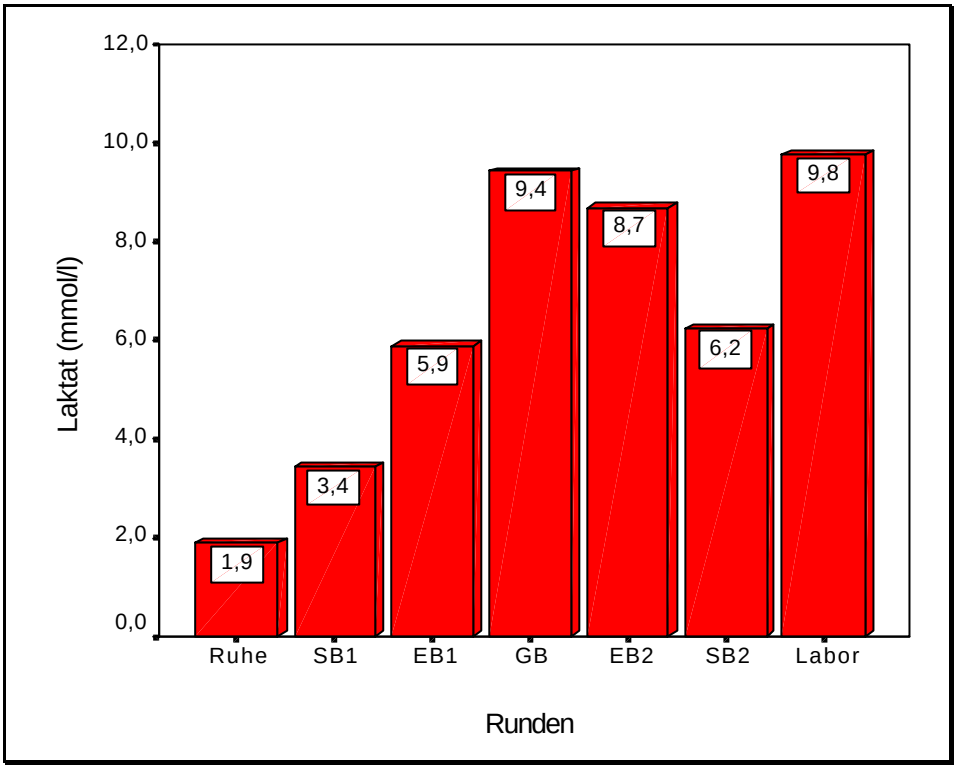

Abbildung VI.1.2-11 Vergleich der Maximalwerte Feldtest zu Abbruchtest : Der Ruhe- und maximale Laktatwert (mmol/l) pro Runde aller Athleten im Vergleich zu dem im Abbruchtest maximal gemessenen Laktatwert.

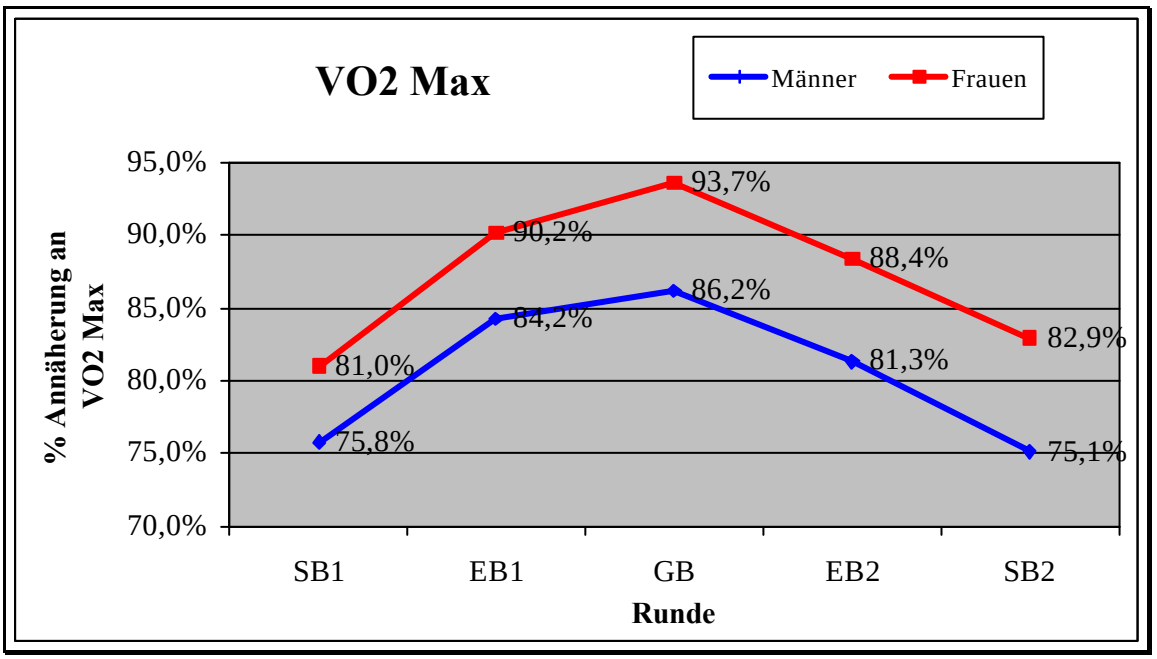

Abbildung VI.1.2-12 Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: Prozentuale Annäherung der Sauerstoffaufnahme (VO_2) im Feldtest an die höchsten gemessenen VO_2 Werte im Abbruchtest.

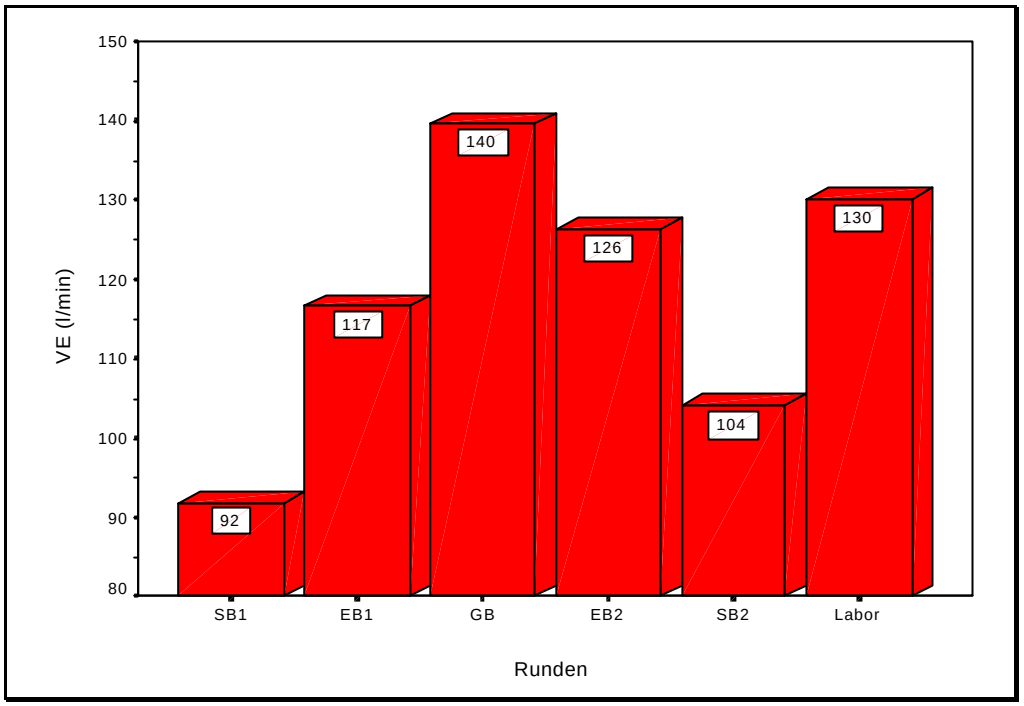

Abbildung VI.1.2-13 Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: maximales Atemminutenvolumen (l/min) pro Runde aller Athleten im Vergleich mit dem im Abbruchtest maximal gemessenen Wert.

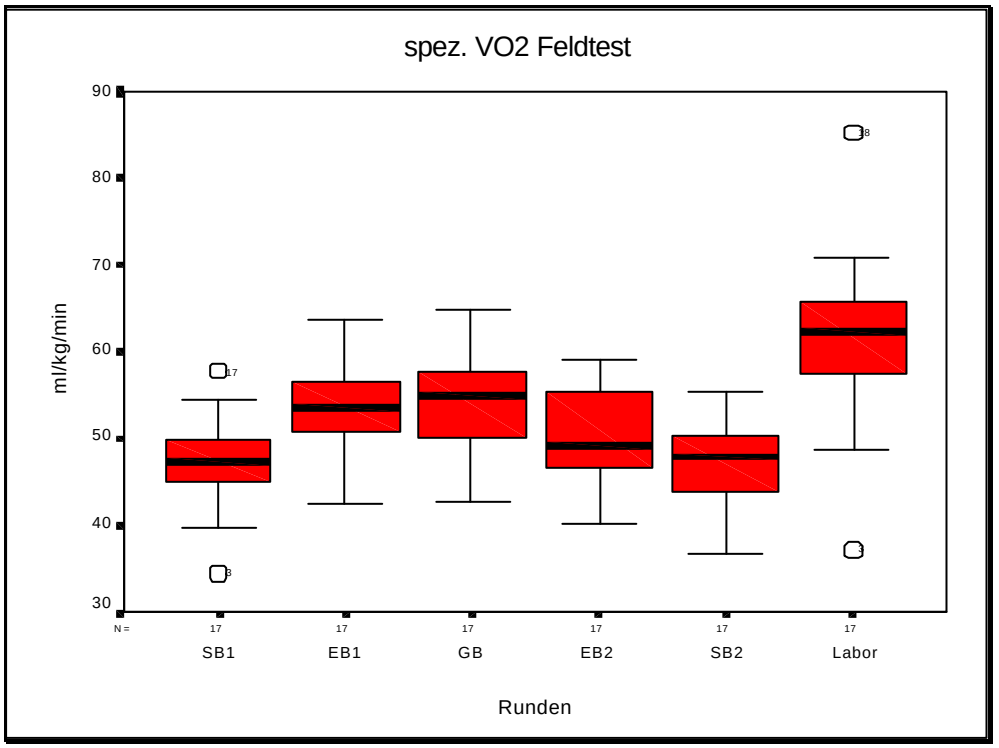

Abbildung VI.1.2-14 Vergleich Feldtest zu Abbruchtest : maximale spezifische Sauerstoffaufnahme jeder Runde verglichen mit der maximalen spezifischen Sauerstoffaufnahme im Abbruchtest (Box enthält 50% der Werte, dicker Strich in Box zeigt den Median, Striche nach außen die Extremwerte, Punkte die Ausreißer)

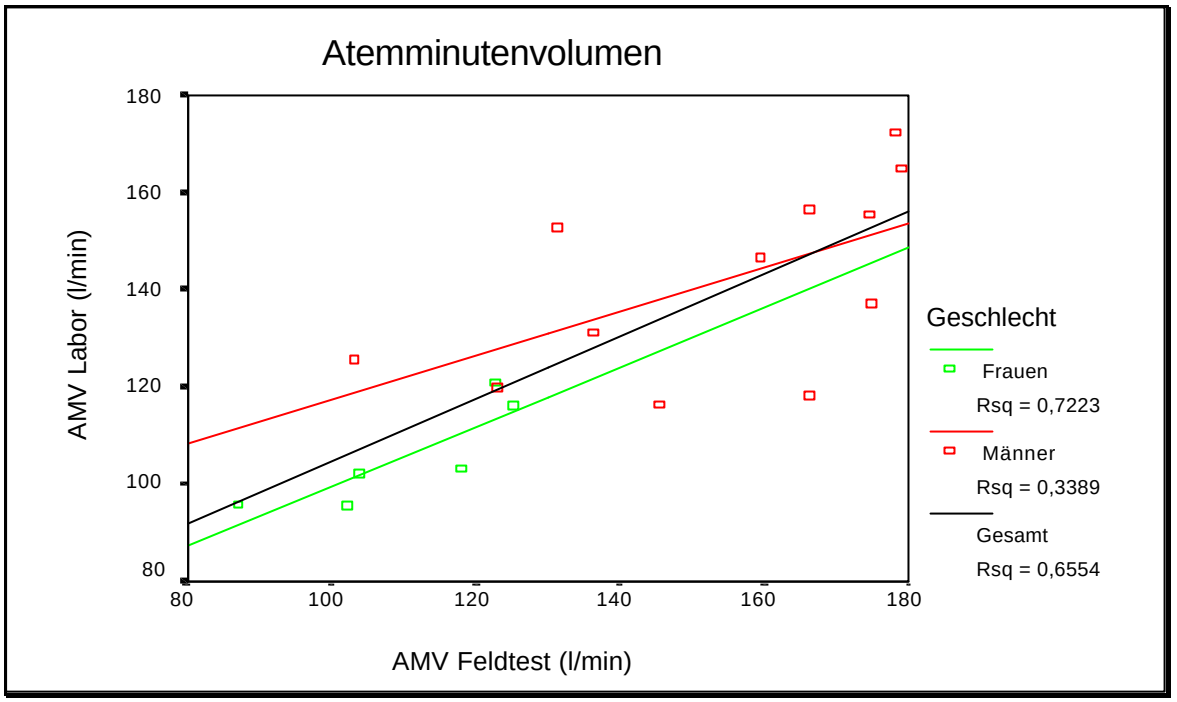

Abbildung VI.1.2-15 Vergleich Feldtest zu Abbruchtest : hoch signifikante Korrelation vom Atemminutenvolumen (AMV) im Abbruchtest zu dem im Feldtest. (Rsq = r^2) Die Regressionsgerade aller Athleten lautet : AMV Feldtest = 1,018 x AMV Labor + 6,91

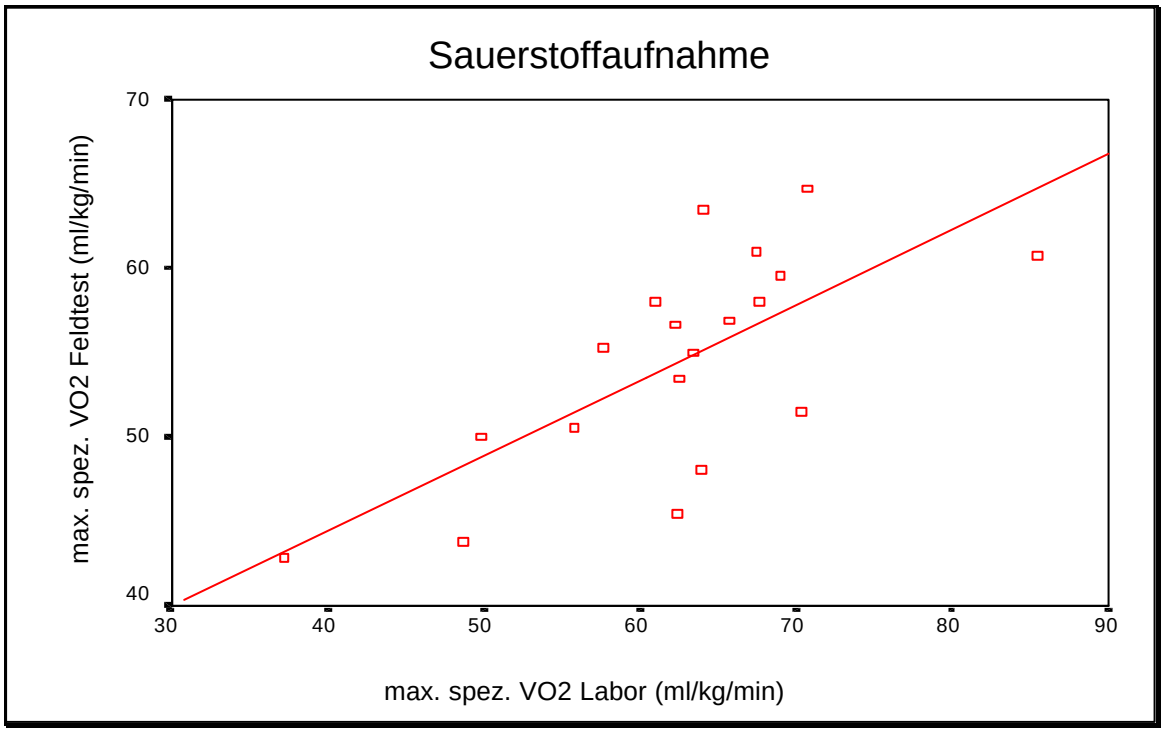

Abbildung VI.1.2-16 Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: Eine hochsignifikante Korrelation von der spezifischen Sauerstoffaufnahme (VO_2) im Abbruchtest zu der im Feldtest. Die Regressionsgerade lautet : VO_2 Feldtest = 0,426 x VO_2 Labor + 18,827

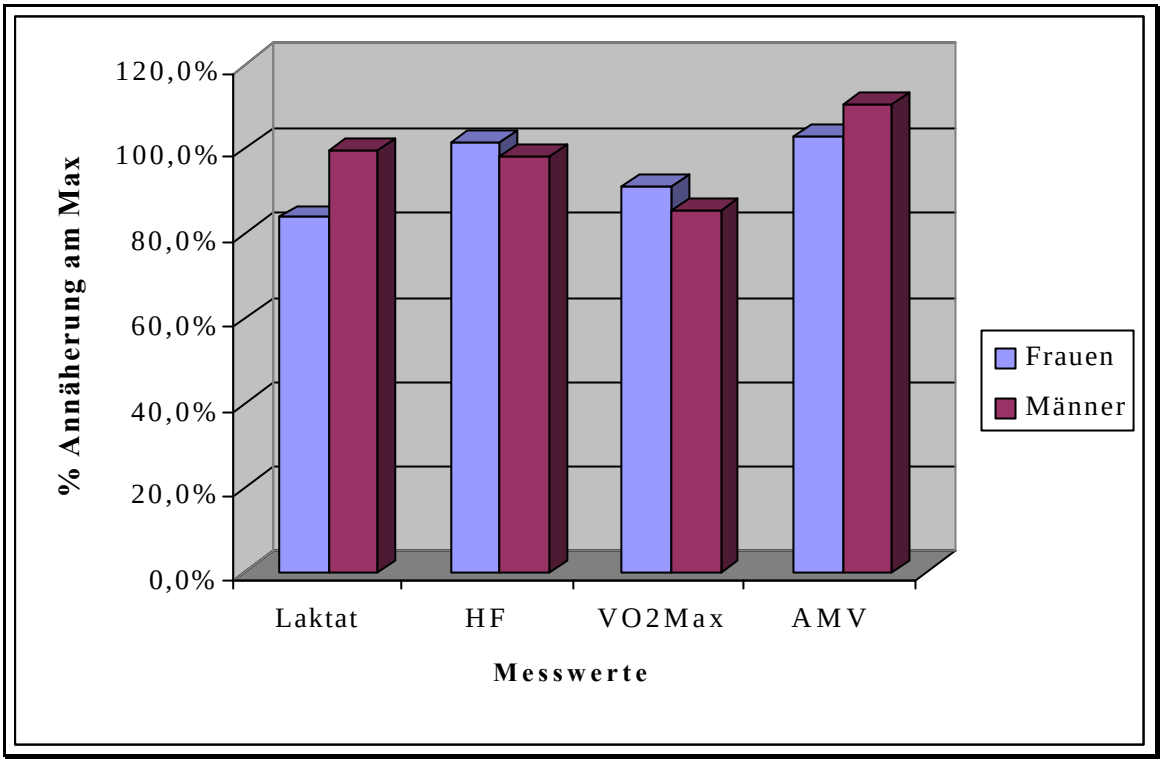

Abbildung VI.1.2-17 Vergleich Abbruchtest zu Feldtest: Prozentuale Annäherung der Maximalwerte von Laktat, Herzfrequenz (HF), Sauerstoffaufnahme (VO_2) und Atemminutenvolumen im Feldtest an die höchsten gemessenen Werte im Abbruchtest.

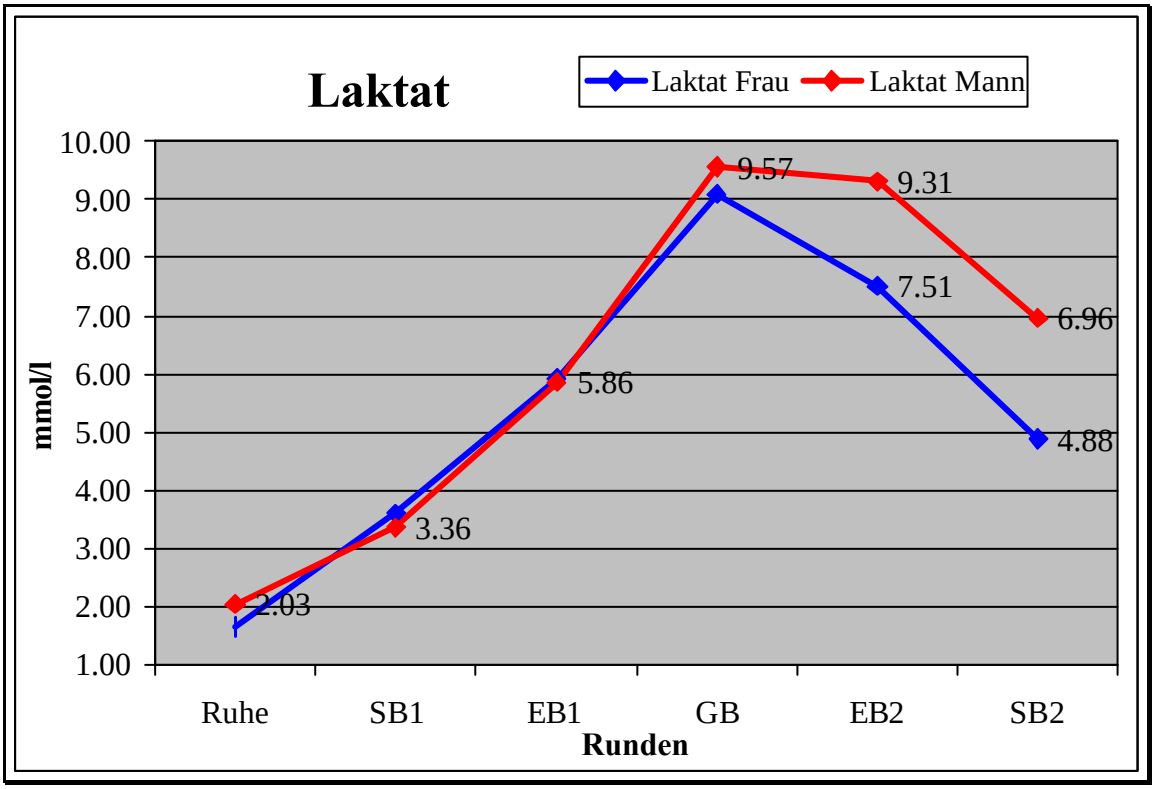

Abbildung VI.1.2-18 Feldtest : Gemessenes Laktat (mmol/l) in Ruhe und pro Runde nach Geschlecht aufgeteilt.

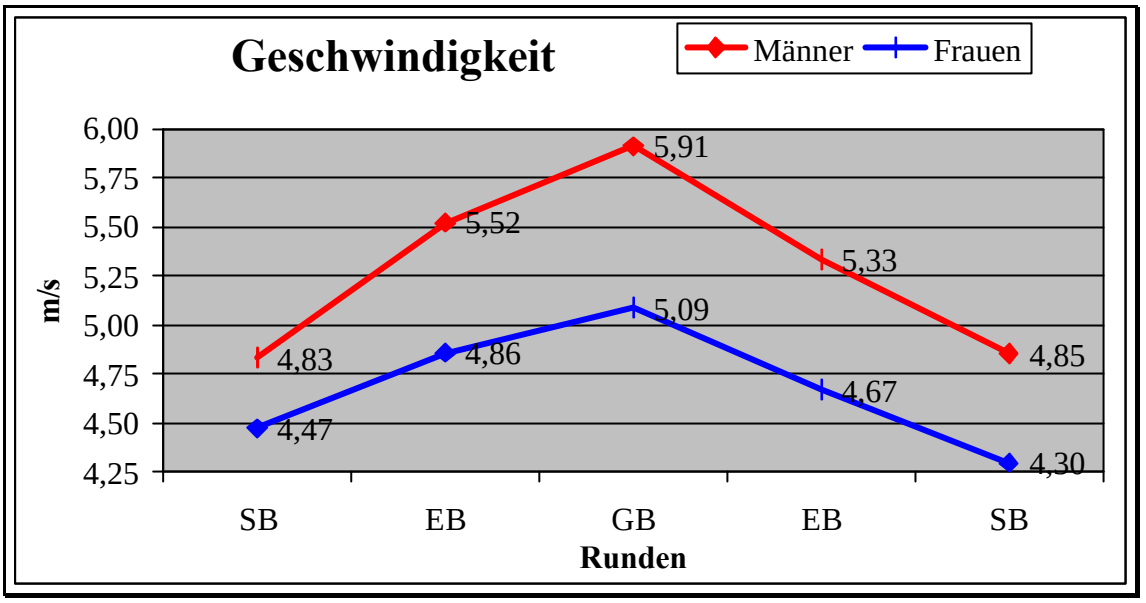

Abbildung VI.1.2-19 Feldtest : Rundengeschwindigkeit (m/s) nach Geschlecht getrennt

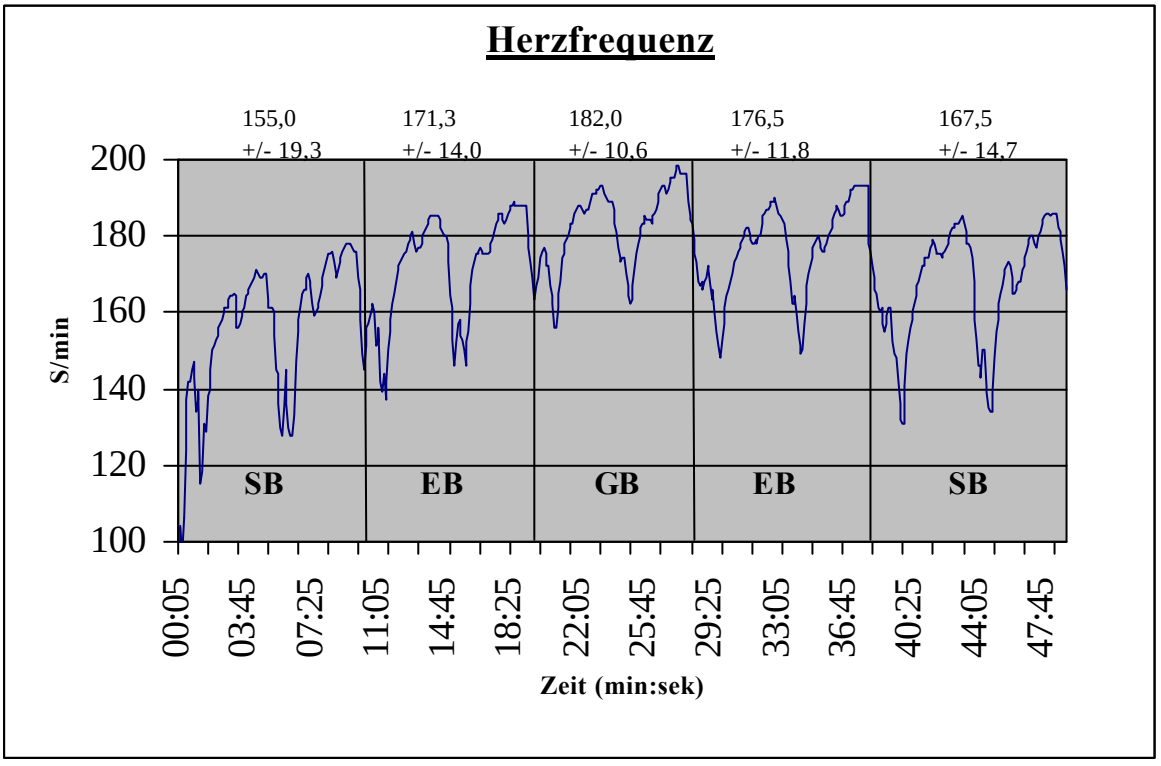

Abbildung VI.1.2-20 Feldtest : Beispielhafter Verlauf der Herzfrequenz (1/min) anhand eines männlichen Athleten mit angezeigtem Durchschnittswert der jeweiligen Runde und dazugehöriger Standardabweichung (+/-).

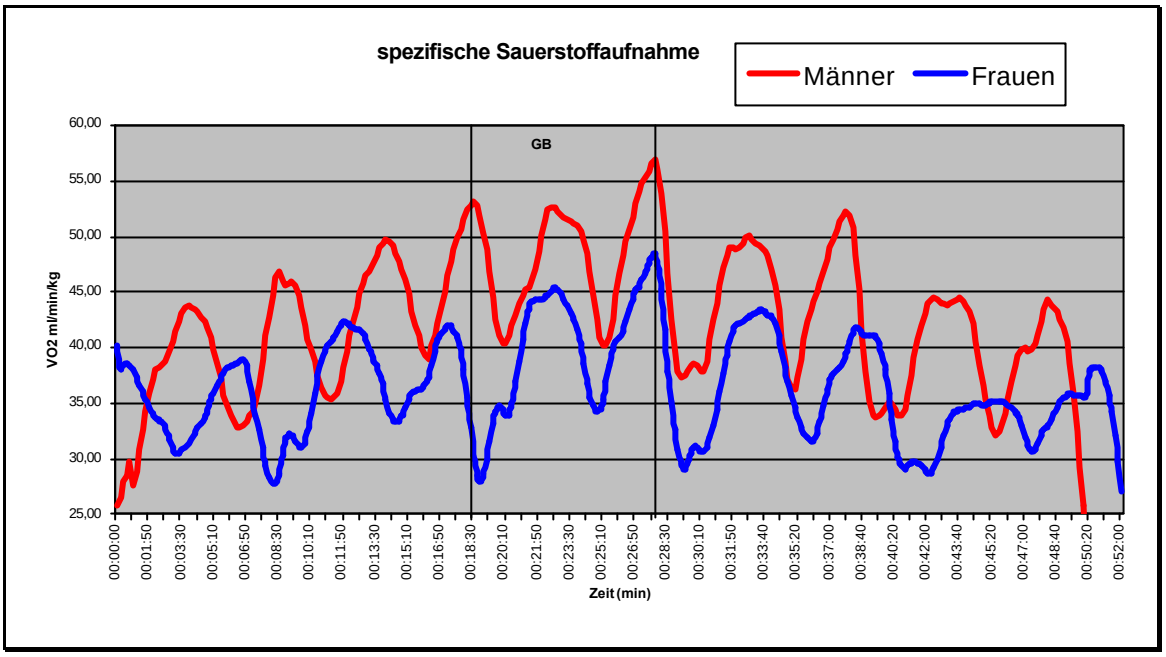

Abbildung VI.1.2-21 Feldtest : Der Verlauf der spezifischen Sauerstoffaufnahme (spez. VO_2) nach Geschlechtern getrennt. Die unterschiedlichen Höchstwerte bei Frauen und Männern ergeben sich durch die längere Laufzeit der Frauen.

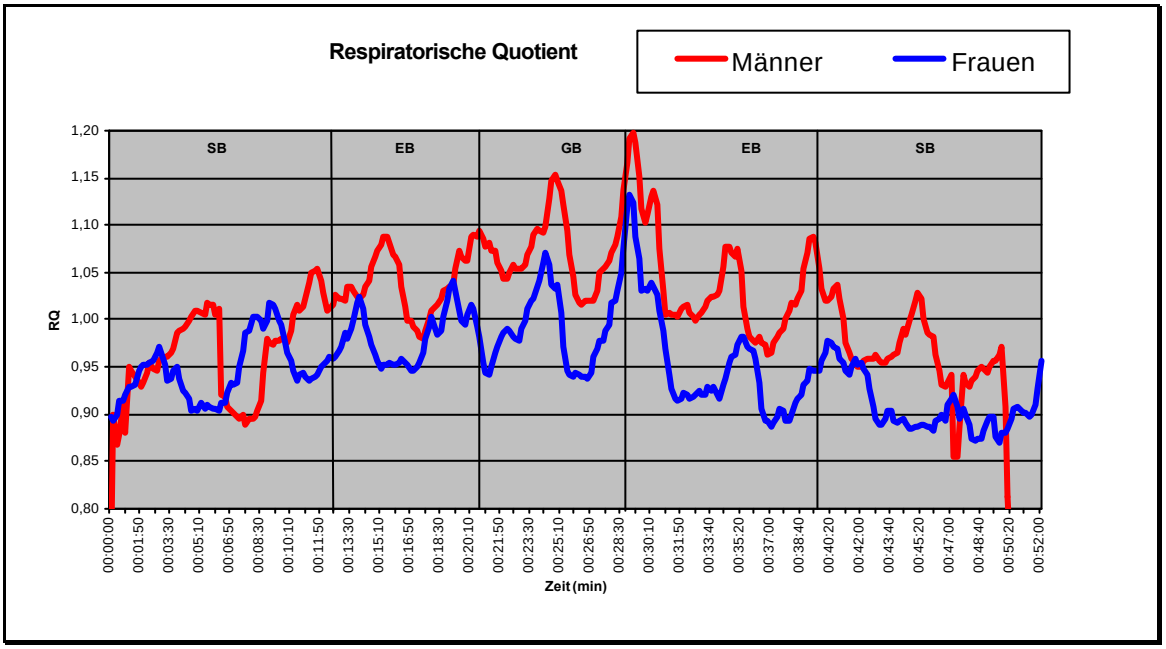

Abbildung VI.1.2-22 Feldtest : Der Verlauf des respiratorischen Quotienten (R) nach Geschlechtern getrennt. Die unterschiedlichen Höchstwerte bei Frauen und Männern ergeben sich durch die längere Laufzeit der Frauen.

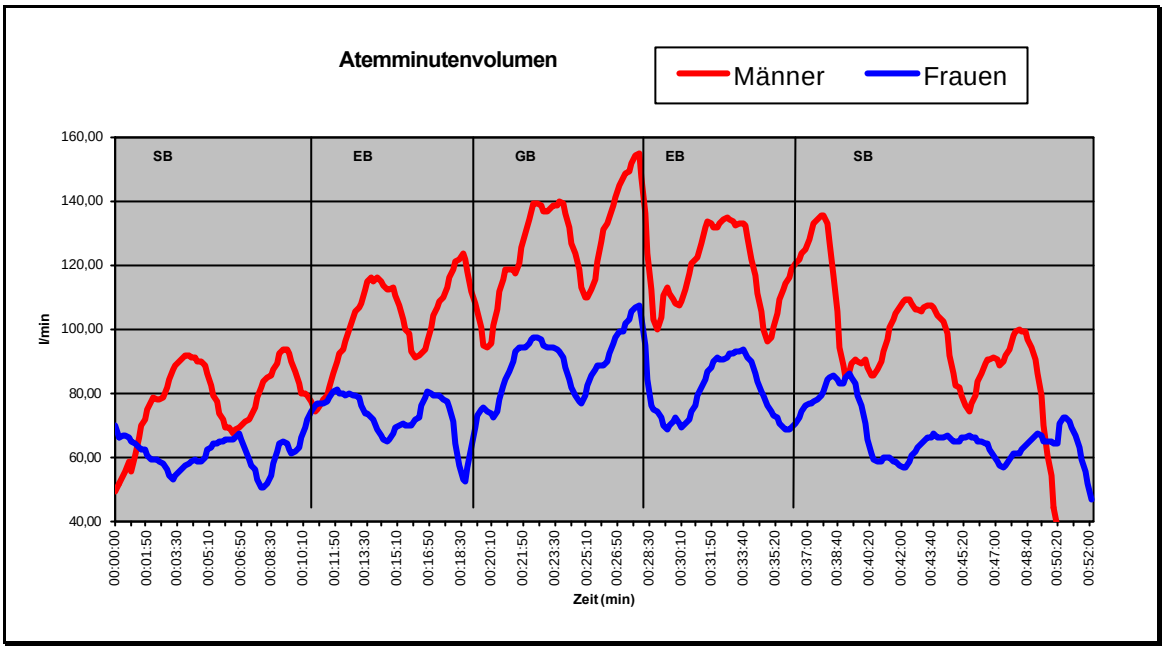

Abbildung VI.1.2-23 Feldtest : Der Verlauf des Atemminutenvolumens (l/min) nach Geschlechtern getrennt. Die unterschiedlichen Höchstwerte bei Frauen und Männern ergeben sich durch die längere Laufzeit der Frauen.

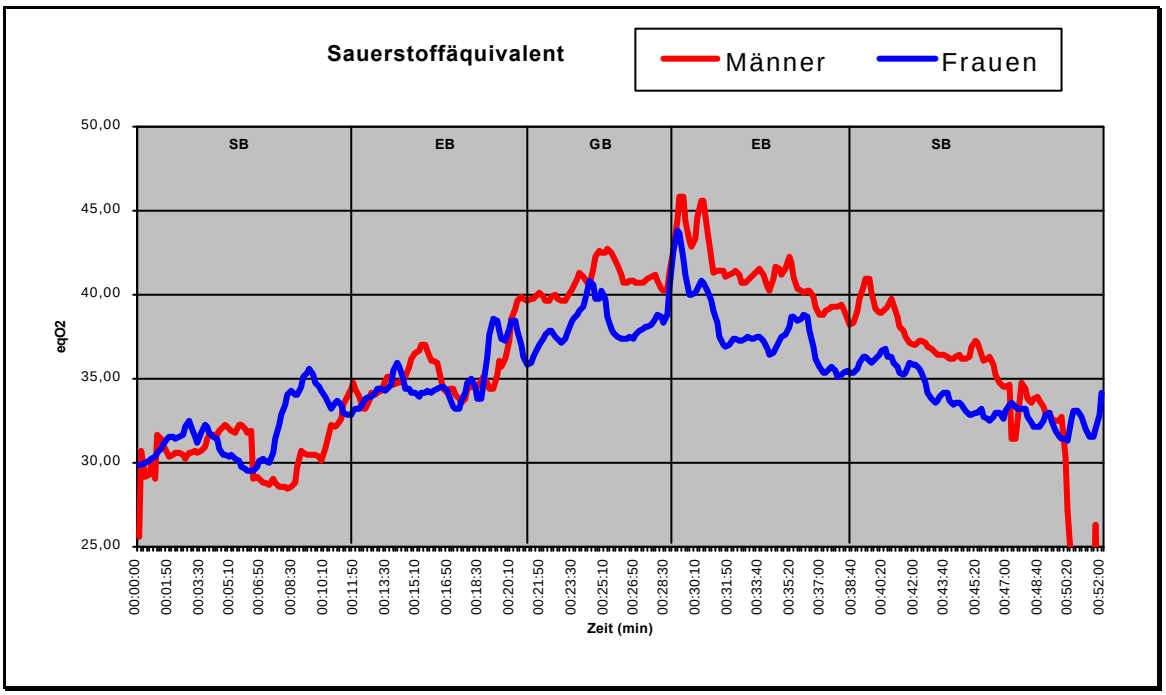

Abbildung VI.1.2-24 Feldtest : Der Verlauf des Sauerstoffäquivalenten (EqO2) nach Geschlechtern getrennt. Die unterschiedlichen Höchstwerte bei Frauen und Männern ergeben sich durch die längere Laufzeit der Frauen.

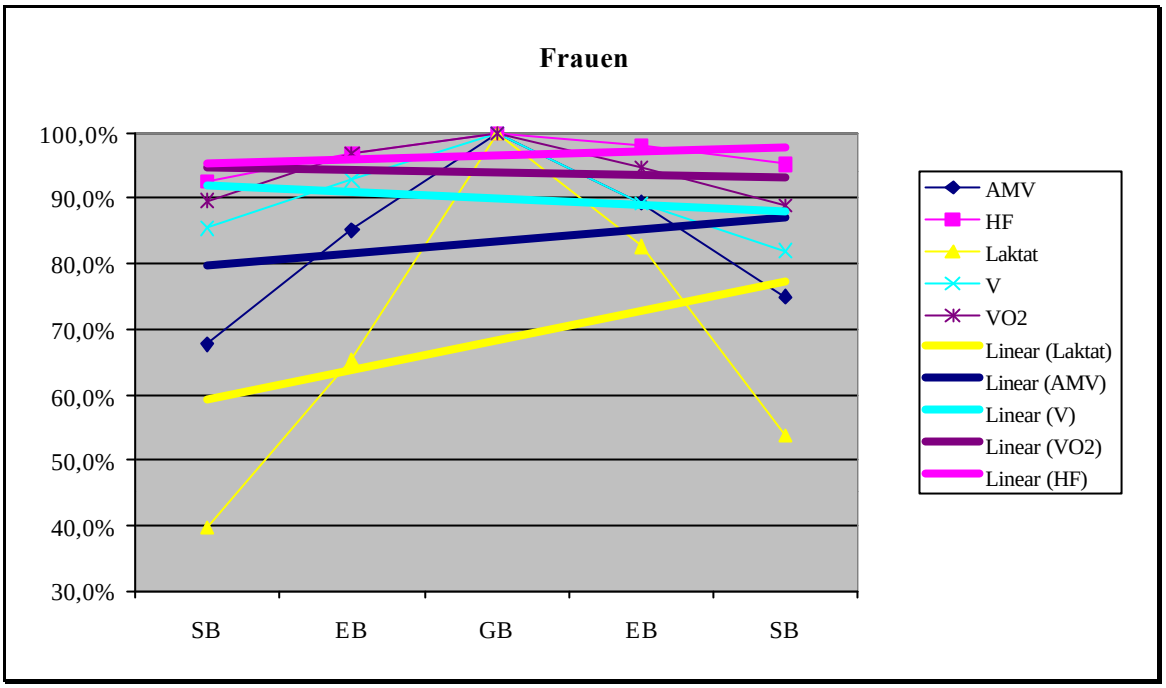

Abbildung VI.1.2-25 Feldtest Frauen: Prozentuale Annäherung der SB- und EB-Runden an die maximale GB-Runde die mit 100% vorgegeben ist. Zusätzlich sind die linearen Trendlinien dargestellt.

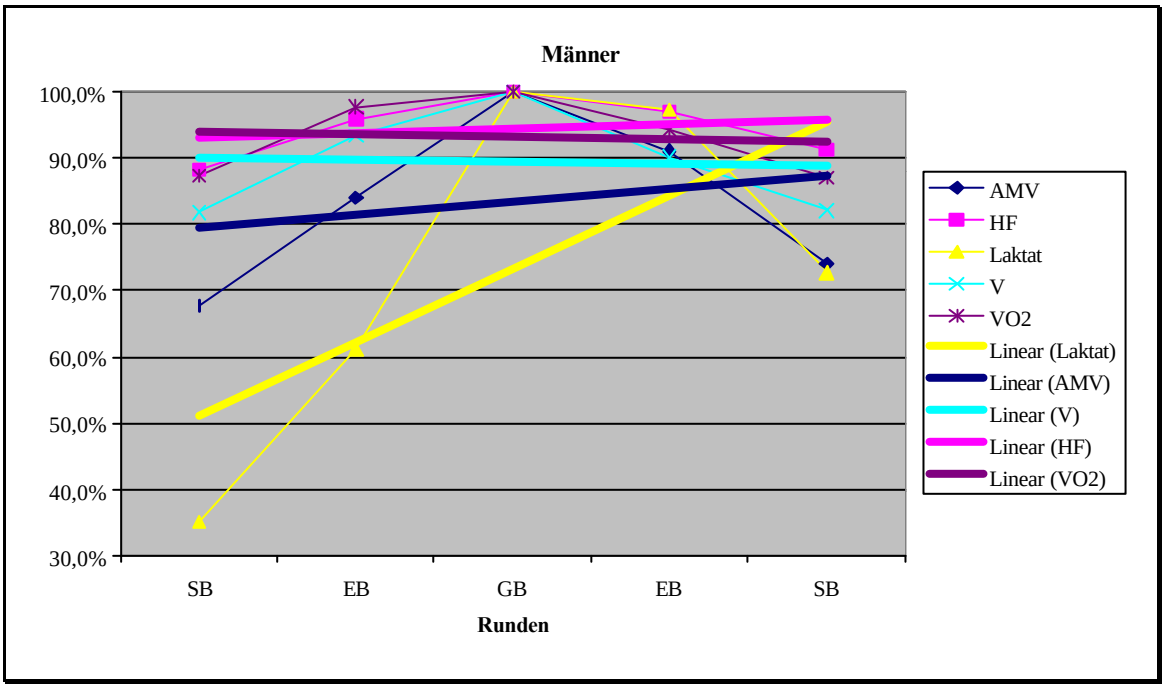

Abbildung VI.1.2-26 Feldtest Männer: Prozentuale Annäherung der SB- und EB-Runden an die maximale GB-Runde die mit 100% vorgegeben ist. Zusätzlich sind die linearen Trendlinien dargestellt.

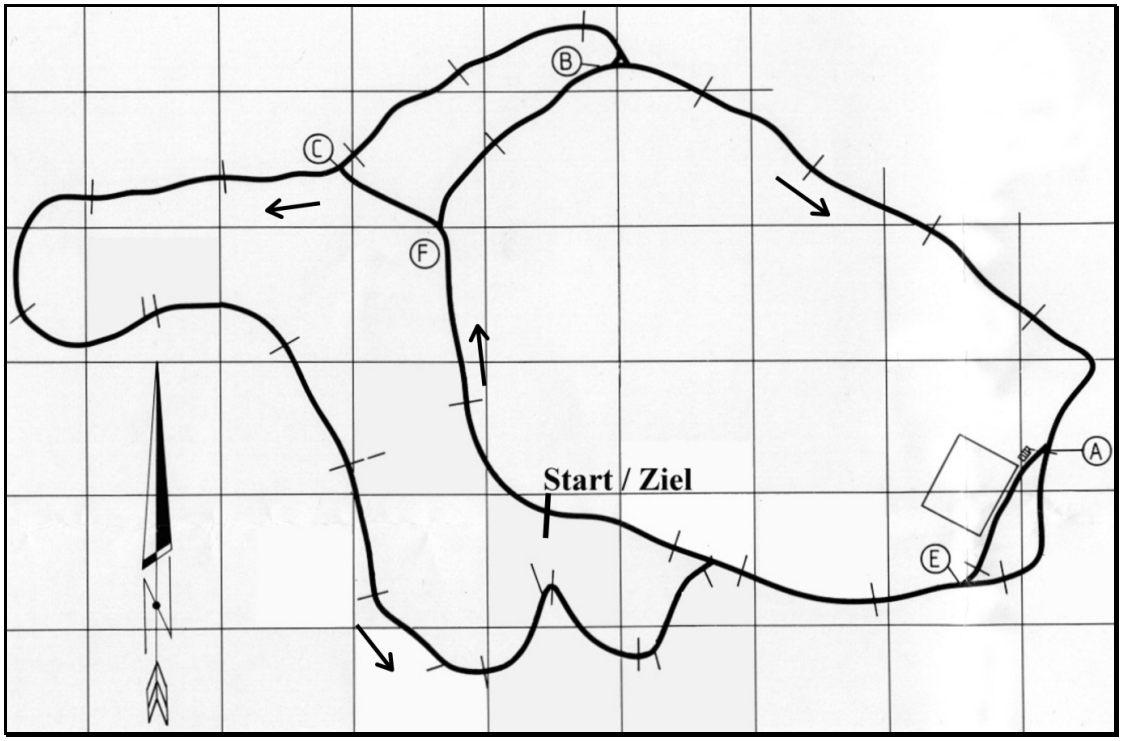

Abbildung VI.1.2-27 Feldtest : Trainingsstrecke „Notschrei“. Gelaufen wurde ein Runde in Form einer „Acht“. Der Verlauf war : Start – F – B – A – E – Start – F – C – Ziel

VII Abbildungsverzeichnis

VII.1 Tabellen

Antropometrische Daten der Athleten 9

Feldtest : Intensitätsbereiche im Skilanglauf (Nitzsche 1989, S. 129) 12

Stufentest : Die Laktatwerte (mmol/l) bei der jeweiligen Geschwindigkeitsstufe. Die Frauen laufen bei 4%, die Männer bei 7,5%. 15

Belastungsprotokoll im Stufen- und Abbruchtest. Der Unterschied zwischen Frauen und Männern ist die höhere Steigung im Stufentest (4% vs. 7,5%) und die höhere Anfangssteigung im Abbruchtest (5% vs. 8%). (LA : einmalige Laktatmessung am Ende jeder Belastungsstufe; HF : durchgehende Herzfrequenzmessung; SPIRO : durchgehende spirometrische Messung) 16

Labortest : Die maximalen Laktatwerte mit jeweiliger Standardabweichung (SD) gemessen unter Laborbedingungen im Rampentest und anschließend im Abbruchtest. Die Werte sind im Abbruchtest, in dem bis zur Erschöpfung gelaufen wird, wesentlich höher. . 26

Stufentest : Die Ergebnisse der Schwellenbestimmung im Stufentest. Aufgelistet sind der Laktatwert und die Herzfrequenz an der aeroben und der individuellen anaeroben Schwelle (IAS), und die Herzfrequenz an der 2mmol und der 4 mmol Schwelle..... 38

Stufentest : Der Verlauf der Herzfrequenzen und der Laktatwerte über die einzelnen Stufen im Stufentest. (siehe auch Abbildung VI.1.2-5) 38

Abbruchtest : Die maximal erreichten Werte im Abbruchtest. Die Frauen sind mit 5% gestartet, die Männer mit 8% (siehe dazu auch Tabelle III.1.1-2). 38

Feldtest : Die Rundenzeiten, die Herzfrequenz, die Sauerstoffaufnahme (VO_2), das Atemminutenvolumen (AMV), und die Laktatwerte mit dazugehöriger Standardabweichung (SD) für die jeweiligen Runden des Feldtests. 39

Feldtest : Beispiel der Aufzeichnung des Spirometers für die Werte Atemminutenvolumen (AMV), respiratorischer Quotient (R), Atemäquivalent (EqO_2), und spezifischer Sauerstoffaufnahme (spez. VO_2). Dargestellt sind das Ende der EB1-Runde bis zum Beginn der EB2-Runde. Die GB-Runde ist in der Mitte um 3,5 Minuten gekürzt. 40

VII.2 Abbildungen

Abbruchtest : signifikante Korrelation zwischen der maximalen spezifischen Sauerstoffaufnahme (max VO_2) und dem Atemminutenvolumen (AMV) ($r = 0,522$; $p < 0,05$) (Regressionsgerade). 41

Abbruchtest : Die maximale gemessene Herzfrequenz korreliert hochsignifikant mit der Herzfrequenz an der individuellen anaeroben Schwelle im Labor. ($Rsq = r^2$) (Regressionsgeraden). 41

Abbruchtest : maximale spezifische VO_2 nach Geschlecht getrennt. (Box enthält 50% der Werte, dicker Strich in Box zeigt den Median, Striche nach außen die Extremwerte) 42

Abbruchtest : Atemminutenvolumen nach Geschlecht getrennt. (Box enthält 50% der Werte, dicker Strich in Box zeigt den Median, Striche nach außen die Extremwerte) 42

Stufentest : Der Verlauf der Laktat- und Herzfrequenzkurven nach Geschlecht aufgeteilt. 43

Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: Maximales Atemminutenvolumen (AMV) im Abbruchtest verglichen mit dem Maximalwert der Geschwindigkeit (V) in der GB Runde im Feldtest ($r = 0,777$; $p < 0,001$) (Regressionsgerade). 43

Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: Maximale spezifische Sauerstoffaufnahme (VO_2) im Abbruchtest verglichen mit dem Maximalwert der Geschwindigkeit (V) in der GB Runde im Feldtest ($r = 0,636$; $p = 0,003$) (Regressionsgerade). 44

Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: Die prozentuale Annäherung der Herzfrequenzen im Feldtest an die im Abbruchtest gemessenen Maximalwerte 44

Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: maximale Herzfrequenz (1/min) pro Runde aller Athleten im Vergleich mit dem im Abbruchtest maximal gemessenen Wert. 45

Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: Prozentuale Annäherung der Laktatwerte im Feldtest an die höchsten gemessenen Laktatwerte im Abbruchtest ... 45

Vergleich der Maximalwerte Feldtest zu Abbruchtest : Der Ruhe- und maximale Laktatwert (mmol/l) pro Runde aller Athleten im Vergleich zu dem im Abbruchtest maximal gemessenen Laktatwert. 46

Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: Prozentuale Annäherung der Sauerstoffaufnahme (VO_2) im Feldtest an die höchsten gemessenen VO_2 Werte im Abbruchtest. 46

Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: maximales Atemminutenvolumen (l/min) pro Runde aller Athleten im Vergleich mit dem im Abbruchtest maximal gemessenen Wert. 47

Vergleich Feldtest zu Abbruchtest : maximale spezifische Sauerstoffaufnahme jeder Runde verglichen mit der maximalen spezifischen Sauerstoffaufnahme im Abbruchtest (Box enthält 50% der Werte, dicker Strich in Box zeigt den Median, Striche nach außen die Extremwerte, Punkte die Ausreißer) 47

Abbildungsverzeichnis

Vergleich Feldtest zu Abbruchtest : hoch signifikante Korrelation vom Atemminutenvolumen (AMV) im Abbruchtest zu dem im Feldtest. (Rsq = r^2) Die Regressionsgerade aller Athleten lautet : AMV Feldtest = 1,018 x AMV Labor + 6,91 48

Vergleich der Maximalwerte Abbruchtest zu Feldtest: Eine hochsignifikante Korrelation von der spezifischen Sauerstoffaufnahme (VO_2) im Abbruchtest zu der im Feldtest. Die Regressionsgerade lautet : VO_2 Feldtest = 0,426 x VO_2 Labor + 18,827 48

Vergleich Abbruchtest zu Feldtest: Prozentuale Annäherung der Maximalwerte von Laktat, Herzfrequenz (HF), Sauerstoffaufnahme (VO_2) und Atemminutenvolumen im Feldtest an die höchsten gemessenen Werte im Abbruchtest. 49

Feldtest : Gemessenes Laktat (mmol/l) in Ruhe und pro Runde nach Geschlecht aufgeteilt. 49

Feldtest : Rundengeschwindigkeit (m/s) nach Geschlecht getrennt 50

Feldtest : Beispielhafter Verlauf der Herzfrequenz (1/min) anhand eines männlichen Athleten mit angezeigtem Durchschnittswert der jeweiligen Runde und dazugehöriger Standardabweichung (+/-). 50

Feldtest : Der Verlauf der spezifischen Sauerstoffaufnahme (spez. VO_2) nach Geschlechtern getrennt. Die unterschiedlichen Höchstwerte bei Frauen und Männern ergeben sich durch die längere Laufzeit der Frauen. 51

Feldtest : Der Verlauf des respiratorischen Quotienten (R) nach Geschlechtern getrennt. Die unterschiedlichen Höchstwerte bei Frauen und Männern ergeben sich durch die längere Laufzeit der Frauen. 51

Feldtest : Der Verlauf des Atemminutenvolumens (l/min) nach Geschlechtern getrennt. Die unterschiedlichen Höchstwerte bei Frauen und Männern ergeben sich durch die längere Laufzeit der Frauen. 52

Feldtest : Der Verlauf des Sauerstoffäquivalenten (EqO2) nach Geschlechtern getrennt. Die unterschiedlichen Höchstwerte bei Frauen und Männern ergeben sich durch die längere Laufzeit der Frauen. 52

Feldtest Frauen: Prozentuale Annäherung der SB- und EB-Runden an die maximale GB-Runde die mit 100% vorgegeben ist. Zusätzlich sind die linearen Trendlinien dargestellt..... 53

Feldtest Männer: Prozentuale Annäherung der SB- und EB-Runden an die maximale GB-Runde die mit 100% vorgegeben ist. Zusätzlich sind die linearen Trendlinien dargestellt..... 53

Feldtest : Trainingsstrecke „Notschrei“. Gelaufen wurde ein Runde in Form einer „Acht“. Der Verlauf war : Start – F – B – A – E – Start – F – C – Ziel 54

Das tragbare Spirometer Cortex® Metamax 67

VIII Literaturverzeichnis

(1) Aitken JC. Thompson J., 1988, The effects of previous severe exercise upon the respiratory Vco2/Vo2 exchange ratio as a predictor of maximum oxygen uptake. Eur J Appl Physiol 57(6):720-5

(2) Astrand PO. Hultman E. Juhlin-Dannfelt A. Reynolds G., 1986 Jul, Disposal of lactate during and after strenuous exercise in humans. J Appl Phys 61(1): 338-43

(3) Aunola S. Rusko H., 1992 Aug, Does anaerobic threshold correlate with maximal lactate steady-state? J Sports Sci 10(4):309-23

(4) Barbeau P. Serresse O. Boulay MR., 1993 Sep, Using maximal and submaximal aerobic variables to monitor elite cyclists during a season. Med Sci Sports Exerc 25(9):1062-9

(5) Bassett DR Jr. Howley ET., 1997 May, Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints Med Sci Sports Exerc 29(5):591-603

(6) Baum K. Hoy S. Fischer F. Leyk D. Schmidt O. Essfeld D., 1999 Apr, Comparison between the physiological response to roller skiing and in-line skating in biathletes. Med Sci Sports Exerc 31(4):595-8

(7) Beneke R. von Duvillard SP., 1996 Feb, Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. Med Sci Sports Exerc 28(2):241-6

(8) Berg A. Jakob E. Lehmann M. Dickhuth HH. Huber G. Keul J., 1990 Jan, Aktuelle Aspekte der modernen Ergometrie. Pneumologie. 44(1):2-13

(9) Bergh U. Forsberg A., 1992 Sep, Influence of body mass on cross-country ski racing performance. Med Sci Sports Exerc 24(9):1033-9

(10) Bergh U. Kanstrup IL. Ekblom B., 1976 Aug, Maximal oxygen uptake during exercise with various combinations of arm and leg work. J Appl Phys 41(2):191-6

(11) Bergh U. Sjodin B. Forsberg A. Svedenhag J., 1991 Feb, The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. Med Sci Sports Exerc 23(2):205-11

(12) Billat LV., 1996 Sep, Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. Recommendations for long-distance running. [Review] [138 refs] Sports Med 22(3):157-75

(13) Billat VL. Flechet B. Petit B. Muriaux G. Koralsztein JP., 1999 Jan, Interval training at VO2max: effects on aerobic performance and overtraining markers. Med Sci Sports Exerc 31(1):156-63

(14) Bilodeau B. Roy B. Boulay MR., 1991 Feb, comparison of three skating techniques and the diagonal stride on heart rate responses and speed in cross-country skiing. Int J Sports Med 12(1):71-6

(15) Black-A; Ribeiro-JP; Bochese-MA Effects of previous exercise on the ventilatory determination of the aerobic threshold. Eur J Appl Physiol 1984; 52(3): 315-9

(16) Boulay MR. Rundell KW. King DL., 1995 Feb, Effect of slope variation and skating technique on velocity in cross-country skiing. Med Sci Sports Exerc 27(2):281-7

(17) Boulay MR. Simoneau JA. Lortie G. Bouchard C., 1997 Jan, Monitoring high-intensity endurance exercise with heart rate and thresholds. Med Sci Sports Exerc 29(1):125-32

(18) Brooks-GA; Gaesser-GA, 1980 Dec, End points of lactate and glucose metabolism after exhausting exercise. J Appl Phys 49(6): 1057-69

(19) Cerretelli P. Di Prampero PE. Sassi G., 1967 Dec, The heart rate-VO2 relationship in different types of dynamic exercise. Archivio di Fisiologia 65(2):358-65

(20) Clifford PS., 1992 Sep, Scientific basis of competitive cross-country skiing. Med Sci Sports Exerc 24(9):1007-9

(21) Coen-B; Schwarz-L; Urhausen-A; Kindermann-W, 1991 Dec, Control of training in middle- and long-distance running by means of the individual anaerobic threshold. Int J Sports Med; 12(6): 519-24

(22) Cureton K. Bishop P. Hutchinson P. Newland H. Vickery S. Zwiren L., 1986, Sex difference in maximal oxygen uptake. Effect of equating haemoglobin concentration. Eur J Appl Physiol 54(6):656-60

(23) Dassonville J. Beillot J. Lessard Y. Jan J. Andre AM. Le Pourcelet C. Rochcongar P. Carre F., 1998 Mar, Blood lactate concentrations during exercise: effect of sampling site and exercise mode. J Sports Med Phys Fitness 38(1):39-46

(24) Faria IE. Faria EW. Parker D., 1996 Mar, Metabolic and ventilatory response to cross-country skiing classical and double arm poling exercise. J Sports Med Phys Fitness 36(1):1-6

(25) Föhrenbach R., 1986, Leistungsdiagnostik, Trainingsanalyse, und -steuerung bei Läuferinnen und Läufern verschiedener Laufdisziplinen. Hartung-Gorre, Konstanz

(26) Franch J. Madsen K. Djurhuus MS. Pedersen PK., 1998 Aug, Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. Med Sci Sports Exerc 30(8):1250-6

(27) Friedmann B., 1998 Apr, Diagnosis of performance capacity and guided training for physical endurance. Therapeutische Umschau. 55(4):246-50

(28) Gaskill SE. Serfass RC. Bacharach DW. Kelly JM., 1999 Aug, Responses to training in cross-country skiers. Med Sci Sports Exerc 31(8):1211-7

(29) Goss FL. Robertson RJ. Spina RJ. Auble TE. Cassinelli DA. Silberman RM. Galbreath RW. Glickman EL. Metz KF., 1989 Dec, Aerobic metabolic requirements of simulated cross-country skiing. Ergonomics 32(12):1573-9

(30) Hamilton MT. Gonzalez-Alonso J. Montain SJ. Coyle EF., 1991 Sep, Fluid replacement and glucose infusion during exercise prevent cardiovascular drift. J Appl Phys 71(3):871-7

(31) Harms CA. Stager JM., 1995 Aug, Low chemoresponsiveness and inadequate hyperventilation contribute to exercise-induced hypoxemia. J Appl Phys 79(2) : 575-80

(32) Heck H., 1990, Laktat in der Leistungsdiagnostik / Hermann Heck. - Schorndorf: Homann

(33) Heck H. Mader A. Hess G. Mucke S. Muller R. Hollmann W., 1985 Jun, Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. Int J Sports Med 6(3):117-30

(34) Heck H., Mader A., Liesen H., Hollmann W., 1982, Vorschlag zur Standardisierung leitungsprognsotische Untersuchungen auf dem Laufband. Dtsch Z Sportmed 9: S. 304 - 307

(35) Henritze J. Weltman A. Schurrer RL. Barlow K., 1985, Effects of training at and above the lactate threshold on the lactate threshold and maximal oxygen uptake. Eur J Appl Physiol 54(1):84-8

(36) Hoffman MD. Clifford PS. Foley PJ. Brice AG., 1990 Jun, Physiological responses to different roller skiing techniques. Med Sci Sports Exerc 22(3):391-6

(37) Hoffman MD. Clifford PS., 1990 Dec, Physiological responses to different cross country skiing techniques on level terrain. Med Sci Sports Exerc 22(6):841-8

(38) Hoffman MD. Clifford PS., 1992 Feb, Physiological aspects of competitive cross-country skiing. J Sports Sci 10(1):3-27

(39) Hoffman MD. Clifford PS. Snyder AC. O'Hagan KP. Mittelstadt SW. Roberts MM. Drummond HA. Gaskill SE., 1998 Feb, Physiological effects of technique and rolling resistance in uphill roller skiing. Med Sci Sports Exerc 30(2):311-7

(40) Hoffman MD. Clifford PS. Watts PB. Drobish KM. Gibbons TP. Newbury VS. Sulentic JE. Mittelstadt SW. O'Hagan KP., 1994 Oct, Physiological comparison of uphill roller skiing: diagonal stride versus double pole. Med Sci Sports Exerc 26(10):1284-9

(41) Hoffman MD. Clifford PS. Watts PB. O'Hagan KP. Mittelstadt SW., 1995 Dec, Delta efficiency of uphill roller skiing with the double pole and diagonal stride techniques. Can J Appl Physiol 20(4):465-79

(42) Hoffman MD., 1992 Sep, Physiological comparisons of cross-country skiing techniques. Med Sci Sports Exerc 24(9):1023-32

(43) Hoffmann MD. Clifford PS. Jones GM. Bota B. Mandli M., 1991 Oct, Effects of technique and pole grip on physiological demands of roller skiing on level terrain. Int J Sports Med 12(5):468-73

(44) Hollmann W. Prinz JP., 1997 Feb, Ergospirometry and its history. Sports Med 23(2):93-105

(45) Hollmann W., Hettinger TH., 1990, Sportmedizin - Arbeits- und Trainingsgrundlagen, 3. durchgesehene Auflage, Studienausgabe; Schattauer, Stuttgart New York

(46) Ingjer F., 1992 Feb, Development of maximal oxygen uptake in young elite male cross-country skiers: a longitudinal study. J Sports Sci 10(1):49-63

(47) Jakob E., Keul J., 1994, Die anaerobe Schwelle ermittelt aus Herzfrequenz- und Laktatleistungskurve und ihre Anwendung im nordischen Skisport. Stellenwert der Laktatbestimmung im Leistungssport / Dirk Clasig, Helmut Weicker, Dieter Böning, Fischer, S. 212 - 218

(48) James DV. Doust JH., 1998 May, Oxygen uptake during moderate intensity running: response following a single bout of interval training. Eur J Appl Physiol 77(6):551-5

(49) Jones AM. Doust JH., 1998 Aug, The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. Med Sci Sports Exerc 30(8):1304-13

(50) Karvonen J. Kubica R. Wilk B. Wnorowski J. Krasicki S. Kalli S., 1989 Jun, Effects of skating and diagonal skiing techniques on results and some physiological variables. Can J Sport Sci 14(2):117-21

(51) Karvonen J. Vuorimaa T., 1988 May, Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. Sports Med 5(5):303-11

(52) Keul J., Simon G., Berg A., Dickhuth H.-H., Goerttler I., Kübel R., 1979, Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung. Dtsch Z Sportmed 30(7): 212-218

(53) Kirchhoff, H. W., Reindell, H., Gebauer, A., 1956, Untersuchung über die Sauerstoffaufnahme, die Kohlendioxidabgabe, das Atemminutenvolumen, das Atemäquivalent und den Respiratorischen Quotienten während körperlicher Belastung bei Normalpersonen und Hochleistungssportlern. Dtsch Arch Klein Med 203: 423

(54) König, K., Reindell H., Roskamm H., 1962, Kriterien der individuellen Leistungsgrenze im spiroergometrischen Belastungsversuch. Deut Med Wochenschrift 87: 1304

(55) Koyal SN. Whipp BJ. Huntsman D. Bray GA. Wasserman K., 1976 Jun, Ventilatory responses to the metabolic acidosis of treadmill and cycle ergometry. J Appl Phys 40(6):864-7

(56) Lehmann M. Berg A. Kapp R. Wessinghage T. Keul J., 1983 Nov, Correlations between laboratory testing and distance running performance in marathoners of similar performance ability. Int J Sports Med 4(4):226-30

(57) Lehmann M., Wybitul K., Schmid P., Keul J., 1983, Zur leistungsprognostischen Güte der Laufbandergometrie für den Skilanglauf. Dtsch Z Sportmed S. 150 - 158

(58) Löllgen H., Winter U.J., Erdmann E., 1995, Ergometrie : Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis. Springer

(59) Mader A., Liesen H., Heck H., Philippi H., Rost R., Schürch P., Hollmann W., 1976, Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. Sportarzt und Sportmedizin 27(4): 80 - 88

(60) Malomsoki J. Ekes E. Martos E. Nemeskeri V., 1990, Some metabolical aspects of physical exercise under laboratory and field conditions. Acta Physiol Hung 75(4):343-53

(61) Martinez-ML; Ibanez-Santos-J; Grijalba-A; Santesteban-MD; Gorostiaga-EM, 1993 Feb, Physiological comparison of roller skating, treadmill running and ergometer cycling. Int J Sports Med; 14(2): 72-7

(62) Mazzeo RS. Brooks GA. Schoeller DA. Budinger TF., 1986 Jan, Disposal of blood lactate in humans during rest and exercise. J Appl Phys 60(1):232-41

(63) McConell GK. Stephens TJ. Canny BJ., 1999 Mar, Fluid ingestion does not influence intense 1-h exercise performance in a mild environment. Med Sci Sports Exerc 31(3):386-92

(64) McConnell TR., 1988 Jan, Practical considerations in the testing of VO2max in runners. Sports Med 5(1):57-68

(65) McMahon S. Wenger HA., 1998 Dec, The relationship between aerobic fitness and both power output and subsequent recovery during maximal intermittent exercise. J Sci Med Sport 1(4):219-27

(66) Miles DS. Critz JB. Knowlton RG., 1980 Spring, Cardiovascular, metabolic, and ventilatory responses of women to equivalent cycle ergometer and treadmill exercise. Med Sci Sports Exerc 12(1):14-9

(67) Millet G. Perrey S. Candau R. Belli A. Borrani F. Rouillon JD., 1998 Aug, External loading does not change energy cost and mechanics of rollerski skating. Eur J Appl Physiol 78(3):276-82

(68) Millet GY. Hoffman MD. Candau RB. Buckwalter JB. Clifford PS., 1998 Nov, Cycle rate variations in roller ski skating: effects on oxygen uptake and poling forces. Int J Sports Med 19(8):521-5

(69) Millet GY. Hoffman MD. Candau RB. Buckwalter JB. Clifford PS., 1998 May, Effect of rolling resistance on poling forces and metabolic demands of rollerskiing. Med Sci Sports Exerc. 30(5):755-62

(70) Mittelstadt SW. Hoffman MD. Watts PB. O'Hagan KP. Sulentic JE. Drobish KM. Gibbons TP. Newbury VS. Clifford PS., 1995 Nov, Lactate response to uphill roller skiing: diagonal stride versus double pole techniques. Med Sci Sports Exerc 27(11):1563-8

(71) Mygind E. Larsson B. Klausen T., 1991 Autumn, Evaluation of a specific test in cross-country skiing. J Sports Sci 9(3):249-57

(72) Oja P. Laukkanen RM. Kukkonen-Harjula TK. Vuori IM. Pasanen ME. Niittymaki SP. Solakivi T., 1991, Training effects of cross-country skiing and running on maximal aerobic cycle performance and on blood lipids. Eur J Appl Physiol 62(6):400-4

(73) Osborne G. Wolfe LA. Burggraf GW. Norman R., 1992 Apr, Relationships between cardiac dimensions, anthropometric characteristics and maximal aerobic power (VO2max) in young men. Int J Sports Med 13(3):219-24

(74) Paavolainen L. Hakkinen K. Rusko H., 1991, Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. Eur J Appl Physiol 62(4):251-5

(75) Pfitzinger P. Freedson PS., 1998 Jul, The reliability of lactate measurements during exercise. Int J Sports Med 19(5):349-57

(76) Powers SK. Dodd S. Beadle RE., 1985, Oxygen uptake kinetics in trained athletes differing in VO2max. Eur J Appl Physiol 54(3):306-8

(77) Roth DA. Stanley WC. Brooks GA., 1988 Sep, Induced lactacidemia does not affect postexercise O2 consumption. J Appl Phys 65(3):1045-9

(78) Rundell KW. Szmedra L., 1998 Apr, Energy cost of rifle carriage in biathlon skiing. Med Sci Sports Exerc. 30(4):570-6

(79) Rusko H., 1987 Winter, The effect of training on aerobic power characteristics of young cross-country skiers. J Sports Sci 5(3):273-86

(80) Rusko HK., 1992 Sep, Development of aerobic power in relation to age and training in cross-country skiers. Med Sci Sports Exerc 24(9):1040-7

(81) Schmid A. Huonker M. Aramendi JF. Kluppel E. Barturen JM. Grathwohl D. Schmidt-Trucksass A. Berg A. Keul J., 1998 Jul, Heart rate deflection compared to 4 mmol x l(-1) lactate threshold during incremental exercise and to lactate during steady-state exercise on an arm-cranking ergometer in paraplegic athletes. Eur J Appl Physiol 78(2):177-82

(82) Smith TD. Thomas TR. Londeree BR. Zhang Q. Ziogas G., 1996 Apr, Peak oxygen consumption and ventilatory thresholds on six modes of exercise. Can J Appl Physiol 21(2):79-89

(83) Sproule J., 1998 Mar, Running economy deteriorates following 60 min of exercise at 80% VO2max. Eur J Appl Physiol 77(4):366-71

(84) Stanley WC. Gertz EW. Wisneski JA. Neese RA. Morris DL. Brooks GA., 1986 Apr, Lactate extraction during net lactate release in legs of humans during exercise. J Appl Phys 60(4):1116-20

(85) Thomas TR. Ziogas G. Smith T. Zhang Q. Londeree BR., 1995 Sep, Physiological and perceived exertion responses to six modes of submaximal exercise. Research Quarterly for Exercise & Sport. 66(3):239-46

(86) Urhausen-A; Weiler-B; Kindermann-W., 1993 Sep, Heart rate, blood lactate, and catecholamines during ergometer and on water rowing. Int J Sports Med; 14 Suppl 1: S20-3

(87) Ward SA. Whipp BJ. Koyal S. Wasserman K., 1983 Sep, Influence of body CO2 stores on ventilatory dynamics during exercise. J Appl Phys 55(3):742-9

(88) Watts PB. Hoffman MD. Sulentic JE. Drobish KM. Gibbons TP. Newbury VS. Mittelstadt SW. O'Hagan KP. Clifford PS., 1993 Dec, Physiological responses to specific maximal exercise tests for cross-country skiing. Can J Appl Physiol 18(4):359-65

(89) Weltman A. Snead D. Seip R. Schurrer R. Weltman J. Rutt R. Rogol A., 1990 Jun, Percentages of maximal heart rate, heart rate reserve and VO2max for determining endurance training intensity in male runners. Int J Sports Med 11(3):218-22

IX Anhang

IX.1.1 Geräte

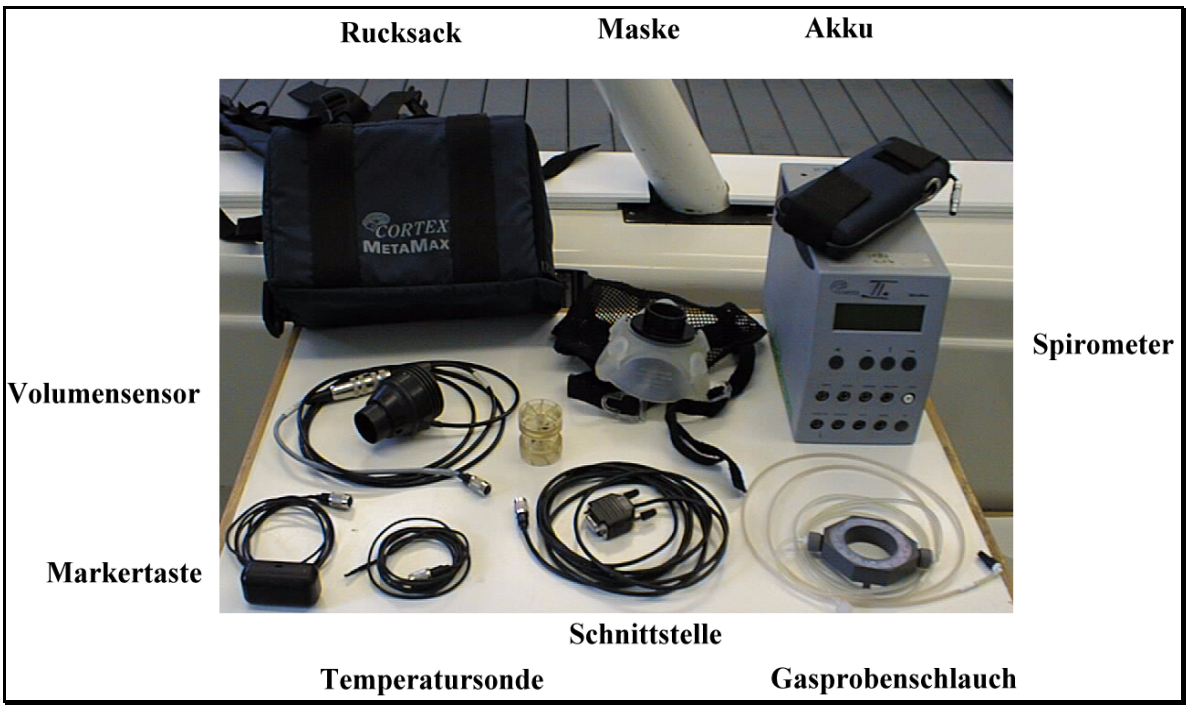

Abbildung IX.1.1-1 Das tragbare Spirometer Cortex® Metamax

IX.1.2 Abkürzungen

Abkürzungen			**Einheiten**
AMV	=	Atemminutenvolumen	l/min
CO2 bzw. VCO2	=	Kohlendioxidabgabe	ml/min
VO2	=	Sauerstoffaufnahme	ml/min
spez. max. VO2	=	Spezifische maximale Sauerstoffaufnahme	ml/kg/min
EqO2	=	Atemäquivalent (AMV/VO2)	
RQ	=	Respiratorischer Quotient	
AF	=	Atemfrequenz	
HF	=	Herzfrequenz	S/min
min	=	Minuten	min:sek
SD	=	Standardabweichung	
V	=	Geschwindigkeit	m/s
Ind. an. Schw.	=	Individuelle anaerobe Schwelle	mmol/l
p_aCO_2 bzw. p_aO_2	=	Kohlensäure bzw. Sauerstoffpartialdruck	
		Feldtest	
SB	=	Stabilisierungsbereich	
EB	=	Entwicklungsbereich	
GB	=	Grenzbereich	
WB	=	Wettkampfbereich	
SB1	=	Runde 1 im Stabilisierungsbereich	
EB1	=	Runde 2 im Entwicklungsbereich	
GB	=	Runde 3 im Grenzbereich	
EB2	=	Runde 4 im Entwicklungsbereich	
SB2	=	Runde 5 im Stabilisierungsbereich	
DSZ	=	Doppelstocktechnik mit Zwischenschritt	
DG	=	Diagonaltechnik	