



universität  
wien

# Magisterarbeit

Titel der Magisterarbeit

Auswirkungen eines einwöchigen fußballspezifischen  
Intervalltrainings auf die Leistungsfähigkeit von  
Amateur-Fußballspielern

Verfasser

Franz Hinterkörner, Bakk.

Stefan Oesen, Bakk.

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, im November 2010

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Sportwissenschaft

Betreuer:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Mitbetreuung:

Univ. Ass. DI. Dr. Barbara Wessner

## Eidesstattliche Erklärung

Wir erklären, dass wir die vorliegende Arbeit selbständig verfasst haben und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet haben. Diese Arbeit wurde daher weder an anderer Stelle eingereicht (z.B. für andere Lehrveranstaltungen) noch von anderen Personen (z.B. Arbeiten von anderen Personen aus dem Internet) vorgelegt.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Franz Hinterkörner', with a stylized flourish at the end.

Franz Hinterkörner

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Stefan Oesen', with a stylized flourish at the end.

Stefan Oesen

Wien, im November 2010

## Vorwort (Hinterkörper)

„A winner never quits,  
a quitter never wins!“

Vince Lombardi

Im Jahr 2005 entschied ich mich nach fünfjähriger Berufstätigkeit für das Sportstudium. Obwohl es nicht immer leicht für mich war, habe ich diesen Schritt nie bereut. In schwierigen Zeiten besann ich mich stets meines oben angeführten Leitmotivs, das mich auch bei der Erstellung der Magisterarbeit durchhalten ließ, womit ich nun kurz vor dem Ende eines weiteren Lebensabschnitts stehe.

Ich bedanke mich an dieser Stelle bei meiner Familie und meinen Freunden, die mir während meiner Studienzzeit stets einen sicheren Rückhalt boten.

Auch die Erstellung der Diplomarbeit in dieser Form wäre ohne die Mithilfe zahlreicher Personen nicht möglich gewesen. Allen voran bedanke ich mich bei Stefan Oesen, dem ein großer Anteil am Gelingen der Studie zufällt. Weiters gilt mein Dank allen Studienteilnehmern für deren Verlässlichkeit und vorbildliche Motivation beim Training. Vielen Dank auch an unsere Betreuer Univ. Ass. DI. Dr. Barbara Wessner und Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan, sowie an Mag. Markus Hackl, die uns stets mit Rat und Tat zur Seite standen. Zudem geht ein großer Dank an das ÖISM, das durch die kostenlose Bereitstellung der Messgeräte, die Studie möglich machte. Für das Korrekturlesen bedanke ich mich bei Ingrid Vogl.

## Vorwort (Oesen)

*What would you do if I sang out of tune  
Would you stand up and walk out on me?  
Lend me your ears and I'll sing you a song  
And I'll try not to sing out of key*

*I get by with a little help from my friends  
I get high with a little help from my friends  
I'm gonna try with a little help from my friends*  
The Beatles, A Little Help From My Friends

Ich möchte an dieser Stelle jenen Personen einen Dank aussprechen, ohne deren Hilfe diese Diplomarbeit nicht möglich gewesen wäre. Ein großer Dank gilt natürlich denjenigen, welche aktiv an der Durchführung der Studie beteiligt waren. Ich bedanke mich bei Franz, meinem Freund und Forschungspartner, den Probanden, meinen Betreuern sowie dem ÖISM – Team. Sie alle hatten einen wesentlichen Anteil am Gelingen der Studie.

Bei meiner Freundin, meinen Eltern, meinen Schwestern und meinem Schwager möchte ich mich ebenfalls an dieser Stelle bedanken. Aus der bedingungslosen Unterstützung in jeder Lebenslage war es mir möglich Kraft zu schöpfen, um den oftmals steinigen Weg des Studiums erfolgreich zu beschreiten.

## Abstract training specific part (Hinterkörner)

**Purpose:** This master thesis aimed to study the effects of strenuous soccer- specific high intensity interval training, performed twice daily over 6 continuous days, on exercise performance parameters in players of an amateur soccer league.

**Methods:** Two groups were formed: a control group (CG) and a training group (TG) excluding drop outs both groups consisted of 8 subjects finally. The TG completed eleven training sessions within six days, whereas no exercise training was performed during this period by subjects of the CG. Before the start of this high-intensity training micro-cycle TG and CG performed a battery of exercise performance tests including assessment of cardio-respiratory fitness by using a graded maximal exercise test on a treadmill, a Yo-Yo intermittent recovery test level1 (Yo-Yo IR1), Running Anaerobic Sprint Test (RAST) and a 20-meter sprint test in addition anthropometric measurements were performed. These tests were repeated following one week of recovery after completing the training micro-cycle. Training was performed twice daily with a morning and an afternoon training session respectively and consisted of an interval-type of exercise (4 x 4 repeated exercise bouts performed with 95% of the maximum heart rate interspersed by 3 minutes of low-intensity periods performed with 70% of the maximum heart rate. These exercise bouts were organized with different variations of soccer-specific small-group-games.

**Results:** Although the study showed no significant differences in the maximum oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ) between the two measurements ( $p=0,064$ ), there were significant differences with regard to the anaerobic threshold ( $p=0,011$ ), to the running performance (Yo-Yo Intermittent Recovery Test,  $p=0,000$ ), to the average performance of the RAST ( $p=0,001$ ) and to the RAST fatigue index ( $p=0,008$ ) in the TG. Sprinting time however did not change significantly. None of the performance parameters changed significantly in CG comparing the two measurements 2 weeks apart.

**Conclusion:** In contrast to our prior expectations the interval trainings did not result in significant differences in maximum oxygen uptake. However, there were positive implications with regard to other soccer-specific performance parameters as indicated by the results of the Yo-Yo Intermittent Recovery Test and the RAST. These results underline the effectiveness of interval trainings performed in block micro-cycles. Therefore this specific form of periodization can enhance soccer-specific performance and could be implemented in the training schedules of amateur soccer teams as well.

**Keywords:** Small-sided games, block periodization, endurance performance, football, high-intensity interval training.

## Kurzfassung trainingspezifischer Teil (Hinterkörper)

**Zweck:** Das Ziel der Studie war es, die Auswirkung eines einwöchigen fußballspezifischen Intervalltrainings auf die Leistungsfähigkeit von Amateur-Fußballspielern zu untersuchen.

**Methode:** 16 männliche Amateur-Fußballspieler wurden in eine Kontroll- und eine Trainingsgruppe eingeteilt (KG: n=8, TG: n=8). Die Trainingsgruppe absolvierte elf Trainingseinheiten in sechs Tagen, während die Kontrollgruppe kein Training durchführte. Vor der Trainingsintervention und eine Woche danach unterzogen sich die Probanden einer Leistungsdiagnostik, die eine Spiroergometrie, einen Yo-Yo Intermittent Recovery Test (Level 1), einen Running Anaerobic Sprint Test (RAST) und einen 20-Meter-Sprint beinhaltete. Im Zuge der Trainingseinheiten, die am Vor- und Nachmittag stattfanden, wurde ein Intervalltraining (vier Mal vier Minuten bei 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz mit dreiminütigen Pausen dazwischen bei 70 Prozent der maximalen Herzfrequenz) in Form von Kleinfeldspielformen mit unterschiedlichen Aufgabenstellungen durchgeführt.

**Ergebnisse:** Es wurden keine signifikanten Unterschiede bei der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen den beiden Testzeitpunkten erkannt ( $p=0,064$ ). Signifikante Unterschiede bestanden hingegen bei der Geschwindigkeit an der anaeroben Schwelle ( $p=0,011$ ), bei der Laufleistung beim Yo-Yo Intermittent Recovery Test ( $p=0,000$ ), bei der Durchschnittsleistung beim RAST ( $p=0,001$ ) sowie beim RAST-Ermüdungsindex ( $p=0,008$ ). Bei der Sprintzeit gab es keine signifikanten Unterschiede. Die Kontrollgruppe verzeichnete bei keinem der Tests relevante signifikante Unterschiede zwischen den Testzeitpunkten.

**Fazit:** Entgegen der Erwartungen konnten mittels angewandter Trainingsintervention zwar keine signifikanten Unterschiede bei der maximalen Sauerstoffaufnahme erzielt werden, allerdings wurden positive Auswirkungen auf fußballspezifische Leistungsparameter anhand der Ergebnisse beim Yo-Yo Intermittent Recovery Test und Running Anaerobic Sprint Test gezeigt, womit die Effektivität eines Intervalltrainings in Blockform unterstrichen wurde. Ein derartiges Training kann daher verwendet werden, um in kurzer Zeit die fußballspezifische Leistung zu erhöhen und könnte auch im Amateurbereich in Form eines Trainingslagers zur Anwendung kommen, wodurch eine hohe Praxisrelevanz gegeben ist.

**Schlüsselwörter:** Kleinfeldspielformen, Blockperiodisierung, Ausdauerleistungsfähigkeit, Fußball, High Intensity Intervalltraining.

## Abstract Overtraining (Oesen)

**Background and Aim:** In recent decades, athletes, coaches, and sport scientists have been keen on finding creative, new methods for improving the quality and quantity of training for athletes. Such an alternative training concept is the approach called block periodization, which suggests consecutive highly concentrated training stimulation of carefully selected fitness components within specialized micro- or mesocycle-blocks in contrast to traditional periodization which usually tries to develop many abilities and skills simultaneously. Such high intensity training loads as performed in high intensity endurance blocks might hold the risk of overtraining which is the imbalance between training and recovery. Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring often can determine sporting success or failure. In elite sports the combination of physiological and psychological monitoring instruments like biomarkers or the Recovery-Stress Questionnaire are important tools to optimize the recovery-stress state. The aim of this master thesis was to analyse the effects of a one-week high intensity endurance training on biochemical and psychological parameters, during the recovery period.

**Methods:** 16 male amateur soccer players (age:  $24.3 \pm 2.7$  yrs; height:  $1.82 \pm 0.08$  m and body mass:  $77.8 \pm 11.1$  kg) were divided into a control (CG n=8) and a training group (TG n=8). Athletes of the TG performed 11 training sessions of high intensity endurance exercise within 6 days, whereas the players of CG did not perform any kind of training during the study period. Blood samples were drawn before, as well as after 3 and 7 days following recovery respectively in the TG and pre as well as 7 days post intervention in the CG. Parameters analysed: muscle damage and inflammation parameters: creatine kinase activity; myoglobin; interleukine 6 (IL-6); parameters of the energy metabolism: leptin and adiponectin; specific cardiac markers: troponin (cTnT) as well as NT-proBNP. Additionally the stress-recovery balance (RESTQ-sport) questionnaire was performed to describe the relaxation and the physical strain of the participants.

**Results:** No significant elevations of the biomarkers compared to baseline data could be detected following 3 and 7 days of recovery in both the TG and CG. The results of the RESTQ-sport questionnaire showed an increased physical strain of the participants of the TG immediately after the intervention. With one exception (physical recovery), in this questionnaire significant differences were diagnosed in all subtests associated with stress.

**Conclusion:** Based on current results it seems that a high intensity endurance micro-cycle with two training sessions a day over a week is well tolerated by amateur soccer players. Although players demonstrate an increased physical- and psychosocial stress immediately following these intensive exercise intervention physiological biomarkers used

for diagnoses of overreaching and overtraining are not elevated anymore following 3 and 7 days of passive recovery.

**Keywords:** HIT- training, periodization, overtraining, overreaching, biomarker, stress-recovery balance;

## Kurzfassung Übertraining (Oesen)

**Ausgangslage und Ziel:** In den letzten Jahrzehnten versuchten Sportwissenschaftler, Trainer und Athleten immer wieder neue Methoden zu finden um die Quantität und Qualität des Trainings zu verbessern. Das in vorliegender Studie verwendete Trainingskonzept, genannt Blocktrainings – Periodisierung, fokussiert sich auf die konzentrierte Stimulation ausgewählter konditioneller Komponenten in speziellen Mikro- und Mesozyklen, während bei der traditionellen Periodisierung versucht wird, mehrere Fähig- und Fertigkeiten gleichzeitig zu verbessern. Hoch intensive Trainingsbelastungen, wie während eines High- Intensity- Ausdauertraining durchgeführt, bergen das Risiko von Überlastungszuständen, dem Ungleichgewicht von Training und Erholung. Solchen Übertrainingszuständen während High- Intensity- Ausdauertrainings durch die Kontrolle von Stress- und Erholungsparametern vorzubeugen, kann den Unterschied zwischen sportlichen Erfolg und Misserfolg ausmachen. Im Leistungssport erfolgt die Kontrolle über eine Kombination von physiologischen und psychologischen Parametern, wie etwa biochemischen Markern oder einem Erholungs-Belastungs Fragebogen. Das Ziel vorliegender Arbeit war es, die Auswirkungen eines einwöchigen fußballspezifischen High Intensity Ausdauertrainings in Blockform auf biochemische und psychologische Parameter zu untersuchen.

**Methode:** 16 männliche Amateur Fußballspieler (Alter:  $24.3 \pm 2.7$  Jahre; Körpergröße:  $1.82 \pm 0.08$ m und Körpergewicht:  $77.8 \pm 11.1$ kg) wurden in eine Kontroll- (KG: n=8) und eine Trainingsgruppe (TG: n=8) eingeteilt. Die Trainingsgruppe absolvierte elf fußballspezifische High- Intensity- Ausdauertrainingseinheiten in sechs Tagen. Die Teilnehmer der Kontrollgruppe führten während der gesamten Zeit der Studie kein Training durch. Vor, drei und sieben Tage nach der Intervention fanden Blutabnahmen statt. Die Kontrollgruppe nahm lediglich an den Testungen vor und sieben Tage nach der Intervention teil. Zusätzlich wurde der RESTQ – Sport Fragebogen herangezogen, um die Erholung und Beanspruchung der Probanden zu beschreiben. Die Messzeitpunkte für die Fragebogenuntersuchung waren vor, unmittelbar nach sowie sieben Tage nach der Intervention. Die Kontrollgruppe nahm wiederum lediglich an den Testungen vor und sieben Tage nach der Intervention teil. Biochemische Marker: Parameter der muskulären Schädigung und Entzündung: Kreatinkinase-Aktivität; Myoglobin; Interleukin 6 (IL-6); Parameter des Energiestoffwechsels: Leptin und Adiponektin; kardiale Marker: kardiales Troponin (cTnT) und Brain Natriuretic Peptide (NTproBNP).

**Ergebnisse:** Die biochemischen Parameter zeigten weder bei der Kontroll- noch bei der Trainingsgruppe signifikante Unterschiede im Verlauf der drei Messzeitpunkte. Die

Ergebnisse des RESTQ – Sport Fragebogens zeigten eine erhöhte Beanspruchung der Teilnehmer der Trainingsgruppe unmittelbar nach der Intervention. Mit einer Ausnahme (somatische Entspannung) wurden die signifikanten Unterschiede in den mit Stress verbundenen Bereichssubtest festgestellt (p: 0.05).

**Diskussion:** Aus den Ergebnissen dieser Studie kann man schließen, dass ein High-Intensity- Ausdauer- Mikrozyklus, mit zwei Trainingseinheiten pro Tag über eine Zeitdauer von einer Woche, von Amateur Fußballspielern gut verkraftet wird. Obwohl die subjektive Befindlichkeit der Trainingsgruppe eine erhöhte Beanspruchung unmittelbar nach der Trainingsintervention aufwies, konnte anhand der biochemischen Marker gezeigt werden, dass es zu keinem "over-reaching" oder Übertraining gekommen ist, da nach bereits drei beziehungsweise sieben Tagen der passiven Erholung keine Unterschiede zu den Basiswerten festgestellt werden konnten.

**Schlüsselwörter:** HIT- Training, Periodisierung, Übertraining, overreaching, Biochemische Marker, Erholungs- Beanspruchungs- Gleichgewicht;

# INHALTSVERZEICHNIS

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>AUSGANGSLAGE UND PROBLEMSTELLUNG (HINTERKÖRNER &amp; OESEN).....</b>           | <b>14</b> |
| <b>2</b>   | <b>TRAININGSWISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN (HINTERKÖRNER) 17</b>                    |           |
| <b>2.1</b> | <b>Leistungsbestimmende Faktoren im Fußball .....</b>                             | <b>17</b> |
| 2.1.1      | Wechselwirkung von Technik, Taktik und Kondition.....                             | 19        |
| 2.1.1.1    | Einfluss der Kondition auf die Technik .....                                      | 19        |
| 2.1.1.2    | Einfluss der Technik auf die Kondition .....                                      | 20        |
| 2.1.1.3    | Einfluss der Technik und Kondition auf die Taktik.....                            | 20        |
| <b>2.2</b> | <b>Konditionelle Fähigkeiten .....</b>  | <b>22</b> |
| 2.2.1      | Bedeutung der Kraft im Fußball.....   | 23        |
| 2.2.2      | Bedeutung der Schnelligkeit im Fußball .....                                      | 23        |
| 2.2.3      | Bedeutung der Beweglichkeit im Fußball .....                                      | 24        |
| <b>2.3</b> | <b>Ausdauer im Fußball.....</b>   | <b>25</b> |
| 2.3.1      | Belastungscharakteristik im Fußball .....   | 25        |
| 2.3.1.1    | Zurückgelegte Gesamtdistanz.....  | 26        |
| 2.3.1.2    | Intensitätsbereiche und deren zeitlicher Anteil .....                             | 27        |
| 2.3.1.3    | Positionsbezogene Belastungscharakteristik.....                                   | 29        |
| 2.3.1.4    | Belastungscharakteristik in Abhängigkeit vom Niveau .....                         | 29        |
| 2.3.1.5    | Belastung und Erholung .....  | 29        |
| 2.3.2      | Ausdauerleistungsfähigkeit des Fußballspielers.....                               | 30        |
| 2.3.2.1    | Die maximale Sauerstoffaufnahme .....   | 33        |
| 2.3.2.2    | Anaerobe Schwelle und Laktatkonzentration .....                                   | 36        |
| 2.3.2.3    | Die Laufökonomie .....  | 37        |
| 2.3.3      | Ziele des Ausdauertrainings im Fußball.....                                       | 39        |
| 2.3.4      | Verfahren zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit im Fußball.....           | 41        |
| 2.3.4.1    | Spiroergometrie am Laufband zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme ..... | 41        |
| 2.3.4.2    | RAST – Running Anaerobic Sprint Test .....  | 42        |
| 2.3.4.3    | Yo-Yo Intermittent Recovery Test .....  | 43        |
| 2.3.5      | Ausdauer-Trainingsmethoden im Fußball .....                                       | 44        |
| <b>2.4</b> | <b>High Intensity Training.....</b>   | <b>46</b> |
| 2.4.1      | Physiologische Adaptationen durch High Intensity Training.....                    | 48        |
| 2.4.1.1    | Zentrale Adaptationen.....  | 49        |
| 2.4.1.2    | Periphere Adaptationen.....   | 50        |
| 2.4.2      | Fußballspezifische Trainingsformen .....  | 51        |
| 2.4.3      | Relevante, zu erwartende Effekte im Fußball.....                                  | 56        |
| <b>3</b>   | <b>THEORETISCHE GRUNDLAGEN ZUM ÜBERTRAINING (OESEN).....</b>                      | <b>59</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Trainings Kontinuum .....</b>  | <b>59</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Definition des Übertrainings (OTS) .....</b>                                   | <b>61</b> |
| 3.2.1      | Symptome.....   | 61        |
| 3.2.2      | Ursachen.....   | 64        |
| <b>3.3</b> | <b>Over-reaching.....</b>   | <b>65</b> |
| 3.3.1      | Grundprinzipien .....   | 65        |
| 3.3.2      | Blocktraining.....  | 67        |
| 3.3.3      | Over-reaching in der Trainingspraxis.....   | 70        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| <b>3.4</b> | <b>Übertrainingsparameter</b> .....  | <b>70</b>  |
| 3.4.1      | Das endokrine System .....   | 71         |
| 3.4.1.1    | Cortisol .....   | 71         |
| 3.4.1.2    | Testosteron- Cortisol- Verhältnis.....   | 73         |
| 3.4.1.3    | Cortisol/Cortison.....   | 74         |
| 3.4.1.4    | Peptid-Hormone.....  | 74         |
| 3.4.1.5    | Diskussion.....  | 78         |
| 3.4.2      | Autonomes Nervensystem.....  | 78         |
| 3.4.2.1    | Katecholamine .....  | 78         |
| 3.4.2.2    | Herzfrequenzvariabilität .....   | 79         |
| 3.4.3      | Immunologische Parameter .....   | 81         |
| 3.4.3.1    | Infektion des oberen respiratorischen Traktes (URTI) .....                                       | 81         |
| 3.4.3.2    | Hämatologische Parameter .....   | 81         |
| 3.4.3.3    | Glutamine .....  | 82         |
| 3.4.3.4    | Zytokine.....  | 83         |
| 3.4.4      | Muskuläre Parameter.....   | 86         |
| 3.4.4.1    | Creatinkinase .....  | 86         |
| 3.4.4.2    | Myoglobin.....   | 87         |
| 3.4.5      | Kardiale Parameter .....   | 89         |
| 3.4.6      | Befindlichkeit .....   | 91         |
| <b>4</b>   | <b>METHODE</b> .....   | <b>93</b>  |
| <b>4.1</b> | <b>Studiendesign (Oesen)</b> .....   | <b>93</b>  |
| <b>4.2</b> | <b>Stichprobe (Oesen)</b> .....  | <b>93</b>  |
| 4.2.1      | Rekrutierung.....  | 93         |
| 4.2.2      | Ein- und Ausschlusskriterien.....  | 94         |
| <b>4.3</b> | <b>Datenerfassung und Datenauswertung der leistungsdiagnostischen Parameter (Hinterkörper)</b> . | <b>94</b>  |
| 4.3.1      | Testzeitpunkte .....   | 94         |
| 4.3.2      | Anthropometrische Untersuchung.....  | 95         |
| 4.3.3      | Spiroergometrie .....  | 96         |
| 4.3.4      | Sprint Testungen .....   | 98         |
| 4.3.5      | Running Anaerobic Sprint Test (RAST) .....   | 98         |
| 4.3.6      | Yo-Yo Intermittent Recovery Test.....  | 99         |
| <b>4.4</b> | <b>Datenerfassung der Übertrainingsparameter (Oesen)</b> .....                                   | <b>100</b> |
| <b>4.5</b> | <b>Intervention</b> .....  | <b>102</b> |
| 4.5.1      | Belastungscharakteristik (Oesen) .....   | 102        |
| 4.5.2      | Trainingsinhalte (Hinterkörper).....   | 103        |
| <b>4.6</b> | <b>Statistische Methoden (Hinterkörper)</b> .....  | <b>107</b> |
| <b>4.7</b> | <b>Statistische Methoden (Oesen)</b> .....   | <b>107</b> |
| <b>5</b>   | <b>ERGEBNISSE, INTERPRETATION UND DISKUSSION</b> .....   | <b>108</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Kenndaten der Studienteilnehmer (Oesen)</b> .....   | <b>108</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Ergebnisse der Leistungsdiagnostik (Hinterkörper)</b> .....                                   | <b>109</b> |
| 5.2.1      | Spiroergometrie .....  | 109        |
| 5.2.1.1    | Maximale Sauerstoffaufnahme .....  | 109        |
| 5.2.1.2    | Maximal erreichte Geschwindigkeit .....  | 110        |
| 5.2.1.3    | Maximale Herzfrequenz.....   | 111        |
| 5.2.1.4    | Laufökonomie .....   | 111        |
| 5.2.1.5    | Aerobe Schwelle (VT).....  | 111        |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 5.2.1.6    | Anaerobe Schwelle (RCP) .....   | 111        |
| 5.2.1.7    | Nachbelastungslaktat .....  | 112        |
| 5.2.1.8    | Laktatelimination .....   | 113        |
| 5.2.2      | Yo-Yo Laufleistung .....  | 114        |
| 5.2.3      | RAST (Running Anaerobic Sprint Test) .....  | 115        |
| 5.2.4      | 20-Meter-Sprint .....   | 118        |
| <b>5.3</b> | <b>Interpretation und Diskussion der Ergebnisse der Leistungsdiagnostik (Hinterkörper).....</b> | <b>120</b> |
| <b>5.4</b> | <b>Ergebnisse und Diskussion zum Übertraining (Oesen) .....</b>                                 | <b>125</b> |
| 5.4.1      | RESTQ – Sport.....  | 125        |
| 5.4.1.1    | Diskussion.....   | 132        |
| 5.4.2      | Muskuläre Biomarker .....   | 133        |
| 5.4.2.1    | Diskussion.....   | 135        |
| 5.4.3      | Peptidhormone .....   | 138        |
| 5.4.3.1    | Diskussion.....   | 141        |
| 5.4.4      | Kardiale Parameter .....  | 143        |
| 5.4.4.1    | Diskussion.....   | 145        |
| 5.4.5      | Immunologischer Parameter.....  | 147        |
| 5.4.5.1    | Diskussion.....   | 148        |
| 5.4.6      | Blutbild.....   | 150        |
| <b>6</b>   | <b>ZUSAMMENFASSUNG DER TRAININGSWISSENSCHAFTLICHEN<br/>ERKENNTNISSE (HINTERKÖRNER) .....</b>    | <b>151</b> |
| <b>7</b>   | <b>ZUSAMMENFASSUNG ZUR ÜBERTRAININGSDIAGNOSTIK (OESEN). 152</b>                                 |            |
| <b>8</b>   | <b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>  | <b>154</b> |
| <b>9</b>   | <b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>  | <b>156</b> |
| <b>10</b>  | <b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>   | <b>157</b> |
| <b>11</b>  | <b>LEBENS LAUF HINTERKÖRNER.....</b>  | <b>164</b> |
| <b>12</b>  | <b>LEBENS LAUF OESEN .....</b>  | <b>165</b> |

# 1 Ausgangslage und Problemstellung (Hinterkörner & Oesen)

Fußball ist eine komplexe, intermittierende Sportart, welche eine multidimensionale Belastungsstruktur aufweist und ständig zwischen hochintensiven und moderaten bis niedrigen Intensitäten wechselt (Bradley et al., 2009, 2010; DiSalvo et al., 2007, 2009; Mohr et al., 2003, 2005; Bangsbo et al., 2006; Orendurff et al., 2010). Neben den technischen, taktischen und psychologischen Faktoren kommt den konditionellen Fähigkeiten eine entscheidende, leistungsbestimmende Bedeutung zu (vgl. Stolen et al., 2005; Sporis et al., 2009). Hierzu zählt unter anderem die Ausdauerleistungsfähigkeit, die das vorrangige Thema dieser Arbeit darstellt.

Diverse Studien zeigen die enorme Bedeutung der Ausdauerleistungsfähigkeit im Fußball (vgl. Impellizzeri et al., 2005; Hoff et al., 2006; Hoff, 2005; Stolen et al., 2005; Wisloff et al., 1998). Neben der zurückgelegten Distanz zeichnen sich Topteams zusätzlich durch einen höheren Anteil an hochintensiven Läufen und Sprints aus (vgl. Mohr et al., 2003; Bradley et al., 2009). Um entscheidende Aktionen im Spiel in höchstem Tempo durchführen zu können, ist neben der aeroben auch die anaerobe Kapazität von großer Bedeutung für den Fußballspieler (vgl. Weineck, 1999, S. 26; Bangsbo et al., 2006; Stolen et al., 2005). Daher muss es ein Ziel sein, eine Trainingsform zu finden, welche die spielspezifische Leistungsfähigkeit auf ein optimales Niveau bringt.

Laursen & Jenkins (2002) wiesen darauf hin, dass gut ausdauertrainierte Personen kardiorespiratorische Anpassungen, die durch submaximales Training hervorgerufen werden, erreicht haben und eine weitere Steigerung des Trainingsvolumens zu keiner weiteren Leistungssteigerung führt.

Daher liegt es nahe, nicht die Belastung, sondern die Intensität zu steigern. Im Hochleistungstraining sind die Parameter Trainingshäufigkeit und Trainingsumfang bereits maximal ausgereizt. Einzige verbleibende Möglichkeit ist somit die Steigerung der Belastungsintensität (vgl. Laursen & Jenkins, 2002).

Nicht zuletzt deshalb hat sich das „High Intensity Training“ (HIT) als sinnvolle Trainingsmethode erwiesen (Laursen & Jenkins, 2002; Chamari et al., 2005; Iaia et al., 2009). Das High Intensity Training arbeitet mit hoher bis höchster Intensität und im Vergleich zu Ausdauertrainingsformen mit geringerem Umfang. Studien zu dieser

Trainingsform berichten - je nach Leistungsniveau, Dauer und Frequenz des Trainings - über eine Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme, die als Bruttokriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit gilt, um fünf bis 30 Prozent (Helgerud et al. 2001, Helgerud et al. 2003; Helgerud et al., 2007; Iaia et al., 2009; Chamari et al., 2005; Stolen et al., 2005; McMillan et al., 2005). In Kapitel 2.4.3 werden die Effekte dieser Trainingsform im Detail betrachtet.

Im Zuge dieser Arbeit wurde daher eine Trainingsstudie mit High Intensity Training als Inhalt durchgeführt. Im Unterschied zu bisherigen Studien (Helgerud et al., 2001; Helgerud et al., 2003; McMillan et al., 2005; Chamari et al., 2005) wurde im Rahmen dieser Studie die Dauer der Trainingsintervention auf eine Woche reduziert. Zeit der Durchführung waren zwei Wochen nach Meisterschaftsende.

Im Zuge der hohen Belastungsdichte des Blocktrainings galt es sicherzustellen, dass die Athleten nicht überbelastet werden, beziehungsweise dass die Regenerationszeit adäquat ist, um positive Adaptationen zu ermöglichen. Die optimale Regenerationszeit bei dieser speziellen Trainingsform ist bis dato in der Literatur nicht beschrieben. Die Blutabnahmen erfolgten vor und sieben Tage nach der Intervention. Der Trainingsgruppe wurde zusätzlich drei Tage nach Beendigung des Trainings Blut abgenommen. Die Hypothese war, dass drei Tage nach der Intervention Zeichen der Überlastung im Blut der Probanden der Trainingsgruppe festzustellen sind, dass die Parameter am Ende der Regeneration jedoch wieder auf das Ausgangsniveau gesunken sind. Ist dies der Fall, so spricht man in der Literatur von einem funktionellen oder geplanten over-reaching. Dieser Zustand zeichnet sich dadurch aus, dass die kurzzeitige Überlastung nach einer Regenerationsphase zu einer Leistungssteigerung führt (vgl. Coutts et al. 2007). Die Analyse der Blutproben schloss kardiale, muskuläre, immunologische sowie energetische Parameter ein.

Zusätzlich wurde der von Kellmann und Kallus entwickelte Erholungs-Beanspruchungsfragebogen RESTQ – Sport eingesetzt, um den Grad der Beanspruchung der Athleten zu beschreiben (vgl. Kellmann und Kallus, 2001). Anhand von 19 Subtests werden die allgemeine und die spezifische Beanspruchung sowie die allgemeine und spezifische Erholung der letzten drei Tage und Nächte beschrieben.

Nach Kellmann et al. (1997, S.125-126) entspricht dieser Fragebogen weitgehend den testatischen Kriterien und kann als valides Instrument zur Beschreibung von Erholung und Beanspruchung von Sportlern erachtet werden. Bezug nehmend auf die inneren Konsistenzen der 19 Subtest berichten die Autoren, dass mit Ausnahme des Subtests

„Erfolg“ alle ein Cronbach alpha von über 0,7 erreichen. Des Weiteren berichten Jurimäe et al. (2004) von einer 24 Stunden Test-Retest Reliabilität von  $r=0,79$ .

Es besteht ein hoher Praxisbezug, da die Belastungsphase auf eine Woche komprimiert wurde und dieses Training daher auch im Amateurbereich in Form eines Trainingslagers (Blockperiodisierung) durchgeführt werden kann. Zudem wurden alle Trainings mit dem Ball durchgeführt, was den Praxisbezug zum Fußball weiter steigert. Anhand statistischer Methoden gilt es zu klären, ob die Effekte des durchgeführten Trainings Empfehlungen für künftige fußballspezifische Trainingsprogramme ermöglichen.

Um auf das Thema High Intensity Training hinzuführen, befasst sich der erste Teil dieser Arbeit - ausgehend von den leistungsbestimmenden Faktoren - mit den konditionellen Aspekten im Fußball und greift sich dabei im Speziellen die Ausdauer des Fußballspielers heraus, die das Kernthema der Arbeit darstellt. Im Zusammenhang mit dem High Intensity Training gibt es auch immer wieder Bedenken im Bezug auf Übertraining. Gerade dann, wenn in einer Woche elf hochintensive Trainingseinheiten absolviert werden sollen, schien für uns dieser Aspekt umso wichtiger, weshalb sich auch ein eigenes Kapitel mit dem Thema Übertraining beschäftigt.

Das Ziel der Studie war es herauszufinden, welche Effekte mit einem einwöchigen fußballspezifischen Intervalltraining in Bezug auf die aerobe und anaerobe Leistungsfähigkeit erzielt werden können. Außerdem galt es herauszufinden, ob die Gefahr einer Überlastung der Athleten durch diese Form der Periodisierung besteht, beziehungsweise ob die Regenerationszeit von einer Woche ausreichend ist.

Die zu verifizierenden Hypothesen lauteten also wie folgt:

Es besteht ein signifikanter Unterschied in der Leistungsfähigkeit der Trainingsgruppe (gemessen anhand der in Folge beschriebenen Parameter) vor und nach einem fußballspezifischen High Intensity Blocktraining.

Es besteht ein signifikanter Unterschied in den Ergebnissen der Blutparameter der Trainingsgruppe zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten.

Es besteht kein signifikanter Unterschied der Ergebnisse der Kontrollgruppe beim Basistest und beim Retest (Gesamtheit aller Messparameter).

## 2 Trainingswissenschaftliche Grundlagen (Hinterkörper)

### 2.1 Leistungsbestimmende Faktoren im Fußball

Wie Abbildung 1 zeigt, haben vielfältige, sich gegenseitig bedingende und voneinander abhängige Faktoren Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Fußballers. So ist etwa ein taktisches Konzept nur mit entsprechenden technischen, konditionellen und psychischen Voraussetzungen realisierbar. Das komplexe Beziehungsgeflecht im Fußball wird mit folgendem Zitat von Weineck (1990b, S. 309; in Weineck 1999, S. 18) recht gut veranschaulicht:

*„...wie sollte die taktische Order Direktspiel realisiert werden, wenn nicht das notwendige technische Können vorhanden ist; welchen Sinn hätte die Weisung Manndeckung, wenn der Gegenspieler in puncto Schnelligkeit und Ausdauer in allen Belangen überlegen ist; auf welche Weise sollte schließlich ein kooperatives Mannschaftsspiel zustande kommen, wenn dem Mitspieler das Erfassen beziehungsweise Umsetzen gegebener Wettkampfsituationen unmöglich ist.“*

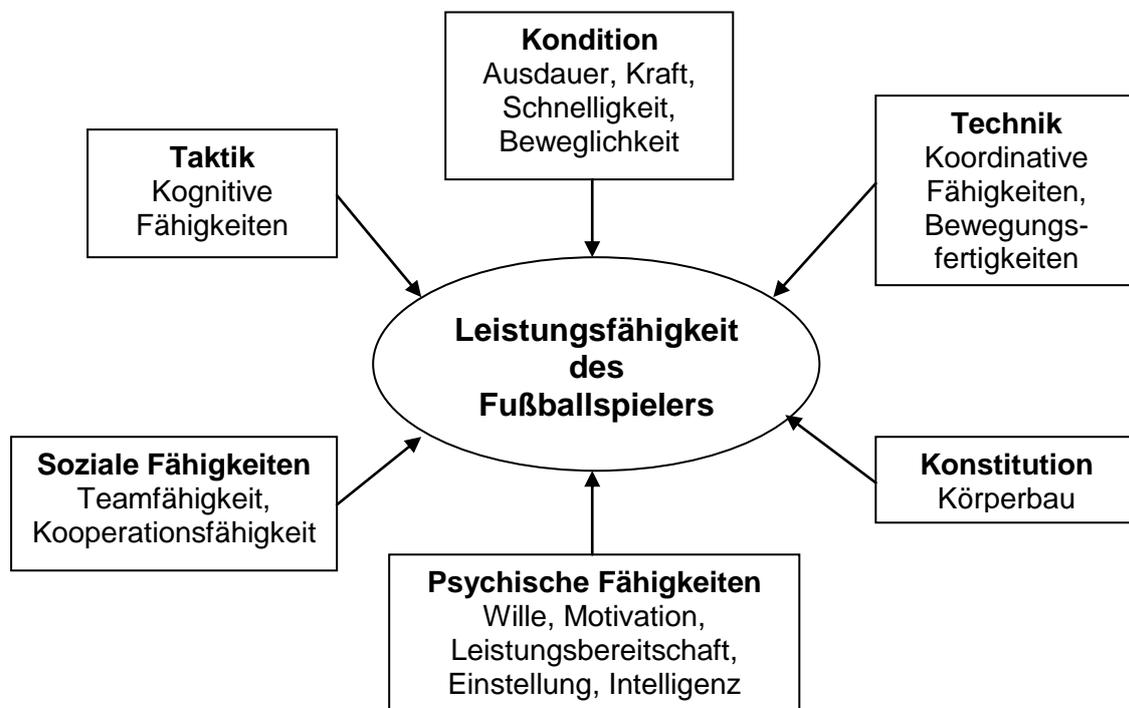


Abbildung 1: Komponenten der Leistungsfähigkeit des Fußballers (nach Weineck, 1999, S. 17; Geese, 2009, S. 17)

Die Komponenten sind daher nicht austauschbar. Sie sind alle wichtig, allerdings ist der Einfluss der einzelnen Komponenten unterschiedlich. Die Konstitution nimmt etwa nicht den gleichen Stellenwert wie die Technik oder Kondition ein (vgl. Geese, 2009, S. 17).

Die Konstitution betrifft den Körperbau, der zum Teil genetisch festgelegt ist, jedoch durch Training stark beeinflusst werden kann. Der Fußballer zeichnet sich meist durch eine stark ausgeprägte Beinmuskulatur aus, zudem wäre auch eine gut ausgebildete Rumpf- und Oberkörpermuskulatur wünschenswert, da dadurch die Durchsetzungsfähigkeit begünstigt und die Wirbelsäule vor Verletzungen geschützt werden würde. Je höher die Leistungsklasse, desto stärker sollte auch die Konstitution Beachtung finden (vgl. Geese, 2009, S. 24 f.).

Unter den psychischen Fähigkeiten versteht man den Willen zur Leistung sowie die entsprechende Motivation, Einstellung zu Anstrengung und Leistungsbereitschaft im Training und Spiel (vgl. Geese, 2009, S. 18 f.). Spieler, die in diesem Bereich über ein hohes Niveau verfügen, werden oft als sogenannte „Winnertypen“ bezeichnet. Sie können auch mit Stress und Erfolgsdruck gut umgehen und können ihren Erregungszustand so steuern, dass das vorhandene Leistungspotenzial voll ausgeschöpft werden kann. Diese Fähigkeiten sind zum Teil angeboren, können aber auch durch entsprechende Interventionen geschult werden. In diesen Bereich fällt zudem der Begriff „Spielintelligenz“. Dazu zählen Fähigkeiten wie Konzentration und Aufmerksamkeit sowie das Antizipieren von Spielsituationen, die allesamt gute Spieler ausmachen (vgl. Geese, 2009, S. 18 f.).

Die zentrale Rolle bei den leistungsbestimmenden Faktoren des Fußballers nehmen aber die Technik, Taktik und Kondition ein.

Die Technik spiegelt sich in der Qualität von fußballspezifischen Fertigkeiten, wie Ballannahme, Dribbeln, Passen, Schießen, Finten usw., wider. Diese müssen mit steigender Spielklasse auch in höchstem Tempo, auf engstem Raum und unter Druck des Gegners sicher beherrscht werden (vgl. Geese, 2009, S. 19).

Taktik ist die Nutzung der eigenen leistungsrelevanten Faktoren zur optimalen Lösung von Spielsituationen. Dabei sind das Leistungsniveau des Gegners, Zielvorgaben und äußere Umstände zu berücksichtigen. Es kann eine Unterscheidung in Mannschafts-, Guppen- und Individualtaktik vorgenommen werden, die sich jeweils wieder in Situationen in Ballbesitz und Situationen, bei denen der Gegner in Ballbesitz ist, einteilen lassen.

Der Begriff Kondition fasst die motorischen Grundfähigkeiten Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit und Beweglichkeit zusammen (vgl. Weineck, 1999, S. 15). Auf die für den Fußballer relevanten konditionellen Fähigkeiten wird in dieser Arbeit noch ausreichend eingegangen.

Folglich werden die Wechselwirkungen der zentralen Komponenten Technik, Taktik und Kondition genauer betrachtet.

### 2.1.1 Wechselwirkung von Technik, Taktik und Kondition

„Es ist müßig, danach zu fragen, ob nun die Technik oder die Kondition oder auch das taktische Geschick des Spielers bedeutsamer für seine Leistung im Spiel sind“ (Bauer, 1994, S. 35). Bauer ist der Meinung, dass vor allem im Amateurbereich gewisse Schwächen in einem Bereich durch Stärken in einem anderen Bereich ausgeglichen werden können. Je höher jedoch die Leistungsklasse und je stärker der jeweilige Gegenspieler, desto weniger können Schwächen ausgeglichen werden. Mit steigender Leistungsstufe ist also eine ausgewogene Ausprägung, im Sinne von „das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“, gefordert (vgl. Geese, 2009, S. 18). Wie sich die einzelnen Faktoren gegenseitig beeinflussen, zeigt der folgende Abschnitt.

#### 2.1.1.1 Einfluss der Kondition auf die Technik

Die motorischen Grundeigenschaften Kraft, Ausdauer, Schnelligkeit und Beweglichkeit stellen unabdingbare Voraussetzungen für jede Art von menschlicher Bewegung dar. Je nach Stärke, Ausmaß und Dauer der Bewegung werden die einzelnen Aspekte mehr oder weniger benötigt (vgl. Bauer, 1994, S. 35; Bischops & Gerards, 2002, S. 13). Während eines Fußballspiels werden rund 1.000 bis 1.400 hauptsächlich kurze Aktivitäten vollbracht, die sich alle vier bis sechs Sekunden abwechseln (vgl. Stolen et al., 2005). Dafür benötigen die Spieler spezielle konditionelle Fähigkeiten. Die Pendelbewegung des Oberkörpers bei einer Finte erfordert etwa eine gute Beweglichkeit des gesamten Rumpfes und eine kräftige Rumpfmuskulatur. Flache, scharfe Vollspannstöße kann ein Spieler nur dann vollbringen, wenn er über eine gute Streckfähigkeit im Sprunggelenk verfügt. Die Qualität der Ballannahme durch Spreiz- oder Gleittackling ist von der Beweglichkeit im Hüftgelenk und einer gut entwickelten allgemeinen Koordinationsfähigkeit abhängig. Weiters sind dynamische Sprünge zum Kopfball oder schnelle Antritte zum Gegner oder Ball ohne kräftig entwickelte Sprungmuskulatur nicht denkbar (vgl. Bauer, 1994, S. 35; Stolen et al., 2005; Meylan & Malatesta, 2009).

In sehr hohem Maße wird die Technik auch durch die allgemeine und spezielle Ausdauerfähigkeit beeinflusst, denn bei starker lokaler oder zentralnervöser Ermüdung geht auch die Fähigkeit zu technisch gut koordinierten Bewegungen verloren. Für eine optimale Ballbehandlung ist daher auch ein Mindestmaß an Kondition notwendig (vgl. Bauer 1994, S. 35; Geese, 2009, S. 19). Dies wird unterstrichen durch die Studienergebnisse von Rampinini (2008), der feststellte, dass eine matchbezogene Ermüdung die technische Fertigkeit, kurze Pässe zu spielen, beeinflusst. Dies gilt sowohl für kurzzeitige Ermüdung nach intensiven Phasen, als auch für die Ermüdung, die gegen Ende des Spiels zunimmt. Er erkannte zudem einen Zusammenhang zwischen dem ermüdungsbedingten Abfall technischer Fähigkeiten und dem Fitnesslevel der Fußballspieler. Apriantono et al. (2006) zeigten zudem, dass beim Vollspannstoß durch die Ermüdung nicht nur die Fähigkeit, Kraft zu generieren, verringert wird, sondern auch die Koordination negativ beeinflusst wird.

#### 2.1.1.2 Einfluss der Technik auf die Kondition

Vor allem mit zunehmender Dauer des Spiels haben auch die technischen Fähigkeiten einen Einfluss auf die konditionelle Verfassung der Spieler, denn je besser der Spieler einen technischen Bewegungsablauf koordiniert, umso weniger Kraftaufwand muss er dafür aufbringen, womit er über die Länge des Spiels gesehen weniger Energie verbraucht (Buschmann, Pabst & Bussmann, 2006, S. 15). Ein Zitat aus dem Fußball besagt: „Ball und Gegner laufen lassen“, womit nichts anderes gemeint ist, als den Ball durch optimales technisches Passspiel in den eigenen Reihen zu halten und den Gegner damit zu zwingen, um die Rückgewinnung des Balles zu kämpfen, was sowohl physisch als auch psychisch weitaus anstrengender ist. Die Absicht, die damit verfolgt wird, ist jene, den Gegner gegen Ende des Spiels müde zu machen, wodurch seine Konzentration sinkt und ihm technisch-taktische Fehler unterlaufen. Nicht zuletzt deswegen werden viele Spiele noch in den letzten Minuten entschieden (vgl. Bauer, 1994, S. 36; Buschmann, Pabst & Bussmann, 2006, S. 15).

#### 2.1.1.3 Einfluss der Technik und Kondition auf die Taktik

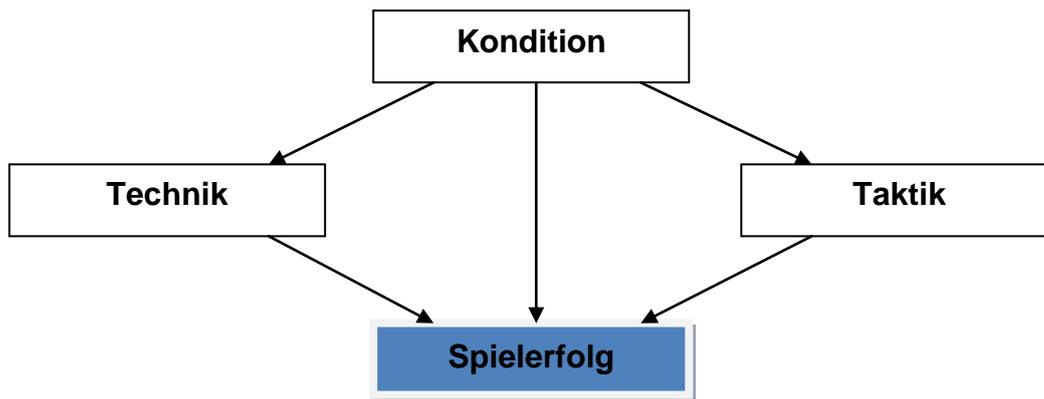
Bauer (1994, S. 36) meint, dass ein erfolgreiches taktisches Handeln den geschickten Einsatz von technischen Fertigkeiten und konditionellen Fähigkeiten voraussetzt. Daran lässt sich erkennen, dass taktisches Handeln sehr stark von Technik und Kondition abhängt, was sowohl für individual-, als auch für mannschaftstaktische Handlungen seine

Gültigkeit besitzt. Verfügt ein Spieler nicht über eine sichere Passtechnik, so ist die taktische Vorgabe des Trainers, schnell und direkt abzuspielen, zum Scheitern verurteilt. Auch mannschaftstaktische Varianten wie Forechecking, Konter oder Flügelspiel sind umso wirkungsvoller, je besser der konditionelle Zustand der Mannschaft ist.

Zusammenfassend kann gefolgert werden, dass Technik, Taktik und Kondition in ihrer Wirksamkeit für den Erfolg oder Misserfolg im Spiel kaum voneinander getrennt betrachtet werden können (vgl. Bauer, 1994, S. 36).

## 2.2 Konditionelle Fähigkeiten

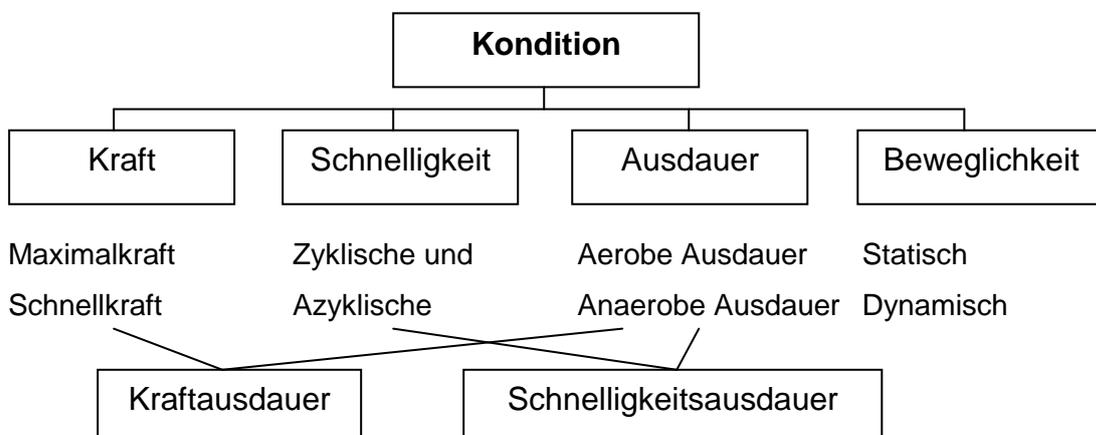
Unter den leistungsbestimmenden Faktoren räumt Geese (2009, S. 25) der Kondition den höchsten Stellenwert ein. Er geht davon aus, dass die Kondition nicht nur die Grundvoraussetzung für Technik und Taktik ist, sondern zudem einen direkten Einfluss auf den Spielerfolg nimmt, wie Abbildung 2 zeigt.



**Abbildung 2: Direkter und indirekter Einfluss der Kondition auf den Spielerfolg (nach Geese, 2009, S. 27)**

In derselben Leistungsklasse haben meist technischschwache, aber konditionsstarke Mannschaften eine höhere Erfolgschance, als dies umgekehrt der Fall wäre. Geese (2009, S. 25) erklärt dies damit, dass die Kondition sowohl Technik als auch Taktik stärker beeinflusst als umgekehrt. Gegen konditionsstarke Gegner können sich technische Fähigkeiten kaum entfalten und werden daher nur bedingt erfolgswirksam.

Zudem ortet Geese (2009, S. 26) im konditionellen Bereich ein größeres Entwicklungspotenzial als im technischen.



**Abbildung 3: Konditionelle Fähigkeiten und ihre Unterformen (nach Geese, 2009, S. 20)**

Während auf die Ausdauer noch hinreichend eingegangen wird, werden die weiteren konditionellen Aspekte, die in Abbildung 3 ersichtlich sind, und deren Bedeutung für den Fußball nur kurz erläutert.

### 2.2.1 Bedeutung der Kraft im Fußball

Die Kraft gilt im Fußball als allgemeine Voraussetzung, um kurze Antritte und Sprünge optimal realisieren zu können. Dafür dienen zum einen die Maximalkraft und zum anderen die Schnellkraft als Basis (vgl. Weineck, 1999, S. 205). Meylan & Malatesta (2009) erreichten bei Jugendspielern mittels achtwöchigen plyometrischen Trainings innerhalb des regulären Fußballtrainings eine signifikante Verbesserung bei explosiven Aktivitäten (gemessen anhand des Counter Movement Jumps und eines Contact Tests) und schlossen daher auf einen positiven Effekt auf Sprints, Richtungswechsel und Sprünge, die wichtige Faktoren für spielentscheidende Aktionen darstellen. Auch Christou et al. (2006) zeigten bei Jugendspielern durch zusätzliches Krafttraining signifikante Verbesserungen der Höhe beim Squat Jump und Counter Movement Jump sowie der 30-Meter-Sprintzeit im Vergleich zur Kontrollgruppe, die lediglich normales Fußballtraining durchführte.

Schließlich spielt auch noch die Kraftausdauer, insbesondere im Bereich der Stützmuskulatur, für den Fußballer eine wichtige Rolle. Der Faktor Kraft trägt damit zur Steigerung der fußballspezifischen Leistungsfähigkeit, der Verletzungsprophylaxe sowie zur Haltungsprophylaxe bei (vgl. Weineck, 1999, S. 205).

Die fußballrelevanten Kraftparameter sind jedoch nicht maximal, sondern nur optimal zu entwickeln, um eine negative Beeinflussung anderer leistungsbestimmender Faktoren zu vermeiden (vgl. Weineck, 1999, S. 205).

### 2.2.2 Bedeutung der Schnelligkeit im Fußball

Die Schnelligkeitsanforderungen im Fußball lassen sich in die Teileigenschaften Wahrnehmungsschnelligkeit, Antizipationsschnelligkeit, Entscheidungsschnelligkeit, Reaktionsschnelligkeit, Bewegungsschnelligkeit ohne Ball und Aktionsschnelligkeit mit Ball sowie Handlungsschnelligkeit einteilen. Die Schnelligkeit allgemein mit all ihren Teileigenschaften zählt zu den wichtigsten Komponenten der fußballspezifischen Leistungsfähigkeit. „Sowohl im Angriff als auch in der Abwehr entscheidet die Schnelligkeit oftmals über Sieg oder Niederlage. Der Angreifer beziehungsweise Abwehrspieler, der ‚um einen Schritt schneller‘, ‚um eine Fußspitze früher‘, ‚um eine Idee

eher´ am Ball ist, erzielt beziehungsweise verhindert unter Umständen das spielentscheidende Tor“ (Weineck, 1999, S. 379 f.). In einer Studie von Kaplan et al. (2009), die bei 108 Fußballspielern aus dem Profi- und Amateurbereich die Laufgeschwindigkeit und Beweglichkeit mittels Zehn-Meter-Shuttle-Run-Tests untersuchten, zeigte sich, dass Profispieler bei diesem Test signifikant besser abschnitten als Amateurspieler, was die Wichtigkeit dieser Aspekte im Hinblick auf die Leistung im Spiel unterstreicht.

### 2.2.3 Bedeutung der Beweglichkeit im Fußball

Die Beweglichkeit ist auch im Fußball eine elementare Voraussetzung für eine qualitativ und quantitativ gute Bewegungsausführung. Eine optimale Beweglichkeit des Fußballers wirkt sich daher positiv auf dessen Leistungsfähigkeit, dessen Fertigkeiten etwa im Bezug auf die Technik sowie auf die Verletzungsprophylaxe aus (vgl. Weineck, 1999, S. 496).

So erkannten etwa Bradley & Portas (2007) bei der Beobachtung von 36 professionellen Fußballspielern der englischen Premierleague über eine Saison hinweg, dass Spieler, die sich eine Zerrung der Hüft- oder Kniebeugemuskulatur zuzogen, eine signifikant niedrigere „Range of Motion“ aufwiesen, als jene, die unverletzt blieben. Auch Henderson et al. (2010) kamen in ihrer Studie zur Erkenntnis, dass ältere, kräftigere und weniger flexible Spieler einem größeren Risiko für Oberschenkelverletzungen ausgesetzt sind.

## 2.3 Ausdauer im Fußball

Die hohe Bedeutung des konditionellen Aspekts im Fußball wurde bereits eingangs im Kapitel „Leistungsbestimmende Faktoren“ untermauert.

Wie die Studien des folgenden Abschnitts zeigen, nimmt unter den konditionellen Faktoren die Ausdauer nicht zuletzt aufgrund der zunehmend geforderten Laufleistungen während eines Spiels einen ausschlaggebenden Stellenwert ein. Der Fußballspieler bewegt sich im Spiel in einem breiten Spektrum an Laufintensitäten, wofür ein hohes Maß an Ausdauer die Basis darstellt (Mohr et al., 2003; Di Salvo et al., 2007; Bradley et al., 2009). Je besser seine Ausdauerleistungsfähigkeit, desto länger gelingt es ihm der Ermüdung, die zur Verringerung der Intensität führt, zu trotzen (Helgerud et al., 2001).

### 2.3.1 Belastungscharakteristik im Fußball

Nach Verheijen (1997, S. 23) empfiehlt sich eine Einteilung der Belastung von Fußballspielern in Laufarbeit (in unterschiedlichen Intensitätsbereichen; darauf wird in weiterer Folge noch näher eingegangen) und fußballspezifische Arbeit (Sprünge, Schüsse, Zweikämpfe, usw.).

Stolen et al. (2005) berichten von rund 1.000 bis 1.400 hauptsächlich kurzen Aktivitäten, die sich alle vier bis sechs Sekunden ändern.

Gerade die Laufarbeit hat in den letzten Jahren drastisch zugenommen (vgl. Stolen et al., 2005). Sieht man sich ein Spiel der 1970er-Jahre im Fernsehen an und vergleicht es mit einem heutiger Zeit, so wird das sogar mit freiem Auge sichtbar. Der Fußballsport wurde athletischer und schneller und dadurch änderte sich auch die Belastungscharakteristik gravierend, wie zahlreiche Untersuchungen in diesem Bereich belegen. Winterbottom (1952; in Stolen et al., 2005) berichtet noch von einer durchschnittlich zurückgelegten Distanz bei Profispielern aus England von rund 3.400 Metern, während Knowles & Brooke (1974; in Stolen et al., 2005) ebenfalls im englischen Profibereich eine durchschnittliche Gesamtdistanz von rund 4.900 Metern feststellten. Aktuelle Studien zeigen hingegen bereits durchschnittliche Distanzen von 10 bis 12 Kilometern mit Spitzenwerten nahe 14 Kilometern (vgl. Mohr et al., 2003; Di Salvo et al., 2007; Bradley et al., 2009; Stolen et al., 2005).

Weitere Details zur aktuellen Belastungscharakteristik bietet der folgende Abschnitt.

### 2.3.1.1 Zurückgelegte Gesamtdistanz

Mohr et al (2003) untersuchten die Unterschiede der physischen Fitness, Leistung im Match und den Ermüdungsverlauf während 129 Wettbewerbsspielen zwischen 18 Topklasse- und 24 durchschnittlichen Profispielern. Die Topspieler legten eine durchschnittliche Gesamtstrecke von 10,86 Kilometern pro Spiel zurück.

Bradley et al (2009) analysierten 28 Fußballspiele der englischen Premier League hinsichtlich der Aktivitätsprofile und der Unterschiede im High Intensity Bereich bei Spielern auf den diversen Positionen. Die durchschnittlich zurückgelegte Distanz während eines Spiels betrug 10,7 Kilometer, was sich in etwa mit den Daten von Mohr et al. (2003) deckt. Die Gesamtdistanz der äußeren Mittelfeldspieler war dabei am höchsten, gefolgt von den zentralen Mittelfeldspielern, Außenverteidigern, Angreifern und zentralen Abwehrspielern, wie in Tabelle 1 ersichtlich ist (vgl. Bradley et al., 2009). Auch Di Salvo et al. (2007), die das positionsspezifische Aktivitätsprofil bei 300 Topklasse-Feldspielern in 20 spanischen Erstligaspielen sowie zehn Championsleague-Spielen analysierten, ermittelten für die Mittelfeldspieler größere Gesamtdistanzen als für Verteidiger und Angreifer.

Bei zwei Studien zeigte sich, dass die zurückgelegte Distanz in der ersten Halbzeit signifikant höher war als jene der zweiten (vgl. Mohr et al., 2003; Bradley et al., 2009). Di Salvo et al. (2007) fanden hingegen keine Unterschiede bei der zurückgelegten Distanz zwischen erster und zweiter Halbzeit.

**Tabelle 1: Positionsbezogene Belastungscharakteristik während eines Spiels (nach Bradley et al., 2009).**

| Match performance variables                  | Central defenders<br>(n = 92) | Full-backs<br>(n = 84)   | Central midfielders<br>(n = 80) | Wide midfielders<br>(n = 52) | Attackers<br>(n = 62)    |
|--|-------------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| <b>Distances covered</b>                     |                               |                          |                                 |                              |                          |
| Total (m)                                    | 9885 ± 555                    | 10710 ± 589              | 11450 ± 608 <sup>a</sup>        | 11535 ± 933 <sup>a</sup>     | 10314 ± 1175             |
| High-intensity running (m)                   | 1834 ± 256                    | 2605 ± 387               | 2825 ± 473                      | 3138 ± 565 <sup>b</sup>      | 2341 ± 575               |
| Very high-intensity running (m)              | 603 ± 132                     | 984 ± 195                | 927 ± 245                       | 1214 ± 251 <sup>b</sup>      | 955 ± 239                |
| Sprinting (m)                                | 152 ± 50                      | 287 ± 98 <sup>c</sup>    | 204 ± 89                        | 346 ± 115 <sup>c</sup>       | 264 ± 87                 |
| <b>Other variables</b>                       |                               |                          |                                 |                              |                          |
| Maximal running speed (m · s <sup>-1</sup> ) | 7.31 ± 0.30                   | 7.74 ± 0.24 <sup>d</sup> | 7.52 ± 0.32                     | 7.93 ± 0.31 <sup>d</sup>     | 7.76 ± 0.28 <sup>d</sup> |
| Recovery time (s)                            | 101 ± 15                      | 74 ± 23                  | 62 ± 19 <sup>a</sup>            | 51 ± 16 <sup>a</sup>         | 73 ± 22                  |

Notes: <sup>a</sup>Different from central defenders, full-backs, and attackers ( $P < 0.05$ ). <sup>b</sup>Different from all other playing positions ( $P < 0.05$ ). <sup>c</sup>Different from central defenders, central midfielders, and attackers ( $P < 0.01$ ). <sup>d</sup>Different from central defenders and central midfielders ( $P < 0.05$ ).

Die Gesamtdistanz, die während eines Spiels mit dem Ball zurückgelegt wird, beläuft sich auf 1,2 bis 2,4 Prozent der gesamt zurückgelegten Distanz. Die seitlichen Mittelfeldspieler legen dabei eine signifikant größere Distanz mit Ball zurück als Spieler auf anderen Positionen, während bei zentralen Abwehrspielern genau das Gegenteil der Fall ist (vgl. Di Salvo et al., 2007).

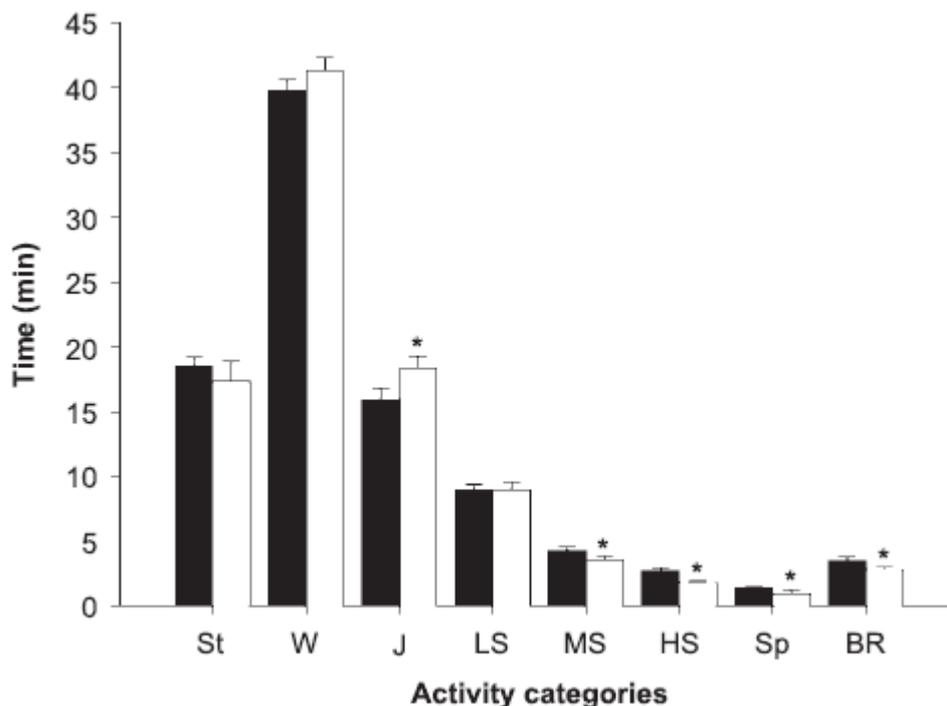
### 2.3.1.2 Intensitätsbereiche und deren zeitlicher Anteil

Topspieler verbrachten, wie Abbildung 4 zeigt, rund 19 Prozent der Zeit während eines Spiels im Stehen, 40 Prozent gingen sie und 30 Prozent bewegten sie sich im niedrigen Intensitätsbereich (J+LS+BR) über das Spielfeld. Der Anteil der höher intensiven Läufe (MS+HS+Sp) betrug rund neun Prozent der gesamten Spielzeit (Mohr et al., 2003).

Die Daten von Mohr et al. (2003) zeigen auch, dass die Topspieler signifikant mehr Zeit im „moderate-speed“, „high-speed“ und Sprintbereich verbrachten.

Während der von Bradley et al. (2009) analysierten Spiele standen die Spieler 5,6 Prozent der Gesamtzeit. Die Aktivitäten im niedrigen Intensitätsbereich (ähnliche Einteilung der Intensitätsbereiche wie Mohr et al, 2003) nahmen 85,4 Prozent ein, wobei 59,3 Prozent gegangen und 26,1 Prozent gejoggt wurde.

Neun Prozent der Gesamtspielzeit bewegten sich die Spieler im höher intensiven Bereich (> 14,4 km/h), dessen Anteil sich auf 6,4 Prozent „running“, zwei Prozent „high speed running“ und 0,6 Prozent „sprinting“ aufteilte.



**Abbildung 4: Verbrachte Zeit während eines Fußballspiels in unterschiedlichen Intensitätsbereichen (schwarz=Topspieler, weiß=durchschnittlicher Profispieler); St=standing (0 km/h), W=walking (6 km/h), J=jogging (8 km/h), LS=low-speed running (12 km/h), MS=moderate-speed running (15 km/h), HS=high-speed running (18km/h), Sp=sprinting (30 km/h), BR=backward running (10 km/h) (nach Mohr et al, 2003).**

Es zeigte sich weiters, dass in der zweiten Halbzeit die Dauer in den höheren Intensitätsbereichen abnimmt (Mohr et al., 2003). Ähnliche Ergebnisse brachte die Untersuchung von Bradley et al. (2009) hervor. Mit Ausnahme der Angreifer reduzierten sämtliche Spieler ihren Anteil an „high intensity running“ in der zweiten Hälfte eines Spiels (Abbildung 5).

Im Gegensatz zu vielen anderen Studien wurde von Di Salvo et al. (2007) beim Vergleich der beiden Halbzeiten weder eine Reduktion der zurückgelegten Gesamtdistanz, noch eine geringere Dauer im „high intensity“ Bereich erkannt. Es schien jedoch so, als ob die Spieler in der zweiten Halbzeit Energie sparten, indem sie die Distanz im Gehen und Joggen vergrößerten und jene im mittleren Intensitätsbereich verringerten.

Di Salvo et al. (2009) fanden wiederum eine signifikante Reduktion der „total high intensity running“ Distanz und der „total sprint“ Distanz in der zweiten Halbzeit, wobei bei den äußeren Mittelfeldspielern und den Angreifern die größten Einbußen zu erkennen waren.

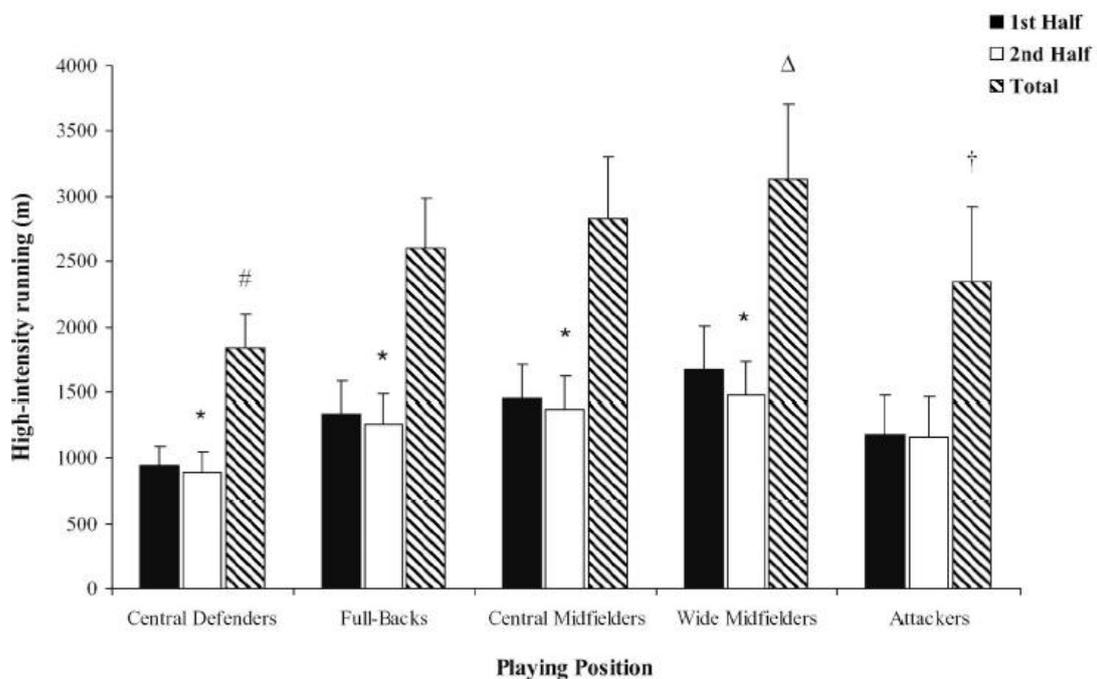


Abbildung 5: „High Intensity Running“ (> 14,4 km/h) für beide Halbzeiten und die verschiedenen Spielpositionen (nach Bradley et al., 2009).

### 2.3.1.3 Positionsbezogene Belastungscharakteristik

Der Vergleich der „high intensity running“ Distanzen bezogen auf die verschiedenen Positionen (Abbildung 5) zeigt, dass die äußeren Mittelfeldspieler, wie bei der Gesamtstrecke, auch in diesem Segment den größten Weg zurücklegen, gefolgt von den zentralen Mittelfeldspielern, Außenverteidigern, Angreifern und zentralen Abwehrspielern (Bradley et al.; 2009).

Auch die Ergebnisse von Mohr et al. (2003) deuten darauf hin, dass die gesamte zurückgelegte Strecke im „high intensity“ Bereich bei den Mittelfeldspielern und Außenbahnspielern signifikant größer war als bei den Stürmern und Verteidigern. Angreifer und Außenbahnspieler legten wiederum eine größere Distanz im Sprint zurück.

Di Salvo et al. (2009) beschreiben ebenfalls die höchsten Werte für „high intensity running“ für die äußeren Mittelfeldspieler und die niedrigsten für die zentralen Abwehrspieler. Analog zu Mohr et al. (2003) erzielten die äußeren Mittelfeldspieler zudem, gemeinsam mit den Angreifern, die größte „total sprint“ Distanz.

### 2.3.1.4 Belastungscharakteristik in Abhängigkeit vom Niveau

Die Daten von Bradley et al. (2009) zeigen, dass der Anteil an „high intensity running“ (>14,4 km/h) in der Premier League um 10-15 Prozent höher sind als bei dänischen und schwedischen durchschnittlichen Profispielern. Da die englische Premier League derzeit als weltweit beste Liga gilt, kann daraus gefolgert werden, dass dies nicht zuletzt auf die Fähigkeit der Spieler zurückzuführen ist, sich längere Zeit im „high intensity“ Bereich bewegen zu können als Spieler anderer Ligen.

Der Vergleich von Topspielern und durchschnittlichen Profispielern (Mohr et al., 2003) zeigte auch klare Unterschiede im „high intensity“ Bereich. Die Topspieler absolvierten 28 Prozent mehr „high intensity“ Läufe und 58 Prozent mehr Sprints als die durchschnittlichen Profispielern.

### 2.3.1.5 Belastung und Erholung

Bradley et al. (2010) stellten nach sehr intensiven Läufen (>19,8 km/h) eine durchschnittliche Erholungszeit von 72 Sekunden fest. Die Erholungszeit nahm in der

zweiten Halbzeit um 15 Prozent zu und war in den letzten 15 Minuten um 28 Prozent größer als in den ersten 15 Minuten des Spiels.

Mohr et al. (2003) berichteten, dass nach jener fünfminütigen Periode, in der der Anteil der „high intensity“ Läufe am höchsten war, die Leistung in den folgenden fünf Minuten um zwölf Prozent unter der Durchschnittsleistung des gesamten Spiels lag.

Diese Erkenntnisse sowie die Studienergebnisse von Krstrup et al. (2006) liefern einen direkten Hinweis, dass Ermüdung bei Fußballspielen vorübergehend auftritt.

Unabhängig vom Niveau der Spieler und der Spielposition war der Anteil an „high intensity“ Läufen in den ersten 15 Minuten um 35-45 Prozent höher als in den letzten 15 Minuten des Spiels (Mohr et al., 2003).

Diese Reduktion führen Mohr et al. (2005) auf die Entleerung der Glykogenspeicher einzelner Muskelfasern zurück.

Zusammenfassend lässt sich aus den angeführten Studien die enorme Bedeutung der aeroben und anaeroben Kapazität im Profifußball erkennen, die in gleicher Weise auch auf den Amateurfußball übertragen werden kann. Im Spitzenbereich wurden durchschnittlich Gesamtdistanzen von zehn bis zwölf Kilometern mit Spitzenwerten bis zu 14 Kilometern gemessen. Rund zehn bis 15 Prozent der Gesamtzeit verbrachten die Spieler im höher intensiven Bereich. Wie zahlreiche Studien ergaben, reduziert sich in der zweiten Halbzeit neben der Gesamtdistanz auch die Intensität. Am meisten und in der höchsten Intensität liefen die äußeren Mittelfeldspieler, während die Innenverteidiger die geringsten Werte bei Distanz und Intensität erzielten.

### 2.3.2 Ausdauerleistungsfähigkeit des Fußballspielers

Wie die vorangegangenen Studien (Mohr et al., 2003; Bradley et al., 2009, Di Salvio et al., 2007) zeigen, bewegen sich Fußballer während eines Spiels in einem breiten Spektrum an Intensitäten.

Deshalb sind im Fußball vier Arten der Energiebereitstellung relevant. Es ist eine Dominanz der aeroben Ausdauer festzustellen. Keine der vier Energiebereitstellungsarten läuft jedoch in reiner Form ab, sondern es laufen meist zwei verschiedene Arten der Energieproduktion mit unterschiedlichen Anteilen parallel ab. Die energieliefernden Systeme greifen je nach Belastungsintensität in einem zeitlichen Verlauf ineinander über. In Tabelle 2 werden die vier Belastungsformen und die dazugehörige Energiebereitstellung dargestellt.

**Tabelle 2: Arten der Energiebereitstellung (nach Binz, 1984, S. 31; in Ferger, 1998, S. 13).**

|  |   |   |
|--|---|---|
| <p>Aerobe<br/>Ausdauerbelastung mit<br/>Energiebereitstellung<br/>überwiegend aus Fetten</p>             | <p>Die für die Bewegung benötigte Energie wird unter Verbrauch von Sauerstoff überwiegend aus Fetten bereitgestellt.<br/>Die Geschwindigkeit der Energieproduktion (Energieflussrate) ist dabei niedrig, d.h. die Bewegungsintensität ist gering. Die Fette stellen den größten Energievorrat des Körpers dar. Deshalb kann eine solche Ausdauerbelastung lange durchgehalten werden.</p>   | <p>Traben, Gehen,<br/>(Stehen)</p>  |
| <p>Aerobe<br/>Ausdauerbelastung mit<br/>Energiebereitstellung<br/>überwiegend aus<br/>Kohlenhydraten</p> | <p>Die erforderliche Energie wird unter Verbrauch von Sauerstoff überwiegend aus Kohlenhydraten bereitgestellt.<br/>Die Energieflussrate der Kohlenhydratverbrennung ist größer als die der Fettverbrennung, weshalb damit Bewegungen größerer Intensität geleistet werden können. Je nach Intensität entstehen geringe Mengen Laktat (bis 4 mmol/l Blut), die die Energiebereitstellung noch nicht stören. Der Kohlenhydratvorrat kann je nach Bewegungsintensität in der 2. Hälfte des Fußballspiels erschöpft sein.</p>                      | <p>Zügiges Laufen,<br/>längeres Laufen ohne<br/>Pause (z.B.:<br/>Verteidiger läuft<br/>mehrmals nach vorne<br/>und gleich wieder<br/>zurück)</p>  |
| <p>Anaerobe laktazide<br/>Ausdauerbelastung</p>  | <p>Die Energiebereitstellung erfolgt ohne Sauerstoffverbrauch durch Abbau von Glykogen (Speicherform der Kohlenhydrate) bis zum Abfallprodukt Laktat (in Konzentrationen von 5 bis über 10 mmol/l Blut). Laktatanhäufungen ab 6 mmol/l Blut beeinträchtigen die Technik.<br/>Die Energieflussrate der anaerob laktaziden Energiebereitstellung ist größer als die der aeroben Energiebereitstellung und damit auch die Bewegungsintensität. Ihre Dauer wird durch die Anhäufung des Laktats und den Verbrauch der Kohlenhydrate beschränkt.</p> | <p>Lange Sprints (über<br/>das ganze Spielfeld),<br/>mehrere Sprints nach<br/>kurzer Pause (z.B.<br/>Ballverlust eines<br/>Verteidigers in der<br/>Offensive –<br/>Umschalten auf<br/>Defensive).</p> |
| <p>Anaerobe alaktazide<br/>Ausdauerbelastung</p>   | <p>Die sehr intensive Belastung erfordert kurzfristig eine große Energiemenge. Diese wird durch Verbrauch der energiereichen Phosphate bereitgestellt. Dabei wird kein Sauerstoff benötigt und es fällt kein Laktat an. Der Vorrat an Kreatinphosphat in der Muskulatur reicht bei dieser schnellstmöglichen Form der Energiebereitstellung für maximal 6-8 Sekunden.</p>   | <p>Antritte, kurze Sprints,<br/>Schüsse, Sprünge,<br/>Tacklings</p>   |

Mehr als 80 Prozent der gesamten Spielzeit bewegen sich Fußballer in einem geringen Intensitätsbereich (Mohr et al., 2003; Bradley et al., 2009; Bangsbo et al., 2006). Laut Bangsbo et al. (2006) entspricht die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme 70 Prozent des Maximums, womit sich die Spieler einen Großteil des Spiels im aeroben Bereich bewegen. Gatterer (2007) führte einen Feldtest mit zwei Fußballern durch, bei dem er die Sauerstoffaufnahme während eines Fußballspiels aufzeichnete. Dabei erreichten die Spieler eine durchschnittliche Sauerstoffaufnahme von 56,8 und 61 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme, bei ähnlich hohen Herzfrequenzbereichen wie sie in der Literatur zu finden sind. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Bestimmung der Sauerstoffaufnahme über die Herzfrequenz-Sauerstoffaufnahme-Regression (wurde bei Studien verwendet die von einer durchschnittlichen Sauerstoffaufnahme von 70-75 Prozent des Maximums berichten) zu hinterfragen ist.

Vergleichsweise dazu berichten verschiedene Autoren, dass sich die durchschnittliche Intensität, gemessen als Prozentsatz der maximalen Herzfrequenz, bei Fußballspielern während eines Spiels im Bereich der anaeroben Schwelle bewegt (Stolen et al., 2005; Bangsbo, 1994 und Reilly, 1990 in Hoff, 2005). Aufgrund der Laktatakkumulation wäre es physiologisch unmöglich eine höhere durchschnittliche Intensität über einen längeren Zeitraum aufrechtzuerhalten.

Eine hohe maximale Sauerstoffaufnahme erlaubt es dem Spieler nichtsdestotrotz länger auf den aeroben Stoffwechsel zuzugreifen.

Bei Topklassem Spielern wurden zudem 150 bis 250 kurze intensive Aktionen pro Spiel beobachtet (vgl. Bangsbo et al., 2006). Dies deutet darauf hin, dass zu bestimmten Zeiten eines Spiels auch die anaerobe Energiebereitstellung von großer Bedeutung ist. Die intensiven Belastungen führen zur Entleerung der Kreatinphosphatspeicher, die jedoch in den folgenden niedrigintensiven Perioden resynthetisiert werden (vgl. Bangsbo et al., 2006).

Stolen et al. (2005) weisen zwar auf die Dominanz des aeroben Stoffwechsels während Fußballspielen hin, schreiben allerdings jenen Aktionen, die durch den anaeroben Stoffwechsel abgesichert werden, ausschlaggebenden Charakter zu. Die anaerobe Energiebereitstellung hat letztlich einen Einfluss auf kurze Sprints, Sprünge, Zweikämpfe oder Tacklings und damit auf Aktionen, die in vielen Fällen über Sieg und Niederlage entscheiden.

Der durchschnittliche Energieverbrauch während eines Spiels kann aus der durchschnittlichen Sauerstoffaufnahme, die bei rund 75 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme liegt, abgeleitet werden. Bei einem Spieler mit einer maximalen

Sauerstoffaufnahme von 60, 65 und 70 ml/kg/min beträgt die durchschnittliche Sauerstoffaufnahme demnach 45, 48,8 und 52,5 ml/kg/min. Daraus lässt sich für einen 75 Kilogramm schweren Spieler ein Energieverbrauch von 1.519, 1.645 und 1.772 kcal errechnen (1 Liter Sauerstoff pro Minute entspricht 5 kcal) (vgl. Stolen et al., 2005).

Die aerobe Ausdauer lässt sich anhand dreier wichtiger Elemente beschreiben: der maximalen Sauerstoffaufnahme, der anaeroben Schwelle und der Laufökonomie (vgl. Helgerud et al., 2001; Hoff et al., 2002; Hoff et al., 2006; Hoff & Helgerud, 2004; Hoff, 2005).

### 2.3.2.1 Die maximale Sauerstoffaufnahme

Wie zahlreiche Studien zeigen, besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahme und der zurückgelegten Distanz sowie der Anzahl an Sprints während eines Spiels (vgl. Smaros, 1980; Bangsbo, 1994; in Hoff & Helgerud, 2004). Zudem wurde eine Korrelation zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahme und der Platzierung der ersten vier Teams der ungarischen Liga erkannt (vgl. Apor, 1988; in Hoff & Helgerud, 2004). Auch Wisloff et al. (1998) unterstrichen den engen Zusammenhang der maximalen Sauerstoffaufnahme mit der Spielleistung von Fußballmannschaften, indem er einen signifikanten Unterschied in der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen einem Topteam der norwegischen Liga und einem niedriger platzierten Team zeigte.

Die durchschnittliche maximale Sauerstoffaufnahme von Elitefußballspielern liegt zwischen 55 und 67 ml/kg/min mit individuellen Höchstwerten von mehr als 70 ml/kg/min (vgl. White et al., 1988; Davis et al., 1992; Nowacki et al., 1988; Rhodes et al., 1986; Thomas & Reilly, 1979; Williams et al., 1973; in Hoff & Helgerud, 2004).

In den vorliegenden Studien beschreibt Wisloff et al. (1998) mit 67,6 ml/kg/min den höchsten durchschnittlichen Wert für die maximale Sauerstoffaufnahme für ein Fußballteam.

Hoff und Helgerud (2004) sind in diesem Zusammenhang sogar der Meinung, dass eine um sechs ml/kg/min höhere durchschnittliche Sauerstoffaufnahme innerhalb eines Teams der Laufleistung eines Extraspielers entspricht.

Für Profispieler wird einen Sollwert der maximalen Sauerstoffaufnahme von 70 ml/kg/min gefordert (vgl. Wisloff et al., 1998; Stolen et al., 2005).

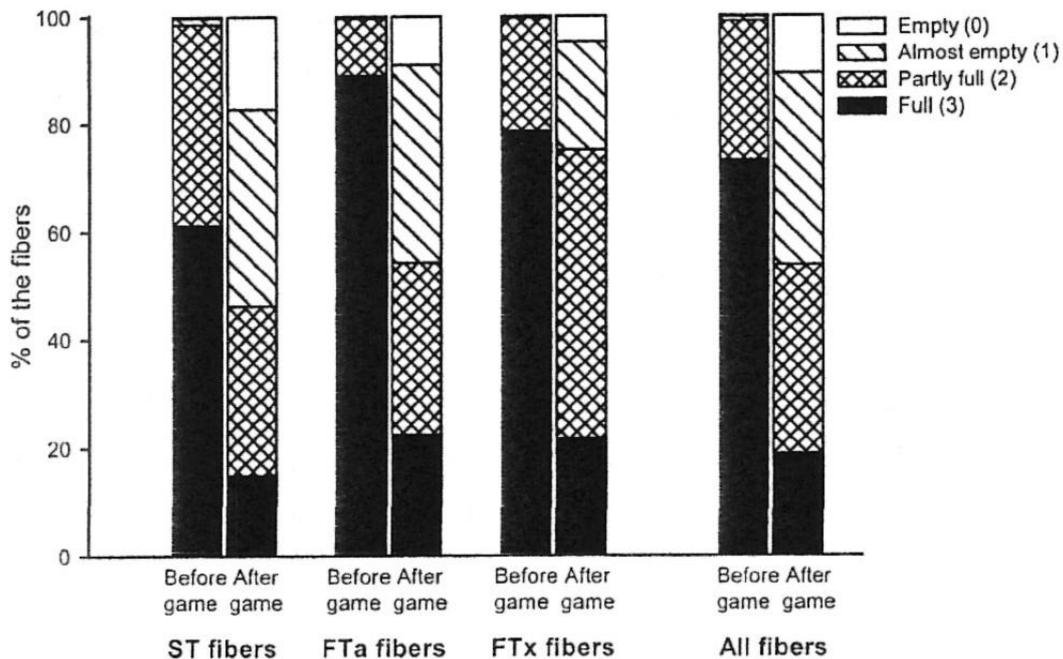
Zur Entwicklung der maximalen Sauerstoffaufnahme über den Saisonverlauf gehen die Angaben in diversen Studien auseinander. Sie ist zum einen abhängig vom Ausgangslevel am Saisonbeginn und zum anderen von den Trainingsinhalten während der Saison (vgl. Stolen et al., 2005).

Spieler, die eine hohe maximale Sauerstoffaufnahme aufweisen, verfügen über große Glykogenreserven, die bei Sprints und hoher körperlicher Leistung herangezogen werden. Zudem zeichnen sie sich durch eine erhöhte Erholungsrate aus. Sie absolvieren die meisten Sprints und sind am häufigsten an spielentscheidenden Situationen beteiligt (vgl. Hoff et al., 2006).

Gegen Ende des Spiels weisen die Fußballer eine signifikante Reduktion im „high intensity running“ auf, was in weiterer Folge darauf hindeutet, dass die Spieler ihre physische Kapazität im Zuge eines Spiels ausschöpfen.

Das Muskelglykogen wird in diesem Zusammenhang als wichtigstes Phosphat angesehen und die Ermüdung gegen Ende des Spiels wird unter anderem auf die Entleerung der Glykogenspeicher in einzelnen Muskelfasern zurückgeführt (vgl. Bangsbo et al., 2006).

Aufgrund der Abnahme der Glykogenreserven (siehe Abbildung 6) während eines Spiels, muss zusätzlich Energie aus dem Fettstoffwechsel bereitgestellt werden. Spieler, die über eine höhere maximale Sauerstoffaufnahme verfügen, nützen diese sekundäre Energiequelle effizienter und sparen sich damit das Glykogen als „schnelleren Energielieferanten“ für besonders intensive Phasen des Spiels und können auch gegen Ende des Spiels noch ein höheres Tempo gehen. Sie werden also erst später durch die Abnahme der Glykogenreserven und die zunehmende Laktatakkumulation zur Leistungsreduktion gezwungen. Dadurch können sie sich auch ermüdungsbedingten technischen und taktischen Fehlern besser widersetzen (vgl. Hoff, 2005).



**Abbildung 6: Relativer Glykogengehalt in ST, FTa und FTx Fasern sowie in allen Fasern vor und direkt nach einem Fußballspiel. Es handelt sich um Durchschnittswerte (n=10) (nach Krstrup et al., 2006).**

Im Zusammenhang mit der maximalen Sauerstoffaufnahme muss auch bedacht werden, dass diese von zentralen und peripheren Faktoren der Sauerstofftransportkette beeinflusst wird, denn die maximale Sauerstoffaufnahme ist bestimmt durch das Produkt aus Herzminutenvolumen (Herzfrequenz x Schlagvolumen) und arteriovenöser Sauerstoffdifferenz. Gerade bei Aktivitäten, bei denen große Muskelgruppen beansprucht werden, gilt das Schlagvolumen des Herzens als limitierender Faktor (vgl. Hoff, 2005; Schmidt, 1999).

Bei der Analyse der leistungslimitierenden Faktoren des Sauerstofftransports zeigte sich zudem ein Unterschied zwischen trainierten und untrainierten Personen. Während untrainierte Personen auch peripher, also in der muskulären Verwertung des Sauerstoffs, limitiert sind, sind trainierte Personen hauptsächlich durch das Schlagvolumen des Herzens limitiert (Richardson, 2000; Wagner, 2000; in Hoff, 2005).

Das Schlagvolumen wird als entscheidender Faktor der Ausdauerleistungsfähigkeit gesehen, nicht zuletzt deshalb, da es durch Training auf das Doppelte gesteigert werden kann.

Das Verhältnis zwischen Schlagvolumen und Herzfrequenz steigt linear bis zu einer Ausbelastung von rund 60 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme, wo das

Schlagvolumen schließlich ein Plateau erreicht beziehungsweise nur noch geringfügig ansteigt. Gledhill et al. und Zhou et al. (1994 und 2001; in Hoff 2005) erkannten bei trainierten Personen jedoch einen linearen Anstieg des Schlagvolumens mit steigender Beanspruchung bis zur maximalen Sauerstoffaufnahme. Bei untrainierten und mittelmäßig trainierten Personen trat jedoch das klassische „levelling Phenomen“ auf.

Das steigende Schlagvolumen bis zum Erreichen der maximalen Sauerstoffaufnahme bildet den Hintergrund für die Verwendung des High Intensity Trainings im Ausdauertraining (vgl. Hoff, 2005).

Neben der maximalen Sauerstoffaufnahme wird auch die Fähigkeit der schnellen Anpassung der Sauerstoffaufnahme während der zahlreichen kurzen intensiven Belastungen als wichtig angesehen (vgl. Bangsbo et al., 2006). Diese kann laut Krustrup et al. (2004) durch intensives Intervalltraining positiv beeinflusst werden.

#### 2.3.2.2 Anaerobe Schwelle und Laktatkonzentration

Die anaerobe Schwelle definiert die höchste Arbeitsleistung, Sauerstoffaufnahme oder Herzfrequenz während dynamischer Arbeit mit großen Muskelgruppen, bei der die Produktion und Elimination von Laktat ausbalanciert ist (vgl. Hoff et al., 2006). Die anaerobe Schwelle kann sich zwar ohne Veränderung der maximalen Sauerstoffaufnahme verschieben, allerdings nur in einem minimalen Bereich. Eine höhere anaerobe Schwelle bedeutet für den Sportler, dass er eine höhere körperliche Anstrengung beibehalten kann, ohne dass es zur Laktatakkumulation kommt. Anders ausgedrückt kann ein gut trainierter Spieler bei gleicher Laktatkonzentration eine höhere Intensität erbringen als ein schlechter trainierter Spieler (vgl. Hoff et al., 2006; Stolen et al., 2005).

Für erwachsene männliche Fußballspieler liegt die anaerobe Schwelle Stolen et al. (2005) zufolge zwischen 76,6 und 90,3 Prozent der maximalen Herzfrequenz, was genau jenem Bereich entspricht, in dem sich Fußballspieler auch während eines Spiels im Durchschnitt bewegen.

Wird die anaerobe Schwelle bei hohen und höchsten Belastungen überschritten, kommt es zur Laktatakkumulation. Infolge solcher intensiven Phasen sind weniger intensive Perioden notwendig, um den Laktatüberschuss wieder abzubauen.

Es zeigte sich in diesem Zusammenhang, dass gut ausdauertrainierte Personen höhere Laktatabbauraten aufweisen als weniger gut trainierte (vgl. Tomlin & Wenger, 2001).

Der Laktatabbau läuft bei einer Intensität von 70 Prozent der maximalen Herzfrequenz am effizientesten ab (vgl. Astrand et al., 2003; Hermansen & Stensvold, 1972; Hermansen & Vaage, 1977; in Stolen et al., 2005).

Stolen et al. (2005) wiesen sowohl bei Elite-Spielern als auch bei Amateurspielern auf höhere Laktatwerte in der ersten, verglichen mit der zweiten Halbzeit hin. Diese Ergebnisse sind im Einklang mit der verringerten zurückgelegten Distanz und der geringeren Intensität in der zweiten Halbzeit (vgl. Stolen et al. 2005).

Stolen et al. (2005) führen auch an, dass Spieler mit einer höheren maximalen Sauerstoffaufnahme aufgrund der verbesserten Erholung von hochintensiven Belastungen niedrigere Blutlaktatwerte aufweisen dürften. Die verbesserte Erholung ist dabei auf eine erhöhte aerobe Energiebereitstellung, verbesserten Laktatabbau und erhöhte Phosphokreatinregeneration zurückzuführen (vgl. Stolen et al., 2005).

Die Blutlaktatkonzentration bewegt sich während Spielen zwischen zwei und zehn mmol/l. Aufgrund der intermittierenden Belastungscharakteristik im Fußball können jedoch die Blutlaktatwerte hoch sein, während die Muskellaktatwerte relativ niedrig sind (vgl. Bangsbo et al., 2006; Krstrup et al., 2006). Das ist auf eine signifikant höhere Abbaugeschwindigkeit von Muskellaktat im Vergleich zu Blutlaktat zurückzuführen. Die hohen Blutlaktatwerte sind nicht als Antwort auf einzelne Aktionen im Spiel, sondern als Folge mehrerer, aufeinanderfolgender, hochintensiver Aktivitäten zu sehen. Hohe Blutlaktatwerte und gleichzeitig mäßige Muskellaktatwerte lassen auf eine hohe Glykolysegeschwindigkeit während kurzen Phasen des Spiels schließen (vgl. Bangsbo et al., 2006; Krstrup et al., 2006).

### 2.3.2.3 Die Laufökonomie

Neben der maximalen Sauerstoffaufnahme und der Laktatschwelle ist die Laufökonomie ein weiterer wichtiger Faktor für die Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit. Die Laufökonomie ist definiert als Sauerstoffaufnahme bei einer festgelegten Arbeitsbelastung und nimmt einen Einfluss auf die Laufgeschwindigkeit an der anaeroben Schwelle sowie auf die Laufgeschwindigkeit bei maximaler Sauerstoffaufnahme (vgl. Hoff et al., 2006). Helgerud et al. (2001) bestimmten bei ihrer Arbeit die Laufökonomie an der anaeroben Schwelle, da an dieser ein zuverlässiger Zusammenhang zwischen Intensität und

Sauerstoffaufnahme sichergestellt ist. Chamari et al. (2005) maßen die Laufökonomie wiederum bei einer festgelegten Geschwindigkeit von 7 km/h. McMillan et al. (2005) verwendeten zur Bestimmung der Laufökonomie eine Geschwindigkeit von 9 km/h bei einer Laufbandneigung von 5,5 Prozent.

In der Literatur (vgl. Costill et al., 1973, Helgerud, 1994 in Hoff et al., 2006) wird über individuelle Unterschiede der Laufökonomie berichtet, deren Ursache jedoch nicht hinreichend erklärt werden können. Es wird vermutet, dass anatomische, mechanische und neuromuskuläre Eigenschaften sowie die Speicherfähigkeit von elastischer Energie dabei eine wichtige Rolle spielen (vgl. Pate, 1984 in Hoff et al., 2006).

Hoff und Helgerud (2003) zeigten den positiven Einfluss eines speziellen Krafttrainings auf die Laufökonomie und folglich auch auf die aerobe Leistung, ohne Veränderung der maximalen Sauerstoffaufnahme und der anaeroben Schwelle.

Helgerud et al. (2001) erreichten bei Fußballern mit einem Intervalltraining, das über acht Wochen hinweg zweimal wöchentlich durchgeführt wurde eine Steigerung der Laufökonomie um 6,7 Prozent.

Hoff & Helgerud (2004) gehen davon aus, dass durch eine fünfprozentige Erhöhung der Laufökonomie die zurückgelegte Distanz während eines Spiels um 1.000 Meter gesteigert werden kann.

Eine Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme geht meist mit einer Verbesserung der anaeroben Schwelle einher. Im Umkehrschluss ist eine Erhöhung der anaeroben Schwelle auf Veränderungen der maximalen Sauerstoffaufnahme und/oder der Laufökonomie zurückzuführen (vgl. Hoff & Helgerud, 2004).

McMillan et al. (2005) konnten etwa durch ein Intervalltraining die maximale Sauerstoffaufnahme um neun Prozent steigern, während die Laufökonomie in dieser Studie unverändert blieb. Die Herzfrequenz bei jener Intensität, an der die Laufökonomie gemessen wurde (9 km/h), sank jedoch signifikant, was auf die erhöhte maximale Sauerstoffaufnahme zurückgeführt wurde.

Eine Reduktion der Herzfrequenz von zehn Schlägen pro Minute weist auf eine Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme von ungefähr drei bis fünf ml/kg/min hin (Helgerud et al., 2001; Helgerud et al., 2003).

Zu erwähnen ist auch, dass bei der Entwicklung der Ausdauerleistungsfähigkeit das positionsspezifische Aktivitätsprofil berücksichtigt werden sollte. Denn wie die Belastungscharakteristik im modernen Fußball zeigt, stellt das Spiel an Mittelfeldspieler höhere Anforderungen im Bereich der aeroben Ausdauer, als etwa an zentrale Verteidiger

oder Angreifer. Im Gegensatz dazu verfügen Angreifer über die höchste anaerobe Kapazität, wie eine Studie, bei der 270 kroatische Profifußballspieler getestet wurden, zeigte. Während dabei die Mittelfeldspieler die höchsten Werte bei der maximalen Sauerstoffaufnahme erreichten, erzielten Angreifer und Verteidiger die besten Werte bei anaeroben Parametern (vgl. Sporis et al., 2009).

Zusammenfassend lässt sich im Hinblick auf die Ausdauerleistungsfähigkeit folgern, dass Fußballspieler sowohl über eine allgemeine aerobe Grundlagenausdauer als auch über eine fußballspezifische anaerobe Kapazität verfügen sollten, um auf der einen Seite ein hohes Lauftempo während der gesamten Spielzeit möglichst lange halten zu können und auf der anderen Seite nach kurzen intensiven Belastungen und längeren Tempoläufen schnell regenerieren zu können. Eine ausgeprägte Ermüdungswiderstandsfähigkeit beschleunigt zudem die Erholung zwischen einzelnen Trainingseinheiten und auch zwischen Training und Wettkampf. Die fußballspezifische Ausdauer ist folglich durch eine azyklische Langzeitausdauer mit Intervallcharakter und gemischter aerober und anaerober Energiebereitstellung gekennzeichnet (vgl. Ferger, 1998, S. 14).

Daher sollte das Ziel des Trainings eine Optimierung der aeroben und eine Maximierung der anaeroben Energiebereitstellung sein (vgl. Ferger, 1998, S. 14). Es ist weiters zu beachten, dass unterschiedliche Positionen auch unterschiedliche Anforderungen an die Ausdauerleistungsfähigkeit der Spieler stellen.

### 2.3.3 Ziele des Ausdauertrainings im Fußball

Wie die bisherigen Ausführungen belegen, stellt der Fußball hohe Anforderungen an die Ausdauerleistungsfähigkeit der Spieler. Mit Hilfe des Ausdauertrainings werden daher folgende Ziele verfolgt (vgl. Geese, 2009, S. 73):

- Vergrößerung des Kapillarnetzes des peripheren Gefäßsystems
- Vermehrung von roten Blutkörperchen (Erythrozyten) und des roten Blutfarbstoffes (Hämoglobin)
- Vermehrung des Blutvolumens
- Erhöhung der Glykogenreserven zur energetischen Absicherung
- Verringerung des Milchsäurespiegels bei gleicher Leistung
- Ökonomisierung der Herzarbeit

Ein Zusammenspiel dieser Faktoren ist letztlich für eine Leistungssteigerung im Bereich der Ausdauer verantwortlich.

In weiterer Folge lässt sich die Ausdauer in Grundlagenausdauer und fußballspezifische Ausdauer einteilen, die zusammen die vielfältigen Belastungsformen im Fußball abdecken.

Eine gut entwickelte Grundlagenausdauer bringt für den Fußballspieler zahlreiche Vorteile mit sich, die Weineck (1999, S. 27 f.) treffend zusammenfasst:

- Erhöhung der physischen Leistungsfähigkeit
- Optimierung der Erholungsfähigkeit
- Minimierung von Verletzungen
- Steigerung der psychischen Belastbarkeit
- Vermeidung ermüdungsbedingter taktischer Fehlverhaltensweisen
- Verringerung technischer Fehlleistungen
- Konstant hohe Reaktions- und Handlungsschnelligkeit
- Stabilerer Gesundheit

Aufbauend auf der Grundlagenausdauer bewirkt eine gut entwickelte spezielle, fußballspezifische Ausdauer nach Weineck (1999, S. 29 f.):

- Eine spezifische Konditionierung der für das Fußballspiel charakteristischen Leistungsmuskulatur, mit der spieltypische Bewegungsmuster energetisch optimal abgesichert werden.
- Eine gute Verträglichkeit wiederholter, intermittierender Laufbelastungen, explosiver Antritte und Sprünge, Dribblings mit hohem Tempo, wuchtiger Torschüsse und Kopfbälle.
- Die Fähigkeit, über die gesamte Spielzeit Tempowechsel problemlos zu ertragen und insgesamt ein hohes Spieltempo gehen zu können.
- Die Fähigkeit, Antritte, Sprünge, Dribblings und Schüsse mit maximalem Tempo beziehungsweise höchster Dynamik über die gesamte Spielzeit absolvieren zu können.

Die spezielle Ausdauer wird zwar durch die allgemeine Ausdauer beeinflusst, stellt aber dennoch eine eigenständige Größe dar, die durch spezielle Trainingsmethoden und Trainingsinhalte entwickelt werden kann (vgl. Weineck, 1999, S. 30).

#### 2.3.4 Verfahren zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit im Fußball

Wie bereits erwähnt, wird die aerobe Leistungsfähigkeit im Fußball anhand der maximalen Sauerstoffaufnahme, der anaeroben Schwelle sowie der Laufökonomie beschrieben (vgl. Pate & Kriska, 1984; in Hoff, 2005), von denen die maximale Sauerstoffaufnahme den wichtigsten Faktor darstellt (Helgerud et al., 2001; Hoff & Helgerud, 2003). Neben der Bestimmung dieser Faktoren werden im Fußball weitere Tests zur Erhebung der maximalen aeroben Leistungsfähigkeit, der Kraft und anaeroben Leistungsfähigkeit sowie zur Talentauswahl durchgeführt (vgl. Stolen et al., 2005).

Einige Autoren sind der Meinung, dass die anaerobe Ausdauer die Leistung im Spiel besser beschreibt, als die aerobe Ausdauer (vgl. Green, 1992; Tumilty, 1993; in Hoff, 2005). Allerdings werden im Zuge eines Spiels 98 Prozent der Energie aerob bereitgestellt und nur zwei Prozent anaerob (vgl. Bangsbo 1994; in Hoff, 2005), weshalb im Fußball vorrangig die aerobe Kapazität getestet wird.

Aus der Vielzahl an Tests beschreibt diese Arbeit im folgenden Abschnitt nur jene, die im Zuge der Untersuchung zur Anwendung kamen.

##### 2.3.4.1 Spiroergometrie am Laufband zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme

Die direkte Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme erfolgt vorzugsweise im Labor auf dem Laufband oder dem Radergometer. Die Leistungsfähigkeit beruht auf Energieumsatz, neuromuskulärer Funktion und psychologischen Faktoren und ist daher für verschiedene Arten der Bewegung unterschiedlich (vgl. Löllgen, in Löllgen & Erdmann, 2001, S. 3). Die Spiroergometrie bei Fußballspielern wird aus diesem Grund auf dem Laufband durchgeführt.

Zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme eignen sich Rampenprotokolle mit einer Dauer von acht bis zwölf Minuten. Für eine valide Bestimmung sind grundsätzlich Protokolle bis 26 Minuten möglich (Scharhag-Rosenberger, 2010). Eine vollständige Ausbelastung der Testperson ist dabei notwendig.

Neben der maximalen Sauerstoffaufnahme können im Zuge der Spiroergometrie annähernd dieselben Schwellen identifiziert werden wie mittels Laktatdiagnostik. Bei der Schwellenbestimmung empfiehlt sich eine kombinierte Nutzung folgender Kriterien (vgl. Scharhag-Rosenberger, 2010; Wasserman et al., 1999, S. 29 f.):

VT (ventilatory threshold):

- $\dot{V}CO_2$  vs.  $\dot{V}O_2$  (V-Slope-Methode): Überproportionaler Anstieg von  $\dot{V}CO_2$  gegenüber  $\dot{V}O_2$
- Atemäquivalente vs. Zeit: Anstieg des Atemäquivalents für  $O_2$  ohne gleichzeitigen Anstieg des Atemäquivalents für  $CO_2$
- VE vs. Zeit oder  $\dot{V}O_2$ : Erster überproportionaler Anstieg von VE
- Endexpiratorische Gaspartialdrücke vs. Zeit: Anstieg des endexpiratorischen  $O_2$ -Partialdrucks

RCP (respiratory compensation point)

- VE vs.  $\dot{V}CO_2$ : Überproportionaler Anstieg von VE gegenüber  $\dot{V}CO_2$
- Atemäquivalente vs. Zeit: Anstieg des Atemäquivalents für  $CO_2$
- VE vs. Zeit oder  $\dot{V}O_2$ : Zweiter überproportionaler Anstieg von VE
- Endexpiratorische Gaspartialdrücke vs. Zeit: Abfall des endexpiratorischen  $CO_2$ -Partialdrucks

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei der Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme sowie der Schwellen sorgfältiges methodisches Vorgehen gefordert ist. Die beiden Schwellen sind im Gegensatz zur maximalen Sauerstoffaufnahme, bei der eine vollständige Ausbelastung notwendig ist, von motivationalen Einflüssen unabhängig und bilden geringe Leistungsunterschiede sensibler ab (vgl. Scharhag-Rosenberger, 2010).

#### 2.3.4.2 RAST – Running Anaerobic Sprint Test

Dieser Test soll die Schnelligkeitsausdauer, eine wichtige Größe im modernen Fußball, messen. Dazu werden sechs aufeinanderfolgende maximale Sprints über eine Distanz von 35 Metern absolviert. Zwischen den Sprints hat der Testkandidat zehn Sekunden Pause. Ermittelt werden dabei die einzelnen Sprintzeiten, aus denen die Leistung errechnet wird ( $\text{Leistung} = \text{Gewicht} \times \text{Distanz}^2 / \text{Zeit}^3$ ). In weiterer Folge ermittelt man die höchste und mittlere Leistung sowie einen Ermüdungsindex (= maximale Leistung – minimale Leistung / Gesamtzeit aller sechs Sprints), über den die Verschlechterung über die Anzahl der Versuche beurteilt werden kann (vgl. Faude et al., 2010; Zagatto et al., 2009). Je geringer dieser Ermüdungsindex ausfällt, desto höher ist die Fähigkeit des Athleten anaerobe Beanspruchungen aufrechtzuerhalten.

Es muss darauf geachtet werden, dass die Spieler vom ersten Sprint weg maximal laufen und nicht aufgrund der weiteren Sprints submaximal beginnen, denn dadurch würde nicht

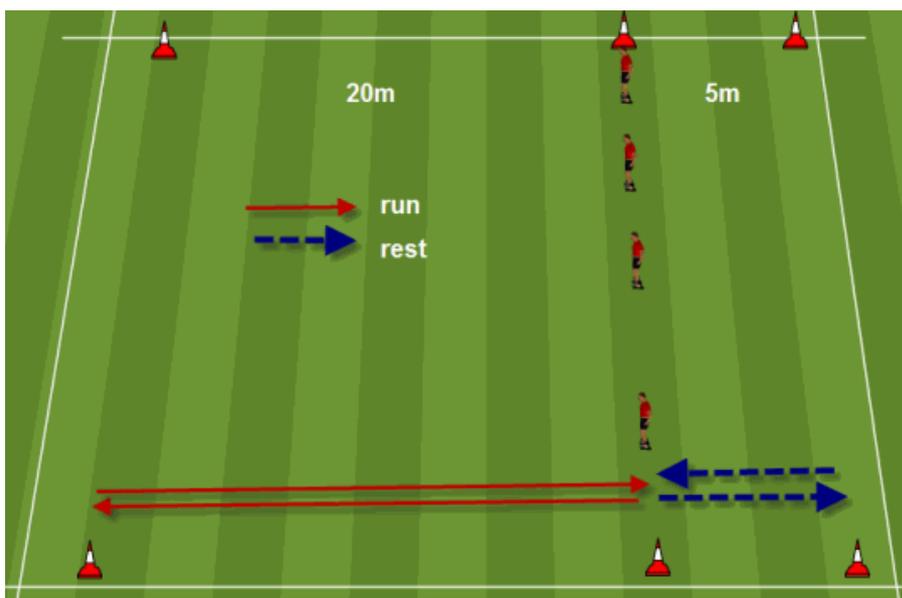
die tatsächliche Schnelligkeitsausdauer gemessen werden und der Ermüdungsindex würde seine Aussagekraft verlieren (vgl. Faude et al., 2010).

Eine Studie von Zagatto et al. (2009) bestätigte die Validität und Reliabilität dieses Tests. Aufgrund seiner einfachen und kostengünstigen Anwendung ist der Running Anaerobic Sprint Test daher ein probates Instrument zur Messung der laufspezifischen anaeroben Leistung.

#### 2.3.4.3 Yo-Yo Intermittent Recovery Test

Der Yo-Yo Intermittent Recovery Test wurde entwickelt um die intermittierende Ausdauerleistungsfähigkeit von Fußballspielern unter Feldbedingungen zu bestimmen (vgl. Castagna et al., 2009).

Dieser Test (Abbildung 7) besteht aus Hin- und Herlaufen zwischen zwei Linien, die in einem Abstand von 20 Metern angebracht werden. Nach jedem Shuttle (vor und zurück) haben die Testpersonen eine Pause von zehn Sekunden, in der zwei Mal fünf Meter gejoggt werden. Die Geschwindigkeit wird durch ein akustisches Signal vorgegeben und steigert sich rampenförmig nach einem vorgegebenen Protokoll. Der Test wird für eine Person abgebrochen, sobald diese zweimal hintereinander nicht die Grundlinie erreicht. Die insgesamt zurückgelegte Distanz wird folglich aufgezeichnet und spiegelt das Testergebnis wider. Der Test kann in zwei verschiedenen Levels (Level 1, Level 2) durchgeführt werden, die sich durch unterschiedliche Geschwindigkeitsprofile unterscheiden (vgl. Stolen et al., 2005).



**Abbildung 7: Testanordnung beim Yo-Yo Intermittent Recovery Test**  
(<http://www.elitesoccerconditioning.com/Testing/yo%20yo%20test.gif>. Zugriff am 12.10.2010)

Um die Vergleichbarkeit der Testergebnisse zu gewährleisten, sollte auf ähnliche Umgebungsbedingungen geachtet werden. Vor dem Test empfiehlt sich eine Aufwärmphase, die aus den ersten vier Shuttles des Tests besteht (vgl. Stolen et al., 2005). Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, ist eine Ausbelastung der Testperson notwendig.

Wie eine Untersuchung von Rampinini et al. (2009) ermittelte, korreliert die maximale Sauerstoffaufnahme stark mit dem Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 1 ( $r = 0,74$ ), jedoch nur mittelmäßig mit dem Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 2 ( $r = 0,47$ ).

Beide Tests korrelieren mit dem Anteil an hochintensiven Läufen ( $> 15 \text{ km/h}$ ) und Sprints sowie der Gesamtdistanz, die während eines Fußballspiels zurückgelegt wird (vgl. Krstrup et al., 2006; Bangsbo et al., 2008, Rampinini et al., 2007, in Faude et al., 2010; Castagna et al., 2009; Impellizzeri, 2004).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass beide Tests als valide Instrumente zur Bestimmung der matchbezogenen physischen Fitness eingesetzt werden können.

### 2.3.5 Ausdauer-Trainingsmethoden im Fußball

Für den Fußballer ist es nicht zwingend notwendig in jedem Bereich der physischen Leistungskomponenten über herausragende Werte zu verfügen. Vielmehr muss sich das Training an den Erfordernissen des Spiels orientieren (Hoff & Helgerud, 2004; Weineck, 1999), die je nach Leistungsniveau unterschiedlich sein können. Somit sollte auch das Ausdauertraining an die jeweiligen Anforderungen angepasst sein.

Grundsätzlich bieten sich dem Trainer zur Ausdauerschulung eine ganze Menge an Trainingsmethoden an aus denen er je nach Bedarf wählen kann: extensive und intensive Dauer- und Intervallmethode, (Wiederholungsmethode spielt zur Schulung der aeroben Ausdauer keine Rolle), Spielmethode.

Im Idealfall sollte das Ausdauertraining für Fußballspieler den Ball beinhalten. Damit können gleichzeitig technische und taktische Aspekte mit geschult werden und die Motivation der Spieler kann damit ebenfalls erhöht werden (Hoff & Helgerud, 2004). Das gilt vor allem für den Amateurbereich, wo dem Trainer ohnehin weniger Trainingseinheiten als im professionellen Bereich zur Verfügung stehen. Im Profibereich kommen aber auch durchaus isolierte Ausdauertrainingseinheiten im Sinne eines Aufbautrainings, Ergänzungstrainings, Erhaltungstrainings oder Ausgleichstrainings zur Anwendung

Da die aerobe Kapazität durch das Schlagvolumen begrenzt wird, sollte das Ausdauertraining zur Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme so gestaltet werden, dass dadurch das Schlagvolumen gesteigert wird. Intervalltraining bei einer Intensität von 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz für drei bis acht Minuten, getrennt durch zwei- bis dreiminütige Pausen bei 70 Prozent der maximalen Herzfrequenz hat sich dafür als besonders effektiv herausgestellt (vgl. Hoff, 2002; Hoff, 2005; Hoff & Helgerud, 2004; Helgerud, 2001; Impellizzeri, 2006; Stolen, 2005).

Hoff und Helgerud (2004) fassten in ihrem Review-Artikel zusammen, dass mittels acht- bis zehnwöchigen Intervalltrainings mit einer Intensität von 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz die maximale Sauerstoffaufnahme um zehn bis 30 Prozent gesteigert werden kann. Bei einer Trainingsintensität von 60 bis 80 Prozent der maximalen Herzfrequenz lag die Zunahme der maximalen Sauerstoffaufnahme hingegen nur bei fünf bis zehn Prozent.

Basierend auf der Analyse von Spielen soll der Fokus des Fußballtrainings weiters auf der Verbesserung der Fähigkeiten intensive Bewegungen auszuüben und sich von hochintensiven Phasen schnell zu erholen liegen (Bangsbo et al., 2006), was durch intensives Intervalltraining ebenfalls optimal geschult wird.

Wie in Kapitel 2.4.2 noch näher erläutert wird, kann dieses als High Intensity Training bezeichnete Training mit gleicher Effizienz sowohl auf der Laufbahn, auf einem speziell entwickelten Dribblingparcours oder auch in Form von Kleinfeldspielen (z. B. 4 vs. 4) durchgeführt werden.

Niedrig intensivem Training sollte bei der Ausbildung der aeroben Kapazität im Fußball wenig Beachtung geschenkt werden, da diese Intensitäten ohnehin im Zuge von technischen und taktischen Übungen erreicht werden und damit Bestandteil des normalen Fußballtrainings sind (vgl. Stolen, 2005).

## 2.4 High Intensity Training

Die Intention der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung der Effektivität eines fußballspezifischen High Intensity Trainings, weshalb im Zuge dieses Kapitels ausführlich auf diese Trainingsform zuerst allgemein eingegangen wird und folglich fußballspezifische High Intensity Trainingsformen beschrieben werden.

Grundsätzlich zeigte sich bei Kurz- und Langzeit-Studien mit untrainierten Personen, dass durch tägliches submaximales Training (z.B. 2 Stunden/Tag bei 65 bis 75 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme) das aerobe Energiesystem gefordert war (vgl. Green et al., 1987, in Laursen & Jenkins, 2002). Die Leistungssteigerung beruht dabei auf einer Verbesserung der Sauerstoffversorgung der beanspruchten Muskulatur (zentrale Adaptationen) (vgl. Green et al., 1990, 1991, in Laursen & Jenkins, 2002), verbunden mit einer verbesserten Sauerstoffverwendung der arbeitenden Muskulatur (periphere Adaptationen) (vgl. Green et al., 1989, 1991, 1992, in Laursen & Jenkins, 2002).

Im Spitzensport verfügen die Athleten jedoch meist bereits über eine hohe aerobe Kapazität, Laktatschwelle und Laufökonomie. Deshalb treffen die physiologischen Adaptationen, die generell bei untrainierten oder mittelmäßig trainierten Personen für eine Leistungssteigerung verantwortlich sind, auf hochtrainierte Sportler nur bedingt zu (Laursen & Jenkins, 2002). Bei Spitzensportlern führt eine zusätzliche Erhöhung des Trainingsvolumens im submaximalen Bereich nicht zu einer Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit oder der damit verbundenen Variablen wie der maximalen Sauerstoffaufnahme oder der oxidativen Enzymaktivität (Laursen & Jenkins, 2002). Bei diesen Personen scheint es, als ob eine weitere Verbesserung der Leistungsfähigkeit nur durch High Intensity Intervall Training erreicht werden könne (vgl. Laursen & Jenkins, 2002). In den letzten Jahren hat sich daher im Leistungssport das eben genannte „High-intensity Intervall Training“ (HIT) etabliert, um neue Trainingsreize zu setzen.

Es zeigte sich aber auch bei untrainierten und mittelmäßig trainierten Personen in diversen Studien, dass durch ein High Intensity Training ein schneller Zuwachs der aeroben Fitness erzielt werden kann (vgl. Laursen & Jenkins, 2002; Chamari et al., 2005).

Submaximales Ausdauertraining ist normalerweise durch eine länger andauernde kontinuierliche Belastung bei etwa 60 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme charakterisiert. Im Intervalltraining werden nun (je nach Dauer und/oder Länge der Intervalle) wiederholt kurzfristig höhere Belastungen bei etwa 90 bis 120 Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme eingesetzt. Dazwischen liegen sogenannte „lohnende

Pausen“, bei denen die Herzfrequenz abfällt. Es wird aber nicht bis zur vollständigen Erholung gewartet, bevor der nächste Reiz gesetzt wird (vgl. Weineck, 2007).

Im Elite-Fußballbereich werden seit langem unterschiedlichste Trainingsformen zur Verbesserung der Ausdauer eingesetzt. Intermittierende Trainingsübungen bei 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz für drei bis acht Minuten üben einen hohen Reiz auf das Sauerstofftransportsystem aus. Ein Training bei solchen Intensitäten verursacht eine Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme um fünf bis 30 Prozent innerhalb einer Periode von acht bis zehn Wochen, wobei es zu individuellen Variationen infolge von unterschiedlichem Leistungsniveau, unterschiedlicher Dauer und Frequenz des Trainings kommen kann (Helgerud et al. 2001, Helgerud et al. 2003; Helgerud et al., 2007; Iaia et al., 2009; Chamari et al., 2005; Stolen et al., 2005; McMillan et al., 2005). Auf der anderen Seite erhöhte sich die maximale Sauerstoffaufnahme nur um fünf bis zehn Prozent bei einem niedrig intensiven Ausdauertraining bei 60 bis 80 Prozent der maximalen Herzfrequenz (Stolen et al., 2005). Auch die Ergebnisse von Helgerud et al. (2007) bestätigen, dass Intervalltraining signifikant bessere Effekte auf die maximale Sauerstoffaufnahme erbringt als Training mit der gleichen „total work“ bei 70 Prozent der maximalen Herzfrequenz.

Aber auch Trainingsprotokolle mit hoch-intensiven Kurzzeitintervallen werden im Fußball eingesetzt und zeigen beachtliche Zuwächse in der Ausdauerleistungsfähigkeit. Hierbei werden einerseits zwölf bis 15 Sekunden dauernde, intermittierende Läufe mit 15 Sekunden Pause eingesetzt und andererseits zwölf bis 15 vierzig Meter lange „all out“ Sprints verwendet. Dabei konnte nach zehnwöchigem Training eine Verbesserung der Ausdauerleistung an der maximalen aeroben Geschwindigkeit um acht Prozent erreicht werden (vgl. Dupont et al., 2004).

Eine Untersuchung von Breil et al. (2010) zeigte, dass auch eine zeitlich komprimierte Trainingsintervention zur Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit führen kann. Das in dieser Studie durchgeführte Blocktraining (15 Intervalltrainings in elf Tagen am Radergometer) mit Schweizer Skifahrern erzielte einen Zuwachs der maximalen Sauerstoffaufnahme um sechs Prozent, wobei die Retests nach einer siebentägigen Regenerationsphase stattfanden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das High Intensity Training gerade im Hochleistungssport als Methode genützt wird, um einen durch submaximales Training nicht mehr möglichen Leistungszuwachs zu erzielen. Aber auch im Breitensport lässt sich

diese Trainingsform erfolgreich anwenden. Durch High Intensity Training sind zudem in relativ kurzen Zeitperioden beachtliche Zuwächse der maximalen Sauerstoffaufnahme möglich.

#### 2.4.1 Physiologische Adaptationen durch High Intensity Training

Bei Untrainierten ( $\text{VO}_2\text{max} < 45 \text{ ml/kg/min}$ ) und Freizeitsportlern ( $\text{VO}_2\text{max}$  45 bis 55  $\text{ml/kg/min}$ ) wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass mehrere Jahre von Nöten sind, um die maximale Sauerstoffaufnahme an jene eines hochtrainierten Athleten ( $\text{VO}_2\text{max} > 60 \text{ ml/kg/min}$ ) heranzuführen (Rowell, 1993, Ekblom, 1969, in Laursen & Jenkins 2002). Eine Studie von Hickson et al. (1977, in Laursen & Jenkins, 2002) zu High Intensity Training zeigte jedoch, dass durch diese Trainingsform bei Untrainierten und Freizeitsportlern innerhalb von zehn Wochen eine Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme um 44 Prozent möglich war. Das Fazit daraus war, dass sich bei Untrainierten und Freizeitsportlern die Ausdauerleistungsfähigkeit durch High Intensity Training in einem höheren Maß steigern ließ als durch alleiniges kontinuierliches submaximales Training.

Bei hochtrainierten Sportlern konnten im Gegensatz zu Untrainierten und Freizeitsportlern durch eine Steigerung des Volumens des submaximalen Trainings kaum Veränderungen der maximalen Sauerstoffaufnahme, der Kapillarisation, der oxidativen Enzymaktivität sowie des Blutvolumens erreicht werden. Dadurch konnte gezeigt werden, dass Ausdauersportler und Untrainierte nicht die gleichen Adaptationen durch submaximales kontinuierliches Training aufweisen (vgl. Laursen & Jenkins, 2002). Das High Intensity Training kristallisierte sich schließlich im Spitzenbereich als Möglichkeit heraus die Leistung weiter zu steigern.

Trainingsprogramme von Elite-Ausdauersportlern beinhalten die Schaffung einer aeroben Basis am Beginn der Trainingsperiode, die durch High Intensity Trainings-Sessions näher zur Wettkampfsaison komplettiert werden. Dabei zeigte sich, dass durch High Intensity Training bei Mittel- und Langstreckenläufern die Laufleistung über drei Kilometer und 10 Kilometer gesteigert werden konnte. Auch bei ausdauertrainierten Radfahrern konnte die Leistung beim Zeitfahren durch High Intensity Training verbessert werden (vgl. Laursen & Jenkins, 2002).

Im Fußball erwies sich diese Trainingsform ebenfalls als recht effektiv, um jene fußballspezifischen Leistungsparameter, die eng an die Laufleistung geknüpft sind, zu steigern. Auf die für den Fußball relevanten Effekte wird in Kapitel 2.4.3 noch näher eingegangen.

Grundsätzlich liegt die Ursache einer Leistungssteigerung, die durch Ausdauertraining hervorgerufen wird, in zentralen und peripheren Adaptationen des menschlichen Organismus (vgl. Laursen & Jenkins, 2002). Durch diese wird letztlich auch die maximale Sauerstoffaufnahme, die als Bruttokriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit gilt (vgl. Zintl & Eisenhut, 2004, S. 61), beeinflusst. Im anschließenden Abschnitt wird kurz erläutert, wie sich diese in Folge eines High Intensity Trainings verhalten.

#### 2.4.1.1 Zentrale Adaptationen

Zentrale Adaptationen erleichtern einen verbesserten Sauerstofftransport zur beanspruchten Muskulatur.

Da sich die maximale Herzfrequenz durch Ausdauertraining nicht verändert, kann die verbesserte Sauerstoffversorgung der beanspruchten Muskulatur während eines High Intensity Trainings auf ein erhöhtes Schlagvolumen des Herzens zurückgeführt werden (vgl. Laursen & Jenkins, 2002; Stolen, 2005).

Hoff und Helgerud (2004) weisen darauf hin, dass sich durch Intervalltraining für drei bis acht Minuten bei einer Intensität von 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz die maximale Sauerstoffaufnahme besonders effektiv verbessern lässt. Die Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme führen auch sie auf eine Vergrößerung des Schlagvolumens zurück. Auch McMillan et al. (2005) begründen die verbesserte maximale Sauerstoffaufnahme, die durch High Intensity Training hervorgerufen wird, mit einer verbesserten Herzleistung durch erhöhtes Schlagvolumen. Helgerud et al. (2007) belegten schließlich eine Korrelation der Veränderungen in der maximalen Sauerstoffaufnahme mit jener Veränderung des Schlagvolumens, was auf eine enge Verbindung der beiden Faktoren hinweist.

Die Erhöhung des Schlagvolumens wird durch Hypervolämie, die durch Training oder Hitzeakklimatisierung verursacht wird, hervorgerufen. In weiterer Folge bewirkt eine Erhöhung des Blutvolumens auch eine verbesserte maximale Sauerstoffaufnahme und eine verlängerte Ermüdungsresistenz (vgl. Schmidt, 1999; Laursen & Jenkins, 2002).

Ein weiterer potenzieller Faktor, der für eine Leistungssteigerung durch High Intensity Training bei Hochleistungssportlern verantwortlich sein könnte, ist eine erhöhte Hitzetoleranz, die auf einer erhöhten Hautdurchblutung und Schweißrate beruht (Pandolf, 1979; in Laursen & Jenkins, 2002). Durch die dadurch verbesserte Hitzeregulation soll die

willentliche Ermüdung, die einen starken Zusammenhang mit der Körperkerntemperatur aufweist, beeinflusst werden.

#### 2.4.1.2 Periphere Adaptationen

Periphere Adaptationen durch Ausdauertraining beziehen sich auf eine verbesserte Fähigkeit der beanspruchten Muskulatur ATP (Adenosintriphosphat) zu produzieren und zu nutzen. Die Effizienz dieser Mechanismen wird durch die Stoffwechselvorgänge, die auf die Resynthese von ATP und auf die Verwendung von ATP bei der Muskelkontraktion Einfluss nehmen, bestimmt (vgl. Laursen & Jenkins, 2002).

Während das submaximale Training keinen beziehungsweise nur einen geringen Einfluss auf die glykolytische Enzymaktivität hatte, konnte bei Untrainierten mittels High Intensity Training sowohl die oxidative als auch die glykolytische Enzymaktivität erhöht werden. Dies deutet auf einen höheren Beitrag des aeroben und anaeroben Stoffwechsels zum Energiebedarf hin. Somit wird letztlich die Verfügbarkeit von ATP erhöht und damit der Energiestatus in der Arbeitsmuskulatur verbessert (vgl. Laursen & Jenkins, 2002).

Eine erhöhte Kapazität des aeroben Stoffwechsels, die anhand der verbesserten Kapillarisation und der gesteigerten oxidativen Enzymaktivität belegt wurde, ist die häufigste Reaktion von untrainierten und mittelmäßig trainierten Personen auf High Intensity Training (vgl. Laursen & Jenkins, 2002).

Geht es nun um die Ursache der Leistungssteigerung bei Hochleistungssportlern, so wurde im Zuge bisheriger Untersuchungen erkannt, dass sich durch High Intensity Training die Muskelenzymaktivität veränderte, während die oxidative und glykolytische Enzymaktivität trotz signifikanter Verbesserungen der Ausdauerleistungsfähigkeit unverändert blieb. Es wird vermutet, dass die Verbesserung der Muskelspeicherkapazität für die Leistungsverbesserung verantwortlich ist (Laursen & Jenkins, 2002).

## 2.4.2 Fußballspezifische Trainingsformen

Die aktuelle Empfehlung zur Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme bei Fußballspielern basiert auf einem Intervalltraining mit vier Mal vier Minuten dauernden Intervallen bei 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz, in deren dreiminütigen Pausen bei 70 Prozent der maximalen Herzfrequenz gejoggt werden soll. Das Training kann sowohl auf der Laufbahn, dem Laufband, mit dem Ball auf dem Dribblingparcours oder auch in Kleinfeldspielformen absolviert werden (vgl. Hoff, 2002; Hoff, 2005; Hoff & Helgerud, 2004; Helgerud, 2001; Impellizzeri, 2006; Stolen, 2005).

Hintergrund: Wie bereits erwähnt, bildet das steigende Schlagvolumen bis hin zum Erreichen der maximalen Sauerstoffaufnahme die Grundlage für die Verwendung des High Intensity Trainings als effektive Trainingsmöglichkeit im Ausdauertraining.

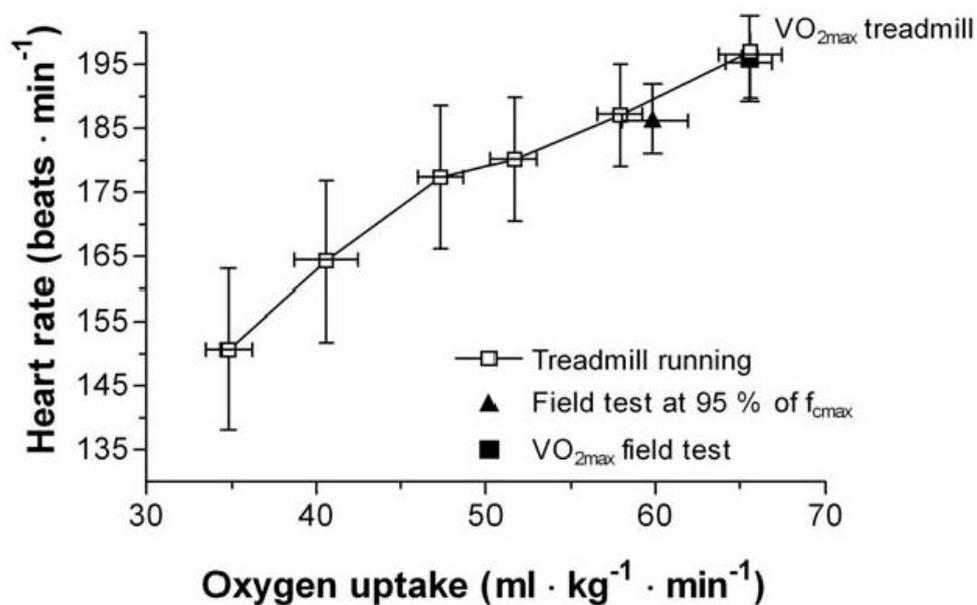
Fußballspieler sind in der Lage, hochintensive Phasen für drei bis acht Minuten beizubehalten. Das maximale Herzschlagvolumen wird dabei nach etwa zwei Minuten erreicht. Nach rund vier Minuten kommt es bei Belastungen von 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz zu einer signifikanten Leistungsreduktion. Bei geringeren Intensitäten sinkt hingegen die Trainingseffektivität um mehr als 50 Prozent (vgl. Rognum et al., 2004 in Hoff et al., 2006; Hoff, 2004).

Die anaerobe Schwelle wird bei einer Intensität von 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz klar überschritten, was eine Laktatakkumulation in Blut und Muskeln zur Folge hat. Deshalb sind niedrigintensivere Phasen notwendig, um den Laktatüberschuss wieder abzubauen. Dabei haben sich Pausen mit einer Dauer von drei Minuten bei einer Intensität von 70 Prozent der maximalen Herzfrequenz als besonders effektiv erwiesen. Bei dieser Intensität konnte der Laktatspiegel bei weitem schneller reduziert werden als bei totaler Inaktivität (Hoff et al., 2006).

Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Möglichkeiten zu fußballspezifischem High Intensity Training vorgestellt, deren Effektivität im Zuge diverser Untersuchungen bestätigt wurde.

Eine Studie von Hoff et al. (2002) untersuchte, ob das Durchlaufen eines Dribblingparcours (Abbildung 9) mit Ball und Kleinfeldspiele die Kriterien eines effektiven Ausdauertrainings zur Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme (Intensität von 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz) erfüllen. Die erreichte Intensität bei Kleinfeldspielen lag bei 91,3 Prozent der maximalen Herzfrequenz. Jene beim

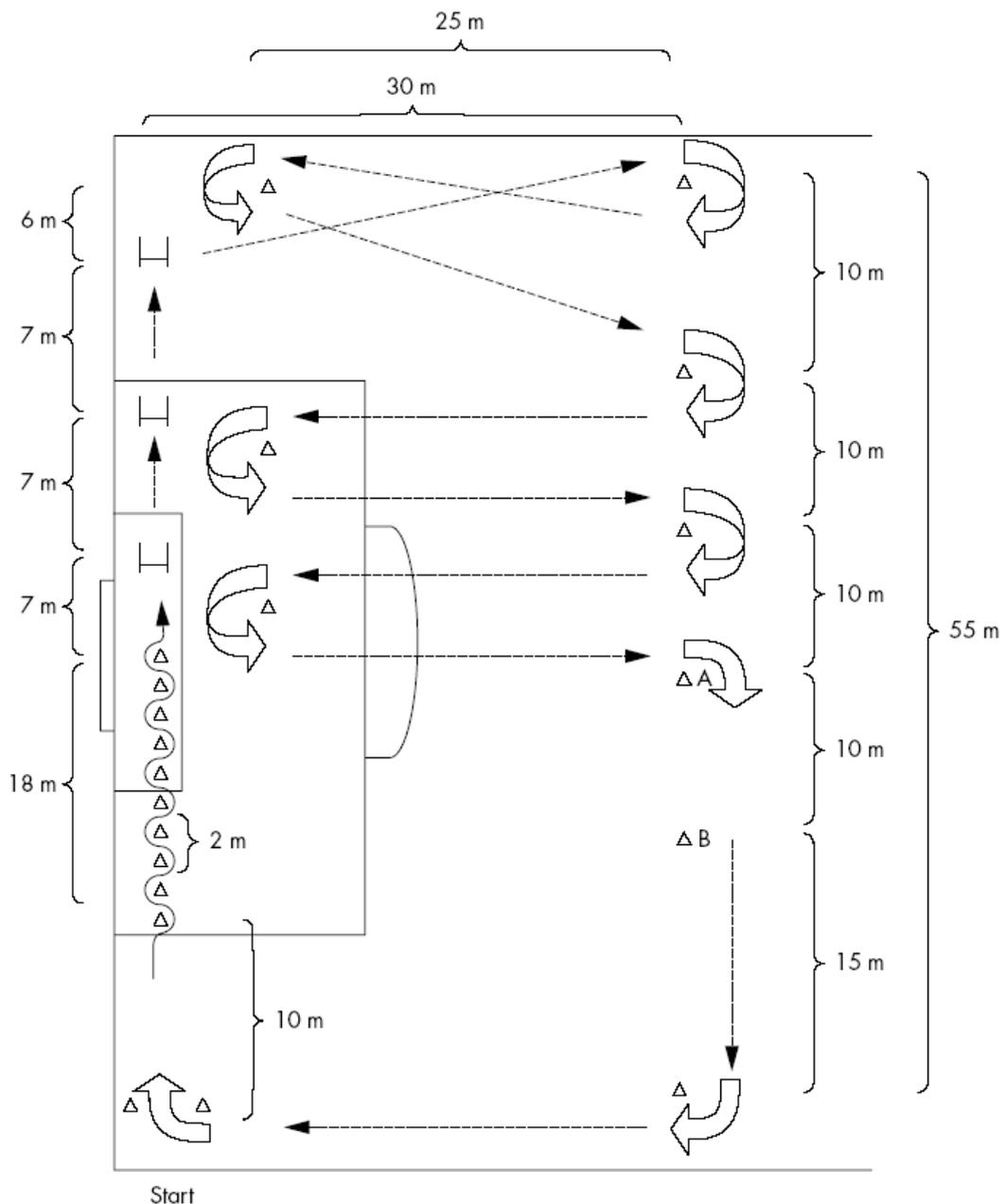
Dribblingparcours lag bei 93,5 Prozent. Aus diesen Erkenntnissen wurde geschlossen, dass beide fußballspezifischen Varianten die Kriterien eines aeroben Intervalltrainings erfüllen. Zudem wurde erkannt, dass die Herzfrequenz als valider Messwert für die Überwachung der aktuellen Intensität angesehen werden kann. Diese Trainingsform bedarf guter Organisation und zum Anderen wurde bei den Kleinfeldspielen eine ausreichende Intensität nur mit zusätzlichem, motivierendem Coaching erreicht. Das obere erreichbare Limit mittels Kleinfeldspielen dürfte allerdings bei 65 ml/kg/min liegen.



**Abbildung 8:** Die Korrelation zwischen Sauerstoffverbrauch und Herzfrequenz bei verschiedenen submaximalen Geschwindigkeiten während der Messung auf einem Laufband, „five a side play“ und beim Dribbeln als vier Minuten Intervalltraining bei 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz (nach Hoff & Helgerud, 2004).

Chamari et al. (2005) untersuchten in einer weiteren Studie den Zusammenhang zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahme und der Leistung beim Dribblingparcours von Hoff (Abbildung 9) vor und nach einem achtwöchigen Training. Das Training bestand aus zwei Einheiten pro Woche, wobei einmal am Dribblingparcours gearbeitet wurde und das zweite Training aus Vier gegen Vier-Spielformen bestand. Sowohl am Dribblingparcours, als auch bei den Spielformen setzte sich das Training aus je vier Intervallen, bei denen die Spieler 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz erreichen sollten, zusammen, die durch dreiminütige Pausen bei 70 Prozent der maximalen Herzfrequenz getrennt wurden. Das Vier gegen Vier wurde in einem Quadrat mit 20 Metern Seitenlänge gespielt.

Im Zuge der Studie wurde erkannt, dass die zurückgelegte Strecke beim Hoff-Test signifikant mit der maximalen Sauerstoffaufnahme korreliert und im Zuge des achtwöchigen Trainings um 9,6 Prozent gesteigert werden konnte, während die maximale Sauerstoffaufnahme um zwölf und die Laufökonomie um zehn Prozent gesteigert wurde. Fazit: Die Leistung beim Test korreliert mit der im Labor gemessenen maximalen Sauerstoffaufnahme. Eine durch das Training erhöhte maximale Sauerstoffaufnahme spiegelt sich in einer Verbesserung beim Hoff-Test wider (Chamari et al., 2005).

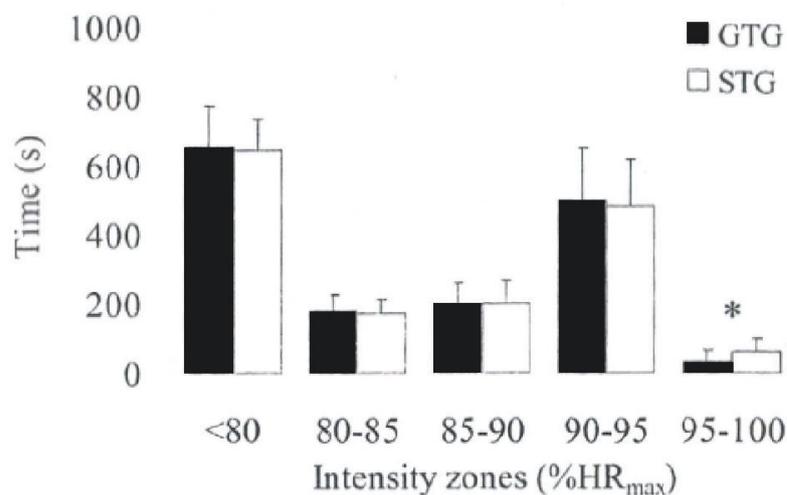


**Abbildung 9: Fußballspezifischer Dribblingparcours zum Trainieren von Hochintensitätsintervallen. Die Parcours-Strecke folgt den Pfeilen und wird, unter Dribbeln, mit einem Fußball abgelaufen. Rückwärtslaufen zwischen Punkt A und B (nach Hoff et al., 2006).**

Impellizzeri und seine Co-Autoren (2006) verglichen in ihrer Studie die Effekte eines Laufintervallprogrammes mit einem Intervalltraining, das in Form von Kleinfeldspielen durchgeführt wurde. Insgesamt wurden in zwölf Wochen 24 High Intensity Trainings zusätzlich zum normalen Training absolviert. Das Trainingsprotokoll sah für beide Gruppen vier Intervalle mit vier Minuten bei 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz vor. In den dreiminütigen Erholungspausen dazwischen wurde die Intensität auf 60 bis 70 Prozent der maximalen Herzfrequenz gesenkt. Während die Laufgruppe auf der Laufbahn trainierte, führte die spezifische Trainingsgruppe unterschiedliche Kleinfeldspiele durch:

- 3 vs. 3, mit Tormann, 2-3 Ballkontakte, Feldgröße: 25 x 35 m
- 4 vs. 4, mit Tormann, 2 Ballkontakte, Feldgröße: 40 x 50 m (Abbildung 11)
- 4 vs. 4 und 5 vs. 5 mit unterschiedlichen Vorgaben

Es zeigte sich, dass in etwa eine Minute nötig war, um den vorgegebenen Intensitätsbereich zu erreichen. Die durchschnittliche Trainingsintensität der beiden Gruppen unterschied sich nicht signifikant voneinander. Wie Abbildung 10 zeigt, gab es mit Ausnahme des Bereichs > 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz keine signifikanten Unterschiede in den einzelnen Intensitätsbereichen im Zuge der zwölfwöchigen Trainingsintervention.



**Abbildung 10: Durchschnittliche Zeit, die während der zwölf Trainingswochen in den unterschiedlichen Intensitätsbereichen verbracht wurde. GTG (gereric training group): Lauftrainingsgruppe; STG (specific training group): Gruppe, die Kleinfeldspiele absolvierte (nach Impellizzeri, 2006).**

Die Ergebnisse der Studie belegten, dass sich beide Gruppen sowohl bei den Parametern der aeroben Leistungsfähigkeit als auch in der „Match-Performance“ in gleichem Maße verbesserten.

Dadurch wurde bewiesen, dass Kleinfeldspiele als effektive Methode eingesetzt werden können, um die aerobe Fitness und die Leistung im Spiel von Fußballern zu verbessern. Da keine Unterschiede zwischen den beiden Trainingsgruppen bestanden, sollte das Training vorrangig mit Ball durchgeführt werden. Bei Kleinfeldspielen können zusätzlich zum aeroben Nutzen, technische und taktische Elemente mit geschult werden. Auch die Motivation ist bei Kleinfeldspielen erhöht, womit das High Intensity Training von den Spielern eher akzeptiert wird.



**Abbildung 11: Kleinfeldspielform 4 vs. 4 mit Tormann (eigene Darstellung).**

Eine Studie von Sassi et al. (in Reilly et al., 2005, S. 341 f.) verglich ebenfalls ein Laufintervalltraining mit verschiedenen Kleinfeldspielformen. Die Autoren kamen auch zu dem Ergebnis, dass durch Kleinfeldspielformen die gleichen Intensitäten erreicht werden wie durch Lauftraining.

Reilly & White (in Reilly et al., 2005, S. 344 f.) betonten zudem, analog zu Impellizzeri (2006), dass mittels Kleinfeldspielen im Bezug auf die Leistungsfähigkeit gleiche Effekte erzielt werden können wie mit Laufintervallen.

Es ist zu beachten, dass durch die Wahl der Spielform (Anzahl der Spieler, mit/ohne Tormann, Anzahl der Ballkontakte usw.), die Feldgröße und das Coaching des Trainers die Intensität beeinflusst werden kann. Die Aufgabe des Trainers ist es daher, durch die richtige Kombination dieser Faktoren eine Trainingsintensität zu schaffen, bei der sich die Spieler in der High Intensity Zone (90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz) bewegen (Rampinini et al., 2007).

### 2.4.3 Relevante, zu erwartende Effekte im Fußball

Im folgenden Abschnitt werden einige Untersuchungen zu fußballspezifischem High Intensity Training vorgestellt.

Helgerud et al. (2001) führten zweimal pro Woche über acht Wochen hinweg ein Intervalltraining durch, das zusätzlich zum normalen Training stattfand. Dieses bestand aus vier mal vier Minuten Intervallen mit je drei Minuten Pause dazwischen. Die Intensität lag bei 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz. Vor und nach der Trainingsintervention fand je ein Fußballspiel statt, bei dem die Aktivitäten der Teilnehmer mittels Video analysiert wurden. Die Trainingsgruppe erreichte einen Zuwachs der maximalen Sauerstoffaufnahme von  $58,1 \pm 4,5$  auf  $64,3 \pm 3,9$  ml/kg/min. Weiters konnte die anaerobe Schwelle von  $47,8 \pm 5,3$  auf  $55,4 \pm 4,1$  ml/kg/min angehoben werden. Zudem wurde die Laufökonomie um sieben Prozent, die zurückgelegte Distanz während des Spiels um 20 Prozent, die Anzahl der Sprints um 100 Prozent und die Anzahl der Ballkontakte um 24 Prozent gesteigert. Die durchschnittliche Intensität, die als Prozentsatz der maximalen Herzfrequenz angegeben wurde, stieg von  $82,7 \pm 3,4$  auf  $85,6 \pm 3,1$  Prozent. Keine Veränderungen gab es hingegen bei der Sprunghöhe, Kraft, Geschwindigkeit, Schussgeschwindigkeit und Präzision bei Schüssen und Passes. Die Ergebnisse dieser Studie unterstreichen die hohe Bedeutung der maximalen Sauerstoffaufnahme im Fußball.

McMillan et al. (2005) führten mit elf jugendlichen Fußballspielern über zehn Wochen hinweg ein Intervalltraining auf dem Hoffparcours (Abbildung 9) durch. Die Intensität während der Intervalle betrug 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz. In den dreiminütigen Pausen dazwischen wurde bei einer Intensität von 70 Prozent der maximalen Herzfrequenz gejoggt. Das Intervalltraining wurde zusätzlich zum normalen Training zweimal pro Woche am Ende der Trainingseinheit absolviert. Die maximale Sauerstoffaufnahme konnte durch die Trainingsintervention um neun Prozent gesteigert werden. Die Laufökonomie, die bei 9 km/h gemessen wurde, blieb unverändert. Allerdings wurde bei dieser Intensität eine signifikante Reduktion der Herzfrequenz erkannt. Während die Zehn-Meter-Sprintzeit ebenfalls nicht beeinflusst wurde, gab es eine signifikante Leistungssteigerung beim Squad Jump und beim Counter Movement Jump.

Die Ergebnisse gehen mit jenen von Chamari et al. (2005) einher, der im Zuge eines achtwöchigen High Intensity Trainings (2 Mal pro Woche), unter anderem am

Dribblingparcours, eine Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme um zehn Prozent feststellte.

Helgerud et al. (2003) verwendeten das gleiche Trainingsprotokoll und erreichten damit die gleichen Zuwächse in der maximalen Sauerstoffaufnahme.

Eine weitere Studie untersuchte die Nützlichkeit einer zehntägigen „VO<sub>2</sub>-Kur“ bei einem norwegischen Zweitligateam. Dabei trainierte eine Hälfte nach dem regulären Training auf dem Hoffparcours (vier Mal vier Minuten, 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz), während die andere Hälfte kontinuierliches Dribbling bei 70 bis 75 Prozent der maximalen Herzfrequenz für die gleiche Zeitdauer durchführte. Innerhalb der zehn Tage wurden in Summe 13 Intervallsessions absolviert. Die Intervallgruppe verbesserte durch das Training die maximale Sauerstoffaufnahme um 7,3 Prozent (von 62 auf 66,5 ml/kg/min). Die zweite Gruppe konnte die maximale Sauerstoffaufnahme hingegen nicht signifikant verbessern (62 auf 63,1 ml/kg/min). Diese Untersuchung unterstreicht, dass es mittels High Intensity Training möglich ist, die aerobe Kapazität innerhalb sehr kurzer Zeit beachtlich zu heben (vgl. Stolen, 2005). Die Autoren schließen daraus, dass Teams mit hohen Ambitionen ein bis zwei dieser „VO<sub>2</sub>-Kuren“ in die Vorbereitungsperiode und je eine in der Mitte der beiden Saisonhälften integrieren sollten. Zudem sollte ein High Intensity Training pro Woche zur Erhaltung der Kapazität eingeplant werden.

Ein weiterer positiver Effekt, den die erwartete verbesserte aerobe Fitness mit sich bringt, ist die erhöhte Erholungsfähigkeit nach hochintensiven intermittierenden Belastungen. Dies beruht auf einem vergrößerten aeroben Bereich, einer verbesserten Laktatelimination sowie einer schneller laufenden Phosphocreatin-Wiederauffüllung (Tomlin & Wenger, 2001).

Wie sich in einer Studie von Rampinini et al. (2008) zeigte, führten sowohl die Ermüdung nach kurzzeitigen intensiven Phasen als auch die Ermüdung, die gegen Ende des Spiels zunahm, zu einer Verringerung der Fähigkeit kurze Pässe zu spielen (mittels Loughborough Soccer Passing Test gemessen). Rampinini et al. (2008) erkannten zudem einen Zusammenhang zwischen dem ermüdungsbedingten Abfall technischer Fähigkeiten und dem Fitnesslevel der Fußballspieler. Anders ausgedrückt, kann durch eine Erhöhung des Fitnesslevels die Häufigkeit von technischen Fehlern verringert werden.

Zur Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme sind zumindest zwei Intervalltrainings pro Woche notwendig. Um die erhöhte maximale Sauerstoffaufnahme auf dem gesteigerten Niveau zu halten, ist ein Minimum von einer Trainingseinheit pro

Woche mit entsprechenden High Intensity Inhalten erforderlich (vgl. Hoff et al., 2006; Stolen, 2005).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch eine verbesserte aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit, gemessen anhand der maximalen Sauerstoffaufnahme, die Leistung im Fußball gehoben werden kann. Dies zeigt sich in der zurückgelegten Distanz, einer erhöhten durchschnittlichen Intensität, der gesteigerten Anzahl an Sprints und Ballkontakten sowie einer beschleunigten Regeneration nach intensiven Phasen während eines Spiels. Weiters werden die ermüdungsbedingten technischen Fehlleistungen verringert.

Wie aus zahlreichen Studienergebnissen geschlossen werden kann, lässt sich mit Hilfe eines High Intensity Trainings (vier Mal vier Minuten bei 90-95 Prozent der maximalen Herzfrequenz mit dreiminütigen Pausen bei 70 Prozent der maximalen Herzfrequenz) pro Trainingseinheit ein Zuwachs der maximalen Sauerstoffaufnahme von 0,5 Prozent erzielen. Mit Hilfe dieser Trainingsform lässt sich zudem innerhalb sehr kurzer Zeit ein beachtlicher Zuwachs der maximalen Sauerstoffaufnahme realisieren (vgl. Helgerud et al., 2001, 2003; McMillan et al., 2005; Stolen, 2005).

### 3 Theoretische Grundlagen zum Übertraining (Oesen)

Aufgrund des in weiterer Folge beschriebenen Studiendesigns, gilt es natürlich auch die Thematik des Übertrainings zu prüfen. Allgemein gilt im Sport, dass durch die stetige Leistungsoptimierung Sportler versuchen ihre Leistungskapazitäten auszureizen (Hölzer, 2009, S.4). Folglich sind Überlastungszustände eine mögliche Konsequenz. Armstrong und van Heest (2002, S.187) definieren einen Überlastungszustand grundsätzlich durch eine Leistungsminderung. Im Laufe der Jahre hat sich die Nomenklatur für diesen Zustand häufig verändert. Der aktuelle Stand der Forschung verwendet den Begriff „overtraining syndrome“ (OTS). In dieser Arbeit werden die Begriffe „overtraining syndrome“ (OTS) und Übertraining synonym verwendet. Die Bedeutung des OTS im Fußball wird durch eine Statistik von Armstrong und van Heest (2002, S.187) deutlich. Mehr als 50% aus einer Gruppe von Profi-Fußballspielern wiesen während einer fünfmonatigen Saison Anzeichen für ein Übertraining auf. Außerdem stellen die Autoren fest, dass auch eine 10tägige Trainingsperiode mit hohen Intensitäten bereits einen Übertrainingszustand hervorrufen kann.

Ein OTS stellt einen enormen Einschnitt in die Periodisierung des Sportlers dar und ist somit ein ernstzunehmender Störfaktor im kontinuierlichen Leistungsaufbau. Urhausen und Kindermann (2002, S.99) stellen fest, dass eine Reduktion von Intensität und Umfang bis hin zur völligen Pause unbedingt notwendig ist um das OTS zu behandeln. Die Dauer der verminderten Leistungsfähigkeit ist individuell unterschiedlich, kann jedoch mehrere Monate betragen.

Im Zuge dieser Thematik wird auch der Begriff "over-reaching" immer wieder Erwähnung finden. Urhausen und Kindermann (2002, S.99) beschreiben das "over-reaching" als kurzzeitigen, im Rahmen des Trainings geplanten Überlastungszustand, quasi die Vorstufe zum Übertraining.

#### 3.1 Trainings Kontinuum

Der aktuelle Stand der Forschung sieht ein Kontinuum zwischen (intensivem) Training, "over-reaching" und dem OTS. Ein Kontinuum beschreibt einen zusammenhängenden Zustand.



Urhausen und Kindermann (Urhausen und Kindermann 2002, S.96; Halson und Jeukendrup, 2004, S. 971) erachten besonders die Früherkennung von Überlastungszuständen als wesentlich. Da es einen fließenden Übergang zwischen den Trainingsphasen gibt, gilt es das OTS vor seiner Entstehung zu erkennen und präventiv zu behandeln. Befindet sich die Sportlerin/der Sportler bereits im Übertraining, ist es zu spät um korrektive Maßnahmen zu setzen. Ziel muss daher sein, Parameter zu finden, welche ein geplantes "over-reaching" vom OTS differenzieren können.

## 3.2 Definition des Übertrainings (OTS)

Das Übertraining wird oft über das multiple Auftreten gewisser Parameter definiert. Grundsätzlich wird der Übertrainingszustand charakterisiert durch einen Sportart-spezifischen Leistungsabfall gepaart mit Befindlichkeitsstörungen, welche trotz weitergeführten oder intensivierten Trainings, über mehrere Wochen anhalten. Um ein Übertraining zu diagnostizieren müssen Krankheiten ausgeschlossen sein. (vgl. Urhausen und Kindermann, 2002, S.95). Es muss vor allem differenziert werden, ob die Krankheit Folge des Übertrainings ist, oder Ursache des Leistungsabfalls. Nur bei ersterem spricht man vom OTS.

Halson und Jeukendrup (2004, S.969) verweisen speziell auf die Dauer des Überlastungszustands beziehungsweise des Leistungsabfalls. Bei einer Dauer von mehreren Wochen bis hin zu mehreren Monaten sprechen die Autoren von einem manifesten OTS. Wird die Leistungsfähigkeit hingegen innerhalb mehrerer Tage wieder hergestellt, geht man von einem "over-reaching" aus.

### 3.2.1 Symptome

Wie erwähnt, wird das OTS oft anhand der auftretenden Symptome definiert (Armstrong und van Heest 2002, S.188; Weineck 2000, S.662). Hierbei greift man auf die grundsätzliche Unterscheidung des OTS von Israel (1976, S.8) zurück, der die Einteilung in ein basedowoides (sympathikotones) und ein addisonoides (parasympathikotones) Übertraining getroffen hat. Hölzer (2009, S.95) erachtet diese Einteilung aus folgenden Gründen jedoch als nicht mehr zeitgemäß: Während Israel die psychologischen und physiologischen Symptome in zwei Kategorien einteilt und von zwei verschiedenen Krankheitsbildern ausgeht, lehnt sich die moderne Literatur am Trainings- Kontinuum-Modell an.

Intensive Trainingsreize führen zu einer Stresssituation im Körper (vgl. Halson und Jeukendrup, 2004, S. 969). Dies hat die Ausschüttung von Stresshormonen zur Folge. Zu den wichtigsten Stresshormonen zählen, neben den Katecholaminen, Adrenalin und Noradrenalin, auch Cortisol. Die Ausschüttung von Cortisol wird durch das adrenokortikotrope Hormon (ACTH) beeinflusst. ACTH wird seinerseits wieder durch das Corticotropin-releasing- Hormon (CRH) stimuliert. Das heißt, das Vorkommen von CRH, ACTH und den Glukokortikoiden (Cortisol) steht in einem kausalen Zusammenhang. Hölzer (2009, S.95) beschreibt, dass bei einem intensiven Training eine natürliche Reaktion des ACTH's auftritt.

*„Indiz gegen eine klare Trennung des Overtrainings könnte in der physiologisch „normalen“ Reaktion des ACTH Systems gesehen werden. Geht man von der Annahme aus, dass der Organismus versucht durch eine „Overshot- Reaktion“ das inhomogene Belastungs- Erholung Verhältnis auszugleichen und es bei fortschreitender Chronifizierung zur Unterdrückung des Systems kommt, würde dies gegen eine Trennung sprechen.“*

Das heißt, dass zunächst eine gesteigerte Aktivität des ACTH- Systems zu einer Reaktion führt, die analog zu den Symptomen des sympathotonen Übertrainings von Israel ist. Dies äußert sich speziell durch die Stimulation der Herztätigkeit, der Atmung und vor allem, um die Verbindung zu Cortisol wieder herzustellen, durch eine erhöhte Förderung der Glykogensynthese in der Leber. Letztere Wirkung wird durch die Glukokortikoide (Cortisol) bedingt. Bei der Chronifizierung, so Hölzer (2009) nimmt dann die ACTH- Aktivität ab. Das heißt, es folgt eine Steigerung der parasymphatischen Aktivität. Urhausen und Kindermann (2002, S.97) bestätigen diese Theorie. Es wird beschrieben, dass bei übertrainierten Sportlern eine reduzierte sympathische Aktivität zu beobachten ist. Ausdruck dafür ist eine verminderte Katecholaminausschüttung unter Belastung sowie im nächtlichen Urin. Außerdem hat chronische Stressexposition eine verminderte Ausschüttung des CR – Hormons zur Folge. Zusammengefasst heißt das, dass je nach Phase des Trainings- Kontinuums, in der sich der Sportler befindet, eine der beschriebenen hormonellen Reaktionen folgt. Die Auswirkungen sollten aber nicht als zwei verschiedene „Krankheitsbilder“, sondern als Fortschritt in einem Prozess betrachtet werden. Die Auswirkungen einer gesteigerten sympathischen beziehungsweise parasymphatischen Aktivität des Organismus lassen sich jedoch mit dem Modell von Israel gut veranschaulichen.

**Tabelle 3: Auswirkungen einer gesteigerten sympathischen bzw. parasympathischen Aktivität auf den Organismus. (modifiziert nach Israel 1976, 2)**

| <b>Basedowoides (symp.) Übertraining</b>                               | <b>Addisonoides (parasymp.) Übertraining</b>  |
|--|---|
| Leichte Ermüdbarkeit   | Leichte (abnorme) Ermüdbarkeit  |
| Erregung   | Hemmung   |
| Schlaf gestört   | Schlaf nicht gestört  |
| Appetit herabgesetzt   | Normaler Appetit  |
| Körpergewichtsabnahme  | Körpergewicht gleich bleibend   |
| Neigung zum Schwitzen, Nachtschweiß, feuchte Hände                     | Thermoregulation normal   |
| Halonierte Augen, Blässe   | -   |
| Neigung zum Kopfschmerz  | Klarer Kopf   |
| Herzklopfen, Herzdruck, Herzstiche                                     | -   |
| Ruhepuls beschleunigt  | Bradykardie   |
| Grundumsatz gesteigert   | Grundumsatz normal  |
| Körpertemperatur leicht erhöht   | Körpertemperatur normal   |
| ausgeprägter roter Dermographismus                                     | -   |
| Verzögerte Einstellung der Herzfrequenz auf Ruhewert nach Belastung    | Schnelle Kreislaufberuhigung nach Belastung   |
| Blutdruck uncharakteristisch   | Unter und nach Belastung oft Erhöhung des diastolischen Blutdrucks auf >100 Torr        |
| Abnorme Hyperpnoe unter Belastung (vertiefte der Atmung)               | Keine Atemschwierigkeiten   |
| Überempfindlichkeit gegenüber Sinnesreizen (besonders akustischer Art) | -   |
| Bewegungsablauf wenig koordiniert, oft überschießend                   | Bewegungsablauf eckig und ungenügend koordiniert (nur bei höherer Belastungsintensität) |
| Reaktionszeit verkürzt, allerdings viele Fehlreaktionen                | Reaktionszeit normal oder verlängert  |
| Tremor (zittern)   | -   |
| Erholungszeit verzögert  | Gute bis sehr gute Erholungsfähigkeit   |
| Innere Unruhe, leichte Erregbarkeit, Gereiztheit, Depression           | Phlegma, normale Stimmungslage  |

Eine weitere Einteilung der Symptome des Übertrainings kann nach Hölzer (2009, S.31) in folgende vier Kategorien getroffen werden:

- Physiologische Symptome
- Psychologische Symptome
- Biomechanische Symptome
- Immunologische Symptome

Hölzer (2009, S.31) gibt zu bedenken, dass manche Symptome mehreren Kategorien zugeordnet werden können. Als Beispiel wird der Appetit genannt, dessen Fernbleiben sowohl psychologische als auch physiologische Ursachen haben kann.

Armstrong und van Heest (2002, S.189) beschreiben ebenfalls in einer Tabelle die Symptome des Übertrainings, gehen dabei aber nicht auf die Differenzierung zwischen sympathischen und parasympathischen Übertraining ein. Die genannten Symptome lauten: Abnahme der physischen Leistungsfähigkeit, generelle Ermüdung und Verlust der Willenskraft, Schlafstörungen, Änderungen im Appetit, Ängstlichkeit, Gewichtsverlust, Motivationsverlust, Konzentrationsschwächen und Depression. Die Autoren geben jedoch zu bedenken, dass bei der Feststellung der OTS- Symptome die Funktionsstörung bereits vorliegt. Eine Früherkennung in der Diagnostik, so Armstrong und van Heest (2002, S.189) existiert noch nicht.

Zusammenfassend wird deutlich, dass nicht nur die Diagnostik des Übertrainings Gegenstand der Forschung sein muss, sondern auch die Früherkennung. Hölzer (2009, S.95) und Urhausen et al. (2002, S.96) sehen in der hormonellen Reaktion des Organismus auf Stresssituationen beziehungsweise auf intensives Training ein mögliches Kontrollinstrument. Eine Früherkennung schließt jedoch eine stetige Kontrolle der Sportlerin/des Sportlers ein. Ist das Übertraining einmal manifest, ähneln sich die Auflistungen und Klassifizierungen der Symptome. Halson und Jeukendrup (2004, S. 971) geben jedoch zu bedenken, dass keine einheitliche Diagnostik des Syndroms besteht. Da auch die Nomenklaturen differieren, ist es schwierig, bestehende Ergebnisse aus Studien zusammenzufassen.

### 3.2.2 Ursachen

Weineck (2000, S.661) sieht die Ursachen des Übertrainings in einer insuffizienten Regeneration. Dies schließt sowohl zu kurze Erholungsphasen als auch Schlafmangel und Fehlernährung mit ein. Bezug nehmend auf Israel (1976) können vier Ursachen definiert werden:

- Zu schnelle Steigerung der Trainingsquantität bzw. –intensität;

- Übermäßig forcierte technische Schulung schwieriger Bewegungsabläufe;
- Zu starke Einseitigkeit der Trainingsmethoden und –inhalte;
- Wettkampfmassierung mit unzureichenden Erholungsintervallen;

Ähnlich beschreiben Urhausen und Kindermann (2002, S.96) eine zu hohe Intensität, zu hohen Umfang oder eine zu hohe Wettkampfdichte als Hauptursachen. Insbesondere bei inadäquater Erholung nach anaerob-laktaziden Trainingseinheiten läuft die Sportlerin/der Sportler Gefahr ins Übertraining zu kommen (vgl. Weineck, 2000, S.661)

Auch wenn das OTS Parallelen zu anderen physischen und psychischen Krankheiten aufweist, so muss es doch als eigene Funktionsstörung gesehen werden, deren Gründe die verschiedensten Ursachen haben können.

Hölzer (2009, S.37) beschreibt eine interessante Hypothese, die durch eine Studie an Rennpferden fundiert wird. Ein "over-reaching" der Pferde stellte sich dann ein, wenn neben einer Erhöhung der Belastung in den intensiven Einheiten auch die Intensität der regenerativen Einheiten erhöht wurde. Der Unterschied zwischen intensiven und regenerativen Einheiten wurde verringert. Foster und Lehmann formulierten aus dieser Studie (vgl. Bruin et al. 1994) die Monotonie- Hypothese. Das heißt, das Wechselspiel zwischen Regeneration und Belastung war bei den Rennpferden nicht mehr gegeben. Foster (1998, S.1167) erachtet daher ein Training, bei dem sich intensive und regenerative Einheiten abwechseln, als sinnvoll und wirksamer als ein Training mit stetig gleicher Belastung.

### 3.3 Over-reaching

Bei der Induzierung eines geplanten "over-reaching"- Zustands sind sich Trainer uneins. Einerseits wird es als notwendige Maßnahme für die Leistungssteigerung gesehen, zum anderen, ob des unvorhersehbaren Verlaufs, als sehr kritisch erachtet. Halson und Jeukendrup (2004, S.969) beschreiben den "over-reaching"- Zustand, wie oben erwähnt, als kurzzeitigen Leistungseinbruch ohne Symptome des Übertrainings. Der "over-reaching"- Zustand sollte nach dem Erholungsprozess idealerweise zu einer Leistungssteigerung führen.

#### 3.3.1 Grundprinzipien

Das "over-reaching" basiert auf dem Grundprinzip des Trainings. Hohmann, Lames und Letzelter (2003, S.151) erklären die Wirkung des sportlichen Trainings anhand des

Homöostase-Prinzips von Roux, nachdem der Organismus versucht, trainingsinduzierte Funktionsstörungen zu kompensieren. Ausgehend von diesem Prinzip entwickelte Jakowlew (1977) das Modell der Superkompensation. Demnach kommt es nicht nur zu einer Kompensation auf das Ausgangsniveau, sondern zu einer überschießenden Adaptationsreaktion des Organismus. Diese Anpassungsreaktion bleibt für eine gewisse Zeit erhalten. Die Superkompensationsphase sollte daher für den nächsten Trainingsreiz genutzt werden (vgl. Hohmann, Lames und Letzelter, 2003, S.152).

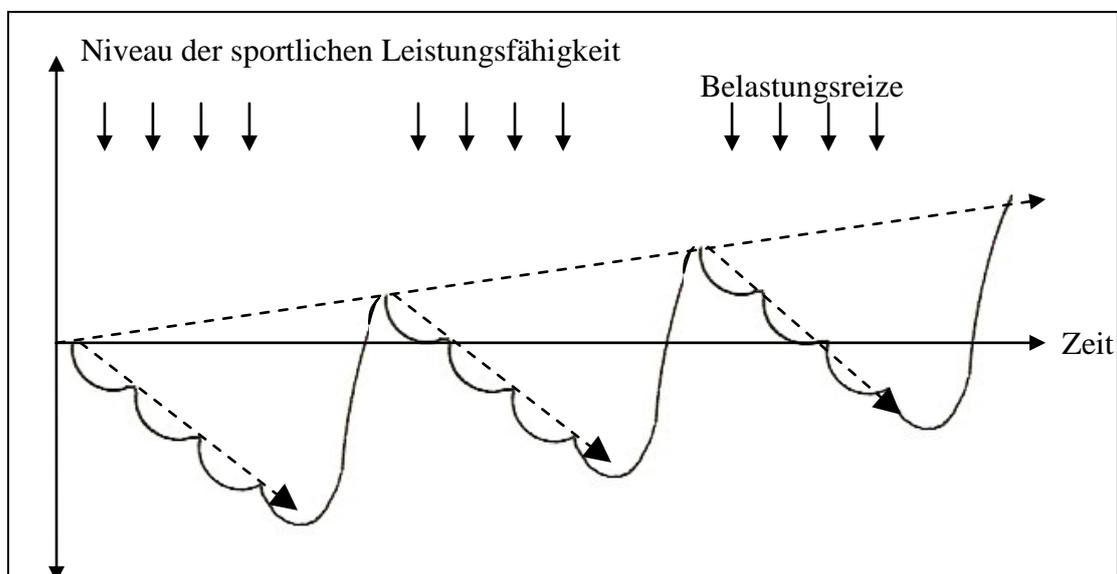
Die Annahmen betreffend die Adaptation der Leistungsfähigkeit durch sportliches Training gelten laut Hölzer (2009, S.20) als gesichert. Die biologische Erklärung für trainingsinduzierte Adaptationen lautet wie folgt: Ein vermehrter Proteinabbau aufgrund hoher Beanspruchung führt zu einer Abnahme der Leistungsfähigkeit. Die Synthese von Proteinen geschieht im Zuge der Translation. Dabei dient die Messenger-Ribonukleinsäure (mRNA) als Matrize. Der gesteigerte Gehalt an mRNA führt zu einer Zunahme der Proteinbiosyntheserate. Die Proteinbiosyntheserate ist ein leistungslimitierender Faktor. In Folge dessen steigt die Leistungsfähigkeit. Das Prinzip der Superkompensation kann somit untermauert werden. Ein Abfall der Leistungsfähigkeit unmittelbar nach dem Training führt zu einem Adaptationsprozess in der Zelle. Diese Adaptation steigert die Leistungsfähigkeit über das Ausgangsniveau hinaus.

Das "over-reaching" sowie das Training im Allgemeinen sollte also eine Anpassung an eine höhere Leistungsfähigkeit darstellen. Wie erwähnt, ist es dazu nötig, den optimalen Erholungszeitraum zu kennen, um die Superkompensation auszunutzen. Weineck (2002, S. 33) beschreibt diesen Umstand, in dem er die Belastung und Erholung als eine untrennbare Einheit beschreibt. Fehler können dabei nicht nur bei der Dosierung der Belastung, sondern auch im Regenerationsprozess gemacht werden. Adaptationspotentiale im positiven und negativen Sinne unter Berücksichtigung der Erholungszeit werden auch im Trainings- Kontinuum- Modell (siehe Abb.: 1) erörtert.

Hohmann, Lames und Letzelter (2003, S.153) verweisen auf einen ganz wesentlichen Punkt in diesem Prozess. Die Erholungszeiten auf verschiedene Trainingsreize weisen unterschiedliche Zeitkonstanten auf. Um somit eine kontinuierliche Leistungssteigerung zu erzielen, müsste der optimale Regenerationszeitraum nach jedem Training bestimmt werden. Dies kann, ob der vielen Einflussfaktoren auf die Regeneration, ein Problem darstellen.

### 3.3.2 Blocktraining

Blocktrainingsformen bauen auf eine summierte Wirkung. Während zwischen den Trainingseinheiten die Erholungszeit insuffizient ist, folgt am Ende eine ausgiebige Regenerationsphase. In Abbildung 13 wird der schematische Ablauf einer Blocktrainingsform gezeigt. Weineck (2000, S.33) beschreibt den Wirkmechanismus dieses Prinzips wie folgt: Durch unvollständige Pausen kommt es zu einer vertieften Ausschöpfung des energetischen Potentials. Das führt nach der Regenerationsphase zu einer ausgeprägten Superkompensation. Die vertiefte Ausschöpfung und die damit verbundene Leistungsminderung stehen natürlich in engem Zusammenhang mit dem Begriff "over-reaching". Blocktrainingsformen eignen sich sehr gut um einen geplanten "over-reaching"- Zustand zu induzieren.



**Abbildung 13: Prinzip der summierten Wirksamkeit (modifiziert nach Weineck, 2000, S.34)**

In der Literatur findet man jedoch auch Kritik an dem Blocktrainingsmodell. Besonders die ganzjährige Verwendung dieser Form der Periodisierung wird als nicht zielführend erachtet. Das Blocktraining bringt hohe Ermüdungszustände und eine verzögerte Leistungssteigerung mit sich. Dadurch kann ein Problem mit der Leistung in Wettkämpfen bestehen. Ist beispielsweise der Zyklus so ausgerichtet, dass mit Ende des intensiven Trainings ein Wettkampf ansteht, kann die Leistung natürlich durch den Ermüdungszustand des Organismus negativ beeinflusst werden (vgl. Tschiene, 2006, S.13). Jedoch gibt Tschiene (2006, S.12) zu bedenken, dass eine Anwendung in der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung interessant scheint. Die verzögerte Leistungssteigerung muss so periodisiert sein, dass die Ausprägung mit dem Wettkampf

seinen Höhepunkt erreicht. Die Höhe der Ausprägung, also die Wirksamkeit von Blocktrainingsformen, ist in der Literatur bis dato nicht ausreichend erforscht.

Ein weiterer Kritikpunkt ist die oben erwähnte Monotonie- Hypothese nach Foster et al. (1998, S.1167). Laut dieser Theorie kommt es zu einer größeren Leistungssteigerung, wenn intensive Trainingseinheiten durch regenerative Tage unterbrochen sind. Die Empfehlung der Autoren wären vier Trainingstage mit intensiver Belastung unterbrochen durch zwei regenerative Einheiten und einem freien Tag. Ist der Unterschied zwischen den Trainings zu gering, sprich die Belastung ähnlich intensiv, so läuft die Athletin/der Athlet Gefahr in eine Art Monotonie zu geraten.

Issurin (2010, S.803) diskutiert die Entwicklung der Periodisierung und geht dabei auf die Vor- und Nachteile von traditionellen- und Blocktrainingsformen ein. Die traditionelle Periodisierung, eine Unterteilung eines Jahreszyklus in Meso- und Mikrozyklen, bietet eine Reihe von Kritikpunkten. So kommt es dem Autor zu Folge zu einem Konflikt der physiologischen Adaptationen, wenn mehrere Fähig- und Fertigkeiten gleichzeitig trainiert werden. Weiters bemängelt Issurin die starke Beanspruchung und damit verbundene Ermüdung im Zuge lang andauernder Zyklen in denen vielseitig trainiert wird. Aus der multidimensionalen Belastungsstruktur ergeben sich niedrigere Konzentrationen für die einzelne Fähigkeit. Darüber hinaus ist es durch die traditionelle Periodisierung nicht möglich, mehrere Höhepunkte in einer Saison zu setzen. Um diese Barrieren zu überwinden, entwickelte sich die Block- Periodisierung. Die Idee dahinter sind Phasen, in denen ein Minimum an Fähig- und/oder Fertigkeiten intensiv trainiert werden. Durch diese eindimensionale Ausrichtung der Belastung werden bessere Zuwächse in trainierten Bereichen erwartet. Das Prinzip hinter der Blocktrainingsperiodisierung ist die Strukturierung von spezialisierten Mesozyklen (vgl. Issurin, 2010, S.803-805).

Steinacker et al. (2000, S.327) konnte mit einem 3-wöchigen Blocktraining mit Junioren-Ruderern die Funktionalität dieser Trainingsform und seine daraus resultierende summierte Wirksamkeit belegen. Die Steigerung des Trainingsumfangs (Phase 0: 90min pro Tag, Phase 1: 183min pro Tag, Phase 2: 205min pro Tag) führte zu einer Minderung der Ruderleistung (2000m), welche ihren Tiefpunkt in jener Phase mit dem höchsten Umfang erreichte. Nach einer Regenerationsphase, in der der Trainingsumfang auf 125 Minuten pro Tag reduziert wurde (Phase 3, Phase 4), konnte eine Steigerung der Ruderleistung verzeichnet werden.

Eine Studie von Coutts et al. (2007, S.125) zeigte nach einem vierwöchigen Overload-Training bei Triathletinnen und Triathleten einen ähnlichen Verlauf. Die

Interventionsgruppe wurde mit 290% im Vergleich zur Kontrollgruppe (100%) belastet. Anhand der drei Kilometer Laufleistung wurde die Entwicklung der Athleten beobachtet. Die Interventionsgruppe verschlechterte ihre Laufleistung über drei Kilometer nach dem intensiven Training signifikant, während die Kontrollgruppe eine ebenfalls signifikante Steigerung aufwies. Nach einer zweiwöchigen Regenerationsphase wiesen dann beide Gruppen signifikante Steigerungen der Laufleistung auf. Interessant war, dass sich die Interventionsgruppe nach der Erholungsphase nicht von der Kontrollgruppe unterschieden hat. Das heißt, das Blocktraining und das „normale“ Training hatten dieselben Effekte. Dies spricht natürlich nicht für eine Blocktrainingsform. Trotz der Gefahr in ein Übertraining zu kommen, sind keine Vorteile gegenüber dem „normalen“ Training zu erkennen. Der Grund für diesen Umstand könnte jedoch auch darin liegen, dass die Erholungsphase nicht ausreichend war.

Breil et al. (2010, S.1078) sehen in so genannten „Schock – Mikrozyklen“, in denen in kurzer Zeit hohe Effekte erzielt werden, großes Potential um die Ausdauerleistungsfähigkeit zu erhöhen. Untermuert wird diese Theorie durch eine Studie mit Nachwuchs Skifahrern, in der sehr gute Verbesserungen betreffend die maximale Sauerstoffaufnahme erzielt wurden (+6% VO<sub>2</sub>max.) (vgl. Breil et al., 2010, S.1085). Auch Stolen et al. (2005) hat in seiner Studie mit norwegischen Profifußballern beeindruckende Ergebnisse erzielt. In nur zehn Tagen konnte man eine Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme von 7,3% erzielen. Das Blocktraining beinhaltete 13 fußballspezifische High Intensity- Trainings.

In der Literatur wird jedoch deutlich, dass speziell im Bereich des ausdauerorientiertem Blocktrainings noch Forschungsbedarf besteht. Breil et al. (2010, S.1085) sehen die Frage, welche Umfänge und Intensitäten tolerierbar sind, und wann das Maximum überschritten wird, als noch nicht geklärt. Übertrainingsparameter wurden in der Studie mit Nachwuchs- Skifahrern nicht gemessen. Dadurch war es den Autoren auch nicht möglich, neue Erkenntnisse im Bereich Übertraining oder "over-reaching" zu gewinnen.

Ausdauer- Blocktrainingsformen und "over-reaching" beziehungsweise Übertraining sind eng verbundene Thematiken. Die erzielten Ergebnisse in den zitierten Studien bescheinigen dieser Periodisierungsmethode ein hohes Potential. Jedoch gilt es restlos zu klären, wie weit eine Intensivierung des Trainings gehen darf und es gilt festzustellen ob es biologische Marker oder psychologische Kenndaten gibt die hier zur Trainingssteuerung herangezogen werden können. Besonders bei den Erholungszeiträumen nach ausdauerorientierten Blocktrainings gehen die Meinungen

auseinander. Die Empfehlungen reichen von einer (vgl. Gustafsson et al. 2008, S. 267) bis zwei Wochen (vgl. Halson und Jeukendrup, 2004, S.968). Aber nicht nur die Zeiträume, sondern auch die Trainingsinhalte gilt es zu definieren. Insgesamt gilt jedoch die Funktionalität des geplanten "over-reaching" durch die angeführten Studien als bewiesen. Nach einem durch hohe Trainingsumfänge oder –intensitäten bedingten Leistungsabfall kommt es bei ausreichender Regeneration zu einer positiven Adaptation.

### 3.3.3 Over-reaching in der Trainingspraxis

Für die Trainingspraxis gilt durch diese Erkenntnisse Folgendes festzuhalten. Ein geplantes "over-reaching" im Zuge einer Ausdauer- Blocktrainingsform schließt immer eine anschließende Regenerationsphase mit ein. Die Trainerin/der Trainer muss sich der möglichen Gefahren dieser Periodisierungsform bewusst sein. Sollte dies nicht beachtet werden, läuft man Gefahr, das nächste Stadium des Trainings- Kontinuums, das Übertraining, zu erreichen. Analog zu den verschiedenen Meinungen bezüglich der Regenerationszeit sind auch starke individuelle Schwankungen anzunehmen. Speziell in Teamsportarten könnte dieser Umstand problematisch sein, da viele Trainingsinhalte gemeinsam als Mannschaft absolviert werden.

Weiters gilt es noch zu erwähnen, dass ein "over-reaching"- Zustand nicht nur die Folge eines Blocktrainings sein kann, auch ein ungeplantes "over-reaching" kann jederzeit auftreten. Hier ist es besonders wichtig, dass sofort der Umfang und/oder die Intensität des Trainings reduziert werden. Sollte die Trainerin/der Trainer nicht die Möglichkeit haben auf diagnostische Mittel zurückgreifen zu können, muss diese/dieser auf Leistungseinbrüche sensibel reagieren, um einem möglichen Übertraining vorzubeugen.

## 3.4 Übertrainingsparameter

Die Diagnostik des Übertrainings reicht von sehr ökonomischen Methoden, wie beispielsweise einem Fragebogen, bis hin zu kostenintensiven immunologischen Untersuchungen. In der Praxis wird sich die Wahl des diagnostischen Mittels aller Voraussicht nach sehr oft nach den finanziellen Mitteln richten.

Valide Parameter zur Diagnostik des Übertrainings zu finden gestaltet sich sehr komplex. Halson und Jeukendrup (2004, S.971) führen die Problematik unter anderem darauf zurück, dass die bisher durchgeführten Studien sehr schwierig miteinander zu vergleichen sind. In erster Linie fällt auf, dass die Terminologie nicht einheitlich ist. In Studien werden

Begriffe wie "staleness", "over-reaching" und OTS verwendet, es gibt aber keine klare Definition. Auch die Vielfalt an Übertrainingsparameter stellt ein Problem für die Vergleichbarkeit einzelner Studien dar. Es gibt bis dato keine allgemein gültige Methode zur Diagnose. Armstrong und van Heest (2002, S.186) beschreiben weitere Probleme, die Genese des OTS näher zu erforschen. Zum einen müssten Studien diesbezüglich darauf ausgerichtet sein Sportlerinnen und Sportler systematisch zu überlasten. Die Motivation an solch einer Studie teilzunehmen ist denkbar schlecht. TeilnehmerInnen müssten dabei in Kauf nehmen, dass sie über Monate nicht die optimale Leistung erbringen könnten. Die Autoren sprechen sogar davon, dass die Teilnahme an einer Übertrainingsstudie den Verlust einer gesamten Saison zur Folge hätte.

Das heißt, der einzige Konsens aller Studien ist die verminderte Leistungsfähigkeit. Dieser Parameter allein reicht jedoch als Definitionsmittel nicht aus.

Nach Literaturrecherche zu den aktuellen Methoden zur Diagnostik des "over-reachings" beziehungsweise des Übertrainings erweist es sich als sinnvoll, die Gliederung von Hölzer (2009) in seinen Grundzügen zu übernehmen. Alle in Studien verwendeten Parameter lassen sich den folgenden Unterpunkten zuweisen.

### 3.4.1 Das endokrine System

Das endokrine System ist ein möglicher Diagnoseparameter für das Übertraining. Die unterschiedlichen hormonellen Reaktionen auf Stress beziehungsweise Belastung sind Indikatoren, welche in der Literatur ihre Anwendung finden.

#### 3.4.1.1 Cortisol

Der Fokus in der Übertrainingsdiagnostik liegt vor allem auf der Hypothalamus-Hypophysen- Nebennieren- Achse. Stressoren beeinflussen den Hypothalamus. In Folge dessen wird das CR- Hormon in der Hypophyse gebildet, was wiederum die Bildung von ACTH fördert. Dem ACTH, welches bei den Symptomen des Übertrainings schon kurz beschrieben wurde, kommt eine zentrale Bedeutung in der Reaktion auf intensive Belastungen zu. In der Adenohypophyse gebildet, stimuliert es unter anderem die Glucocorticoide. Zu den Glucocorticoiden zählt auch das Cortisol. Dieses Steroidhormon wird in der Nebennierenrinde gebildet und ist neben den Katecholaminen eines der wichtigsten Stresshormone (vgl. Gleeson 2002, S.33; Hölzer 2009, S.46).

Die weiteren Funktionen des Cortisols sind die Regulation des Metabolismus von Fetten und Kohlehydraten sowie die Förderung der Glykolyse in der Leber. Bei "over-reaching" induzierten, stressbedingten Gewebeschäden oder Traumen wirkt das Coritsol

entzündungshemmend, um Langzeitschädigungen zu verhindern (vgl. Hölzer 2009, S.46; Armstrong und van Heest, 2002, S.191).

Betrachtet man nun die Ergebnisse, so ist eine gewisse Tendenz in der Cortisol-Ausschüttung zu erkennen. Halson und Jeukendrup (2004, S.977) gehen davon aus, dass der Ruhewert des Cortisols bei Athleten, die sich im "over-reaching" befinden, keine Veränderungen aufweist, sehr wohl aber die maximale Cortisolausschüttung unter Belastung vermindert ist. Im Querschnitt von Hölzer (2009, S.48) lassen sich betreffend des Ruhe- Cortisols keine eindeutigen Schlüsse ziehen. Bestätigt wird das von Urhausen und Kindermann (2002, S.97). Die Autoren berichten von den unterschiedlichsten Ergebnissen in bisherigen Studien. Die Streuung dabei ging von einem Anstieg des Ruhe- Cortisols über eine Stagnation bis hin zur Abnahme des Ruhe- Cortisols. Ein einziger hormoneller Ruhewert reicht nach Urhausen und Kindermann nicht aus um eine valide Diagnose des Übertrainings treffen zu können. Erschwert wird die Ruhemessung des Cortisols meiner Meinung nach auch durch die pulsatile Ausschüttung der Hormone der Hypothalamus- Hypophysen- Nebennieren- Achse. Die Freisetzung erfolgt in regelmäßigen Schüben (7-10 pro Tag). Kurz nach dem Aufwachen wird der höchste Cortisol- Wert erreicht. Im Laufe des Tages unterliegt der Wert circadianen Schwankungen. Eine einzige Cortisolmessung am Tag ist daher wenig sinnvoll. Katabole Prozesse, wie beispielsweise von Cortisol induziert, sind wichtig für Adaptationsprozesse. Hölzer (2009, S.58) geht jedoch davon aus, dass ein Sinken des Cortisolwerts unter das Ausgangsniveau auf eine Erschöpfung der Adaptationsreserve schließen lässt.

Das nächtliche Cortisol spielt nach Gouarne et al. (2005, S.1164) ebenfalls eine entscheidende Rolle im Trainingsrhythmus. Das Hormonprofil in dieser Phase weist höhere anabole Anteile auf. Der nächtliche Hormonausstoß lässt somit Rückschlüsse auf die Balance zwischen trainingsinduzierter Müdigkeit und Erholung zu. Durch die Inaktivierung des katabolen Cortisols zu Cortison entwickelt der Organismus einen Schutz vor Hypercortisolismus. Weiters wird die Sensitivität in den Zielorganen herabgesetzt. Durch das Training kommt es, wie angesprochen, anfangs zu einer „Overshoot“ Reaktion der Hypothalamus- Hypophysen- Nebennieren- Achse. Die Plasmacortisolwerte sind beispielsweise nach einem Ausdauertraining bis zu zwei Stunden erhöht (vgl. Gouarne et al. 2005, S.1157). Stetig erhöhte Cortisolwerte bei Ausdauertrainierten führen somit zu einer verstärkten nächtlichen Inaktivierung zu Cortison sowie einer verminderten Sensitivität. Zusammenfassend heißt das, um also die nächtliche anabole Erholungsphase zu fördern, wird das katabole Cortisol inaktiviert. Bei Trainierten findet dieser Prozess im Vergleich zu Untrainierten, ob der durch Training erhöhten

Plasmacortisolkonzentration, vermehrt statt. Möglichkeiten für die Übertrainingsdiagnostik werden bei Hölzer (2009, S.55) also auch im Cortisol- Cortison- Verhältnis gesehen. Dieser Parameter wird in einem eigenen Kapitel diskutiert.

Ähnlich verhält sich das ACTH. Halsen und Jeukendrup (2004, S.977) berichten, dass Urhausen et al. (1998) verminderte ACTH Werte bei Athleten im "over-reaching" während der Belastung aber auch in Ruhe nachgewiesen hat. Die verringerte maximale Ausschüttung von ACTH und Cortisol ist nach Urhausen und Kindermann (2002, S.97) also ein Parameter um ein "over-reaching" von einer normalen physiologischen Reaktion zu unterscheiden. Während die akute physiologische Belastung durch eine „Overshoot“-Reaktion des ACTH- Systems gekennzeichnet ist, so kommt es im "over-reaching"-Zustand zu einer signifikanten Abnahme. Die Autoren verweisen auf eine Studie, bei der das ACTH eine interessante Entwicklung zeigte. Nach bereits zwei Tagen intensiven Trainings wurden um 30% geringere ACTH- Werte während der Belastung festgestellt, die Leistung war jedoch unverändert. Die Testungen wurden unter experimentellen Bedingungen im Labor durchgeführt. Die Athletinnen und Athleten führten eine Belastung bei 110% der anaeroben Schwelle bis zur Erschöpfung durch. Während bei der Leistung der Athletinnen und Athleten nach zwei Tagen keine Veränderung zu beobachten war, konnte beim ACTH schon eine deutliche Abnahme festgestellt werden. Dies spricht für eine Früherkennung des "over-reachings" mittels ACTH Messungen.

#### 3.4.1.2 Testosteron- Cortisol- Verhältnis

Cortisol ist, wie beschrieben, ein Hormon mit kataboler Funktion. Das Sexualhormon Testosteron hat anabole Wirkung. Das Verhältnis von Testosteron zu Cortisol gibt Auskunft über die Balance zwischen anaboler und kataboler Aktivität im Organismus. Beide Hormone werden bei intensiver Belastung freigesetzt (vgl. Halsen und Jeukendrup, 2004, S.977). Das T:C- Verhältnis wird, ob deren unterschiedlicher Wirkung auf Wachstum, Proteinsynthese und Muskel- Metabolismus, als Indikator für den positiven und negativen Effekt des Trainings angesehen. Eine Abnahme des Testosteron : Cortisol-Verhältnisses von etwa 30% wurde als möglicher Parameter für die Diagnose eines Übertrainings vorgeschlagen. Jedoch konnte die Literatur das nicht bestätigen (vgl. Halsen und Jeukendrup 2004, S.977; Urhausen und Kindermann, 2002, S.97).

Auch das Testosteron für sich konnte keine überzeugenden Erkenntnisse liefern. Coutts et al. (2007) berichten von einer Studie mit Rugby Spielern, welche nach einer intensiven Trainingsphase eine signifikante Leistungsverschlechterung vorwiesen. In den Testosteronwerten konnte man jedoch keine Veränderungen feststellen. Aufgrund dieser

Tatsache stuften die Autoren die Athleten als funktionell "over-reached" ein. Das soll heißen, dass die Leistungsverschlechterung im Zuge des Trainingsprozesses geplant und nicht zufällig war. Das Testosteron sowie das Verhältnis von Testosteron zu Cortisol ist in seiner Anwendung zur Diagnostik des Übertrainings beziehungsweise des "over-reaching" obsolet.

#### 3.4.1.3 Cortisol/Cortison

Eine weitere Möglichkeit zur Diagnose des Übertrainings ist das Verhältnis von Cortisol zu Cortison (C/Cn). Cortison, zählt ebenso wie Cortisol zu den Glucocorticoiden. Gouarne et al. (2005, S.1161) konnten keinen Unterschied zwischen Trainierten und Untrainierten feststellen. Signifikant war jedoch der Unterschied bei SportlerInnen im Übertraining während hoch intensiven Belastungen. Die Autoren halten das C/Cn Verhältnis für einen brauchbaren Parameter um einen kritischen Ermüdungszustand festzustellen. Der kritische Wert liegt dabei bei "1". Gouarne et al. (2005, S.1161) stellte bei Athleten im Übertraining eine Erhöhung des C/Cn Verhältnisses von 131% über dem Ausgangswert fest. Zurückzuführen ist der Anstieg auf eine Reduktion des Cortisons bei hohen Cortisolabgaben. Im Übertraining sinkt nach Hölzer (2009, S.55) die Inaktivierung des Cortisols zu Cortison, somit wäre die Cortisonreduktion erklärt. Im Rahmen der Studie von Gouarne (2005) wurde ein weiterer Diskussionspunkt aufgeworfen: die saisonale Variation der Glucocorticoid- bzw Katecholaminausschüttung. Dieser Umstand macht die Vergleichbarkeit einzelner Studien noch schwieriger.

#### 3.4.1.4 Peptid-Hormone

Nach Israel (1976) ist auch das Appetitverhalten ein möglicher Indikator für Überlastungszustände. So beschreibt der Autor, dass bei einem sympathikotonen Übertraining das Appetitverhalten herabgesetzt ist. Nach Jurimäe et al. (2010, S.1) resultiert dies dadurch, dass manche Sportler während intensiver Trainingsphasen nicht in der Lage sind ausreichend Kalorien zu sich zu nehmen. Dadurch kommt es zu einer Störung der Energie- Homöostase. Peripheres Feedback erhält der Hypothalamus dabei von den Peptid-Hormonen, wie beispielsweise Leptin, Adiponectin und Ghrelin. Diese verfügen somit über eine appetitregulative Wirkung (vgl. Jurimäe et al., 2010, S.1-2).

##### 3.4.1.4.1 *Leptin*

Leptin wird aus dem LEP Gen gebildet und repräsentiert verschiedene physiologische Funktionen. Vor allem gibt der Leptingehalt Auskunft über den Fettstoffwechsel im

Organismus. Kleine und Rosmanith (2007, S.54) beschreiben, dass die Menge an eingelagertem Fett positiv mit der Leptinkonzentration korreliert. Somit wird das Serumleptin als Indikator für den Ernährungshaushalt gesehen. Die daraus resultierende regulative Funktion auf Körpergewicht und Energiehaushalt macht Leptin auch als Parameter für das Übertraining interessant. Jurimäe et al. (2010, S.2) sehen das Leptin beim Athleten als Maß für das Verhältnis von Kalorienaufnahme und -verbrauch. Im Vergleich zu Untrainierten ist die Leptinkonzentration bei Athleten relativ gering. Ganz entscheidend für Überlastungszustände ist der Umstand, dass die Leptinkonzentration abnimmt, wenn die Energieaufnahme insuffizient ist.

Jurimäe et al. (2010, S.3) beschreiben diverse Studien, welche den Verlauf der Leptinkonzentration im Zusammenhang mit sportlichem Training zeigen. Interessant dabei ist, dass bei erhöhtem Trainingsumfang das Leptin abnimmt, während sich bei Erhöhung der Intensität kein Effekt einstellt. Die Autoren sehen die Begründung darin, dass verschiedene Formen der Energiebereitstellung beansprucht werden. Während bei intensiven Trainingseinheiten auf die energetischeren Kohlenhydrate zurückgegriffen wird, so beanspruchen hohe Trainingsumfänge mit geringerer Intensität eher den Fettstoffwechsel. Das heißt, hohe Trainingsumfänge und eine negative Energiebilanz schlagen sich in geringeren Leptinkonzentrationen nieder. Jurimäe et al. (2010, S.3) geben als Richtwert einen Energieverbrauch von 400-800kcal pro Einheit an, um das Leptin zu senken.

Nach intensiver Belastung wird das Leptin nur dann beeinflusst, so die Autoren, wenn zu wenig Energie zur Verfügung steht. Mangelnde Energiereserven könnten ein Indikator für insuffiziente Erholung und somit ein "over-reaching" sein.

#### *3.4.1.4.2 Adiponektin*

Adiponektin ist, ähnlich wie das Leptin, ein Hormon, welches Aussagen über den Fettstoffwechsel des Organismus zulässt. Anders als das Leptin korreliert das Adiponektin negativ mit Übergewicht. Adipöse Menschen weisen einen geringen Adiponektin- Spiegel auf. Das schließt ein, dass das Adiponektin in Phasen der Gewichtsreduktion steigt. Jurimäe et al. (2010, S.6) zitieren jedoch eine Studie, bei der Bodybuilder eine Gewichtsreduktion im Rahmen der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung durchführten. Dabei konnte kein Anstieg des Adiponektins festgestellt werden. Die Autoren begründen dies damit, dass das Adiponektin hauptsächlich vom viszeralen Fett sezerniert wird. Bei Gewichtsverlusten im Rahmen der Vorbereitung auf einen Wettkampf wird den Autoren zufolge eher das subkutane und nicht so sehr das viszerale Fett aktiviert. Daher kommt es

nicht zu einem Anstieg des Adiponektins. Eine weitere Studie an Ruderern zeigt lediglich einen Trend zum Anstieg des Adiponektins im Rahmen der 6-monatigen Vorbereitungsperiode, trotz hohen Trainingsvolumens. Die Begründung dafür war unter anderem der hohe Ausgangswert der Adiponektinkonzentration der Sportler (vgl. Jurimäe et al., 2010, S.6).

Weiters berichten Jurimäe et al. (2010, S.6) von einer Studie, welche die Adiponektinkonzentration unmittelbar nach einer intensiven Belastung (2000m maximales Rudern) am Ende einer 6-monatigen Vorbereitungsperiode mit hohen Trainingsumfängen untersucht haben. Hierbei wurde ein Vergleich zwischen gut und schlecht trainierten Athleten angestellt. Bei den schlechter Trainierten konnte eine Abnahme in der Adiponektinkonzentration nach Belastungsende festgestellt werden, während die gut trainierten eine erhöhte Konzentration aufwiesen. Die Begründung dafür liegt den Autoren zu Folge darin, dass die schlechter Trainierten eine inadäquate Regenerationszeit auf das vorhergehende Training hatten. Daraus könnte man nun schließen, dass die Adiponektinkonzentration auf einen inadäquaten Erholungszustand und somit auf ein eventuelles "over-reaching" hinweist. Bezug nehmend auf andere Studien findet man unterschiedliche Ergebnisse. Beispielsweise können Kraemer et al. (2003) keine signifikanten Ergebnisse betreffend des Adiponektins nach intensivem Training mit gut trainierten Läufern vorweisen.

Zusammenfassend halten Jurimäe et al. (2010, S.7) fest, dass die verminderte Adiponektinkonzentration nach intensiver Belastung ein möglicher Parameter ist um inadäquate Erholungszustände zu signalisieren. Es sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig um diesen Parameter zu validieren. Das Ruheadiponectin wird als kein geeignetes Maß zur Diagnostik der Energie-Homöostase erachtet.

#### *3.4.1.4.3 Ghrelin*

Ghrelin ist ein Peptid, bestehend aus 28 Aminosäuren. In etwa 60-70% wird es im Zellgewebe des Magens produziert. Von dort liefert es dem Hypothalamus Informationen und beeinflusst die Freisetzung des GH (growth hormone). Eine weitere Wirkung des Ghrelins ist die Anregung des Appetits und somit der Nahrungsaufnahme. Zu unterscheiden gilt es zwischen Gesamtghrelinkonzentration, „acylated-ghrelin“ und „deacylated-ghrelin“ (vgl. Jurimäe et al., 2010, S.7).

Sangiao-Alvarellos et al. (2010, S.2) beschreiben, dass erste Studien, die sich mit dem Ghrelins beschäftigt haben, die Wirkung auf die Nahrungsaufnahme bestätigen konnten. Es wurde gezeigt, dass die Ghrelinkonzentration vor einer Mahlzeit beziehungsweise

während des Fastens steigt und nach einer Mahlzeit abnimmt. Diese Ergebnisse lassen auf eine Kontrollfunktion der Energie- Homöostase schließen. Andere Studien zeigten jedoch widersprüchliche Daten, was die Nahrungsaufnahme und das Körpergewicht bei Normalgewichtigen betrifft. Auch wenn die Autoren es für schwierig halten, die Rolle des Ghrelins im Appetitverhalten genau zu definieren, so gilt die Kontrollwirkung auf die Glucose- Homöostase und die Insulin- Freisetzung als gesichert.

Jurimäe et al. (2010, S.7) berichtet von diversen Studien, die gezeigt haben, dass eine kurzzeitige negative Energiebilanz, ausgelöst durch Training, nicht ausreichend ist um die Ghrelinkonzentration zu beeinflussen. Die Autoren merken jedoch an, dass bei diesen Studien die Höhe der negativen Energiebilanz nicht ausreichend war um das Ghrelin zu beeinflussen. Jurimäe et al. (2010, S.7) verweisen auf eine Studie von Christ et al. (2006), bei der gut trainierte Ausdauerathleten nach einem 3-stündigen Training am Fahrradergometer bei 50% der maximalen Leistung einen signifikanten Anstieg der Totalghrelinkonzentration aufwiesen. Dies war jedoch nur bei jener Gruppe von Athleten zu beobachten, die sich zuvor einer Diät unterzogen, bei der wenig Fett aufgenommen wurde (low-fat:  $0,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  Fett pro Kilogramm Körpergewicht). Jene die zuvor viel Fett zu sich genommen hatten (high-fat:  $3,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  Fett pro Kilogramm Körpergewicht), verzeichneten keinen Anstieg des Ghrelins nach der Belastung. Dies lässt die Autoren auf die Hypothese schließen, dass eine Trainingseinheit mit hoher negativer Energiebilanz den Ghrelinspiegel steigen lassen kann, jedoch nur unter der Voraussetzung, dass die Energiereserven begrenzt sind.

Sangiao-Alvarelos et al. (2010, S.2) beschreiben die Auswirkungen eines erhöhten Ghrelinspiegels anhand einer Studie, in der Ghrelin subkutan injiziert wurde. Der respiratorische Quotient stieg an. Analog dazu wurde der Kohlenhydratstoffwechsel erhöht und der Fettstoffwechsel gesenkt.

Nach Jurimäe et al. (2010, S.8) steigt der Ghrelinspiegel bei andauernder negativer Energiebilanz bis zu einem gewissen Grad an, erreicht jedoch dann ein Plateau. Die Hypothese wäre also, dass eine gesteigerte Ghrelinkonzentration als Indikator für akuten Trainingsstress und damit verbundene begrenzte Energiereserven fungiert. Die Autoren halten das Ghrelin aber als nicht sensibel genug um diese Aufgabe zu erfüllen.

### 3.4.1.5 Diskussion

Hölzer (2009, S.61) kommt in Übereinstimmung mit Halson und Jeukendrup (2004, S.977) zum Schluss, dass es nicht ausreichend ist, einzelne hormonelle Parameter zu erheben um ein "over-reaching" bzw. ein Übertraining früh zu diagnostizieren. Das Vergleichen von Messwerten mit Basiswerten macht nur dann Sinn, wenn es fortlaufend geschieht, um Entwicklungen früh zu erkennen. Dies bringt natürlich einen hohen finanziellen Aufwand mit sich und eignet sich daher in den seltensten Fällen für die Trainingspraxis. Urhausen und Kindermann (2002, S.99) sehen in der verminderten nächtlichen Katecholaminausschüttung und in einer Abnahme der ACTH- Sekretion während intensiver Belastung valide Parameter für eine frühe Übertrainingsdiagnostik. Es wird aber auch hier auf eine schlechte Praktikabilität für die Praxis verwiesen. Solche Parameter werden laut den Autoren nur unter experimentellen Bedingungen während einer Studie erhoben. Das heißt, ein stetiges Monitoring diverser hormoneller Parameter ist von Nöten, um Überlastungszustände früh zu erkennen.

Jurimäe et al. (2010, S11) sehen das Übertraining als Störung der Energiehomöostase und sehen daher in den Peptidhormonen einen möglichen Parameter zur Diagnostik. Gestützt durch den Nachweis, dass alle metabolischen Hormone Rezeptoren im Hypothalamus haben, sehen die Autoren in diesen Marken Potential. Es konnte darüber hinaus eine Korrelation zwischen dem Leptin und dem wöchentlichen Trainingsumfang und somit dem Energieverbrauch sowie mit der Energieaufnahme festgestellt werden. Jedoch sind auch hier weitere Studien von Nöten um die Peptidhormone als Diagnosemittel für das Übertraining beziehungsweise das "over-reaching" zu validieren.

## 3.4.2 Autonomes Nervensystem

### 3.4.2.1 Katecholamine

Halson und Jeukendrup (2004, S.997) berichten von einer signifikanten negativen Korrelation der Katecholaminausschüttung und dem Ermüdungszustand. Die Katecholaminkonzentration im Basalurin ist bei Athletinnen und Athleten im Übertraining signifikant reduziert. Nach einer Regenerationsphase erreichten die Werte wieder ihr Ausgangsniveau.

Andere Studien (vgl. Hopper et al., 1993; Lehmann et al., 1996) berichten von einer erhöhten Ruheplasma- NoradrenalinKonzentration bei Athletinnen und Athleten im Übertraining. Urhausen und Kindermann (2002) konnten diese Ergebnisse nicht reproduzieren und fanden keine signifikanten Unterschiede zwischen Plasma-

Katecholaminkonzentration unter maximalen und submaximalen Belastungen und dem OTS.

Die unterschiedlichen Ergebnisse der Studien lassen sich nach Halson und Jeukendrup einerseits durch die verschiedenen methodologischen Vorgehensweisen und andererseits durch die inter-individuelle Reaktion auf Belastung erklären. Zur Methodologie ist zu sagen, dass die 24 Stunden Katecholaminkonzentration im Urin Aussagen über die Aktivität des autonomen Nervensystems zulässt. Die Serum- oder Plasmakonzentration gibt eher Aufschluss über die Art und Weise wie die Sportlerin/der Sportler auf die Belastung reagiert. Als solches sind Vergleiche zwischen den Messmethoden nicht zulässig.

Urhausen und Kindermann (2002) vertreten dennoch die Meinung, dass die verminderte nächtliche urinale Katecholaminausschüttung Aufschluss über einen möglichen Überlastungszustand geben kann. Dieser Umstand sei Ausdruck einer verminderten intrinsischen sympathischen Aktivität. Speziell diese Messmethode erweist sich aber als eher nicht praktikabel.

#### 3.4.2.2 Herzfrequenzvariabilität

Urhausen und Kindermann (2002, S.99) bestätigen anhand mehrerer Studien eine signifikante Abnahme der maximalen Herzfrequenz bei SportlerInnen im Übertraining. Da diese jedoch nur etwa 3-5 Schläge pro Minute beträgt, ist auch hier die Praktikabilität fraglich. Daher liegt der Fokus nicht so sehr auf der Frequenz, sondern mehr auf der Herzfrequenzvariabilität. Die Herzfrequenzvariabilität wird von Halson und Jeukendrup (2004, S.978) beschrieben durch die Oszillation der Intervalle zwischen den Herzschlägen. Dabei werden die Zeiten zwischen den R-Zacken des EKG's gemessen. Die Herzfrequenzvariabilität unterliegt den Einflüssen des vegetativen Nervensystems. Das vegetative oder autonome Nervensystem wird von Weineck (2000, S.57) wie folgt beschrieben:

*„Das autonome Nervensystem innerviert die glatte Muskulatur aller Organe und Organsysteme sowie das Herz und die verschiedenen Drüsen. Es ist von entscheidender Bedeutung für die Regelung der Funktionen der Atmung, des Kreislaufs, der Verdauung, des Stoffwechsels, der Drüsensekretion, der Körpertemperatur und der Fortpflanzung.“* (Weineck, 2000, S.57)

Es geschieht also eine Anpassung der Körperfunktionen an die Anforderungen der Außenwelt. Das vegetative Nervensystem besteht aus Sympathikus, Parasympathikus und Darmnervensystem. In Zusammenhang mit der Herzfrequenzvariabilität sind vor

allem der Sympathikus und der Parasympathikus entscheidend. Der Sympathikus, auch "Leistungsnerv" genannt, wirkt erregend auf den Organismus. Der Parasympathikus, oder "Erholungsnerv", ist der Gegenspieler und hat somit hemmende Wirkung. Im Unterschied zum Sympathikus innerviert der Parasympathikus jedoch nicht die glatte Gefäßmuskulatur in den Arterien und Venen und auch nicht die Schweißdrüsen (vgl. Weineck, 2000, S.58). Ausdruck der Aktivität des vegetativen Nervensystems ist unter anderem die Herzfrequenzvariabilität. Während beim Überwiegen des sympathischen Nervs die Herzfrequenz steigt, so wird die Herzfrequenzvariabilität verringert. Dies geschieht beispielsweise unter psychischer oder physischer Belastung. Eine vermehrte parasympathische Aktivität hat eine Abnahme der Herzfrequenz, jedoch eine Zunahme der HFV zur Folge (Arvay und Hofmann, 2001, S.6).

Wie aus der Einteilung von Israel (1976) schon zu erkennen ist, spielt das vegetative Nervensystem im Übertraining eine große Rolle. Mittels Herzfrequenzvariabilität soll nun die Aktivität untersucht werden, um Veränderungen in eine Richtung feststellen zu können. Anzumerken ist dabei, dass die Messungen sehr ökonomisch und einfach durchzuführen sind, was auf den ersten Blick eine gute Praktikabilität vermuten lässt.

Studien zur Herzfrequenzvariabilität als Übertrainingsparameter führten beispielsweise Hedelin et al. (2000) (aus Halson und Jeukendrup, 2004, S.978) durch. Bei neun Kanuten wurde in einem 6-tägigen Trainingslager die Trainingsbelastung um 50% gesteigert. Nach Beendigung konnte durch diverse Parameter ein Überlastungszustand der SportlerInnen festgestellt werden. Es kam zu einer Abnahme der maximalen Sauerstoffaufnahme, der submaximalen und maximalen Herzfrequenz und der maximalen Blutlaktatkonzentration. Die Herzfrequenzvariabilität wies jedoch zu keinem Zeitpunkt signifikante Veränderungen auf.

Halson und Jeukendrup (2004, S.978) verweisen jedoch auch auf eine Studie von Uusitalo et al. (2000), die eine Abnahme der HFV im Stehen bei Athletinnen festgestellt hat, welche als "over-reached" diagnostiziert wurden.

Insgesamt kommt Hölzer (2009, S.74) zum Schluss, dass es bei den bisher durchgeführten Studien keine klare Tendenz gibt. Der Autor führt das vor allem auf die verschiedenen Messmethoden zurück, was eine Vergleichbarkeit nahezu unmöglich macht. Außerdem macht Hölzer auf den Umstand aufmerksam, dass die Herzfrequenz starken intra-individuellen Schwankungen unterliegt. So ist beispielsweise eine Variation von Tag zu Tag von 4-38% möglich. Halson und Jeukendrup (2004, S.979) sehen bei den bisherigen Ergebnissen ein weiteres Problem. So wurde beispielsweise bei Studien ein "over-reaching"- Zustand diagnostiziert, obwohl keine Leistungstests stattfanden. Die Abnahme der Leistung ist aber immer noch der unumstrittenste Parameter in der

Diagnose eines "over-reachings" beziehungsweise eines OTS. In der Literatur kommt man zum Schluss, dass durch die großen intra-individuellen Unterschiede betreffend die HFV sowie durch die bis dato unterschiedlichen Messmethoden keine Vergleiche und somit keine klaren Aussagen zulässig sind. Weitere Studien sind nötig um die Relevanz der HFV als Übertrainingsparameter zu prüfen.

### 3.4.3 Immunologische Parameter

#### 3.4.3.1 Infektion des oberen respiratorischen Traktes (URTI)

Nach langen und intensiven Trainingsbelastungen kommt es laut zahlreicher Studien zu einer Verlängerung und Intensivierung des „Open-Window“- Effekts. Das bedeutet, es kommt zu einer Erhöhung des Risikos für Infektionen durch eine Immunsuppression (vgl. Halson und Jeukendrup, 2004, S.975; Hölzer, 2009, S.62). Hier kann eine Querverbindung zum endokrinen System hergestellt werden. Durch die Stressbelastung des Trainingsreizes wird vermehrt Cortisol freigesetzt, zu dessen Wirkungen auch eine Immunsuppression zählt.

Intensives Training birgt somit Gefahren für Infektionen. Speziell die Infektion des oberen respiratorischen Traktes (URTI) ist eine in der Literatur häufig zitierte. Halson und Jeukendrup (2004, S.977) verweisen in diesem Zusammenhang auf eine Studie von Mackinnon und Hopper (1996), bei der 24 Schwimmerinnen und Schwimmer über 4 Wochen einer intensiven Trainingsphase unterzogen wurden. Bei acht SchwimmerInnen wurde ein "over-reaching" diagnostiziert, bei den restlichen sechzehn SchwimmerInnen konnten keine Überlastungszustände festgestellt werden. Auffallend war, dass nur eine/r der acht SchwimmerInnen ein "over-reaching", aber neun der sechzehn Anderen Symptome des UTRI aufwiesen. Die Autoren schließen daraus, dass eine erhöhte Trainingsbelastung in einem erhöhten Risiko an URTI zu erkranken, reflektiert wird.

#### 3.4.3.2 Hämatologische Parameter

Im Bezug auf die Leukozytenkonzentration wurden, mit einer Ausnahme, keine Veränderungen durch Übertraining festgestellt. Halson und Jeukendrup (2004, S.975) zitieren eine Studie von Lehmann et al. (1996), die eine signifikante Reduktion der Leukozytenanzahl bei gesteigertem Trainingsumfang festgestellt haben. Bei einer Intensitätssteigerung kam es zu keinen Veränderungen der Leukozyten. Die klinische Konsequenz der Reduktion der Leukozytenanzahl ist bis dato unsicher, stellt aber höchstwahrscheinlich nur eine Zellumverteilung oder gesteigerten Zellumsatz dar.

Während die Anzahl an Lymphozyten im Übertraining konstant ist, kommt es bei Athletinnen und Athleten im "over-reaching" zu einer verstärkten Aktivierung selbiger. Die Bedeutung der Aktivierung ist bis dato nicht geklärt.

Ebenfalls, ob ihrer Aussagekraft für Überlastungszustände, wurden neutrophile Granulozyten und Killerzellen untersucht. Beide sind in die frühe Immunabwehr des Körpers eingebunden. Neutrophile Granulozyten reagieren auf bakterielle und funghizide Infekte, Killerzellen sind eine Abwehr gegen virale Infekte und Tumorzellenwachstum. Hölzer (2009, S.63) beschreibt, dass eine Herunterlegung von neutrophilen Granulozyten bei länger andauernden intensiven Trainingsphasen beobachtet wurde. Die Auswirkungen beziehungsweise Folgen für das OTS oder "over-reaching" sind jedoch unbekannt. Ebenso sind Killerzellen als Übertrainingsparameter noch nicht durch empirische Studien belegbar (vgl. Halson und Jeukendrup, 2004, S.975; Hölzer, 2009, S.63).

#### 3.4.3.3 Glutamine

Glutamine sind wichtige Substrate für die Zellen des Immunsystems. Speziell Lymphozyten, Monozyten und in weiterer Folge somit auch Makrophagen und Killerzellen werden von der Aminosäure versorgt. In Phasen, in denen das Immunsystem verstärkt aktiviert wird, sind die Glutaminwerte erhöht. Daraus könnte man schließen, dass nach intensiven Belastungen, nach denen das Immunsystem geschwächt ist (→ siehe URTI), die Plasma Glutaminwerte sinken. Halson und Jeukendrup (2004, S.976) zitieren eine Studie von Parry-Billings et al., welche die Plasma- Glutaminkonzentration als Übertrainingsparameter eingesetzt haben. Es stellte sich heraus, dass bei 40 als übertrainiert diagnostizierten Athleten die Glutaminwerte niedriger waren als bei der Kontrollgruppe. Mackinnon und Hopper (1996, S.287) hingegen fanden keine signifikanten Veränderungen der Glutaminkonzentration nach 4-wöchigem intensiven Training bei Schwimmemern mit "over-reaching". Auffallend war jedoch, dass gut trainierte Athleten im Vergleich zu Athleten im "over-reaching" um 20% höhere Glutaminwerte hatten. Halson und Jeukendrup (2004, S.976) sehen die Rolle der Glutamine zur Diagnostik des Übertrainings als noch nicht geklärt. Hölzer (2009, S.64) nimmt an, dass eine Verringerung der Glutaminkonzentration auf metabolische Ereignisse zurückzuführen ist. Als Beispiel nennt er die vermehrte Aufnahme der Aminosäure zur Gluconeogenese, was auf eine verstärkte Glykogenspeicherentleerung schließen lässt. Urhausen und Kindermann (2002, S.98) sehen in den Glutaminen keinen möglichen Parameter zur Differenzierung von intensivem Training und Übertraining.

Weiters wurde in der Literatur das Verhältnis von Glutamin zu Glutamat (Gln/Glu) im Zusammenhang mit dem Training untersucht. Glutamate spielen nicht nur eine wichtige Rolle im Säure- Basenhaushalt der De- Novo- Synthese von Nukleotiden (Baustein der Nukleinsäuren (DNS/DNA)) und der Proteinsynthese, sondern auch in der Wiederherstellung von Veränderungen durch tägliche Muskelbelastungen (Hölzer, 2009, S.65).

Hölzer (2009, S.65) zitiert Studien, in denen das Glutamin- Glutamat- Verhältnis bei AthletInnen mit "over-reaching" signifikant gesunken ist (vgl. Smith und Norris, 2000; Halson et al., 2003; Coutts et al., 2007). Die Autoren halten diesen Parameter für einen möglichen Marker zur Diagnose von "over-reaching".

#### 3.4.3.4 Zytokine

Zytokine sind Proteine mit spezifischen Funktionen in den Zellen, wie die Regulation der Blutbildung und die Kontrolle der Vorgänge bei der Entwicklung und Regeneration von Gewebe. Hauptaufgabe ist die Vermittlung von Immun- und Entzündungsreaktionen (vgl. Weineck, 2000, S.188). Keller (1994) (in Weineck, 2000, S.188) beschreibt die grundlegenden Eigenschaften wie folgt:

- Vermittlung und Regulation der spezifischen und unspezifischen Immunantwort;
- Sekretion der Zytokine ist vorübergehend und über einen kurzen Zeitraum;
- Ein bestimmtes Zytokin kann auf viele verschiedene Zelltypen wirken;
- Verschiedene Zytokine haben zum Teil identische Funktionen;
- Wirkung durch Bindung an spezifische Rezeptoren der Zielzellen;

Anhand der Funktion lassen sich nach Keller (1994) (in Weineck, 2000, S.188) vier Gruppen von Zytokinen bilden:

- Zytokine, die im blutbildenden System zum Wachstum und zur Differenzierung von unreifen Zellen beitragen (Bsp.: Interleukine IL-3, IL-5, IL-7, IL-9, IL-10 und TGF-beta);
- Zytokine, die von Makrophagen produziert werden und die zur unspezifischen Immunität beitragen (Bsp.: INF-alpha, TNF-alpha, Interleukine IL-1, IL-6, IL-8);
- Zytokine, die im Verlauf der spezifischen Immunreaktion von T-Lymphozyten (T-Zellen) sezerniert werden und Wachstum, Differenzierung und funktionelle Aktivität der Lymphozyten regulieren (Bsp.: Interleukine IL-2, IL-4, IL-9, TGF-beta);

- Zytokine, die im Verlauf der spezifischen Immunreaktion von T-Zellen gebildet werden und die unspezifischen Entzündungszellen aktivieren (Bsp.: IFN-gamma, TNF-beta, IL-5);

Zusammenfassend heißt das, dass die Zytokine sowohl die spezifische als auch unspezifische Immunreaktion unterstützen. Hölzer (2009, S.66) beschreibt nun, wie sich aus der Wirkung der Zytokine die Hypothese für das Übertraining bildet. Muskuloskeletale Traumen führen zu Entzündungen, welche die Auslöser für die Entwicklung von Übertraining sein können. Werden dem Organismus immer wieder neuerliche Traumen hinzugefügt, so wird die Entzündung chronisch. Geht man nun davon aus, dass das Übertraining eine Form systematischer Entzündung ist, so können die Zytokine ein wertvoller Parameter in der Diagnostik sein. Diese Theorie deckt sich auch mit der Meinung von Jurimäe et al. (2010, S.8). Hölzer (2009, S.66) beschreibt die vermehrte Aktivierung zirkulierender Monozyten in Folge chronischer Entzündungen. Monozyten differenzieren unter dem Einfluss von Zytokinen und Erreger-Substanzen Makrophagen. Die stressbedingte Entzündung und somit Schädigung der Muskulatur ruft metabolische Adaptationen betreffend zellulärer Reparaturprozesse und adaptierter Proteinsynthese hervor (vgl. Jurimäe et al., 2010, S.8).

Interleukin 1- $\beta$  und TNF-alpha werden zu Beginn einer Entzündungsreaktion sezerniert und wirken lokal an der Verletzung bzw. Infektion. Interleukin 6 wird im Anschluss an diese Reaktion synthetisiert. Auch wenn Interleukin 6 annähernd in jeder Zelle und Muskelfaser des menschlichen Organismus vorkommt, so ist der stressbedingte Anstieg ausschließlich auf die involvierte Skelettmuskulatur zurückzuführen (Jurimäe et al., 2010, S.8). Daher gilt speziell die Gruppe um das Interleukin 6 und das TNF-alpha als möglicher Übertrainingsmarker.

Nach Urhausen und Kindermann (2002, S.98) werde erhöhte Zytokinkonzentrationen bei Athletinnen und Athleten im Übertraining vermutet. Es bedarf den Autoren zufolge jedoch konkreter Daten um diese Hypothese zu bestätigen. Jurimäe et al. (2010, S.8) berichten über neue Erkenntnisse betreffend die Zytokine. Es gilt als erwiesen, dass es im Hypothalamus Rezeptoren für jene Zytokine gibt, welche an der Entzündungsreaktion beteiligt sind. Diese direkte Verbindung zum hypothalamischen System könnte der Auslöser für viele Symptome des Übertrainings beziehungsweise des "over-reachings" sein.

Dass ein trainingsinduzierter Anstieg des Interleukin 6 tatsächlich stattfindet, beweist eine Vielzahl von Studien. Jurimäe et al. (2010, S.8) gehen allerdings davon aus, dass eine

gewisse Intensität überschritten werden muss, um diesen Effekt zu beobachten. So wird beispielsweise eine Studie mit Ruderern beschrieben, bei der ein zweistündiges Rudertraining bei 80% der aeroben Schwelle keinen Anstieg des IL-6 zur Folge hatte. Untersuchungen, in denen eine höhere Beanspruchung gewählt wurde, berichten von starken Anstiegen des Zytokins. So konnte ein Anstieg um das 100-fache nach einem Marathon und ein Anstieg um das 8000-fache nach einem 246km- Laufrennen nachgewiesen werden. Im Allgemeinen weisen die Autoren darauf hin, dass bis dato Untersuchungen zu Zytokinen als Übertrainingsparameter vor allem im Zusammenhang mit Distanzläufen durchgeführt wurden (vgl. Jurimäe et al., 2010, S.9).

Einen Einfluss auf die Plasmazytokinkonzentration hat vor allem die Aufnahme von Kohlenhydraten, wodurch eine Verbindung zu den Peptidhormonen nahe liegt. Bezug nehmend auf das Kapitel über die Peptidhormone als Übertrainingsmarker konnte verdeutlicht werden, dass im Übertrainingsprozess eine Störung der Energiehomöostase eintritt. Das heißt, eine ungenügende Kalorienaufnahme und somit nicht ausreichende Energiereserven können die Ursache für das Ungleichgewicht sein. Jurimäe et al. (2010, S.9) berichtet nun von Studien, in denen nachgewiesen wurde, dass die Kohlenhydrataufnahme einen großen Einfluss auf den Anstieg der Zytokine, speziell auf das Interleukin 6, nehmen. Nehlsen-Canarella et al. (1997) berichten, dass die Kohlenhydrataufnahme während intensiver Belastung die entzündliche Reaktion mindert. Sie bewiesen dies mit einer Untersuchungsmethodik, bei der eine Gruppe Placebo, die Andere Kohlenhydrate verabreicht bekam. Ronsen et al. (2002) konnten den Einfluss der Kohlenhydrataufnahme auf die Zytokinkonzentration durch folgendes Studiendesign nachweisen. Es wurden zwei 75-minütige Fahrradergometrien bei 75% der maximalen Sauerstoffaufnahme durchgeführt. Einmal betrug die Pause zwischen den Belastungen 3 Stunden und es wurden keine Kohlenhydrate zugeführt, einmal betrug die Pause 6 Stunden mit Nahrungsaufnahme. Dabei wurde bei der zweiten Variante eine verminderte Konzentration des Interleukin 6 nach Belastung festgestellt.

Jurimäe et al. (2010, S.9) gehen davon aus, dass die Glycogenkonzentration in der Muskulatur vor Beginn des Trainings einen großen Einfluss auf die Zytokinreaktion hat. Die Autoren sind der Meinung, dass sich eine schlechte Energieversorgung des Organismus, wovon im Prozess des Übertrainings ja auszugehen ist, in einer erhöhten Zytokinkonzentration nach Belastung äußert.

Bisherige Studien zu Interleukin 6 und TNF-alpha als Übertrainingsmarker haben keine eindeutigen Ergebnisse erzielen können. Jurimäe et al. (2010, S.9) sehen jedoch hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit als Übertrainingsmarker Potential.

Armstrong und van Heest (2002, S.200) stellen fest, dass die Hauptaufgaben der Zytokine die Freisetzung der Immunzellen und ein Feedback über eine Entzündung an den Hypothalamus sind. Vom Hypothalamus aus werden dann in weiterer Folge die oben beschriebenen Prozesse des endokrinen Systems wie beispielsweise die Cortisolausschüttung, etc. gesteuert. Die Übertrainingsdiagnostik mittels Zytokinen basiert also auf der gleichen Theorie wie die Diagnostik über das in der Sportwissenschaft etabliertere Cortisol. Ein weiterer interessanter Aspekt der Zytokine ist der Zusammenhang mit Depressionszuständen, welcher später noch genau erörtert wird.

### 3.4.4 Muskuläre Parameter

#### 3.4.4.1 Creatinkinase

Das Enzym Creatinkinase (CK) ist ob seiner langen Tradition in der Diagnostik und der dadurch guten Vergleichbarkeit ebenfalls ein möglicher Parameter. Vor allem die Ökonomie spricht für den Einsatz dieser Methode. Die CK ist ein Eiweißmolekül, welches unter normalen Bedingungen zum Großteil nur intrazellulär vorkommt. Durch die Zellmembran wird ein Austritt der CK in den Blutkreislauf verhindert. Die Normwerte im Serum liegen unter  $3 \mu\text{mol/l} \cdot \text{s}$ . Die Permeabilität der Zellmembran wird unter anderem durch Adenosintriphosphat (ATP) gewährleistet. Da im Zuge intensiver Belastungen jedoch vermehrt auf den Energielieferanten ATP zurückgegriffen wird, kann es zu Engpässen und somit zu einer Permeabilitätsstörung der Zellmembran kommen. Kann diese Heterostase durch Erschöpfung nicht unmittelbar nach Belastungsende wieder hergestellt werden, so ist ein Austritt der CK ins Serum möglich. CK erscheint erst nach etwa 5-8 Stunden im Serum und hat eine Halbwertszeit von 16-18 Stunden (vgl. Fabian et al., 1992).

Zu unterscheiden gilt es zwischen drei verschiedenen Formen der CK (zytoplasmatische Isoenzyme): der CK-MM (Muskeltyp), der CK-BB (Gehirntyp) und der CK-MB (Herztyp). Für die Messung im Sport ist der CK-MM- Typ relevant. Der Wert sollte innerhalb der erwähnten Halbwertszeit sinken. Ist dies der Fall, spricht man von einer adäquaten Belastung (vgl. Stiglbauer, 2009, S.70).

Zu beachten sind neben individuellen Unterschieden (Non-Responder weisen kaum erhöhte CK- Werte selbst nach intensiven Belastungen auf) auch verletzungsinduzierte Anstiege der CK (vgl. Fabian et al., 1992; Urhausen et al., 2002, S.97).

In Abbildung 14 wird der verzögerte Anstieg des CK's graphisch dargestellt (im Vergleich zum Myoglobin). Das Beispiel zeigt die Plasmacreatinkinasekonzentration vor und nach einem Langdistanz- Triathlon (Ironman).

Kritisch ist, wenn nach Erholung der ATP- Bilanz die CK weiter ansteigt. Hier geht man von irreversiblen Schädigungen der Zellmembran aus, so genannten Nekrosen. Nekrosen treten beispielsweise nach einem Herzinfarkt auf.

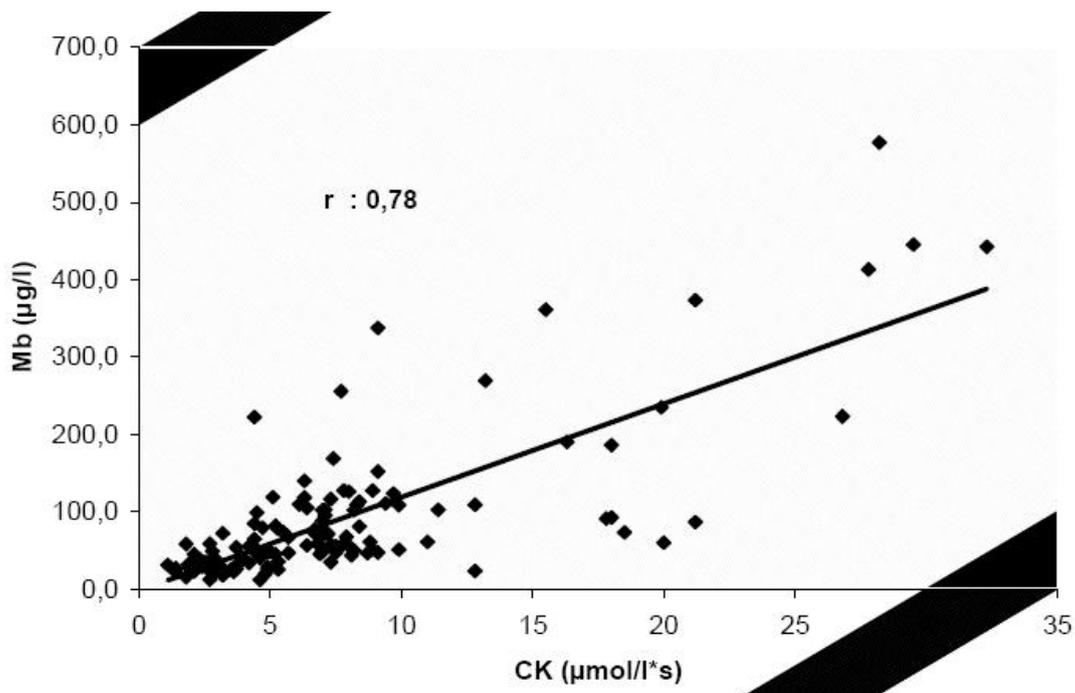
Fabian et al. (2005) erläutert, dass die Höhe der Auslenkung des CK- Werts von drei Faktoren abhängig ist: der Anteil der eingesetzten Muskelmasse, der Intensität und der Zeit des Energiedefizits.

#### 3.4.4.2 Myoglobin

Das Protein Myoglobin ist intrazellulär für den Sauerstofftransport und die Sauerstoffspeicherung zuständig. Beim Eindringen des Sauerstoffs in die Zelle aus der Blutbahn wird dieser an das Myoglobin gebunden und zum „Zellkraftwerk“, den Mitochondrien transportiert (vgl. Weineck, 2000, S.46-47).

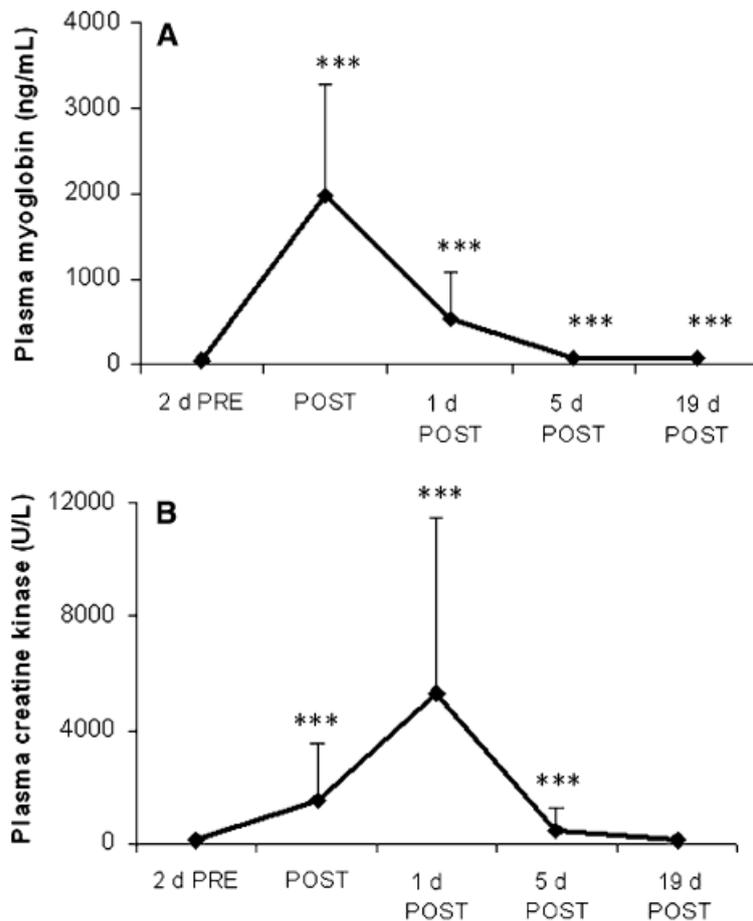
Sowie die Creatinkinase wird auch das Myoglobin nach Belastung in Serum freigesetzt. Auch hier liegt die Ursache in einer Permeabilitätsstörung der Zellmembran, wodurch das Hämoprotein in den Blutkreislauf und somit ins Serum gelangt (vgl. Huisman, 2010, S.10). Bedingt durch den analogen Mechanismus der Freisetzung von CK und Myoglobin besteht in Folge von intensiver Belastung auch ein ähnlicher Verlauf. Fabian et al. (2005, S.213) gibt als Richtwert für die Trainingssteuerung über Myoglobin einen Anstieg von 120-300µg/l als einen guten muskulären Trainingsreiz an und bezieht sich dabei auf zwei Studien mit Biathleten und Marathonläufern. Die Normwerte für das Myoglobin im Serum liegen bei Männern bei etwa 55µg/l und bei Frauen bei etwa 35µg/l. Festzuhalten ist, dass das Anstiegsmaximum des Myoglobins früher zu erwarten ist als jenes des CK-Werts. Fabian et al. (2005, S.212) beziffert es mit etwa 2-3 Stunden nach Belastungsende. Der Spitzenwert des Myoglobins im Serum wird etwa nach 6-12 Stunden erreicht (bis zu 500µg/l bei den Untersuchungen von Fabian et al. (2005)). Von einer Normalisierung kann man nach etwa 24 Stunden ausgehen (vgl. Nigam, 2007, S.13). Diese Angaben, speziell jene des Höchstwertes, zeigen eine enorme individuelle Streuung.

Fabian et al. (2005, S.213) beobachtete trotz unterschiedlicher Kinetik der Blutwerte nach Belastung eine gute Korrelation von Myoglobin und CK (siehe Abbildung 14).



**Abbildung 14: Korrelation der Creatinkinase (CK) gegen Myoglobin (Mb) im Biathlontraining.  $r:0,78$ . (modifiziert nach Fabian et al., 2005, S.213).**

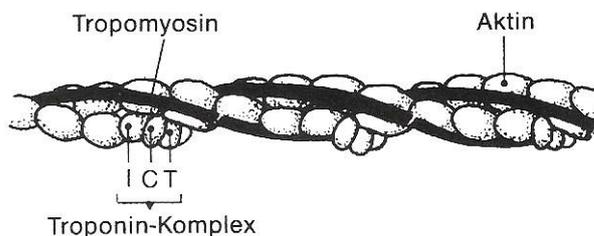
Abbildung 14 zeigt einen Vergleich der Anstiege von CK und Myoglobin nach einem Ironman- Triathlon. Derartig intensive und umfangreiche Belastungen werden dazu verwendet kurzzeitige Überlastungszustände zu beobachten. Durch die graphische Darstellung der Mittelwerte wird der verzögerte Anstieg des CK im Vergleich zum Myoglobin deutlich. Der Umstand, dass beide Werte bis zum fünften Tag erhöht waren, führt Neubauer et al. (2008, S.422) auf den Reparaturprozess der Muskulatur und die lokale Entzündungsreaktion zurück. Auch am 19. Tag nach dem Rennen konnten noch signifikant höhere Plasmamyoglobinwerte festgestellt werden. Dies könnte einerseits an der Wiederaufnahme des Trainings liegen, obwohl die Intensität und der Umfang äußerst gering waren. Andererseits sind späte Reaktionen der Muskulatur im Zuge des Regenerationsprozesses nicht ausgeschlossen.



**Abbildung 15: Verlauf der Plasmanyoglobinkonzentration (A) und der Plasmacreatinkinasekonzentration 2 Tage vor, unmittelbar nach sowie einen, fünf und 19 Tage nach einem Ironman Triathlon. Durchschnittswerte von 42 Athleten. \*\*\* signifikante Unterschiede zum Basiswert vor dem Wettkampf. (modifiziert nach Neubauer et al., 2008, S.421).**

### 3.4.5 Kardiale Parameter

Das Troponin ist Bestandteil der Muskelfilamente. Genauer gesagt ist das Troponin in seinen drei unterschiedlichen Erscheinungsformen Troponin -I, -C und -T Teil der Aktinfilamente (vgl. Weineck, 2000, S.37).



**Abbildung 16: Struktur der kontraktiven Eiweißmoleküle. (modifiziert nach Weineck, 2000, S.39)**

Das Troponin hat in der Mechanik der Muskelkontraktion seine Aufgaben zu erfüllen, und vor allem T-I und T-T dienen gemeinsam mit dem Creatinkinase- Herztyp und dem

Myoglobin zu gängigen Markern in der Herzinfarkt Diagnostik. Das Troponin-C spielt eine wichtige Rolle als Kalzium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) Rezeptor (Mastuba et al., 2009, S.572). Das Kalzium trifft im Bereich des Troponins auf die Aktinfilamente und bedingt dadurch die Freigabe der bis dorthin blockierten Bindungsstellen für die Myosinköpfe (vgl Weineck, 2000, S.42).

ProBNP, die Vorstufe des NTproBNP, ist ein Peptid, welches im Herzmuskel vorkommt. Es hat eine regulatorische Funktion auf das Herz-Kreislauf-System. Das heißt, bei Überlastung des Herzens wird eine Flüssigkeitsausscheidung über die Niere beziehungsweise die Erweiterung der Blutgefäße bedingt (Vidotto et al., 2005, S.648).

Kardiales Troponin (hier wird cTnI verwendet) im Serum gilt neben NTproBNP als gängiger Indikator für eine Schädigung der Zellstruktur im Herzen. Diese Marker können nicht nur als Risikoeinschätzung für Patienten dienen, sondern werden auch in der Anamnese für Athletinnen und Athleten verwendet um Abnormitäten des Herzens festzustellen. Das Troponin cTnI ist ein sehr sensibles Messinstrument und signalisiert, auch im Beisein von muskulären Verletzungen, selbst kleinste Schädigungen des Myokards. NTproBNP gilt als hervorragender Marker um beginnende kardiale Dysfunktionen anzuzeigen (Vidotto et al., 2005, S.645).

O'Hanlon et al. (2010, S.1-2) geht auf die Frage ein, ob die Erhöhung der kardialen Marker im Zuge einer Belastung physiologisch oder pathologisch ist. Einerseits gehen die Autoren davon aus, dass der Anstieg im Zuge der kardialen Adaptation passiert, mit dem Ziel, die Struktur und Funktion des Myokards zu optimieren. Andererseits konnten Tierstudien eine Korrelation zwischen einem Anstieg der Parameter und einer myokardialen Entzündungsreaktion nachweisen. Basierend auf der Theorie der systematischen Entzündung im Zuge des Übertrainings könnten beispielsweise durch Troponin auch belastungsinduzierte myokardiale Entzündungen nachgewiesen werden. Bei einer Untersuchung der kardialen Parameter (cTnI, NTproBNP) wurden nach einem Marathon signifikante Anstiege beider Marker verzeichnet (Messzeitpunkte waren unmittelbar nach dem Marathon sowie 6 Stunden danach.).

O'Hanlon et al. (2010, S.4) untersuchte zusätzlich zu den Biomarkern Troponin (cTnI) und NTproBNP auch noch die kardialen Funktionen mittels kardiovaskulärer Magnet-Resonanz. Es wurde festgestellt, dass die Funktionen der Herzen der SportlerInnen zu keinem Zeitpunkt pathologische Veränderungen aufwiesen. Es konnten daher keine Korrelationen zwischen den kardialen Biomarkern und der kardialen Funktion festgestellt werden. Die Autoren gehen daher davon aus, dass es sich bei einem Anstieg von kardialen Biomarkern im Blut weniger um eine Entzündung oder Schädigung des

Herzmuskels handelt, sondern, ähnlich wie bei der Creatinkinasefreisetzung, eine Permeabilitätsstörung der Zellmembran die Ursache bildet (vgl. O`Hanlon et al., 2010, S.4).

Im Zuge solcher Ergebnisse, bei denen nach einer Ausdauerbelastung die Marker erhöht sind, welche Indikatoren für eine Schädigung des Herzens sind, wird nach Vidotto et al. (2005) die Diskussion über die negativen Effekte vom Ausdauertraining reaktiviert.

Auch die Untersuchung von Vidotto et al. (2005) zeigte bei AthletInnen einen Anstieg der kardialen Parameter unmittelbar und zwei Stunden nach einem Halbmarathon. In Übereinstimmung mit O`Hanlon et al. (2010) konnten auch bei Vidotto et al. (2005) keine Veränderungen des Herzens (im Zuge einer Echokardiographie) festgestellt werden.

Die Autoren sehen die Rolle des kardialen Troponins in Bezug auf die Leistungsfähigkeit und somit als Marker für ein Übertraining als noch nicht geklärt. Weiters gilt es in Langzeitstudien zu überprüfen, ob erhöhte cTnI- Werte einen Einfluss auf Herzkrankheiten haben.

#### 3.4.6 Befindlichkeit

Halson und Jeukendrup (2004, S. 973) stützen sich auf den Beweis, dass das OTS immer auch durch Störungen der Psyche charakterisiert wird. Die Autoren verweisen jedoch auf diverse Studien, in denen eine erhöhte Intensität beziehungsweise ein erhöhter Umfang ebenfalls zu psychischen Störungen geführt hat (gemessen anhand des POMS Fragebogens), obwohl keinerlei Leistungseinbrüche und somit Überlastungszustände diagnostiziert werden konnten. Halson und Jeukendrup (2004, S.973) erachten die Befindlichkeit in Kombination mit anderen diagnostischen Mitteln und unter Berücksichtigung der sportlichen Leistung als adäquates Mittel um "over-reaching" festzustellen.

Auch Armstrong und van Heest (2002, S.200) gehen auf die Psyche im Prozess des Übertrainings ein und beschreiben, dass die Aktivierung des Immunsystems die gleichen Neurotransmitter freisetzt wie Stress (beispielsweise Serotonin, Noradrenalin). Das könnte auch die Erklärung sein, warum viele Studien über das Immunsystem beziehungsweise Entzündungsreaktionen (beispielsweise ausgelöst durch Überlastungszustände) das Verhalten der TeilnehmerInnen beschreiben. Über diesen Ansatz scheint der Zusammenhang zwischen der Theorie des Übertrainings als systematische Entzündung und den psychischen Reaktionen als erklärt. Die Autoren berichten von der Tatsache, dass Depression das häufigste Symptom von Menschen mit Infektionskrankheiten ist. Bestätigt wird diese Theorie mitunter durch Studien, die von Depressionszuständen bei jenen Menschen berichten, welche Zytokininjektionen

erhielten. Das soll nicht heißen, dass eine Immunreaktion der Auslöser von Depression ist, es soll lediglich veranschaulicht werden, dass eine Interaktion stattfindet (vgl. Armstrong und van Heest, 2002, S.200).

Aus dem Hintergrund, dass in der durchgeführten Studie der RESTQ – Sport-Fragebogen verwendet wurde, wird dieser als exemplarisches Beispiel für Befindlichkeitsfragebögen verwendet und behandelt.

Auch Urhausen und Kindermann (2002, S.96) sehen die Befindlichkeit als sensiblen und frühen Marker für das Übertraining. Subjektive Empfindungen wie Muskelschmerzen oder Schlafstörungen zählen zu den Symptomen, welche in der Literatur oft ihre Erwähnung finden. Die Autoren stellen fest, dass eine Befindlichkeitsstörung dem Leistungsabfall voraus geht, was den Parameter so interessant macht. Solche subjektiven Empfindungen müssen jedoch messbar gemacht werden. Befindlichkeitsfragebögen bieten sich an. Negativ bewerten Urhausen und Kindermann (2002) den Umstand, dass viele MannschaftssportlerInnen im Zuge einer Befragung über die Befindlichkeit nicht ehrlich sein könnten, aus Angst der Trainer würde sie durch einen Teamkollegen ersetzen.

Wie bereits in den von Israel (1976) erwähnten Symptomen des Übertrainings ersichtlich, spielt die Befindlichkeit im Prozess der Entwicklung eines Überlastungszustands eine wesentliche Rolle. Um einen Eindruck von der Befindlichkeit der letzten drei Tage und Nächte zu bekommen, haben Kellmann und Kallus den „Recovery Stress Questionary – Sport“ (RESTQ – Sport) entwickelt. Der Fragebogen umfasst 76 Items und 19 Subtests zu Aktivitäten oder Zuständen. Er beinhaltet sieben allgemeine Beanspruchungssubtests (emotionaler Stress, sozialer Stress, Müdigkeit, genereller Stress, Konflikte/Druck, somatische Beschwerden, Energielosigkeit), fünf allgemeine Erholungssubtests (somatische Entspannung, generelles Wohlbefinden, Schlafqualität, soziale Entspannung, genereller Erfolg), drei sportspezifische Beanspruchungsskalen (emotionale Erschöpfung, Fitness/Verletzung, gestörte Pausen) und vier sportspezifische Erholungssubtests (in Form sein, Burnout/persönliche Leistungsfähigkeit, Selbsteffizienz, Selbstregulation). Es wird mittels Likert – Skala geantwortet. Die Antwortmöglichkeiten reichen von 0 (niemals) bis 6 (immer). Die Durchschnittswerte der Antworten werden in den Subtests zusammengefasst. Werden hohe Werte in den mit Stress verbundenen Subtest erzielt, deutet dies auf Anspannung hin (vgl. Jurimäe et al., 2004, S.335-336).

## 4 Methode

### 4.1 Studiendesign (Oesen)

Da es bei Teamsportarten nicht zweckmäßig und motivationsfördernd ist Versuchspersonen aus einem bestimmten Trainingsumfeld herauszuholen und rein nach dem Zufallsprinzip unterschiedlich zu trainieren, wurde eine quasi-experimentelle Interventionsstudie durchgeführt. 16 Amateur-Fußballspieler, die freiwillig an einem einwöchigen fußballspezifischen High-Intensity-Training teilnahmen, wurden in die Studie aufgenommen. Die Kontrollgruppe (KG) bestand aus 13 Amateur-Fußballspielern, die aus einem Spielerpool rekrutiert wurden. Die Drop-Out-Quote betrug bei der Trainingsgruppe zwei, bei der Kontrollgruppe 3 Spieler. Die Trainingsgruppe führte über einen Zeitraum von einer Woche 11-mal ein spezielles fußballspezifisches Intervall-Ausdauertraining durch. Die Kontrollgruppe absolvierte in dieser Zeit kein Ausdauertraining. Das entsprach der in der Praxis üblichen Vorgehensweise, da die Studie in der trainingsfreien Sommerpause durchgeführt wurde. Vor und nach der Trainingsintervention wurden sportmedizinische, sportmotorische und labormedizinische Untersuchungen durchgeführt.

Der zeitliche Ablauf der Studie sah wie folgt aus:

- Basistestungen
  - Kalenderwoche 24: 14.6.2010 – 20.6.2010
- Trainingsintervention
  - Kalenderwoche 25: 21.6.2010 – 26.6.2010
- Regeneration
  - Kalenderwoche 26: 27.6.2010 – 04.7.2010
- Retests
  - Kalenderwoche 27: 05.7.2010 – 11.7.2010

### 4.2 Stichprobe (Oesen)

#### 4.2.1 Rekrutierung

Nach Vorliegen eines positiven Ethikkommissionsvotums (Ethikkommission der Medizinischen Universität Wien und des Allgemeinen Krankenhaus der Stadt Wien) wurden potentielle Probanden persönlich oder mittels Aushang über die Studie informiert.

Diese wurden schließlich zu einer gemeinsamen Informationsveranstaltung eingeladen. Hier informierten die Studienverantwortlichen über die Ziele, Fragestellung und praktische Durchführung der Studie. Es wurden die Probandeninformationsblätter (inklusive Einverständniserklärung) ausgeteilt. Die Teilnehmer hatten anschließend genügend Zeit sich die Teilnahme an der Studie zu überlegen. Jene, die sich für die Intervention entschieden haben, wurden anschließend zur Eingangsuntersuchung eingeladen. Die restlichen Spieler, die zwar an der Studie, nicht aber an der Intervention teilnehmen wollten, wurden ebenfalls zu einer Eingangsuntersuchung eingeladen und anschließend in den Kontrollpool aufgenommen.

#### 4.2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Zum Einschluss in die Studie mussten alle Einschlusskriterien erfüllt sein:

- männliche Amateur-Fußballspieler (maximal drei Trainingseinheiten/Woche während des Meisterschaftsbetriebes);
- Alter zwischen 18 und 30 Jahren;

Zum Ausschluss aus der Studie genügte 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;
- Infekt weniger als eine Woche vor dem Basistest;
- Teilnahme an weniger als 90% der Trainingseinheiten (Interventionsgruppe), was einer erlaubten Fehleinheit gleichkam;
- Mehr als zwei moderate Ausdauertrainingseinheiten ( $H_f > 75\%$  der  $H_{fmax}$ , Dauer  $> 2h$ ) im Untersuchungszeitraum (Kontrollgruppe);

### 4.3 Datenerfassung und Datenauswertung der leistungsdiagnostischen Parameter (Hinterkörper)

#### 4.3.1 Testzeitpunkte

Die Basistestungen wurden innerhalb einer Woche durchgeführt, wobei die anthropometrischen Daten sowie die Spiroergometrie von Montag bis Freitag für jede Versuchsperson individuell nach vereinbarten Terminen erhoben beziehungsweise durchgeführt wurden, während die weiteren Tests (Sprint, RAST, Yo-Yo Intermittent Recovery Test) von sämtlichen Studienteilnehmern am Samstag durchgeführt wurden.

Die Retests fanden nach einer einwöchigen Regenerationsphase, die der Trainingswoche folgte, statt. Für Sprint, RAST und Yo-Yo Intermittent Recovery Test fanden sich alle Probanden am Samstag, exakt eine Woche nach dem letzten Training ein. Die Erhebung der anthropometrischen Daten und die Spiroergometrie erfolgten in der darauffolgenden Woche von Montag bis Freitag.

Abbildung 17 zeigt überblicksmäßig den Zeitplan der Trainingsstudie:

|            |                       |
|------------|-----------------------|
| 14.06.2010 | Spiroergometrie       |
| 15.06.2010 | Spiroergometrie       |
| 16.06.2010 | Spiroergometrie       |
| 17.06.2010 | Spiroergometrie       |
| 18.06.2010 | frei                  |
| 19.06.2010 | Sprint, RAST, Yo-Yo   |
| 20.06.2010 | frei                  |
| 21.06.2010 | Training 9 und 17 Uhr |
| 22.06.2010 | Training 9 und 17 Uhr |
| 23.06.2010 | Training 9 und 17 Uhr |
| 24.06.2010 | Training 9 und 17 Uhr |
| 25.06.2010 | Training 9 und 17 Uhr |
| 26.06.2010 | Training 9 Uhr        |
| 27.06.2010 | Regeneration          |
| 28.06.2010 | Regeneration          |
| 29.06.2010 | Regeneration          |
| 30.06.2010 | Regeneration          |
| 01.07.2010 | Regeneration          |
| 02.07.2010 | Regeneration          |
| 03.07.2010 | Sprint, RAST, Yo-Yo   |
| 04.07.2010 | frei                  |
| 05.07.2010 | Spiroergometrie       |
| 06.07.2010 | Spiroergometrie       |
| 07.07.2010 | Spiroergometrie       |
| 08.07.2010 | Spiroergometrie       |
| 09.07.2010 | Spiroergometrie       |
| 10.07.2010 |                       |
| 11.07.2010 |                       |
| Woche 1    |                       |
| Woche 2    |                       |
| Woche 3    |                       |
| Woche 4    |                       |

Abbildung 17: Zeitplan der Trainingsstudie (eigene Darstellung)

#### 4.3.2 Anthropometrische Untersuchung

Vor der ersten Spiroergometrie erfolgte eine sportärztliche Untersuchung, in deren Zuge Größe und Gewicht der Probanden gemessen wurde. Aus diesen beiden Parametern wurde der Body Maß Index ermittelt.

Zusätzlich wurde eine Bioimpedanzmessung mit einem Gerät des Typs BIA 2000-s durchgeführt, um den Körperfettanteil der Studienteilnehmer festzustellen.

Die gleiche Vorgehensweise wurde auch für die Retests beibehalten.

### 4.3.3 Spiroergometrie

Die Studienteilnehmer hatten die Möglichkeit in einem Zeitraum von vier Tagen einen Termin für die Spiroergometrie-Basismessung frei zu wählen. Im Zuge der Retests konnte ebenfalls in einem Zeitraum von fünf Tagen ein Termin frei gewählt werden.

Zur Atemgasanalyse wurde ein Gerät der Firma Viasys (Type: Masterscreen - CPX) verwendet, das entsprechend der Vorschriften des Geräteherstellers vor jedem Probanden kalibriert wurde. Der Test erfolgte auf dem Laufband (Firma: HP Cosmos, Type: Quasar) bei einer Steigung von einem Prozent. Das Testprotokoll (Abbildung 18) sah eine dreiminütige Einlaufphase bei einer Geschwindigkeit von 6 km/h vor. Danach wurde die Geschwindigkeit auf 8 km/h erhöht und steigerte sich folglich jede Minute um ein halbes km/h. Während des Tests trugen die Probanden ein Herzfrequenzmessgerät der Firma Suunto (Typ: T3). Die Herzfrequenz wurde am Ende jeder Minute abgelesen und im Protokoll eingetragen.

| universität wien |  | BTR-FB        |    | sport science    |  | GIBN |  |
|------------------|--|---------------|----|------------------|--|------|--|
| Datum:           |  | Probandennr.: |    | R:               |  |      |  |
| Name:            |  | Größe:        |    | IC:              |  |      |  |
| Vorname:         |  | Gewicht:      |    | S:               |  |      |  |
| Geb. Datum:      |  | Temperatur:   | °C | R <sub>1</sub> : |  |      |  |
| Verein/Liga:     |  |               |    | R <sub>2</sub> : |  |      |  |

| KMH  | Zeit (min) | HF | Anmerkung |
|------|------------|----|-----------|
| 6    | 1          |    |           |
| 6    | 2          |    |           |
| 6    | 3          |    |           |
| 8    | 4          |    |           |
| 8.5  | 5          |    |           |
| 9    | 6          |    |           |
| 9.5  | 7          |    |           |
| 10   | 8          |    |           |
| 10.5 | 9          |    |           |
| 11   | 10         |    |           |
| 11.5 | 11         |    |           |
| 12   | 12         |    |           |
| 12.5 | 13         |    |           |
| 13   | 14         |    |           |
| 13.5 | 15         |    |           |
| 14   | 16         |    |           |
| 14.5 | 17         |    |           |
| 15   | 18         |    |           |
| 15.5 | 19         |    |           |
| 16   | 20         |    |           |
| 16.5 | 21         |    |           |
| 17   | 22         |    |           |
| 17.5 | 23         |    |           |
| 18   | 24         |    |           |
| 18.5 | 25         |    |           |
| 19   | 26         |    |           |
| 19.5 | 27         |    |           |
| 20   | 28         |    |           |

|                       |    |    |    |    |
|-----------------------|----|----|----|----|
| Abbruchkriterium:     |    |    |    |    |
| Nachbelastungslaktat: | 1' | 3' | 5' | 7' |

Abbildung 18: Testprotokoll der Spiroergometrie

Nach Ende des Tests wurden die Daten ausgelesen und zur Auswertung in einem Excel-Programm eingetragen, welches die Daten graphisch aufbereitete. Anhand der Diagramme für Ventilation, Volumen Sauerstoff und CO<sub>2</sub>, Sauerstoff und CO<sub>2</sub>-Equivalent sowie Sauerstoff- und CO<sub>2</sub>-Partialdruck wurden die Schwellen anhand der Kriterien von Wasserman et al. (1999, S. 29 f.; siehe Kapitel 2.3.4.1) festgelegt. Abbildung 19 zeigt eine exemplarische Auswertung.

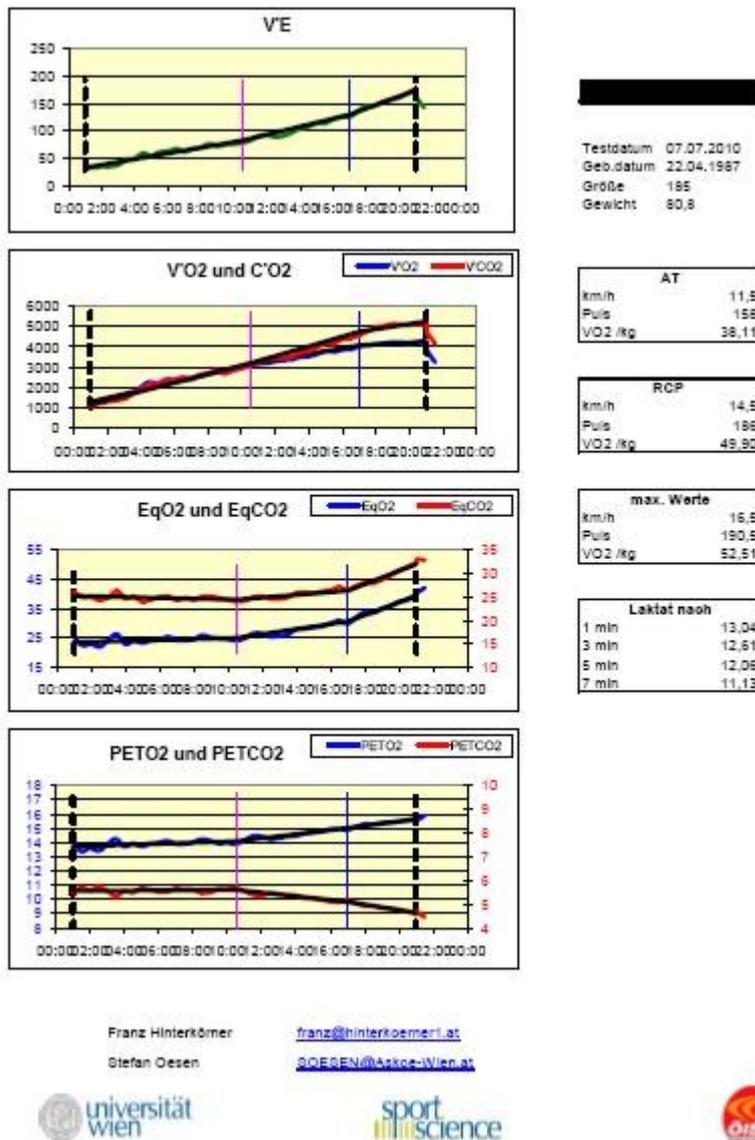


Abbildung 19: Protokoll zur Spiroergometrie-Auswertung

Als maximale Sauerstoffaufnahme galt die höchste erreichte Sauerstoffaufnahme während des Tests.

Die bei Belastungsabbruch gemessene Herzfrequenz wurde als maximale Herzfrequenz angenommen, von der in weiterer Folge die Trainingsherzfrequenz abgeleitet wurde.

Zur Beurteilung der Laktatelimination wurde eine, drei, fünf und sieben Minuten nach Belastungsabbruch aus dem Ohrläppchen Blut entnommen und die Laktatkonzentration zu diesen Zeitpunkten ermittelt. Dafür wurde ein Gerät des Typs Biosen S-line der Firma EKF Diagnostic verwendet. Der Wert für die Laktatelimination resultierte schließlich aus der Differenz der Laktatwerte zwischen erster und siebenter Minute.

Um die Laufökonomie zu ermitteln, wurde die Sauerstoffaufnahme bei einer Geschwindigkeit von 12 km/h verwendet.

Die Spieler legten während des Trainings bei einem Intervall rund 800 Meter zurück (siehe Kapitel 4.5.1). Daraus lässt sich errechnen, dass sich die Spieler im Zuge eines vierminütigen Intervalls mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 12 km/h bewegten, weshalb die Laufökonomie bei dieser Geschwindigkeit gemessen wurde.

#### 4.3.4 Sprint Testungen

Der 20-Meter-Sprint wurde als erster von drei Tests am Samstag auf einer Tartanbahn durchgeführt. Mit einem Vorlauf von einem Meter mussten die Probanden dabei eine Strecke von 20 Metern mit maximaler Geschwindigkeit absolvieren, wobei die Teilzeiten nach fünf und zehn Metern sowie die 20-Meter-Zeit mittels Lichtschranken gemessen wurden. Von drei Versuchen wurde der beste gewertet.

#### 4.3.5 Running Anaerobic Sprint Test (RAST)

Im Anschluss an den 20-Meter-Sprint fand ebenfalls auf einer Tartanbahn der RAST (Abbildung 20), wie in Kapitel 2.3.4.2 beschrieben, statt. Die einzelnen Sprintzeiten wurden mit Lichtschranken gemessen und die Probanden wurden aufgefordert jeden Sprint mit maximaler Geschwindigkeit zu laufen. Die Zeiten wurden dokumentiert und im Anschluss die maximale Leistung, die mittlere Leistung sowie der Ermüdungsindex ermittelt.



**Abbildung 20: Testaufbau beim Running Anaerobic Sprint Test**

#### 4.3.6 Yo-Yo Intermittent Recovery Test

Als letzter der drei Tests wurde der Yo-Yo Intermittent Recovery Test nach einer einstündigen Pause durchgeführt. In einem Vortest zeigte sich, dass diese Zeit für eine vollständige Erholung nach dem RAST ausreichend ist.

Der Aufbau und die Durchführung des Tests (wie in Kapitel 2.3.4.3 beschrieben) erfolgten in einer Halle. Die Probanden wurden in zwei Gruppen aufgeteilt, wobei eine Gruppe den Test durchführte und ein Partner der anderen Gruppe jeweils die Aufzeichnungen zum Test machte. Anhand eines Protokolls wurden die absolvierten Shuttles abgehakt und am Ende jeder Stufe die Herzfrequenz (ermittelt mittels Herzfrequenzmessgerät Suunto, T3) notiert.

Im Anschluss an den Test wurde die gesamte zurückgelegte Distanz, die die Leistung beim Yo-Yo-Test widerspiegelt, ermittelt.

#### 4.4 Datenerfassung der Übertrainingsparameter (Oesen)

Hochintensive Trainingsphasen führen zu einem Kurzzeit- Übertraining ("over-reaching"), welches idealer Weise nach einer Erholungsphase von Tagen bis maximal zwei Wochen zur gewünschten Adaptation, also einer Erhöhung der Leistungsfähigkeit, führt. Ist die Erholungsphase jedoch nicht ausreichend, kann sich ein Übertrainingssyndrom entwickeln, das die Abnahme der Leistungsfähigkeit trotz entsprechenden Trainingsreizen zur Folge hat (Weineck, 2010). Wie beschrieben existieren eine Vielzahl an Parametern und Markern um den Trainingsprozess zu steuern und um eine physische und psychische Überlastung der AthletInnen zu diagnostizieren. Typischer Weise wird die Ausschüttung von anabolen oder katabolen Hormonen (GH, IGF-1, Testosteron, Cortisol, ...) beziehungsweise immunologisch wirksamen Zytokinen (IL-6, TNF-alpha,... ) gemessen, um eine Aussage über die Erholungsphase zu erhalten. Daneben können auch Leptin, Adiponektin und Ghrelin als periphere Signale des Energiehaushalts dazu herangezogen werden, die Erholungsphase nach intensiver körperlicher Belastung zu beschreiben (Jurimae et al. 2010). In der Sportpraxis werden jedoch auch Fragebögen wie beispielsweise der Erholungsfragebogen für AthletInnen (RESTQ-Sport) eingesetzt (Kellmann & Kallus, 2001). Im Rahmen dieser Studie sollen nun sowohl biochemische Parameter als auch der RESTQ-Sport- Fragebogen herangezogen werden, um den „Stress“ eines High-Intensity-Trainings und die Erholungsphase danach zu beschreiben.

Zur Bestimmung der Überbelastungs- beziehungsweise Stressparameter wurden zu jedem der 3 Untersuchungszeitpunkte (vor, 3 Tage nach, 7 Tage nach der Intervention) 10ml Vollblut (1 EDTA-, 1 Serumröhrchen) abgenommen. Der Trainingsgruppe wurde zu allen drei Zeitpunkten Blut entnommen. Die Kontrollgruppe nahm lediglich an der Blutuntersuchung vor und am Ende der Studie (7 Tage nach der Intervention) teil. Ort der Blutabnahme war eine Armvene (siehe Abbildung 21).

Aus dem EDTA-Röhrchen wurde unmittelbar nach Abnahme das Blutbild analysiert (Lymphozyten-, Erythrozytenanzahl, Hämoglobin, Hämatokrit). Das Serum-Röhrchen wurde nach 30-minütiger Stehzeit gemeinsam mit dem restl. EDTA-Blut zentrifugiert (3000xg, 10min, Raumtemperatur). Das Serum/Plasma wurde abgehoben, aliquotiert und bei -80°C bis zur weiteren Analyse aufbewahrt. Die Bestimmung der muskulären Kreatinkinase-Aktivität, des Myoglobins sowie Interleukins 6 (IL-6), Leptins und Adiponektins erfolgt mittels kommerziell erhältlicher Testkits. Weiters wurden die kardialen Marker, kardiales Troponin T (cTnT) sowie das „Brain Natriuretic Peptide“ (NTproBNP), analysiert.



**Abbildung 21: Blutabnahme Basistest.**

Analog zu den Blutuntersuchungen soll von den Teilnehmern der Erholungsfragebogen für AthletInnen (RESTQ-Sport) (Kellmann & Kallus, 2001) vor der Trainingsintervention einmal direkt nach und einmal sieben Tage nach der letzten Trainingseinheit ausgefüllt werden. Auch hier nahm die Trainingsgruppe an allen drei Terminen teil, die Kontrollgruppe wieder lediglich an der Eingangstestung sowie an der Testung am Ende der Studie (7 Tage nach der Intervention).

## 4.5 Intervention

### 4.5.1 Belastungscharakteristik (Oesen)

Die Belastungscharakteristik des Ausdauertrainings in Form eines „High Intensity Intervalltrainings“ sah wie folgt aus: Es wurden nach einem 7-minütigem Aufwärmen, vier Intervalle zu 4 Minuten bei 90-95% der maximalen Herzfrequenz absolviert. Die Pausenlänge betrug 3 Minuten. Danach folgte ein 10-minütiges Abwärmen (siehe Tabelle 4). Alle Einheiten wurden fußballspezifisch gestaltet. Der Inhalt der Intervalle waren Spielformen, das Aufwärmen wurde ebenfalls mit Ball absolviert.

**Tabelle 4: Belastungscharakteristik High Intensity Intervalltraining.**

| <b>Ablauf der Trainingseinheit</b> |                   |                              |                            |
|------------------------------------|-------------------|------------------------------|----------------------------|
| <b>Phase</b>                       | <b>Dauer</b>      | <b>Intensität in % HFmax</b> | <b>Tätigkeit</b>           |
| Aufwärmen                          | 7min              | 60-65%                       | fußballspezifische Übungen |
| Intervall 1                        | 4min              | 90-95%                       | Spielform                  |
| Pause 1                            | 3min              | 50-60%                       | aktive Erholung            |
| Intervall 2                        | 4min              | 90-95%                       | Spielform                  |
| Pause 2                            | 3min              | 50-60%                       | aktive Erholung            |
| Intervall 3                        | 4min              | 90-95%                       | Spielform                  |
| Pause 3                            | 3min              | 50-60%                       | aktive Erholung            |
| Intervall 4                        | 4min              | 90-95%                       | Spielform                  |
| Cool Down                          | 10min             | 50-60%                       | auslaufen                  |
| <b>Gesamt</b>                      | <b>42 Minuten</b> |                              |                            |

Mittels GPS – Uhr (Garmin Forerunner 305) wurden die Distanzen ermittelt, welche pro Einheit zurückgelegt wurden. Die Gesamtdistanz betrug durchschnittlich 4,2 Kilometer, pro Intervall durchschnittlich 800 Meter. Anhand der Abbildung 22 sieht man die Laufwege einer exemplarischen Einheit. Die Distanz, die im High Intensity Bereich zurückgelegt wurde, waren 3,2 Kilometer.



**Abbildung 22: Laufwege einer fußballspezifischen HIT – Einheit. Ermittelt mit der GPS Uhr Garmin Forerunner 305.**

#### 4.5.2 Trainingsinhalte (Hinterkörper)

Im folgenden Abschnitt werden die Inhalte der einzelnen Trainings detailliert aufgeschlüsselt:

##### 1. Training, 21. Juni, 09:00 Uhr:

Aufwärmen:

Ballhalten, Zuspiel mit dem Fuß aus der Hand, 3 Pässe = Punkt (3 vs. 3);

Intervalle:

Spielform 3 vs. 3 und 3 vs. 3 mit Joker;

Spielfeldgröße: 15 x 20 Meter;

Ball über die Linie dribbeln, max. 3 Kontakte;

Pausen:

Zuspiel in der Gruppe;

Cool Down:

10 Minuten auslaufen (60-65% HFmax);

##### 2. Training, 21. Juni, 17:00 Uhr:

Aufwärmen:

Koordinatives Aufwärmen ohne Ball (Reifenparcours), Gymnastik

Intervalle:

Spielform 4 vs. 4 und 3 vs. 3;

Spielfeldgröße: 30 x 20 Meter für 3 vs. 3, 35 x 23 Meter für 4 vs. 4;

Auf Kleinfeldtore – Tor zählte nur direkt, max. 3 Kontakte;

Pausen:

Technische Übung zu zweit, verschiedene Zuspielarten (Volley, Kopf,...)  
nach Zuwurf des Partners;

Cool Down:

10 Minuten auslaufen (60-65% HFmax);

### 3. Training, 22. Juni, 9:00 Uhr:

Aufwärmen:

Verschiedene Zuspielformen;

Intervalle:

Spielform 4 vs. 4 und 3 vs. 3 mit Joker;

Spielfeldgröße: 30 x 20 Meter für 3 vs. 3, 35 x 23 Meter für 4 vs. 4;

Auf Kleinfeldtore – Tor zählte nur, wenn die letzten beiden Kontakte direkt  
waren;

Pausen:

Jonglieren in der Gruppe;

Cool Down:

10 Minuten auslaufen (60-65% HFmax);

### 4. Training, 22. Juni, 17:00 Uhr:

Aufwärmen:

Handballspiel; Tore zählten nur per Kopf (alle Spieler), mit Ball maximal 3  
Schritte, wenn Ball den Boden berührte → Ballverlust; Gymnastik;

Intervalle:

Spielform 4 vs. 4;

Spielfeldgröße: 35 x 23 Meter;

Tore zählten nur, wenn alle Spieler in der gegnerischen Hälfte waren;

Pausen:

Laufen, 60-65% HFmax;

Cool Down:

10 Minuten auslaufen (60-65% HFmax);

### 5. Training, 23. Juni, 9:00 Uhr

Aufwärmen:

Ballführen mit Dribblingaufgaben;

Intervalle:

Spielform 4 vs. 4 und 3 vs. 3;

Spielfeldgröße: 30 x 20 Meter für 3 vs. 3, 35 x 23 Meter für 4 vs. 4;

Auf 4 Hütchentore, 3 Kontakte;

Pausen:

Zu zweit gehobene Zuspiele (30m)

Cool Down:

10 Minuten auslaufen (60-65% HFmax).

Zusatz: Messung der Laufleistung innerhalb eines Intervalls, bei Christian Moser mittels GPS → 800m

#### 6. Training, 23 Juni, 17:00 Uhr

Aufwärmen:

2 Mannschaften, Zuwerfen und Spiel mit dem Kopf zum dritten (= 1 Punkt);

Intervalle:

Spielform: 4 vs. 4;

Spielfeldgröße: 35 x 23 Meter;

2 Zonen: Defensive Zone – 2 Kontakte, Angriffszone frei – Abschluss direkt;

Pausen:

Jonglieren zu zweit oder in der Gruppe mit Ansage der Kontakte;

Cool Down:

10 Minuten auslaufen (60-65% HFmax);

#### 7. Training, 24. Juni, 9:00 Uhr

Aufwärmen:

Koordinatives Aufwärmen mit Ball (verschiedene Zuspielformen) zu zweit – 1 Ball;

Intervalle:

Spielform 4 vs. 4 und 3 vs. 3;

Spielfeldgröße: 30 x 20 Meter für 3 vs. 3, 35 x 23 Meter für 4 vs. 4;

Ballhalten, 10 Kontakte = 1 Punkt;

Pausen:

Zu zweit Zuspiel in der Bewegung;

Cool Down:

10 Minuten auslaufen (60-65% HFmax);

8. Training, 24. Juni, 17:00 Uhr

Aufwärmen:

Individuelles Aufwärmen;

Intervalle:

Spielform 4 vs. 4 und 3 vs. 3;

Spielfeldgröße: 30 x 20 Meter für 3 vs. 3, 35 x 23 Meter für 4 vs. 4;

Spiel auf Kleinfeldtore, 3 Kontakte, Abschluss direkt;

Pausen:

Kopfballstaffel oder Kurz-Kurz-Lang Kopfball;

Cool Down:

10 Minuten auslaufen (60-65% HFmax);

9. Training, 25. Juni, 9:00 Uhr

Aufwärmen:

Nummernpassen mit zwei Bällen, ein Ball von 1 zu 2 zu 3...; ein Ball von 3 zu 2 zu 1...;

Intervalle:

Spielform 4 vs. 4 und 3 vs. 3;

Spielfeldgröße: 30 x 20 Meter für 3 vs. 3, 35 x 23 Meter für 4 vs. 4;

Ball über die Linie dribbeln, maximal 3 Kontakte;

Pausen:

Jonglieren in der Gruppe;

Cool Down:

10 Minuten auslaufen (60-65% HFmax);

10. Training, 25. Juni, 17:00 Uhr

Aufwärmen:

Komplexe Passübung im Viereck;

Intervalle:

Spielform 4 vs. 4;

Spielfeldgröße: 35 x 23 Meter;

2 Zonen, alle Spieler mussten in der gegnerischen Hälfte sein, damit das Tor zählte;

Pausen:

Zuspiel in der Gruppe;

Cool Down:

10 Minuten auslaufen (60-65% HFmax);

11. Training, 26. Juni, 9:00 Uhr

Aufwärmen:

Komplexe Passübung, 3 Spieler, 2 außen, einer Mitte – kurz-kurz-lang;

Intervalle:

Spielform 4 vs. 4 und 3 vs. 3;

Spielfeldgröße: 30 x 20 Meter für 3 vs. 3, 35 x 23 Meter für 4 vs. 4;

Auf Kleinfeldtore – Tor zählte nur direkt, max. 3 Kontakte;

Pausen:

Jonglieren zu zweit oder in der Gruppe mit Ansage der Kontakte;

Cool Down:

10 Minuten auslaufen (60-65% HFmax);

## 4.6 Statistische Methoden (Hinterkörper)

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit Hilfe der Software SPSS 17. Um Unterschiede in den einzelnen Gruppen zu den zwei Testzeitpunkten statistisch zu überprüfen, kamen Tests für gepaarte Stichproben zur Anwendung. Bei jenen Parametern, bei denen die Daten normalverteilt waren, wurde der t-Test verwendet. Der Wilcoxon-Test fand seine Anwendung, wenn keine Normalverteilung gegeben war. Das Signifikanzniveau wurde auf 0,05 festgelegt.

## 4.7 Statistische Methoden (Oesen)

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS 17. Geprüft wurden etwaige statistische Signifikanzen im Verlauf der Studie. Aufgrund des Studiendesigns diente die Varianzanalyse mit Messwiederholung beziehungsweise der Friedman Test zur Analyse der Unterschiede im Verlauf der drei Messzeitpunkte. Zur Berechnung von Zusammenhängen wurde die Pearson Korrelation angewandt. Nach der Prüfung der Voraussetzungen wurde der statistische Test, mit der größtmöglichen Trennschärfe verwendet. Das Verfahren für die jeweiligen Parameter ist im Ergebnisteil explizit angeführt.

## 5 Ergebnisse, Interpretation und Diskussion

### 5.1 Kenndaten der Studienteilnehmer (Oesen)

Tabelle 5 zeigt eine deskriptive Statistik der Probanden zu Beginn der Studie. Die Anzahl betrug 10 Probanden für die Kontrollgruppe und 14 für die Trainingsgruppe. Abzüglich jener Athleten, die während der Studie ausgeschieden sind, verblieben jeweils 8 Sportler pro Gruppe. Das entspricht einer Drop-out-Quote von 33,3%.

**Tabelle 5: Deskriptive Statistik der Teilnehmer zu Beginn und am Ende der Studie. Mittelwert ( $\pm$ Standardabweichung).**

#### BEGINN:

| Parameter                        | Trainingsgruppe      | Kontrollgruppe      |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|
| Anzahl (n)                       | 14                   | 10                  |
| Alter (Jahre)                    | 23,79 ( $\pm$ 2,83)  | 24,1 ( $\pm$ 2,89)  |
| Größe (m)                        | 1,84 ( $\pm$ 0,07)   | 1,82 ( $\pm$ 0,05)  |
| Gewicht (kg)                     | 82,07 ( $\pm$ 11,24) | 76,35 ( $\pm$ 7,57) |
| BMI                              | 24,12 ( $\pm$ 2,39)  | 23,05 ( $\pm$ 1,20) |
| Körperfettanteil (%)             | 17,85% ( $\pm$ 3,93) | 15,75 ( $\pm$ 4,49) |
| VO <sub>2</sub> max. (ml/kg/min) | 51,76 ( $\pm$ 5,14)  | 53,84 ( $\pm$ 3,40) |

#### ENDE:

| Parameter                        | Trainingsgruppe      | Kontrollgruppe      |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|
| Anzahl (n)                       | 8                    | 8                   |
| Alter (Jahre)                    | 24,38 ( $\pm$ 2,4)   | 24,25 ( $\pm$ 3,15) |
| Größe (m)                        | 1,85 ( $\pm$ 0,1)    | 1,80 ( $\pm$ 0,35)  |
| Gewicht (kg)                     | 82,97 ( $\pm$ 14,04) | 73,95 ( $\pm$ 5,35) |
| BMI                              | 24,09 ( $\pm$ 2,58)  | 22,90 ( $\pm$ 1,14) |
| Körperfettanteil (%)             | 16,58 ( $\pm$ 3,378) | 14,31 ( $\pm$ 4,50) |
| VO <sub>2</sub> max. (ml/kg/min) | 52,91 ( $\pm$ 5,28)  | 54,79 ( $\pm$ 3,38) |

Zur Prüfung der Unterschiede wurde der T-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Die Voraussetzungen dafür waren erfüllt (Normalverteilung). Es konnten weder am Beginn noch am Ende der Studie signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen nachgewiesen werden.

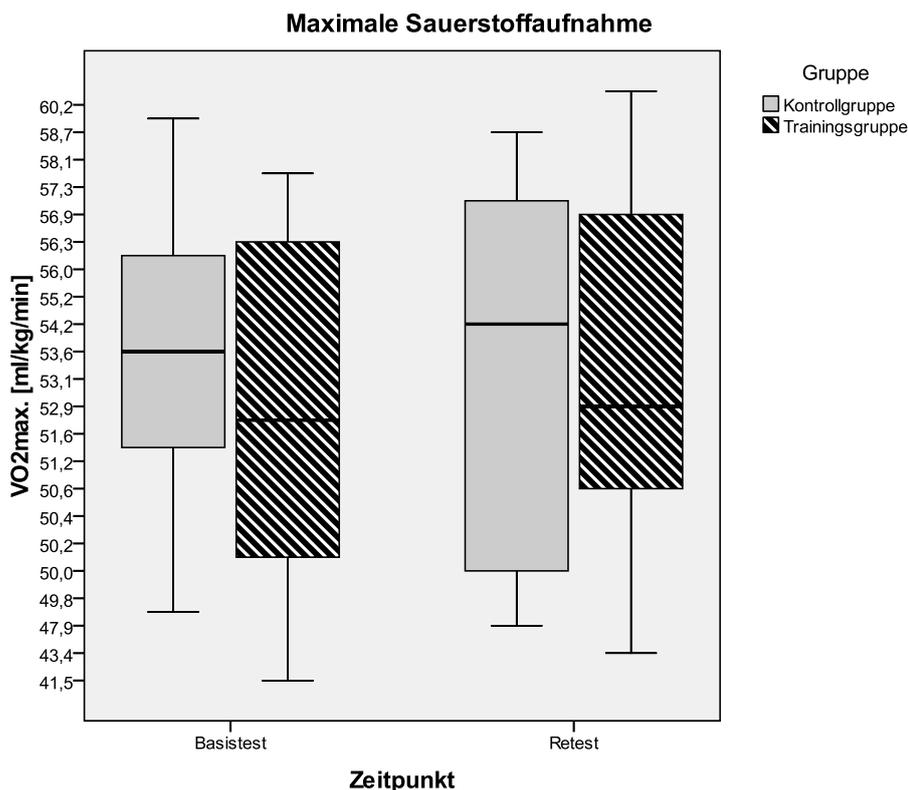
## 5.2 Ergebnisse der Leistungsdiagnostik (Hinterkörper)

### 5.2.1 Spiroergometrie

#### 5.2.1.1 Maximale Sauerstoffaufnahme

Die Probanden der Trainingsgruppe erreichten beim Basistest eine maximale Sauerstoffaufnahme von 51,76 ( $\pm$  5,14) ml/kg/min. Beim Retest betrug die maximale Sauerstoffaufnahme 52,95 ( $\pm$  5,14) ml/kg/min. Es ist zwar eine Tendenz zur Verbesserung (1,93 Prozent) erkennbar, allerdings war der Unterschied zwischen den Testzeitpunkten nicht signifikant ( $p=0,064$ ).

Im Gegensatz dazu veränderte sich die maximale Sauerstoffaufnahme der Kontrollgruppe zwischen den beiden Testzeitpunkten von 53,84 ( $\pm$  3,4) ml/kg/min auf 53,62 ( $\pm$  3,9) ml/kg/min, was einer leichten Verschlechterung entsprach. Der Unterschied war allerdings ebenfalls nicht signifikant.



**Abbildung 23: Maximale Sauerstoffaufnahme zu den beiden Testzeitpunkten**

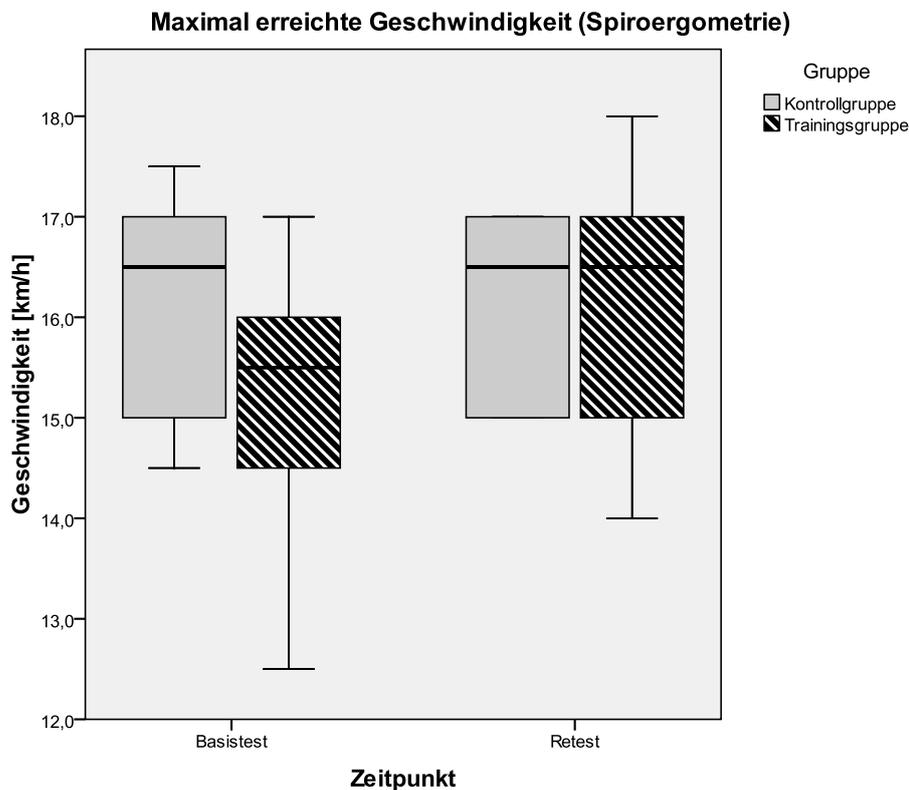
Abbildung 23 zeigt die Veränderungen der maximalen Sauerstoffaufnahme der beiden Gruppen zwischen den Messzeitpunkten.

### 5.2.1.2 Maximal erreichte Geschwindigkeit

Im Unterschied zur maximalen Sauerstoffaufnahme zeigte sich bei der maximalen Geschwindigkeit, die bei der Ausbelastung bei der Spiroergometrie erreicht wurde, bei der Trainingsgruppe ein signifikanter Unterschied ( $p=0,001$ ). Bei der Kontrollgruppe wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Messzeitpunkten erkannt. Die Unterschiede zu den beiden Testzeitpunkten wurden in Abbildung 24 dargestellt.

Bei der ersten Untersuchung erreichten die Mitglieder der Trainingsgruppe eine mittlere maximale Geschwindigkeit von  $15,25 (\pm 1,48)$  km/h, die sich beim Retest auf  $15,93 (\pm 1,47)$  km/h steigerte.

Bei der Kontrollgruppe lag der Wert beim Basistest bei  $16,15 (\pm 1,06)$  km/h, beim Retest bei  $15,95 (\pm 0,99)$  km/h.



**Abbildung 24: Maximal erreichte Geschwindigkeit bei der Spiroergometrie zu den beiden Messzeitpunkten**

### 5.2.1.3 Maximale Herzfrequenz

Erwartungsgemäß traten für die mittlere maximale Herzfrequenz zwischen den beiden Testzeitpunkten bei der Trainingsgruppe keine signifikanten Unterschiede auf. Die Kontrollgruppe wies zwar einen signifikanten Unterschied auf, der angesichts der Werte 199,4 ( $\pm 8,92$ ) 1/min beim Basistest und 199 ( $\pm 8,82$ ) 1/min beim Retest aber zu vernachlässigen ist.

### 5.2.1.4 Laufökonomie

Weder bei der Trainingsgruppe noch bei der Kontrollgruppe konnten signifikante Unterschiede der Mittelwerte der Laufökonomie, die anhand der Sauerstoffaufnahme bei einer Geschwindigkeit von 12 km/h im Zuge der Spiroergometrieuntersuchung ermittelt wurde, festgestellt werden.

### 5.2.1.5 Aerobe Schwelle (VT)

Die mittlere Geschwindigkeit an der aeroben Schwelle betrug beim Eingangstest für die Trainingsgruppe 10,32 ( $\pm 1,09$ ) km/h. Beim Ausgangstest erhöhte sich diese auf 10,93 ( $\pm 1,08$ ) km/h. Der Unterschied war nicht signifikant.

Die Kontrollgruppe erreichte beim ersten Test eine Geschwindigkeit an der aeroben Schwelle von 10,55 ( $\pm 0,86$ ) km/h, beim zweiten Test von 10,65 ( $\pm 0,85$ ) km/h. Auch bei ihr war der Unterschied nicht signifikant.

Auch bei der mittleren Herzfrequenz an der aeroben Schwelle gab es bei keiner der beiden Gruppen signifikante Unterschiede zwischen den Testzeitpunkten (Trainingsgruppe: 153 ( $\pm 11,73$ ) (Basistest) und 154,14 ( $\pm 11,87$ ) 1/min (Retest); Kontrollgruppe: 155,5  $\pm 13,53$  und 154,7  $\pm 12,38$  1/min).

### 5.2.1.6 Anaerobe Schwelle (RCP)

Die Trainingsgruppe konnte die mittlere Geschwindigkeit an der anaeroben Schwelle im Vergleich zum Basistest von 12,82 ( $\pm 1,34$ ) beim Retest um 4,7 Prozent auf 13,42 ( $\pm 1,27$ ) km/h steigern. Dies entsprach einem signifikanten ( $p=0,011$ ) Unterschied zwischen den beiden Testzeitpunkten. Die Kontrollgruppe erzielte hingegen keine signifikanten Unterschiede. Bei dieser wurde eine leichte Reduktion der mittleren Geschwindigkeit an der anaeroben Schwelle von 13,9 ( $\pm 0,99$ ) auf 13,6 ( $\pm 0,97$ ) km/h gemessen. In Abbildung 25 sind die Unterschiede zwischen den beiden Testzeitpunkten ersichtlich.

Während bei der mittleren Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle bei der Trainingsgruppe kein signifikanter Unterschied zwischen den Erhebungen festgestellt wurde (172,79 ( $\pm$  10,21) (Basistest) und 177,14 ( $\pm$  11,03) 1/min (Retest)), wurde bei der Kontrollgruppe ein signifikanter Unterschied erkannt ( $p=0,003$ ). Die mittlere Herzfrequenz sank von 184,3 ( $\pm$  11,35) beim Basistest auf 182 ( $\pm$  12,16) 1/min beim Retest.

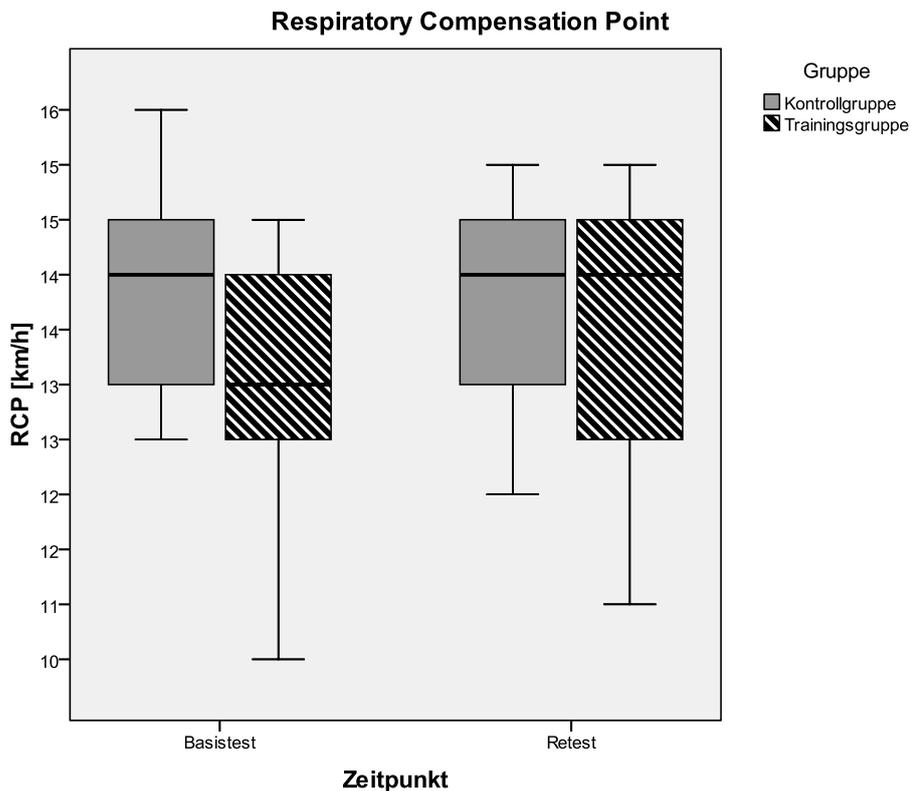


Abbildung 25: Respiratory Compensation Point für beide Gruppen zu den beiden Messzeitpunkten

### 5.2.1.7 Nachbelastungslaktat

Die Blutlaktatwerte wurden eine, drei, fünf und sieben Minuten nach Belastungsabbruch bei der Spiroergometrieuntersuchung ermittelt. Weder bei der Trainingsgruppe noch bei der Kontrollgruppe konnten zu den einzelnen Zeitpunkten signifikante Unterschiede zwischen Basistest und Retest festgestellt werden, wie in Tabelle 6 ersichtlich ist.

Auffallend ist, dass bei der Trainingsgruppe der Laktatwert nach einer Minute beim Retest um 9,6 Prozent höher war als jener beim Basistest. Dieser Unterschied war dennoch nicht signifikant ( $p=0,083$ ).

**Tabelle 6: Nachbelastungslaktat (in mmol/l) zu den beiden Testzeitpunkten**

| Trainingsgruppe |            |       |            |       |             |
|-----------------|------------|-------|------------|-------|-------------|
|                 | Basistest  |       | Retest     |       | Unterschied |
|                 | Mittelwert | s     | Mittelwert | s     | p           |
| Laktat 1min     | 10,033     | 1,810 | 10,998     | 1,917 | 0,083       |
| Laktat 3min     | 9,529      | 1,832 | 9,952      | 2,404 | 0,458       |
| Laktat 5min     | 8,891      | 1,862 | 9,349      | 2,509 | 0,434       |
| Laktat 7min     | 8,629      | 1,798 | 8,557      | 2,469 | 0,906       |
| Kontrollgruppe  |            |       |            |       |             |
|                 | Basistest  |       | Retest     |       |             |
|                 | Mittelwert | s     | Mittelwert | s     | p           |
| Laktat 1min     | 10,450     | 2,329 | 10,349     | 1,553 | 0,853       |
| Laktat 3min     | 9,332      | 2,400 | 9,564      | 1,760 | 0,708       |
| Laktat 5min     | 9,310      | 2,479 | 9,350      | 2,049 | 0,939       |
| Laktat 7min     | 9,123      | 2,654 | 8,447      | 1,933 | 0,217       |

### 5.2.1.8 Laktatelimination

Zur Bewertung der Laktatelimination wurde der sieben Minuten nach Belastungsabbruch bei der Spiroergometrie gemessene Blutlaktatwert von jenem nach einer Minute subtrahiert. Während sich der Differenzwert bei der Kontrollgruppe zwischen den beiden Testzeitpunkten nicht signifikant voneinander unterschied, wies die Trainingsgruppe für die Elimination signifikante Unterschiede auf. Der Differenzwert wurde von 1,48 ( $\pm 0,80$ ) auf 2,44 ( $\pm 1,22$ ) mmol/l verbessert, was einer erhöhten Abbaurrate entspricht. Abbildung 26 zeigt die Unterschiede bei der Laktatelimination beider Gruppen zwischen Basistest und Retest.

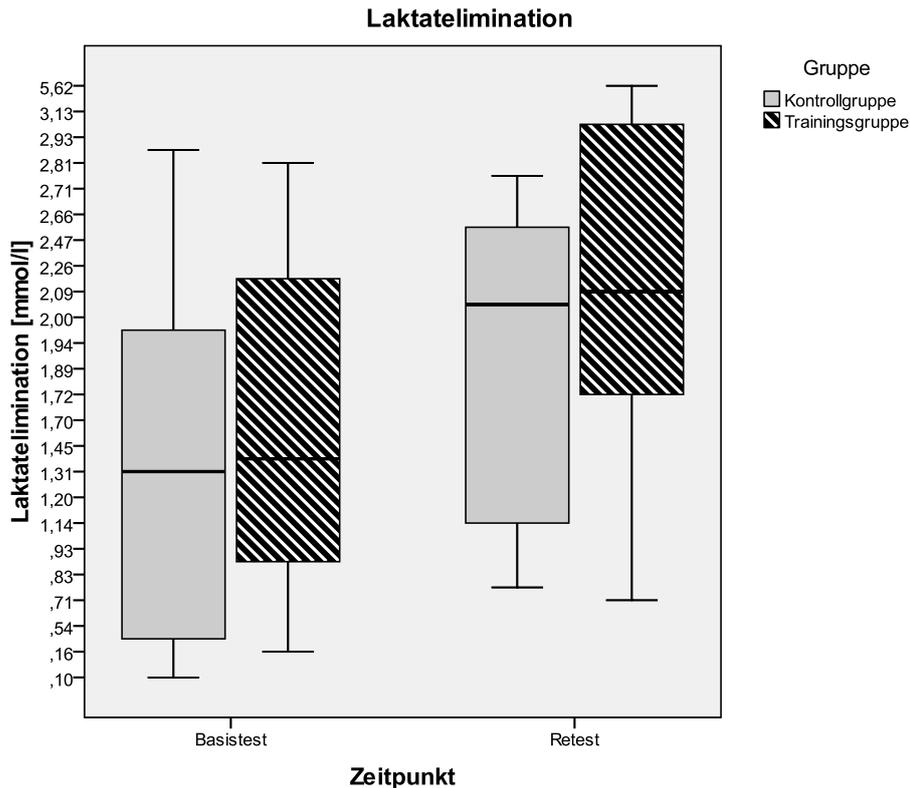
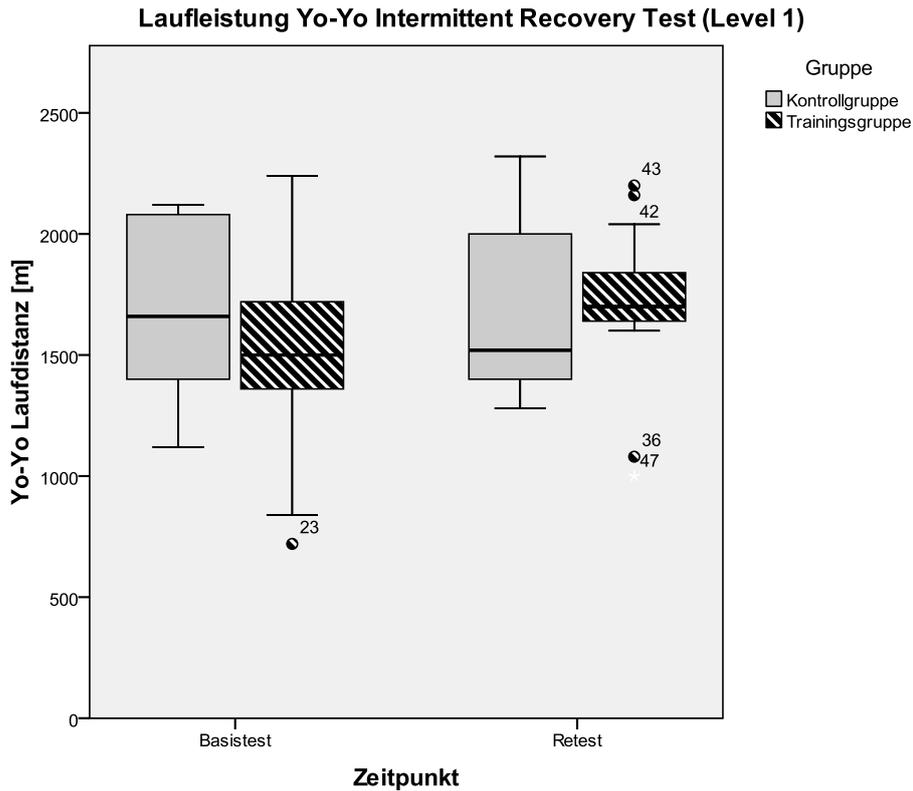


Abbildung 26: Laktatelimination zu den beiden Testzeitpunkten

### 5.2.2 Yo-Yo Laufleistung

Die Kontrollgruppe wies keine signifikanten Unterschiede bei der beim Yo-Yo Intermittent Recovery Test zurückgelegten Distanz, durch die die Leistung bei diesem Test determiniert wird, auf. Während beim Basistest eine mittlere Distanz von 1.692 ( $\pm$  390,58) Metern erreicht wurde, legten die Probanden beim Retest 1.672 ( $\pm$  357,67) Meter zurück. Bei der Trainingsgruppe wurde hingegen ein signifikanter Unterschied in der zurückgelegten Distanz festgestellt ( $p=0,000$ ). Die Distanz wurde von 1.491 ( $\pm$  431,22) auf 1.700 ( $\pm$  338,59) Meter erhöht, was einer Verbesserung um 14 Prozent entspricht. Abbildung 27 zeigt die Laufleistung beim Yo-Yo Test zu den beiden Testzeitpunkten.



**Abbildung 27: Laufleistung beim Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 1 zu den beiden Testzeitpunkten**

### 5.2.3 RAST (Running Anaerobic Sprint Test)

Betrachtet man die Ergebnisse der Trainingsgruppe beim RAST zu den beiden Testzeitpunkten, so waren sowohl die Unterschiede der mittleren durchschnittlichen Leistung als auch die Unterschiede des Ermüdungsindex signifikant ( $p=0,001$  und  $p=0,008$ ). Beide Parameter konnten verbessert werden. Die Unterschiede der maximalen Leistung waren nicht signifikant ( $p=0,912$ ).

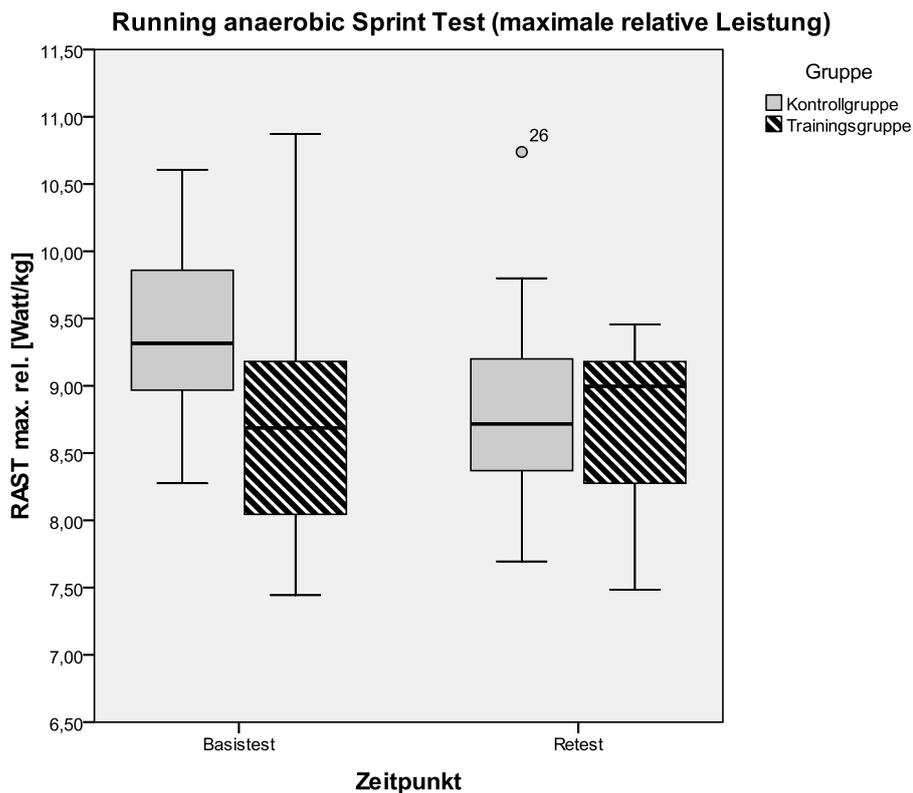
Die Kontrollgruppe verzeichnete beim RAST signifikante Unterschiede bei der maximalen Leistung und beim Ermüdungsindex ( $p=0,015$  und  $p=0,027$ ). Während sich die maximale Leistung verschlechterte, verbesserte sich der Ermüdungsindex. Der Unterschied der durchschnittlichen Leistung war mit  $p=0,701$  nicht signifikant.

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse des RAST detailliert aufgeschlüsselt.

Abbildung 28, Abbildung 29 und Abbildung 30 zeigen die einzelnen Parameter des RAST zu den beiden Testzeitpunkten.

**Tabelle 7: Ergebnisse des RAST zu den beiden Testzeitpunkten**

| Trainingsgruppe    |            |       |            |       |             |
|--------------------|------------|-------|------------|-------|-------------|
|                    | Basistest  |       | Retest     |       | Unterschied |
|                    | Mittelwert | s     | Mittelwert | s     | p           |
| RAST max rel.      | 8,791      | 0,928 | 8,765      | 0,569 | 0,912       |
| RAST Average rel.  | 7,016      | 0,857 | 7,544      | 0,734 | 0,001       |
| RAST Fatigue Index | 7,462      | 2,455 | 5,389      | 1,681 | 0,008       |
| Kontrollgruppe     |            |       |            |       |             |
|                    | Basistest  |       | Retest     |       |             |
|                    | Mittelwert | s     | Mittelwert | s     | p           |
| RAST max rel.      | 9,368      | 0,735 | 8,857      | 0,900 | 0,015       |
| RAST Average rel.  | 7,689      | 0,869 | 7,655      | 0,872 | 0,701       |
| RAST Fatigue Index | 6,962      | 1,869 | 5,244      | 1,664 | 0,027       |



**Abbildung 28: Maximale relative Leistung beim RAST zu den beiden Testzeitpunkten**

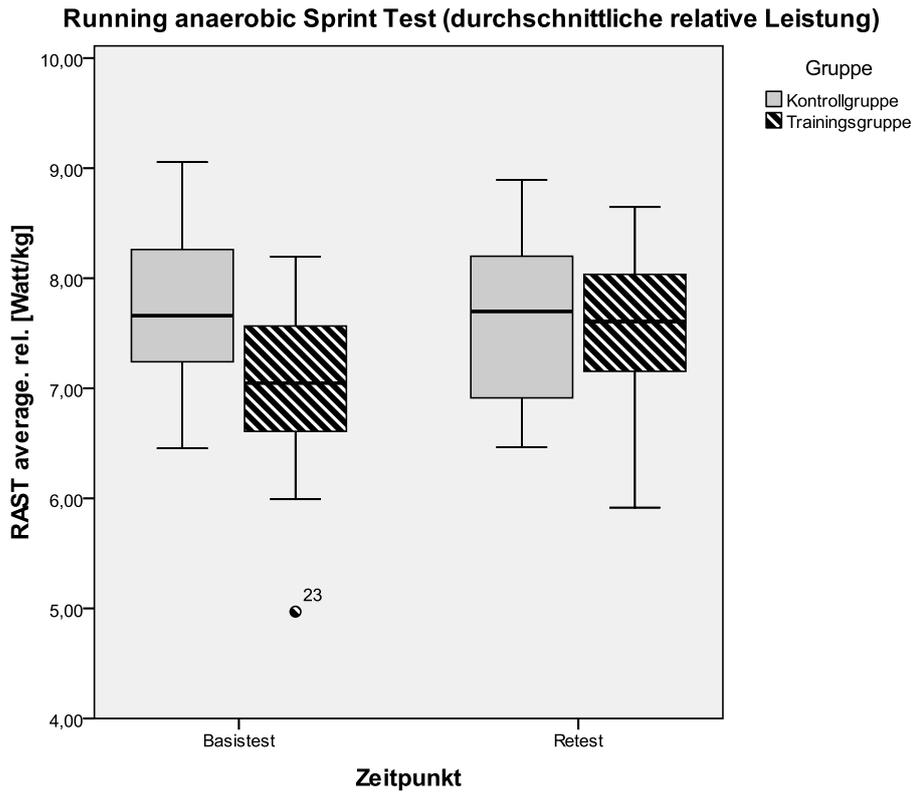


Abbildung 29: Durchschnittliche relative Leistung beim RAST zu den beiden Testzeitpunkten

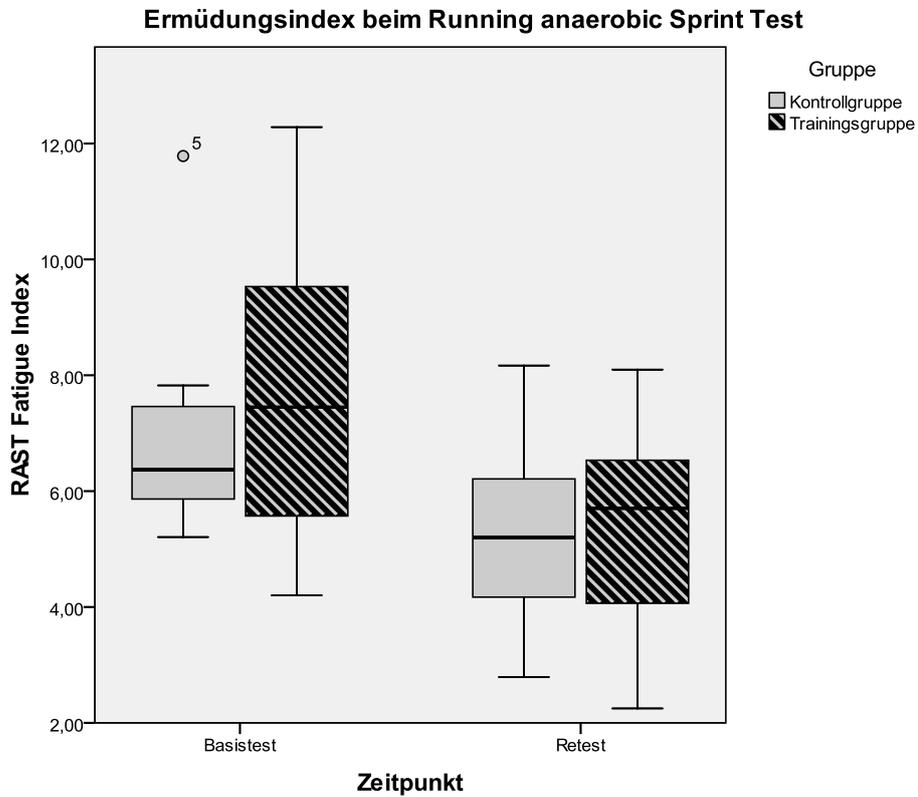


Abbildung 30: Ermüdungsindex beim RAST zu den beiden Testzeitpunkten

## 5.2.4 20-Meter-Sprint

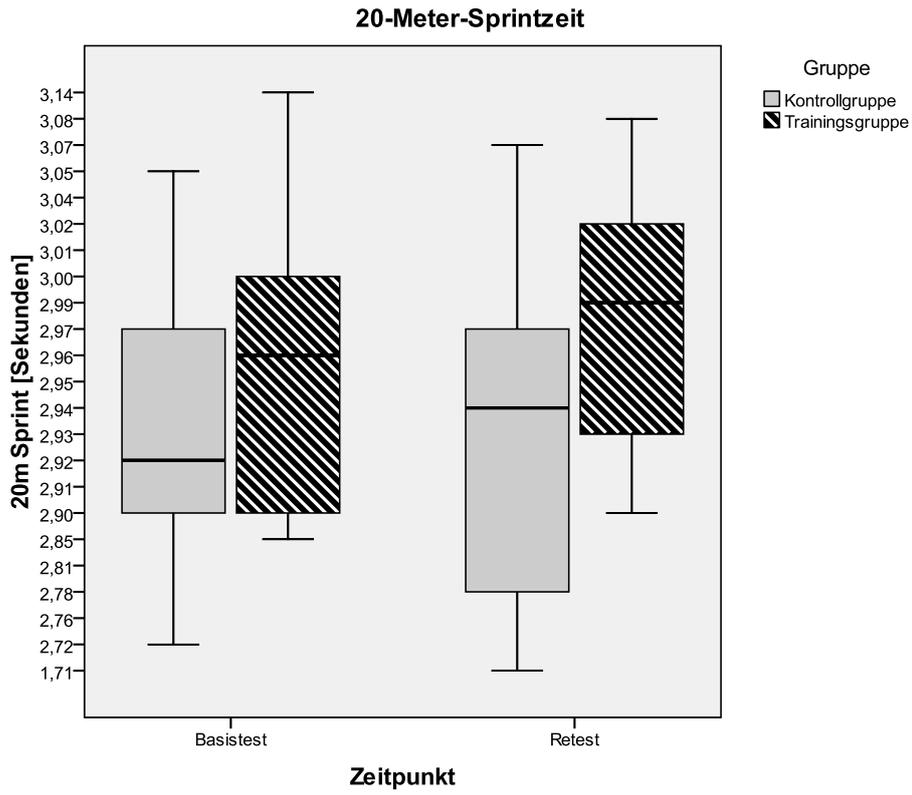
In Tabelle 8 wurden die mittleren Teilzeiten des 20-Meter-Sprints des Basistests und Retests für die Trainingsgruppe und die Kontrollgruppe zusammengefasst. Es wurden weder bei der Trainingsgruppe, noch bei der Kontrollgruppe signifikante Unterschiede der Teilzeiten zwischen den beiden Testzeitpunkten erkannt.

Betrachtet man die Mittelwerte der Trainingsgruppe, so lässt sich jedoch eine Tendenz zur Verschlechterung bei den einzelnen Teilzeiten erkennen.

Abbildung 31 zeigt die 20-Meter-Sprintzeit zu den beiden Testzeitpunkten.

**Tabelle 8: Teilzeiten beim 20-Meter-Sprint zu den beiden Testzeitpunkten**

| Trainingsgruppe |            |       |            |       |             |
|-----------------|------------|-------|------------|-------|-------------|
|                 | Basistest  |       | Retest     |       | Unterschied |
| Sprintzeit      | Mittelwert | s     | Mittelwert | s     | p           |
| 5m              | 0,946      | 0,054 | 0,951      | 0,035 | 0,298       |
| 10m             | 1,679      | 0,064 | 1,682      | 0,039 | 0,38        |
| 20m             | 2,971      | 0,079 | 2,986      | 0,059 | 0,091       |
| Kontrollgruppe  |            |       |            |       |             |
|                 | Basistest  |       | Retest     |       |             |
| Sprintzeit      | Mittelwert | s     | Mittelwert | s     | p           |
| 5m              | 0,935      | 0,052 | 0,936      | 0,033 | 0,790       |
| 10m             | 1,647      | 0,060 | 1,649      | 0,060 | 0,084       |
| 20m             | 2,909      | 0,092 | 2,794      | 0,394 | 0,512       |



**Abbildung 31: 20-Meter-Sprintzeit zu den beiden Testzeitpunkten**

### 5.3 Interpretation und Diskussion der Ergebnisse der Leistungsdiagnostik (Hinterkörper)

Die maximale Sauerstoffaufnahme stand bei jenen Faktoren, bei denen durch die Trainingsintervention eine Verbesserung erwartet wurde, im Fokus. Während im Zuge zahlreicher fußballspezifischer Studien mittels Intervalltraining (vgl. Hergerud et al., 2001, 2003; McMillan et al., 2005; Chamari et al., 2005; Stolen et al., 2005) die maximale Sauerstoffaufnahme um sieben bis zehn Prozent gesteigert werden konnte, betrug die Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme in der vorliegenden Untersuchung bei der Trainingsgruppe nur rund zwei Prozent, was keinem signifikanten Unterschied zwischen den Testzeitpunkten entsprach.

Ein Großteil der oben erwähnten Studien wählte im Gegensatz zur aktuellen Untersuchung jedoch einen Trainingszeitraum, der zwischen acht und zehn Wochen betrug. In diesem wurde das Intervalltraining bei gleicher Belastungscharakteristik wie bei der gegenwärtigen Studie (vier mal vier Minuten bei 90 bis 95 Prozent der maximalen Herzfrequenz, dazwischen dreiminütige Pause bei 70 Prozent der maximalen Herzfrequenz) zweimal pro Woche zusätzlich zum normalen Training durchgeführt. Auch die Gesamtanzahl der Trainings war bei den vorangegangenen Studien mit 16 bis 20 höher als jene der vorliegenden Untersuchung (elf Trainings). Dadurch ist die Vergleichbarkeit nur bedingt gegeben.

Aber auch bei Studien, bei denen ein fußballspezifisches Training in Blockform verwendet wurde, konnte durch das Training im Gegensatz zur durchgeführten Untersuchung eine deutlichere Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme erzielt werden. Stolen et al. (2005) berichten etwa von einer Studie, in der mit einer zehntägigen „VO<sub>2</sub>-Kur“ (13 Intervall-Trainingseinheiten am Hoffparcours) eine Zunahme der maximalen Sauerstoffaufnahme um 7,3 Prozent erzielt wurde. Auch Stiglbauer (2009) erreichte mit einem zweiwöchigen Trainingsblock (14 Intervall-Trainingseinheiten) eine Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme um 6,1 Prozent.

Helgerud et al. (2001) stellten eine Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme von 0,67 Prozent pro Training fest, während McMillan et al. (2005) mit ihrer Trainingsintervention am Dribblingparcours eine Steigerung um 0,56 Prozent erzielten. Daraus leiteten die Forscher ab, dass durch High Intensity Training die maximale Sauerstoffaufnahme pro Training um zumindest 0,5 Prozent erhöht werden kann. Diese Theorie wird durch die vorliegende Studie, bei der dieser Wert bei weitem unterschritten wird, jedoch nicht unterstützt.

Aufgrund der Ergebnisse aus den Studien, in denen das Training in Blockform abgehalten wurde (vgl. Stohlen et al., 2005; Stiglbauer, 2009), kann die Gesamtdauer und die Anzahl der Trainings als Grund für eine geringere Effektivität der in der aktuellen Studie verwendeten Intervention, auf die Zunahme der maximalen Sauerstoffaufnahme, weitgehend ausgeschlossen werden.

Eine weitere mögliche Ursache könnte eine zu geringe Intensität der Intervalle gewesen sein. Es wurde jedoch nach jedem Intervall die Herzfrequenz der einzelnen Spieler aufgezeichnet und kontrolliert, ob sich der Spieler im Zielbereich von 90 bis 95 Prozent seiner maximalen Herzfrequenz befand. Dies war zu 95,4 Prozent der Fall, womit auch eine zu geringe Intensität als mögliche Ursache entkräftet wird.

Die genauen Ursachen für den geringeren Zuwachs der maximalen Sauerstoffaufnahme im Vergleich zu vorangegangenen Studien sind daher unklar.

Signifikante Unterschiede zwischen den Testzeitpunkten wurden im Zuge der Spiroergometrie bei der Trainingsgruppe hingegen bei anderen Messparametern erkannt. Die mittlere Geschwindigkeit an der anaeroben Schwelle konnte um 4,7 Prozent gehoben werden. Die maximal erreichte Geschwindigkeit erhöhte sich um 4,5 Prozent. Der Laktatwert der Trainingsgruppe nach einer Minute war beim Retest um 9,6 Prozent höher als jener beim Basistest. Dieser Unterschied war zwar nicht signifikant ( $p=0,083$ ), es lässt sich jedoch eine Tendenz zu einer erhöhten Laktattoleranz erkennen.

Die Steigerung der maximal erreichten Geschwindigkeit der Trainingsgruppe bei der Spiroergometrie dürfte auf die erhöhte Laktattoleranz zurückzuführen sein. Der durch die Laktatakkumulation hervorgerufene Belastungsabbruch kann damit hinausgezögert werden.

Die durch das Training verbesserte anaerobe Schwelle lässt auf eine erhöhte aerobe Kapazität schließen. Die erhöhte anaerobe Schwelle ermöglicht es dem Spieler folglich eine höhere Intensität beizubehalten, ohne dass es zur Laktatanhäufung kommt (vgl. Hoff et al., 2006; Stolen et al., 2005). Eine Erhöhung der anaeroben Schwelle ist auch ohne Veränderung der maximalen Sauerstoffaufnahme möglich, allerdings nur in einem minimalen Bereich (vgl. Hoff et al., 2006; Stolen et al.; 2005). Meist steht eine Verbesserung der anaeroben Schwelle jedoch in Verbindung mit einer Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme und/oder der Laufökonomie (vgl. Hoff & Helgerud, 2004). Helgerud et al. (2001) erreichten etwa mit einer achtwöchigen Trainingsintervention eine

Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme um 10,7 Prozent, der anaeroben Schwelle um 15,9 Prozent und der Laufökonomie um sieben Prozent. Wie auch immer, in der aktuellen Untersuchung war der Zusammenhang der Steigerungen der maximalen Sauerstoffaufnahme und der Laufgeschwindigkeit an der anaeroben Schwelle nicht signifikant ( $p=0,87$ ).

Wie bei der maximalen Sauerstoffaufnahme rief die Trainingsintervention auch bei der Laufökonomie keinen signifikanten Unterschied zwischen Basistest und Retest hervor. Während Chamari et al. (2005) und Helgerud et al. (2001) über eine positive Wirkung des High Intensity Intervall Trainings auf die Laufökonomie berichteten, blieb bei der Untersuchung von McMillan et al. (2005) wie bei der aktuellen Studie die Laufökonomie durch das Intervalltraining unverändert.

Die Geschwindigkeiten, an denen die Laufökonomie gemessen wurde, sind in den angeführten Studien recht unterschiedlich. Chamari et al. (2005) maßen diese bei 7 km/h, McMillan et al. (2005) bei 9 km/h, Helgerud et al. (2001) an der anaeroben Schwelle, da an dieser ihrer Ansicht nach ein zuverlässiger Zusammenhang zwischen Intensität und Sauerstoffaufnahme sichergestellt ist. In der aktuellen Studie wurde eine festgelegte Geschwindigkeit von 12 km/h zur Bestimmung der Laufökonomie verwendet. Das entspricht einer Geschwindigkeit knapp unterhalb der anaeroben Schwelle. Die festgelegte Geschwindigkeit sollte aber ohnehin keinen Einfluss auf die Laufökonomie haben.

Die Einflüsse auf die Laufökonomie konnten bisher nicht hinreichend erklärt werden (vgl. Hoff et al., 2006). Es bedarf daher weiterer Untersuchungen in diesem Zusammenhang.

In der Studie von McMillan et al. (2005) wurde die Laufökonomie durch die Trainingsintervention zwar nicht verändert, allerdings sank die Herzfrequenz bei einer festgelegten Geschwindigkeit von 9 km/h signifikant von 162 auf 154 Schläge pro Minute. Diese Reduktion führten die Autoren auf die erhöhte maximale Sauerstoffaufnahme zurück. Eine Verringerung der submaximalen Herzfrequenz von ungefähr zehn Schlägen pro Minute weist auf eine Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme um drei bis fünf Milliliter pro Kilogramm pro Minute hin (vgl. McMillan et al., 2005). In der aktuellen Studie sank bei der Kontrollgruppe die mittlere Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle signifikant (von 184,3 auf 182,7), allerdings sank auch die mittlere Geschwindigkeit an selbiger Schwelle von 13,9 auf 13,6, wodurch die verringerte Herzfrequenz nicht auf eine verbesserte Sauerstoffaufnahme zurückzuführen ist, wie auch die leicht verringerte maximale Sauerstoffaufnahme beim Retest im Vergleich zum Basistest belegt.

Ein weiterer signifikanter Unterschied zwischen den Testzeitpunkten wurde bei der Trainingsgruppe bei der Laktatelimination erkannt. Generell gilt, dass durch Ausdauertraining die Laktatelimination verbessert werden kann und gut ausdauertrainierte Personen höhere Laktatabbauraten aufweisen als weniger gut trainierte (vgl. Tomlin & Wenger, 2001; Juel et al., 2004; Bergman et al., 1999; Fukuba et al., 1999; Messonnier et al., 2006).

Bei zwei Trainings wurden stichprobenartig je zwei Spieler ausgewählt, bei denen nach jedem Intervall der Blutlaktatwert gemessen wurde. Diese bewegten sich zwischen zwei und sechs mmol/l.

Aus den vorliegenden Ergebnissen kann gefolgert werden, dass sich ein Intervalltraining in der gewählten Blockform positiv auf die Laktatelimination auswirkt.

Die Laufleistung beim Yo-Yo Intermittent Recovery Test (Level 1) konnte durch die Trainingsintervention um 14 Prozent verbessert werden. Dieser Test wurde speziell entwickelt, um die fußballspezifische intermittierende Ausdauerleistungsfähigkeit zu evaluieren (Castagna et al., 2009; Rampinini et al., 2009) und wird von Trainern häufig zur Aufzeichnung der kardiorespiratorischen Fitness bei Fußballspielern genutzt (Bangsbo et al., 2008).

Zahlreiche Studien zeigten einen hohen Zusammenhang zwischen der Laufleistung im Spiel und der Laufleistung beim Yo-Yo Test (Mohr et al., 2003; Krustup et al., 2003; Castagna et al., 2009). Zudem wurde belegt, dass die Leistung beim Yo-Yo Intermittent Recovery Test mit dem Anteil der Laufstrecke im hoch intensiven Bereich (> 13 km/h) stark korreliert (vgl. Castagna et al., 2009). Es liegt daher nahe, dass sich die Probanden der Trainingsgruppe auch in diesen Bereichen verbessert haben dürften.

Weitere signifikante Unterschiede wurden im Zuge der vorliegenden Untersuchung beim Running Anaerobic Sprint Test festgestellt. Der Test gilt als zuverlässiges Instrument zur Messung der laufspezifischen anaeroben Leistung (vgl. Zagatto et al., 2009).

Bei der Kontrollgruppe wurden bei der maximalen Leistung und beim Ermüdungsindex signifikante Unterschiede zwischen Basistest und Retest erkannt. Während sich die maximale Leistung verschlechterte, verbesserte sich der Ermüdungsindex der Probanden. Der Ermüdungsindex wird berechnet als maximale Leistung minus minimale Leistung dividiert durch die Gesamtzeit aller sechs Sprints. Im Fall der Kontrollgruppe lässt sich der verbesserte Ermüdungsindex anhand der schlechteren maximalen Leistung erklären. Obwohl die Probanden mehrmals aufgefordert wurden jeden Sprint maximal zu absolvieren, haben sich diese scheinbar ihre Kräfte eingeteilt, wodurch neben der

maximalen Leistung auch die Leistungsreduktion bei den weiteren Sprints reduziert wurde.

Im Unterschied zur Kontrollgruppe verzeichnete die Trainingsgruppe signifikante Unterschiede zwischen den Testzeitpunkten bei der durchschnittlichen Leistung sowie beim Ermüdungsindex, während es bei der maximalen Leistung keine signifikanten Unterschiede gab. Der verbesserte Ermüdungsindex lässt sich in diesem Fall auf eine geringere Leistungsreduktion zwischen den Sprints zurückführen. Die Trainingsgruppe hat sich ihre Leistung aber im Gegensatz zur Kontrollgruppe nicht eingeteilt, da die beste Sprintzeit unverändert blieb. In diesem Fall kann die Trainingsintervention für die Leistungsverbesserung beim RAST verantwortlich gemacht werden.

Dieser Test fand in vergleichbaren Studien bisher keine Anwendung, womit Vergleichswerte fehlen.

Die vorliegenden Ergebnisse unterstreichen die positive Wirkung eines High Intensity Intervall Trainings in Blockform auf die Schnelligkeitsausdauer, gemessen mittels Running Anaerobic Sprint Test.

## 5.4 Ergebnisse und Diskussion zum Übertraining (Oesen)

### 5.4.1 RESTQ – Sport

Kellmann et al. (1997, S.123-124) sehen in der Erholung mehr als nur die Ermüdungsbeseitigung. Oft wird der Begriff Regeneration synonym mit Begriffen wie Rekreation oder Wiederherstellung verwendet. Die Regeneration ist jedoch ein geplanter Prozess, in dem die individuell besten Handlungsvoraussetzungen für nachfolgende Aktivitäten gesetzt werden. Die Nutzung der vorhandenen Zeitressourcen für die Regeneration ist speziell im Profisport ob ihrer Knappheit unerlässlich. Der RESTQ – Sport- Fragebogen liefert durch gleichzeitiges Erfassen von Belastung und Erholung ein aussagekräftiges Bild über den aktuellen Beanspruchungsgrad einer Sportlerin/eines Sportlers (vgl. Kellmann et al. 1997, S.124).

Die Auswertung des RESTQ – Sport- Fragebogens geschieht über eine eigens dafür entwickelte Software. Zur Evaluation können die Mittelwerte der 19 Subtests in Form eines Diagramms angezeigt werden. Um die Entwicklungen zwischen den einzelnen Testzeitpunkten graphisch darstellen zu können wurden die Daten in das Programm Microsoft Excel übertragen. Die 19 Subtests werden nach ihrer Bedeutung für Stress und Erholung wiederum in 4 Abschnitte unterteilt. Im Diagramm ist diese Trennung durch eine gestrichelte horizontale Linie gekennzeichnet. Die vier Abschnitte sind:

Abschnitt 1: allgemeine Beanspruchungssubtests (emotionaler Stress, sozialer Stress, Müdigkeit, genereller Stress, Konflikte/Druck, somatische Beschwerden, Energielosigkeit);

Abschnitt 2: allgemeine Erholungssubtests (somatische Entspannung, generelles Wohlbefinden, Schlafqualität, soziale Entspannung, genereller Erfolg);

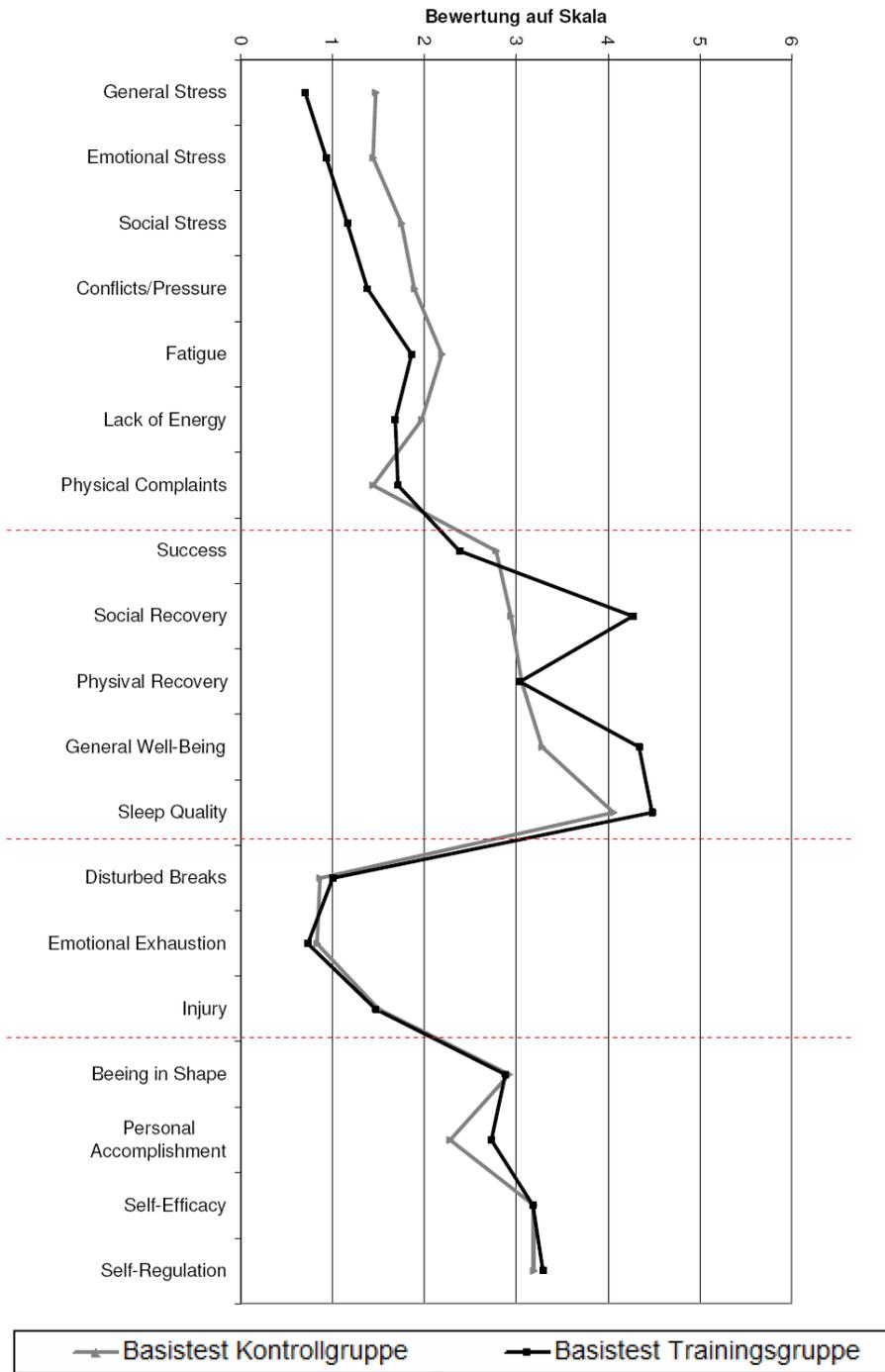
Abschnitt 3: sportspezifische Beanspruchungsskalen (emotionale Erschöpfung, Fitness/Verletzung, gestörte Pausen);

Abschnitt 4: sportspezifische Erholungssubtests (in Form sein, Burnout/persönliche Leistungsfähigkeit, Selbsteffizienz, Selbstregulation);

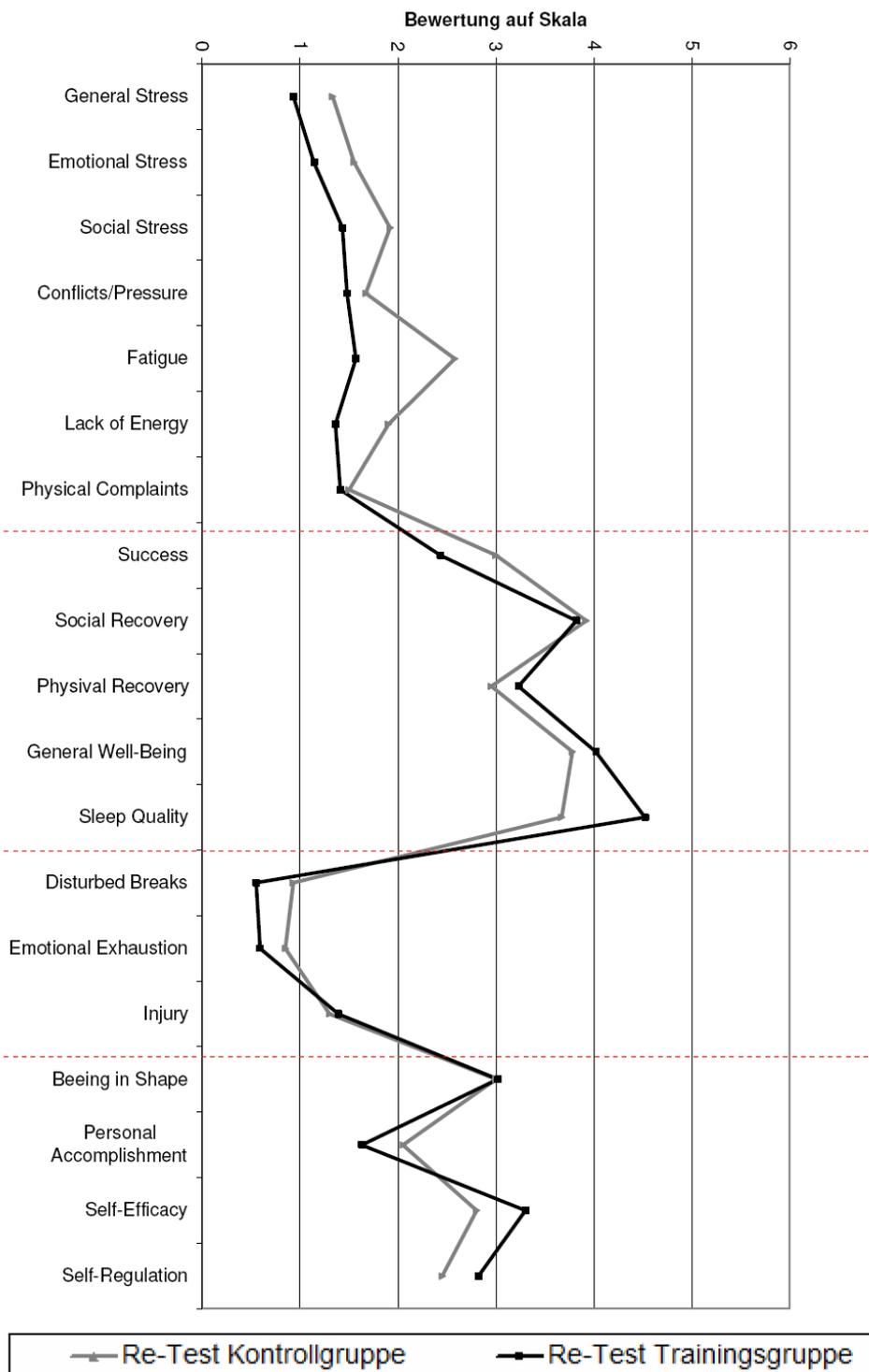
Die Werte für erholte SportlerInnen, die keinerlei Anzeichen von Stress, Befindlichkeitsstörungen oder emotionalen Beeinträchtigungen aufweisen, würden Bezug nehmend auf die vier Abschnitte also wie folgt aussehen: Die Beanspruchungsteile eins und drei würden niedrige Werte aufweisen, hingegen die mit Erholung verbundenen Abschnitte zwei und vier hohe Werte.

Um einen Überblick zu schaffen wurden die vier Hauptgruppen (1-4 Teile) mit der Software SPSS 17 berechnet, indem die Mittelwerte der zugehörigen Items berechnet wurden. Speziell im Verlauf der Trainingsgruppe wurden, bedingt durch das intensive Training, signifikante Unterschiede drei Tage nach der Intervention und den beiden anderen Testzeitpunkten erwartet.

Innerhalb der Kontrollgruppe (Test zu Retest) konnten, wie zu erwarten, keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Ebenso gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen der Test- und der Kontrollgruppe beim Basis- und beim Retest, wie in Abbildung 32 und 33 dargestellt. Als Methodik diente der T-Test bei unabhängigen Stichproben. Untersucht wurden die Unterschiede der vier Hauptgruppen (1-4 Teile).



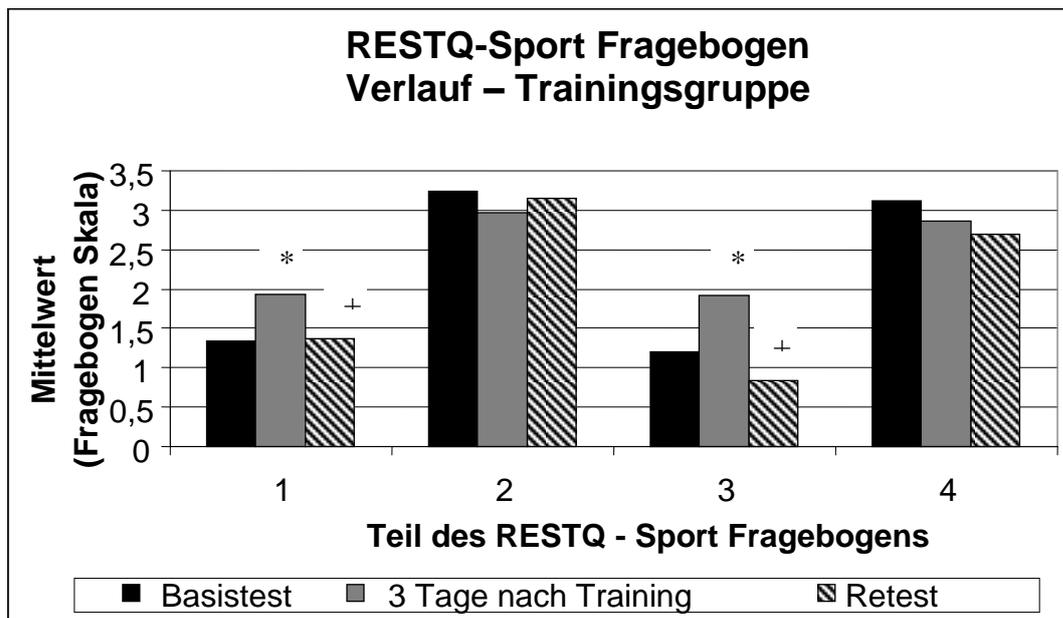
**Abbildung 32: Vergleich der Kontroll- und der Testgruppe beim Basistest. RESTQ – Sport Fragebogen.**



**Abbildung 33: Vergleich der Kontroll- und der Testgruppe beim Retest. RESTQ – Sport Fragebogen.**

Es wurden die wie oben beschriebenen Teile (1-4) zusammengefasst und mittels Varianzanalyse für abhängige Stichproben festgestellt beziehungsweise als Kontrolle dem T-Test für abhängige Stichproben (jeweils der Vergleich von zwei Testzeitpunkten) die statistischen Signifikanzen berechnet.

Untersucht wurde der Verlauf der Trainingsgruppe zu den drei unterschiedlichen Messzeitpunkten. Das statistische Prüfverfahren zeigte Signifikanzen ( $p=0.05$ ) bei Teil 1 und Teil 3. Anhand Abbildung 34 und 35 beziehungsweise der Interpretation des Mittelwerts kann man eine Tendenz erkennen. Teil 1 und Teil 3 sind Beanspruchungssubtests (allgemein und sportspezifisch). Eine signifikante Erhöhung der Mittelwerte in diesen Bereichen zeigt, dass drei Tage nach der Trainingsintervention bei der Trainingsgruppe eine erhöhte Beanspruchung festzustellen war. In den Teilen 2 und 4 (Erholungssubtests) konnten keine signifikanten Ergebnisse nachgewiesen werden.

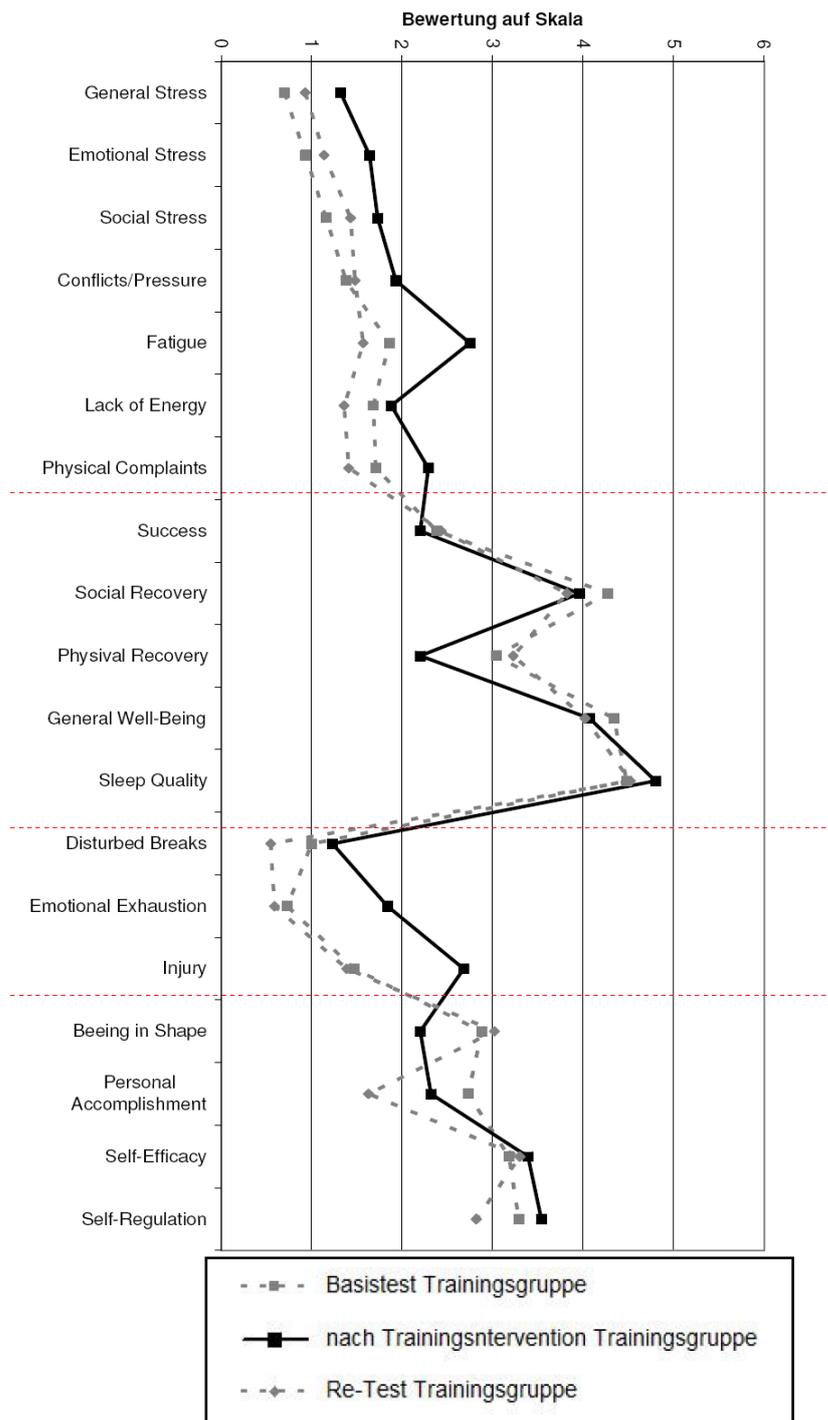


**Abbildung 34: Mittelwerte der Trainingsgruppe unterteilt in 4 Subtests (allgemeine Beanspruchungssubtests, allgemeine Erholungssubtests, sportspezifische Beanspruchungsskalen, sportspezifische Erholungssubtests) zu den drei Testzeitpunkten. \*= signifikanter Unterschied zum Basistest, += signifikanter Unterschied zum „3 Tage nach Training“ Test ( $p: 0.05$ ).**

Wie in Abbildung 34 zu erkennen ist, sind die Mittelwerte bei Teil 1 und Teil 3 drei Tage nach Trainingsintervention signifikant erhöht. Weiters sind die Unterschiede zwischen dem Test, der drei Tage nach der Intervention stattfand, und dem Retest bei den Teilen 1 und 3 signifikant.

Das heißt also, dass die Trainingsgruppe durch die Trainingsintervention erhöhte Werte in den Beanspruchungssubtests (allgemein und speziell) aufwies, dass diese jedoch bis zum Retest sieben Tage nach der Intervention schon wieder auf dem Basisniveau war.

In Abbildung 35 ist dieser Verlauf aufgeschlüsselt auf die 19 Subtests graphisch dargestellt. Die Teile eins bis vier sind wieder durch die horizontale, gestrichelte Linie von einander getrennt.



**Abbildung 35: Ergebnisse der Testgruppe zu den drei Messzeitpunkten. RESTQ – Sport Fragebogen.**

Diese Form der Auswertung ist nach Kallus und Kellmann (2001, S.124) umstritten. Die Autoren behaupten, dass die Zusammenfassung der Subtests in der Regel nicht gestattet sei, da weder eine lineare noch symmetrische Kovarianzstruktur bestünde, was die Qualität des Fragebogens in Frage stellt. Nichts desto trotz wurden in dieser Auswertung lediglich die Bereichssubtests zusammengefasst. Es bietet sich diese Form der Auswertung an, da ansonsten nur über einzelne Subtests Aussagen getroffen werden könnten. Werden nun die Bereichssubtests analysiert, so können globalere Aussagen

getroffen werden. Weiters sollte die vorhergehende Auswertung einen Überblick über die Ergebnisse verschaffen (siehe Abb. 9). Die Parameter wurden darüber hinaus einzeln ausgewertet. Die Parameter der Trainingsgruppe wiesen eine Normalverteilung der Differenzwerte auf. Die Stichprobengröße (n=14) bei der Trainingsgruppe wurde als ausreichend betrachtet und die Sphärizität war gegeben. War dies nicht der Fall, wurde die Greenhouse-Geisser Korrektur verwendet. Somit galten die Voraussetzungen für die einfache Varianzanalyse für abhängige Stichproben erfüllt.

Tabelle 9 zeigt die 19 Subtest, die Mittelwerte der Testzeitpunkte und eine eventuelle Signifikanz.

**Tabelle 9: Subtests der Trainingsgruppe im Verlauf der drei Messzeitpunkte.**

| Subtest                 | Bereichssubtest          | Mittelwert Basistest | Mittelwert 3 Tage nach Training | Mittelwert Retest | sig. |
|-------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------------|-------------------|------|
| General Stress          | allg. Beanspruchung      | 0,6964               | 1,32                            | 0,929             | *    |
| Emotional Stress        | allg. Beanspruchung      | 0,9286               | 1,64                            | 1,1429            | *    |
| Social Stress           | allg. Beanspruchung      | 1,161                | 1,73                            | 1,4286            |      |
| Conflicts/Pressure      | allg. Beanspruchung      | 1,375                | 1,93                            | 1,75              |      |
| Fatigue                 | allg. Beanspruchung      | 1,857                | 2,75                            | 1,571             | *    |
| Lack of Energy          | allg. Beanspruchung      | 1,679                | 1,88                            | 1,36              |      |
| Physical Complaints     | allg. Beanspruchung      | 1,7143               | 2,29                            | 1,4107            |      |
| Success                 | allg. Erholung           | 2,37                 | 2,2                             | 2,429             |      |
| Social Recovery         | allg. Erholung           | 4,27                 | 3,96                            | 3,82              |      |
| Physical Recovery       | allg. Erholung           | 3,04                 | 2,2                             | 3,232             | *    |
| General Well-Being      | allg. Erholung           | 4,3393               | 4,07                            | 4,02              |      |
| Sleep Quality           | allg. Erholung           | 2,2                  | 2,41                            | 2,2321            |      |
| Disturbed Breaks        | sportspez. Beanspruchung | 1,2857               | 1,23                            | 0,55              |      |
| Emotional Exhaustion    | sportspez. Beanspruchung | 0,73                 | 1,84                            | 0,59              | *    |
| Injury                  | sportspez. Beanspruchung | 1,61                 | 2,68                            | 1,393             | *    |
| Being in Shape          | sportspez. Erholung      | 2,875                | 2,2                             | 3,018             |      |
| Personal Accomplishment | sportspez. Erholung      | 3,14                 | 2,32                            | 1,625             |      |
| Self-Efficacy           | sportspez. Erholung      | 3,179                | 3,39                            | 3,3036            |      |
| Self-Regulation         | sportspez. Erholung      | 3,2857               | 3,54                            | 2,821             |      |

In Tabelle 9 wird noch einmal veranschaulicht, dass die signifikanten Unterschiede mit einer Ausnahme in den mit Beanspruchung und Stress verbundenen Subtests festgestellt wurden.

#### 5.4.1.1 Diskussion

Die Auswertung des Erholungs- Belastungs- Fragebogens zeigen in den mit Stress und Belastung verbundenen Bereichen eine signifikante Verschlechterung der Trainingsgruppe drei Tage nach der Intervention. Aber auch in den mit Erholung verbundenen Bereichen konnten bei einzelnen Subtests signifikante Unterschiede festgestellt werden. Ähnliche Ergebnisse fanden auch Jurimäe et al. (2004) bei einer Untersuchung mit Ruderern. Wie bei vorliegender Studie wurde auch hier ein Blocktraining absolviert (6 Tage, 12 Trainingseinheiten). Allerdings gab es Unterschiede die Intensität betreffend. Während die Sportler dieser Studie ausschließlich hoch intensive Trainings durchführten, wurde bei Jurimäe et al. (2004) weniger intensiv, dafür aber umfangbetonter trainiert. 85% des Trainings wurden im niedrig intensiven Bereich absolviert, 5% im hoch intensiven Bereich und 10% waren Krafttrainingseinheiten. Die Befragung der Ruderer mittels RESTQ – Sport- Fragebogen wurde unmittelbar vor und nach der Trainingsintervention durchgeführt. Ebenso wie in dieser Studie wurden signifikante Unterschiede bei den Subtests „Fatigue“ (Übermüdung) und „Injury“ (Verletzung) festgestellt. Darüber hinaus stellten Jurimäe et al. (2004) signifikante Unterschiede bei folgenden Subtests fest: „Physical Complaints“, „Success“, „Social Recovery“, „Sleep Quality“ und „Being in Shape“.

Jurimäe et al. (2004) beziehen sich bei der Interpretation ihrer Ergebnisse auf vorhergegangene Studien und sehen die Ursache in einer Dosis- Wirkungs- Beziehung von Trainingsumfang und der subjektiven Befindlichkeit von Stress und Erholung. Es wird in der Literatur berichtet, dass die Erhöhung des Umfangs einen direkten Einfluss auf die Befindlichkeit hat. Den Resultaten dieser Studie zu Folge ist jedoch ein zeitlich begrenztes, jedoch hoch intensives Training ebenso in der Lage, Störungen in der Befindlichkeit zu verursachen. Bei Jurimäe et al. (2004) wurden auch signifikante Unterschiede in Subtests erzielt die mit Erholung verbunden sind. Dies führen die Autoren auf eine inadäquate Regeneration zwischen den Trainingseinheiten zurück. Mit der Ausnahme der körperlichen Erholung („Physical Recovery“) konnten bei dieser Studie keine signifikanten Unterschiede in den mit Erholung verbundenen Subtests verzeichnet werden. Daraus könnte Folgendes geschlossen werden. Durch den kurzen Umfang, welcher durch die Intensität kompensiert wurde, verlängerte sich die Regenerationszeit für die Sportler und es kam zu keinen eklatanten Verschlechterungen der Erholung.

Jurimäe et al. (2004) berichten, dass vor allem der Parameter „Fatigue“, also die Übermüdung, ein sensibler Marker für Überlastungszustände ist, während die allgemeine Belastung „General Stress“ bei Umfangs- oder Intensitätssteigerungen relativ lange Zeit

unverändert bleibt. In vorliegender Studie waren beide Subtests nach dem Training signifikant erhöht, was auch einen beginnenden Überlastungszustand im Sinne eines funktionellen "over-reachings" schließen lassen kann.

Die Individualität der psychischen Reaktion auf Belastung spricht natürlich nicht für eine Zusammenfassung von Probanden oder Subtests. So beschreiben Kellmann et al. (1997) in ihrer Untersuchung der Junioren Nationalmannschaft des Deutschen Ruderverbandes vor allem auch Fallbeispiele und deren Problematik beziehungsweise Kuration. Kellmann et al. (1997) gehen auf individuelle Probleme ein. So werden in den Fallbeispielen selbiger Studie die möglichen Ursachen abnormer Werte einzelner SportlerInnen erhoben und deren Lösungsansätze diskutiert. Der RESTQ – Sport- Fragebogen ist ein ökonomisches Mittel zur Früherkennung von Überlastungszuständen. Gemeinsam mit biochemischen Markern kann er für die "over-reaching"- und Übertrainingsdiagnostik sicherlich wertvoll sein.

#### 5.4.2 Muskuläre Biomarker

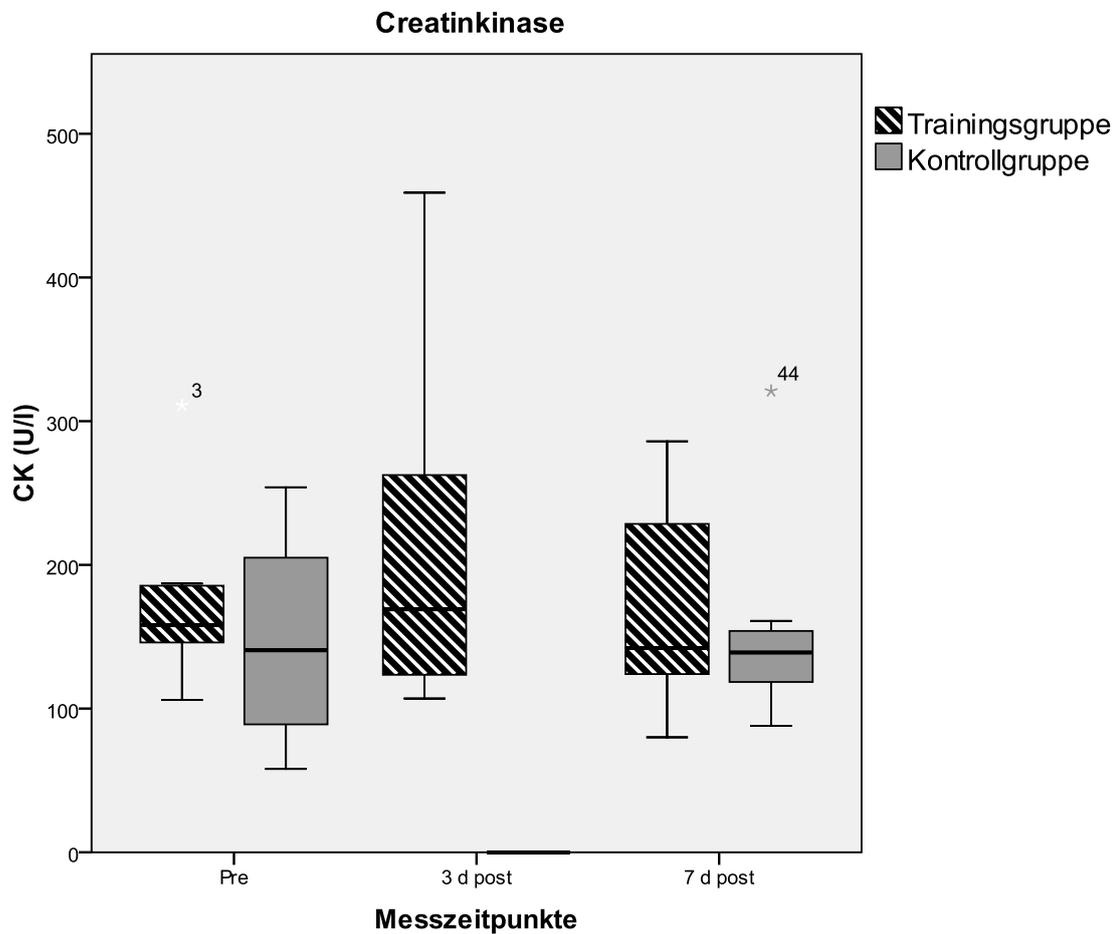
Die verwendete Einheit zur Messung der Creatinkinasekonzentration im Serum war U/l (units per liter/Einheiten pro Liter). Die Myoglobinkonzentration wurde gemessen in ng/ml (Nanogramm pro Milliliter). Die Referenzwerte bzw. Normalwerte beider Parameter liegen bei <171U/l (CK) und 23-72ng/ml (Myoglobin). Nachdem beide Parameter durch eine (belastungsinduzierte) Permeabilitätsstörung der Zellmembran in das Serum gelangen, wird im "over-reaching" und auch im Übertraining eine Erhöhung der Werte angenommen.

Aus den Referenzwerten lässt sich schließen, dass die Mittelwerte der Trainingsgruppe der Creatinkinasekonzentration vor (174,5) und drei Tage nach (209,5) der Intervention über dem Normwert lagen (in Tabelle 10 grau hinterlegt). Nachdem die Zeit der Durchführung der Studie unmittelbar an das Ende des Spielbetriebs anschloss, ist die leichte Überschreitung des Normwerts vor Beginn der Intervention nicht ungewöhnlich.

Die statistische Auswertung ergab jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten, weder bei der Creatinkinase noch beim Myoglobin. Eine Tendenz, vor allem die Creatinkinasekonzentration betreffend, ist im Verlauf der Trainingsgruppe jedoch nicht von der Hand zu weisen (siehe Tabelle 10). Nachdem Fabian et al. (2004) von einer guten Korrelation zwischen Myoglobin und der Creatinkinase berichten, wurde auch der Zusammenhang dieser Marker mittels statistischen Verfahrens (Pearson Korrelation) geprüft, es konnte jedoch keine Signifikanz nachgewiesen werden.

**Tabelle 10: Deskriptive Statistik: Creatinkinase (U/l) und Myoglobin (ng/ml). Mittelwerte (+/- Standardabweichung).**

| Gruppe                | Basistest        |                 | 3 Tage nach Trainingsintervention |                 | Retest           |                 |
|-----------------------|------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|
|                       | Creatinkinase    | Myoglobin       | Creatinkinase                     | Myoglobin       | Creatinkinase    | Myoglobin       |
| Trainingsgruppe (n=8) | 174,5<br>(+60,7) | 34,6<br>(+13,4) | 209,5<br>(+117,9)                 | 39,6<br>(+10,5) | 169,4<br>(+76,2) | 35,5<br>(+16,1) |
| Kontrollgruppe (n=8)  | 147,6<br>(+72,6) | 33,6<br>(+11,8) |                                   |                 | 154,0<br>(+71,2) | 31,9<br>(+6,7)  |



**Abbildung 36: Verlauf der Creatinkinasekonzentration.**

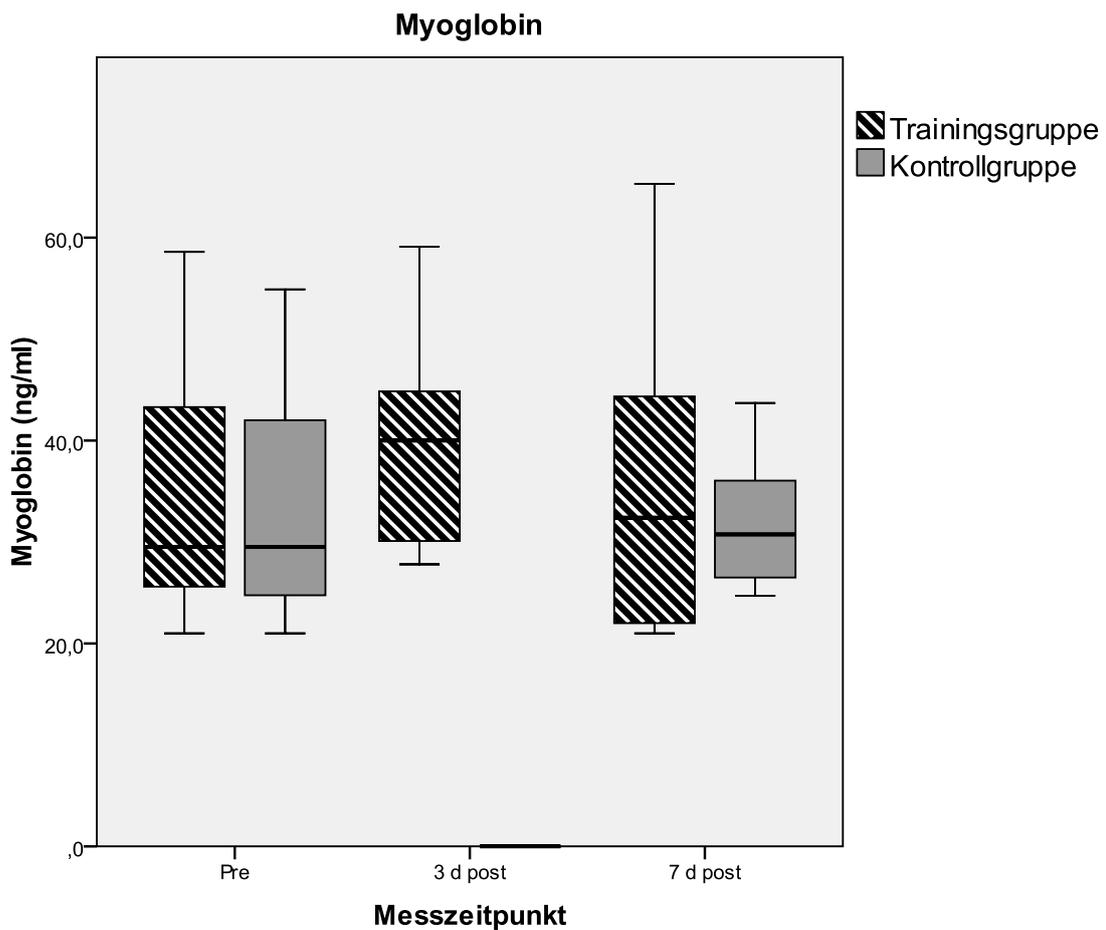


Abbildung 37: Verlauf der Myoglobinkonzentration.

#### 5.4.2.1 Diskussion

Auffallend ist bei den Ergebnissen der Umstand, dass die Streuung der Creatinkinase-Aktivität drei Tage nach der Intervention am höchsten ist. Dies könnte man einerseits darauf zurückführen, dass besser trainierte Athleten schneller regenerieren, oder dass die Regenerationszeit unterschiedlich gestaltet wurde. Weiters ist davon auszugehen, dass die Theorie von Urhausen und Kindermann (2000), wonach es Responder und Non-Responder gibt, dadurch bestätigt wird. Betrachtet man die Streuung der Myoglobinwerte, so erkennt man, dass diese über die Messzeitpunkte hinweg relativ stabil ist.

Zum Vergleich von bisherigen Studien, in denen die CK-Aktivität und die Myoglobinkonzentration als Marker für Überlastungszustände verwendet wurden, sei zu Beginn eine Studie von Neubauer et al. (2008) genannt. Die Untersuchung beschreibt den Verlauf muskulärer Übertrainingsmarker nach einem Ironman- Triathlon. Wie in Abbildung 15 bereits dargestellt, wurden folgende Messzeitpunkte festgelegt: vor dem Rennen um

Basiswerte zu erhalten; unmittelbar nach dem Rennen beziehungsweise einen, fünf und 19 Tage nach dem Rennen; Zu erwähnen ist, dass nach dem Wettkampf das Training mit sehr niedriger Intensität und niedrigem Umfang wieder aufgenommen wurde. Das heißt, es wurde im Vergleich zu vorliegender Studie keine totale Regeneration vollzogen. Neubauer et al. (2008) konnten sehr wohl eine signifikante Erhöhung beider Parameter im Vergleich mit den Basiswerten erkennen. Das Plasma- Myoglobin erreichte unmittelbar nach dem Wettkampf seinen Höhepunkt und flachte dann ab. Beachtlich war, dass selbst 19 Tage nach dem Wettkampf im Vergleich zum Basiswert eine signifikant höhere Myoglobinkonzentration gemessen wurde. Die Creatinkinase zeigte im Vergleich zum Myoglobin eine verzögerte Reaktion und erreichte seine maximale Plasmakonzentration erst einen Tag nach dem Wettkampf. Während beim Myoglobin die Konzentration bei allen Messzeitpunkten signifikant höher war als vor dem Wettkampf, war die Creatinkinasekonzentration unmittelbar nach und einen beziehungsweise fünf Tage nach dem Rennen, jedoch nicht 19 Tage nach dem Rennen signifikant erhöht.

Diese Studie bestätigt, dass die Messzeitpunkte in vorliegender Studie mit drei und sieben Tagen nach der Intervention keinesfalls zu spät waren. Durch die Sensibilität in der Myoglobinreaktion könnte man schließen, dass dieser Wert eventuell schon wieder normalisiert war, jedoch hätte man im CK- Wert eine muskuläre Schädigung erkennen können, hätte es eine solche gegeben.

Einer Studie von Fabian et al. (2004) zufolge kann man durchaus davon ausgehen, dass sich der CK- Wert der Trainingsgruppe drei Tage nach der Intervention wieder normalisiert hat. Bei der Untersuchung dieser Autoren von Marathonläufern wurde der maximale CK- Wert 24 Stunden nach einem Marathon gemessen. Bereits nach 48 Stunden konnte keine signifikante Erhöhung mehr nachgewiesen werden.

Neubauer et al. (2008) verbinden das Auftreten dieser Parameter im Plasma oder Serum mit Reparaturprozessen der Muskulatur, welche den Autoren zufolge ein wichtiger Bestandteil der muskulären Adaptation ist. Fabian et al. (2004) glaubt jedoch, dass eine positive Trainingsadaptation dann stattgefunden hat, wenn der CK- Wert innerhalb der biologischen Halbwertszeit von 18 Stunden wieder abgebaut wurde, was im Falle der vorliegenden Studie eingetreten ist.

Auch Gleeson (2002, S.35-36) berichtet, dass muskuläre Schäden im Overtraining und auch im "over-reaching" eine Rolle spielen. Viele Athletinnen und Athleten berichten von Schmerzen in der Muskulatur. Verglichen mit den Ergebnissen des RESTQ – Sport-Fragebogens dieser Studie, kann im Subtest „somatische Beschwerden“ (physical

complaints) keine signifikante Erhöhung des Mittelwerts der Trainingsgruppe festgestellt werden. Lediglich eine Tendenz ist zu erkennen. Das heißt, die nicht vorhandenen Erhöhungen betreffend die Creatinkinase- und Myoglobinkonzentration spiegeln sich auch in den zugehörigen Subtests des Befindlichkeitsfragebogens wieder. Der Umkehrschluss ist jedoch nicht zulässig. Nur weil die Athletin/der Athlet Schmerzen in der Muskulatur verspürt, sind nicht automatisch erhöhte CK- und Myoglobin- Werte anzunehmen (Gleeson, 2002, S.35-36).

Stiglbauer (2009) wählte in seiner Studie eine ähnliche High- Intensity- Blocktrainingsform. Es wurden 14 Trainingseinheiten in zwei Wochen absolviert. Die Intensität lag bei 90-95% der maximalen Sauerstoffaufnahme. Somit besteht, das Trainingsprotokoll betreffend eine hervorragende Vergleichbarkeit. Ebenso wurde bei dieser Studie die Creatinkinasekonzentrationen im Serum der Spieler gemessen. Die Messungen wurden 12 beziehungsweise 24 Stunden nach der Intervention durchgeführt. Während nach der dritten Einheit noch keine signifikanten Unterschiede messbar waren, so war dies nach der 7., 10. und 14. Einheit der Fall. Der höchste erreichte Mittelwert lag nach der 10. Einheit bei 563u/l.

Stiglbauer (2009) führte die Messungen nach der 3. und 10. Einheit 12 Stunden nach der 7. und 14. Einheit 24 Stunden nach der Intervention durch. Die höheren Werte bei den Messungen 12 Stunden nach der Intervention im Vergleich zu jenen 24 Stunden nach der Intervention, trotz fortwährendem Trainings, lassen den Autor darauf schließen, dass der Anstieg der CK- Aktivität seinen Höhepunkt 12 Stunden nach Belastung erreicht. Bei den Retests, die bereits drei Tage später durchgeführt wurden, unterschied sich der Mittelwert (202u/l) schon nicht mehr signifikant von der Ausgangstestung. Der Mittelwert der Probanden dieser Studie lag bei den Testungen drei Tage nach der Intervention annähernd auf dem gleichen Niveau (209,5u/l).

Man könnte aus den Ergebnissen genannter Studien für vorliegende Studie also schlussfolgern, dass es zu keiner groben Schädigung der Muskulatur, genauer gesagt der Zellmembran der Muskelzellen, gekommen ist. Mit dem Hintergrund, dass jedoch in dieser Studie Leistungssteigerungen erzielt wurden, kann man von adäquaten Belastungen sprechen, da nach der Regenerationszeit nichts auf eine Schädigung der Muskulatur hingewiesen hat. Fabian et al. (2004) gehen davon aus, dass ein erhöhter CK- Wert nach der vorgesehenen Regeneration auf eine Zellschädigung zurückzuführen ist, was dem Trainingseffekt entgegen wirkt.

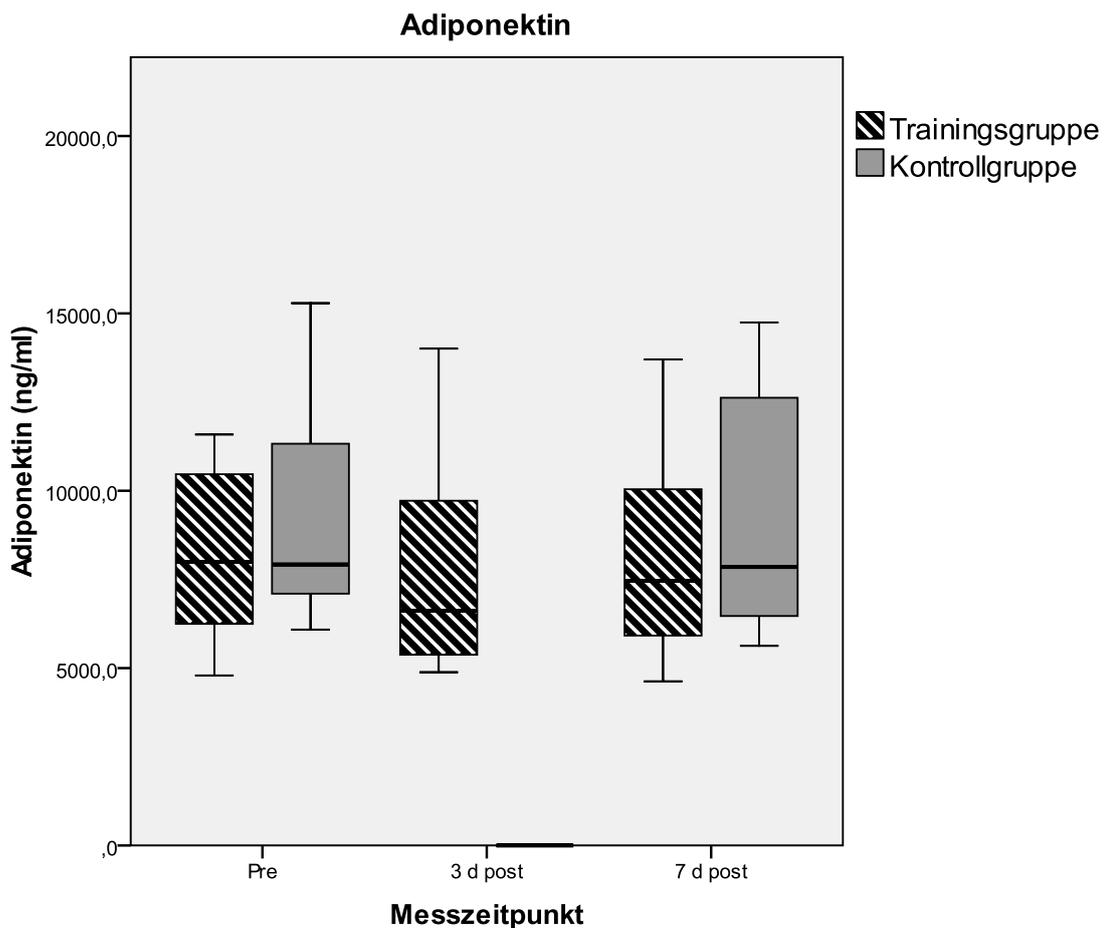
Im Vergleich mit der durchaus ähnlichen Untersuchung von Stiglbauer (2009) lässt sich für das fußballspezifische High- Intensity- Blocktraining in Ausdauerform folgende

Aussage treffen: Die Belastungen führen ob ihrer hohen Intensität sehr wohl zu einem Anstieg der Creatinkinaseaktivität (und vermutlich auch zu erhöhten Myoglobinwerten), jedoch führt der trainingsinduzierte Stress nicht für eine dauerhafte Schädigung der Zellmembran.

### 5.4.3 Peptidhormone

Die Adiponektinkonzentration im Serum, gemessen in Nanogramm pro Milliliter, sollte beim erwachsenen Mann in etwa zwischen 865ng/ml und 21424ng/ml liegen. Die starke Streuung bei diesem Wert ist damit zu erklären, dass der Wert des Adiponektins negativ mit dem Fettanteil des Menschen korreliert. So weisen adipöse Menschen beispielsweise einen sehr geringen Spiegel auf. Im Bezug auf Überlastungszustände ist zu bemerken, dass Jurimäe et al. (2010, S.6) in einer ihrer Studien festgestellt haben, dass bei inadäquater Erholung der Adiponektinspiegel sinkt. So könnte also eine geringere Serumkonzentration nach der Belastung auf ein "over-reaching" hinweisen.

Abbildung 38 zeigt den Verlauf der Adiponektinkonzentration während der drei Messzeitpunkte. Es konnten keine signifikanten Unterschiede, weder bei der Trainings- noch bei der Kontrollgruppe festgestellt werden. Tendenziell ist der Wert bei der Trainingsgruppe drei Tage nach der Intervention etwas gesunken. Weiters ist zu bemerken, dass alle gemessenen Werte innerhalb des Referenzbereichs lagen, was sicherlich auch auf die hohe Streuung der Norm zurückzuführen ist.

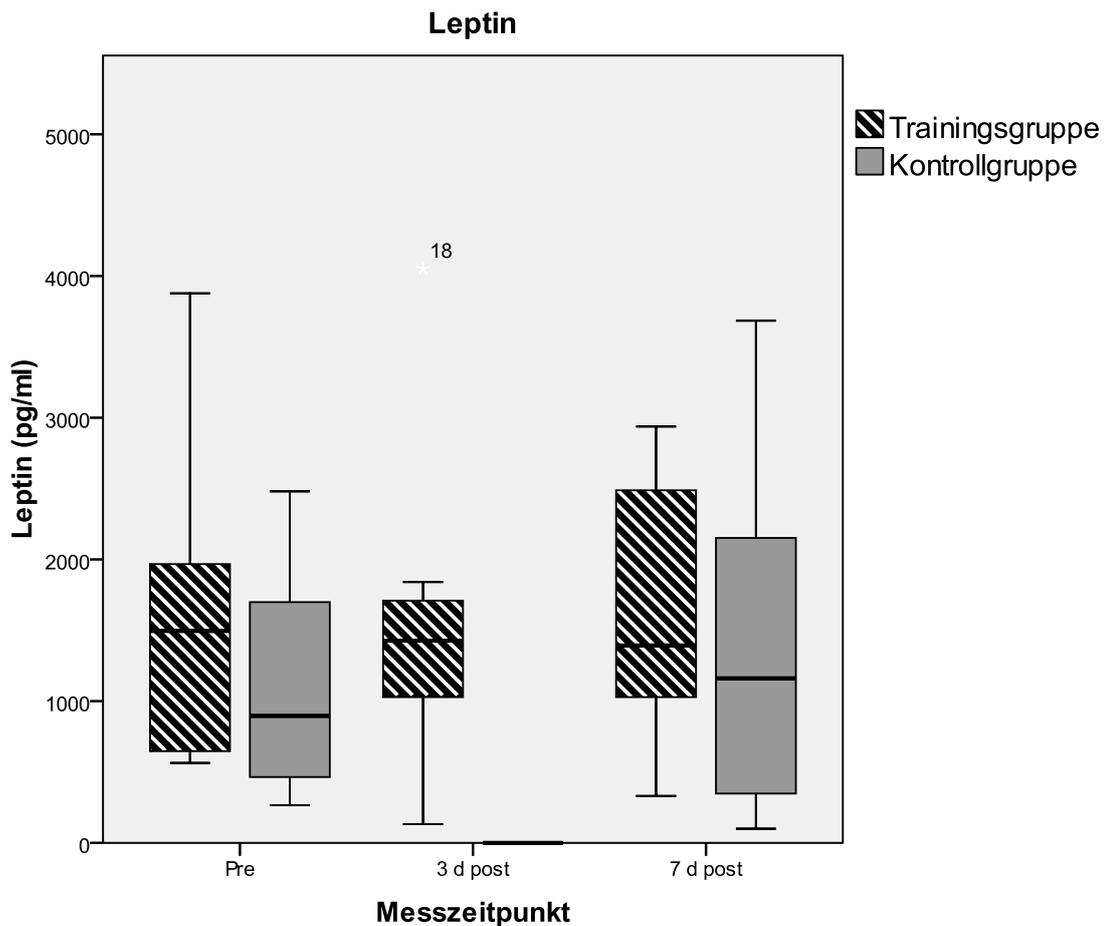


**Abbildung 38: Verlauf der Adiponektinkonzentration.**

Das Leptin korreliert gegenteilig zum Adiponektin positiv mit dem Fettgehalt des Körpers. Daher ist die Konzentration bei trainierten Personen relativ gering. Die Normwerte liegen bei 2205pg/ml – 11149pg/ml. Die in dieser Studie gemessenen Werte liegen somit alle unterhalb des Normalbereichs.

Wie beschrieben gibt der Leptinwert Auskunft über den Energiehaushalt und nimmt ab, wenn die Kalorienzufuhr insuffizient ist (Jurimäe et al., 2010, S.2). Daher wird bei Überlastungszuständen eine Abnahme des Leptinwerts durch eine gestörte Energiehomöostase erwartet, was auf einen katabolen Zustand des Organismus hindeutet. Wie in Abbildung 39 dargestellt konnten im Verlauf der Messzeitpunkte keine signifikanten Differenzen der Leptinwerte festgestellt werden, weder bei der Trainings- noch bei der Kontrollgruppe.

Eine Korrelation (Pearson Korrelation) vorliegender Adiponektin- und Leptin- Werte ergab keinen signifikanten Zusammenhang.



**Abbildung 39: Verlauf der Leptinkonzentration.**

Weiters wurden in der Studie der Körperfettanteil und der Body-Mass-Index beim Basistest sowie sieben Tage nach der Intervention erhoben. Es konnten bei beiden Parametern keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten (Training- und Kontrollgruppe) sowie zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Die angewandten Verfahren waren der T-Test für verbundene Stichproben sowie eine univariate Varianzanalyse mit dem Zwischensubjektfaktor Gruppe.

Auch eine Korrelation zwischen dem BMI, dem Körperfettanteil, dem Adiponektin und dem Leptin wurde geprüft. Der Literatur nach sollte es wie oben erwähnt einen solchen Zusammenhang geben. Nachdem die Normalverteilung gegeben war, wurde eine Pearson-Korrelation durchgeführt. Bei diesem Verfahren wurde nicht gruppenspezifisch ausgewertet. Die Auswertung zeigte eine signifikante Korrelation des Körperfettanteils mit dem Leptin bei beiden Messzeitpunkten (Tabelle 11).

**Tabelle 11: Korrelation zwischen Körperfettanteil und Leptin.**

| Korrelation          |                          |          |
|----------------------|--------------------------|----------|
|                      |                          | Leptin 1 |
| Körperfett Basistest | Korrelation nach Pearson | ,598*    |
|                      | Signifikanz (2-seitig)   | 0,014    |
|                      | N                        | 16       |
|                      |                          | Leptin 2 |
| Körperfett Retest    | Korrelation nach Pearson | ,720**   |
|                      | Signifikanz (2-seitig)   | 0,002    |
|                      | N                        | 16       |

#### 5.4.3.1 Diskussion

Jurimäe et al. (2010, S.6) berichten bei einer Studie mit Ruderern, welche nach einem 6-monatigem intensiven Training einen Vergleich der gut und schlecht Trainierten anstellten, ausschließlich von einer Abnahme des Parameters bei den schlechter Trainierten. Die Autoren führen dies auf einen inadäquaten Erholungszustand der Athleten zurück. Zu beachten ist, dass in dieser Studie die Adiponektinkonzentration nach einer Ausbelastung (2000m maximales Rudern) gemessen wurde.

Die Tatsache, dass weder beim Adiponektin noch beim Leptin Veränderungen festgestellt werden konnten, deckt sich mit den Ergebnissen von Kraemer et al. (2003), der ebenfalls keine Signifikanzen Bezug nehmend auf das Adiponektin nach intensiver Belastung mit Läufem feststellen konnte. In zwei Versuchen wurden die Probanden für 30 Minuten intensiv belastet (79% der  $VO_2max.$  bzw. Steigerungslauf mit 60, 75, 90 und 100% der  $VO_2max.$ ). Obwohl die Messung unmittelbar nach Belastung durchgeführt wurde, konnten keine signifikanten Veränderungen zwischen Trainings- und Kontrollgruppe festgestellt werden.

Als weiterer Vergleich dient eine Studie von Jurimäe und Jurimäe (2003), in welcher ebenfalls das Verhalten des Leptinspiegels nach kurzzeitiger intensiver Belastung untersucht wurde. 13 Ruderer führten einen 30-minütigen maximalen Ruderergometertest durch. Die Leptinkonzentration im Plasma wurde vorher, unmittelbar nachher und 30 Minuten danach gemessen. In diesem Fall wurde, im Unterschied zu dieser Studie, eine signifikante Abnahme des Leptins zu beiden Messzeitpunkten nachgewiesen. Die Autoren beschreiben, dass Leptin ein sensibler Marker bei Kurzzeitbelastungen ist, allerdings muss ein großer Teil der Muskelmasse bewegt werden. Zu diesem Schluss kommen

Jurimäe und Jurimäe (2005), weil in den bisherigen Studien, in denen keine signifikante Abnahme festgestellt wurde, nur die unteren Extremitäten bewegt wurden.

In den bisher genannten Vergleichsstudien wurde die Plasmakonzentration des Adiponektins beziehungsweise des Leptins unmittelbar nach Belastung gemessen. Jurimäe et al. (2010, S.7) stellen fest, dass lediglich der Adiponektinspiegel nach Belastung Aussagekraft über den Erholungszustand hat, nicht jedoch das Ruheadiponektin. Dieser Umstand würde gegen den Messzeitpunkt vorliegender Studie sprechen, da die Messung morgens und in Ruhe stattfand.

Betrachtet man nun den Verlauf des Leptins, so ist festzustellen, dass alle Mittelwerte (Trainings- und Kontrollgruppe) unterhalb der Norm liegen, was jedoch nicht ungewöhnlich ist. Jurimäe et al. (2010, S.2) bestätigen, dass Trainierte ob ihres geringeren Körperfettanteils einen niedrigen Leptinspiegel haben. Verglichen mit den Mittelwerten der Studie von Jurimäe und Jurimäe (2003) sind die Basiswerte der Probanden dieser Studie allerdings noch stets sehr viel geringer. Bei dieser Studie wurden 1,58ng/ml bei der Trainingsgruppe gemessen. Die Ruderer wiesen 2,7ng/ml auf. Die Ursache dafür liegt höchstwahrscheinlich in der unterschiedlichen Konstitution der Ruderer.

Die Autoren stellen weiter fest, dass eine Veränderung des Leptins, aber auch des Adiponektins meist nur dann stattfindet, wenn in sehr hohen Umfängen trainiert wird. Bei geringerer Intensität greift der Organismus vermehrt auf den Fettstoffwechsel zu. Durch den direkten Zusammenhang der Parameter mit dem Körperfett, werden die Peptide also eher bei extensiven Trainingsformen beeinflusst. Die Belastungscharakteristik des High-Intensity- Intervalltrainings sind sehr hohe Intensitäten bei geringen Umfängen. Dies ist eine mögliche Erklärung dafür, dass sich bei diesen Parametern keine Veränderung ergeben hat. Nun beschreiben Jurimäe et al. (2010, S.3), dass die Peptide nur dann beeinflusst werden, wenn der Körper über ungenügende Energiereserven verfügt. Das heißt, eine negative Energiebilanz zwingt den Körper auf die Fettdepots zurückzugreifen. Daraus schlussfolgernd konnte die Energiehomöostase der Probanden dieser Studie aufrechterhalten bleiben. Die oben genannten Ergebnisse zum Body-Mass-Index sowie zum Körperfettanteil zeigen, dass tatsächlich keine signifikante Gewichts- oder Körperfettreduktion stattfand.

Außerdem wird bei einer anfänglichen Gewichtsreduktion zunächst das subkutane und nicht das viszerale Fett abgebaut. Adiponektin wird jedoch hauptsächlich vom viszeralen Fett sezerniert. Jurimäe et al. (2010, S.6) zeigen durch eine Studie mit Bodybuildern, dass

die Gewichtsreduktion im Sinne der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung nicht unbedingt den Adiponektinspiegel beeinflussen muss, da vor allem subkutanes Fett abgebaut wird.

Zusammenfassend können die Ergebnisse dieser Parameter wie folgt interpretiert werden: Die kurzen jedoch intensiven Trainingseinheiten führten zu keinen Veränderungen, weder beim Leptingehalt noch beim Adiponektinspiegel. Das schließt ein, dass die Probanden die Energiebilanz ausgeglichen halten konnten. Wäre dies nicht der Fall gewesen, hätte man dadurch eine Reaktion in den Markern feststellen können. Das Symptom der unzureichenden Kalorienaufnahme im "over-reaching" oder Übertraining spiegelte sich bei den Probanden dieser Studie nicht wieder.

Ein wirklich sensibler Parameter, so Jurimäe und Jurimäe (2003, S.8) ist das Leptin allerdings nur, wenn die ganze Muskelmasse eingesetzt wird, und die Konzentration unmittelbar nach Belastung gemessen wird. Von Ersterem könnte man im Fußball bei einer Spielform ausgehen. Wählt man den Messzeitpunkt drei Tage nach der Intervention, so wie in dieser Studie, so muss man sich im Klaren sein, dass man nur dann eine Veränderung misst, wenn der Proband wirklich eine gestörte Energiehomöostase aufweist. Als Mittel zur "over-reaching"- Diagnostik ist der Zeitpunkt richtig gewählt. Will man lediglich die physische Stressbelastung einer einzelnen intensiven Einheit prüfen, muss die Messung unmittelbar danach erfolgen.

#### 5.4.4 Kardiale Parameter

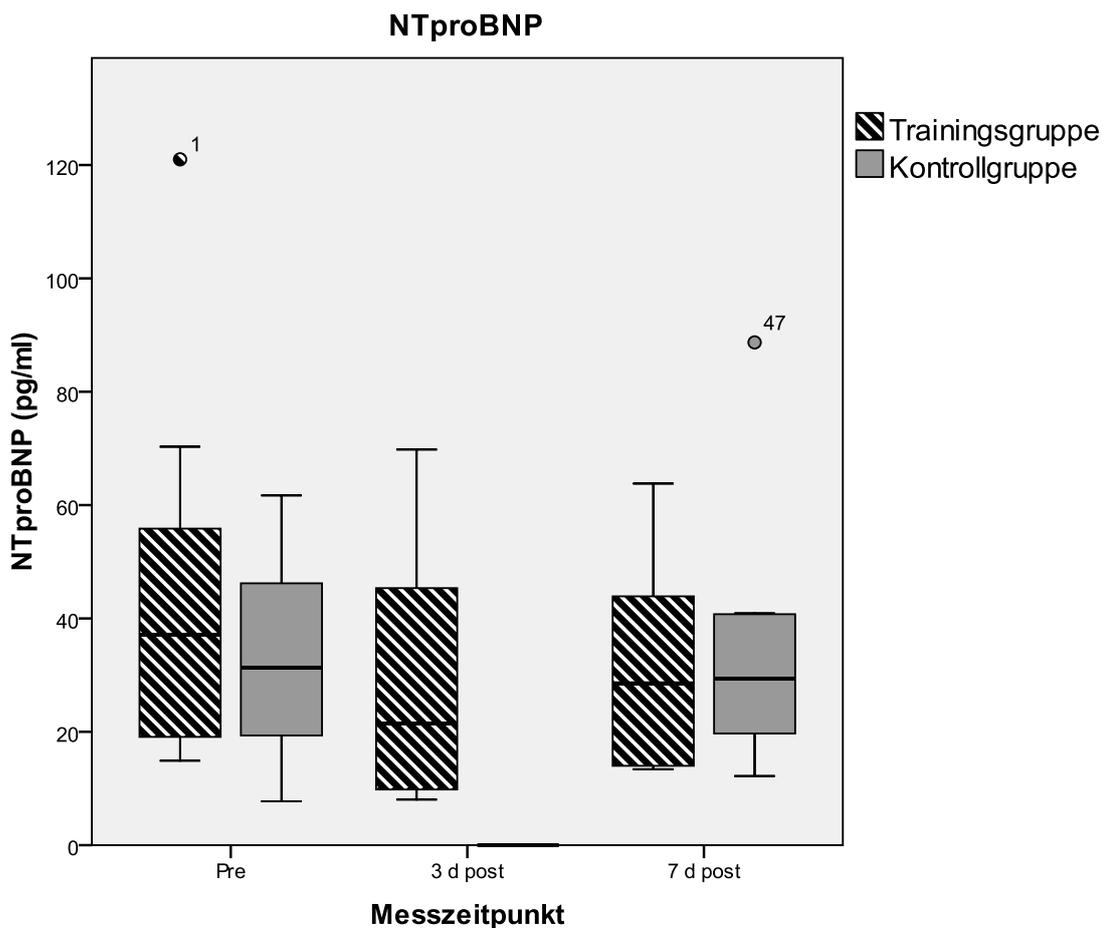
Als kardiale Marker wurden in dieser Studie Troponin (TN-T) und N-Terminal Pro-Brain Natriuretic Peptide (NTproBNP) verwendet. Die Werte des Troponins lagen bei allen Probanden zu allen Messzeitpunkten unter dem Threshold (Wert  $<0.010\text{ng/ml}$ ). Das heißt, die Menge im Serum lag unter dem messbaren Bereich für dieses Testkit. Somit kann ein Verlauf im Zuge der Untersuchung nicht dargestellt werden. Eine Möglichkeit wäre es, mit einem sensibleren Testkit zu messen.

Die NTproBNP Konzentration in Picogramm pro Milliliter gemessen, also dem billionstel Teil eines Gramms, hat einen Normalbereich von  $0-450\text{pg/ml}$ . Banfi et al. (2010, S.1370) geben die pathologische Grenze schon bei  $125\text{pg/ml}$  an. Die Mittelwerte des NTproBNP's der drei Messzeitpunkte werden in Tabelle 12 veranschaulicht.

**Tabelle 12: Verlauf der NT-proBNP (pg/ml) Mittelwerte (+-Standardabweichung)**

| Gruppe                | Basistest       | 3 Tage nach Trainingsintervention | Retest          |
|-----------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| Trainingsgruppe (n=8) | 45,0<br>(±35,5) | 28,9<br>(±22,5)                   | 31,3<br>(±18,8) |
| Kontrollgruppe (n=8)  | 32,9<br>(±18,6) |                                   | 35,1<br>(±24,0) |

Abbildung 40 zeigt eine graphische Darstellung der NTproBNP- Konzentrationen zu den drei Messzeitpunkten. Es konnten im Zuge einer Varianzanalyse mit Messwiederholung keine signifikanten Unterschiede zu den drei Messzeitpunkten festgestellt werden. Ebenfalls nicht signifikant war der Unterschied zwischen Trainings- und Kontrollgruppe. Abbildung 40 zeigt wider der erwarteten Steigerung des NTproBNP's im Zuge einer kardialen Schädigung sogar die Tendenz zum Abfall drei Tage nach der Intervention.



**Abbildung 40: Verlauf der NTproBNP – Konzentration.**

#### 5.4.4.1 Diskussion

Vidotto et al. (2005, S.645) bezeichnet die Parameter NTproBNP und kardiales Troponin als mögliche Marker um Abnormitäten des Herzens bei Athleten und Athletinnen festzustellen. Ähnlich wie der Mechanismus bei den muskulären Parametern gehen O`Hanlon et al. (2010) davon aus, dass die Ursache für die Freisetzung von Troponin und NTproBNP in einer Permeabilitätsstörung der Zellmembran liegt.

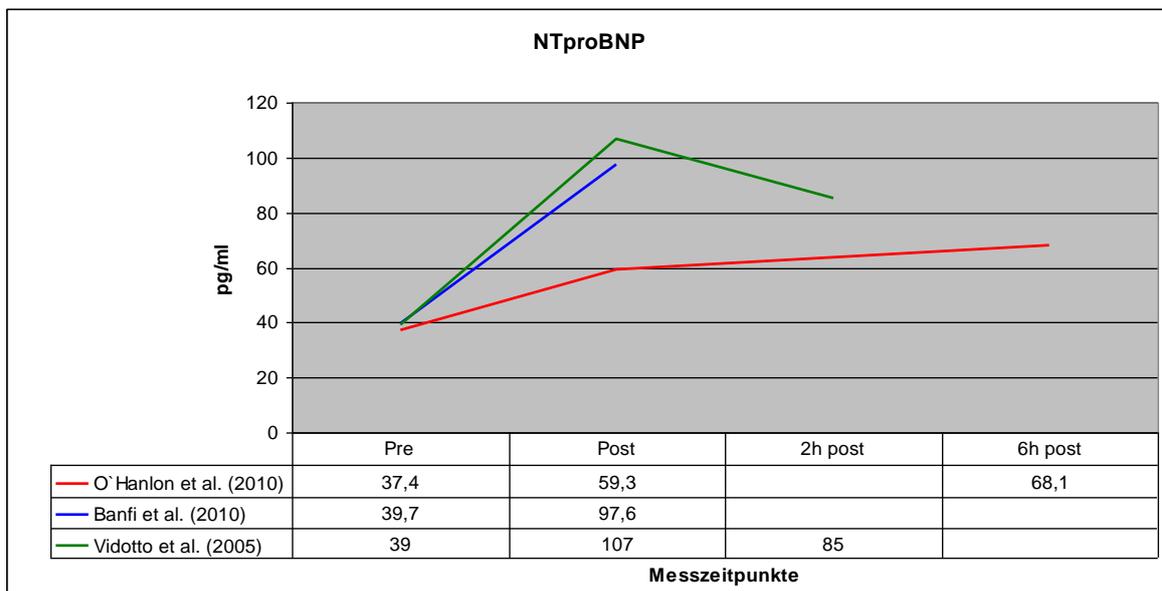
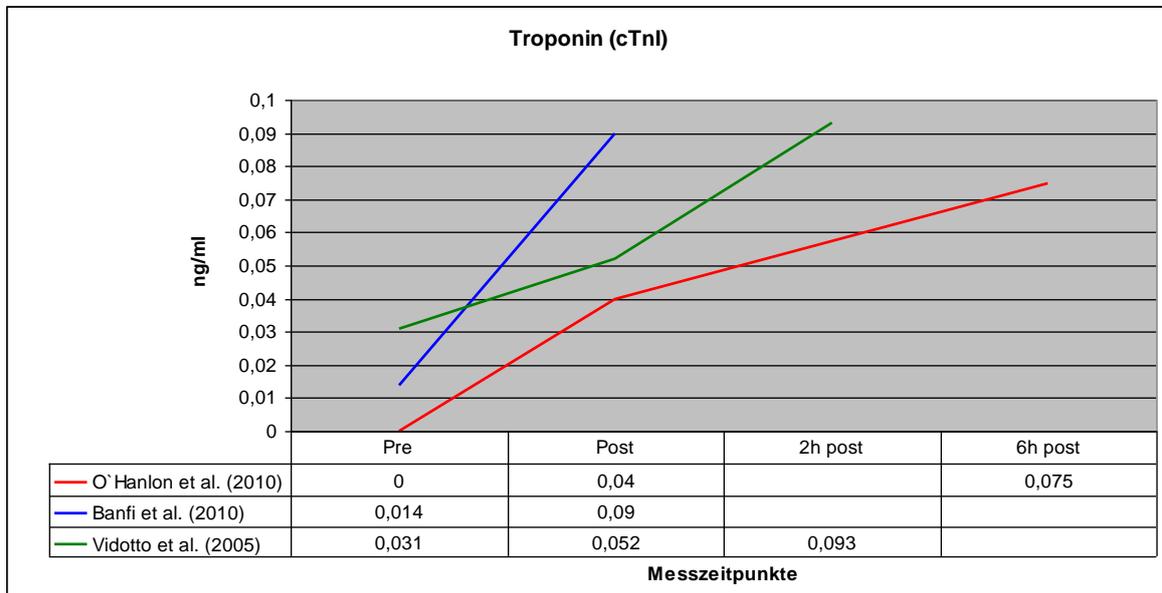
Vidotto et al. (2005) beschreibt, dass Troponin ein sensibles Messinstrument für Schädigungen des Myokards ist, während sich NTproBNP eignet um Dysfunktionen des Herzens zu signalisieren. Die Marker büßen auch im Beisein muskulärer Schäden nicht an Validität ein.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass es im Zuge des Blocktrainings trotz intensiver Belastungen zu keinen kardialen Schäden gekommen ist. Weder die Troponinkonzentration noch der NTproBNP- Spiegel waren bei der Trainingsgruppe drei Tage nach der Intervention erhöht. Ähnlich wie bei den muskulären Parametern bleibt die Frage, ob sich etwaige Anstiege dieser Marker bereits wieder normalisiert haben. Studien, bei denen es zu signifikanten Erhöhungen der Konzentrationen kam, wählten den Messzeitpunkt unmittelbar nach bis zu maximal 6 Stunden nach der Belastung (vgl. Vidotto et al., 2005; O`Hanlon et al., 2010; Banfi et al., 2010). Zu erwähnen ist, dass Vidotto et al. (2005) sowie O`Hanlon et al. (2010) keine pathologischen Veränderungen des Herzens feststellen konnten.

Angesprochene Studien haben sich zur Gänze mit extensiven Ausdauerbelastungen beschäftigt. O`Hanlon et al. (2010) untersuchten den Verlauf angesprochener Parameter nach einem Marathon, Banfi et al. (2010) nach einem Gebirgsmarathon und Vidotto et al. (2005) nach einem Halbmarathon. Die zusammenfassende Grafik (Abbildung 41) soll einen Überblick über die Ergebnisse der drei Studien verschaffen und ist auch als solcher zu verstehen. Ein wissenschaftlicher Vergleich ist nicht zulässig, da die Stichprobenzusammensetzung nicht berücksichtigt wurde. Zur Erstellung der Grafik wurden die Einheiten normiert. Auf die Angabe der Streuung wird verzichtet, da diese ob der unterschiedlichen Angaben (Standardabweichung oder Range) nicht möglich ist. Fehlende Messwerte werden in der Grafik interpoliert. Abbildung 41 zeigt deutlich, dass die Ergebnisse der Studien eine einheitliche Tendenz im Bezug auf das Troponin und das NTproBNP aufweisen.

O`Hanlon et al. (2010, S.4-5) glauben, dass die minimalen Anstiege, welche bei keiner Studie den Referenzbereich von 125pg/ml (NTproBNP) überschritten haben, keine

myokardiale Nekrose anzeigen, sondern kurze Permeabilitätsstörung sind. Bis zum Messzeitpunkt dieser Studie drei Tage nach der Intervention war diese Abweichung, sollte es überhaupt zu einer gekommen sein, bereits wieder normalisiert.



**Abbildung 41: Überblick der Studienergebnisse.**

Insgesamt wird deutlich, dass die Probanden dieser Studie durch das Training keine erhöhten Troponin- beziehungsweise NTproBNP- Werte aufwiesen. Das heißt, eine kardiale Schädigung durch intensives Blocktraining kann bei den Probanden definitiv ausgeschlossen werden. Auch eine eventuelle Permeabilitätsstörung unmittelbar nach dem Training konnte bereits drei Tage danach nicht mehr nachgewiesen werden.

### 5.4.5 Immunologischer Parameter

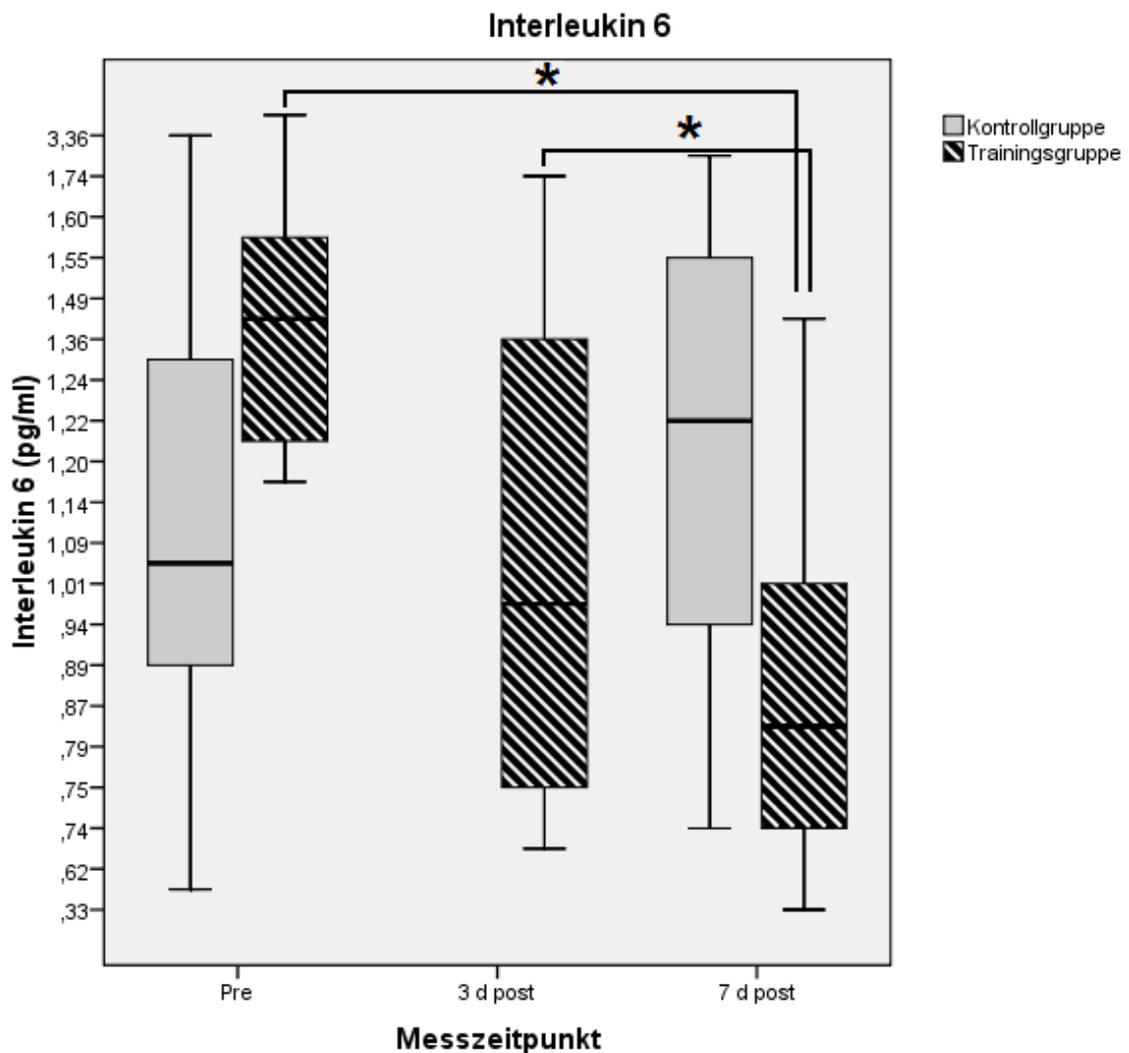
Der untersuchte immunologische Parameter zur Diagnostik war das Interleukin – 6 (IL-6). Die Maßeinheit für das IL-6 waren Picogramm pro Milliliter. Als Referenzbereich wurde eine Konzentration von <5,9pg/ml angegeben. Ähnlich wie beim Troponin waren die Messwerte aller Probanden zu den drei Zeitpunkten mit drei Ausnahmen unter einem Wert von 0,20pg/ml. Lediglich ein Mitglied der Kontrollgruppe wies beim Basistest 3,61pg/ml und beim Retest 1,96pg/ml auf. Auch diese Werte liegen noch innerhalb der Norm. Ein Mitglied der Trainingsgruppe kam beim Basistest auf einen Wert von 11,7pg/ml. Die beiden anderen Messungen waren beide unterhalb von 0,20pg/ml. Die Analyse des Blutbilds dieses Athleten zeigte keine Auffälligkeiten zu diesem Zeitpunkt. Unterhalb der 0,20pg/ml wurden zunächst keine exakten Werte ermittelt, somit wären Angaben zum Mittelwert und eine statistische Auswertung unmöglich gewesen. Daher wurde neuerlich gemessen und exakter ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Auswertung lauten wie folgt:

Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen der Trainings- und der Kontrollgruppe, weder beim ersten noch beim dritten Messzeitpunkt. Weiters bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Messzeitpunkten der Kontrollgruppe.

Um den Verlauf des Interleukins 6 bei der Trainingsgruppe über die drei Messzeitpunkte hinweg zu testen, kam der Friedman Test zur Anwendung, da die Voraussetzungen für die Varianzanalyse mit Messwiederholung nicht erfüllt waren. Wie in Abbildung 42 und Tabelle 13 zu erkennen, konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Über den Wilcoxon Test wurden die Unterschiede spezifiziert.

**Tabelle 13: Statistische Auswertung: Interleukin 6.**

| <b>Friedman Test Trainingsgruppe</b> |                   |                   |                   |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Statistik</b>                     |                   |                   |                   |
| n                                    | 8                 |                   |                   |
| Asymptotische Signifikanz            | ,011              |                   |                   |
| <b>Wilcoxon Test Trainingsgruppe</b> |                   |                   |                   |
|                                      | IL6 (2) - IL6 (1) | IL6 (3) - IL6 (2) | IL6 (3) - IL6 (1) |
| Asymptotische Signifikanz            | ,093              | ,050              | ,012              |
| <i>in Klammer: Messzeitpunkt</i>     |                   |                   |                   |



**Abbildung 42: Verlauf der Interleukin 6 – Konzentration (\* = signifikanter Unterschied,  $p=0.05$ ). Trainingsgruppe: pre – 7d post  $p: 0.012$ ; 3d post – 7d post  $p: 0.050$ ;**

Der Verlauf der Interleukin 6 Konzentration nimmt bei der Trainingsgruppe von der ersten zur letzten Messung ab. Bei der Kontrollgruppe ist eine geringfügige, nicht signifikante Zunahme zu erkennen.

#### 5.4.5.1 Diskussion

Stressbedingte muskuloskeletale Traumen haben eine Entzündungsreaktion zur Folge. Gibt man dem Organismus nicht genügend Zeit sich von diesen Entzündungen zu regenerieren, kommt es zu einer chronischen Entzündung. Zu Beginn werden das Interleukin 1- $\beta$  und TNF-alpha sezerniert, im Anschluss das in dieser Studie gemessene Interleukin – 6. Jurimäe et al. (2010, S.8) beschreiben nun, dass ein stressbedingter Anstieg des Interleukin – 6 auf die involvierte Muskulatur zurückzuführen ist.

Es gilt nun die Frage zu klären, warum die Probanden dieser Studie keinen Anstieg des IL-6 verzeichnen konnten. Analog zu den kardialen Markern, wird auch bei der Forschung mit immunologischen Parametern mit extremen Ausdauerbelastungen gearbeitet. Jurimäe et al. (2010, S.9) berichten von Studien, welche enorme Anstiege des IL-6 nach einem Marathon beziehungsweise nach einem 246km Lauf gemessen haben. Auch Neubauer et al. (2008, S.422) konnten nach einem Ironman- Triathlon signifikante Unterschiede unmittelbar sowie einen und fünf Tage nach dem Wettkampf messen. Das Anstiegsmaximum wurde unmittelbar nach dem Triathlon mit einer Erhöhung des IL-6 um 10.408% erzielt. Spitzenwerte von bis zu 90pg/ml wurden gemessen. Bei der Messung einen Tag nach dem Rennen fand ein starker Abfall des Parameters statt, der Unterschied zum Basistest war dennoch signifikant (+345%). Auch fünf Tage nach dem Rennen war das IL-6 noch um 79% erhöht. Diese Studie ist Indiz dafür, dass der Messzeitpunkt vorliegender Studie nicht zu spät war.

Nach Neubauer et al. (2008, S.424) sind jedoch nicht nur Entzündungsreaktionen im Muskel für den Anstieg des IL-6 verantwortlich. Die Autoren berufen sich auf Studien, welche auch niedrige Glykogenreserven für einen Anstieg verantwortlich machen. So ist anhaltender Glykogenabbau der Hauptgrund für eine Langzeiterhöhung der IL-6-Konzentration. Wird also die Glykogenresynthese von Muskelschäden gestört, ist dies ein möglicher Grund für erhöhte IL-6- Werte. Dies kann trotz adäquater Kohlenhydrataufnahme der Fall sein. Auch Jurimäe et al. (2010, S.9) bestätigen den Einfluss der Kohlenhydrataufnahme und der damit verbundenen Glykogenresynthese auf die Plasmakonzentration des IL-6.

Somit kann für die Athleten dieser Studie geschlossen werden, dass die etwaige geschädigte Muskulatur die Glykogenresynthese nicht negativ beeinflusst hat, und somit die Werte drei Tage nach der Intervention normal waren. Analog zu den Ergebnissen der Peptidhormone kann man von einer ausgeglichenen Energiehomöostase der Probanden ausgehen.

Die Werte der Trainingsgruppe sind im Vergleich zu Kontrollgruppe zu Beginn höher, wenn auch nicht signifikant. Dadurch ergibt sich der negative Trend der Interleukin 6 Konzentration. Insgesamt sind die gemessenen Werte, im Vergleich mit der in diesem Kapitel genannten Literatur, niedriger als nach einem intensiven Training erwartet.

Neubauer et al. (2008, S.424) führen Anstiege der Interleukine auf eine Mobilisation der Leukozyten zurück. In Bezug auf die Leukozyten konnte mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung für die Trainingsgruppe kein signifikanter Anstieg nachgewiesen werden.

#### 5.4.6 Blutbild

Die Blutbildwerte lagen im Mittel, bei beiden Gruppen zu allen drei Messzeitpunkten in den jeweiligen Referenzbereichen. Eine statistische Analyse (Varianzanalyse oder Friedman Test, je nach Verteilung) zeigte bei zwei Parametern signifikante Veränderungen im Verlauf der Studie.

Zum Ersten gab es eine signifikante Zunahme an Thrombozyten ( $p: 0,05$ ). Die zweite signifikante Veränderung war an dem mittleren korpuskulärem Volumen (mittleres Zellvolumen, MCV) feststellbar ( $p:0,01$ ). Das MCV beschreibt den Volumen- Inhalt des einzelnen Erythrozyten. Die Veränderungen waren trotz der Signifikanz sehr gering und bewegten sich wie erwähnt zu allen Zeitpunkten im Referenzbereich.

## 6 Zusammenfassung der trainingswissenschaftlichen Erkenntnisse (Hinterkörper)

Zusammengefasst betrachtet hat sich zwar die maximale Sauerstoffaufnahme in einem geringeren Maß als dies erwartet wurde, verbessert, allerdings konnten mittels Yo-Yo Intermittent Recovery Test und Running Anaerobic Sprint Test positive Auswirkungen auf fußballspezifische Leistungsparameter belegt werden. Zusammen mit Ergebnissen aus anderen Studien (vgl. Stolen et. al., 2005; Stiglbauer, 2009) wird die Effektivität eines Intervalltrainings in Blockform damit bestätigt.

Ein Training in dieser Form kann daher verwendet werden, um in kurzer Zeit die fußballspezifische Leistung zu erhöhen und könnte auch im Amateurbereich in Form eines Trainingslagers zur Anwendung kommen, wodurch eine hohe Praxisrelevanz gegeben ist. Eine Regenerationswoche im Anschluss an die Trainingsintervention ist anzuraten.

Im Gegensatz zu reinen Laufprogrammen weist das Training in Kleinfeldspielformen den entscheidenden Vorteil auf, dass technische und taktische Elemente im Zuge des Trainings ebenfalls geschult werden können. Zudem ist die Motivation der Spieler viel höher als wenn nur stupide gelaufen werden würde.

Trotz der vermeintlich hohen Belastung verursachte das Training keine Überlastung im Sinne eines „over-reaching“ beziehungsweise Übertrainings, wie anhand der Untersuchung einiger Blutparameter erkannt wurde (siehe Teil Oesen).

## 7 Zusammenfassung zur Übertrainingsdiagnostik (Oesen)

Welche Erkenntnisse können nun aus den Ergebnissen der psychologischen und biochemischen Parameter gewonnen werden? Die Probanden zeigten nach der Teilnahme an einem fußballspezifischen High- Intensity- Blocktraining die biochemischen Parameter betreffend keine statistischen Auffälligkeiten. Lediglich im RESTQ – Sport-Fragebogen wurde die intensive Beanspruchung deutlich. Die hohen Intensitäten und die Doppelbelastung konnten von den Amateuren somit gut verkraftet werden und jegliche Bedenken einer möglichen Überlastung wurden nicht bestätigt. Das abwechslungsreiche Training in Spielformen hat sicherlich dazu beigetragen eine Trainingsmonotonie zu vermeiden. Außerdem ist der Zeitraum von einer Woche sehr kurz bemessen.

Die Trainingsform des High- Intensity- Blocktrainings wird einerseits durch die Leistungssteigerung in fußballspezifischen konditionellen Bereichen und andererseits durch die gute Verträglichkeit, veranschaulicht anhand der Ergebnisse der Blutanalysen, legitimiert.

Aus der Literatur geht hervor, dass zahlreiche Studien, in denen SportlerInnen als übertrainiert oder "over-reached" diagnostiziert wurden, mit sehr hohen Umfängen trainiert haben. Das kurzweilige High- Intensity- Training scheint weniger anfällig dafür zu sein die Athleten zu überlasten. Eine durchaus vernünftige Begründung dafür liegt im Verhältnis zwischen Be- und Entlastung. Während hohe Umfänge die Regenerationszeit minimieren, blieb den Sportlern dieser Studie ausreichend Zeit sich zu erholen. Der Umstand, dass bereits drei Tage nach der Intervention alle biochemischen Parameter normalisiert waren und sieben Tage danach auch keine Auffälligkeiten den Beanspruchungsfragebogen betreffend zu erkennen waren zeigt, dass die Spieler keineswegs als überlastet einzustufen waren. Außerdem konnte in den Erholungssubtests des RESTQ – Sport-Fragebogens nur ein signifikanter Unterschied zum Basistest festgestellt werden (Physical Recovery).

Zu der aktuellen Forschungslage, das Übertraining betreffend, ist Folgendes zu sagen: Nachdem es ethisch nicht verantwortlich wäre, Athletinnen und Athleten in ein Übertraining zu bringen, werden sehr oft extreme (Ausdauer-) Belastungen eingesetzt um die biochemischen Reaktionen des Organismus zu analysieren. Dies ist aber nur bedingt zulässig, da eine Überlastung im Sinne des "over-reachings" beziehungsweise des Übertrainings einen Prozess darstellt. Hätte man es in vorliegender Studie darauf

ausgelegt signifikante Erhöhungen einzelner Parameter zu messen, wäre ein früherer Messzeitpunkt anzuraten gewesen. Das Ziel war es jedoch ein mögliches "over-reaching" festzustellen. Da bereits drei Tage nach der Intervention keine Auffälligkeiten zu sehen waren, kann man dies wie bereits erwähnt ausschließen.

Ob der schlechten Erfahrungswerte gilt es in Zukunft auch in Spielsportarten Untersuchungen mit den aktuell viel versprechenden Übertrainingsmarkern durchzuführen. Speziell im Fußball sind die zwei Vorbereitungsperioden im Winter und im Sommer geprägt durch Steigerungen des Umfangs und der Intensität. Um, so wie in dieser Studie, die Beanspruchung kontrollieren zu können und ein funktionales "over-reaching" herbei zu führen, ist es unerlässlich, den Trainingsprozess biochemisch und/oder psychologisch zu überwachen. Außerdem ist die Planung der Regeneration im Trainingsprozess ebenso wichtig wie die Planung der Belastung. Geblockte Trainingsformen ziehen im Sinne der summierten Wirksamkeit immer eine Regenerationsphase nach sich (vgl. Weineck, 2010).

Zur Praxisrelevanz ist zu sagen, dass das fußballspezifische High- Intensity- Blocktraining speziell in den Vorbereitungsperioden zum Einsatz kommen sollte. Konkret eignet sich dafür die vorletzte Woche vor Meisterschaftsbeginn. Die Ergebnisse der leistungsdiagnostischen beziehungsweise der sportmotorischen Tests zeigen Leistungssteigerungen in Bereichen, welche für das Beanspruchungsprofil des Fußballs relevant sind. Das heißt, es kommt zu einer Ausbildung der fußballspezifischen Ausdauer. Die Grundlage im Ausdauerbereich muss zweifelsohne schon vorher gelegt werden. Das High- Intensity- Training ist die unmittelbare Wettkampfvorbereitung. Die Periodisierung in der vorletzten Woche vor Meisterschaftsbeginn bietet den Sportlerinnen und Sportlern eine adäquate Regenerationszeit in der Folgeweche. In der Trainingspraxis wird diese ohnehin oft für taktisches Training und Standardsituationen genutzt, welches bei niedriger Intensität ausgeführt wird.

## 8 Abbildungsverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| ABBILDUNG 1: KOMPONENTEN DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT DES FUßBALLSPIELERS (NACH WEINECK, 1999, S. 17; GEESE, 2009, S. 17) .....   | 17  |
| ABBILDUNG 2: DIREKTER UND INDIKTER EINFLUSS DER KONDITION AUF DEN SPIELERFOLG (NACH GEESE, 2009, S. 27).....  | 22  |
| ABBILDUNG 3: KONDITIONELLE FÄHIGKEITEN UND IHRE UNTERFORMEN (NACH GEESE, 2009, S. 20) .....   | 22  |
| ABBILDUNG 4: VERBRACHTE ZEIT WÄHREND EINES FUßBALLSPIELS IN UNTERSCHIEDLICHEN INTENSITÄTSBEREICHEN<br>(SCHWARZ=TOPSPIELER, WEIß=DURCHSCHNITTLICHER PROFISPIELER); ST=STANDING (0 KM/H), W=WALKING (6 KM/H),<br>J=JOGGING (8 KM/H), LS=LOW-SPEED RUNNING (12 KM/H), MS=MODERATE-SPEED RUNNING (15 KM/H), HS=HIGH-<br>SPEED RUNNING (18KM/H), SP=SPRINTING (30 KM/H), BR=BACKWARD RUNNING (10 KM/H) (NACH MOHR ET AL,<br>2003). ..... | 27  |
| ABBILDUNG 5: „HIGH INTENSITY RUNNING“ (> 14,4 KM/H) FÜR BEIDE HALBZEITEN UND DIE VERSCHIEDENEN SPIELPOSITIONEN<br>(NACH BRADLEY ET AL., 2009). .....  | 28  |
| ABBILDUNG 6: RELATIVER GLYKOGENGEGHALT IN ST, FTA UND FTX FASERN SOWIE IN ALLEN FASERN VOR UND DIREKT NACH EINEM<br>FUßBALLSPIEL. ES HANDELT SICH UM DURCHSCHNITTSWERTE (N=10) (NACH KRUSTRUP ET AL., 2006). .....  | 35  |
| ABBILDUNG 7: TESTANORDNUNG BEIM YO-YO INTERMITTENT RECOVERY TEST<br>( <a href="http://www.elitesoccerconditioning.com/testing/yo%20yo%20test.gif">HTTP://WWW.ELITESOCCERCONDITIONING.COM/TESTING/YO%20YO%20TEST.GIF</a> . ZUGRIFF AM 12.10.2010) .....  | 43  |
| ABBILDUNG 8: DIE KORRELATION ZWISCHEN SAUERSTOFFVERBRAUCH UND HERZFREQUENZ BEI VERSCHIEDENEN SUBMAXIMALEN<br>GESCHWINDIGKEITEN WÄHREND DER MESSUNG AUF EINEM LAUFBAND, „FIVE A SIDA PLAY“ UND BEIM DRIBBELN ALS VIER<br>MINUTEN INTERVALLTRAINING BEI 90 BIS 95 PROZENT DER MAXIMALEN HERZFREQUENZ (NACH HOFF & HELGERUD,<br>2004). .....   | 52  |
| ABBILDUNG 9: FUßBALLSPEZIFISCHER DRIBBLINGPARCOURS ZUM TRAINIEREN VON HOCHINTENSITÄTSINTERVALLEN. DIE<br>PARCOURS-STRECKE FOLGT DEN PFEILEN UND WIRD, UNTER DRIBBELN, MIT EINEM FUßBALL ABGELAUFEN.<br>RÜCKWÄRTSLAUFEN ZWISCHEN PUNKT A UND B (NACH HOFF ET AL., 2006). .....   | 53  |
| ABBILDUNG 10: DURCHSCHNITTLICHE ZEIT, DIE WÄHREND DER ZWÖLF TRAININGSWOCHE IN DEN UNTERSCHIEDLICHEN<br>INTENSITÄTSBEREICHEN VERBRACHT WURDE. GTG (GERERIC TRAINING GROUP): LAUFTRAININGSGRUPPE; STG (SPECIFIC<br>TRAINING GROUP): GRUPPE, DIE KLEINFELDSPIELE ABSOLVIERTE (VGL. IMPELLIZZERI, 2006). .....  | 54  |
| ABBILDUNG 11: KLEINFELDSPIELFORM 4 VS. 4 MIT TORMANN (EIGENE DARSTELLUNG).....  | 55  |
| ABBILDUNG 12: DAS TRAININGS KONTINUUM, WELCHES EIN ATHLET WÄHREND EINER SAISON DURCHLAUFEN KANN (MODIFIZIERT<br>NACH ARMSTRONG UND VAN HEEST 2002, S.187) .....   | 60  |
| ABBILDUNG 13: PRINZIP DER SUMMIERTEN WIRKSAMKEIT (MODIFIZIERT NACH WEINECK, 2000, S.34).....  | 67  |
| ABBILDUNG 14: KORRELATION DER CREATINKINASE (CK) GEGEN MYOGLOBIN (Mb) IM BIATHLONTRAINING. R:0,78.<br>(MODIFIZIERT NACH FABIAN ET AL., 2005, S.213). .....  | 88  |
| ABBILDUNG 15: VERLAUF DER PLASMAMYOGLOBINKONZENTRATION (A) UND DER PLASMACREATINKINASEKONZENTRATION 2<br>TAGE VOR, UNMITTELBAR NACH SOWIE EINEN, FÜNF UND 19 TAGE NACH EINEM IRONMAN TRIATHLON.<br>DURCHSCHNITTSWERTE VON 42 ATHLETEN. *** SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE ZUM BASISWERT VOR DEM WETTKAMPF.<br>(MODIFIZIERT NACH NEUBAUER ET AL., 2008, S.421). .....   | 89  |
| ABBILDUNG 16: STRUKTUR DER KONTRAKTILEN EIWIEßMOLEKÜLE. (MODIFIZIERT NACH WEINECK, 2000, S.39).....   | 89  |
| ABBILDUNG 17: ZEITPLAN DER TRAININGSTUDIE (EIGENE DARSTELLUNG) .....  | 95  |
| ABBILDUNG 18: TESTPROTOKOLL DER SPIROERGOMETRIE .....   | 96  |
| ABBILDUNG 19: PROTOKOLL ZUR SPIROERGOMETRIE-AUSWERTUNG.....   | 97  |
| ABBILDUNG 20: TESTAUFBAU BEIM RUNNING ANAEROBIC SPRINT TEST.....  | 99  |
| ABBILDUNG 21: BLUTABNAHME BASISTEST. ....   | 101 |
| ABBILDUNG 22: LAUFWEGE EINER FUßBALLSPEZIFISCHEN HIT – EINHEIT. ERMITTELT MIT DER GPS UHR GARMIN FORERUNNER<br>305. ....  | 103 |
| ABBILDUNG 23: MAXIMALE SAUERSTOFFAUFNAHME ZU DEN BEIDEN TESTZEITPUNKTEN .....   | 109 |
| ABBILDUNG 24: MAXIMAL ERREICHTE GESCHWINDIGKEIT BEI DER SPIROERGOMETRIE ZU DEN BEIDEN MESSZEITPUNKTEN .....   | 110 |
| ABBILDUNG 25: RESPIRATORY COMPENSATION POINT FÜR BEIDE GRUPPEN ZU DEN BEIDEN MESSZEITPUNKTEN.....   | 112 |
| ABBILDUNG 26: LAKTATELIMINATION ZU DEN BEIDEN TESTZEITPUNKTEN.....  | 114 |
| ABBILDUNG 27: LAUFLEISTUNG BEIM YO-YO INTERMITTENT RECOVERY TEST LEVEL 1 ZU DEN BEIDEN TESTZEITPUNKTEN .....  | 115 |
| ABBILDUNG 28: MAXIMALE RELATIVE LEISTUNG BEIM RAST ZU DEN BEIDEN TESTZEITPUNKTEN .....  | 116 |
| ABBILDUNG 29: DURCHSCHNITTLICHE RELATIVE LEISTUNG BEIM RAST ZU DEN BEIDEN TESTZEITPUNKTEN .....   | 117 |
| ABBILDUNG 30: ERMÜDUNGSINDEX BEIM RAST ZU DEN BEIDEN TESTZEITPUNKTEN .....  | 117 |

|  |     |
|--|-----|
| ABBILDUNG 31: 20-METER-SPRINTZEIT ZU DEN BEIDEN TESTZEITPUNKTEN .....  | 119 |
| ABBILDUNG 32: VERGLEICH DER KONTROLL- UND DER TESTGRUPPE BEIM BASISTEST. RESTQ – SPORT FRAGEBOGEN. ....  | 127 |
| ABBILDUNG 33: VERGLEICH DER KONTROLL- UND DER TESTGRUPPE BEIM RETEST. RESTQ – SPORT FRAGEBOGEN. ....   | 128 |
| ABBILDUNG 34: MITTELWERTE DER TRAININGSGRUPPE UNTERTEILT IN 4 SUBTESTS (ALLGEMEINE BEANSPRUCHUNGSSUBTESTS,<br>ALLGEMEINE ERHOLUNGSSUBTESTS, SPORTSPEZIFISCHE BEANSPRUCHUNGSSKALEN, SPORTSPEZIFISCHE<br>ERHOLUNGSSUBTESTS) ZU DEN DREI TESTZEITPUNKTEN. *= SIGNIFIKANTER UNTERSCHIED ZUM BASISTEST, +=<br>SIGNIFIKANTER UNTERSCHIED ZUM „3 TAGE NACH TRAINING“ TEST (P: 0.05). .... | 129 |
| ABBILDUNG 35: ERGEBNISSE DER TESTGRUPPE ZU DEN DREI MESSZEITPUNKTEN. RESTQ – SPORT FRAGEBOGEN. ....  | 130 |
| ABBILDUNG 36: VERLAUF DER CREATINKINASEKONZENTRATION. ....   | 134 |
| ABBILDUNG 37: VERLAUF DER MYOGLOBINKONZENTRATION. ....   | 135 |
| ABBILDUNG 38: VERLAUF DER ADIPONEKTINKONZENTRATION.....  | 139 |
| ABBILDUNG 39: VERLAUF DER LEPTINKONZENTRATION.....   | 140 |
| ABBILDUNG 40: VERLAUF DER NTPROBNP – KONZENTRATION. ....   | 144 |
| ABBILDUNG 41: ÜBERBLICK DER STUDIENERGEBNISSE. ....  | 146 |
| ABBILDUNG 42: VERLAUF DER INTERLEUKIN 6 – KONZENTRATION (* = SIGNIFIKANTER UNTERSCHIED, P=0.05).<br>TRAININGSGRUPPE: PRE – 7D POST P: 0.012; 3D POST – 7D POST P: 0.050; .....   | 148 |

## 9 Tabellenverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| TABELLE 1: POSITIONSBEZOGENE BELASTUNGSCHARAKTERISTIK WÄHREND EINES SPIELS (NACH BRADLEY ET AL., 2009).....   | 26  |
| TABELLE 2: ARTEN DER ENERGIEBEREITSTELLUNG (NACH BINZ, 1984, S. 31; IN FERGER, 1998, S. 13).....  | 31  |
| TABELLE 3: AUSWIRKUNGEN EINER GESTEIGERTEN SYMPATHISCHEN BZW. PARASYMPATHISCHEN AKTIVITÄT AUF DEN ORGANISMUS. (MODIFIZIERT NACH ISRAEL 1976, 2) ..... | 63  |
| TABELLE 4: BELASTUNGSCHARAKTERISTIK HIGH INTENSITY INTERVALLTRAINING.....   | 102 |
| TABELLE 5: DESKRIPTIVE STATISTIK DER TEILNEHMER ZU BEGINN UND AM ENDE DER STUDIE. MITTELWERT (±STANDARDABWEICHUNG).....                               | 108 |
| TABELLE 6: NACHBELASTUNGS-LAKTAT (IN MMOL/L) ZU DEN BEIDEN TESTZEITPUNKTEN.....   | 113 |
| TABELLE 7: ERGEBNISSE DES RAST ZU DEN BEIDEN TESTZEITPUNKTEN .....  | 116 |
| TABELLE 8: TEILZEITEN BEIM 20-METER-SPRINT ZU DEN BEIDEN TESTZEITPUNKTEN .....  | 118 |
| TABELLE 9: SUBTESTS DER TRAININGSGRUPPE IM VERLAUF DER DREI MESSZEITPUNKTE.....   | 131 |
| TABELLE 10: DESKRIPTIVE STATISTIK: CREATINKINASE (U/L) UND MYOGLOBIN (NG/ML). MITTELWERTE (+-STANDARDABWEICHUNG).....                                 | 134 |
| TABELLE 11: KORRELATION ZWISCHEN KÖRPERFETTANTEIL UND LEPTIN. ....  | 141 |
| TABELLE 12: VERLAUF DER NT-PROBNP (PG/ML) MITTELWERTE (+-STANDARDABWEICHUNG) .....  | 144 |
| TABELLE 13: STATISTISCHE AUSWERTUNG: INTERLEUKIN 6. ....  | 147 |

## 10 Literaturverzeichnis

- Armstrong, L. E.; Van Heest, J. L. (2002). The unknown mechanism of the overtraining syndrome: clues from depression and psychoneuroimmunology. *Sports Medicine*, 32 (3), 158-209.
- Arvay, S.; Hoffmann, P. (2001). Herzfrequenzvariabilität und Trainingssteuerung – Die Bestimmung der HFV als eine nicht invasive Methode zur Beurteilung der körperlichen Beanspruchung durch sportliches Training. *Spektrum der Sportwissenschaften* 13, Suppl., 5-13.
- Apriantono, T.; Nunome, H.; Ikegami, Y.; Sano, S. (2006). The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *Journal of Sports Sciences* 2006; 24 (9): 951-960.
- Banfi, G., Lippi, G., Susta, D., Barassi, A., Melzi D'Eril, G., Dogliotti, G., Corsi, M.M. (2010). NT-proBNP Concentrations in Mountain Marathoners. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 24, Nr. 8, 1369-1372.
- Bangsbo, J.; Mohr, M.; Krustruo, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in elite football players. *Journal of Sports Sciences* 2006; 24 (7): 665-674.
- 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. *Journal of Sports Medicine* 2008; 38: 37-51.
- Bauer, G. (1994): *Lehrbuch Fußball: erfolgreiches Training von Technik, Taktik und Kondition* (3., überarbeitete Auflage). München, Wien, Zürich: BLV.
- Bergman, B. C.; Wolfel, E. E.; Butterfield, G. E.; Lopaschuk, G. D.; Casazza, G. A.; Horning, M. A.; Brooks, G. A. (1999). Active muscle and whole body lactate kinetics after endurance training in men. *Journal of Applied Physiology* 1999; 87 (5): 1684–1696.
- Bradley, P. S.; Portas, M. D. (2007). The relationship between preseason range of motion and muscle strain injury in elite soccer players. *Journal of Strength and Conditional Research* 2007; 21 (4): 1155-9.
- Bradley, P. S.; Sheldon, W.; Wooster, B.; Olsen, P.; Boanas, P.; Krstrup, P. (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences* 2009; 27 (2): 159-168.
- Bradley, P. S.; Di Mascio, M.; Peart, D.; Olsen, P.; Sheldon, B. (2010). High-intensity activity Profiles of Elite Soccer Players at different performance levels. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2010; 24 (9): 2343-2351.
- Breil, F. A.; Weber, S. N.; Koller, S.; Hoppeler, H.; Vogt, M. (2010). Block training periodization in alpine skiing: effects of 11-day HIT on VO<sub>2</sub>max and performance. *European Journal of Applied Physiology* 2010; 109 (6): 1077-1086.
- Bruin, G., Kuipers, H., Keizer, H.A., Van der Vusse, G.J. (1994). Adaptation and overtraining in horses subjected to increasing training loads. *Journal of applied physiologie*, 76(5),1908-13.
- Buschmann, J., Pabst, K., Bussmann, H. (2006): *Koordinationstraining – Das neue Fußballtraining* (3. überarbeitete Auflage). Aachen: Meyer & Meyer.
- Castagna, C.; Impellizzeri, F.; Cecchini, E.; Rampinini, E.; Barbero Alvarez, J. C. (2009). Effects of intermittent-endurance fitness on match performance in young male soccer players. *Journal of Strength and Conditional Research* 2009; 23 (7): 1954-1959.

- 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* 2005; 39: 24-28.
- Christ, E.R., Zehnder, M., Boesch, C., Trepp, R., Mullis, P.E., Diem, P. (2006). The effect of increased lipid intake on hormonal response during aerobic exercise in endurance-trained men. *Eur. J. Endocrinol.*, 154:397-403.
- Christou, M.; Smiliotis, I.; Sotiropoulos, K.; Volaklis, K.; Piliandis, T.; Tokmakidis, S. P. (2006). Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. *Journal of Strength and Conditional Research* 2006; 20 (4): 783-791.
- Coutts, A.J., Wallace, L.K. & Slattery, K.M. (2007). Monitoring changes in performance, physiology, biochemistry, and psychology during overreaching and recovery in triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 28(2), 125-34.
- Coutts, A.J. et al. (2007). Monitoring for overreaching in rugby league players. *European Journal of Applied Physiology*, 99, 313-324.
- Di Salvo, V.; Baron, R.; Tschan, H.; Calderon Montero, F. J.; Bachl, N.; Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine* 2007; 28 (3): 222-7.
- Di Salvo, V.; Gregson, W.; Atkinson, G.; Tordoff, P.; Drust, B. (2009). Analysis of High Intensity Activity in Premier League Soccer. *International Journal of Sports Medicine* 2009; 30: 205-212.
- Dupont, G.; Akakpo, K.; Berthoin, S. (2004). The effect of in-season, high intensity interval training in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2004; 18 (3): 584-9.
- Fabian, K., Adler, T., Hilberg, T., Kirch, W. (2005). Zur Eignung des Blutparameters s-Troponin I neben anderen Muskeleiweißparametern i.B. in der Trainingssteuerung. In: *BISP-Jahrbuch*, 2005, S. 209-218, Bonn.
- Fabian, K., Schlegel, D., Zerbis, H. (1992). Erfahrungen bei der Trainingssteuerung mit dem Parameter Serumkreatinkinase im Marathonlauf. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 43, 8, S. 350-356
- Faude, O.; Schlumberger, A.; Fritsche, T.; Treff, G.; Meyer, T. (2010). Leistungsdiagnostische Testverfahren im Fußball – methodische Standards. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2010; Jahrgang 61, Nr. 6.
- Foster, C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(7), 1164-1168.
- Fukuba, Y.; Walsh, M. L.; Morton, R. H.; Cameron, B. J.; Kenny, C. T.; Banister, E. W. (1999). Effect of endurance training on blood lactate clearance after maximal exercise. *Journal of Sports Sciences* 1999; 17 (3): 239-248.
- Gatterer, H. (2007). Sauerstoffaufnahme während eines Fußballspiels: Eine Fallbeschreibung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2007; Jahrgang 58, Nr. 3.
- Geese, R. (2009). *Fußball – Erfolgsfaktor Kondition*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Gleeson, M. (2002). Biochemical and Immunological Markers of Overtraining. *Journal of Sports Science and Medicine* 2002, 1, 31-41.
- Gouarne, C, Groussard, A., Gratas-Delamarche, P., Delamarche, P., Duclos, M. (2005). Overnight urinary Cortisol and Cortison add new insights into adaptation to training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(7), 1157-1167.

- Gustafsson, H., Holmberg, H.C. & Hassmen, P. (2008). An elite endurance athlete's recovery from underperformance aided by a multidisciplinary sport science support team. *European Journal of Sport Science*, 8(5), 267-276.
- Halson, S., Jeukendrup A. (2004). Does Overtraining Exist? An Analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Medicine*, 34(14), 967-981.
- Halson, S., Lancaster, G., Jeukendrup, A., Gleeson, M. (2003). Immunological responses to overreaching in cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(5), 854-861.
- Hedelin, R., Kenttä, G., Wirklund, U., Bjerle, P., Hendriksson- Larsén, K. (2000). Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(8), 1480-1484.
- Helgerud, J.; Engen, L. C.; Wisloff, U.; Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine & Sciences in Sports & Exercise* 2001; 33: 1925-31.
- Helgerud, J.; Kemi, O. J.; Hoff, J. (2003). Pre-season concurrent strength and endurance development in elite soccer players. In J. Hoff & J. Helgerud (Eds.), *Football (soccer): New developments in physical training research* (S. 55-66). Trondheim: NTNU.
- Helgerud, J.; Hoydal, K.; Wang, E.; Karlsen, T.; Berg, P.; Bjerkaas, M.; Simonsen, T.; Helgesen, C.; Hjorth, N.; Bach, R.; Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve  $VO_2\max$  more than moderate training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2007; 39 (4): 665-671.
- Henderson, G.; Barnes, C. A.; Portas, M. D. (2010). Factors associated with increased propensity for hamstring injury in English Premier League soccer players. *Journal of Sciences in Medicine and Sport* 2010; 13 (4): 397-402.
- Hoff, J.; Wisloff, U.; Engen, L. C.; Kemi, O. J.; Helgerud, J. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *British Journal of Sports Medicine* 2002; 36: 218-221.
- Hoff, J.; Helgerud, J. (2003). Maximal strength training enhances running economy and aerobic endurance performance. In Hoff, J.; Helgerud, J. (Eds.): *Football (Soccer). New developments in Physical Training Research* (S. 39-55) Trondheim: NTNU.
- Hoff, J.; Helgerud, J. (2004). Endurance and Strength Training for Soccer Players. Physiological considerations. *Sports Medicine* 2004; 34 (3): 165-180.
- Hoff, J. (2005). Training and testing physical capacities for elite soccer players. *Journal of Sports Sciences* 2005; 23 (6): 573-582.
- Hoff, J.; Kähler, N.; Helgerud, J. (2006). Training sowie Ausdauer- und Krafttests von professionellen Fußballspielern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2006; Jahrgang 57, Nr. 5.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2003). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. (3. neu bearbeitete Aufl.). Wiebelsheim: Limpert Verlag.
- Hopper, S.L., Mackinnon, L.T., Gordon, R.D., & Bachmann, A.W. (1993). Hormonal responses of elite swimmers to overtraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, 741-747.
- Hölzer, H. (2009). „Übertraining im Sport“. Möglichkeiten der Diagnostik von Overreaching und Overtraining. Wien: Universitäts Sport Zentrum Schmelz.
- Huisman, E.S. (2010). Biochemical muscle damage markers for early detection of deep pressure ulcers. A pilot study and a kinetics model. Eindhoven: University of Technology.

- laia, F. M.; Rampinini, E.; Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2009; 4 (3): 291-306.
- Impellizzeri, F. M.; Rampinini, E.; Marcora, S. M. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of Sports Sciences* 2005, 23 (6): 583-592.
- Israel, S. (1976). Zur Problematik des Übertrainings aus internistischer und leistungsphysiologischer Sicht. *Medizin und Sport*, 16(1), 1-12.
- Issurin VB. New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med.* 2010 Mar 1;40(3):189-206.
- Jakowlew, N. N. (1977). *Sportbiochemie*. Leipzig: Barth.
- Juel, C.; Klarskov, C.; Nielsen, J. J.; Krstrup, P.; Mohr, M.; Bangsbo, J. (2004). Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H<sup>+</sup> release from human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2004; 286: 245-251.
- Jurimäe, J., Jurimäe, T. (2005). Leptin Response to short term exercise in college level male rowers. *British Journal of Sports Medicine* 2005; 39:6-9.
- Jurimäe, J., Mäestu, J., Jurimäe, T., Mangus, B., von Duvillard, S.P. (2010). Peripheral signals of energy homeostasis as possible markers of training stress in athletes: a review. *Metabolism: clinical and experimental*. Mar. 19, 1-14.
- Jurimäe, J., Mäestu, J., Purge, P., Jurimäe, T. (2004). Changes in stress and recovery after heavy training in rowers. *Journal of science and medicine in sport / Sports medicine Australia* 2004 Sep;7(3):335-9.
- Kaplan, T.; Erkmen, N.; Taskin, H. (2009). The evaluation of the running speed and agility performance in professional and amateur soccer players. *Journal of Strength and Conditional Research* 2009; 23 (3): 774-8.
- Keller, R. (1994). *Immunologie und Immunpathologie*, 4. Auflage. Stuttgart-New York: Thieme Verlag.
- Kellmann, M., Kallus, K.W. (2001). *The Recovery-Stress-Questionnaire for Athletes: User Manual*, Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Kellmann, M., Kallus, K.W., Günther, K.D., Lormes, W., Steinacker, J.M. (1997). Psychologische Betreuung der Junioren-Nationalmannschaft des Deutschen Ruderverbandes. *Psychologie und Sport* 1997, Heft 4. Schorndorf.
- Kleine, B., Rossmannith, W. (2010). *Hormone und Hormonsystem. Lehrbuch der Endokrinologie*. 2. Auflage. Springer-Lehrbuch.
- Kraemer, R.R., Aboudehen, K.S., Carruth, A.K., Durand, R.J., Acevedo, E.O., Hebert, E.P., Johnson, L.G., Castracane, V.D. (2003). Adiponectin Responses to Continuous and Progressively Intense Intermittent Exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 35, No. 8, pp. 1320-1325.
- Krstrup, 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. *Journal of Medicine and Sciences in Sports and Exercise* 2003; 35: 679-705.
- Krstrup, P.; Hellsten, Y.; Bangsbo, J. (2004). Intense interval training enhances human skeletal muscle oxygen uptake in the initial phase of dynamic exercise at high but not at low intensities. *Journal of Physiology* 2004, 559 (1), 335-345.

- Krustrup, P.; Mohr, M.; Nybo, L.; Majgaard, J.; Jung Nielsen, J.; Bangsbo, J. (2006a). The Yo-Yo IR2 Test: Physiological response, reliability, and application to elite soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2006; 38 (9): 1666-1673.
- Krustrup, P.; Mohr, M.; Steensberg, A.; Bencke, J.; Kjaer, M.; Bangsbo, J. (2006b). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2006; 38 (6): 1165-1174.
- 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* 2002; 32 (1): 53-73.
- Lehmann, M., Mann, H., Gastmann, U., Keul, J., Vetter, D., Steinacker, J., Häussinger, D. (1996). Unaccustomed high mileage vs. Intensity training- related changes in performance and serum amino acid levels. [Abstract]. *International Journal of Sports Medicine*, 17(3), 187-192.
- Lehnhart, R. A.; Lehnhart, H. R.; Young, R. (1996). Monitoring injuries in a collage soccer team: the effect of strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 1996; 10 (2): 115-9.
- Löllgen, H.; Erdmann, E. (2001). *Ergometrie. Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis* (2., vollständig überarbeitete Auflage). Berlin: Springer.
- Mackinnon, L. & Hooper, S. (1996). Plasma glutamine and upper respiratory tract infection during intensified training in swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(3), 285-90.
- Matsuba, D., Terui, T., O-Uchi, J., Tanaka, H., Ojima, T., Ohtsuki, I., Ishiwata, S., Kurihara, S., Fukuda, N. (2009). Protein kinase A-dependent modulation of Ca<sup>2+</sup> sensitivity in cardiac and fast skeletal muscles after reconstitution with cardiac troponin. *The Journal of General Physiology*. May 11, 2009, 571-581.
- 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* 2005; 39: 273-277.
- Messonnier, L.; Freund, H.; Denis, C.; Féasson, L.; Lacour, J. R. (2006). Effects of training on lactate kinetics parameters and their influence on short high-intensity exercise performance. *International Journal of Sports Medicine* 2006; 27 (1): 60-66.
- Meylan, C.; Malatesta, D. (2009). Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *Journal of Strength and Conditional Research* 2009; 23 (9): 2605-2613.
- 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* 2003; 21 (7): 519-528.
- Mohr M, Krustrup P, Bangsbo J. (2005); Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of Sports Sciences* 2005; 23 (6): 593-599.
- Nehlsen-Canarella, S.L., Fagoaga, O.R., Neimann, D.C. (1997). Carbonhydrate and the cytokine response to 2.5 h of running. *J. Appl. Physiol.*, 82:1662-7.
- Neubauer, O., König, D., Wagner, K.H. (2008). Recovery after an Ironman triathlon: substained inflammatory responses and muscular stress. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 104:417-426.
- Nigam, P.K. (2007). Biochemical Markers of Myocardial Injury. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*. 2007 / 22 (1) 10-17.

- O'Hanlon, R., Wilson, M., Wage, R., Smith, G., Alpendurada, F.D., Wong, J., Dahl, A., Oxborough, D., Godfrey, R., Sharma, S., Roughton, M., George, K., Pennell, D.J., Whyte, G., Prasad, S.K. (2010). Troponin release following endurance exercise: is inflammation the cause? a cardiovascular magnetic resonance study. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* 2010, 12:38, 1-7.
- Orendurff, M. S.; Walker, J. D.; Jovanovic, M. L.; Tulchin, K.; Levy, M.; Hoffmann, D. K. (2010). Intensity and duration of intermittent exercise and recovery during a soccer match. *Journal of Strength and Conditional Research* 2010; 24 (10): 2683-2692.
- Rampinini, E.; Impellizzeri, F.; Castagna, C.; Abt, G.; Chamari, K.; Sassi, A.; Marcora, S. M. (2007). Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. *Journal of Sports Sciences* 2007; 25 (6): 659-666.
- Rampinini, E.; Impellizzeri, F. M.; Castagna, C.; Azzalin, A.; Ferrari Bravo, D.; Wisloff, U. (2008). Effect of match-related fatigue on short-passing ability in young soccer players. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2008; 40 (5): 934-942.
- Rampinini, E.; Sassi, A.; Azzalin, A.; Castagna, C.; Menaspa, P.; Carlomagno, D.; Impellizzeri, F. M. (2009). Physiological determinants of Yo-Yo intermittent recovery test in male soccer players. *European Journal of Applied Physiology* 2010, 108: 401-409.
- Reilly, T.; White, C. (2005). Small-sided games as an alternative to interval-training for soccer players. In Reilly, T.; Cabri, J.; Araújo, D. (2005). *Science and football V*. London: Routledge.
- Ronsen, O., Lea, T., Bahr, R., Pedersen, B.K. (2002). Enhanced plasma IL-6 and IL-1ra responses to repeated vs. single bouts of prolonged cycling in elite athletes. *J. Appl. Physiol.*, 92:2547-53.
- Sangiao-Alvarellos, S., Cordido, F. (2010). Effect of Ghrelin on Glucose-Insulin Homeostasis: Therapeutic Implications. *International Journal of Peptides*, Volume 2010, Article ID 234709, 1-25.
- Sassi, R.; Reilly, T., Impellizzeri, F. (2005). A comparison of small-sided games and interval training in elite professional soccer players. In Reilly, T.; Cabri, J.; Araújo, D. (2005). *Science and football V*. London: Routledge.
- Scharhag-Rosenberger, F. (2010). Spiroergometrie zur Ausdauerleistungsdiagnostik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2010, Jahrgang 61, Nr. 6.
- Schmidt, W. (1999). Die Bedeutung des Blutvolumens für den Ausdauersport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 1999; 50 (11+12): 341-349.
- Smith, D. & Norris, S. (2000). Changes in glutamine and glutamate concentrations for tracking training tolerance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(3), 684-689.
- Sporis, G.; Jukic, I.; Ostojic, S. M.; Milanovic, D. (2009). Fitness profiling in soccer: physical and physiologic characteristics of elite players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2009; 23 (7): 1947-1953.
- Steinacker, J.M. et al. (2000). Training of junior rowers before world championships. Effects on performance, mood state and selected hormonal and metabolic responses. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40, 327-335.
- Stiglbauer, R. (2009). Einfluss eines High Intensity Intervalltrainings in Blockform unter Berücksichtigung von wettkampfnahen Kleinfeldspielen auf die maximale Sauerstoffaufnahme im Fußballsport. Salzburg: Universität Salzburg.
- Stolen, T.; Chamari, K.; Castagna, C.; Wisloff, U. (2005). Physiology of Soccer. An Update. *Sports Medicine* 2005; 35 (6): 501-536.

- Tomlin, D.; Wenger H. (2001). The Relationship Between Aerobic Fitness and Recovery from High Intensity Intermittent Exercise. *Sports Medicine* 2001; 31 (1): 1-11.
- Tschiene, P. (2006). Streit um die Superkompensation. Die adaptive Reaktion auf Trainingsbelastungen in unterschiedlichen Auffassungen der Trainingsstruktur. *Leistungssport*, 1, 5-15.
- Urhausen, A., Gabriel, H. & Kindermann, W. (1998). Impaired pituitary hormonal response to exhaustive exercise in overtrained endurance athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(3),407-414.
- Urhausen, A., Kindermann, W. (2002). Diagnosis of overtraining. What tools do we have? *Sports Medicine*, 32(2), 95-102.
- Uusitalo, AL., Uusitalo, AJ. & Rusko, H. (2000). Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in the female athlete. *International Journal of Sports Medicine*, 21(1), 45-53.
- Verheijen, R. (1999). *Handbuch Fußballkondition*. Leer: bfp Versand Anton Lindemann.
- Vidotto, C., Tschan, H., Atamaniuk, J., Bachl, N., Müller, M.M. (2005). Responses of N-terminal pro-brain natriuretic peptide (NT-proBNP) and cardiac troponin I (cTnI) to competitive endurance exercise in recreational athletes. *International journal of sports medicine* 2005 Oct; 26(8):645-650.
- Wasserman, Karlman (Hrsg.) (1999). *Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications (Third Edition)*. Philadelphia (u. a.): Lippincott Williams & Wilkins.
- Weineck, J. (1999). *Optimales Fußballtraining. Teil 1: Das Konditionstraining des Fußballspielers (3. Auflage)*. Balingen: Spitta Verlag GmbH.
- Weineck, J. (2000). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings. 11. Auflage*. Balingen: Spitta – Verlag.
- Weineck, J. (2007). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings (15. Überarbeitete Auflage)*. Balingen: Spitta Verlag GmbH.
- Weineck J. (2010). *Sportbiologie. (10., überarbeitete und erweiterte Auflage)*. Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.
- Wisloff, U.; Helgerud, J.; Hoff, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine & Sciences in Sports & Exercise* 1998; 30: 462-7.
- Zagatto, A. M.; Beck, W. R.; Gobatto, C. A. (2009). Validity of the running anaerobic sprint test for assessing anaerobic power and predicting short-distance performances. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2009, 23 (6): 1820-7.
- Zintl, F.; Eisenhut, A. (2004). *Ausdauertraining. Grundlagen – Methoden - Trainingssteuerung*. München: BLV Verlagsgesellschaft mbH.

# 11 Lebenslauf Hinterkörner

## **Persönliche Daten:**

Name: Ing. Franz Hinterkörner, Bakk.  
Anschrift: Kleingreinsfurth 17  
3300 Winklarn  
Telefon: 0676/5078512  
E – Mail: franz@hinterkoerner1.at  
Geburtsdatum: 21.06.1979  
Geburtsort: Amstetten  
Familienstand: ledig  
Staatsbürgerschaft: Österreich

## **Ausbildung / Beruf:**

seit 2009           Magisterstudium Sportwissenschaft  
2009               Abschluss der UEFA B-Lizenz (ÖFB)  
seit 2006           Niederösterreichische Nachrichten (NÖN, Sportredakteur)  
seit 2006           adidas (freier Mitarbeiter, Umsetzung von Marketingprojekten)  
2005 – 2009       Bakkalaureatsstudium Sportmanagement  
2004 – 2005       Metallbau Hinterkörner (Fertigung und Montage)  
2000 – 2004       Fa. Böhler Uddeholm (Techniker: Abwicklung von Investitions- und  
Reparaturprojekten)  
1993 – 1999       Höhere Technische Bundes Lehr- und Versuchsanstalt  
Waidhofen/Ybbs für Wirtschaftsingenieurwesen  
1989 – 1993       Gymnasium Seitenstetten  
1985 – 1989       Volksschule Aschbach

Wien, im November 2010

## 12 Lebenslauf Oesen

### **Persönliche Daten:**

Name: Stefan Oesen, Bakk.  
Anschrift: Goldschlagstraße 133/12-14  
1140 Wien  
Telefon: 0699/ 19 07 82 49  
E – Mail: office@sevencoaching.at  
Geburtsdatum: 02.01.1985  
Geburtsort: Schwarzach i. Pg. (Salzburg)  
Familienstand: ledig  
Staatsbürgerschaft: Österreich

### **Ausbildung / Beruf:**

seit 2009                   Magisterstudium Sportwissenschaften  
seit 2009                   Projektkoordinator „Bewegt Gesund“ bei "Fit für Österreich" in  
Kooperation mit der Wiener Gebietskrankenkasse  
Februar 2009           Abschluss Bakkalaureat Gesundheitssport (Bak.rer.nat.)  
2009                       Nachwuchsbetreuerlehrgang (ÖFB)  
2006 – 2009           Projektmitarbeiter in der betrieblichen Gesundheitsförderung und  
Kursleitung von gesundheitsorientierten Bewegungsprogrammen  
2006 – 2008           Projektmitarbeiter "United World Games" Bereichsleitung Fußball  
2005 – 2009           Bakkalaureatsstudium Gesundheitssport  
2005 – 2006           Trainer Fitnesscenter Club Danube Alt Erlaa  
1999 – 2004           Bundesoberstufenrealgymnasium mit Schul- Sport- Leistungsmodell  
in Spittal/Drau  
1995 – 1999           Ski - Hauptschule in Bad Gastein  
1991 – 1995           Volksschule in Bad Gastein

Wien, im November 2010

