



universität
wien

Diplomarbeit

Titel der Diplomarbeit

Intervalltraining versus Ausdauertraining -
Auswirkungen auf Kenngrößen der Leistungsfähigkeit
bei Elite-Nachwuchs-Fußballspielern

Verfasser

Manuel Vlcek

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, im Februar 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 190 482 884

Studienrichtung lt. Studienblatt: UF Bewegung und Sport

UF Informatik und Informatikmanagement

Betreuer: Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde daher weder an einer anderen Stelle eingereicht noch von anderen Personen vorgelegt.



Manuel Vicek

Wien, im Februar 2012

Vorwort

Im Sommer 2009 wurde ich im elektronischen Aushang der Sportuniversität in Wien auf die Ausschreibung einer Diplomarbeit der Abteilung Sport- und Leistungsphysiologie aufmerksam. Das Thema handelte von einer neuen Ausdauertrainingsform, dem High Intensity Training, die an Elite-Nachwuchs-Fußballspielern getestet werden sollte. Als Voraussetzungen für die Ausarbeitung der Diplomarbeit wurden Affinität zum Fußball und große Zeitressourcen definiert.

Obwohl ich erst mitten im Studium war entschloss ich mich, weil das Interesse an dieser Diplomarbeit so groß war, mich zu bewerben. Zunächst rechnete ich mir keine all zu großen Chancen aus, weil ich mir gedacht habe, dass ich einer von einer großen Menge an Bewerbern bin. Zum Hearing erschienen allerdings bloß eine sehr überschaubare Anzahl an Bewerbern und zu meiner großen Freude wurde ich mit der Ausarbeitung dieser Diplomarbeit beauftragt.

Um der Voraussetzung, große Zeitressource, gerecht zu werden unterbrach ich mein Studium für ein Semester damit ich mich im Wintersemester 2009 vollkommen auf die Trainingsstudie mit den Elite-Nachwuchs-Fußballspielern konzentrieren konnte. Im Anschluss studierte ich zu Ende und verfasste dann im Wintersemester 2011/2012 die vorliegende Diplomarbeit.

Bedanken möchte ich mich vor allem bei meinem Betreuungsteam, Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan und Mag. Markus Hackl, die mir zu jeder Zeit hilfreich zur Verfügung standen, bei denen ich mich perfekt betreut gefühlt und eine Menge gelernt habe. Vielen Dank! Ein weiterer Dank gilt den damaligen Forschungspraktikanten, Mag. Franz Hinterkörner und Mag. Stefan Oesen, sowie dem Team des österreichischen Instituts für Sportmedizin (ÖISM) für ihre wertvolle Unterstützung. Zu guter Letzt bedanke ich mich bei den Probanden und den Vereinsverantwortlichen des SK Rapid Wien, die uns die Durchführung dieser Studie ermöglicht haben.

Kurzfassung

Forschungsfrage. Das Ausdauertraining spielt eine wesentliche Rolle im Fußballsport. Eine besondere Intervalltrainingsform, das High Intensity Training, scheint Sportler(innen) zu weiteren Leistungsfortschritten zu verhelfen, die sie mit einem submaximalen Training trotz Volumenerhöhung nicht mehr erreichen. Das Ziel dieser Studie war herauszufinden, ob ein hochintensives Training (Intervalltraining, HIT) sich besser auf die Ausdauerleistungsfähigkeit der Probanden als ein submaximales Training (Dauerlauf bei niedrigerer Intensität) auswirkt.

Methoden. 22 männliche Elite-Nachwuchs-Fußballspieler (Alter $15,4 \pm 1,1$ Jahre, Körpergewicht $65,2 \pm 6,5$ kg, Größe $176,2 \pm 5,8$ cm) wurden aufgrund ihrer Ausdauerleistungsfähigkeit in zwei homogene Gruppen mit je 11 Probanden geteilt. Die Intervalltrainingsgruppe lief 4 x 4 min bei 90 % der individuellen Geschwindigkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme ($ivVO_2max$) geteilt durch jeweils 3 min Trabperioden bei 50 - 60 % der $ivVO_2max$. Die Dauerlaufgruppe lief 35 min mit einer Intensität von 50 - 60 % der $ivVO_2max$. Es wurden 19 Trainingseinheiten in einem Zeitraum von 7 Wochen absolviert. Die Probanden führten eine Spiroergometrie am Laufband, den Yo-Yo Intermittent Recovery Test (Level 1), einen Schnelligkeits- und einen Sprungkrafttest durch.

Ergebnisse. Die VO_2max aller Probanden konnte von $57,2 \pm 4,2$ auf $61,0 \pm 3,1$ ml/kg/min⁻¹ signifikant verbessert werden. Auch beim Schnelligkeitstest konnten die Fußballspieler signifikante Erfolge erzielen, während es beim Sprungtest zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen den Messzeitpunkten kam. Gruppeneffekte blieben bei der vorliegenden Studie aus.

Fazit. Da keine Gruppeneffekte auftraten muss die Forschungsfrage verneint werden. Die Intervalltrainingsgruppe konnte ihre Ausdauerleistungsfähigkeit nicht signifikant mehr verbessern als die Dauerlaufgruppe. Beide Gruppen erzielten große Zuwächse in ihrer Ausdauerleistungsfähigkeit ohne die Schnelligkeit bzw. Kraftleistung negativ zu beeinflussen.

Abstract

Aim. Endurance training is of essential importance for exercise performance in soccer. The aim of this study was to find out whether a high intensity training (HIT) leads to a greater improvement than a moderate intensity training (MIT).

Methods. 22 male soccer players (age 15.4 ± 1.1 years, body mass 65.2 ± 6.5 kg, height 176.2 ± 5.8 cm) were matched on maximal oxygen uptake (VO_{2peak}) and randomly placed into the HIT (N = 11) or MIT (N = 11) group. The HIT group performed 4 x 4 min at 90 % of individual velocity of VO_{2peak} (iv VO_{2peak}) interspersed with 3 min at 50 - 60 % iv VO_{2peak} whereas the MIT group ran 35 min at 50 - 60 % iv VO_{2peak} . The 7-week training period consisted of 19 training sessions. Pre- and posttraining, VO_{2peak} , yo-yo intermittent recovery test (level 1), sprint and jump test were measured.

Results. VO_{2peak} increased significantly from 57.2 ± 4.2 to 61.0 ± 3.1 ml/kg/min⁻¹ without different changes related to the training group. Both groups had significant improvements in VO_{2peak} , the yo-yo intermittent recovery test (level 1) and the sprint test. The jump test showed an enhancement, too, but it was not significant.

Conclusion. Due to the fact that the growth of the endurance capacity was independent of the training group, the result means that HIT in our study had no advantage in relation to VO_{2peak} compared to MIT. Both groups reached great gains in their endurance capacity without influencing speed and power parameters negatively.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	9
2 Ausdauertraining im Fußball	10
2.1 Bedeutung der Ausdauerfähigkeit im Fußball.....	10
2.2 Grundlagen.....	12
2.2.1 Gasaustausch unter Belastung.....	12
2.2.2 Energiegewinnung im Muskel	13
2.3 Physiologie im Fußball	15
2.3.1 Anforderungen und Laktatkonzentration (nach Halbzeit) in einem Fußballmatch.....	15
2.3.2 Subjektive Beurteilung der wahrgenommenen Trainingsanstrengung im Fußball (Rate of Perceived Exertion, RPE).....	16
2.4 Maximale Sauerstoffaufnahme VO_2max	18
2.4.1 Wie kann die maximale Sauerstoffaufnahme verbessert werden?.....	18
2.4.1.1 Kontinuierliches versus intermittierendes Ausdauertraining zur Verbesserung der VO_2max	19
2.4.2 Fußballspezifischer Test zur Ermittlung der VO_2max	19
3 High Intensity Training – HIT	20
3.1 Warum dem Körper ein Training im hochintensiven Bereich zumuten?.....	20
3.2 Eigenschaften eines High Intensity Trainings	21
3.3 Aktuelle Erkenntnisse zum HIT.....	22
3.3.1 High Intensity Interval Training (HIIT) vs. High Volume Training (HVT).....	22
3.3.2 HIT mit Hilfe eines Dribbelparcours.....	23
3.3.3 Vergleich Sprinttraining vs. HIT.....	24
3.3.4 Aerobic Interval Training vs. Small-Sided Games.....	25
3.3.5 Auswirkungen eines hochintensiven Intervalltrainings auf die Spielleistung....	27
3.3.6 Fußballspezifisches aerobes Ausdauertraining.....	28

4 Ermittlung der Ausdauerfähigkeit eines Fußballspielers.....	30
4.1 The Yo-Yo Intermittent Recovery (IR) Test	30
4.1.1 Ablauf	30
4.1.2 Physiologische Reaktion und Aussagekraft des Yo-Yo IR Level 1 bei Profi-Fußballern.....	32
4.1.3 Testergebnisse von Elite-Nachwuchs-Fußballspielern.....	34
4.2 Hoff Test	35
4.3 Spiroergometrie.....	37
4.3.1 Bestimmung der aeroben und anaeroben Schwelle bzw. VAT und RC.....	38
4.3.2 Ausbelastungskriterien.....	41
5 Empirischer Teil.....	42
5.1 Studiendesign.....	42
5.1.1 Probanden.....	43
5.1.2 Kriterien für eine erfolgreiche Studienteilnahme.....	43
5.1.3 Stichprobenaufteilung.....	44
5.1.4 Antrag Ethikkommission.....	45
5.1.5 Einverständniserklärung der Erziehungsberechtigten.....	45
5.2 Methoden.....	45
5.2.1 Eingangstestungen.....	45
5.2.1.1 Sportmedizinische Untersuchungen.....	45
5.2.1.1.1 Grobklinische und groborthopädische Untersuchung.....	45
5.2.1.1.2 Anthropometrie.....	46
5.2.1.1.3 Spiroergometrie am Laufband.....	46
5.2.1.2 Sportmotorische Testungen.....	48
5.2.1.2.1 Ausdauer - Yo-Yo-Intermittent Recovery Test (Level 1).....	48
5.2.1.2.2 Schnelligkeit - 20 m Sprint.....	48
5.2.1.2.3 Sprungkraft.....	49
5.2.2 Erste Trainingsphase.....	49
5.2.2.1 Intervalltrainingsgruppe.....	49
5.2.2.2 Dauerlaufgruppe.....	50
5.2.2.3 Dauer der Trainingsprogramme.....	51
5.2.2.4 Trainingsprotokoll.....	51
5.2.3 Heimtrainingsphase.....	52
5.2.4 Zweite Trainingsphase.....	52
5.2.5 Abschlusstestungen.....	52
5.3 Statistik.....	53

5.4 Ergebnisse.....	54
5.4.1 Alter.....	54
5.4.2 Gewicht.....	55
5.4.3 Größe.....	56
5.4.4 Körperfettmessung und Body Mass Index (BMI).....	56
5.4.5 Sprintzeiten.....	57
5.4.6 Sprungtest.....	60
5.4.7 Yo-Yo-Intermittent Recovery Test (Level 1).....	62
5.4.7.1 Laufdistanzen in m.....	62
5.4.7.2 Maximale Geschwindigkeiten in km/h.....	63
5.4.7.3 Maximale Herzfrequenzen.....	63
5.4.7.4 Maximale Sauerstoffaufnahme (VO ₂ max) in ml/min/kg ⁻¹	64
5.4.8 Spiroergometrie.....	65
5.4.8.1 Aerobe Schwelle (AT).....	65
5.4.8.2 Anaerobe Schwelle (RCP).....	66
5.4.8.3 Maximale Geschwindigkeit, Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme.....	68
5.4.8.4 Laktatmessungen.....	70
5.4.8.5 Laktatelimination.....	71
5.5 Diskussion.....	72
6 Verzeichnisse.....	77
6.1 Tabellenverzeichnis.....	77
6.2 Abbildungsverzeichnis.....	78
6.3 Literaturverzeichnis.....	80
7 Anhang.....	82
7.1 Spiroergometrie-Protokoll.....	82
7.2 Bioimpedanzmessungs- und Spiroergometrievorgehensweise.....	83
7.3 Trainingsprotokoll - Intervalltrainingsgruppe.....	85
7.4 Trainingsprotokoll - Dauerlaufgruppe.....	85
7.5 Lebenslauf.....	86

1 Einleitung

Fußball ist eine weitverbreitete und sehr beliebte Sportart. Der Reiz erfolgreich zu sein und das Maximum aus einem Team heraus zu holen hat bewirkt, dass die Trainingsplanungen und -methoden an Komplexität gewonnen haben. Forschungsgruppen sind fortlaufend bemüht die Trainingseffizienz mit neuen Trainingsmethoden weiter voran zu treiben. Neben den technischen, taktischen und psychologischen Schwerpunkten spielen die konditionellen Fähigkeiten eine wichtige Rolle im Fußballsport.

In den letzten Jahren ist eine neue Intervalltrainingsform im Ausdauertraining, das High Intensity Training (HIT), zum Forschungsgegenstand geworden. Einige Wissenschaftler(innen) konnten von interessanten Erkenntnissen berichten, bemängelten oder regten jedoch an, dass es zu wenige Untersuchungen zu den Auswirkungen des High Intensity Trainings und Vergleiche mit anderen Trainingsformen gibt. Aus diesem Grund kam es zu dem Interesse eine Studie mit diesem Schwerpunkt durchzuführen. Die Forschungsfrage lautete ob ein hochintensives Intervalltraining (HIT) größere Zuwächse in der Ausdauerleistungsfähigkeit als ein Dauerlauftraining bei niedrigerer Intensität bewirkt. Da das Forschungsdefizit vor allem jugendliche Leistungsfußballer betraf, wurde diese Zielgruppe für die Studie ausgewählt.

Die Vorgehensweise wurde wie folgt festgelegt. Die Probanden, Akademiespieler des SK Rapid Wien, wurden zuerst einigen Tests und Untersuchungen unterzogen um den aktuellen Leistungsstand zu ermitteln. Im Anschluss und aufgrund der Untersuchungen wurden die Fußballer in zwei Gruppen (HIT- und Dauerlaufgruppe) eingeteilt, die dann jeweils 19 Trainingseinheiten in der zugeteilten Gruppe absolvierten. Nach der Trainingsintervention wurden die Eingangstestungen und -untersuchungen wiederholt um Erkenntnisse in Bezug auf die Forschungsfrage zu erlangen.

Die Arbeit beginnt mit einer Einführung in das Ausdauertraining im Fußball. Sie soll Aufschluss über die Gründe der Notwendigkeit einer guten Ausdauerleistungsfähigkeit im Fußball geben und die wesentlichen Grundlagen und physiologischen Prozesse im Zusammenhang mit der Ausdauer eines Fußballers darstellen. Das dritte Kapitel beschäftigt sich mit dem High Intensity Training. Neben einer Einführung werden aktuelle

Erkenntnisse dargestellt. Das folgende Kapitel handelt von den verschiedenen Möglichkeiten wie die Ausdauerfähigkeit eines Fußballspielers ermittelt werden kann. Der empirische Teil beinhaltet das Studiendesign, die Methoden, die Statistik, die Ergebnisse und die Diskussion zur vorliegenden Studie.

2 Ausdauertraining im Fußball

2.1 Bedeutung der Ausdauerfähigkeit im Fußball

26. Mai 1999 – 98.000 Zuschauer im Camp Nou Stadion in Barcelona werden Zeitzeugen eines der verrücktesten UEFA Champions League – Finale aller Zeiten. In der 91. und 93. Spielminute drehen die Spieler von Manchester United das Spiel und gewinnen nach einem 0:1 Rückstand noch 2:1 gegen FC Bayern München. Dieser Sieg kann natürlich nicht ausschließlich auf die Ausdauerfähigkeit der Spieler von Manchester United zurückgeführt werden, dennoch zeigt es eindrucksvoll dass ein Spiel in letzter Sekunde entschieden werden kann.

Um einen physischen Vorteil unter anderem in der letzten Phase eines Fußballspiels zu erlangen, bedarf es eines gut abgestimmten Ausdauertrainings. Wie dieses auszusehen hat ist nach wie vor ein aktuelles Thema. Aus diesem Grund beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit einer momentan viel diskutierten „neuen“ Ausdauertrainingsform, dem „High Intensity Training“ kurz HIT, das unten noch ausführlich beschrieben wird.

Sperlich, Marées, Koehler, Linville, Holmberg und Mester (2011) verweisen darauf, dass Fußball eine Sportart mit intermittierende Aktivitäten von hohen und niedrigen Intensitäten ist. Die Sauerstoffaufnahme während eines Fußballspiels variiert daher stark. Sie liegt im Durchschnitt zwischen 70 und 80 % der maximalen Sauerstoffaufnahme. Fußballer legen im Durchschnitt pro Spiel 10 - 12 km bei einer durchschnittlichen Intensität nahe der anaeroben Schwelle zurück. (vgl. Sperlich et al., 2011)

Die maximale Sauerstoffaufnahme (als Kriterium für eine gute Ausdauerfähigkeit eines Fußballspielers) zu verbessern ist im Fußball daher von großer Bedeutung.

Wisloff, Helgerud und Hoff (1998) bewiesen dies indem sie zwei Fußballmannschaften miteinander verglichen haben. Das Team von Rosenborg hatte demnach theoretisch einen Spieler mit einer $VO_2\text{max}$ von $77 \text{ ml/kg/min}^{-1}$ mehr auf dem Spielfeld und konnte als Mannschaft um 296 kg mehr heben als die Elf von dem Verein Strindheim. Diese höheren Kapazitäten in der Ausdauerfähigkeit und Krafterleistung haben große Auswirkungen auf den Erfolg von Elite-Fußballern. Rosenborg gewann die norwegische Bundesliga und Strindheim wurde Letzter. (vgl. Wisloff et al., 1998)

Kalapocharakos, Strimpakos, Vithoulka, Karvounidis, Diamantopoulos und Kapreli (2006) lieferten einen weiteren Beweis dafür, dass die physiologischen Kennzahlen (Körperzusammensetzung, Ausdauer, Muskelkraft und Sprungkraft) sich auch im Erfolg eines Teams widerspiegeln. Sie untersuchten drei griechische Bundesligisten und konnten Zusammenhänge zwischen dem physischen Zustand des Teams und ihrer Platzierung in der Endtabelle feststellen. (vgl. Kalapocharakos et al., 2006)

Mohr, Krstrup und Bangsbo (2003) konnten zeigen, dass es auch Unterschiede in der Ausdauerleistungsfähigkeit zwischen Profis gibt. Sie verglichen 18 Top-Klasse-Fußballspieler, die in einer Elite-Liga und einem der Top-Nationalteams spielten mit 24 Profis aus der dänischen Bundesliga, von denen fünf in (schlechter platzierten) Nationalteams spielten. In Abb. 1 veranschaulichen sie, dass die Top-Spieler signifikant mehr Zeit für moderates und hochintensives Laufen sowie für Sprints aufwenden und signifikant weniger Zeit mit Joggen verbringen. Weiters erreichten die Top-Spieler bessere Ergebnisse beim Yo-Yo Intermittent Recovery Test. (vgl. Mohr et al., 2003)

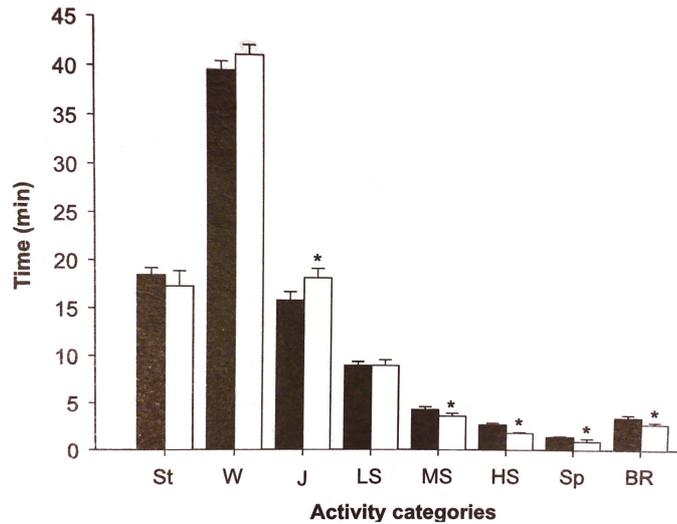


Abb. 1: Zeit pro Aktivitätskategorie für Top-Klasse-Fußballspieler (■) und durchschnittliche Fußballprofis (□) während eines Fußballspiels. * = signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) zwischen den Gruppen. St = standing, W = walking, J = jogging, LS, MS und HS = running at a low, moderate and high speed, Sp = sprinting, BR = backwards running. (nach Mohr et al., 2003, S. 522)

2.2 Grundlagen

2.2.1 Gasaustausch unter Belastung

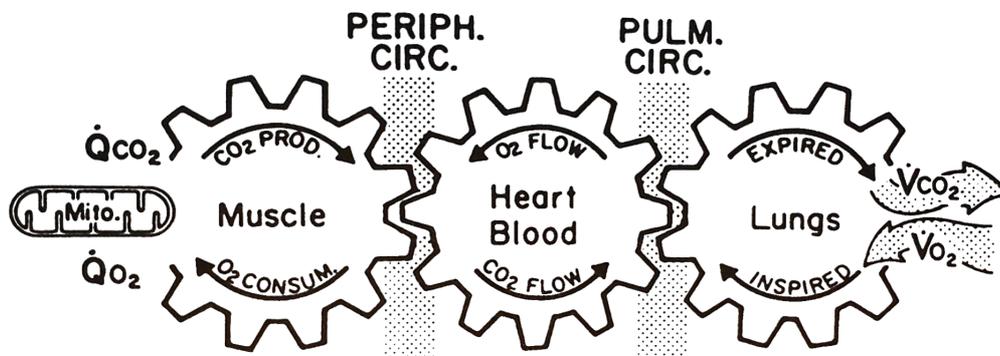


Abb. 2: Gastransportmechanismus (nach Wassermann, Hansen, Sue, Casaburi und Whipp, 1999, S. 5)

Die drei Zahnräder in Abb. 2 repräsentieren jene Systeme, die unter Belastung zusammenspielen. Auf der linken Seite ist das Muskelsystem, in der Mitte das Herzkreislaufsystem und rechts das Atmungssystem. Kommt es zu einer Belastung eines Muskels fordert dieser eine größere Menge an Sauerstoff (O_2) an (QO_2). Es kommt zu einer gesteigerten O_2 Entnahme aus dem Blut, einer Gefäßerweiterung, einem Anstieg der Herztätigkeit (Schlagvolumen und Herzfrequenz), einer erhöhten Lungentätigkeit und schließlich zu einer Steigerung der (Ein-)Atmung (VO_2). Der Muskel produziert unter Belastung mehr Kohlenstoffdioxid (CO_2), das mittels des Herzkreislaufsystems abtransportiert und über das Atmungssystem ausgeatmet wird (VCO_2). (vgl. Wassermann et. al, 1999, S.2)

Den erhöhten O_2 Gehalt benötigt der Muskel für die aerobe (mit O_2) Energiegewinnung.

2.2.2 Energiegewinnung im Muskel

Die Hauptenergiequelle des Muskels ist das ATP (Adenosintri-phosphat). Sie ist im Muskel in geringen Mengen vorhanden und muss unter Belastung ständig resynthetisiert werden. Die Resynthese des ATP aus ADP (Adenosindiphosphat) kann auf drei Arten erfolgen:

- anaerob alaktazid (aus Kreatinphosphat)
- anaerob laktazid (anaerobe Oxidation)
- aerob (aerobe Oxidation)

De Marées (2002) schreibt, dass am Beginn einer Belastung der ATP-Vorrat des Muskels umgesetzt wird. Er reicht für ca. 3 - 4 maximale Muskelkontraktionen, die bei einer starken Belastung 1 - 2 s dauern. Dann muss die Resynthese einsetzen. Zuerst geschieht sie ohne O_2 (anaerob), weil der in Abb. 2 skizzierte O_2 -Transport eine Weile dauert und ohne Laktatbildung (alaktazid), durch die Umwandlung von Kreatinphosphat. Mit ihr kann man die Belastung 5 - 6 s aufrecht erhalten. In Addition ergeben die ersten beiden Wege der Energiegewinnung 6 - 8 s Arbeitsdauer. (vgl. de Marées, 2002, S. 346)

Im Anschluss, führt De Marées (2002) an, setzt bei intensiven Belastungen, bei denen die O_2 -Zufuhr unzureichend ist, die anaerobe laktazide Resynthese ein. Die Energie wird mittels Glykolyse gewonnen und kann maximal 20 - 30 Sekunden umgesetzt werden. Dieser Energiegewinnungsprozess wird dann aus Schutz vor einer „Selbstverdauung“ gestoppt. Diese Funktion wird über den pH-Wert in der Muskulatur geregelt. Durch die Bildung der Milchsäure und dem parallel auftretenden H^+ -Ionen wird der pH-Wert gesenkt. Erreicht er einen Wert von 6,3 (Normalwert unter Ruhebedingungen ca. 7) wird die Glykolyse durch das regulierende Enzym, Phosphofruktokinase (PFK), vollständig gehemmt. Das kann zum Beispiel bei einem 400 m Lauf, bei dem ein Läufer mit einer zu hohen Geschwindigkeit begonnen hat zu einem abrupten Ende des Laufes führen. (vgl. de Marées, 2002, S. 355)

Weineck (2010) erklärt, dass es bei genügender Sauerstoffversorgung letztendlich zur aeroben Oxidation kommt. Diese Form der Resynthese kann bei geringen Belastungen über einen langen Zeitraum aufrecht erhalten werden (zB 10.000 m Lauf mit geringen Laufgeschwindigkeit). Sie gewinnt aus der Verbrennung von Glukose ca. die zehnfache Energie im Vergleich zur anaeroben Oxidation. Die Stufen der Resynthese laufen streng genommen nicht nacheinander sondern parallel versetzt ab (siehe Abb. 3). (vgl. Weineck, 2010, S. 149 u.f.)

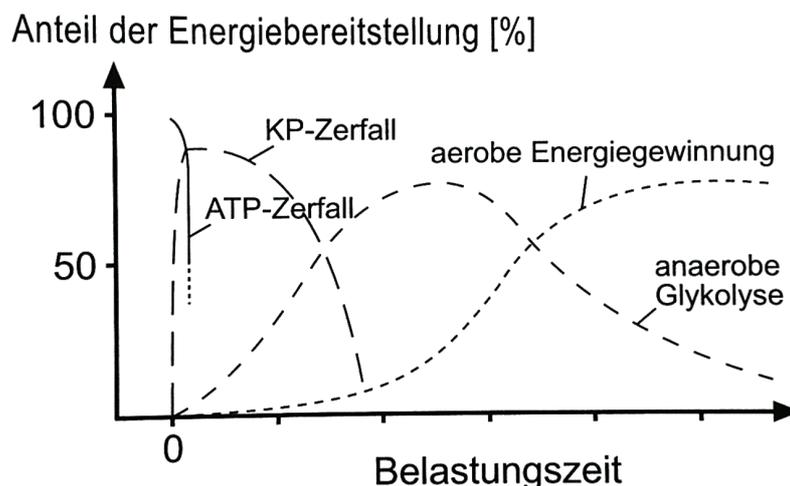


Abb. 3: Energiegewinnung im Muskel, zeitlicher Ablauf und Anteil der unterschiedlichen Arten (nach Keul, Doll & Keppler, 1969, zitiert nach Weineck, 2010, S. 145)

2.3 Physiologie im Fußball

2.3.1 Anforderungen und Laktatkonzentration (nach Halbzeit) in einem Fußballmatch

Stolen, Chamari, Castagna und Wisloff (2005) haben sich sehr intensiv mit der Physiologie im Fußball auseinander gesetzt. Sie haben aus 9.893 wissenschaftlichen Artikeln 181 ausgewählt und diese ausführlich ausgewertet. Ihre Erkenntnisse werden im Folgenden dargestellt. Zu den physischen Anforderungen eines professionellen Fußballspielers zählt zum Beispiel der zurückgelegte Weg in einem Match. Feldspieler kommen dabei auf 10 - 12 km, wobei die Mittelfeldspieler die längsten Distanzen zurücklegen und Torleute auf 4 km kommen. In der zweiten Halbzeit ist die Laufintensität reduziert und die zurückgelegte Distanz ist um 5 - 10 % weniger als in der ersten Halbzeit. Jeder Spieler kommt auf 1.000 - 1.400 kurze Aktivitäten. Dazu zählen 10 - 20 Sprints, hochintensive Läufe ca. alle 70 Sekunden, 15 Tacklings, 10 Kopfbälle, 50 Situationen mit dem Ball, 30 Pässe und jegliche Tempowechsel sowie zwingende Muskelarbeit zur Haltung der Balance und Kontrolle des Balls unter den Bedingungen des Gegnerdrucks. Aufgrund der Spieldauer dominiert der aerobe Stoffwechsel, wobei die Schlüsselszenen eines Spiels im anaeroben Bereich liegen. Abb. 4 zeigt die Laktatkonzentration im Blut von Elite- und Nicht-Elite-Fußballspielern. Dabei muss man berücksichtigen, dass die Aktivität der Spieler kurz vor der Messung einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis hat. (vgl. Stolen et al., 2005)

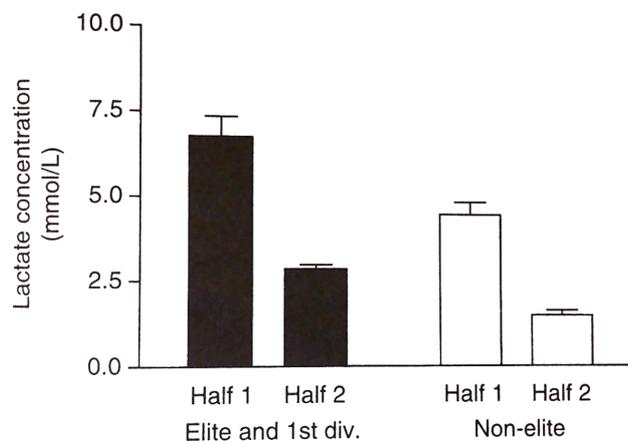


Abb. 4: Laktatkonzentration während eines Match von Elite- und Nicht-Elite-Fußballern nach Halbzeit getrennt (nach Stolen et al., 2005, S. 509)

McMillan, Helgerud, Macdonald und Hoff (2005) schreiben von einem starken Zusammenhang zwischen der zurückgelegten Distanz in einem Fußballmatch und der maximalen Sauerstoffaufnahme. Die Ansicht die maximale Sauerstoffaufnahme der Fußballspieler auf ein hohes Level zu steigern bekommt dadurch Unterstützung. (vgl. McMillan et al., 2005)

2.3.2 Subjektive Beurteilung der wahrgenommenen Trainingsanstrengung im Fußball (Rate of Perceived Exertion, RPE)

Um einen Trainingsfortschritt zu gewährleisten ist es von großer Bedeutung, dass jede(r) Spieler(in) ihren/seinen individuellen Trainingsreiz erfährt. Um das Erreichen des Trainingsziels zu kontrollieren, kann der/die Trainer(in) seine/ihre Spieler(innen) mit Herzfrequenzmesser ausstatten. Der Einsatz von Herzfrequenzmonitoren bringt auch Unannehmlichkeiten wie die Bereitstellung eines/einer technischen Experten/Expertin, Zeitaufwand für das Sammeln der Daten nach jedem Training und die Anschaffungskosten mit sich.

Impellizzeri, Rampinini, Coutts, Sassi und Marcora (2004) setzten sich zum Ziel, die RPE-basierte Methode von Foster et al. (1995, zitiert nach Impellizzeri et al., 2004) im Fußball einzusetzen um die individuelle Trainingsbelastung zu eruieren. Um die Validität dieser Methode zu überprüfen wurde während den Trainingseinheiten zusätzlich die Herzfrequenz aller Spieler aufgezeichnet und dann in Relation mit den RPE-Ergebnissen gesetzt. 19 Nachwuchsfußballspieler wurden 7 Wochen lang untersucht. Sie gaben nach jedem Training (30 min. danach) den Grad ihrer gefühlten Anstrengung unter Verwendung der Borg CR10-Skala (siehe Tab. 1) an, der dann mit der Trainingszeit in Minuten multipliziert wurde. Insgesamt sammelte die Forschungsgruppe 479 individuelle Trainingsempfindungen und wertete diese dann in Bezug zu den parallel aufgezeichneten Herzfrequenzen aus. Sie konnten von signifikanten Zusammenhängen zwischen den Herzfrequenzen und den RPE-Ergebnissen berichten und befinden das verwendete RPE-Modell als guten Indikator um die individuelle Trainingsbelastung in einem Fußballtraining zu eruieren. Außerdem ist es kostengünstig und einfach einzusetzen. (vgl. Impellizzeri et al., 2004)

Tab. 1: Borg's CR10-Skala modifiziert nach Foster et al. (1995, zitiert nach Impellizzeri et al., 2004, S. 1.044)

Rating	Descriptor
0	Rest
1	Very, very easy
2	Easy
3	Moderate
4	Somewhat hard
5	Hard
6	
7	Very hard
8	
9	
10	Maximal

Borg (1973) verglich folgende unterschiedlichen Skalen. Die originale Borg-Skala von 1 bis 21 und eine Abwandlung davon (von 6 bis 20) sowie eine Linien-Skala und eine von 1 bis 9. Er kam zum Schluss, dass alle vier Beurteilungsmethoden stark mit den Herzfrequenzen korrelieren. Aufgrund der Linearität mit den Herzfrequenzen meint Borg, dass in den meisten Fällen die Skala von 6 - 20 (Tab. 2) Anwendung finden sollte, weil keine andere bessere Korrelationen liefert. Multipliziert man bei dieser Skala die RPE-Werte mit zehn sollte man die Herzfrequenz erhalten. (vgl. Borg, 1973)

Tab. 2: RPE Skala (nach Borg, 1973, S. 92)

6
7 Very, very light
8
9 Very light
10
11 Fairly light
12
13 Somewhat hard
14
15 Hard
16
17 Very hard
18
19 Very,very hard
20

Borg (1982) ist der Meinung, dass es keine perfekte Skala für alle möglichen Anwendungen gibt. Wahrscheinlich ist es sogar sinnvoll unterschiedliche Methoden je nach Situation einzusetzen. Für die meisten Einsatzgebiete, zum Beispiel um die Trainingsbelastung zu beschreiben, ist jedoch die alte RPE-Skala (von 6 bis 20, Tab. 2 oben) besser geeignet. Die neuere Skala (von 0 bis 10, Tab. 1), die verhältnisbezogene Eigenschaften aufweist, ist im Speziellen für die Ermittlung von subjektiven Symptomen wie Atemschwierigkeiten und starken Schmerzen passend. (vgl. Borg, 1982)

2.4 Maximale Sauerstoffaufnahme VO₂max

Helgerud, Engen, Wisloff und Hoff (2001) bezeichnen die maximale Sauerstoffaufnahme als Gradmesser für das Ausdauervermögen von Fußballspielern. (vgl. Helgerud et al., 2001)

Kroidl, Schwarz und Lehnigk (2009, S. 219) führen aus: „Die VO₂max bildet die Sauerstofftransportkapazität von Lunge, Herz und Blutkreislauf sowie den muskulären Sauerstoffverbrauch unter Belastung ab und ist die klassische Messgröße zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit.“

Stolen et al. (2005) berichten von einer maximalen Sauerstoffaufnahme von 50 - 75 ml/kg/min⁻¹ für Feldspieler und 50 - 55 ml/min/kg⁻¹ für Torleute. Die Werte sind unter anderem abhängig von der Spielposition und dem Alter der Spieler. Traditionell haben Nachwuchsspieler eine niedrigere VO₂max (< 60 ml/min/kg⁻¹) obwohl es auch hier Ausnahmen gibt. Spieler mit einer größeren VO₂max haben niedrigere Laktatkonzentrationen im Blut, weil sie sich besser von hochintensiven Aktivitäten erholen. Die Gründe dafür liegen in einer verbesserten aeroben Reaktion, gesteigerten Laktatabbaufähigkeit und optimierten Kreatinphosphat-Regeneration. (vgl. Stolen et al., 2005)

2.4.1 Wie kann die maximale Sauerstoffaufnahme verbessert werden?

Durch ein submaximales Training (zB zwischen 65 und 75 % der maximalen Herzfrequenz) können Untrainierte ihre VO₂max bis auf ein bestimmtes Level erhöhen. Laursen und Jenkins (2002) schreiben, dass Sportler(innen), die eine VO₂max > 60 ml/min/kg⁻¹ erreichen keine weiteren Fortschritte durch ein submaximales Training erfahren. Es scheint, dass für jene nur noch ein hochintensives Training (High Intensity Training) zu weiteren Steigerungen führt. (vgl. Laursen & Jenkins, 2002)

Helgerud et al. (2001) bestätigen mit ihrer Studie (siehe unten) die positiven

Auswirkungen eines intensiven aeroben Trainings auf die maximale Sauerstoffaufnahme und in weiterer Folge auf ein Fußballmatch.

2.4.1.1 Kontinuierliches versus intermittierendes Ausdauertraining zur Verbesserung der VO₂max

Daussin, Ponsot, Dufour, Lonsdorfer-Wolf, Doutreleau, Geny, Piquard und Richard (2007) trainierten zehn gesunde untrainierte Menschen (je fünf Frauen und Männer) um Erkenntnisse zu dieser Fragestellung zu gewinnen. Die Proband(inn)en wurden in zwei Gruppen eingeteilt und trainierten acht Wochen lang drei Mal pro Woche auf einem Fahrradergometer. Die Intervalltrainingsgruppe trainierte vier Minuten bei niedriger Intensität mit 93 ± 8 Watt (W) bzw. 49 % der maximalen Leistung (P_{\max}) gefolgt von einer Minute bei 90 % der P_{\max} (149 ± 16 W). Die zweite Trainingsgruppe (kontinuierliches Training) trainierte mit 106 ± 10 W bzw. 61 % der P_{\max} . Die Trainingseinheiten dauerten zuerst 20 Minuten und wurden bis zum Ende der acht Wochen auf 35 Minuten gesteigert. Das Forschungsteam testete die maximale Sauerstoffaufnahme, das Herzzeitvolumen (Q_{\max}) und die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz vor und nach der Trainingsphase. Sie stellten fest, dass nur das Intervalltraining zu einer Steigerung der VO₂max und des Q_{\max} führte und die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz bei beiden Trainingsgruppen anstieg. Trotz gleicher Arbeit wurden dennoch unterschiedliche Trainingseffekte erzielt. Für welche Trainingsform man sich entscheidet hängt davon ab, welche physiologischen Änderungen man erreichen möchte. (vgl. Daussin et al., 2007)

2.4.2 Fußballspezifischer Test zur Ermittlung der VO₂max

Kemi, Hoff, Engen, Helgerud und Wisloff (2003) konnten zeigen, dass ein fußballspezifischer Test zur Ermittlung der VO₂max herangezogen werden kann. Dafür verwendeten sie den Dribbelparcours in Abb. 6, der auch in der beschriebenen HIT-Studie zum Einsatz kam (siehe unten). Die Probanden, zehn männliche Fußballspieler, absolvierten den Dribbelparcours (mit kleinen portablen Stoffwechselfestsystemen) sowie einen Labortest am Laufband um die VO₂max zu ermitteln. Sie wählten eine Parcoursform mit Ball, weil die Probanden dadurch mehr Sauerstoff verbrauchen und das dem Effekt

der Steigung am Laufband entspricht, die notwendig ist um die wahren $VO_2\text{max}$ -Werte zu erhalten. Der Dribbelparcours dauerte 6 - 8 min. und wurde wie folgt ausgeführt. Die ersten beiden Minuten wurde das Tempo kontinuierlich gesteigert bis der Proband 95 % seiner maximalen Herzfrequenz erreichte, weitere drei Minuten wurde mit dieser Herzfrequenz gedribbelt bevor die Geschwindigkeit nochmals gesteigert wurde um ihn zur Erschöpfung zu bringen (ca. 1 min.). Die Ergebnisse zeigten, dass die $VO_2\text{max}$ ($5,0 \pm 0,5$ l/min beim Dribbelparcours, $5,1 \pm 0,7$ l/min beim Labortest), die maximale Herzfrequenz, die maximale Atemfrequenz, das respiratory exchange ratio (RER) und der Sauerstoffpuls bei beiden Testformen gleiche Resultate ergaben. Daraus folgern sie, dass der angewandte fußballspezifische Dribbelparcours gültige Ergebnisse zur Ermittlung der $VO_2\text{max}$ liefert, ein Labortest aber weiterhin von Nöten ist, wenn man zB die anaerobe Schwelle ermitteln möchte. (vgl. Kemi et al., 2003)

3 High Intensity Training – HIT

3.1 Warum dem Körper ein Training im hochintensiven Bereich zumuten?

Laursen und Jenkins (2002) erklären dies wie folgt. Während bei untrainierten Personen ein submaximales Training zu signifikanten Verbesserungen der Ausdauerleistung und den damit zusammenhängenden physiologischen Parametern führt, können sich hochtrainierte Sportler(innen) auch durch eine Steigerung des Trainingsumfangs im submaximalen Bereich nicht weiter verbessern. Ein submaximales Training führt bei untrainierten Leuten zu einer Steigerung der $VO_2\text{max}$, der Kapillarendichte, der Aktivität der oxidativen Enzyme und des Plasmavolumens. Trainiert er oder sie dann regelmäßig (wird zu einem/einer hochtrainierten Sportler(in)) und erreicht eine $VO_2\text{max} > 60$ ml/min/kg⁻¹ sind keine weiteren Verbesserungen durch ein submaximales Training, auch wenn das Trainingsvolumen erhöht wird, möglich. Es scheint, dass sie sich nur noch mit einem hochintensiven Training (HIT) weiter signifikant verbessern können. Die Auswirkungen auf das physiologische System von hochtrainierten Athlet(inn)en sind wenig erforscht. Langstreckenläufer konnten durch ein Intervalltraining mit jener Geschwindigkeit, die sie bei ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme erreichten (V_{max}) Verbesserungen erzielen. Die Intervalllänge wählten sie zwischen 50 und 75 % der Zeit,

die sie die V_{\max} bis zur Ausbelastung laufen konnten. Die Mechanismen, die für eine derartige Verbesserung durch ein HIT ausschlaggebend sind, sind unklar. (vgl. Laursen & Jenkins, 2002)

3.2 Eigenschaften eines High Intensity Trainings

Nach Laursen und Jenkins (2002) ist das High Intensity Training nach dem Prinzip eines Intervalltrainings aufgebaut. Im Vergleich zu einem submaximalen (zB zwischen 65 und 75 % der $VO_2\max$) Ausdauertraining, das durch eine kontinuierliche Aktivität gekennzeichnet ist, kommt es bei einem HIT zu wiederholten hochintensiven Aktivitäten, die durch submaximale Phasen getrennt sind. Als Beispiele führen sie Intervalle von 10 s bis 5 min bei einer Intensität über der anaeroben Schwelle an, die durch wenig intensive Phasen voneinander getrennt sind, welche zu einer teilweisen aber nicht vollständigen Erholung führen. Der Zweck eines HIT ist es, das physiologische System wiederholt in einem höheren Ausmaß als bei der jeweiligen Aktivität benötigt zu reizen. Um das optimale HIT zu beschreiben müssen Erkenntnisse über die Trainingsintensität, -dauer und die Art der Erholung, die zu einer bestmöglichen Verbesserung führen, gewonnen werden. (vgl. Laursen & Jenkins, 2002)

3.3 Aktuelle Erkenntnisse zum HIT

3.3.1 High Intensity Interval Training (HIIT) vs. High Volume Training (HVT)

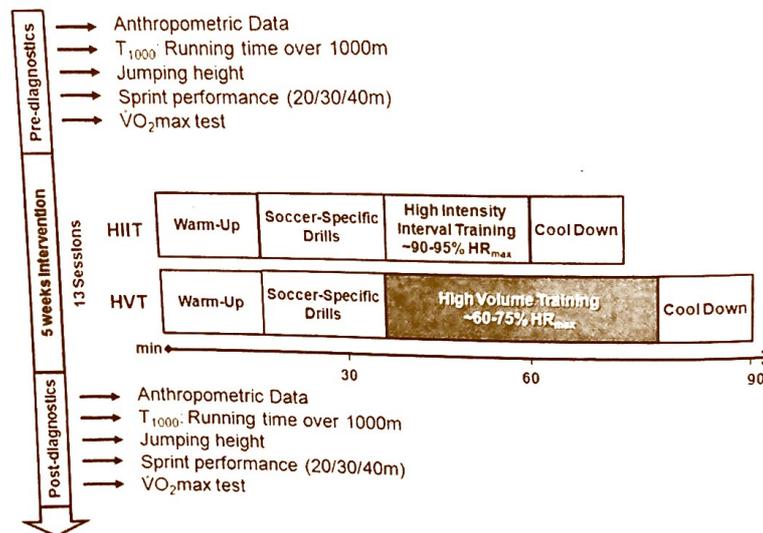


Abb. 5: Studiendesign: High Intensity Interval Training (HIIT) vs. High Volume Training (HVT) (nach Sperlich et al., 2011, S. 1.272)

Sperlich et al. (2011) verglichen die Entwicklung zweier Trainingsgruppen. Abb. 5 zeigt den Ablauf und die Inhalte der Studie. Die beiden Gruppen absolvierten 13 Trainingseinheiten in fünf Wochen. Die HVT-Gruppe trainierte mit einer Intensität zwischen 50 und 70 % ihrer maximalen Herzfrequenz, die HIIT-Gruppe zwischen 90 und 95 %. Die Intervalle der HIIT-Gruppe waren durch 1 - 3 min Läufe mit einer Herzfrequenz von 50 - 60 % der maximalen Herzfrequenz getrennt. Eine HIIT-Trainingseinheit dauerte max. 30 min, ein HVT Training 45 - 60 min und beide Trainingsformen fanden ohne Fußball statt. Die 19 Probanden waren Nachwuchsspieler von deutschen Bundesligavereinen und 14 Jahre alt. Die HIIT-Gruppe konnte im Vergleich zu der HVT-Gruppe signifikante Verbesserungen der maximalen Sauerstoffaufnahme (+ 7 % HIIT vs. + 1,9 % HVT) und der 1.000 m Laufzeit (- 10 s HIIT vs. - 5 s HVT) erzielen. (vgl. Sperlich et al., 2011)

3.3.3 Vergleich Sprinttraining vs. HIT

Sporis, Ruzic und Leko (2008) haben eine Studie mit 18 Probanden (Elite-Fußballspieler aus Kroatien) durchgeführt um zu ermitteln welche von zwei Trainingsformen bessere Zuwächse in der anaeroben Ausdauerleistung der Spieler erzielt. Die Studie lief über einen Zeitraum von einem Jahr und wurde jeweils in der Sommervorbereitung (2002 und 2003) acht Wochen lang durchgeführt. 2002 wurde ein traditionelles Sprinttraining (gerade Liniensprints) zweimal die Woche mit je 15 Runden (5 x 20 m, 5 x 40 m und 5 x 60 m) mit jeweils 90 Sekunden langen Pausen, in denen zum Start zurück gegangen und gedehnt wurde, absolviert. In der Vorbereitung ein Jahr später wurde dieses Sprinttraining durch ein High Intensity Training, das dreimal pro Woche stattfand, ersetzt. Die Spieler führten 4 x 4-Minuten-Läufe (mit verschiedenen Passaufgaben, siehe Abb. 7) bei 90 - 95 % der maximalen Herzfrequenz durch. Zwischen den vier Läufen gab es Pausen von je drei Minuten in denen die Spieler Partnerübungen bei 55 - 65 % der maximalen Herzfrequenz machten (Pässe mit der Fußinnenseite, Ballannahme mit der Brust und Kopfballpässe mit Kopfballannahme). Um die Entwicklung der anaeroben Ausdauerfähigkeit zu beobachten wurde vor und nach beiden Trainingsphasen der 300-yard shuttle run test in Kombination mit Laktattests durchgeführt. Weiters wurden die maximale Herzfrequenz und das Körperfett gemessen.

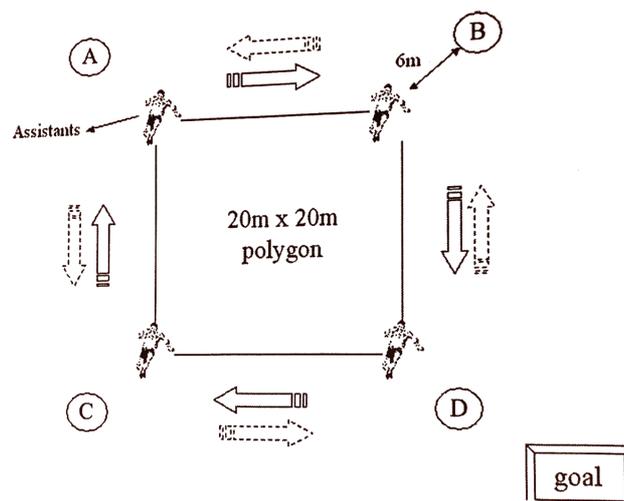


Abb. 7: Passaufgaben während der 4-Minuten-Läufe (nach Sporis et al., 2008, S. 562)

Abb. 7 zeigt die Skizze des 4 Minuten Laufs. An jeder Ecke standen Assistenten mit Bällen, die den Ball zu den Probanden passten wenn sie die 6 m Markierung erreichten.

An jeder Ecke hatten sie eine andere Aufgabe. A: Pass mit dem linken Fuß, B: Pass mit dem rechten Fuß, C: Pass auf die Brust des Assistenten und D: Schuss auf das Tor.

Die Studie hat ergeben, dass die erste Trainingsphase zu keinen signifikanten Verbesserungen der anaeroben Ausdauerfähigkeit geführt hat. Die zweite Trainingsphase mit dem High Intensity Training erzielte hingegen signifikante Verbesserungen beim shuttle run test (von $55,74 \pm 1,63$ auf $56,99 \pm 1,64$ s, $p = 0,032$) und beim Laktattest (von $13,5 \pm 1,12$ auf $15,4 \pm 1,23$ mmol/l, $p = 0,0021$). In modernen Fußballspielen kommt es immer häufiger vor, dass ein Spieler innerhalb einer Minute eine Vielzahl an Sprints absolviert, daher wird der in dieser Studie angewendete 300-yard shuttle run als guter Indikator für die anaerobe Ausdauerfähigkeit angesehen. Es wird die Vermutung angestellt, dass die Sprintdistanzen des traditionellen Trainingsprogrammes zu kurz sind um Verbesserungen im anaeroben Bereich zu erzielen. (vgl. Sporis et al., 2008)

3.3.4 Aerobic Interval Training vs. Small-Sided Games

Impellizzeri, Marcora, Castagna, Reilly, Sassi, Iaia und Rampinini (2006) haben eine Studie mit 40 Elite-Nachwuchs-Fußballspielern gemacht, bei der eine Trainingsgruppe zweimal die Woche kleine Spiele (STG = specific training group) und die andere Gruppe aerobes Intervalltraining (GTG = generic training group) absolviert hat. Die kleinen Spiele reichten von 3 vs. 3 bis zum 5 vs. 5 und wurden mit Herzfrequenzmonitoren überwacht (um gleiche Trainingsintensitäten wie beim Intervalltraining zu erreichen). Abb. 8 zeigt, dass es bis auf die Intensitätszone 95 - 100 (in der sich die Spielgruppe signifikant länger aufhielt) keine signifikanten Unterschiede der Trainingsintensitäten zwischen den beiden Trainingsgruppen gab. Das Intervalltraining bestand aus 4 x 4-Minuten-Läufen um den Fußballplatz (90 - 95 % der maximalen Herzfrequenz (HFmax)) mit jeweils 3 Minuten Erholungsläufen (60 - 70 % der HFmax) dazwischen. Der Trainingszeitraum war 12 Wochen und es wurden folgende Parameter vorher, während der Trainingsphasen und im Anschluss eruiert. Maximale Sauerstoffaufnahme, Laktatschwelle (Tlac), Laufökonomie an der Tlac, ein fußballspezifischer Ausdauerterst (Ekblom's circuit) und Matchanalysen (zurückgelegte Distanz, Zeit, die der Spieler gestanden/gegangen/gelaufen bei hoher/niedriger Intensität ist). Beide Trainingsgruppen erzielten signifikante Verbesserungen im aeroben Bereich und in ihrer Matchperformance. In keinen der gemessenen Parametern gab es signifikant unterschiedliche Entwicklungen zwischen den

beiden Gruppen und daher kamen die Forscher zum Ergebnis, dass die Trainingsformen die gleiche positive Effektivität haben. (vgl. Impellizzeri et al., 2006)

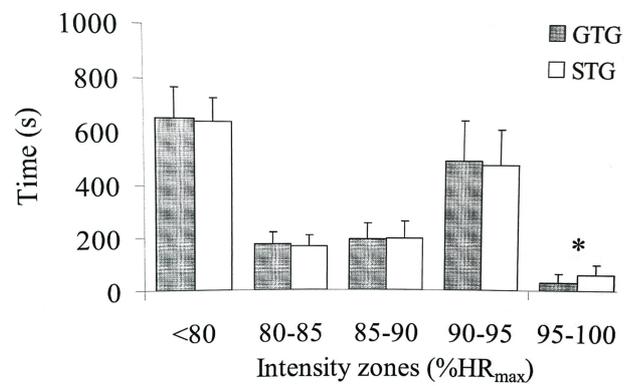


Abb. 8: Durchschnittliche Zeit pro Intensitätszone während der Trainingseinheiten der zwölf Trainingswochen nach Trainingsgruppe (GTG = generic training group, STG = specific training group) (nach Impellizzeri et al., 2006)

3.3.5 Auswirkungen eines hochintensiven Intervalltrainings auf die Spielleistung

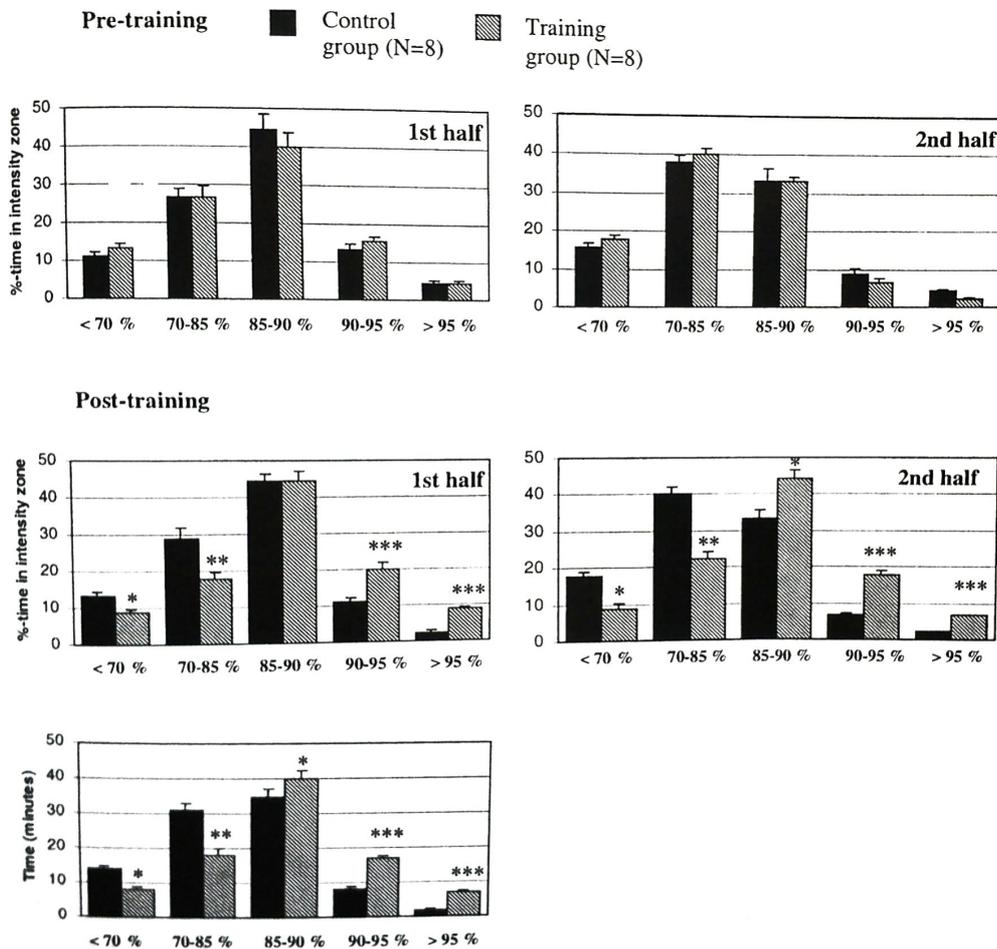


Abb. 9: Verbrauchte Zeit je Intensitätszone (in % der maximalen Herzfrequenz) während eines Fußballspiels nach Halbzeit. 1. Reihe: vor der Trainingsintervention. 2. Reihe: nach der Trainingsintervention. 3. Reihe: Zeit pro Intensitätszone nach der Trainingsintervention. *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001. (nach Helgerud et al., 2001, S. 1.929)

In der Studie von Helgerud et al. (2001) wurden die Auswirkungen eines hochintensiven Intervalltrainings auf die Matchperformance untersucht. 19 Elite-Nachwuchs-Fußballspieler im Alter von 18 Jahren wurden in eine Trainingsgruppe und eine Kontrollgruppe geteilt. Die Trainingsgruppe absolvierte zusätzlich zum normalen Training acht Wochen lang, zwei Mal pro Woche folgendes Intervalltraining. 4 x 4 min bei 90 - 95 % der maximalen Herzfrequenz und zwischendurch 3 min bei 50 - 60 %. Mit der Kontrollgruppe wurde stattdessen ein Techniktraining durchgeführt. Um die Auswirkungen des Intervalltrainings zu evaluieren wurden jeweils vor der Trainingsphase und danach ein Fußballmatch gefilmt und analysiert. Die Trainingsgruppe konnte folgende Werte verbessern. Maximale Sauerstoffaufnahme (von $58,1 \pm 4,5$ auf $64,3 \pm 3,9$ ml/kg/min⁻¹, P <

0,01), Laktatschwelle (von $47,8 \pm 5,3$ auf $55,4 \pm 4,1$ ml/kg/min⁻¹, $P < 0,01$), Laufökonomie um 6,7 % ($P < 0,05$), zurückgelegte Distanz während dem Spiel um 20 % ($P < 0,01$), Anzahl der Sprints um 100 % ($P < 0,01$), Situationen mit dem Ball um 24 % ($P < 0,05$) und die durchschnittliche Intensität (in % der maximalen Herzfrequenz) von $82,7 \pm 3,4$ auf $85,6 \pm 3,1$ % ($P < 0,05$, siehe Tab. 3). Die Kontrollgruppe wurde im Vergleich dazu bei keinem einzigen Parameter besser. Dieses eindeutige Ergebnis zeigt, dass eine verbesserte aerobe Ausdauerfähigkeit auch die Leistung in einem Fußballmatch steigert. Abb. 9 zeigt die Verbesserungen ausgedrückt in Zeitangaben, die die Spieler in bestimmten Intensitätszonen verbrachten. Dass die Spieler der Trainingsgruppe nach der Intervention mehr Zeit in den höheren Intensitätszonen verbracht haben ist nachvollziehbar, da jeder Spieler der Trainingsgruppe um 1.716 m mehr zurücklegte und doppelt so viele Sprints antrat (von sechs auf zwölf) als vor der Trainingsphase. (vgl. Helgerud et al., 2001)

Tab. 3: Durchschnittliche Herzfrequenz während eines Fußballspiels in % der maximalen Herzfrequenz. Nach Halbzeit sowie vor und nach der Trainingsintervention (nach Helgerud et al., 2001, S. 1.929)

	First Half	Second Half	Total
Pretraining			
CG ($N = 8$)	83.0 (3.0)	80.0 (2.0)	81.7 (3.3)
TG ($N = 9$)	84.0 (4.0)	81.2 (2.1)	82.7 (3.4)
Posttraining			
CG ($N = 8$)	84.2 (3.0)	81.1 (4.2)	82.6 (4.1)
TG ($N = 9$)	86.3 (3.2)	85.0 (3.0)*	85.6 (3.1)*

* $P < 0.05$.

3.3.6 Fußballspezifisches aerobes Ausdauertraining

Hoff, Wisloff, Engen, Kemi und Helgerud (2002) führten eine Studie durch um herauszufinden ob ein Dribbelparcours (Abb. 6) und ein Spiel in einer kleinen Gruppe (five a side football, siehe Abb. 10) ein probates Mittel für ein hochintensives Intervalltraining sind und ob die Herzfrequenz während des Trainings gültige Aussagen über die Trainingsintensität liefert. Der Dribbelparcours wurde mit 30 cm hohen Hürden und

zwischen A und B rückwärts mit dem Ball am Fuß durchgeführt. Die sechs Probanden trugen portable $VO_2\text{max}$ Messgeräte und wurden angewiesen, dass sie ihre Herzfrequenzen innerhalb einer Minute auf 90 - 95 % ihrer maximalen Herzfrequenz (HFmax) steigern und gesamt vier Minuten den Parcours durchlaufen. Nach einer dreiminütigen Erholungspause bei 70 % der HFmax wurde der Parcours ein zweites Mal durchlaufen. Das „five a side football“-Spiel wurde vier Minuten gespielt um drei Minuten mit hochintensiver Intensität zu erreichen. Es wurde ebenfalls zweimal, getrennt von einer aktiven Pause vollzogen. Während dem Spiel wurde aktiv gecoacht damit alle Spieler eine hohe Intensität erreichen. Das Resultat der Untersuchung bedeutet, dass ein hochintensives aerobes Intervalltraining fußballspezifisch erreicht werden kann. Die vorgestellten Methoden führen zu der gewünschten Trainingsintensität sowie zur Verbesserung der $VO_2\text{max}$ und können ein reines Lauftraining ersetzen. Weiters stellten sie fest, dass die Herzfrequenz ein zuverlässiger Indikator für die Sauerstoffaufnahme ist. (vgl. Hoff et al., 2002)

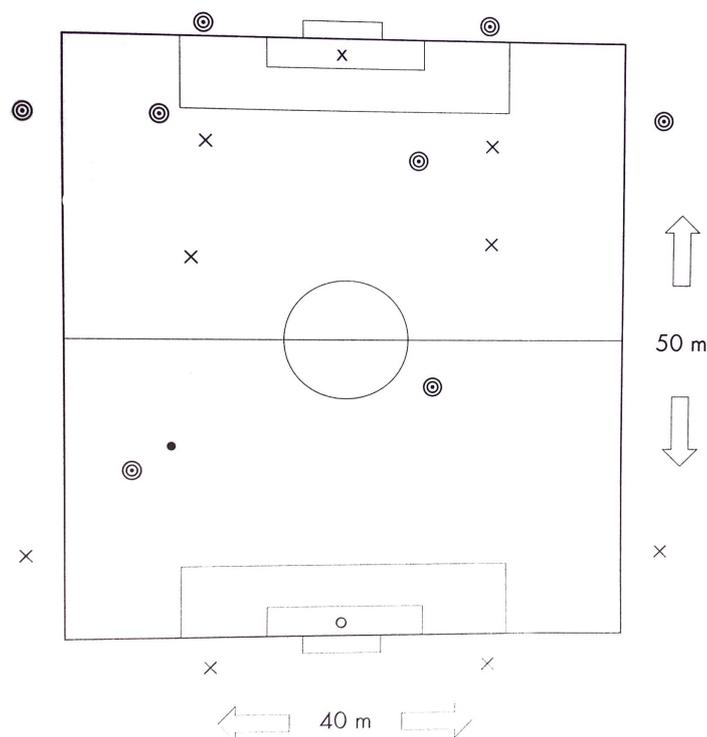


Abb. 10: Five a side football (inklusive einem Tormann). Je vier Spieler pro Team unterstützen ihr Team auf den Outlinen der gegnerischen Hälfte und agieren als Mauer damit der Ball immer im Spiel bleibt. (nach Hoff et al., 2002, S. 219)

4 Ermittlung der Ausdauerfähigkeit eines Fußballspielers

4.1 The Yo-Yo Intermittent Recovery (IR) Test

4.1.1 Ablauf

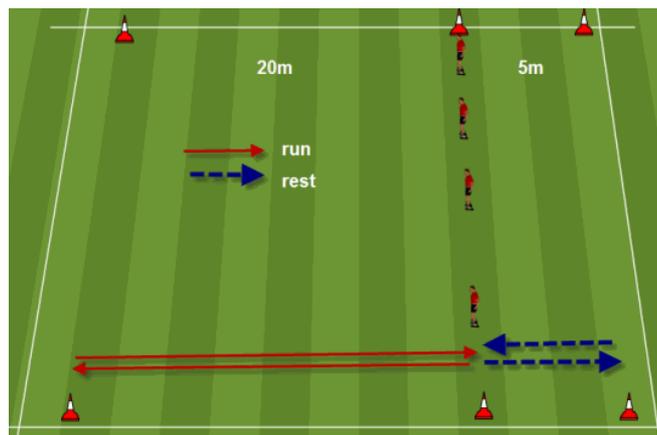


Abb. 11: Skizze Yo-Yo IR Test (Quelle: <http://www.elitesoccerconditioning.com/Testing/yo%20yo%20test.gif>, Zugriff am 2.11.2011)

Der Yo-Yo IR Test besteht aus wiederholten 2 x 20 m Läufen und 2 x 5 m Erholungsphasen. Die Laufgeschwindigkeit nimmt dabei mit fortschreitender Dauer zu und wird von einem Audiogerät durch einen bestimmten Ton vorgegeben. Nach jeweils 40 m kommt es zu einer aktiven Erholung, die 10 s dauert und aus 2 x 5 m Jogging besteht. Erreicht der/die Übende zweimal die Ziellinie (nach 40 m) zu spät, ist der Test für ihn/sie beendet. Die zurückgelegte Distanz (inkl. der nicht mehr geschafften 40 m) wird aufgezeichnet und stellt das Testergebnis dar.

Es gibt zwei unterschiedliche Ausprägungen des Yo-Yo IR Test, die sich im Geschwindigkeitsprofil unterscheiden. Level 1 beginnt bei 10 km/h und setzt sich wie folgt fort. Die ersten 4 Runden werden zwischen 10 und 13 km/h gefolgt von 7 Runden zwischen 13,5 und 14 km/h absolviert. Dann kommen stets 8 Runden mit einer um 0,5 km/h gesteigerten Geschwindigkeit (siehe Tab. 4) bis der/die Proband(in) vollständig erschöpft ist. Level 2 beginnt mit höherer Geschwindigkeit und ist in Tab. 5 dargestellt.

Abb. 12 zeigt einen Vergleich der Laufgeschwindigkeiten der beiden Levels.

Tab. 4: Yo-Yo IR Test Level 1 Geschwindigkeitsprofil

Runden	Distanz in m	km/h
4	0 – 160	10 – 13
7	160 – 440	13,5 – 14
8	440 – 760	14,5
8	760 – 1.080	15
⋮	⋮	⋮

Tab. 5: Yo-Yo IR Test Level 2 Geschwindigkeitsprofil

Runden	Distanz in m	km/h
4	0 – 160	13 – 16
7	160 – 440	16,5 – 17
8	440 – 760	17,5
8	760 – 1.080	18
⋮	⋮	⋮

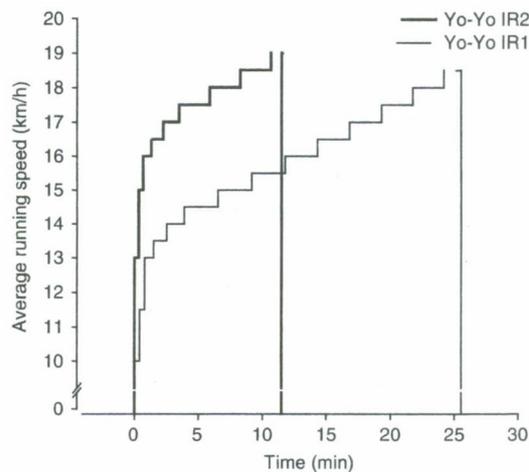


Abb. 12: Vergleich der Geschwindigkeitsprofile der beiden Levels des Yo-Yo IR Tests (nach Bangsbo, Iaia & Krstrup, 2008)

Bangsbo et al. (2008) teilen den beiden Levels folgende Einsatzbereiche zu. Der Level 1 Test beginnt bei einer niedrigeren Geschwindigkeit und setzt sich mit moderateren Geschwindigkeitssprüngen als der Level 2 Test fort. Dadurch führt der Level 1 Test (bei trainierten Personen) zu einer maximalen Aktivierung des aeroben Systems während der Level 2 Test zusätzlich hohe Beteiligung des anaeroben Systems auslöst (genauso der Level 1 Test bei *untrainierten* Personen). (vgl. Bangsbo et al., 2008)

Vor dem Test ist ein Aufwärmprogramm empfohlen und zur Gewöhnung an den Ablauf sollte ein pre-test durchgeführt werden. Er gibt Rückschlüsse darüber, wie schnell man sich von hochintensiven Läufen erholt und wie es um die physischen Kapazitäten steht, die in einem Fußballmatch benötigt werden.

4.1.2 Physiologische Reaktion und Aussagekraft des Yo-Yo IR Level 1 bei Profi-Fußballern

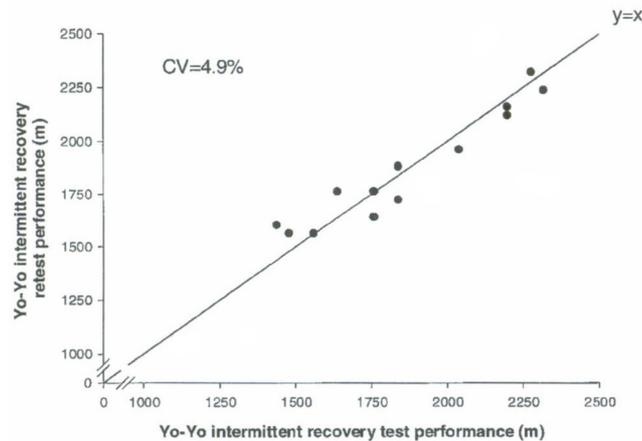


Abb. 13: Test-retest Zuverlässigkeit des Yo-Yo IR Tests. Korrelationskoeffizient 0,98, N = 13 und $P < 0,05$. Die durchgezogene Linie ist die Identitätslinie ($x = y$) (nach Krstrup, Mohr, Amstrup, Rysgaard, Johansen, Steensberg, Pedersen & Bangsbo, 2003, S. 700)

Krstrup et al. (2003) kamen zum Schluss, dass der Yo-Yo IR Test ein sehr zuverlässiges Testinstrumentarium ist und dass die Testperformance eine enge Beziehung zu einer Matchperformance im Fußballsport aufweist. Abb. 13 zeigt den signifikanten Zusammenhang zwischen einem test und retest Durchgang (innerhalb einer Woche). Weiters ist er ein probates Mittel um saisonale Schwankungen physischer Kapazitäten von Fußballspielern detailliert zu analysieren.

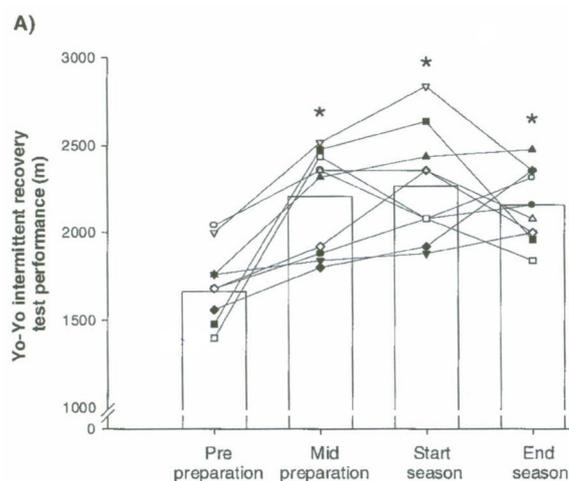


Abb. 14: Saisonale Änderungen bei der Testperformance des Yo-Yo IR Tests. Die Werte sind Mittelwerte \pm Standardabweichung sowie Individualwerte. (nach Krstrup et al., 2003, S. 703)

Abb. 14 stellt die saisonalen Änderungen des zurückgelegten Wegs beim Yo-Yo IR Test dar. Die Forschungsgruppe untersuchte 17 Männer, indem sie die Herzfrequenz und den Stoffwechsel, wofür sie Muskel- und Blutbiopsien vornahm, vor, während und nach dem Yo-Yo IR Test, analysierten. Weiters wurde der Yo-Yo IR Test zwei bis viermal im Laufe einer Saison mit 37 Profi-Fußballern durchgeführt und die Ergebnisse mit den physischen Leistungen im Match in Beziehung gesetzt. Sie berichten, dass die physischen Messungen gezeigt haben, dass es während dem Test zu Maximalwerten des aeroben Energieumsatzes kommt und dass das anaerobe System zu Ende des Tests hoch belastet wird.

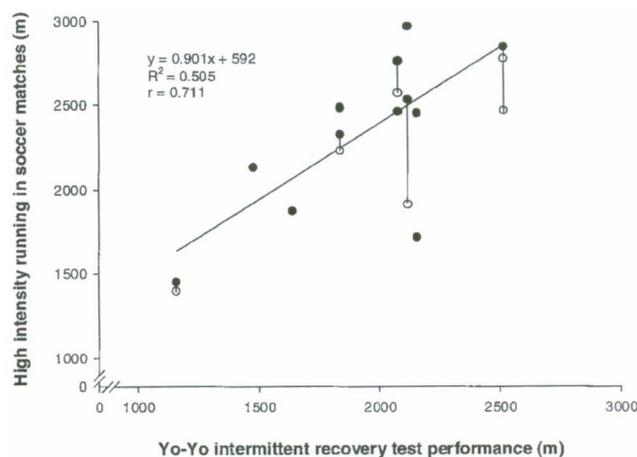


Abb. 15: Interindividuelle Beziehung zwischen den Ergebnissen des Yo-Yo IR Tests und der Summe von hochintensiven Läufen (> 15 km/h) während Profi-Fußballspielen (nach Krstrup et al., 2003, S. 703)

Abb. 15 zeigt den signifikanten Zusammenhang zwischen der Yo-Yo IR Testperformance und der Summe von hochintensiven Läufen während einem Fußballmatch ($r = 0,71$, $N = 18$, $P < 0,05$). Die verbundenen Symbole repräsentieren Werte eines Spielers in unterschiedlichen Spielen. Dies soll zeigen, dass die Anzahl an hochintensiven Läufen pro Spiel aufgrund von taktischen Vorgaben, der Stärke des Gegners und der Tagesverfassung variiert. Auch die Spielposition hatte Einfluss auf die Ergebnisse der Yo-Yo IR Tests. So kamen Außenverteidiger und Mittelfeldspieler zu einem um 14 - 17 % besseren Ergebnis als Innenverteidiger und auch das korrespondiert mit den Leistungen in einem Fußballmatch. Der Yo-Yo IR Test liefert folgedessen wertvolle Informationen über die physischen Kapazitäten eines Fußballspielers in Bezug auf die Matchperformance. In Bezug auf die saisonalen Schwankungen der Leistungsfähigkeit eines Fußballers scheint der Yo-Yo IR Test genauere Rückschlüsse als die VO_2max zu liefern. Auch zur Ermittlung

der maximalen Herzfrequenz kann er herangezogen werden. Die Forschungsgruppe zeigte, dass die 17 Probanden zu 99 % korrespondierende Maximalwerte während des Yo-Yo IR und eines standardisierten Tests zur Ermittlung der maximalen Herzfrequenz aufwiesen. Weiters ist er im Vergleich zum Labortest mit geringen Kosten und Zeitaufwand besetzt (30 Probanden können in 20 min getestet werden). (vgl. Krstrup et al., 2003)

Auch Bangsbo et al. (2008) bringen die Erkenntnisse einiger Studien auf den Punkt. Der Yo-Yo IR Test liefert genauere Maßzahlen in Bezug auf die Leistungsentwicklung in intermittierenden Sportarten als die VO_2max . Zum Beispiel konnten sich Probanden beim Yo-Yo IR Test stark verbessern obwohl ihre VO_2max auf gleichem Niveau blieb. Außerdem kostet die Bestimmung der VO_2max Zeit und Geld. Die Ergebnisse des Yo-Yo IR Tests reflektieren die Veränderungen in der Fähigkeit wiederholt intensive Belastungen durchzuführen genauer als die VO_2max . (vgl. Bangsbo et al., 2008)

4.1.3 Testergebnisse von Elite-Nachwuchs-Fußballspielern

Age category	n	Body mass (kg)	Height (cm)	Yo-Yo IR1 (m)
U-13	17	37.1 ± 4.3	149.2 ± 5.5	933 ± 241†
U-14	16	40.6 ± 3.7	155.5 ± 4.1	1,000 ± 202†
U-15	21	48.7 ± 9.2	160.9 ± 9.0	1,184 ± 345‡
U-16	14	59.2 ± 10.3	171.7 ± 9.6	1,538 ± 428§
U-17	20	67.6 ± 7.8	178.7 ± 7.6	1,581 ± 390
U-18	14	67.7 ± 8.2	179.7 ± 5.8	1,800 ± 415¶
U-19	15	72.2 ± 5.9	183.2 ± 6.8	2,128 ± 326#

†Significantly different ($p < 0.01$) from U-16, U-17, U-18, and U-19.

‡Significantly different ($p < 0.01$) from U-17, U-18, and U-19.

§Significantly different ($p < 0.01$) from U-13, U-14, and U-19.

||Significantly different ($p < 0.01$) from U-13, U-14, U-15, and U-19.

¶Significantly different ($p < 0.01$) from U-13, U-14, and U-15.

#Significantly different ($p < 0.01$) from U-13, U-14, U-15, U-16, and U-17.

Tab. 6: Yo-Yo IR Level 1 Testperformance von Nachwuchsfußballspielern nach Altersgruppe (Mittelwerte und Standardabweichung) (nach Markovic & Mikulic, 2011, S. 2.933)

Markovic und Mikulic (2011) haben in Tab. 6 die unterschiedlichen Testergebnisse des Yo-Yo IR Level 1 Test von den unter 13-jährigen (U-13) bis zu den unter 19-jährigen (U-19) aufgelistet. Sie haben 106 Elite-Nachwuchs-Fußballspieler eines Bundesligavereins aus

Kroatien untersucht. Die Tabelle zeigt, dass es signifikante Unterschiede in Bezug auf das Alter gab. Weiters stellten sie signifikante Unterschiede in Bezug auf die Spielposition fest. So legten Innenverteidiger (1.213 ± 407 m) signifikant geringere Distanzen als Mittelfeldspieler (1.539 ± 672 m) und Stürmer (1.472 ± 526 m) zurück (p jeweils $< 0,01$). Die Resultate zeigen, dass der Yo-Yo IR Level 1 Test gut geeignet ist um die Leistungsfähigkeit in unterschiedlichen Altersstufen und Spielpositionen zu beurteilen. Weiters können die Daten als Referenzwerte verwendet werden. (vgl. Markovic & Mikulic, 2011)

4.2 Hoff Test

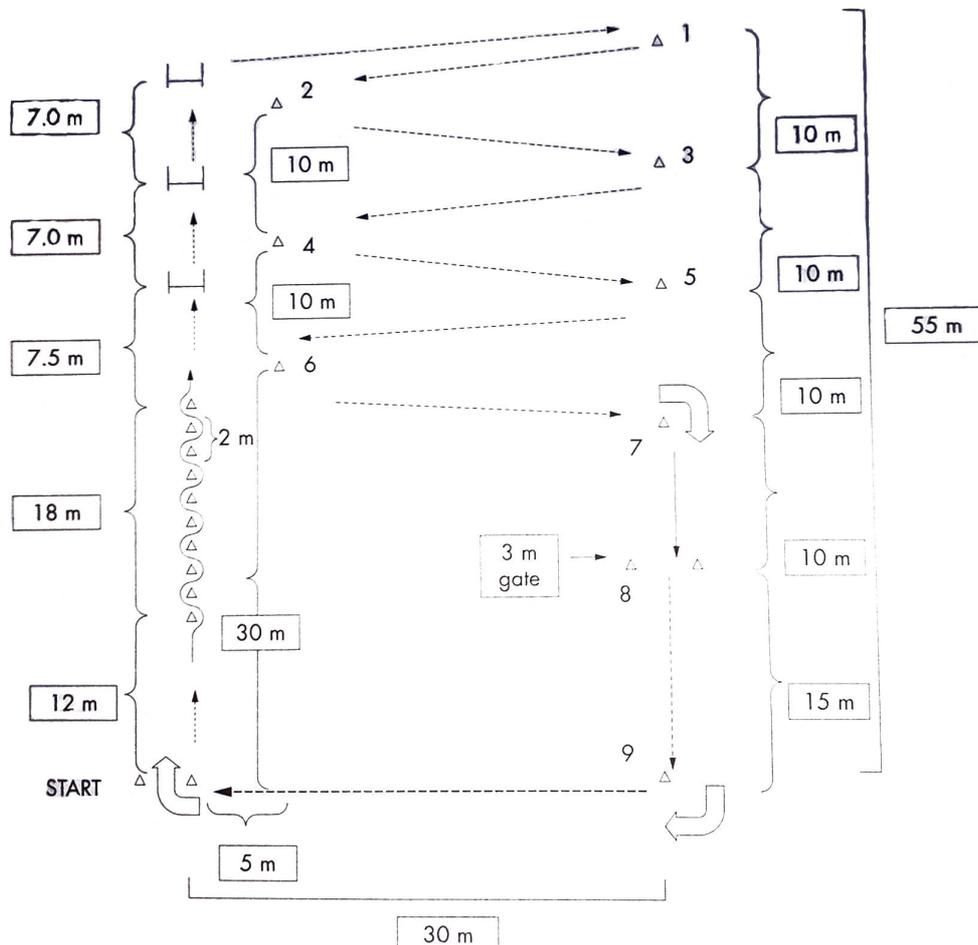


Abb. 16: Hoff Test mit dem Ball am Fuß. Zwischen dem Hütchen Nr. 7 und dem Tor (Nr. 8) wird der Ball im Rückwärtslauf gedribbelt. Hürdenhöhe ist 30 - 35 cm und eine Runde sind 290 m. Von der 3. Hürde zum 1. Hütchen sind es 30,5 m und zwischen den Hütchen 1, 2, 3, 4, 5, 6 und 7 sind es 25,5 m. (nach Chamari, Hachana, Kaouech, Jeddi, Moussa-Chamari & Wisloff, 2005, S. 26)

Chamari et al. (2005) demonstrierten mit Hilfe von 18 männlichen U15 Fußballspielern einen signifikanten Zusammenhang zwischen den im Labor gemessenen VO_{2max} -Werten und den Ergebnissen beim Hoff Test. Abb. 17 zeigt die Beziehung zwischen der zurückgelegten Distanz beim Hoff Test und den VO_{2max} -Werten. Zur Durchführung des Hoff Tests wurde der Dribbelparcours aus Abb. 6 in abgeänderter Form, siehe Abb. 16, zehn Minuten lang mit dem Ziel eine möglichst große Distanz zurückzulegen, durchgeführt. Die Probanden bekamen nach fünf und neun Minuten ein Signal zur Orientierung. Es liefen fünf Spieler mit je einminütiger Verzögerung auf einmal.

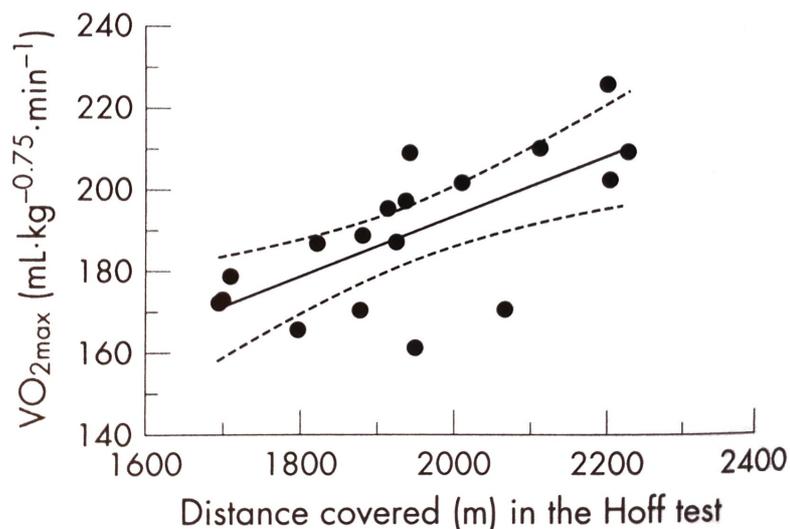


Abb. 17: Beziehung zwischen der zurückgelegten Distanz beim Hoff Test und den VO_{2max} -Werten. Die durchgezogene Linie zeigt die lineare Regression und die unterbrochenen Linien das 95 % Konfidenzintervall. $R = 0,68$, $p < 0,01$. (nach Chamari et al., 2005, S. 26)

Chamari et al. (2005) zeigten weiters, dass auch die Verbesserung der VO_{2max} im Hoff Test, in Form von weiteren Distanzen, beobachtet werden kann. Hierzu wurden die Probanden acht Wochen lang zweimal die Woche trainiert. Einmal pro Woche kam der Hoff-Test-Parcours und einmal eine kleine Spielform zum Einsatz. Beide Trainingsmethoden wurden jeweils 4 x 4 Minuten bei 90 - 95 % der HRmax mit aktiven Erholungspausen von drei Minuten bei 60 - 70 % der HRmax durchgeführt. Die gesteigerten VO_{2max} -Laborwerte konnten in weiteren Distanzen während des Hoff Tests bestätigt werden. Die Forschungsgruppe empfiehlt als Trainingsziel für aktive U15 Spieler mehr als 2.100 m während dem Hoff Test zurückzulegen, weil das einer VO_{2max} von über 200 ml/kg^{-0.75}/min. entspricht und als Minimum im modernen Fußball angesehen werden kann. (vgl. Chamari et al., 2005)

4.3 Spiroergometrie

Kroidl et al. (2009) beschreiben die Spiroergometrie folgendermaßen. Bei der Spiroergometrie wird die Leistung der Atmung unter den Bedingungen einer Belastung gemessen. Dabei ist aber nicht nur der Atemtrakt beteiligt. Vielmehr handelt es sich um ein Zusammenspiel des Herz-/Kreislauf-, Skelett- und Nervensystems, der Muskulatur sowie dem Stoffwechsel (Zellatmung). Sie wird unter anderem zur Bestimmung von Leistungsgrenzen (aerobe und anaerobe Schwelle) im Alltagssport eingesetzt. Gemessen werden das Atemminutenvolumen (V_E), die ausatmete CO_2 -Konzentration (V_{CO_2}), die eingeatmete O_2 -Konzentration (V_{O_2}) und die Herzfrequenz. Abb. 18 zeigt das Messprinzip der Spiroergometrie. (vgl. Kroidl et al., 2009)

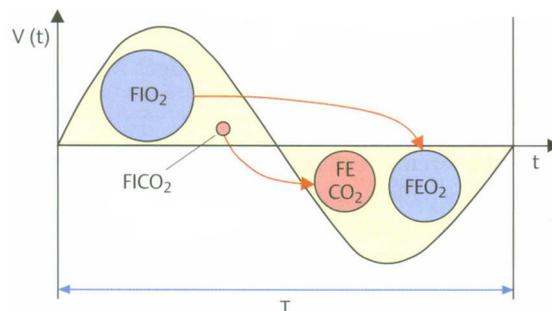


Abb. 18: Messprinzip der Spiroergometrie. FI bzw. FE = Fraktion (= Anteil) des Gases in der Inspirations- bzw. Expirationsluft. T = Zeit für 1 Atemzyklus. (nach Kroidl et al., 2009, S. 15)

Hollmann, Strüder, Predel und Tagarakis (2006) berichten von durchschnittlichen Atemminutenvolumen-Werten bei leistungsfähigen männlichen Personen von 120 bis 140 l/min und Maximalwerten um 250 ml/min bei ausdauertrainierten Spitzenathleten. Das Atemminutenvolumen setzt sich aus Atemfrequenz (AF) und Atemzugvolumen (VT) zusammen. (vgl. Hollmann et al. 2006)

Nach Kroidl et al. (2009) kommen zur Ermittlung der Atemvolumina meist das Prinzip Turbine oder Differenzdrucksensoren zum Einsatz. Die Atemgas-Analyse beruht auf unterschiedlichen Prinzipien. Die CO_2 Messung nutzt das Prinzip der Infrarot-Absorption.

„CO₂ absorbiert Licht einer bestimmten Wellenlänge (Farbe), nämlich im Infrarot. Ein pulsierender Lichtstrahl wird durch die Gasküvette geführt. Die Lichtabsorption für eine spezifische Wellenlänge wird gemessen.“ (Kroidl et al., 2009, S. 16)

Kroidl et al. (2009) befinden das Prinzip der Galvanischen (chemischen) Zelle zur O₂-Messung als das am häufigsten eingesetzte. Die expirierte Luftprobe wird mittels des Probenschlauchs (sample line) vom Mundstück der Maske zu den Gasanalysatoren transportiert. In diesem Schlauch steckt ebenfalls eine Menge Technik, die die 100 % angefeuchtete und auf 37°C angewärmte ausgeatmete Luft auf Umgebungstemperatur herabkühlt und von der Wasserdampf-Sättigung befreit. Bevor die Spiroergometrie starten kann müssen folgende Punkte erledigt werden.

- Gerät anstellen, damit es bis zur Eichung warmläuft
- Eichung der Geräte
- O₂-Sensor (Galvanische Zelle) überprüfen
- Ist der Probenschlauch trocken?
- Sind die Daten der Eichgasflasche korrekt in das System eingelesen?
- Sind die Umweltdaten (Temperatur, Barometerdruck, Luftfeuchte) eingelesen?

(vgl. Kroidl et al., 2009)

Sind die Vorkehrungen getroffen kann die Spiroergometrie beginnen. Je nach Zweck der Untersuchung kommt ein bestimmtes Belastungsprotokoll zB am Laufband- oder am Fahrradergometer zum Einsatz. Wie kann man im Anschluss die anaerobe Schwelle bestimmen?

4.3.1 Bestimmung der aeroben und anaeroben Schwelle bzw. VAT und RC

Kroidl et al. (2009) weisen auf das Verwirrungspotential, das die verschiedenen Bezeichnungen mit sich bringen, hin. Prinzipiell sind die Begriffe eindeutig festgelegt. Die aerobe Schwelle bezeichnet den Beginn und die anaerobe Schwelle das Ende des aerob-

anaeroben Übergangs. Im Zusammenhang mit der Spiroergometrie werden die Begriffe „Ventilatorische Anaerobe Schwelle“ (VAT, Punkt an dem von aerob auf anaeroben Stoffwechsel umgestellt wird) und „Respiratorische Kompensation“ (RC) eingesetzt. Die VAT entspricht aus physiologischer Sicht der aeroben Schwelle, wurde aber von Wassermann als anaerobe Schwelle oder Laktat-Schwelle bezeichnet. Da sich diese Begrifflichkeit durchgesetzt hat, darf man sich nicht verwirren lassen. Wenn Wassermann von der anaeroben Schwelle berichtet, ist demnach die VAT und nicht das Ende des aerob-anaeroben Übergangs gemeint. (vgl. Kroidl et al., 2009)

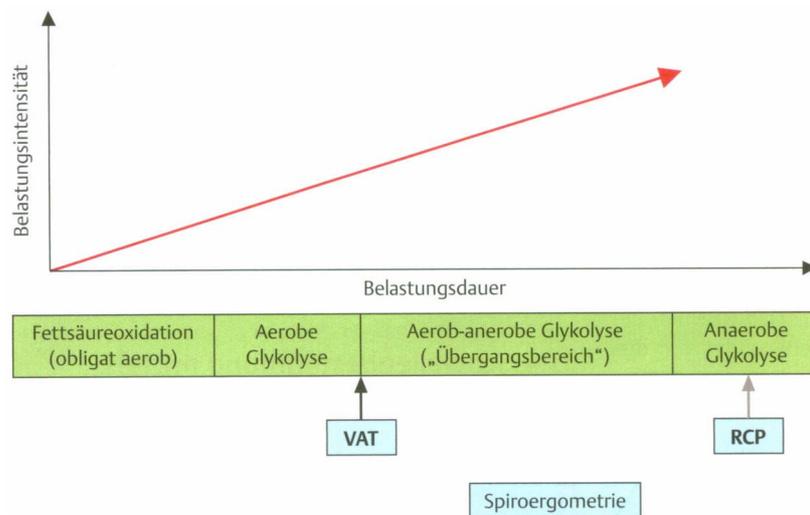


Abb. 19: Energiebereitstellung und ventilatorische Schwellen (nach Kroidl et al., 2009, S. 208)

Kroidl et al. (2009) haben in Abb. 19 die verschiedenen Stoffwechselbereiche dargestellt. Diese führen jeweils zu unterschiedlichem CO_2 -Ausstoß, der mit Hilfe der Spiroergometrie erfasst werden kann. (vgl. Kroidl et al., 2009)

Nach Wassermann, Hansen, Sue und Whipp (1987; zitiert nach Hollmann et al., 2006, S. 109) kommen vier Kriterien zur Bestimmung der anaeroben Schwelle (VAT) nach der Messung des Gasaustausches zur Anwendung.

- V-Slope-Methode nach Beaver. In einem Diagramm wird die O_2 -Aufnahme und die CO_2 -Abgabe dargestellt. Kommt es während eines Rampenprogramms zu einem überlinearen Anstieg der CO_2 -Kurve in Relation zur O_2 -Kurve ist die ventilatorische anaerobe Schwelle (VAT) erreicht (siehe Abb. 20).

- Zunahme des Atemäquivalents ($= VE/VO_2$) für Sauerstoff. Durch die überproportionale Zunahme der CO_2 -Abgabe an der anaeroben Schwelle wird das Atemminutenvolumen proportional zur CO_2 -Abgabe erhöht. Daher steigt auch das Atemäquivalent überproportional, weil das Atemminutenvolumen im Zähler in Relation zur O_2 -Aufnahme im Nenner größer wird und Rückschlüsse in Bezug auf die anaerobe Schwelle gibt.
- Zunahme des endexpiratorischen O_2 -Partialdrucks (P_{ETO_2}). Die Kurve steigt aufgrund der Hyperventilation an der anaeroben Schwelle.
- Zunahme des respiratorischen Quotienten ($RQ = CO_2\text{-Abgabe}/O_2\text{-Aufnahme}$). Der mittlere Ruhewert des RQ liegt bei 0,85. Wird der Wert 1 erreicht nähert man sich dem Grenzbereich seiner/ihrer Leistungsfähigkeit.

(vgl. Hollmann et al., 2006)

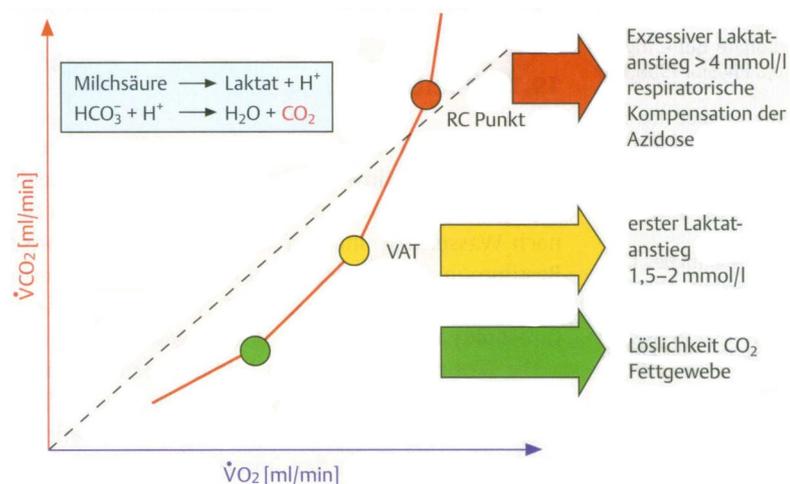


Abb. 20: Bestimmung der VAT mittels V-Slope. Die unterbrochene Linie entspricht einem RER von 1,0. (nach Kroidl et al., 2009, S. 110)

Kroidl et al. (2009) ergänzen, dass die drei Knickpunkte in Abb. 20 nicht immer so eindeutig oder gar nicht zu ermitteln sind. Der erste Knickpunkt markiert den Belastungsbeginn und der zweite die VAT (die anaerobe Schwelle nach Wassermann und Beaver). Der dritte Knickpunkt zeigt die RC, bei der die zunehmende Azidose (Absinken des pH-Wertes im Blut unter 7,35) durch Hyperventilation auszugleichen versucht wird. Erkennbar ist die RC wenn man die VE gegen die VCO_2 aufträgt. Sie verlaufen bis zu RC gleich, dann ist die VE steiler (höher) als die VCO_2 . RER beschreibt die „Respiratory Exchange Rate“. RER 1 ist jener Punkt an dem die VCO_2 -Kurve die VO_2 -Kurve kreuzt,

also die CO₂-Abgabe höher als die O₂-Aufnahme ist. (vgl. Kroidl et al., 2009)

4.3.2 Ausbelastungskriterien

Kroidl et al. (2009) führen folgende Kriterien, die ein Indiz für eine Ausbelastung sein können, an. Um den Ausbelastungsgrad gut einordnen zu können, sollten alle Parameter untersucht werden. Eine Ausbelastung ist notwendig, um die VO₂max, die EKG-Kurvenmorphologie und die maximale Herzfrequenz valide zu ermitteln.

- Plateaubildung der Herzfrequenzkurve trotz weiter ansteigender Belastung
- Plateaubildung der Sauerstoffaufnahmekurve trotz weiter ansteigender Belastung
- Respiratorischer Quotient > 1,1
- Atemfrequenz > 50/min
- Atemäquivalent CO₂ > 35 - 38
- Laktatwerte von > 8 - 10 mmol/l
- Subjektives Belastungsempfinden von ≥ 17 in der 15-Punkte RPE-Skala nach Borg

(vgl. Kroidl et al., 2009)

5 Empirischer Teil

5.1 Studiendesign

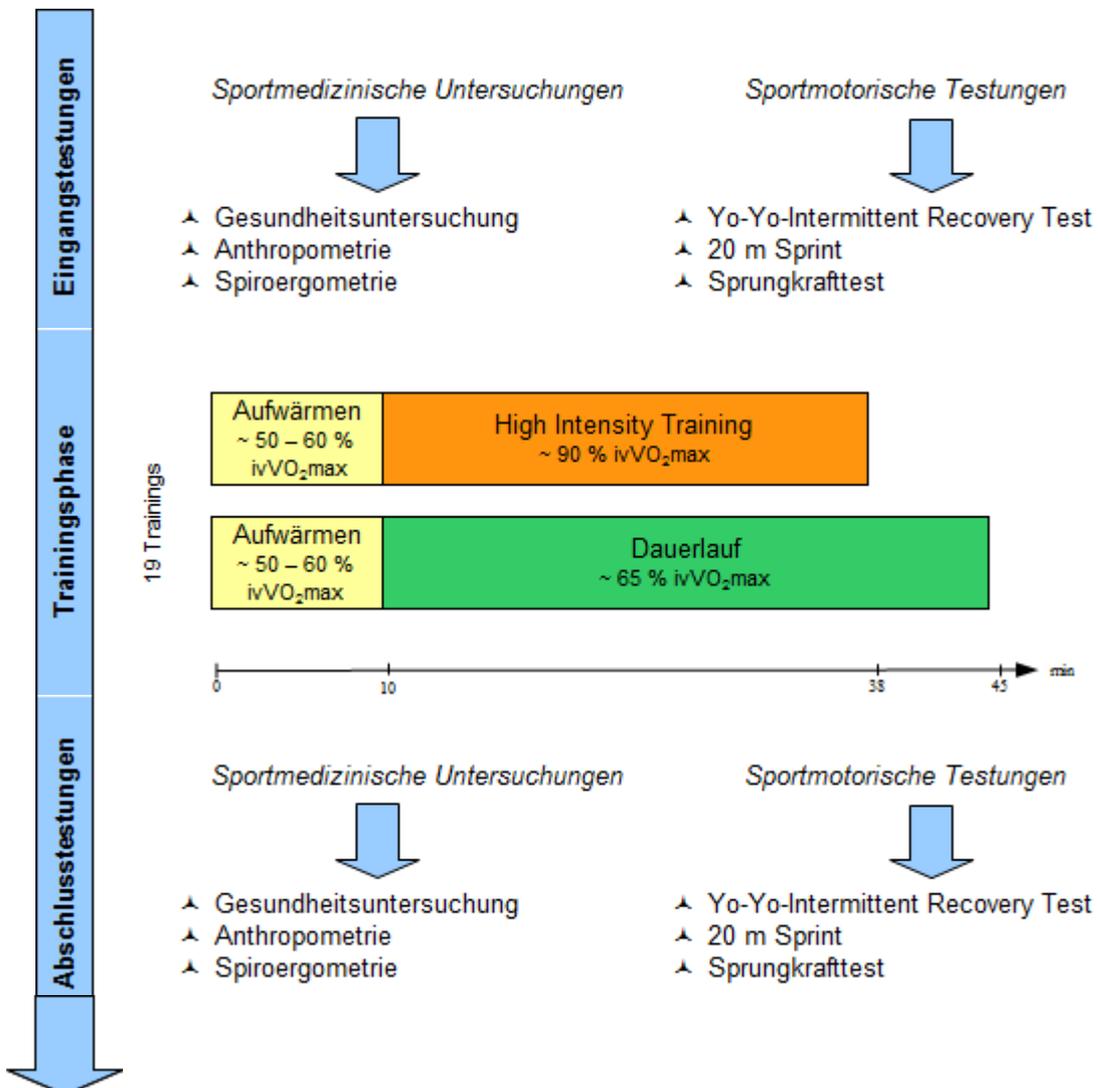


Abb. 21: Studiendesign der durchgeführten empirischen Arbeit

Das in Abb. 21 dargestellte Studiendesign wird im Folgenden ausführlich beschrieben. Die gesamte Studie erstreckte sich von 17.11.2009 bis 29.01.2010 und die Trainingsphase bestand aus drei Teilen (1. Trainingsphase mit 10, Heimtrainingsphase mit 3 und die 2. Trainingsphase mit 6 Trainingseinheiten).

Zwei Gruppen von Elite-Nachwuchs-Fußballspielern absolvierten über einen Zeitraum von

7 Wochen 19 spezielle Ausdauertrainingseinheiten. Die Spieler trainierten jeweils dreimal pro Woche nach einem vorgegebenen individuellen Intervalltrainings- (High Intensity Training) oder Dauerlaufprogramm, je nach Gruppe. Vor und nach der Trainingsintervention wurden sportmedizinische und sportmotorische Untersuchungen durchgeführt, um die Effekte der unterschiedlichen Trainingsformen miteinander vergleichen zu können.

Die Fragestellung lautete, ob ein 5-wöchiges Intervalltraining bessere Auswirkungen auf die maximale Sauerstoffaufnahme als ein moderates Ausdauertraining (Dauerlauf) mit gleicher „Work-load“ aber längerer Dauer, hat. Weiters lag es in unserem Interesse, zu ermitteln, ob unterschiedliche Entwicklungen in Bezug auf die Parameter Kraft (Sprung) und Schnelligkeit (Sprint) auftreten.

5.1.1 Probanden

Die Probanden für diese Studie bestanden aus 37 Fußballspielern des Bundesligavereins SK Rapid Wien. Sie waren zwischen 14 und 18 Jahre alt (U15 bis U19) und gehörten einer speziellen altersübergreifenden Trainingsgruppe, „Pro Rapid“, an. In dieser Gruppe trainieren lediglich die größten Nachwuchshoffnungen.

5.1.2 Kriterien für eine erfolgreiche Studienteilnahme

Einschlusskriterien

Die Probanden mussten folgende Kriterien erfüllen:

- männliche Fußballspieler des Vereins SK Rapid Wien
- Mitglied der Trainingsgruppe „Pro Rapid“
- Alter zwischen 14 und 18 Jahren

Ausschlusskriterien

Zum Ausschluss aus der Studie reicht die Erfüllung eines der Ausschlusskriterien.

- Schwerwiegende kardiovaskuläre, pulmonale oder metabolische Erkrankung(en), die die Teilnahme an den Tests mit Ausbelastung bzw. ein intensives Ausdauertraining nicht erlauben
- Bekannte Autoimmunkrankheit oder Erkrankung des Immunsystems betreffend
- Infekt in der Woche vor den Eingangstestungen
- Einnahme von Medikamenten, die das Immunsystem modulieren, z.B. nichtsteroidale Antirheumatika
- Teilnahme an weniger als 15 (80 %) der insgesamt 19 Trainingseinheiten (16 Trainings am Universitätsgelände und drei Einheiten zuhause in den Ferien)

5.1.3 Stichprobenaufteilung

Nach den Eingangstestungen wurde die Stichprobe in eine Intervall- und eine Dauerlaufgruppe geteilt, in der die Spieler während der gesamten Studiendauer trainierten. Die Zuordnung erfolgte aufgrund der Ergebnisse der Spiroergometrie am Laufband mit folgender Vorgehensweise. Es wurde eine Reihung der Spieler basierend auf der maximalen Sauerstoffaufnahme erstellt. Anschließend wurden die Probanden der Reihe nach in 6er Gruppen eingeteilt. Innerhalb dieser 6er Gruppen wurden jeweils 3 Probanden in die Intervalltrainingsgruppe und 3 in die Dauerlaufgruppe gelost. Dadurch war gewährleistet, dass die beiden Trainingsgruppen gleich stark besetzt wurden. Zum Beispiel wurden von den ersten 6 Probanden, die die höchsten Werte erreicht haben (maximale Sauerstoffaufnahme), 3 in die Intervalltrainingsgruppe und 3 in die Dauerlaufgruppe gelost, usw.

5.1.4 Antrag Ethikkommission

Alle Probanden wurden genau über den Inhalt der Studie aufgeklärt und davon in Kenntnis gesetzt, dass sie jederzeit, auch ohne Angabe von Gründen die Teilnahme abbrechen können. Alle Studienteilnehmer unterzeichneten die entsprechende Einverständniserklärung, welche wie die gesamte vorliegende Untersuchung, von der Ethikkommission der Medizinischen Universität Wien geprüft und als ethisch unbedenklich angesehen wurde (Protokollnummer: EK Nr. 900/2009).

5.1.5 Einverständniserklärung der Erziehungsberechtigten

Bei einer Informationsveranstaltung wurden die Spieler, die Eltern sowie die Trainer der Spieler über die Ziele, Fragestellung und praktische Durchführung der Studie aufgeklärt. Sie erhielten Informationsblätter und hatten eine Woche Zeit, sich für oder gegen eine Teilnahme zu entscheiden. Die Spieler, beziehungsweise deren Erziehungsberechtigten, die an der Studie teilnahmen unterzeichneten eine Einverständniserklärung.

5.2 Methoden

5.2.1 Eingangstestungen

5.2.1.1 Sportmedizinische Untersuchungen

5.2.1.1.1 Grobklinische und groborthopädische Untersuchung

Vor Aufnahme in die Studie erfolgte eine standardisierte sportmedizinische Gesundheitsuntersuchung, um medizinische Kontraindikationen für die Teilnahme an einem Test mit maximaler Ausbelastung bzw. einem Ausdauertrainingsprogramm festzustellen. Diese Untersuchung fand am Österreichischen Institut für Sportmedizin (ÖISM) statt und wurde von einem dort tätigen Sportarzt durchgeführt.

5.2.1.1.2 Anthropometrie

Zur Ermittlung der anthropometrischen Daten wurden Größe und Gewicht der Probanden ermittelt. Die Körperzusammensetzung wurde mittels Bioimpedanzmessung (Nutrigoard-S, Data-Input) erhoben.

5.2.1.1.3 Spiroergometrie am Laufband

Bei diesem Test zur Ermittlung der aeroben Kapazität wurde auf einem Laufband (HP Cosmos, Quasar) eine Spiroergometrie (Viasys health care, Master Screen CPX) durchgeführt. Die Startbelastung von 8 km/h wurde ab der 7. Minuten jede Minute um 1 km/h bis zur Ausbelastung erhöht. Für die Auswertung wurde neben der maximalen Herzfrequenz auch die maximale Sauerstoffaufnahme in ml/kg/min^{-1} Körpergewicht erhoben.

Im Anschluss an die Spiroergometrie am Laufband wurde ein Nachbelastungslaktat durchgeführt. Dies geschah zu vier Zeitpunkten. Eine, drei, fünf und sieben Minute(n) nach der Ausbelastung bei der Spiroergometrie. Das sollte Aufschluss darüber geben, ob die Laktatwerte durch die Trainingsintervention bei den Abschlusstestungen höher liegen (verbesserte Laktatverträglichkeit der Probanden) und ob sich die Regenerationsfähigkeit (Verlauf vom 1. bis zum 4. Laktatwert) verbessert.

Da maximal 5 Probanden pro Tag eine Spiroergometrie absolvieren konnten, erstreckten sich die Untersuchungen auf eine Dauer von zwei Wochen (17. bis 27. November 2009).

Bestimmung der aeroben und anaeroben Schwelle

Mit den folgenden Werten, die während der Spiroergometrie gespeichert wurden, ermittelten wir die aerobe und anaerobe Schwelle. Dazu wurden 4 Diagramme mit Kurven des Verlaufes des Atemminutenvolumens ($V'E$), der O_2 -Aufnahme ($V'O_2$), der CO_2 -

Ausscheidung ($V'CO_2$), des Atemäquivalent für O_2 (EqO_2), des Atemäquivalent für CO_2 ($EqCO_2$), des Endexpiratorischer Partialdruck von O_2 ($PETO_2$) und des Endexpiratorischer Partialdruck von CO_2 ($PETCO_2$) erstellt.

Aus Mangel an einer entsprechenden Software, mit der die Auswertung komfortabel durchzuführen gewesen wäre, wurde von mir ein Programm zur Auswertung der Spiroergometrie-Daten entwickelt. Bei diesem genügt es, die oben angeführten Werte einzufügen um die Diagramme automatisch zeichnen zu lassen. Die 4 Diagramme enthalten zusätzlich jeweils 4 vertikale Linien, die die Startlinie, die aerobe, die anaerobe Schwelle und die Endlinie darstellen (siehe Abb. 22). Diese 4 Linien können interaktiv und in den 4 Diagrammen zugleich per Schieberegler an die richtige Position gesetzt werden. Die zugehörigen Werte von Interesse (km/h, Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme) an den Schwellen werden sofort aktualisiert und ausgegeben.

	Zeitpunkt:	km/h	Puls	VO_2
Start	4	8,0	152	2.592
1. Schwelle	17	10,5	189	3.086
2. Schwelle	23	13,5	204	3.816
Ende	28	16,0	210	4.368

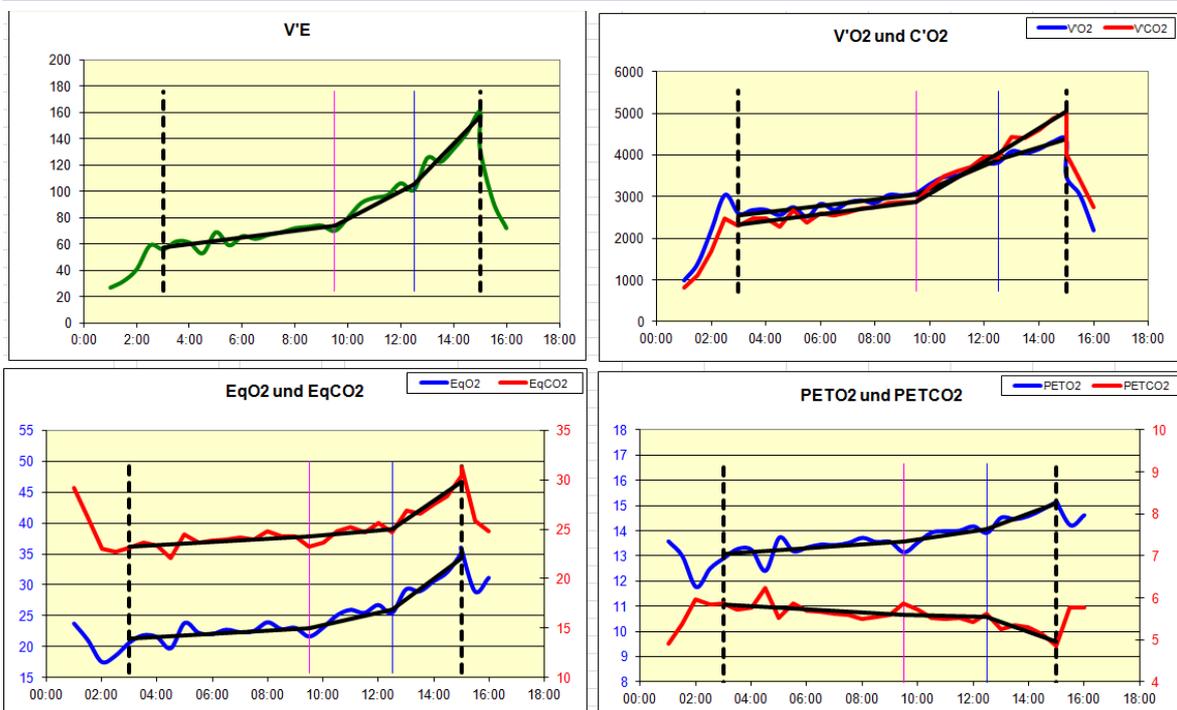


Abb. 22: Entworfenes Programm zur Schwellenbestimmung nach der Spiroergometrie

5.2.1.2 Sportmotorische Testungen

Die sportmotorischen Testungen fanden aus organisatorischen Gründen an zwei Terminen statt (21. und 23. November 2009).

5.2.1.2.1 Ausdauer - Yo-Yo-Intermittent Recovery Test (Level 1)

Zur Ermittlung der fußballspezifischen Ausdauer wurde der Yo-Yo-Intermittent Recovery Test ausgeführt (Krustrup et al., 2003, Bangsbo et al., 2008). Dieser Test zielt auf die Regenerationsfähigkeit nach intensiver Belastung ab. Hierbei laufen die Probanden auf einer 20 m Strecke hin und her und dürfen sich nach diesen 40 Meter für 10 Sekunden erholen, indem sie um ein Hütchen traben, welches 5 m vor der Startlinie steht. Das Starttempo beträgt 10 km/h und wird mittels Signalton aus einer vorgefertigten CD vorgegeben. Die Geschwindigkeit wird im Laufe des Tests kontinuierlich gesteigert bis der Proband dem Tempo nicht mehr folgen kann. Dann wird der Test für diese Person abgebrochen und die bis dahin zurückgelegte Strecke für die Auswertung notiert.

Weiters wurde die maximale Herzfrequenz aufgezeichnet und die maximale Sauerstoffaufnahme in ml/kg/min^{-1} Körpergewicht errechnet. Dazu wurde die Formel von Bangsbo et al. (2008) verwendet:

$$VO_2\text{max (ml/kg/min}^{-1}\text{)} = IR\ 1\ \text{distance (m)} \times 0,0084 + 36,4$$

(vgl. Bangsbo et al., 2008, S. 47)

5.2.1.2.2 Schnelligkeit - 20 m Sprint

Die Messung der Schnelligkeit erfolgte mittels eines maximalen Sprints über 20 Meter. Dabei standen die Probanden in Schrittstellung einen Meter vor der eigentlichen Startlinie und durchliefen mit schnellstmöglicher Geschwindigkeit eine vorgegebene 20 m Strecke. Mit einer elektronischen Lichtschrankenanlage (Brower Timing Systems) wurde bei der Startlinie die Zeit ausgelöst bzw. bei 5, 10 und 20 Metern die Zwischen- und Endzeit

ermittelt. Die Probanden pausierten 5 Minuten zwischen den Versuchen, um eine optimale Erholung zu gewährleisten.

5.2.1.2.3 Sprungkraft

Als Test zur Ermittlung der vertikalen Sprungkraft wurde der stiff-leg jump, der auch in der Studie von Castagna, Chaouachi, Rampinini, Chamari und Impellizzeri (2009) zum Einsatz kam, ausgewählt. Im Unterschied zu der Vorgehensweise von Castagna et al. (2009) sprangen die Probanden durchgehend 6 Mal auf einer Kontaktmatte (Fitro Jumper, Fitronic s.r.o.). Dabei handelte es sich um beidbeinige Sprünge, die ohne Armeinsatz durchgeführt wurden. Die Arme wurden an die Hüfte gelegt um die Ausholbewegung nicht zu unterstützen. Bei diesem Test wurden die besten Werte und der Durchschnitt der besten 3 Versuche der Bodenkontaktzeit (in sek), der vertikalen Sprunghöhe (in cm) und des errechneten Sprungkraftindex protokolliert.

5.2.2 Erste Trainingsphase

Die erste Trainingsphase bestand aus 10 Trainingseinheiten, die in dem Zeitraum zwischen 30. November und 22. Dezember 2009 stattfanden. Die Probanden trainierten 3 x pro Woche in ihrer zugeteilten Trainingsgruppe (Intervalltrainings- bzw. Dauerlaufgruppe).

5.2.2.1 Intervalltrainingsgruppe

Die Intervalltrainingsintervention bestand aus einem viermaligen 4 min Laufintervall bei einer Intensität von 90 % der individuellen Geschwindigkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme ($ivVO_2max$) während der Spiroergometrieuntersuchung. Die Intensität sollte weiters im Bereich von 90 - 95 % der individuellen Herzfrequenz ($iHfmax$) liegen (Helgerud et al., 2001, McMillan et al., 2005, Impellizzeri et al., 2006). Da die Herzfrequenz jedoch träge auf Be- und Entlastungen reagiert, wurde die Intensität

vorrangig aufgrund der $v\text{VO}_2\text{max}$ bestimmt. Zur Kontrolle wurden die individuellen Herzfrequenzen nach jedem Intervall protokolliert, um die Intensität gegebenenfalls zu regulieren. Zwischen den Intervallen und nach dem letzten Intervall wurden Trabperioden von 3 min bei 50 - 60 % der $iv\text{VO}_2\text{max}$ absolviert. Vor dem Intervalltraining wurde jeweils eine 10-minütige Aufwärmphase eingehalten, bei welcher ebenfalls mit einer Intensität von 50 - 60 % der $iv\text{VO}_2\text{max}$ gelaufen wurde. Insgesamt betrug daher die Dauer einer Intervalltrainingseinheit 38 min.

Das Intervalltraining fand auf einer 400 m Laufbahn statt, auf der zwei Startpositionen bzw. Kontrollpunkte eingerichtet wurden. Die Spieler starteten zugleich auf ihrer zugewiesenen Startposition und bekamen alle 200 m ein Feedback über ihre Laufgeschwindigkeit. So konnten die Probanden sofort reagieren sollten sie nicht bei einer Intensität von 90 % der $iv\text{VO}_2\text{max}$ laufen. Den Spielern gelang es sehr gut, ihre individuellen Laufgeschwindigkeiten einzuhalten.

Die Intervalltrainingsgruppe bestand aus 19 Probanden, die aufgrund der vorangegangenen Testungen in 5 Geschwindigkeits-Gruppen aufgeteilt wurden. Die Gruppen liefen mit einer Geschwindigkeit von 16, 15,5, 15, 14,5 und 14 km/h.

5.2.2.2 Dauerlaufgruppe

Die Dauerlauftrainingsintervention bestand aus einem ununterbrochenen Lauf von 35 min bei einer Intensität von 65 % der $iv\text{VO}_2\text{max}$. Vor dem Dauerlauftraining wurde für 10 min eine Aufwärmphase eingehalten, bei welcher mit einer Intensität von 50 - 60 % der $iv\text{VO}_2\text{max}$ gelaufen wurde. Insgesamt betrug daher die Dauer einer Dauerlauftrainingseinheit 45 min.

Der Dauerlaufgruppe gehörten 18 Probanden an, die aufgrund der vorangegangenen Testungen in 4 Geschwindigkeits-Gruppen aufgeteilt wurden. Die Gruppen liefen mit einer Geschwindigkeit von 12, 11, 10 und 9 km/h.

Die einzelnen Gruppen starteten jeweils um 1 Minute zeitversetzt. Die Startreihenfolge

war von der schnellsten zur langsamsten Gruppe. Die Dauerlaufgruppen liefen jeweils 1-km-Runden und erhielten nach jeder Runde ein Feedback über ihre Laufgeschwindigkeit. Weiters gab es zwei Kontrollpunkte, nach 200 und 500 m, bei denen sie ihre Laufgeschwindigkeit selbst überprüfen konnten. Dafür bekamen sie Kontrollzettel mit jenen Zeitangaben, bei denen sie jeweils bei den Kontrollpunkten sein sollten.

5.2.2.3 Dauer der Trainingsprogramme

Die Dauer der beiden Trainingsprogramme ist so gestaltet, dass die physiologische Beanspruchung beider Gruppen in etwa gleich ist. Hierfür wurde der Sauerstoffverbrauch der Probanden bei 90% (Intervalltrainingsgruppe) und 65% (Dauerlaufgruppe) der $\dot{V}O_{2\max}$ berechnet. In weiterer Folge wurde mittels dem metabolischen Äquivalent der Kalorienverbrauch pro Minute für beide Gruppen ausgerechnet. Jener der Intervalltrainingsgruppe wurde auf deren Trainingszeit hochgerechnet und im Anschluss konnte die Dauer des Dauerlaufgruppen-Trainingsprogramms so abgestimmt werden, dass der Kalorienverbrauch beider Trainingsgruppen annähernd gleich ist.

5.2.2.4 Trainingsprotokoll

In den aktiven Trainingsphasen wurde jede Trainingseinheit mittels Herzfrequenzmessung und Trainingsprotokoll aufgezeichnet. Weiters wurde der subjektiv empfundene Grad der Trainingsbelastung, Rate of Perceived Exertion (RPE), der Probanden nach jedem Training erhoben. Dafür wurde die RPE-Skala von 6 (Sehr sehr leicht, praktisch keine Belastung) bis 20 (Maximale Belastung bzw. Anstrengung) verwendet (nach Borg, 1973, siehe oben, Tab. 2). Den Probanden wurde eine deutsche Version der Borg-Skala, die in Tab. 7 ersichtlich ist, vorgelegt.

Tab. 7: Eingesetzte Borg-Skala

	6
Sehr sehr leicht praktisch keine Belastung	7
	8
Sehr leicht, ganz lockeres "Spazierenfahren"	9
	10
Leicht, locker wenig anstrengend	11
	12
Ein wenig härter, anstrengend	13
	14
Hart	15
	16
Sehr hart, sehr anstrengend und ermüdend	17
	18
Extrem hart, Belastung kann nicht lange toleriert werden	19
Maximale Belastung bzw. Anstrengung	20



5.2.3 Heimtrainingsphase

Aufgrund der zeitlichen Gegebenheiten (Weihnachtsferien) gab es zwischen 23. Dezember 2009 und 4. Jänner 2010 keine gemeinsamen Trainingseinheiten. In diesem Zeitraum absolvierten die Probanden selbstständig 3 Trainingseinheiten.

5.2.4 Zweite Trainingsphase

Im Jänner 2010 (5. bis 16.) fand die zweite Trainingsphase, die aus 6 Trainingseinheiten bestand, statt. Die Trainingsinhalte der beiden Trainingsgruppen entsprachen jenen der ersten Trainingsphase.

5.2.5 Abschlusstestungen

Bei den Abschlusstestungen wurden erneut die sportmedizinischen Untersuchungen (grobklinische und groborthopädische Untersuchung, Anthropometrie und Spiroergometrie am Laufband) und die sportmotorischen Tests (Ausdauer, Schnelligkeit und Sprungkraft)

durchgeführt. Die Abschlusstestungen erstreckten sich von 22. bis 29. Jänner 2010. Sie beanspruchten weniger Zeit als die Eingangstestungen, weil leider nicht alle Probanden die Studie erfolgreich beenden konnten. 15 der 37 Probanden (drop-out Quote 40,5 %), die die Studie antraten, konnten aus folgenden Umständen die Studie nicht erfolgreich absolvieren.

- Verletzung oder Krankheit innerhalb des Studienzeitraums
- Wechsel vom Nachwuchs- zum Amateurlager oder zu einem anderen Verein
- Trainingsbeteiligung von 80 % wurde unterschritten (Gründe: lernen für die Schule, Skikurse, Musterung, etc.)
- Abwesenheit bei den Abschlusstestungen

22 Probanden, elf pro Trainingsgruppe, erfüllten die Kriterien für einen positiven Studienabschluss. Ausschließlich ihre Daten wurden für die Auswertungen herangezogen.

5.3 Statistik

Die nachfolgenden Signifikanztests wurden mittels zweifaktorieller Varianzanalyse mit Messwiederholung erstellt. Verglichen wurden jeweils zwei Messzeitpunkte, die die Werte der Eingangs- und der Abschlusstestungen repräsentierten. Der Innersubjektfaktor (Messzeitpunkte) bestand aus zwei Stufen und der zweite Faktor (Zwischensubjektfaktor) war stets die Variable Trainingsgruppe (Intervalltrainings- und Dauerlaufgruppe). Das Signifikanzniveau wurde auf 0,05 festgelegt (Konfidenzintervalle sind 95 %). Für die Überprüfung der Anwendungsvoraussetzungen für die Varianzanalyse wurde der Mauchly Test (Varianzhomogenität) sowie der Kolmogorov-Smirnov Test (Normalverteilung) herangezogen. Der Kolmogorov-Smirnov Test wurde jeweils für alle Probanden (zwei Tests, einer für die Werte des ersten und einer für die des zweiten Messzeitpunktes) sowie für beide Trainingsgruppen (4 Tests, zwei Messzeitpunkte für Intervalltrainingsgruppe und zwei für die Dauerlaufgruppe) berechnet (gesamt sechs Tests auf Normalverteilung). Die Auswertungen wurden mit dem Statistikprogramm PASW Statistics 18 Version 18.0.0 durchgeführt.

5.4 Ergebnisse

5.4.1 Alter

In Tab. 8 ist das Alter der Probanden nach Trainingsgruppe sortiert aufgelistet. Die Stichprobengröße (N) beträgt nur noch 22, elf pro Trainingsgruppe, weil 15 Probanden die Studie nicht erfolgreich beenden konnten (siehe oben).

Tab. 8: Alter der Probanden nach Trainingsgruppe (N = 22)

Alter	Intervalltrainingsgruppe	Dauerlaufgruppe	Gesamt
14	5	1	6
15	1	5	6
16	3	3	6
17	2	2	4
Gesamt	11	11	22

Tab. 9: Alter der Probanden: Mittelwert und Standardabweichung nach Trainingsgruppe und gesamt (N = 22)

Trainingsgruppe	Mittelwert	Standardabweichung	N
Intervalltrainingsgruppe	15,18	1,250	11
Dauerlaufgruppe	15,55	,934	11
Insgesamt	15,36	1,093	22

Die Probanden waren zu Studienbeginn (November 2009) im Durchschnitt 15,36 ($\pm 1,093$) Jahre alt (siehe Tab. 9).

5.4.2 Gewicht

Tab. 10: Körpergewicht der Probanden: Mittelwert und Standardabweichung nach Trainingsgruppe und gesamt vor (Gewicht_1) und nach (Gewicht_2) dem Trainingszeitraum (N = 22)

Trainingsgruppe		Mittelwert	Standardabweichung	N
Gewicht_1	Intervalltrainingsgruppe	64,4	7,0	11
	Dauerlaufgruppe	65,9	6,2	11
	Gesamt	65,2	6,5	22
Gewicht_2	Intervalltrainingsgruppe	64,7	7,0	11
	Dauerlaufgruppe	67,6	8,0	11
	Gesamt	66,1	7,5	22

Tab. 10 zeigt Gewichtsmittelwerte der Probanden je Trainingsgruppe und gesamt für die Eingangs- (Gewicht_1) und Abschlussuntersuchung (Gewicht_2). Die Gewichtszunahme aller Studienteilnehmer von 65,2 (\pm 6,5) kg auf 66,1 (\pm 7,5) ist mit $p = 0,006$ signifikant und es gibt auch einen signifikanten Gruppeneffekt $p = 0,038$. In Abb. 23 ist ersichtlich, dass die Dauerlaufgruppe signifikant mehr zugenommen hat als die Intervalltrainingsgruppe.

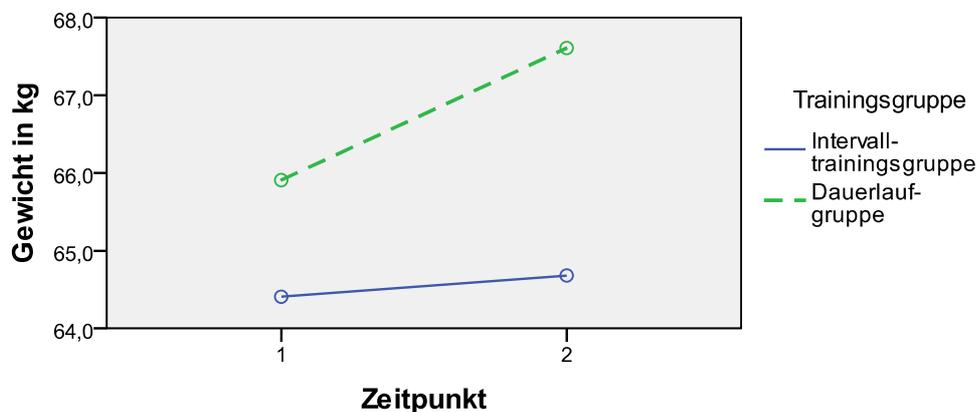


Abb. 23: Entwicklung des Körpergewichts nach Trainingsgruppe (N = 22)

5.4.3 Größe

Tab. 11: Körpergröße der Probanden: Mittelwert und Standardabweichung nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 22)

Trainingsgruppe		Mittelwert	Standardabweichung	N
Groesse_1	Intervalltrainingsgruppe	175,5	5,9	11
	Dauerlaufgruppe	176,8	6,0	11
	Gesamt	176,2	5,8	22
Groesse_2	Intervalltrainingsgruppe	175,9	5,6	11
	Dauerlaufgruppe	177,0	5,4	11
	Gesamt	176,5	5,4	22

In Tab. 11 sind die Körpergrößen der Spieler gegenübergestellt. Hier gibt es keine signifikanten Unterschiede.

5.4.4 Körperfettmessung und Body Mass Index (BMI)

Tab. 12: Körperfettmessung und Body Mass Index: Mittelwert und Standardabweichung nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 22)

Trainingsgruppe		Mittelwert	Standardabw.	N
Koerperfett_ Prozent_1	Intervalltrainingsgruppe	13,9	4,3	11
	Dauerlaufgruppe	13,6	2,6	11
	Gesamt	13,8	3,5	22
Koerperfett_ Prozent_2	Intervalltrainingsgruppe	14,0	3,2	11
	Dauerlaufgruppe	13,8	2,7	11
	Gesamt	13,9	2,9	22
BMI_1	Intervalltrainingsgruppe	20,89	1,92	11
	Dauerlaufgruppe	20,40	2,32	11
	Gesamt	20,65	2,09	22
BMI_2	Intervalltrainingsgruppe	20,92	1,93	11
	Dauerlaufgruppe	21,56	1,86	11
	Gesamt	21,24	1,88	22

Tab. 12 enthält die Ergebnisse der Messungen der Körperfettwerte und des Body Mass Index. Die Unterschiede sind alle nicht signifikant, wobei beim Body Mass Index ($p = 0,062$ für den Vergleich aller Teilnehmer zwischen den Messzeitpunkten und $p = 0,074$ für Gruppenunterschiede) eine Tendenz vorliegt welche aber ebenfalls nicht signifikant ist.

Abb. 24 zeigt die Entwicklungen. Die Werte der Dauerlaufgruppe stiegen stärker als jene der Intervalltrainingsgruppe.

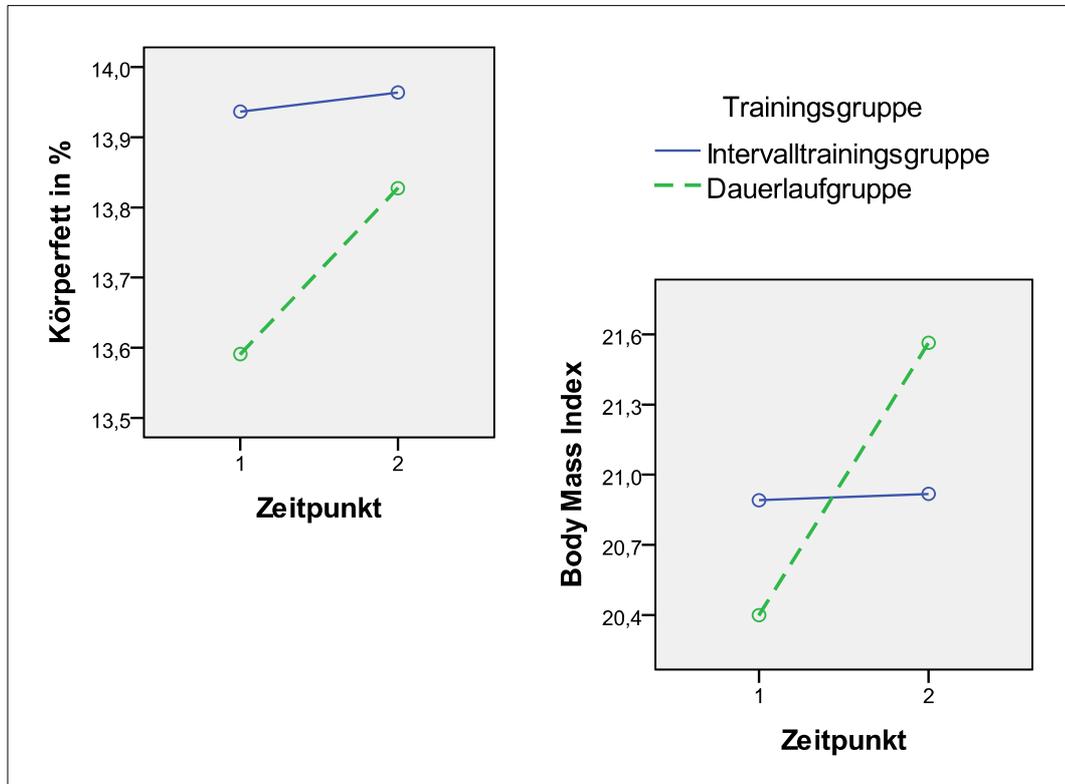


Abb. 24: Körperfettmessung und Body Mass Index im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 22)

5.4.5 Sprintzeiten

Jeder Proband führte zu jedem Messzeitpunkt drei 20 m Sprints aus. Die Zeit wurde jeweils nach 5, 10 und 20 m protokolliert. Für die Auswertungen wurden dann die besten Versuche pro Distanz herangezogen.

Tab. 13: Sprintzeiten 5 m, 10 m und 20 m: Mittelwert und Standardabweichung nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 18)

Trainingsgruppe		Mittelwert	Standardab.	N
S_best_5m_1	Intervalltrainingsgruppe	1,02	,05	9
	Dauerlaufgruppe	1,03	,05	9
	Gesamt	1,03	,05	18
S_best_5m_2	Intervalltrainingsgruppe	,98	,04	9
	Dauerlaufgruppe	,97	,04	9
	Gesamt	,97	,04	18
S_best_10m_1	Intervalltrainingsgruppe	1,75	,05	9
	Dauerlaufgruppe	1,77	,06	9
	Gesamt	1,76	,05	18
S_best_10m_2	Intervalltrainingsgruppe	1,71	,04	9
	Dauerlaufgruppe	1,68	,05	9
	Gesamt	1,70	,05	18
S_best_20m_1	Intervalltrainingsgruppe	3,02	,11	9
	Dauerlaufgruppe	3,03	,10	9
	Gesamt	3,03	,10	18
S_best_20m_2	Intervalltrainingsgruppe	2,97	,10	9
	Dauerlaufgruppe	2,97	,07	9
	Gesamt	2,97	,09	18

Die Stichprobengröße in Tab. 13 besteht nur noch aus 18 Probanden, weil 4 Studienteilnehmer von den sportmotorischen Abschlusstestungen fern blieben. Die Tabelle zeigt weiters, dass die Sprintzeiten zwischen Studienbeginn und -ende bei allen Stufen (5, 10 und 20 m) besser wurden. In Tab. 14 finden sich die Ergebnisse der Signifikanztests, die besagen, dass sich alle Teilnehmer im Bezug auf ihre Schnelligkeit signifikant ($p = 0,000$ für 5 und 10 m sowie $p = 0,004$ für 20 m) verbessert haben. Es gibt allerdings keine signifikanten Gruppeneffekte.

Tab. 14: Sprintzeiten: Signifikanztest auf Unterschied zwischen den Messzeitpunkten und auf Gruppeneffekte (N = 18)

	Unterschied ZP 1 und ZP 2	Gruppeneffekt
S_best_5m	$p = 0,000$	$p = 0,305$
S_best_10m	$p = 0,000$	$p = 0,163$
S_best_20m	$p = 0,004$	$p = 0,655$

In der Visualisierung der Sprintzeiten in Abb. 25 sind die Verbesserungen aller Studienteilnehmer ersichtlich. Die Probanden der Dauerlaufgruppe konnten ihre Schnelligkeit in einem Ausmaß verbessern, dass sie die Intervalltrainingsgruppe bei den Zeiten nach 5 und 10 m überholten. Sie mussten sich nach 20 m jedoch marginal geschlagen geben (gerundet kommen sie auf genau die gleiche Zeit von 2,97 s).

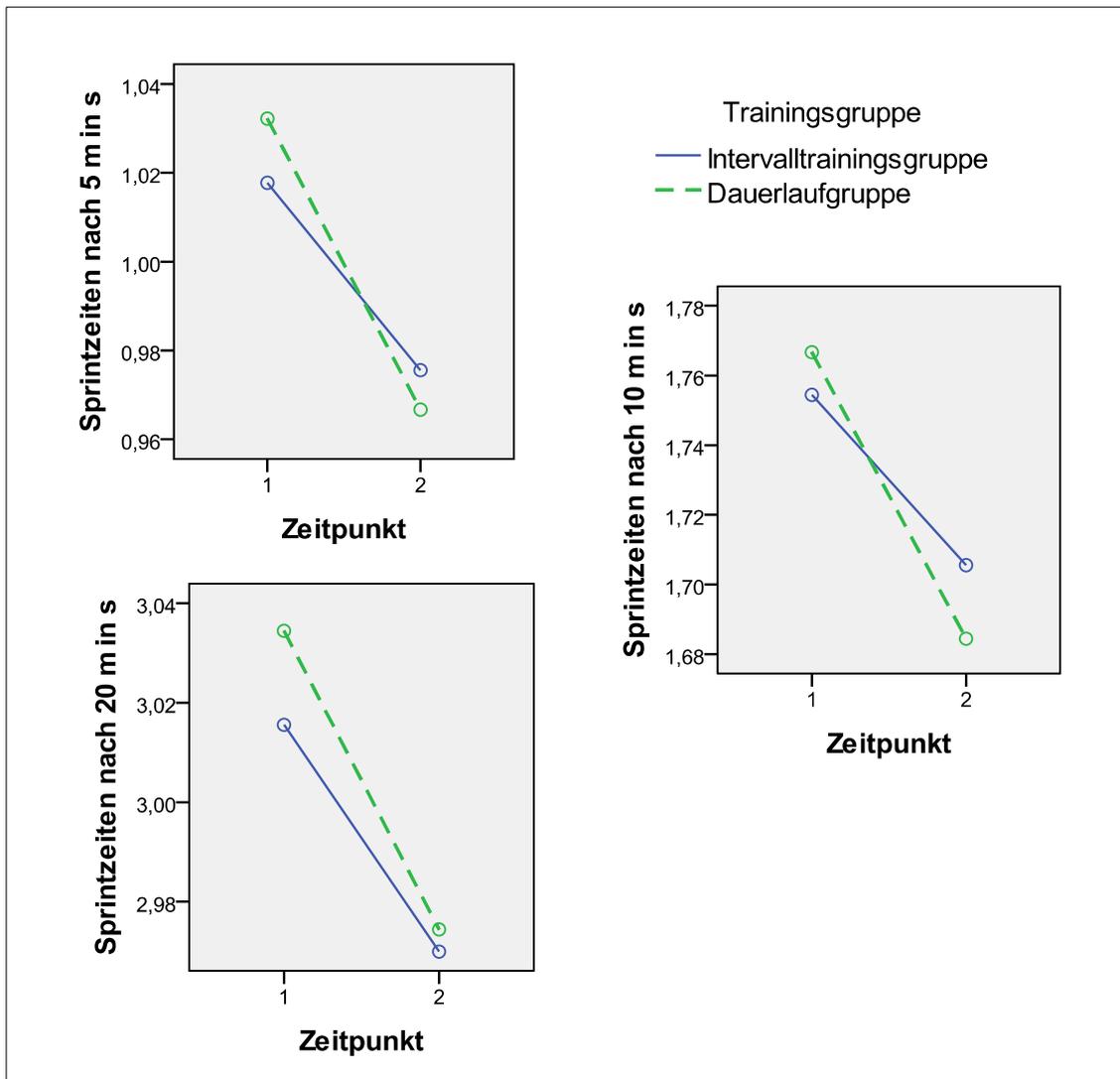


Abb. 25: Sprintzeiten nach 5 m, 10 m und 20 m im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 18)

5.4.6 Sprungtest

Tab. 15: Sprungtestergebnisse der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 18)

	Trainingsgruppe	Mittelwert	Standardabw.	N
tc_mean_1	Intervalltrainingsgruppe	,185	,013	9
	Dauerlaufgruppe	,185	,027	9
	Gesamt	,185	,021	18
tc_mean_2	Intervalltrainingsgruppe	,176	,013	9
	Dauerlaufgruppe	,186	,027	9
	Gesamt	,181	,021	18
cm_mean_1	Intervalltrainingsgruppe	30,77	2,86	9
	Dauerlaufgruppe	31,47	2,16	9
	Gesamt	31,12	2,48	18
cm_mean_2	Intervalltrainingsgruppe	31,91	3,48	9
	Dauerlaufgruppe	32,18	3,68	9
	Gesamt	32,04	3,48	18
index_mean_1	Intervalltrainingsgruppe	162,6	16,6	9
	Dauerlaufgruppe	169,3	30,3	9
	Gesamt	165,9	24,0	18
index_mean_2	Intervalltrainingsgruppe	175,2	15,3	9
	Dauerlaufgruppe	172,1	35,2	9
	Gesamt	173,7	26,4	18

In Tab. 15 wurden die Unterschiede der Bodenkontaktzeiten (tc), die Sprunghöhen (cm) und die errechneten Maßzahlen (index) dargestellt.

Tab. 16 zeigt, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Messzeitpunkten gibt. Ebenso lassen sich keine Gruppeneffekte erkennen.

Tab. 16: Sprungtestergebnisse: Signifikanztest auf Unterschied zwischen den Messzeitpunkten und auf Gruppeneffekte (N = 18)

	Unterschied ZP 1 und ZP 2	Gruppeneffekt
tc_mean	p = 0,427	p = 0,249
cm_mean	p = 0,146	p = 0,726
index_mean	p = 0,074	p = 0,246

In Abb. 26 sind folgende Ergebnisse ersichtlich. Die Bodenkontaktzeit (tc) ergab unterschiedliche Entwicklungen, während es bei der Sprunghöhe (cm) und bei der errechneten Maßzahl (index) bei beiden Gruppen zu Verbesserungen kam.

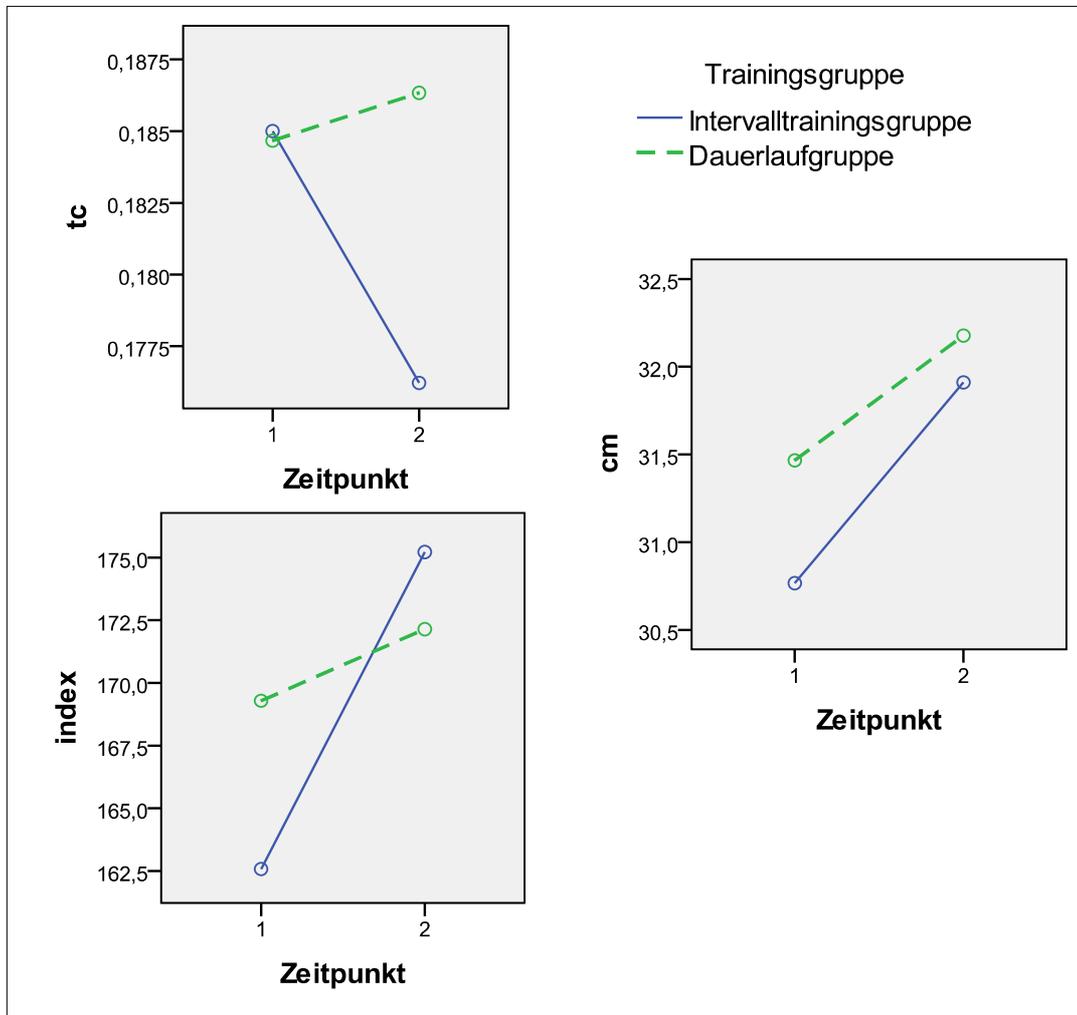


Abb. 26: Sprungtestergebnisse im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 18)

5.4.7 Yo-Yo-Intermittent Recovery Test (Level 1)

5.4.7.1 Laufdistanzen in m

Tab. 17: Yo-Yo-Intermittent Recovery Test: Mittelwert und Standardabweichung des zurückgelegten Weges in m nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 18)

	Trainingsgruppe	Mittelwert	Standardabw.	N
YoYo_Weg_1	Intervalltrainingsgruppe	1377,8	579,3	9
	Dauerlaufgruppe	1560,0	392,4	9
	Gesamt	1468,9	489,1	18
YoYo_Weg_2	Intervalltrainingsgruppe	1808,9	545,8	9
	Dauerlaufgruppe	1960,0	460,4	9
	Gesamt	1884,4	496,0	18

In Tab. 17 werden die erreichten Distanzen während des Yo-Yo-Intermittent Recovery Test gegenübergestellt. Beide Gruppen haben sich stark verbessert (siehe Abb. 27). Der Unterschied aller Probanden ist mit $p = 0,000$ signifikant, Gruppeneffekte blieben aus ($p = 0,842$).

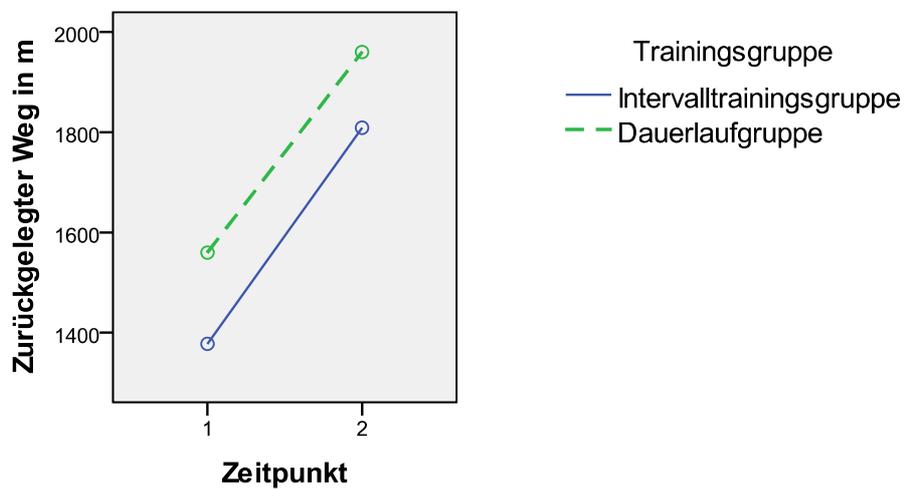


Abb. 27: Yo-Yo-Intermittent Recovery Test: zurückgelegter Weg im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 18)

5.4.7.2 Maximale Geschwindigkeiten in km/h

Tab. 18: Yo-Yo-Intermittent Recovery Test: Mittelwert und Standardabweichung der erreichten Geschwindigkeitsstufe in km/h nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 18)

	Trainingsgruppe	Mittelwert	Standardabw.	N
YoYo_kmHmax_1	Intervalltrainingsgruppe	15,5	,9	9
	Dauerlaufgruppe	15,8	,6	9
	Gesamt	15,6	,8	18
YoYo_kmHmax_2	Intervalltrainingsgruppe	16,1	,9	9
	Dauerlaufgruppe	16,4	,7	9
	Gesamt	16,3	,8	18

Da die erreichte Geschwindigkeitsstufe mit dem zurückgelegten Weg zusammenhängt, kam es analog zu Verbesserungen der Studienteilnehmer (siehe Tab. 18). Alle Probanden liefen im Durchschnitt um 0,7 km/h schneller als bei der Eingangstestung (Steigerung von 15,6 auf 16,3 km/h). Dieser Unterschied ist ebenfalls signifikant ($p = 0,000$) und es konnten auch hier keine Gruppeneffekte erhoben werden ($p = 0,841$).

5.4.7.3 Maximale Herzfrequenzen

Tab. 19: Yo-Yo-Intermittent Recovery Test: Mittelwert und Standardabweichung der maximalen Herzfrequenzen nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 17)

	Trainingsgruppe	Mittelwert	Standardabw.	N
YoYo_HFmax_1	Intervalltrainingsgruppe	200	6	9
	Dauerlaufgruppe	201	6	8
	Gesamt	201	6	17
YoYo_HFmax_2	Intervalltrainingsgruppe	197	6	9
	Dauerlaufgruppe	199	5	8
	Gesamt	198	5	17

Die Mittelwerte der Herzfrequenzen in Tab. 19 wurden in geringem Ausmaß reduziert obwohl der zurückgelegte Weg und die gelaufene Geschwindigkeit gestiegen sind (siehe oben). Der Rückgang der Herzfrequenzen aller Studienteilnehmer ist knapp nicht signifikant ($p = 0,062$). Gruppeneffekte blieben aus ($p = 0,636$). Die Entwicklung ist in Abb. 28 dargestellt.

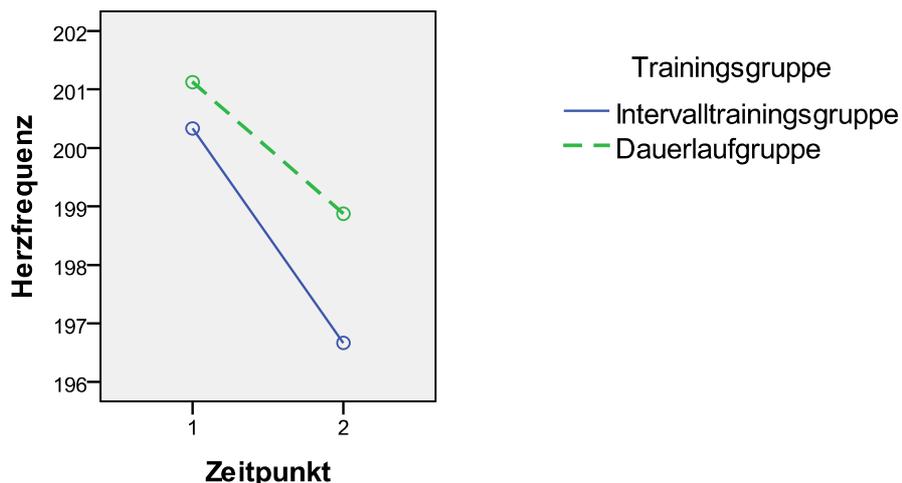


Abb. 28: Yo-Yo-Intermittent Recovery Test: Herzfrequenzen im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 17)

5.4.7.4 Maximale Sauerstoffaufnahme ($VO_2\max$) in $ml/min/kg^{-1}$

Tab. 20: Yo-Yo-Intermittent Recovery Test: Mittelwert und Standardabweichung der maximalen Sauerstoffaufnahme in $ml/kg/min^{-1}$ nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 18)

	Trainingsgruppe	Mittelwert	Standardabw.	N
YoYo_VO2max_1	Intervalltrainingsgruppe	48,0	4,9	9
	Dauerlaufgruppe	49,5	3,3	9
	Gesamt	48,7	4,1	18
YoYo_VO2max_2	Intervalltrainingsgruppe	51,6	4,6	9
	Dauerlaufgruppe	52,9	3,9	9
	Gesamt	52,2	4,2	18

Tab. 20 zeigt die Verbesserungen im Bereich der maximalen Sauerstoffaufnahme. Die Entwicklung von 48,7 auf 52,2 $ml/kg/min^{-1}$ aller Studienteilnehmer ist mit $p = 0,000$ signifikant. Gruppeneffekte traten keine auf ($p = 0,843$). In Abb. 29 sind die Verläufe dargestellt. Die $VO_2\max$ wurde mit Hilfe der folgenden Formel errechnet.

$$VO_2\max (ml/kg/min^{-1}) = IR \ 1 \ distance \ (m) \times 0,0084 + 36,4$$

(vgl. Bangsbo et al., 2008, S. 47)

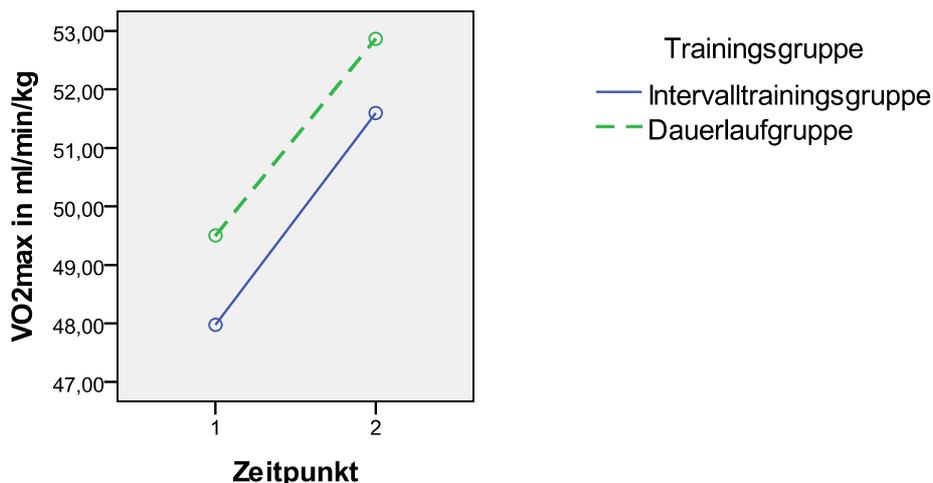


Abb. 29: Yo-Yo-Intermittent Recovery Test: maximale Sauerstoffaufnahme im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 18)

5.4.8 Spiroergometrie

5.4.8.1 Aerobe Schwelle (AT)

Tab. 21: Spiroergometrie: Mittelwert und Standardabweichung der gelaufenen Geschwindigkeit und der Herzfrequenz an der aeroben Schwelle nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 20)

	Trainingsgruppe	Mittelwert	Standardabw.	N
Spiro_AT_kmh_1	Intervalltrainingsgruppe	9,9	,5	10
	Dauerlaufgruppe	9,7	,6	10
	Gesamt	9,8	,6	20
Spiro_AT_kmh_2	Intervalltrainingsgruppe	10,8	,5	10
	Dauerlaufgruppe	11,0	,7	10
	Gesamt	10,9	,6	20
Spiro_AT_HF_1	Intervalltrainingsgruppe	176	11	10
	Dauerlaufgruppe	169	12	10
	Gesamt	172	11	20
Spiro_AT_HF_2	Intervalltrainingsgruppe	172	13	10
	Dauerlaufgruppe	169	9	10
	Gesamt	171	11	20

Tab. 21 zeigt die Verbesserung der gelaufenen Geschwindigkeit an der aeroben Schwelle aller Probanden von 9,8 auf 10,9 km/h. Dieser Anstieg ist mit $p = 0,000$ signifikant. Hier traten auch Gruppeneffekte auf. Wie Abb. 30 zeigt, konnte die Dauerlaufgruppe ihre Geschwindigkeit an der aeroben Schwelle in einem größeren Ausmaß steigern als die

Intervalltrainingsgruppe ($p = 0,038$). Bei den Herzfrequenzen (siehe ebenfalls Tab. 21 und Abb. 30) gab es weder für alle ($p = 0,418$) signifikante Unterschiede zwischen den beiden Messungen, noch Gruppenunterschiede ($p = 0,445$).

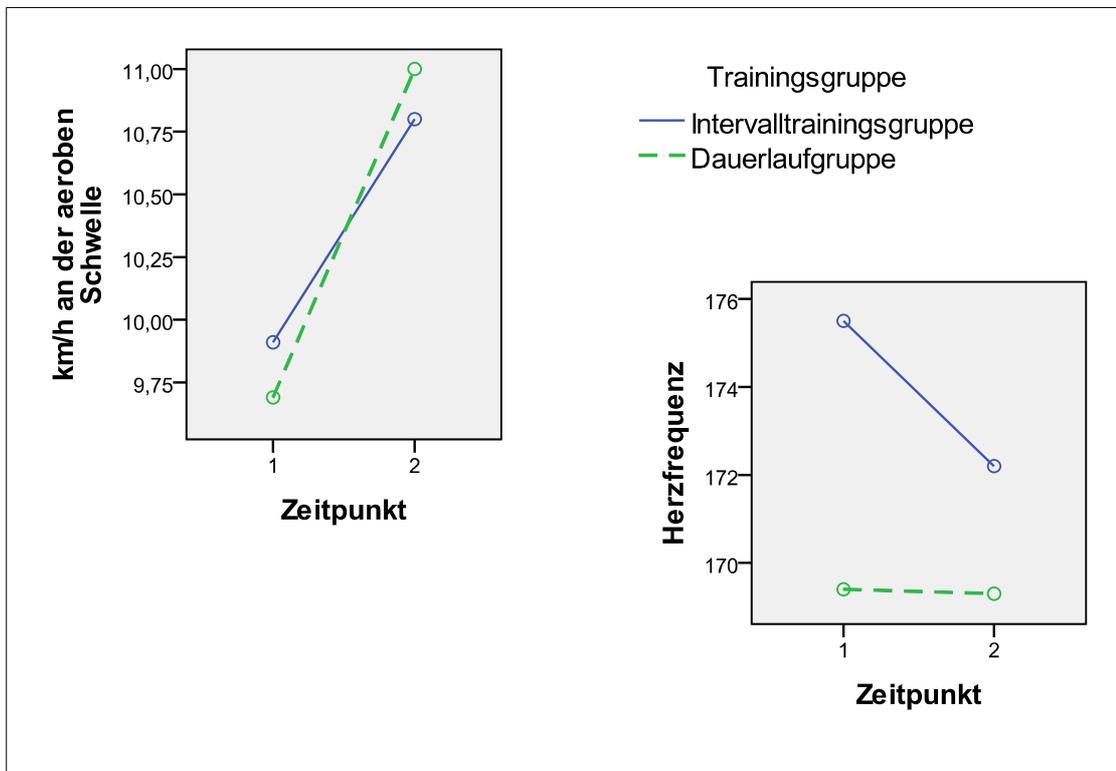


Abb. 30: Spiroergometrie: gelaufene Geschwindigkeit und Herzfrequenz an der aeroben Schwelle im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 20)

5.4.8.2 Anaerobe Schwelle (RCP)

Tab. 22: Spiroergometrie: Mittelwert und Standardabweichung der gelaufenen Geschwindigkeit und der Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 20)

Trainingsgruppe		Mittelwert	Standardabw.	N
Spiro_RCP_kmH_1	Intervalltrainingsgruppe	13,4	,9	10
	Dauerlaufgruppe	13,3	1,1	10
	Gesamt	13,4	1,0	20
Spiro_RCP_kmH_2	Intervalltrainingsgruppe	14,2	,8	10
	Dauerlaufgruppe	14,0	,9	10
	Gesamt	14,1	,8	20
Spiro_RCP_HF_1	Intervalltrainingsgruppe	191	8	10
	Dauerlaufgruppe	189	9	10
	Gesamt	190	8	20
Spiro_RCP_HF_2	Intervalltrainingsgruppe	189	10	10
	Dauerlaufgruppe	185	6	10
	Gesamt	187	9	20

An der anaeroben Schwelle kam es auch zu Verbesserungen. Die Gesamtheit der Studienteilnehmer konnte sich von 13,4 km/h bei der Eingangstestung auf 14,1 km/h bei der Abschlusstestung steigern (siehe Tab. 22). Dieser Unterschied ist signifikant ($p = 0,000$). Die beiden Trainingsgruppen entwickelten sich sehr ähnlich (siehe Abb. 31), daher gibt es keine Gruppeneffekte ($p = 0,974$). Bei der Herzfrequenz konnten auch Fortschritte erzielt werden. Trotz höherem Tempo an der anaeroben Schwelle wurde die Herzfrequenz aller Probanden signifikant niedriger ($p = 0,028$). Gruppeneffekte blieben mit $p = 0,776$ aus (siehe ebenfalls Tab. 22 und Abb. 31).

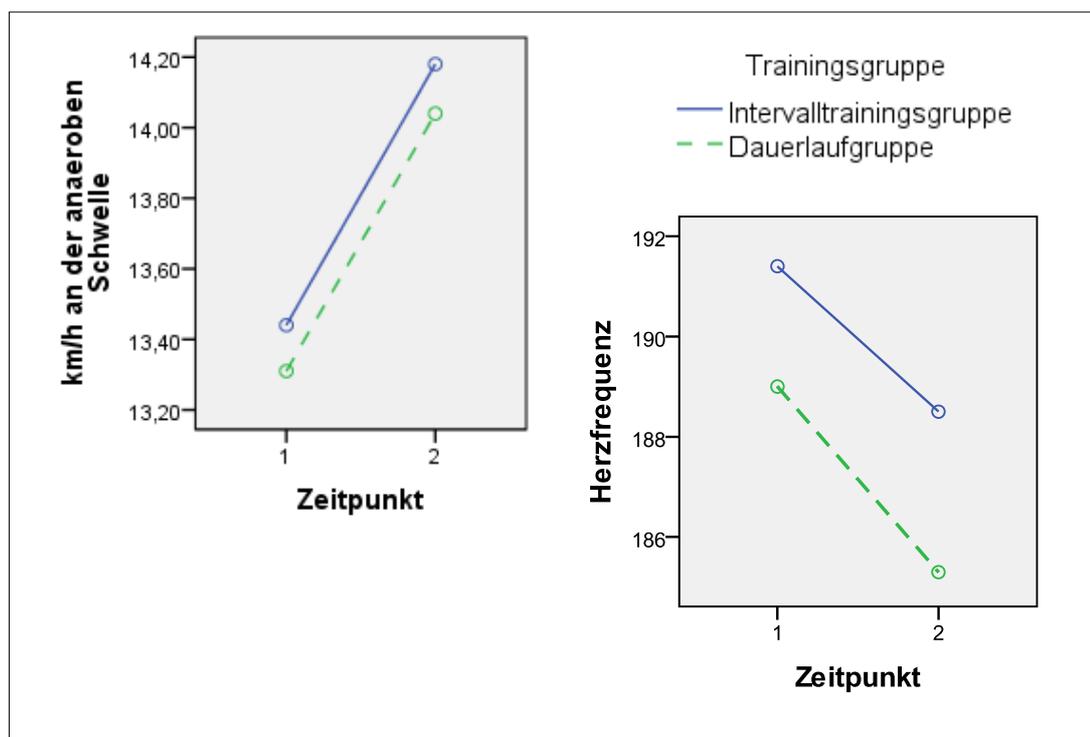


Abb. 31: Spiroergometrie: gelaufene Geschwindigkeit und Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 20)

5.4.8.3 Maximale Geschwindigkeit, Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme

Tab. 23: Spiroergometrie: Mittelwert und Standardabweichung der maximalen Geschwindigkeit, Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 21 bzw. 20)

	Trainingsgruppe	Mittelwert	Standardabw.	N
Spiro_maxKmH_1	Intervalltrainingsgruppe	16,1	1,6	11
	Dauerlaufgruppe	16,1	1,6	10
	Gesamt	16,1	1,5	21
Spiro_maxKmH_2	Intervalltrainingsgruppe	16,4	1,4	11
	Dauerlaufgruppe	16,6	,9	10
	Gesamt	16,5	1,2	21
Spiro_maxHF_1	Intervalltrainingsgruppe	201	6	11
	Dauerlaufgruppe	199	7	10
	Gesamt	200	6	21
Spiro_maxHF_2	Intervalltrainingsgruppe	198	7	11
	Dauerlaufgruppe	196	6	10
	Gesamt	197	7	21
Spiro_VO2max_1	Intervalltrainingsgruppe	57,0	5,0	10
	Dauerlaufgruppe	57,4	3,4	10
	Gesamt	57,2	4,2	20
Spiro_VO2max_2	Intervalltrainingsgruppe	61,7	3,3	10
	Dauerlaufgruppe	60,2	2,9	10
	Gesamt	61,0	3,1	20

In Tab. 23 und Abb. 32 sind die Maximalwerte (Geschwindigkeit, Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme) während der Spiroergometrie dargestellt. Die Steigerung der maximal gelaufenen Geschwindigkeit von 16,1 auf 16,5 km/h ist mit $p = 0,029$ signifikant. Gruppeneffekte blieben aus ($p = 0,561$). Die maximale Herzfrequenz ging von 200 auf 197 Schläge pro Minute zurück. Auch diese Verbesserung ist signifikant ($p = 0,018$) und ohne Gruppeneffekte ($p = 0,813$) aufgetreten. Die maximale Sauerstoffaufnahme konnte ebenfalls signifikant verbessert werden (von 57,2 auf 61 ml/kg/min⁻¹, $p = 0,001$). Gruppeneffekte konnten auch hier nicht beobachtet werden ($p = 0,307$).

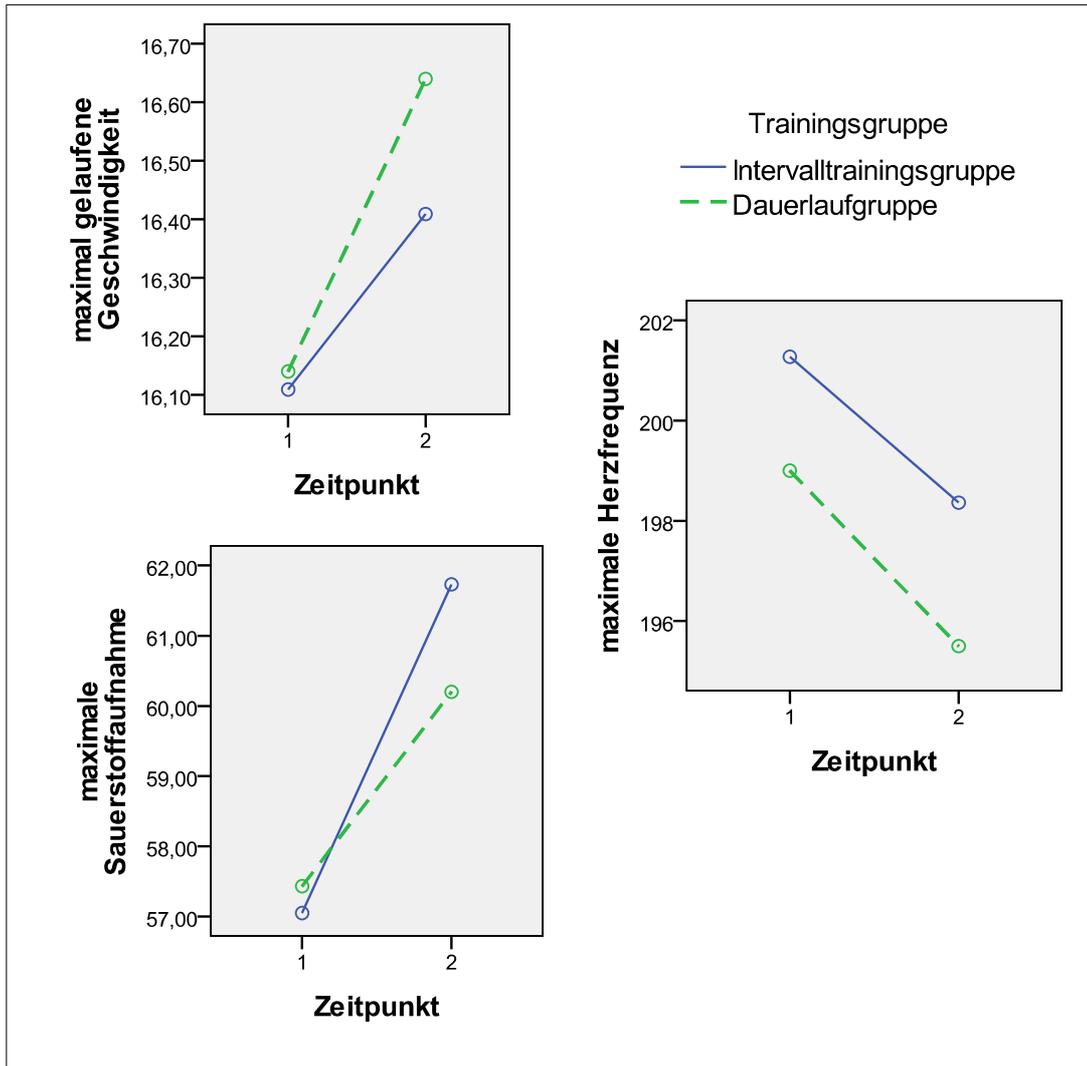


Abb. 32: Spiroergometrie: Maximalwerte (Geschwindigkeit, Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme) im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 21 bzw. 20)

5.4.8.4 Laktatmessungen

Tab. 24: Laktatmessungen: Mittelwert und Standardabweichung nach einer (Lak1), drei (Lak3), fünf (Lak5) und sieben (Lak7) Minute(n) nach der Spiroergometrie nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 21)

		Spiro_Lak1_1	Spiro_Lak1_2	Spiro_Lak3_1	Spiro_Lak3_2	Spiro_Lak5_1	Spiro_Lak5_2	Spiro_Lak7_1	Spiro_Lak7_2
Intervall- trainings- gruppe	Mittelwert	10,42	10,64	10,33	10,48	9,88	9,96	9,36	9,30
	Standardabw.	2,94	2,44	3,29	2,55	3,31	2,65	3,33	2,54
Dauerlauf- gruppe	Mittelwert	10,17	10,29	9,77	10,03	9,39	9,62	8,87	9,20
	Standardabw.	2,14	2,33	2,20	2,41	2,49	2,42	2,44	2,81
Insgesamt	Mittelwert	10,30	10,47	10,06	10,27	9,64	9,80	9,13	9,25
	Standardabw.	2,53	2,34	2,77	2,43	2,88	2,49	2,88	2,60
Unterschied ZP1 und ZP2		p = 0,695		p = 0,622		p = 0,726		p = 0,775	
Gruppeneffekt		p = 0,909		p = 0,905		p = 0,868		p = 0,679	

In Tab. 24 sind die Laktatwerte der Probanden aufgelistet. Die Blutproben aus dem Ohrläppchen wurden jeweils eine, drei, fünf und sieben Minute(n) nach der Spiroergometrie entnommen. Die Laktatverträglichkeit wurde zu jedem Zeitpunkt verbessert, zB nach einer Minute von 10,30 (Spiro_Lak1_1 insgesamt) auf 10,47 mmol/l (Spiro_Lak1_2 insgesamt). Alle Unterschiede zwischen der Eingangs- und Abschlusstestung waren nicht signifikant (siehe Zeile „Unterschied ZP1 und ZP2“) und es traten keine Gruppeneffekte (Zeile „Gruppeneffekt“) auf.

5.4.8.5 Laktatelimination

Tab. 25: Laktatelimination: Mittelwert und Standardabweichung der Laktatelimination zwischen der ersten und der siebenten Minute nach der Spiroergometrie nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 22)

	Trainingsgruppe	Mittelwert	Standardabw.	N
Lak_el_1	Intervalltrainingsgruppe	1,06	,66	11
	Dauerlaufgruppe	1,31	,58	11
	Gesamt	1,19	,62	22
Lak_el_2	Intervalltrainingsgruppe	1,34	,71	11
	Dauerlaufgruppe	,99	,74	11
	Gesamt	1,17	,73	22

In Tab. 25 wurde die Laktatelimination miteinander verglichen. Dazu wurde von dem Laktatwert nach einer Minute jener nach sieben Minuten subtrahiert. Die Laktatelimination ging um 0,02 mmol/l (von 1,19 auf 1,17 mmol/l) zwischen den beiden Testzeitpunkten (Lak_el_1 und Lak_el_2) zurück. Dieser Rückgang ist mit $p = 0,915$ nicht signifikant. Es zeigte sich eine unterschiedliche Gruppenentwicklung. Die Intervalltrainingsgruppe verbesserte ihre Regenerationsfähigkeit und vollzog einen Abbau zwischen der ersten und siebenten Minute von 1,34 mmol/l bei der Abschlusstestung (bei der Eingangstestung waren es nur 1,06 mmol/l). Die Dauerlaufgruppe entwickelte sich in die entgegengesetzte Richtung (siehe Abb. 33). Sie bauten bei der Abschlusstestung nur noch 0,99 mmol/l ab (Eingangstestung 1,31 mmol/l). Dieser Gruppeneffekt ist jedoch knapp nicht signifikant ($p = 0,089$).

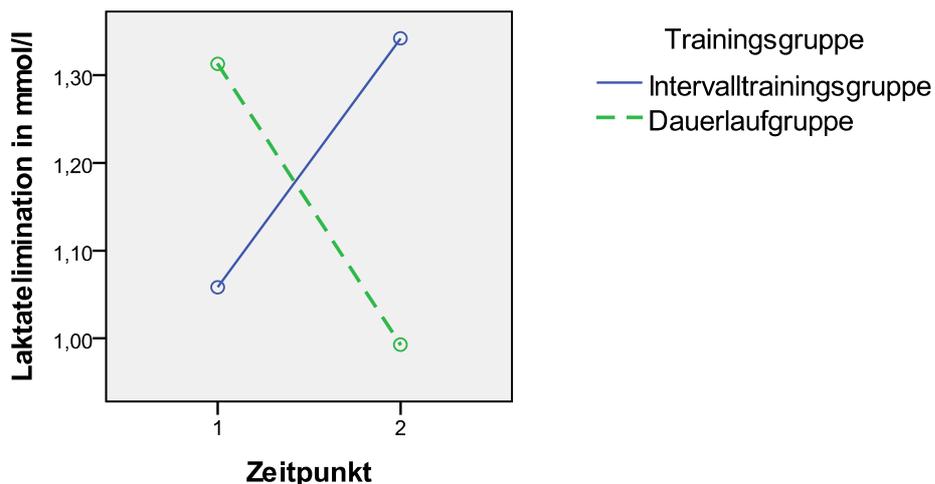


Abb. 33: Laktatelimination zwischen der ersten und der siebenten Minute nach der Spiroergometrie im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 22)

5.5 Diskussion

Die zentrale Fragestellung der durchgeführten Studie lautete, ob sich das hochintensive Intervalltraining (HIT) besser auf die Ausdauerleistungsfähigkeit der Probanden als das Dauerlaufprogramm bei niedrigerer Intensität auswirkt. Dabei stellte sich zu Beginn der Planungsphase die Frage, wie das Intervalltraining gestalten werden soll. In Anlehnung an Stolen et al. (2005), McMillan et al. (2005), Impellizzeri et al. (2006), Helgerud et al. (2001) und Chamari et al. (2005) wurde ein Intervalltraining mit 4 x 4 min bei 90 - 95 % der HFmax, geteilt durch 3 min bei 50 - 60 % der HFmax festgelegt. Alle Forschungsgruppen konnten damit Verbesserungen in Bezug auf die VO_2 max erzielen.

Auch unsere Intervalltrainingsgruppe steigerte die VO_2 max während der Spiroergometrie von 57 auf 61,7 ml/min/kg⁻¹, das ist eine Zunahme um ca. 8 %. Da aber auch die Dauerlaufgruppe signifikante Verbesserungen erreichte, nämlich um ca. 5 % höhere VO_2 max (von 57,4 auf 60,2 ml/min/kg⁻¹), musste die Forschungsfrage verneint werden. Das Intervalltraining konnte *keinen* signifikant höheren Effekt in Bezug auf die VO_2 max (Spiroergometrie am Laufband) erzielen.

Faude, Meyer, Scharhag, Weins, Urhausen und Kindermann (2008) kamen zu einem ähnlichen Ergebnis bei einer Studie mit Wettkampfschwimmern. Sie verglichen ein High Volume Training mit einem High Intensity Training mit einem niedrigeren Volumen. Nach einer Trainingsperiode von vier Wochen verbesserten beide Trainingsgruppen ihre aeroben Ausdauerkapazitäten. Das im Schwimmsport meist eingesetzte High Volume Training erzielte keine stärkeren Verbesserungen und daher folgerte die Forschungsgruppe, dass die Verbesserungen durch ein High Intensity Training effektiver, nämlich mit der Zeitersparnis, zu erlangen seien. (vgl. Faude et al., 2008)

Dieses Argument hat auch für die vorliegende Studie Gültigkeit. Durch das Intervalltraining, das pro Einheit um sieben Minuten kürzer dauerte, ersparten sich die Probanden aus dieser Trainingsgruppe 133 Minuten während des gesamten Trainingszeitraums. Diese Zeit kann der/die Trainer(in) für andere Schwerpunkte wie zum Beispiel Technik oder Taktik nutzen.

Es darf dabei aber nicht auf die unterschiedliche psychische Belastung der beiden Trainingsformen in Bezug zur Trainingsmotivation vergessen werden. Die subjektive Anstrengung basierend auf der RPE-Skala nach Borg (1973), siehe Tab. 7, war für die Spieler der Intervalltrainingsgruppe wesentlich höher als für die Probanden der Dauerlaufgruppe. Diese subjektive Beurteilung kann auch als Indikator für auftretende Motivationsprobleme angesehen werden. Eine Maßnahme um belastende Trainingsformen wie das High Intensity Training für Fußballer attraktiver zu gestalten ist zum Beispiel der Einsatz eines Fußballs im Training.

Auch Stolen et al. (2005) hielten fest, dass ein reines Lauftraining Motivationsprobleme bei Fußballern steigern kann. Impellizzeri et al. (2006) schreiben, dass kleine Spiele die Motivation der Spieler mehr ansprechen und dadurch ein hochintensives Training eher akzeptiert wird. Sie haben kleine Spiele mit einem High Intensity Interval Training ohne Ball verglichen und sind zu dem Ergebnis gekommen, dass beide Trainingsformen gleich effektiv sind. Interessant dabei ist, dass die Forschungsgruppe keine Überlegenheit der Spielgruppe im Vergleich zur Laufgruppe in Bezug auf die Matchperformance und fußballspezifische Tests feststellen konnte. (vgl. Impellizzeri et al., 2006)

Hoff et al. (2002) konnten zeigen, dass ein spezieller Dribbelparcours und eine kleine Spielform (five a side football, siehe oben) anstelle eines reinen Laufintervalltrainings zur Verbesserung der $VO_2\text{max}$ eingesetzt werden kann. Sie hielten fest, dass es bei kleinen Spielen mit Bällen unbedingt notwendig ist, dass ständig alle in Bewegung sind und immer ein Ball im Spiel ist. Weiters ist ein aktives Coaching notwendig, damit alle Spieler in die gewünschte hohe Trainingsintensität kommen. (vgl. Hoff et al., 2002)

Im Ganzen gesehen sind beide Trainingsformen, die mit und die ohne Ball, gleich effektiv. Beide haben ihre Vor- bzw. Nachteile. Während einerseits die Trainingsgestaltung mit einem Fußball die Spieler(innen) wesentlich mehr anspricht, so ist andererseits ein reines Lauftraining mit einem geringeren organisatorischen Aufwand verbunden.

Zurück zur Forschungsfrage: Laursen und Jenkins (2002) vertreten die Ansicht, dass hochtrainierte Sportler(innen) keine weiteren Zuwächse durch ein submaximales Training erfahren. Für sie gelten als hochtrainierte Sportler(innen) jene, die eine $VO_2\text{max} > 60$ ml/kg/min⁻¹ erreichen. Für diese Sportler(innen) bewirkt ausschließlich ein hochintensives

Training weitere signifikante Verbesserungen der Ausdauerleistungsfähigkeit. (vgl. Laursen und Jenkins, 2002)

In Hinsicht auf die vorliegende Studie könnte die Vermutung aufgestellt werden, dass die Probanden obwohl sie sehr gut trainiert waren (sie trainieren teilweise zweimal täglich), noch nicht als hochtrainiert einzustufen gewesen sind. Diese Annahme würde mit der Aussage von Laursen und Jenkins (2002) übereinstimmen, weil unsere Probanden vor der Trainingsintervention knapp unter $60 \text{ ml/kg/min}^{-1}$ VO_2max und erst nach der Trainingsintervention über $60 \text{ ml/min/kg}^{-1}$ erreichten. Das bedeutet, dass diese Studie womöglich ein anderes Ergebnis geliefert hätte, wären die Probanden zu Beginn der Studie auf jenem Ausdauerniveau gewesen, das sie zu Ende der Studie erlangt haben oder wenn die Trainingsintervention sich über einen längeren Zeitraum erstreckt hätte.

Dann hätte diese Studie eventuell eine Bestätigung der Erkenntnisse von Sperlich et al. (2011) sein können: Diese Forschungsgruppe führte eine sehr ähnliche Trainingsintervention (siehe oben) durch, kam aber zu einem anderen Ergebnis. Sie konnten zeigen, dass sich die High-Intensity-Trainingsgruppe signifikant mehr verbesserte als die High-Volume-Trainingsgruppe. (vgl. Sperlich et al., 2011)

Die Idee, die Trainingsphase der vorliegenden Studie direkt an das Saisonende zu knüpfen kann auf jeden Fall als erfolgreich angesehen werden, weil eine Pause zu einem Abfall des Ausdauerniveaus, das anscheinend ohnehin schon zu niedrig war, geführt hätte. Außerdem war es dadurch möglich, die Trainingsintervention neutral zu beurteilen, weil sie von keinem Vereinstraining beeinflusst wurde. Die Einbeziehung der Ernährung als Beeinflussungskriterium wäre ebenfalls sehr interessant. Impellizzeri et al. (2006) gaben ihren Probanden strikte Anweisungen zur Nahrungsaufnahme an den Testungstagen und einen Ernährungsplan, den sie jeweils in der Woche vor den Tests einhalten mussten.

Auch wenn die Ergebnisse von Sperlich et al. (2011) nicht bestätigt werden konnten, so waren die signifikanten Leistungsfortschritte beider Trainingsgruppen ein Erfolg für die Probanden. Sie konnten auf einem sehr hohen Ausdauerniveau in die Saisonvorbereitung gehen und diesen Vorteil auch in Spielen nutzen. Denn wie Helgerud et al. (2001) eindrucksvoll zeigten, hat eine Verbesserung der VO_2max eine direkte Auswirkung auf die

Leistung in einem Fußballmatch (siehe oben).

Die Zielgruppe wurde in Hinsicht auf das Alter und den Leistungsstand bewusst gewählt. Laursen und Jenkins (2002) meinen, dass es eine Fülle an Studien über die physiologischen Veränderungen durch ein Ausdauertraining bei untrainierten Leuten gibt. Für hochtrainierte Sportler(innen) fehlt ein umfassendes Forschungsrepertoire, das die Auswirkungen auf modifizierte Trainingsformen untersucht. (vgl. Laursen & Jenkins, 2002) Die Probanden dieser Studie trainieren mehrmals pro Woche und sollen beitragen dieses „Forschungsdefizit“ zu verkleinern. Auch Helgerud et al. (2001) schreiben, dass es generell wenige Erkenntnisse über die Auswirkungen eines High Intensity Interval Training auf Jugendliche, im Speziellen Fußballer gibt.

Das Alter der Probanden bringt die Notwendigkeit mit sich, dass sehr genaue Anweisungen vorzugeben sind. So wurden im Verlauf der Studie Probleme festgestellt, die entstanden, weil Vorgaben nicht exakt genug gemacht worden sind; zum Beispiel die Trabperioden zwischen den Intervallen. Hier ist es notwendig, Punkte zu markieren zu denen in einer bestimmten Zeit gelaufen werden muss, um zu gewährleisten, dass die Probanden in ihrer individuellen Belastungszone laufen - sonst werden sie nach dem anstrengenden Teil des Intervalls einfach stehen bleiben und zum Startpunkt zurück gehen. Gerade in diesem Alter ist es sehr wichtig, den Sinn der Studie klar zu vermitteln damit sie zum Beispiel erkennen, dass es einen Unterschied macht, ob sie auf einer Laufbahn ganz innen oder außen laufen (andere Distanz und somit andere Laufgeschwindigkeit).

Die Ergebnisse der Sprint- und Sprungtestungen stimmten mit jenen von norwegischen, französischen und italienischen Forschern überein. Weder die Schnelligkeit noch die Kraftleistung wurde durch die Trainingsintervention negativ beeinflusst. Die Sprintzeiten aller Probanden wurden sogar signifikant verbessert.

Alle weiteren Tests ergaben fast ausschließlich signifikante Verbesserungen aller Probanden unabhängig in welcher Trainingsgruppe sie trainierten. Lediglich bei zwei Testparameter (Körpergewicht und Laufgeschwindigkeit an der aerobe Schwelle während der Spiroergometrie) traten signifikante Gruppeneffekte auf. Es wurde festgestellt, dass die Dauerlaufgruppe mehr Gewicht zugenommen hat und dass ihre Laufgeschwindigkeit

an der aeroben Schwelle schneller war als die der Intervalltrainingsgruppe.

Bei den gelaufenen Distanzen beim Yo-Yo IR Level 1 Test konnte eine sehr gute Übereinstimmung mit den Referenzwerten von Markovic und Mikulic (2011) beobachtet werden. Der Mittelwert der Referenzwerte von der U-15 bis zur U-19 beträgt 1.646 m. Der Mittelwert aller Probanden der vorliegenden Studie der beiden Testzeitpunkte beträgt 1.676 m. Es ist jedoch anzumerken, dass der Zeitpunkt der Messung entscheidend ist. Der Mittelwert beider Messzeitpunkte, vor und nach der Trainingsintervention, stimmt sehr gut mit den Referenzwerten überein. Betrachtet man die Mittelwerte der einzelnen Tests gibt es keine so exakte Übereinstimmung. Bei der Eingangstestung lag der Mittelwert bei 1.468 m und bei der Abschlusstestung bei 1.884 m.

Die Forschungsfrage bleibt weiterhin nicht endgültig beantwortet und es darf darauf gehofft werden, dass in der Zukunft weitere Untersuchungen eine Vielzahl an weiterführenden Erkenntnissen zu dieser Aufgabenstellung liefern und dass die Frage ab wann der Einsatz eines High Intensity Training tatsächlich am effektivsten ist, geklärt wird.

6 Verzeichnisse

6.1 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Borg's CR10-Skala modifiziert nach Foster et al. (1995, zitiert nach Impellizzeri et al., 2004, S. 1.044).....	17
Tab. 2: RPE Skala (nach Borg, 1973, S. 92).....	17
Tab. 3: Durchschnittliche Herzfrequenz während eines Fußballspiels in % der maximalen Herzfrequenz. Nach Halbzeit sowie vor und nach der Trainingsintervention (nach Helgerud et al., 2001, S. 1.929)...	28
Tab. 4: Yo-Yo IR Test Level 1 Geschwindigkeitsprofil.....	31
Tab. 5: Yo-Yo IR Test Level 2 Geschwindigkeitsprofil.....	31
Tab. 6: Yo-Yo IR Level 1 Testperformance von Nachwuchsfußballspielern nach Altersgruppe (Mittelwerte und Standardabweichung) (nach Markovic & Mikulic, 2011, S. 2.933).....	34
Tab. 8: Alter der Probanden nach Trainingsgruppe (N = 22).....	54
Tab. 9: Alter der Probanden: Mittelwert und Standardabweichung nach Trainingsgruppe und gesamt (N = 22).....	54
Tab. 10: Körpergewicht der Probanden: Mittelwert und Standardabweichung nach Trainingsgruppe und gesamt vor (Gewicht_1) und nach (Gewicht_2) dem Trainingszeitraum (N = 22).....	55
Tab. 11: Körpergröße der Probanden: Mittelwert und Standardabweichung nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 22).....	56
Tab. 12: Körperfettmessung und Body Mass Index: Mittelwert und Standardabweichung nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 22).....	56
Tab. 13: Sprintzeiten 5 m, 10 m und 20 m: Mittelwert und Standardabweichung nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 18).....	58
Tab. 14: Sprintzeiten: Signifikanztest auf Unterschied zwischen den Messzeitpunkten und auf Gruppeneffekte (N = 18).....	58
Tab. 15: Sprungtestergebnisse der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 18).....	60
Tab. 16: Sprungtestergebnisse: Signifikanztest auf Unterschied zwischen den Messzeitpunkten und auf Gruppeneffekte (N = 18).....	60
Tab. 17: Yo-Yo-Intermittent Recovery Test: Mittelwert und Standardabweichung des zurückgelegten Weges in m nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 18).....	62
Tab. 18: Yo-Yo-Intermittent Recovery Test: Mittelwert und Standardabweichung der erreichten Geschw.stufe in km/h nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 18).....	63
Tab. 19: Yo-Yo-Intermittent Recovery Test: Mittelwert und Standardabweichung der maximalen Herzfrequenzen nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 17).....	63
Tab. 20: Yo-Yo-Intermittent Recovery Test: Mittelwert und Standardabweichung der max. Sauerstoffaufnahme in ml/kg/min-1 nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 18)....	64
Tab. 21: Spiroergometrie: Mittelwert und Standardabweichung der gelaufenen Geschwindigkeit und der Herzfrequenz an der aeroben Schwelle nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 20).....	65

Tab. 22: Spiroergometrie: Mittelwert und Standardabweichung der gelaufenen Geschwindigkeit und der Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 20).....	66
Tab. 23: Spiroergometrie: Mittelwert und Standardabweichung der maximalen Geschwindigkeit, Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 21 bzw. 20).....	68
Tab. 24: Laktatmessungen: Mittelwert und Standardabweichung nach einer (Lak1), drei (Lak3), fünf (Lak5) und sieben (Lak7) Minute(n) nach der Spiroergometrie nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 21).....	70
Tab. 25: Laktatelimination: Mittelwert und Standardabweichung der Laktatelimination zwischen der ersten und der siebenten Minute nach der Spiroergometrie nach Trainingsgruppe und gesamt zu beiden Messzeitpunkten (N = 22).....	71

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Zeit pro Aktivitätskategorie für Top-Klasse-Fußballspieler (■) und durchschnittliche Fußballprofis (□) während eines Fußballspiels. * = signifikante Unterschiede (P < 0,05) zwischen den Gruppen. St = standing, W = walking, J = jogging, LS, MS und HS = running at a low, moderate and high speed, Sp = sprinting, BR = backwards running. (nach Mohr et al., 2003, S. 522).....	12
Abb. 2: Gastransportmechanismus (nach Wassermann, Hansen, Sue, Casaburi und Whipp, 1999, S. 5).....	12
Abb. 3: Energiegewinnung im Muskel, zeitlicher Ablauf und Anteil der unterschiedlichen Arten (nach Keul, Doll & Keppler, 1969, zitiert nach Weineck, 2010, S. 145).....	14
Abb. 4: Laktatkonzentration während eines Match von Elite- und Nicht-Elite-Fußballern nach Halbzeit getrennt (nach Stolen et al., 2005, S. 509).....	15
Abb. 5: Studiendesign: High Intensity Interval Training (HIIT) vs. High Volume Training (HVT) (nach Sperlich et al., 2011, S. 1.272).....	22
Abb. 6: Dribbelparcours für ein High Intensity Training (nach McMillan et al., 2005).....	23
Abb. 7: Passaufgaben während der 4-Minuten- Läufe (nach Sporis et al., 2008, S. 562).....	24
Abb. 8: Durchschnittliche Zeit pro Intensitätszone während der Trainingseinheiten der zwölf Trainingswochen nach Trainingsgruppe (GTG = generic training group, STG = specific training group) (nach Impellizzeri et al., 2006).....	26
Abb. 9: Verbrauchte Zeit je Intensitätszone (in % der maximalen Herzfrequenz) während eines Fußballspiels nach Halbzeit. 1. Reihe: vor der Trainingsintervention. 2. Reihe: nach der Trainingsintervention. 3. Reihe: Zeit pro Intensitätszone nach der Trainingsintervention. *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001. (nach Helgerud et al., 2001, S. 1.929).....	27
Abb. 10: Five a side football (inklusive einem Tormann). Je vier Spieler pro Team unterstützen ihr Team auf den Outlinen der gegnerischen Hälfte und agieren als Mauer damit der Ball immer im Spiel bleibt. (nach Hoff et al., 2002, S. 219).....	29
Abb. 11: Skizze Yo-Yo IR Test (Quelle: http://www.elitesoccerconditioning.com/Testing/yo%20yo%20test.gif , Zugriff am 2.11.2011).....	30
Abb. 12: Vergleich der Geschwindigkeitsprofile der beiden Levels des Yo-Yo IR Tests (nach Bangsbo, laia & Krstrup, 2008)	31

Abb. 13: Test-retest Zuverlässigkeit des Yo-Yo IR Tests. Korrelationskoeffizient 0,98, N = 13 und P < 0,05. Die durchgezogene Linie ist die Identitätslinie (x = y) (nach Krustup, Mohr, Amstrup, Rysgaard, Johansen, Steensberg, Pedersen & Bangsbo, 2003, S. 700).....	32
Abb. 16: Hoff Test mit dem Ball am Fuß. Zwischen dem Hütchen Nr. 7 und dem Tor (Nr. 8) wird der Ball im Rückwärtslauf gedribbelt. Hürdenhöhe ist 30 - 35 cm und eine Runde sind 290 m. Von der 3. Hürde zum 1. Hütchen sind es 30,5 m und zwischen den Hütchen 1, 2, 3, 4, 5, 6 und 7 sind es 25,5 m. (nach Chamari, Hachana, Kaouech, Jeddi, Moussa-Chamari & Wisloff, 2005, S. 26).....	35
Abb. 17: Beziehung zwischen der zurückgelegten Distanz beim Hoff Test und den VO ₂ max-Werten. Die durchgezogene Linie zeigt die lineare Regression und die unterbrochenen Linien das 95 % Konfidenzintervall. R = 0,68, p < 0,01. (nach Chamari et al., 2005, S. 26).....	36
Abb. 18: Messprinzip der Spiroergometrie. FI bzw. FE = Fraktion (= Anteil) des Gases in der Inspirations- bzw. Expirationsluft. T = Zeit für 1 Atemzyklus. (nach Kroidl et al., 2009, S. 15).....	37
Abb. 19: Energiebereitstellung und ventilatorische Schwellen (nach Kroidl et al., 2009, S. 208).....	39
Abb. 20: Bestimmung der VAT mittels V-Slope. Die unterbrochene Linie entspricht einem RER von 1,0. (nach Kroidl et al., 2009, S. 110).....	40
Abb. 21: Studiendesign der durchgeführten empirischen Arbeit.....	42
Abb. 23: Entwicklung des Körpergewichts nach Trainingsgruppe (N = 22)	55
Abb. 24: Körperfettmessung und Body Mass Index im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 22).....	57
Abb. 25: Sprintzeiten nach 5 m, 10 m und 20 m im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 18).....	59
Abb. 26: Sprungtestergebnisse im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 18).....	61
Abb. 27: Yo-Yo-Intermittent Recovery Test: zurückgelegter Weg im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 18).....	62
Abb. 28: Yo-Yo-Intermittent Recovery Test: Herzfrequenzen im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 17).....	64
Abb. 29: Yo-Yo-Intermittent Recovery Test: maximale Sauerstoffaufnahme im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 18).....	65
Abb. 30: Spiroergometrie: gelaufene Geschwindigkeit und Herzfrequenz an der aeroben Schwelle im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 20).....	66
Abb. 31: Spiroergometrie: gelaufene Geschwindigkeit und Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 20).....	67
Abb. 32: Spiroergometrie: Maximalwerte (Geschwindigkeit, Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme) im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 21 bzw. 20).....	69
Abb. 33: Laktatelimination zwischen der ersten und der siebenten Minute nach der Spiroergometrie im Verlauf der beiden Messzeitpunkte, nach Trainingsgruppen getrennt (N = 22)	71

6.3 Literaturverzeichnis

- Bangsbo, J., Iaia, F. M. & Krstrup, P. (2008). The Yo-yo intermittent recovery test. A useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Medicine*, 38 (1), 37-51.
- Borg, G. A. V. (1973). Perceived exertion: a note on "history" and methods. *Medicine and science in sports*, 5 (2), 90-93.
- Borg, G. A. V. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in sports and exercise*, 14 (5), 377-381.
- Castagna, C., Chaouachi, A., Rampinini, E., Chamari, K. & Impellizzeri, F. (2009). Aerobic and explosive power performance of elite Italian regional-level basketball. *The journal of strength and conditioning research*, 23 (7), 1982-1987.
- Chamari, K., Hachana, Y., Kaouech, F., Jeddi, R., Moussa-Chamari, I. & Wisloff, U. (2005). Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *British journal of sports medicine*, 39 (1), 24-28.
- Daussin, F. N., Ponsot, E., Dufour, S. P., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., Geny, B., Piquard, F. & Richard, R. (2007). Improvement of VO₂max, by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, 101 (3), 377-383.
- Faude, O., Meyer, T., Scharhag, J., Weins, F., Urhausen, A. & Kindermann, W. (2008). Volume vs. intensity in the training of competitive swimmers. *International journal of sports medicine*, 29 (11), 906-912.
- Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U. & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine & Science in sports and exercise*, 33 (11), 1925-1931.
- Hoff, J., Wisloff, U., Engen, L. C., Kemi, O. J. & Helgerud, J. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *British journal of sports medicine*, 36 (3), 218-221.
- Hollmann, W., Strüder, H. K., Predel, H. G. & Tagarakis, C. V. M. (2006). *Spiroergometrie. Kardiopulmonale Leistungsdiagnostik des Gesunden und Kranken*. Stuttgart: Schattauer.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A. & Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine & Science in sports and exercise*, 36 (6), 1.042-1.047.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., Castagna, C., Reilly, T., Sassi, A., Iaia, F. M., Rampinini, E. (2006). Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *International journal of sports medicine*, 27 (6), 483-492.
- Kalapotarakos, V. I., Strimpakos, N., Vithoulka, I., Karvounidis, K., Diamantopoulos, K. & Kapreli, E. (2006). Physiological characteristics of elite professional soccer teams of different ranking. *The journal of sports medicine and physical fitness*, 46 (4), 515-519.
- Kemi, O. J., Hoff, J., Engen, L. C., Helgerud, J. & Wisloff, U. (2003). Soccer specific testing of maximal oxygen uptake. *The journal of sports medicine and physical fitness*, 43 (2), 139-144.
- Kroidl, R., Schwarz, S. & Lehnigk, B. (2009). *Kursbuch Spiroergometrie. Technik und Befundung verständlich gemacht* (2. Auflage). Stuttgart: Thieme.

- Krustrup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., Pedersen, P. K. & Bangsbo, J. (2003). The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability and validity. *Medicine & Science in sports and exercise*, 35 (4), 697-705.
- Laursen, P. B. & Jenkins D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training. Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, 32 (1), 53-73.
- Marées, H. de (2002). *Sportphysiologie* (9. Auflage). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Markovic, G. & Mikulic P. (2011). Discriminative ability of the yo-yo intermittent recovery test (level1) in prospective young soccer players. *The journal of strength and conditioning research*, 25 (10), 2.931-2.934.
- McMillan, K., Helgerud, J., Macdonald, R. & Hoff, J. (2005). Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *British journal of sports medicine*, 39 (5), 273-277.
- Mohr, M., Krustrup, P. & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of sports sciences*, 21 (7), 519-528.
- Sperlich, B., Marées, M. de, Koehler, K., Linville J., Holmberg, H. C. & Mester, J. (2011). Effects of 5 weeks of high-intensity interval training vs. volume training in 14-year-old soccer players. *The journal of strength and conditioning research*, 25 (5), 1.271-1.278.
- Sporis, G., Ruzic, L. & Leko, G. (2008). The anaerobic endurance of elite soccer players improved after a high-intensity training intervention in the 8-week conditioning program. *The journal of strength and conditioning research*, 22 (2), 559-566.
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C. & Wisloff, U. (2005). Physiology of soccer. An update. *Sports Medicine*, 35 (6), 501-536.
- Wassermann, K., Hansen, J. E., Sue, D.Y., Casaburi, R. & Whipp, B. J. (1999). *Principles of exercise testing and interpretation. Including Pathophysiology and clinical applications* (3. Auflage). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Weineck, J. (2010). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (16. Auflage). Balingen: Spitta.
- Wisloff, U., Helgerud, J. & Hoff J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine & Science in sports and exercise*, 30 (3), 462-467.

7 Anhang

7.1 Spiroergometrie-Protokoll

Datum:		Nummer:		R:
Name:		Größe:		xc:
Vorname:		Gewicht:		s:
Geb.Datum:		Team:		R↑:
		HF Ruhe:	Temperatur: °C	R↓:
km/h	Min	HF	Anmerkung	
8	1			
8	2			
8	3			
8	4			
8	5			
8	6			
9	7			
10	8			
11	9			
12	10			
13	11			
14	12			
15	13			
16	14			
17	15			
18	16			
19	17			
20	18			
21	19			
Abbruchkriterium:				
Nachbelastungslaktat:	1'	3'	5'	7'

7.2 Bioimpedanzmessungs- und Spiroergometrie vorgehensweise

Bioimpedanzanalyse

- ✧ PC– Programm: NutriPlus
- ✧ Patient – neuer Patient: Name, Geschlecht, GT und Gruppe (HIT) eingeben
- ✧ Pickerl aufkleben: zw. 2. u. 3. Zehe (von innen) u. am Sprunggelenk und zw. 2. u. 3. Finger und am Handgelenk
- ✧ Kabel nicht überkreuzen (eines ist für den Fuß, eines für die Hand – der rote Greifer ist immer näher bei den Nägeln)
- ✧ R, Xc, s, R(rauf), R(runter) notieren u. in PC eingeben – dann „manuelle Eingaben berechnen“ klicken - fertig

Spiroergometrie

Vorbereitung:

- ✧ Lüften und Klimaanlage auf 21° einstellen
- ✧ 2 trockene weiße Schläuche vorbereiten (1 als Ersatz). Einen anstecken (Achtung: Dichtung).
- ✧ Maske (muss trocken sein)
- ✧ Large-Maskengurt
- ✧ Mundstück zusammenbauen:
 - Gitter schaut Richtung vorne (zum Mundstück)
 - Kabelausgang soll etwas versetzt sein

Falls das Programm nicht gestartet ist: die Übersicht heißt „Lab Manager“.

Weißer Schlauch und das Mundstück unten (Gerät neben PC) anstecken („Gitterseite“ hineinstecken, nicht die „Ventilatorseite“) --> Automatische Volumeneichung (PC) → Warten bis Start-Button aktiv wird → Start klicken und wieder warten → wenn er fertig ist li. unten „Beenden“ klicken und speichern.

Gas Analyse (Kalibrierung):

- Gasflasche (hinter Pc) aufdrehen
- Gas Analyse (PC): li. oben auf „1“ zum Starten klicken (Gas eichen) → warten
- Wenn außerhalb: Eichen wiederholen ca. 2 – 3 x
- Li. unten (F10) zum Beenden → speichern
- **Gas abdrehen** und weißen Schlauch zum Mundstück umstecken

Patientendaten eingeben:

- Name, Gewicht, Größe, usw.
- Bei „Ident.“ Namenkürzel und Geb.dat ohne Punkt und Abstand eingeben (Geb.jahr vierstellig)
- Li. unten „Beenden“

Laufband:

- Pulsgurt anlegen
- Schuhe gut binden
- Bei Ausbelastung (Erschöpfung) zur Seite grätschen und mit Armen abstützen!
- Maske anlegen (Nase unter Steg) und Mundstück anbringen (mit Kabelausgängen nach oben)

Spiroergo. machen (PC):

- Li. oben „Play“-Button klicken und warten bis unten in der Mitte OK steht und es grün leuchtet (die Zeit beginnt bereits zu laufen, das spielt aber keine Rolle, weil sie dann wieder bei 0 beginnt) – Wenn Maske gut sitzt sollte VO_2 ca. zw. 300 – 500 sein (VO_2/kg ca. 7)
- Ablauf erklären (Start mit 8 km/h 6 min. lang, dann jede min. um ein km/h schneller, bis Ausbelastung → Grätschsprung)
- 2. Mal „Play“ klicken, dann beginnt re. unten die Zeit zu laufen: sie läuft 1 Minute lang in der Referenz-Phase und wechselt dann automatisch in die Testphase --> bei ca. 55 sek. das Laufbandprogramm starten (Taste **1** (Prog), dann Taste **5**, dann Taste **0** – es dauert 3 sek. bis es tatsächlich startet)
- Wenn Proband aufhört:
 - Stop am Laufband klicken u. Zeit und HF notieren
 - 3. Mal „Play“ klicken um die Testphase zu beenden (er schaltet dann auf die Auslaufen-Phase um)
 - Handschuhe f. Maskenabnahme anziehen
 - Nach 2 min.: 4. Mal „Play“ klicken um auch die Auslaufen-phase zu beenden
 - F10 unten: Beenden und Speichern

Mundstück und Maske auseinander nehmen und bei leichtem Strahl abspülen. Dann 1 Std. einlegen. Den weißen Schlauch nur zum Trocknen ablegen (1 Tag lang).

Auswertung:

- Bildschirmreport – F9
- Dann Eigene Dateien öffnen – Spiro Export – ganz runter scrollen und xlo-Datei kopieren
- PC runterfahren
- Grünen Hauptschalter neben dem PC abdrehen
- Laufband abdrehen (li. neben Display)

7.3 Trainingsprotokoll - Intervalltrainingsgruppe

Distanz m	16 km/h	15,5 km/h	15 km/h	14,5 km/h	14 km/h
200	00:45	00:46	00:48	00:50	00:51
400	01:30	01:33	01:36	01:39	01:43
600	02:15	02:19	02:24	02:29	02:34
800	03:00	03:06	03:12	03:19	03:26
1000	03:45	03:52	04:00	04:08	04:17

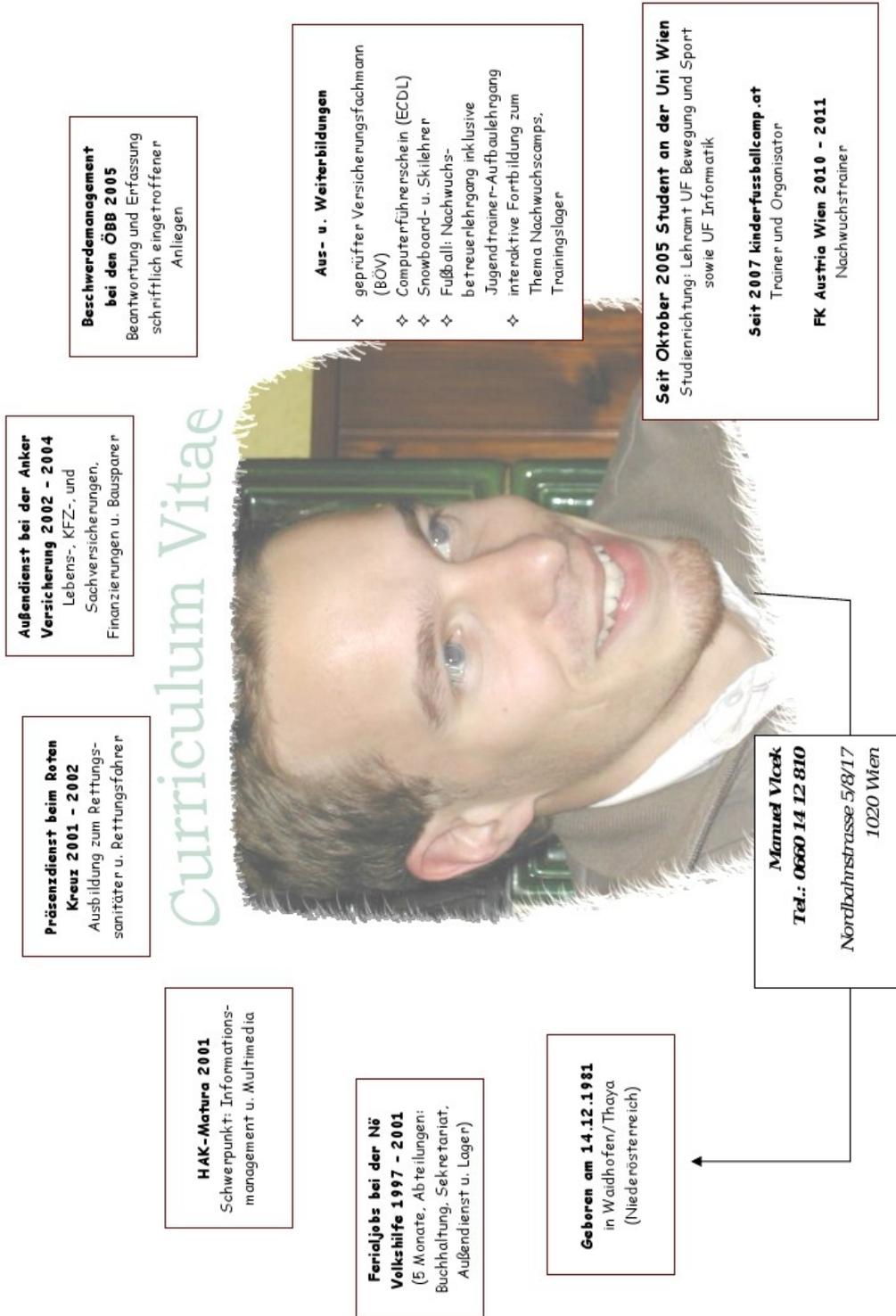
Kontrollzeiten der Intervalltrainingsgruppe.

7.4 Trainingsprotokoll - Dauerlaufgruppe

Dauerlaufgruppe				
Km/h	12 km/h	11 km/h	10 km/h	9 km/h
Startzeit	0	1	2	3
	00:05:00	00:06:27	00:08:00	00:09:40
	00:10:00	00:11:54	00:14:00	00:16:20
	00:15:00	00:17:21	00:20:00	00:23:00
	00:20:00	00:22:48	00:26:00	00:29:40
	00:25:00	00:28:15	00:32:00	00:36:20
	00:30:00	00:33:42		
	00:35:00	bis 36	bis 37	bis 38
		1min in eine Richtung	2,5min in eine Richtung	1min in eine Richtung
Anzahl				

Die jeweiligen Zeiten pro gelaufenem Kilometer für jede Geschwindigkeitsgruppe.

7.5 Lebenslauf



Feb. 2012