

Universität Leipzig
Sportwissenschaftliche Fakultät

Institut für Sportmedizin & Prävention
Leitung: Prof. Dr. Dr. Martin Busse

Institut für Bewegungs- und Trainingswissenschaft der Sportarten I
Fachgebiet Kampfsport
Leitung: Prof. Dr. Dr. Martin Busse

Masterarbeit

Im Studiengang
M. Sc. Sportwissenschaft: Diagnostik und Intervention im Leistungssport

TITEL

Physiologische Beanspruchung einer Karate-Kumite Trainingseinheit

vorgelegt von:

MARTIN MAX NEUMANN

geboren am 13. August 1988 in Berlin

Tag der Einreichung:

06.07.2017

BETREUER UND GUTACHTER

M. SC. STEFAN KWAST

M. SC. CHRISTIAN BISCHOFF

Universität Leipzig 2017

Bibliografische Beschreibung und Referat

Universität Leipzig, Sportwissenschaftliche Fakultät

Institut für Sportmedizin & Prävention

Institut für Bewegungs- und Trainingswissenschaft der Sportarten I, Fachgebiet
Kampfsport

Masterarbeit

M. Sc. Sportwissenschaft: Diagnostik und Intervention im Leistungssport

Hauptsachtitel:

Physiologische Beanspruchung einer Karate-Kumite Trainingseinheit

.....

Verfasser:

Name: **Neumann**

Vorname: **Martin Max**

Matrikelnummer: 3712395

Erscheinungsjahr: 2017

Seitenzahl: 107

Abbildungen: 66

Anlagen: 14

REFERAT:

Physiologische Beanspruchung einer Karate-Kumite Trainingseinheit

Erstmalig wurde eine direkte und kontinuierliche Messung der VO_2 und der HF zur Quantifizierung einer Trainingsbeanspruchung in der Sportart Karate-Kumite in Anlehnung an die Ausführungsform der World Karate Federation durchgeführt. Über eine qualitative Expertenerhebung erfolgte die Konzeption eines standardisierten Trainings über 60 Minuten. Über Einzelmessungen der Probanden ($N = 9$) und über Tonsignale konnte eine Evidenz gewährleistet werden. Die erhobenen Werte beziehen sich auf Maximalwerte aus vorangegangenen Ausbelastungsverfahren. Hierbei kam ein validierter Karate-Kumite spezifischer Test zum Einsatz. Die Ergebnisse wurden gegen eine standardisierte Fahrradergometrie verifiziert. Hinzu wurde die Validität geprüft. Für die VO_2 , die rVO_2 und die VE konnte die Validität bestätigt werden. Unterschiede wurden in der HFmax und dem maximalen Laktat ermittelt. Das Methodenprotokoll der Fahrradergometrie wurde u.a. als Ursache beschrieben. Der spezifische Test zeigte sich als anwendbar, jedoch sind Verbesserungen vorgestellt. Das Training beanspruchte im Mittel $62,7 \pm 3\%$ der $\text{VO}_{2\text{max}}$ und $77 \pm 5\%$ der HFmax. Die Analyse bestätigte die Annahme, dass die Sportart Karate-Kumite eine Alternative zu einem Herz-Kreislauftraining darstellt. Alle Mindestanforderungen der ACSM für eine biopositive Anpassung oder Erhaltung wurden erfüllt oder übertroffen. Die Analyse konnte hervorbringen, dass ein kalorisch äquivalentes Training in zyklischen Disziplinen eine Beanspruchung nahe der Schwellenleistung fordert. Es resultierte die Empfehlung, ergänzendes zyklisches Training eher im extensiven Bereich zu gestalten. Eine weiterführende Analyse zeigte, dass Spportsportarten mit hohem zyklischen Laufanteil pro Zeit, z.B. Fußball oder Basketball, ähnliche Beanspruchungen wie ein Karate-Kumite Training hervorrufen. Sie bilden von der physiologischen Seite alternative Trainingsformen. Die Prüfung spezifischer Hauptübungen ergab eine Auslastung von 70-100% der $\text{VO}_{2\text{max}}$ und 80-100% der HFmax in Steady-State Bedingungen. Die Arbeit verglich vor allem die Belastungsformen 1minP und 1-1W. In beiden Formen hatte eine Trainingsintention, Technik, Taktik oder Kondition, keinen Einfluss auf die physiologische Beanspruchung. Die Form 1-1W tendierte zu einer höheren Auslastung der VO_2 , aber zu keiner Erhöhung des Steady-States. Eine Übungsform mit 20 Sekunden Aktion gefolgt von 10 Sekunden aktiver Erholung, intermittierend über 3 Minuten, stellt von der physiologischen Sichtweise eine sehr gute Wettkampfsimulation dar. Der Einfluss der Aktionsfrequenz und der Belastungszeit wurden als ausschlaggebende Parameter für die Beanspruchung diskutiert.

ABSTRACT:

Physiological load of a Karate-Kumite training session

For the first time, a continuous breath-by-breath VO_2 measurement and heart rate measurement was performed on a Karate-Kumite training session. The aim was to quantify the physiological load of the specific performance. The performed training session corresponded to the form of the World Karate Federation. Experts were interviewed for training modalities. Therefore, it was designed a standardized training with a duration of 60 minutes. Evidence was ensured by single measurements ($N = 9$) and by controlling training sequences using audio signals. The detected training parameters were evaluated against the maximal parameters from graded exercise stress tests. Here, a validated Karate-Kumite specific field test was applied. Also an incremental maximal exercise test on a bicycle ergometer was used to verify the results. Additionally, the validity between both tests was examined. For the VO_2 , the rVO_2 and the VE , the validity was confirmed. Differences were found in HR_{max} and maximal lactic acid accumulation. It was assumed that the bicycle protocol accounts for the differences. In conclusion, the specific field test was applicable, but improvements are described. The training load demanded a mean VO_2 of $62,7 \pm 3\%$ of the $\text{VO}_{2\text{max}}$ and a mean HR of $77 \pm 5\%$ of the HR_{max} . The study confirmed the assumption that Karate-Kumite training is an alternative for cardiorespiratory sports activities. The ACSM requirements for developing or maintaining cardiorespiratory fitness were fulfilled or exceeded. Furthermore with the use of calorimetry, it was possible to compare the Kumite training load with cyclic sports activities. The comparison showed a work rate on the anaerobic threshold. Therefore, the recommendation in a wide training regime with Karate-Kumite and strength training sessions is to conduct additional cyclic training in an extensive mode to stabilise the performance and prevent overtraining. Additionally, the physiological load of the Karate-Kumite training session was compared to sport games. Soccer and Basketball represent a training alternative with the same physiological response. Karate-Kumite specific exercises showed in steady-state conditions loadings of 70-100% of $\text{VO}_{2\text{max}}$ und 80-100% of HR_{max} . Stress forms of 1minP and 1-1W showed no physiological differences between the training intention of tactic, technic or conditioning. The form 1-1W inclined to a greater load of the VO_2 but did not increase the steady-state condition. An exercise with an active time of 20 seconds and a passive time of 10 seconds over 3 minutes represented physiologically a competition simulation. The influence of frequencies and duration of activities were discussed as determined factors for the physiological stress.

VORWORT

Das eigene Leben ist geprägt von seinen persönlichen Umfeldbedingungen und seinen eigenen Entscheidungen. Die Interaktion beider Seiten bestimmt unser Dasein. Erst in einem Prozess über Jahre steht uns die Möglichkeit zur Verfügung, Dinge zu realisieren, die wir nicht absehen konnten. Auch der Zufall ist nicht unbeteiligt und trägt seinen Anteil.

Das vorliegende Ergebnis dieser Masterarbeit sehe ich als vorliegenden Prozess meines Lebens an. Hätte ich nicht mit dem Karate-Sport begonnen und nicht den Entschluss gefasst, das Sportstudium durchzuführen, würde es diese Arbeit nicht geben. Weiterführend sind auch aktuelle Gegebenheiten zu benennen, die eine Umsetzung erst ermöglichten. Hierbei sei z.B. die Nutzung eines Autos erwähnt, die mir die nötige Flexibilität zur Durchführung der Untersuchung gab. Hinzu möchte ich die Bundesrepublik Deutschland hervorheben. Mit dem Erhalt von BAföG wurden mir die finanzielle Sicherheit und der Raum gegeben mein Studium, meine Entwicklung und die Forschung zu fördern. Für diese Möglichkeit bin ich sehr dankbar und befürworte eine breitere und ein mehr gleichberechtigte Förderung für alle. Im Zusammenhang mit meinen Entscheidungen, Glück und meinem resultierenden Umfeld bekam ich die Chance, die vorliegende Forschung auszuführen.

Hätten viele Dinge nicht ineinander gespielt, wäre diese Arbeit nicht zu Stande gekommen. Ich sah mich als Fahnenträger für meine gegebene Situation in der Verbindung zwischen der Karate-Welt und der Sportwissenschaft an. Entsprechend war es mein Ziel für die Forschung und die Gemeinschaft eine für die Praxis übertragbare und gewinnbringende Untersuchung zu realisieren. Aus den benannten Gedankengängen schöpfte ich Kraft und Motivation. Denn es gab Momente in der Erhebungsphase, an denen ich des Öfteren ans Aufgeben dachte. Ich hoffe, mit meiner Arbeit die sportliche Sichtweise des Karate-Kumites erweitert zu haben und einen Übertrag in die Sportpraxis vollzogen wird. Hinzu hoffe ich, dass ich neue Ansätze zur weiteren Forschung aufzeigen konnte.

Wie bei allen großen Projekten wäre auch diese Arbeit alleine nicht umsetzbar gewesen. Ich möchte mich bei meinen Betreuern Stefan Kwast und Christian Bischoff bedanken. Bei Fragen, Hilfestellungen und Anregungen standen sie stets bereit. Im gleichen Zuge auch ein Dank an die Sportmedizin für die Bereitschaft und das Vertrauen in dem Umgang mit den zur Verfügung gestellten Gerätschaften. Im besonderen Maße möchte ich Stefan Kwast für den vielfältigen und themenübergreifenden Austausch in unseren Gesprächen innerhalb meiner gesamten Studienzeit danken. Ein weiterer großer Dank gilt den Probanden, die sich zeitlich und physisch aufgeopfert haben. Danke an Ideengeber, Ausbilder, Gegenleser, Hausmeister, Unterstützer und Freunde. Ich hoffe, ich kann ihnen allen ein wenig mit der Arbeit und den Ergebnissen zurückgeben. Ich danke meiner Familie für die Unterstützung in jeglicher Art, auch wenn sie meinen Weg und meine Absichten nicht immer ganz nachvollziehen. Ich wünsche dem Leser viel Freude beim Lesen und kritischen Reflektieren.

Inhaltsverzeichnis

Physiologische Beanspruchung einer Karate-Kumite Trainingseinheit.....	
Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	X
Karatespezifische Begrifflichkeiten	XI
1 Einleitung	1
2 Theorie	4
2.1 Komplexität der Adaptation	4
2.2 Die Sauerstoffaufnahme als valider Intensitätsparameter	5
2.3 Kinetik der Sauerstoffaufnahme	9
2.4 Karate-Kumite und seine energetische Anforderung	13
2.5 Physiologische Beanspruchung bei Wettkampfsimulationen und Wettkämpfen im Karate-Kumite	16
2.6 Spezifische leistungsdiagnostische Testformen im Karate-Kumite.....	20
2.7 Belastungsmindestmaß für eine trainingsbedingte Adaptation im Allgemeinen und im Karate-Kumite	21
2.8 Trainingsuntersuchungen im Karate-Kumite	24
2.9 Fazit Forschungsstand	27
3 Forschungsfragen und Hypothesen	28
4 Methodik.....	30
4.1 Studiendesign.....	30
4.2 Sample/Stichprobe	30
4.3 Erhebungsinstrumente	31
4.4 Forschungsdesign und Durchführung	34
4.5 Datenbearbeitung	44
4.6 Datenauswertung	45
4.7 Statistische Auswertung	47

5 Ergebnisse	48
5.1 Ausbelastungstests	48
5.1.1 KST – Deskriptive Beschreibung	48
5.1.2 Maximalparameter	48
5.2 Deskriptive Beschreibung der vollständigen Trainingseinheit.....	51
5.3 Hauptübungen.....	57
5.3.1 Darstellung der vollständigen Belastungsform	57
5.3.2 Darstellung der ersten und zweiten Belastungsphase der Übungsausführungen	66
5.4 Übungsart als Wettkampfsimulation.....	78
6 Diskussion.....	79
6.1 Limitationen der Studie.....	79
6.2 Der KST als leistungsdiagnostische Testform	84
6.3 Beanspruchung einer Karate-Kumite Trainingseinheit.....	86
6.3.1 Kalorischer Aufwand und Glykogenverbrauch im Karate-Kumite Training	88
6.3.2 Die Beanspruchung eines Karate-Kumite Trainings im Kontext zu zyklischen Trainingsmitteln.....	90
6.3.3 Die Beanspruchung eines Karate-Kumite Trainings im Kontext zu Spielsportarten.....	91
6.4 Übungsarten und Belastungsformen im Vergleich.....	95
6.5 Übung 3 als repräsentative Wettkampfübung	100
7 Zusammenfassung und Ausblick	103
Literaturverzeichnis	
Anhang.....	

Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1.</i>	Zugrunde liegende Gleichung zur Bestimmung der Sauerstoffaufnahme = VO_2 , VE = Atemminutenvolumen, FI = Sauerstoffanteil in der Inspirationsluft, FE = Sauerstoffanteil in der Expirationsluft, Marées et al., 2003, S. 232	6
<i>Abb. 2.</i>	Physikalische Darstellung der Zusammensetzung der VO_2 mit den dahinterliegenden physiologischen Systemen, modifiziert nach Wonisch et al., 2003	6
<i>Abb. 3.</i>	Grafische Beispieldarstellung der Sauerstoffkurve mit Sauerstoffdefizit und Sauerstoffmehraufnahme nach Belastungsende, modifiziert nach Marées, 2003, S. 377	10
<i>Abb. 4.</i>	Links: Einfluss von T auf die Sauerstoffkinetik ; rechts: Verdeutlichung der Zeitabschnitte von T bis VO_2 Steady-State erreicht ist, modifiziert nach Poole & Jones, 2012, S. 935, 937	11
<i>Abb. 5.</i>	Links: Sauerstoffverläufe unterschiedlicher Intensitäten, keine Steady-State Bildung bei hohen Intensitäten, CP = Critical Point, GET = Gas Exchange Treshold, Poole & Jones, 2012, S. 937 ; rechts: Sauerstoffverläufe von Fahrradergometrien zu unterschiedlichen Wattleistungen eines Probanden, Schwellenleistung bei 170 Watt, anzumerken der Anstieg der VO_2 ab einer Belastung von 200 Watt, Davis, 1985	12
<i>Abb. 6.</i>	Links: schematische Darstellung des Sauerstoffverlaufs bei drei unterschiedlichen Intensitäten, schraffierte Fläche beschreibt die VO_{2SC} , Pfeil entspricht Belastungsabbruch ; rechts: schematische Darstellung des Laktatverhaltens bei der jeweiligen Belastungsform, betrachte: kein weiterer Laktatanstieg bei steigender VO_2 bei Belastung Heavy, Poole & Jones, 2012, S. 939	12
<i>Abb. 7.</i>	Energetisches Anforderungsprofil für beide Geschlechter im Karate-Kumite, modifiziert nach Doria et al., 2009	14
<i>Abb. 8.</i>	Verteilung der Energieversorgung in leichtathletischen Laufdisziplinen bei Spitzenathleten, Hartmann & Niessen, 2011	15
<i>Abb. 9.</i>	Zusammenhang zwischen dem aeroben/anaerob-laktaziden Anteil am Arbeitsumsatz und der Kampfrunde, aus der Diplomschrift von Beyer, 1999, gleiche Untersuchung wie Beneke et al., 2004.....	15
<i>Abb. 10.</i>	Absolute VO_2 in l/min aus 10, 9, 9 und 8 Kämpfen in Runde1-4 und für die gesamte Anzahl an Kämpfen, Beyer, 1999	17
<i>Abb. 11.</i>	Bruttokampfzeiten und absolute und relative HFen eines offiziellen internationalen Turniers, Tabben et al., 2013	18
<i>Abb. 12.</i>	Durchschnittliche prozentuale Verteilung der Kampfzeit in Intensitätszonen der HF je Kampfrunde und Geschlecht, Tabben et al., 2013	19

<i>Abb. 13.</i>	Reliabilitätsprüfung, Test-Retest-Verfahren KST, SEM = standard error of measurement, SWC = smallest worthwhile effect, Tabben et al., 2014b	20
<i>Abb. 14.</i>	Übersicht der ACSM Intensitätsempfehlungen zur Entwicklung und Aufrechterhaltung der kardiopulmonalen Fitness bei Erwachsenen, da Cunha et al., 2011.....	22
<i>Abb. 15.</i>	Prozentuale Darstellung der maximalen HF in den Trainingseinheiten, TT = Taktiktraining, TD = Techniktraining, Tabben et al., 2014a	24
<i>Abb. 16.</i>	Darstellung der durchschnittlichen Trainingszeit und der Zeit über und unter der durchschnittlichen Herzleistung von 60% von der maximalen Herzleistung, Milanez et al., 2012.....	25
<i>Abb. 17.</i>	VO2 (links) und HF (rechts) zu den jeweiligen Übungsausführungen, T für Tech, Imamura et al., 1999	26
<i>Abb. 18.</i>	KST Testprotokoll, Tabben et al., 2014b	36
<i>Abb. 19.</i>	KST Testaufbau, modifiziert nach, Tabben et al., 2014b	37
<i>Abb. 20.</i>	Allgemeiner Trainingsaufbau der Karate-Kumite Trainingseinheit	39
<i>Abb. 21.</i>	Formel zur Bestimmung der Effektstärke, Z = Prüfgröße, N = Teilnehmeranzahl.....	47
<i>Abb. 22.</i>	Zeitlicher Verlauf der VO2 und der HF von Proband 5 bei der Ausführung des KSTs, Werte 10 Sekunden gemittelt	48
<i>Abb. 23.</i>	Korrelationsanalyse zwischen der Fahrradergometrie und dem KST, links VO2max, rechts rVO2max.....	50
<i>Abb. 24.</i>	Korrelationsanalyse der HFmax zwischen der Fahrradergometrie und dem KST	50
<i>Abb. 25.</i>	Bland-Altman-Plot zwischen der Fahrradergometrie und dem KST, links VO2max, rechts rVO2max.....	50
<i>Abb. 26.</i>	Zeitlicher Verlauf der VO2 von Proband 5 bei der Ausführung des Trainings, Übungsabfolge im Hauptteil: 3,1,2 , Trainingsstart bei 60 Sekunden, horizontale Linien verdeutlichen Belastungsintensität von 30, 50, 80 und 100% der VO2max, 50% Mindestanforderung nach ACSM, EL = Einlaufen, LS = Laufschiule, DD = Dynamisches Dehnen, KO = Koordinative Übungen, SS = Spiegelschlagen, Ü1 = Uraken-Gyaku-Zuki mit Doppelstep, Ü2 = direkter Konter mit Faust oder Fuß, Ü3 = Pratzenkampf	52
<i>Abb. 27.</i>	Zeitlicher Verlauf der HF von Proband 5 bei der Ausführung des Trainings, Übungsabfolge im Hauptteil: 3,1,2 , Trainingsstart bei 60 Sekunden, horizontale Linien verdeutlichen Belastungsintensität von 60, 80 und 100% der HFmax, 60% Mindestanforderung nach ACSM, EL = Einlaufen, LS = Laufschiule, DD = Dynamisches Dehnen, KO = Koordinative Übungen, SS = Spiegelschlagen, Ü1 = Uraken-Gyaku-Zuki mit Doppelstep, Ü2 = direkter Konter mit Faust oder Fuß, Ü3 = Pratzenkampf	53

Abb. 28.	Deskriptive Darstellung der zeitlichen Beanspruchung der prozentualen Intensitätsbereiche der VO ₂ anhand der VO ₂ max vom gesamten Training, MW und SD.....	54
Abb. 29.	Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der VO ₂ anhand der VO ₂ max in Prozent von der gesamten Trainingseinheit, MW und SD.....	54
Abb. 30.	Deskriptive Darstellung der zeitlichen Beanspruchung der prozentualen Intensitätsbereiche der HF anhand der HFmax vom gesamten Training, MW und SD.....	55
Abb. 31.	Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der HF anhand der HFmax in Prozent von der gesamten Trainingseinheit, MW und SD,	55
Abb. 32.	Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der VO ₂ anhand der VO ₂ max – Vergleich aller Übungen(Ü1-3) über die gleiche Belastungszeit bei unterschiedlichen Belastungsformen (1minP und 1-1W), MW und SD.....	57
Abb. 33.	Vergleich der unterschiedlichen Belastungsformen: a) 1minP und 1-1W in Ü1 und Ü2, b) Vergleich der Belastungsform 1-1W zwischen Ü1 und Ü2, * = sign. Unterschied, MW und SD.....	58
Abb. 34.	Vergleich der Belastungsform 1minP von Ü1, 2 und 3, * = sign. Unterschied, MW und SD	59
Abb. 35.	Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der HF anhand der HFmax – Vergleich aller Übungen(Ü1-3) über die gleiche Belastungszeit bei unterschiedlichen Belastungsformen (1minP und 1-1W), MW und SD.....	59
Abb. 36.	Vergleich der durchschnittlichen HF und der HFpeak: a) von den unterschiedlichen Belastungsformen in Ü1 und Ü2, b) zwischen Ü1 und Ü2 bei der Belastungsform 1-1W, * = sign. Unterschied, MW und SD....	60
Abb. 37.	Vergleich der durchschnittliche HF und der HFpeak in der Belastungsform 1minP von Ü1, 2 und 3, * = sign. Unterschied, MW und SD	61
Abb. 38.	Vergleich der durchschnittlichen VE und der VEpeak: a) von den unterschiedlichen Belastungsformen in Ü1 und Ü2, b) zwischen Ü1 und Ü2 bei der Belastungsform 1-1W, * = sign. Unterschied, MW und SD....	62
Abb. 39.	Vergleich durchschnittliche VE und der VEpeak in der Belastungsform 1minP von Ü1, 2 und 3, * = sign. Unterschied, MW und SD	62
Abb. 40.	Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der VO ₂ anhand der VO ₂ max von Ü3 mit der Belastungsform 3minP, MW und SD	63
Abb. 41.	Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der HF anhand der HFmax von Ü3 mit der Belastungsform 3minP, MW und SD	63

<i>Abb. 42.</i>	Vergleich der durchschnittliche VO ₂ der Belastungsform 3minP zu allen Übungen und Belastungsformen, * = sign. Unterschied, MW und SD	64
<i>Abb. 43.</i>	Vergleich der durchschnittlichen HF der Belastungsform 3minP zu allen Übungen und Belastungsformen, * = sign. Unterschied, MW und SD	64
<i>Abb. 44.</i>	Vergleich der HFpeak der Belastungsform 3minP zu allen Übungen und Belastungsformen, * = sign. Unterschied, MW und SD	65
<i>Abb. 45.</i>	Vergleich der durchschnittlichen VE der Belastungsform 3minP zu allen Übungen und Belastungsformen, * = sign. Unterschied, MW und SD	65
<i>Abb. 46.</i>	Vergleich der VEpeak der Belastungsform 3minP zu allen Übungen und Belastungsformen, * = sign. Unterschied, MW und SD	65
<i>Abb. 47.</i>	Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der VO ₂ anhand der VO ₂ max – Vergleich aller Übungen der Belastungsform 1minP im aktiven und passiven Arbeitsbereich, MW und SD.....	66
<i>Abb. 48.</i>	Passive und aktive Maximalwerte der VO ₂ der Belastungsform 1minP aller Übungen, Vergleich innerhalb der Übungen: * = sign. Unterschied, MW und SD.....	67
<i>Abb. 49.</i>	Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der HF anhand der HFmax – Vergleich aller Übungen der Belastungsform 1minP in aktiven und passiven Arbeitsbereich, MW und SD.....	68
<i>Abb. 50.</i>	Passive und aktive Maximalwerte der HF der Belastungsform 1minP aller Übungen, Vergleich innerhalb der Übungen: * = sign. Unterschied.....	69
<i>Abb. 51.</i>	Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der VO ₂ anhand der VO ₂ max – Vergleich der Ü1 und Ü2 in der Belastungsform 1-1W in der 1. (1M) und 2. (2M) Belastungsminute, MW und SD	69
<i>Abb. 52.</i>	Maximalwerte der VO ₂ der 1. und 2. Belastungsminute der Belastungsform 1-1W aller Übungen, Vergleich innerhalb der Übungen: * = sign. Unterschied, MW und SD	70
<i>Abb. 53.</i>	Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der HF anhand der HFmax – Vergleich der Ü1 und Ü2 in der Belastungsform 1-1W in der 1. (1M) und 2. (2M) Belastungsminute, MW und SD	70
<i>Abb. 54.</i>	Maximalwerte der HF der 1. und 2. Belastungsminute der Belastungsform 1-1W aller Übungen, Vergleich innerhalb der Übungen: * = sign. Unterschied, MW und SD	71
<i>Abb. 55.</i>	Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der VO ₂ anhand der VO ₂ max von Ü3 mit der Belastungsform 3minP, aufgeteilt in aktiven und passiven Bereich, MW und SD.....	72
<i>Abb. 56.</i>	Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der HF anhand der HFmax von Ü3 mit der Belastungsform 3minP, aufgeteilt in aktiven und passiven Bereich, MW und SD.....	72

<i>Abb. 57.</i> Maximalwerte der VO ₂ der Ü1 aus der ersten und zweiten Belastungsphase der Belastungsformen 1minP und 1-1W, p = passiv, a = aktiv, 1M = 1. Minute, 2M = 2. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD	73
<i>Abb. 58.</i> Maximalwerte der VO ₂ der Ü2 aus der ersten und zweiten Belastungsphase der Belastungsformen 1minP und 1-1W, p = passiv, a = aktiv, 1M = 1. Minute, 2M = 2. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD	73
<i>Abb. 59.</i> Maximalwerte der HF der Ü1 aus der ersten und zweiten Belastungsphase der Belastungsformen 1minP und 1-1W, p = passiv, a = aktiv, 1M = 1. Minute, 2M = 2. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD	74
<i>Abb. 60.</i> Maximalwerte der HF der Ü2 aus der ersten und zweiten Belastungsphase der Belastungsformen 1minP und 1-1W, p = passiv, a = aktiv, 1M = 1. Minute, 2M = 2. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD	74
<i>Abb. 61.</i> Maximalwerte der VO ₂ aller Übungen und Belastungsformen der ersten Belastungsphase, p = passiv, 1M = 1. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD	75
<i>Abb. 62.</i> Maximalwerte der HF aller Übungen und Belastungsformen der ersten Belastungsphase, p = passiv, 1M = 1. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD	75
<i>Abb. 63.</i> Maximalwerte der VO ₂ aller Übungen und Belastungsformen der zweiten Belastungsphase, a = aktiv, 2M = 2. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD	76
<i>Abb. 64.</i> Maximalwerte der HF aller Übungen und Belastungsformen der zweiten Belastungsphase, a = aktiv, 2M = 2. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD	76
<i>Abb. 65.</i> Maximalwerte der VO ₂ von der aktiven Phase aller Übungen in den Belastungsformen 1minP und 1-1W im Vergleich zur passiven Phase der Ü3 mit der Belastungsphase 3minP, * = sign. Unterschied, MW und SD	77
<i>Abb. 66.</i> Maximalwerte der HF von der aktiven Phase aller Übungen in den Belastungsformen 1minP und 1-1W im Vergleich zur passiven Phase der Ü3 mit der Belastungsphase 3minP, * = sign. Unterschied, MW und SD	77

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.	<i>Eingruppierung der absoluten und relativen VO₂max nach Leistungsstand und Geschlecht ausgehend von zyklischen Ausdauerdisziplinen, Werte abgeleitet von Marées et al., 2003, S. 303, 455, & 653, Silbernagl et al., 2001, S. 77 und Jones, 2006 ; Darstellung ergometrisch erhobener VO₂ für Elite-Karate-Sportler in Kumite, abgeleitet von Chaabène, Hachana, Franchini, Mkaouer & Chamari, (2012b).....</i>	9
Tab. 2.	<i>Ergebnisse aus den Forschungen zur Quantifizierung der energetischen Anforderung im Karate Kumite, Werte bei Doria et al., 2009, aus der Grafik abgeleitet, Werte nur teilweise in Arbeit ausgewiesen.....</i>	14
Tab. 3.	<i>Anthropometrische Daten des Untersuchungskollektivs</i>	30
Tab. 4.	<i>Spezifische Qualität der Sportler im Karate-Kumite, LK = Landeskader, BK = Bundeskader, WK = Wettkampf.....</i>	30
Tab. 5.	<i>Aktuelles Trainingsvolumen der letzten 4 Wochen vor der individuellen Datenaufnahme, TE = Trainingseinheit, h = Trainingsstunden</i>	31
Tab. 6.	<i>Forschungsdesign.....</i>	35
Tab. 7.	<i>Rampenprotokoll Fahrradergometrie, 10min Erwärmung bei 60 Watt, dann Steigerung 30 Watt/Minute</i>	38
Tab. 8.	<i>Detaillierter Trainingsablauf; Farben: grün = allgemeine Erwärmung, orange = spezifische Erwärmung, blau = Hauptteil, lila = Schluss, hellblau = Pausen</i>	41
Tab. 9.	<i>Koordinierte Randomisierung der Ausbelastungstests und der Übungsabfolgen im Training.....</i>	43
Tab. 10.	<i>Übersicht der erbrachten Leistungen in den Ausbelastungstests</i>	49
Tab. 11.	<i>Übersicht der Maximalparameter aus den Ausbelastungstests, MW und SD, * = sign. Unterschied.....</i>	49
Tab. 12.	<i>Anzahl an Angriffsaktionen aller Probanden über das gesamte Training.....</i>	51
Tab. 13.	<i>Angriffsfrequenzen innerhalb der Belastungsformen.....</i>	51
Tab. 14.	<i>Durchschnittliche Bewertung der gesamten Trainingseinheit, TE = Trainingseinheit, HW der AB = ermittelter Höchstwert aus beiden Ausbelastungen</i>	56
Tab. 15.	<i>Qualitative Bewertung der gesamten Trainingseinheit, Foster: 10 = maximal, Abw. TE: 10 = sehr hohe Abw.....</i>	56
Tab. 16.	<i>Durchschnittliche VO₂ je Übung und Belastungsform, Darstellung absolut und relativ zur VO₂max, weiterhin Darstellung des Energieumsatzes und der betrachteten Gesamtzeit des VO₂-Verlaufes, MW und SD</i>	58
Tab. 17.	<i>Durchschnittliche HF und HFpeak je Übung und Belastungsform, Darstellung absolut und relativ zur HFmax, MW und SD</i>	60

Tab. 18.	<i>Durchschnittliche VE und VEpeak je Übung und Belastungsform, Darstellung absolut und relativ zur VEmax, MW und SD</i>	<i>61</i>
Tab. 19.	<i>Übersicht aller erhobenen physiologischen Parameter von Ü3 mit der Belastungsform 3minP, absolute und relative Darstellung</i>	<i>64</i>
Tab. 20.	<i>Gemittelte Höchstwerte der VO2 in den passiven und aktiven Arbeitsbereichen aller Übungen der Belastungsform 1minP, MW und SD</i>	<i>67</i>
Tab. 21.	<i>Gemittelte Höchstwerte der HF in den passiven und aktiven Arbeitsbereichen aller Übungen der Belastungsform 1minP, MW und SD</i>	<i>68</i>
Tab. 22.	<i>Gemittelte Höchstwerte der VO2 in der 1. und 2. Belastungsminute aller Übungen der Belastungsform 1-1W, MW und SD</i>	<i>70</i>
Tab. 23.	<i>Gemittelte Höchstwerte der HF in der 1. und 2. Belastungsminute aller Übungen der Belastungsform 1-1W, MW und SD</i>	<i>71</i>
Tab. 24.	<i>Gemittelte Höchstwerte der VO2 und der HF im passiven und aktiven Arbeitsbereich von Ü3 in der Belastungsform 3minP, * = sign. Unterschied, MW und SD</i>	<i>72</i>
Tab. 25.	<i>MW und SD der aktiven Belastungsphase von Ü3 über 3 Minuten von den Parametern VO2 und HF</i>	<i>78</i>
Tab. 26.	<i>Subjektive Befindlichkeit vor der Belastung, 1 = ganz schlecht, 10 = sehr gut</i>	<i>79</i>
Tab. 27.	<i>Maximale Laktatwerte geordnet nach Randomisierung</i>	<i>80</i>

Abkürzungsverzeichnis

ACSM	American College of Sports Medicine
ATP	Adenosintriphosphat
FeO ₂	Sauerstoffkonzentration in Prozent
FeCO ₂	Kohlenstoffdioxidkonzentration in Prozent
HF	Herzfrequenz
HFmax	maximale Herzfrequenz
HMV	Herzminutenvolumen in Liter pro Minute
HFR	Herzfrequenzreserve, Differenz aus Absolutwert und Ruhe- wert
kcal	Kilokalorien
kJ	Kilojoule
KST	Karate-Kumite spezifischer Test
RQ	respiratorischer Quotient
RPE	ratings of perceived exertion, subjektives Belastungsemp- finden
rVO ₂	relative Sauerstoffaufnahme in Milliliter pro Minute je Kilo- gramm
rVO ₂ max	maximale relative Sauerstoffaufnahme in Milliliter pro Mi- nute je Kilogramm
SV	Schlagvolumen
TE	Trainingseinheit
U/min	Umdrehungen pro Minute
Ü1	Übung 1
Ü2	Übung 2
Ü3	Übung 3
VCO ₂	Kohlenstoffdioxidmenge in Liter pro Minute
VE	Atemminutenvolumen in Liter pro Minute
VEmax	maximales Atemminutenvolumen in Liter pro Minute
VO ₂	Sauerstoffaufnahme in Liter pro Minute
VO ₂ max	maximale Sauerstoffaufnahme in Liter pro Minute
VO ₂ R	Reserve der Sauerstoffaufnahme, Differenz aus Absolut- wert und Ruhewert
VO ₂ SC	slow component, langsame Phase des Sauerstoffanstiegs
WKF	World Karate Federation
1minP	Belastungsform 1 Minute je Partner, aktive Übungsausfüh- rung von zuerst einem Partner über 1 Minute, dann der an- dere Partner über 1 Minute
1-1W	Belastungsform 1-1 im Wechsel, aktive Übungsausführung abwechselnd

Karatespezifische Begrifflichkeiten

Kyu	Klasse, Rang, Schülergrad, Gürtelgrad
Kyu-Grad Abfolge	Gürtelfarben vom Anfänger zum Fortgeschrittenen: weiß, gelb, orange, grün, blau, braun
Dan	Meistergrad, schwarzer Gürtel
Kihon	Grundschule, Übung von Grundtechniken
Kata	Kürform von festgelegten aneinandergereihten Techniken, Kampf gegen imaginäre Gegner
Kumite	Kampfform mit/gegen den Partner
Kizami-Zuki	Faustschlag mit dem vorderen Arm, Prellschlag
Gyaku-Zuki	Fauststoß mit dem hinteren entgegengesetzten Arm
Uraken	geschnappter Angriff mit dem Fastrücken
Mawashi-Geri	Halbkreisfußtritt
Ura-Mawashi-Geri	rückseitiger Halbkreisfußtritt
Randori	Übungsform des Freikampfes

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde auf das Hinzufügen weiblicher Endungen verzichtet. Sofern nicht eindeutig kenntlich gemacht, schließt die männliche Form die weibliche mit ein.

Aufgrund einer Vielzahl von numerischen Angaben wurde entgegen der üblichen Schreibweise der Verschriftlichung von Zahlen bis Zwölf, die Zahlen im unmittelbaren Kontext zu einer Einheit, z.B. Minuten, Sekunden, Geschwindigkeiten, als numerische Zahl geschrieben. Das Ziel ist eine bessere Lesbarkeit und eine schnellere Erfassung der Kennwerte und Inhalte.

1 Einleitung

Die Ursprünge des Karate stammen von der japanischen Insel Okinawa. Als Eigenschutz und durch Waffenverbote entwickelte sich die Sportart zu ihrer heutigen Übersetzung „Kampfkunst der leeren Hand“ (kara = leer, te = Hand). Karate wurde im geschichtlichen Verlauf nicht immer toleriert, wodurch es im Geheimen trainiert und vermittelt wurde. Hierdurch entstanden vielfältigste Formen der Ausführung. Diese prägen auch heute noch die Karate-Welt und machen die Sportart zum Teil auch uneinsichtig (Lind, 1997). Dennoch schafft es Karate, eine Vielzahl von Menschen zu begeistern. Sie ist aktuell eine der verbreitetsten Kampfsportarten der Welt. Die aufkommende Attraktivität zeigt sich auch mit der erstmaligen Teilnahme des Karate an den olympischen Spielen 2020 in Tokyo. Karate unterscheidet sich im Wettkampf zwischen den Disziplinen Kata (Kürform) und Kumite (Kampf).

Aus sportwissenschaftlicher Sicht sind beide Disziplinen, aufgrund der verschiedenen physiologischen Anforderungen, eine Sportart für sich. Um dieser Sportartsspezifität gerecht zu werden, wird sich die vorliegende Untersuchung nur auf die Disziplin Kumite konzentrieren. Alle folgenden Aussagen und Beschreibungen beziehen sich auf diese Form.

Die Wettkampfleistung im Karate-Kumite ist vielfältig erforscht. Über Wettkampfsimulationen konnte die energetische Beanspruchung bestimmt werden (Beneke, Beyer, Jachner, Erasmus & Hütler, 2004; Doria et al., 2009). Während offizieller Wettkämpfe kamen Herzfrequenzmessungen, Laktatmessungen und Messungen des subjektiven Belastungsempfindens zur physiologischen Beurteilung zum Einsatz. Ebenfalls beschreiben Time-Motion-Analysen die häufigsten Technikdurchführungen und ihre zeitliche Struktur (Chaabène et al., 2014b; Chaabène et al., 2014a; Tabben et al., 2013). Im Vergleich zum Wettkampf wird jedoch die meiste Zeit für das Training aufgewendet. Dennoch weisen Trainingsuntersuchungen im Karate-Kumite Defizite auf. Nach einem kurzen Bezug zur grundlegenden Sichtweise des Trainings wird folgend die Forschungslücke im Karate-Kumite Training näher erläutert.

Das Reiz-Anpassungsmodell stellt die grundlegende Sichtweise des Trainings dar. Der Körper wird durch die Belastung geschwächt und passt sich folgend biopositiv an, um einem erneuten Reiz besser entgegenwirken zu können. Aus sportwissenschaftlicher Sicht ist die Quantifizierung des Reizes von großer Bedeutung. Erst mit der Kombination von Ausmaß und Entwicklung wird ersichtlich, ob ein Reiz adäquat ausfiel oder eine Unter- oder Überforderung verursachte. Der Trainingsreiz setzt sich immer aus den Parametern Häufigkeit, Dauer und Intensität zusammen (Haber, 2009, S. 162 ff.). Eine Erfassung des Trainingsreizes erfolgt dabei oft indirekt, z.B. über Zeiten, Geschwindigkeiten, Anzahl an Durchführungen oder Streckenlängen bzw. in einer komplexen Betrachtung der Gesamtheit.

Die direkte biologische Antwort auf die Belastung entspricht der Intensität. Im Training und in der Forschung wird die Intensität der Praktikabilität halber mit der Herzfrequenz (HF) ermittelt. Speziell in der Forschung ist jedoch der alleinige Parameter HF für die physiologische Auslastung als unzureichend zu beurteilen. Der aktuell umfassendste und aussagekräftigste valide physiologische Intensitätsparameter ist die Sauerstoffaufnahme (VO_2), die mittels Spirometrie aufgenommen werden kann. Studien über die physiologische Auslastung einer gesamten Trainingseinheit sind in jeglichen Sportarten rar und auch in Bezug zur VO_2 methodisch unvollständig. Gleiches gilt auch für den Karate-Kumite Bereich. Hinzu weist die Forschungslage im Allgemeinen und im Speziellen wenige Untersuchungen von Trainingseinheiten mit detailgetreuen Ablaufbeschreibungen auf. Vor allem in nicht-zyklischen Sportarten mit vielfältigen Trainingsteilen wie Erwärmung, Konditions-, Technik- und Taktiktraining sind die physiologischen Beanspruchungen wenig untersucht.

Um einen Beitrag zur Schließung der Forschungslücke zu leisten, ist es das Ziel der vorliegenden Arbeit, erstmalig eine spezifische und standardisierte Trainingseinheit in der azyklischen Sportart Karate-Kumite in seiner Gesamtheit mit der VO_2 und der HF deskriptiv darzustellen und zu untersuchen. Somit wird eine sportartbezogene Aussage zur direkten biologischen Beanspruchung durch die vorliegende Belastung möglich. Das generierte Wissen über das Reizausmaß kann erstmals datenbezogen auf die Trainingsplanung und Trainingssteuerung angewendet werden. Um den beschriebenen Limitationen der Forschungslage entgegenzuwirken, wird folgend die Ausrichtung der Arbeit kurz erläutert und die konzeptionelle Gliederung der Untersuchung mit seinen detaillierten Absichten abgebildet.

Die Theorie stellt die physiologischen Grundlagen und den Forschungsstand des Karate-Kumites zur Forschungsabsicht dar. Auf Basis der hierbei herausgearbeiteten Schwachstellen aktueller Forschung findet die Schlussfolgerung auf die Forschungsfrage mit dem inhaltlichen Vorhaben statt. Daraus abgeleitete Hypothesen werden präsentiert. Das methodische Vorgehen trägt dem Sachverhalt der Forschungslimitation Rechnung. Da es aufgrund beschriebener historischer Umstände eine Vielzahl an Karate-Stilrichtungen und -Verbänden gibt, unterscheiden sich die vielen Ausführungsformen in ihrer Spezifizierung der sportlichen Tätigkeit (Lind, 1997). Somit ist es von Bedeutung, die Ausübungsform genauer zu beschreiben. Entsprechend wurde die Ausführungsform der vorliegenden Untersuchung an den weltweit größten Karateverband, der World Karate Federation (WKF), angelehnt. Für die Konzeption der Trainingseinheit wurden Trainer-Experten befragt. Mit der qualitativen Erhebung konnte ein klassisches, aber auch vielfältiges Training erstellt werden. Spezifische Übungsarten und Belastungsformen kamen zum Einsatz und sind detailliert beschrieben. Es wurde mit einer akustischen Steuerung ein standardisiertes Training mit einer kontinuierlichen Messung der VO_2 und der HF durchgeführt. Die Auswertung der Trainingseinheit erfolgte anhand von physiologischen Maximalparametern. Um der Spezifik gerecht zu werden, wurde ein validierter spezifischer Karate-Kumite Feldtest angewandt. Als Referenz wurde zusätzlich eine

Standard-Labordiagnostik durchgeführt. Die Ergebnisse verdeutlichen die physiologische Beanspruchung auf die spezifische Belastung für die gesamte Trainingseinheit und für die einzelnen Übungsabschnitte. Der detailgetreue Blick auf die Beanspruchungen der Übungsart und Übungsformen wird erstmalig beschrieben. Diese wurden intern und zur Wettkampfleistung verglichen und beurteilt. Erstmalig war es möglich, den Einsatz von kumitespezifischen Übungen im Training unter der physiologischen Sichtweise zu diskutieren und zu begründen. Weiterführend konnte durch die Bestimmung der VO_2 der kalorische Aufwand berechnet werden. Die Quantifizierung ermöglichte einen objektiven Vergleich zur Beanspruchung und der Nahrungsaufnahme. Hinzu fand durch die kalorische Bestimmung ein Vergleich zu Intensitäten und Umfängen in zyklischen Disziplinen statt. Somit kann zukünftig der Einsatz eines zyklischen Trainingsmittels, z.B. Lauf, in Form von seiner Anforderung beschrieben und in seiner Anwendung mit einer entsprechenden Intensität als ergänzendes Trainingsmittel diskutiert werden. Durch die Bestimmung der physiologischen Struktur des Trainings war ein Vergleich zu anderen Sportarten möglich. Der Fokus richtete sich hierbei auf ausgewählte Sportsportarten, da diese ebenfalls intermittierende Belastungen aufweisen. Hierbei war das zu überprüfende Ziel, ob Sportsportarten aufgrund von ähnlichen physiologischen Beanspruchungen als alternative Trainingsmittel in Frage kommen. Die abschließende Diskussion verweist auf kritische Elemente der Arbeit und spiegelt die Ergebnisse zum Forschungsstand wieder. Abschließend werden aus der Arbeit potenzielle Forschungsfragen aufgezeigt.

2 Theorie

Die folgenden Abschnitte stellen die theoretische Herleitung zum Untersuchungsthema dar. Dabei werden zu Beginn Grundlagen in Bezug auf das Zusammenspiel zwischen Belastung und Adaptation aufgezeigt. Im späteren Verlauf wird auf die Mindestanforderungen für eine biopositive Erhaltung bzw. Anpassung durch Training eingegangen. Weiterhin wird der Intensitätsparameter VO_2 detailliert abgebildet. Die Forschungslage des Karate-Kumites wird umfangreich in Bezug zur Forschungsin-tention beschrieben. Eine schließende Zusammenfassung stellt den Übertrag zur Forschungsfrage und zum Untersuchungsvorhaben dar.

Die HF ist in der Sportwissenschaft als Intensitätsparameter bekannt und vielfältig beschreiben (Heck, 1990a, S. 76 ff.). Daher wird die Theorie keine differenzierte Darstellung aufzeigen. Ebenfalls sei vermerkt, dass in der Hauptuntersuchung der Parameter Laktat nicht erhoben wurde (siehe Kapitel 6.1). Demzufolge wird auch hier kein vertiefter allgemeiner und kein Karate-Kumite spezifischer Bezug genommen.

2.1 Komplexität der Adaptation

Der folgende Absatz stellt die grundlegende Sichtweise der Adaptation dar. Anpassung basiert auf biologischen Gesetzmäßigkeiten und wird über das Reiz-Anpassungsmodell beschrieben. Hierbei passt sich der Organismus auf externe Umwelteinflüsse und innere Gegebenheiten an, unabhängig davon ob diese beabsichtigt, Training, oder unbeabsichtigt, Evolution, hervorgerufen wurden. Aus sportwissenschaftlicher Sicht wird der äußere Reiz als Belastung bezeichnet. Diese wird über Trainingsmaßzahlen, Intensität, Dauer, Häufigkeit (u.a.), in ihrer Art und Größe beschrieben. Der Körper reagiert unmittelbar auf die Belastung mit einer individuellen Beanspruchung des Organismus, z.B. mit einer Erhöhung der HF, einer Substratfreisetzung und einer erhöhten Substratverstoffwechslung. Diese ist individuell, da sie von genetischen und leistungsfähigen Dispositionen abhängig ist. Durch die Beanspruchung kommt es zur Homöostasestörung. Nach der Belastung wird das Gleichgewicht wieder hergestellt und es kommt zu einer biopositiven Anpassung auf einem erhöhten Funktionszustand. Die Leistungsfähigkeit des Individuums steigt (Berger, 2008, S. 220 f. ; Haber, 2009, S. 162 ff. ; Hartmann & Mader, 1999a ; Weineck, 2007, S. 39 ; Weineck, 2010, S. 22 f., 27).

Dem vereinfachten Modell kann grundlegend nicht widersprochen werden, auf der anderen Seite sind die Anpassungsprozesse abhängig von der Art und Individualität der organischen Strukturen. Entsprechend reagieren die Gewebe auf gleiche Belastungsreize unterschiedlich. Eine Verallgemeinerung des Modells ist kritisch zu betrachten. Hinzu stellt auch die Genetik Limitationen, wodurch die individuelle Entwicklung begrenzt und fokussiert ist (Sprint vs. Marathon). Auch die Art und Weise der Belastung spielt für die Anpassung eine wichtige Rolle. So kann es bei Überbeanspruchung zu Leistungsabfällen kommen und bei unterschwelligen Reizen zu keiner funktionellen Anpassung (Hartmann & Mader, 1999a ; Weineck, 2010, S. 22 ff.). Hierbei jeweils die optimale Belastung zum gegebenen Leistungszustand

zu bestimmen, um eine biopositive und gesunde Adaptation zu provozieren, ist das Ziel der Sportwissenschaft. Trotz jahrelanger Forschung ist aktuell und auch zukünftig die optimale Belastung wohl nicht zu bestimmen (Hartmann & Mader, 1999a, S. 215 ; Stegemann, 1991, S. 293 f.). Dies ist bedingt durch die hohe Komplexität und Individualität jeglicher Gewebe und Funktionssysteme im Körper in Abhängigkeit zur notwendigen Belastung und ihrer zeitlichen Anpassung (Hartmann, 2015). Hinzu ist ein singuläres Training der jeweiligen Strukturen nicht möglich, da der Körper ein Gesamtsystem darstellt und sich jegliche Prozesse im Körper gegeneinander bedingen. Des Weiteren gilt es im Training nicht immer seine Leistungsfähigkeit zu steigern, sondern auch darum sie aufrechtzuerhalten (Stegemann, 1991, S. 292 ; Weineck, 2007, S. 21). Entsprechend ist zu hinterfragen, was für das einzelne Training langfristig gesehen den optimalen Belastungsreiz darstellt. Weiterhin ist die neuronale und neuromuskuläre Anpassung im Technik- und/oder Taktiktraining bisher außen vor gelassen, welche u.a. maßgeblich für den Erfolg der sportlichen Leistung beitragen.

Um zu Teilen einen Einblick in den Gesamtprozess zu erhalten, behilft sich die Sportwissenschaft mit detektierbaren Parametern, um die Belastung, z.B. Laufkilometer und Zeit, und deren Beanspruchung ,z.B. HF, zu quantifizieren. Hierbei ist es von Bedeutung, die physiologische Beanspruchung im Wettkampf und Training zu kennen. Erst mit diesen Informationen kann eine Trainingssteuerung objektiver geführt und argumentativ besser gestützt werden.

Die VO_2 gilt in der Sportwissenschaft aktuell als wichtigster Belastungs- und Beanspruchungsparameter in Form der Intensität bei ausdauerorientierten Disziplinen. Das folgende Kapitel wird sich vertieft und kritisch mit diesem Parameter auseinandersetzen.

2.2 Die Sauerstoffaufnahme als valider Intensitätsparameter

„Unter der Sauerstoffaufnahme (in ml/min bzw. l/min) wird die Menge an Sauerstoff verstanden, die der Organismus innerhalb einer Minute im Rahmen der Energiebereitstellung in den Geweben „verbraucht“ bzw. umsetzt.“ (Marées, Hermann & Bartmus, 2003, S. 232)

„Maximale Sauerstoffaufnahme: Es handelt sich um die größte Sauerstoffmenge, die bei Einsatz möglichst großer Muskelgruppen unter dynamischen Arbeitsbedingungen pro Zeiteinheit aufgenommen werden kann. Dabei gibt die absolute Sauerstoffaufnahme nur deren Größenwert pro Minute an, während die relative maximale Sauerstoffaufnahme den erhobenen Größenwert auf das Gewicht pro kg Körpergewicht bezieht.“ (Hollmann & Mader, 2000)

Der Messparameter VO_2 wird in Form einer Atemgasanalyse erhoben. Gemessen werden die Sauerstoff- und die Kohlenstoffdioxidkonzentration gepaart mit der Atemarbeit. Aus deren Unterschied zur Umgebungsluft wird der verbrauchte Sauerstoff bzw. das produzierte Kohlenstoffdioxid bestimmt und mit der Atemtätigkeit multipliziert. Es ergibt sich die Einheit l/min bzw. ml/min, Abbildung 1 (Marées et al., 2003, S. 232).

$$VO_2 = V_E * (F_I - F_E) O_2$$

Beispiel: VO_2 (Ruhe) = 7 l/min * (0,209 – 0,163) $O_2 \approx 0,3$ l/min

Abb. 1. Zugrunde liegende Gleichung zur Bestimmung der Sauerstoffaufnahme = VO_2 , V_E = Atemminutenvolumen, F_I = Sauerstoffanteil in der Inspirationsluft, F_E = Sauerstoffanteil in der Expirationsluft, Marées et al., 2003, S. 232

Früher wurde die ausgeatmete Luft in Ballons, Douglas-Sack, aufgefangen und im Nachhinein analysiert. Mittlerweile sind die Gerätschaften kleiner und mobiler geworden. Hierbei wird die ausgeatmete Luft in der Regel über eine Maske konzentriert und zu einem Messschlauch geleitet, welcher einen Probenanteil der ausgeatmeten Luft misst. Die Messung für die Sauerstoffkonzentration erfolgt über eine galvanische Treibstoffzelle (GFC – galvanic fuel cell) und für die Kohlenstoffdioxidkonzentration über eine Infrarotzelle. Hinzu können die Geräte Atemzug je Atemzug, Breath-By-Breath, analysieren. Dieses Vorgehen der Messung ist aktuell weit verbreitet. Die Atemarbeit wird durch eine integrierte Turbine optoelektrisch erfasst (Cosmed, 2008, 2016 ; Hollmann, 2006).

Der gemessene Wert der VO_2 resultiert aus vier unabdingbaren physiologischen Systemen, die nur in gemeinsamer Interaktion das Leben und die tägliche Leistung ermöglichen. Diese sind: Die Lunge als aufnehmende Struktur, das Blut als Transportsystem, das Herz als Verteiler und die Muskeln als Abnehmer. Daher wird in der deutschsprachigen Literatur die VO_2 oft als Bruttokriterium bezeichnet, weil der Messparameter die Summation der Systeme angibt (Heck, 1990a, S. 64 ff. ; Hollmann & Mader, 2000). Physikalisch kann die VO_2 nach dem Fick'schen Gesetz beschrieben werden, wobei sie das Produkt aus dem Herzminutenvolumen (HMV) und der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz (avDO₂) darstellt, Abbildung 2 (Marées et al., 2003, S. 651 ; Wonisch et al., 2003).

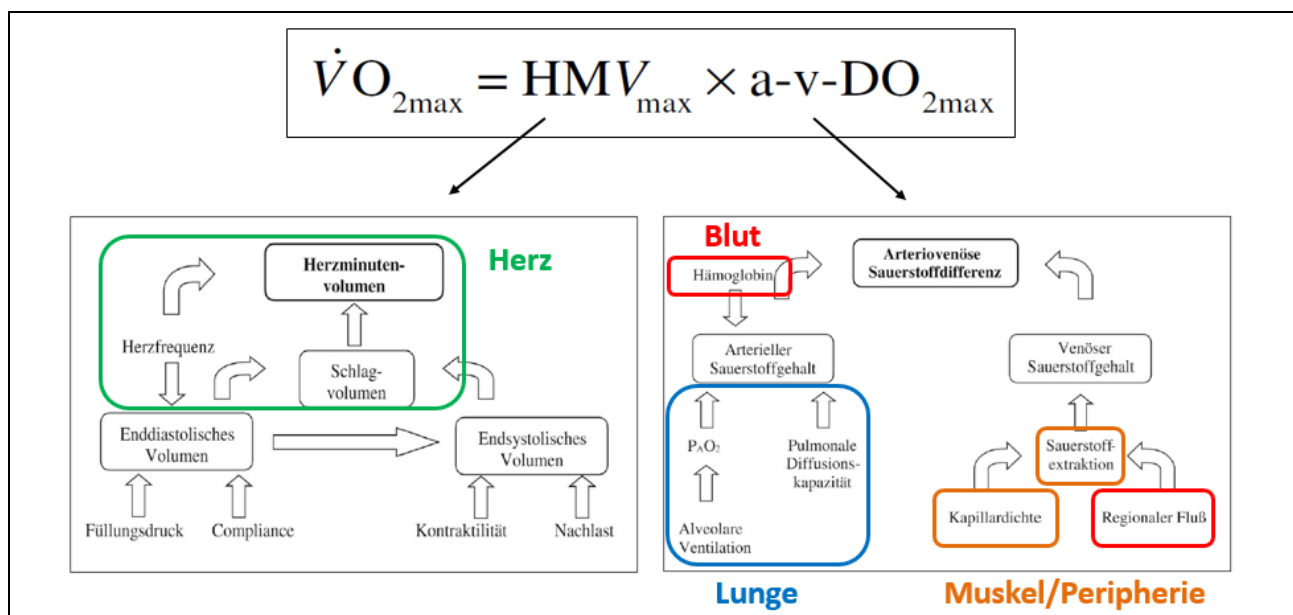


Abb. 2. Physikalische Darstellung der Zusammensetzung der VO_2 mit den dahinterliegenden physiologischen Systemen, modifiziert nach Wonisch et al., 2003

Die Lunge ist für den Gasaustausch von Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid verantwortlich. In diesem System sind aber auch die Atemwege und die Bronchien mit eingeschlossen. So kann z.B. eine Obstruktion oder Restriktion die Leistungsfähigkeit beeinflussen, ohne dass die Funktion des grundsätzlichen Gasaustauschs betroffen ist (Silbernagl, Despopoulos & Gay, 2001, S. 118).

Die wichtigste Transportstruktur im Blut ist das Hämoglobin. Es bindet den Sauerstoff und führt ihn in die Peripherie des Körpers. Von Bedeutung ist die individuelle Gesamthämoglobinmasse im Körper. Je mehr auf natürlichem Wege vorhanden ist, desto mehr Sauerstoff kann aufgenommen werden (Prommer & Schmidt, 2009). Hinzu spielt das Blutvolumen eine Rolle in Bezug zur Leistungsfähigkeit. Mit größerem Volumen reduziert sich die Durchflussgeschwindigkeit des Blutes im Gewebe und in der Lunge, wodurch mehr Zeit für die Gasdifffusion zur Verfügung steht (Hartmann & Mader, 1999b).

Das HMV resultiert aus dem Produkt der HF und dem Schlagvolumen (SV). Mit größerer Auswurfmenge je Zeit kann mehr Sauerstoff durch den Körper transportiert werden, welcher möglichst effizient vom Muskel verstoffwechselt werden soll (Wonisch et al., 2003).

Im Muskel sind die Mitochondrien und die Kapillarisation die entscheidenden Systeme zur Sauerstoffaufnahme. Mit einer größeren Verzweigung der Blutbahnen nimmt die Gesamtkontaktfläche zwischen Blutbahn/Blut und der Zellmembranen zu, wodurch der Sauerstoff vermehrte und kürzere Diffusionswege in das Gewebe erhält. Demnach steht mehr Sauerstoff pro Zeiteinheit für den Stoffwechsel zur Verfügung. Dies gelingt jedoch nur, wenn auch Abnehmer in der Muskulatur vorhanden sind, die den Sauerstoff verwerten können. Diese stellen die Mitochondrien dar. In ihnen werden die für den Menschen nutzbaren Substrate, vor allem Kohlenhydrate und Fette, mit Hilfe von Sauerstoff verarbeitet. Es entsteht Adenosintriphosphat (ATP) als energielieferndes Substrat für jegliche energiefordernden Prozesse im Körper. Pauschal kann gesagt werden, je mehr Mitochondrien in den Muskeln vorhanden sind, desto mehr Sauerstoff wird verstoffwechselt und desto mehr Energie steht bereit. Sie werden in Folge der Anpassung größer und die Quantität sowie Qualität der aeroben Enzyme steigen. Die Durchsatzrate an Sauerstoff steigt und entsprechend die Leistung (Marées et al., 2003, S. 307 f., 356ff. ; Stegemann, 1991, S. 259 f., 308 ff.).

Es gibt hinreichende Diskussionen, welches biologische System mit seinen dahinterstehenden Komponenten die maximale Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_{2\text{max}}$) limitiert. Vor allem wird um das HMV und um die Mitochondrienmasse als jeweils wichtigstes und limitierendstes System debattiert (Bassett & Howley, 2000 ; Haber, 2009, S. 93 ff. ; Noakes, 2008). Bassett & Howley (2000, S. 76 f.) treffen folgende Aussage zur Diskussion:

„Physiologists have often asked, “What is the limiting factor for $\text{VO}_{2\text{max}}$?” The answer depends on the definition of a limiting factor and the experimental model used to address the problem.“

Folglich wird die Diskussion nicht weiter vertieft oder differenziert dargestellt, da es für die Inhalte der vorliegenden Arbeit keine weitere Relevanz aufzeigt. Hinzu werden

alle Komponenten als immanent angesehen, da sie alle ihren Teil zum Ganzen beitragen.

Da der Parameter VO_2 die Gesamtheit des Systems erfasst, ist er in der Sportwissenschaft von großer Bedeutung. Eine Bestimmung der einzelnen Elemente der VO_2 wäre gewinnbringend, um genauer zu diagnostizieren wie sich die jeweiligen Komponenten zusammensetzen bzw. wo Entwicklungspotenzial besteht. Jedoch ist dies messmethodisch zum Teil sehr schwer für eine Belastung zu erfassen. So wird die HF durch einfaches methodisches abgreifen seit Jahrzehnten als Intensitätsparameter herangezogen. Von Vorteil ist, dass die physiologische Belastung differenzierter betrachtet werden kann. Auf der anderen Seite bleibt das SV außen vor und kann nur individuell geschätzt werden, um einen näheren Einblick zu erlangen. Durch eine Reduzierung der HF wird eine Vergrößerung des SVs angenommen. Es resultiert ein erhöhtes maximales HMV, welches die VO_2 beeinflusst. Dahingehend wird eine reduzierte HF als Indikator für eine bessere Ausdauerleistungsfähigkeit angesehen (Heck, 1990a, S. 77). Mittlerweile kann das HMV über Widerstandsmessungen relativ einfach bestimmt werden. Hierzu sind jedoch eher Belastungen nötig, die eine geringe Oberkörperaktivität aufweisen, z.B. Fahrradfahren. Läufe und Sprünge sind durch die innere Organbewegung weniger geeignet und eine Feldmessung ist von methodisch sehr hohem Aufwand geprägt (Billat et al., 2012 ; Kwast, 2016). Die Bestimmung der Menge an Hämoglobin ist nur sinnvoll durch eine Massenbestimmung. Konzentrationsuntersuchungen sind abhängig vom Gesamtvolumen und sind zu anfällig durch täglich variierende Flüssigkeitsänderungen (Schmidt & Prommer, 2007). Muskelbiopsische Untersuchungen wären in Bezug zur Quantifizierung der Mitochondrienmasse gewinnbringend, benötigen jedoch einen komplexen methodischen Aufwand und repräsentieren nur einen Teilabschnitt der Muskulatur (Costill, 1986). Die benannten Gründe verdeutlichen den übergreifenden Zusammenhang und die Wichtigkeit des Parameters VO_2 . Aufgrund der vergleichsweise einfachen Bestimmung im Vergleich zu ihren Unterkomponenten, ist die VO_2 aus der sportwissenschaftlichen Forschung nicht wegzudenken und stellt derzeit den aussagekräftigsten Intensitätsparameter dar.

Ihr erhobener Maximalwert wird vor allem für die Beurteilung der physiologischen Leistungsfähigkeit eines Individuums herangezogen. Der Absolutwert der $\text{VO}_{2\text{max}}$ ist abhängig von der Körpermasse. Zum interindividuellen Vergleich wird die maximale relative Sauerstoffaufnahme ($\text{rVO}_{2\text{max}}$) bestimmt. Dabei wird der Messwert in Bezug zur Körpermasse gesetzt und in $\text{ml}/\text{min} \cdot \text{kg}$ angegeben (Marées et al., 2003, S. 303, 454 ff.). Die folgende Tabelle weist Normwerte bezüglich des Geschlechts und des Trainingszustands auf. Hierbei sei darauf verwiesen, dass differente methodische Durchführungen aufgrund unterschiedlicher Einbeziehung der Muskulatur verschiedene Werte provozieren. So werden zum Beispiel in der Laufbanddiagnostik ca. 10% höhere Werte als in der Fahrradergometrie erzielt (Marées et al., 2003, S. 455 ; Heck, 1990a, S. 124). Die dargestellten Werte entsprechen Näherungswerte für zyklische Ausdauerdisziplinen aus unterschiedlichen Literaturquellen.

Tab. 1. *Eingruppierung der absoluten und relativen VO₂max nach Leistungsstand und Geschlecht ausgehend von zyklischen Ausdauerdisziplinen, Werte abgeleitet von Marées et al., 2003, S. 303, 455, & 653, Silbernagl et al., 2001, S. 77 und Jones, 2006 ; Darstellung ergometrisch erhobener VO₂ für Elite-Karate-Sportler in Kumite, abgeleitet von, Chaabène, Hachana, Franchini, Mkaouer & Chamari, (2012b)*

Sauerstoffaufnahme	Geschlecht	Untrainiert	Trainiert	Hochtrainiert
Absolut in l/min	Männlich	3	4-5	6-7
	Weiblich	2,2	3-4	5
Relativ in ml/min*kg	Männlich	40-50	60-70	80-90
	Weiblich	30-40	40-60	60-75
Referenzwerte für Elite-Karate-Sportler Kata und Kumite				
Relativ in ml/min*kg	Männlich	60 ± 5		
	Weiblich	40 ± 2		

Frauen besitzen aufgrund der geringeren Körpermasse niedrigere absolute und relative Werte als Männer. Karate-Kumite Sportler sollten nach Chaabène et al., (2012b) auf internationalem Niveau ein trainiertes Niveau im Vergleich zu Ausdauer-spezialisten besitzen.

Belastungsprotokolle verdeutlichen die Abhängigkeit der VO₂ zur Intensität. Mit steigender Belastung muss eine größere Leistung erbracht werden. Durch ein Mehr an Sauerstoffverbrauch wird diese in Form der Generierung von ATP produziert. Entsprechend der Darstellung der VO₂ als Bruttokriterium der physiologischen Systeme kann der erhobene Datenparameter in l/min bzw. ml/min in Form eines Intensitätsparameters als inhaltlich valide angenommen werden. Forschungen belegen dies durch Angaben der VO₂ als Intensitätsbereiche (Binder et al., 2008 ; da Cunha, Farinatti & Midgley, 2011 ; Thompson, Gordon & Pescatello, 2010).

2.3 Kinetik der Sauerstoffaufnahme

Auch wenn die VO₂ einen validen Intensitätsparameter darstellt, muss ihre Kinetik betrachtet werden, weil ihr Verlauf zur Belastung zeitversetzt ist. Speziell bei intermittierenden Belastungen, wie im Karate-Kumite Training, geht die Bestimmung des Umsatzes für einen Teilabschnitt oder eine Übung des Trainings über die reine Belastungszeit hinaus.

Mit einer beginnenden körperlichen Belastung erhöht sich auch die geforderte VO₂. Jedoch kann die VO₂ nicht unmittelbar und nicht äquivalent zur geforderten Leistung die Energie erbringen, da die sauerstofftransportierenden Systeme –Herz, Atmung, Umverteilung des Blutes, Vasodilatation in der Peripherie, Mitochondrienquantität und -qualität und Diffusionskapazität der inneren Mitochondrienmembran– eine gewisse Anlaufzeit benötigen. Entsprechend decken zuerst die anaeroben Systeme des Körpers, ATP-Pool, Kreatinphosphat, Glykolyse, den Energiebedarf ab. Somit kommt es vorerst zu einem Sauerstoffdefizit. Dem Defizit wird nach Belastungsabbruch, z.B. in einer Pause, wieder entgegengewirkt indem die VO₂ nicht rapide sondern exponentiell ihren Ruhewert wieder einnimmt. Dies wird als O₂-debt (alt: Sauerstoffschuld) bezeichnet. Die geliehene Energie aus den anaeroben Systemen wird über das aerobe System nach Belastungsende zurückgegeben. Es findet

eine resynthetische Arbeit im Körper statt, Abbildung 3 (Hollmann & Strüder, 2009, S. 74 f. ; Marées et al., 2003, S. 376 f. ; Stegemann, 1991, S. 50 ff.). Die Flächen besitzen jedoch keine identischen Größen. In der Regel weist die Nachatmung eine größere Fläche auf, die über das Belastungsdefizit hinausgeht (Marées et al., 2003, S. 377). Nach Hollmann & Strüder (2009, S. 75) hat dies folgende Gründe: Erhöhte Arbeit der Herz- und Atemmuskulatur, erhöhter Sauerstoffbedarf des Gewebes bezüglich der erhöhten Körpertemperatur und des erhöhten Katecholaminspiegels, Wiederauffüllung der Sauerstoffspeicher Hämoglobin und Myoglobin, Sauerstoffmehrbedarf zum Wiederaufbau der energiereichen Phosphate und zur Laktatumwandlung. Die abflachende Kurve nach dem Belastungsende kann nach Marées et al. (2003, S. 377 f.) in drei Bereiche eingeteilt werden: Schnelle Phase, langsame Phase und sehr langsame Phase, Abbildung LKKH. In der ersten Phase kommt es zur Wiederauffüllung der ATP-, Kreatinphosphat-, Myoglobin- und Hämoglobinspeicher. Es wird eine Halbwertszeit von 0,5 Minuten für diese Phase angegeben. McCully, Vandenborne, DeMeirleir, Posner & Leigh Jr, (1992) konnten die Halbwertszeiten über eine MRT-Untersuchung im Mittel bestätigen, verweisen jedoch auch auf sportartspezifische Abhängigkeiten. Hinzu fand nur eine kleine Bewegung in Form der Plantarflexion statt. Die zweite Phase benötigt vermehrt Sauerstoff durch die erhöhte Körpertemperatur und der Katecholamine. Sie stimulieren den Stoffwechsel, was zu einer größeren $\dot{V}O_2$ führt. Gleiches gilt für die erhöhte Atem- und Herztätigkeit. Ein geringer Anteil an Sauerstoff wird für die Laktatverwertung genutzt. Die Halbwertszeit dieser Phase ist mit 15 Minuten angegeben. Die Kausalität der dritten Phase ist bisher nicht eindeutig geklärt. Man geht davon aus, dass intensive Belastungen über mehrere Stunden eine erhöhte $\dot{V}O_2$ zur Folge haben. Es werden Zeiten von 12-24 Stunden angegeben (Marées et al., 2003, S. 377 f.) (Absatz zu Teilen modifiziert aus Neumann, 2015).

Die benannten Phasen mit ihren Aktivitäten und der Kurvenverlauf in Abbildung 3 entsprechen der Messung der $\dot{V}O_2$ an der Muskelzelle. In der Regel wird die $\dot{V}O_2$ jedoch non-invasiv an der Lunge gemessen. Erhält man hierbei die Daten, ist mit einem Zeitversatz von der Peripherie zur Lunge zu rechnen. Dieser ist abhängig vom HMV.

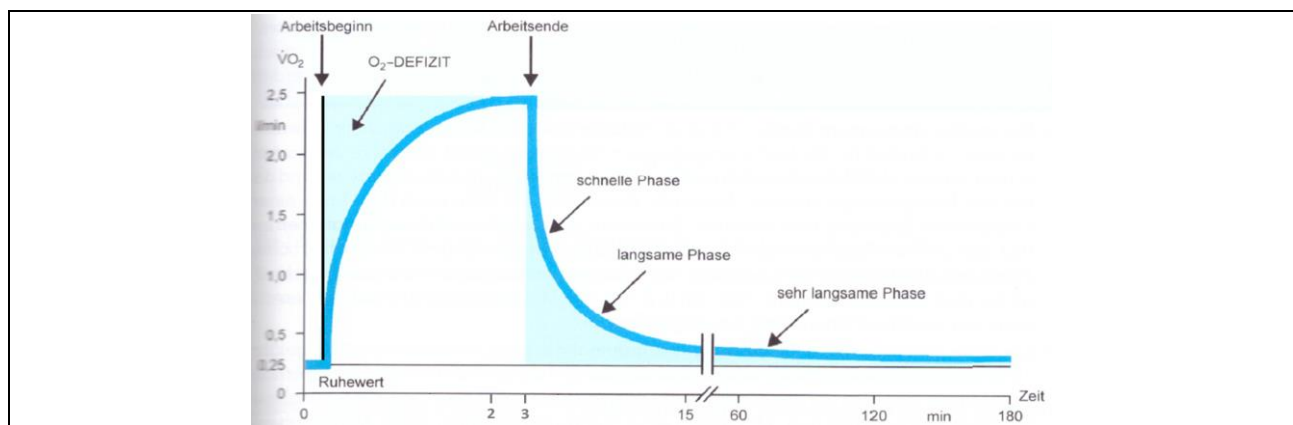


Abb. 3. Grafische Beispieldarstellung der Sauerstoffkurve mit Sauerstoffdefizit und Sauerstoffmehraufnahme nach Belastungsende, modifiziert nach Marées, 2003, S. 377

Die Abbildung 3 verdeutlicht ein vereinfachtes Beispiel mit einer submaximalen Belastung. Bei einer geringen Belastungsintensität kann ein Steady-State (Fließgleichgewicht) der $\dot{V}O_2$, Plateaubildung im Kurvenverlauf, binnen von ca. 2-3 Minuten erreicht und über weitere Minuten bis Stunden konstant gehalten werden. Dahingehend kann man die Fläche bis zur Plateaubildung als O_2 -Defizit anerkennen (Poole & Jones, 2012, S. 938 f.). Im Steady-State hat sich die $\dot{V}O_2$ an den Sauerstoffbedarf des Muskels angepasst und es besteht ein Gleichgewicht zwischen Abbau und Wiederaufbau von ATP (Stegemann, 1991, S. 51). Mit verbessertem Trainingszustand wird das Plateau bei gleicher Belastung schneller erreicht. Das Sauerstoffdefizit ist geringer. Dieser Aspekt wird auch zur Bewertung der Leistungsfähigkeit herangezogen. Die Verbesserung wird über Tau (τ) beschrieben, welche eine Zeitkonstante darstellt. Sie charakterisiert die Zeit in der 63% der $\dot{V}O_2$ vom $\dot{V}O_2$ Steady-State erreicht wird. Über die Anzahl der benötigten Zeitkonstanten kann die Gesamtzeit für das Steady-State rechnerisch ermittelt werden, Abbildung 4. Die Geschwindigkeit der $\dot{V}O_2$ -Kinetik wird durch intramuskuläre Prozesse limitiert. Vor allem wird hier auf die Anzahl und Größe der Mitochondrien verwiesen, hinzu auch auf die Gesamtfläche der inneren Mitochondrienmembran und derer zeitabhängigen Vorgänge der Diffusion (Poole & Jones, 2012, S. 934, 937 f. ; Stegemann, 1991, S. 50 ff.).

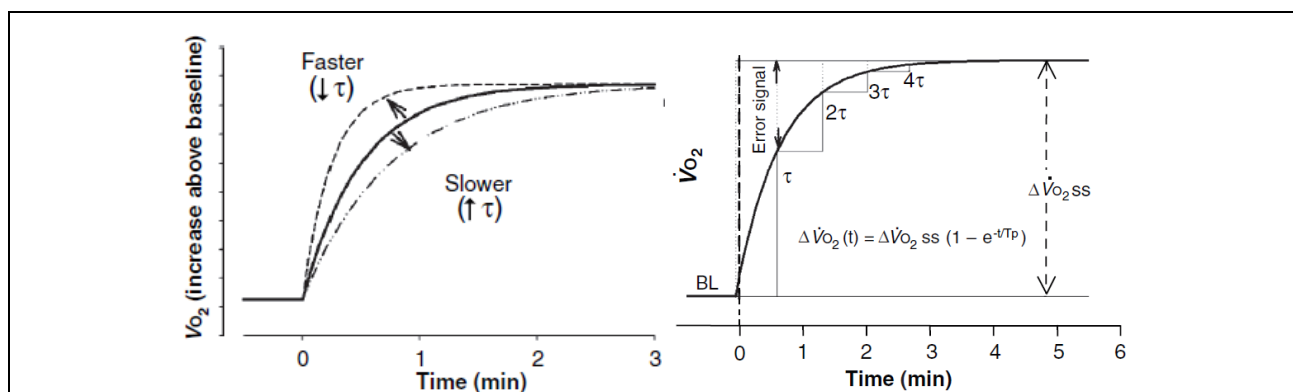


Abb. 4. Links: Einfluss von τ auf die Sauerstoffkinetik ; rechts: Veranschaulichung der Zeitabschnitte von τ bis $\dot{V}O_2$ Steady-State erreicht ist, modifiziert nach Poole & Jones, 2012, S. 935, 937

Wird der Körper jedoch mit einer sehr hohen Intensität von Beginn an belastet, welche fortwährend konstant gehalten wird (z.B. 90% der maximalen Wattleistung auf einem Radergometer), wird es voraussichtlich zu einem kontinuierlichen Anstieg der $\dot{V}O_2$ kommen. Sofern sich vor dem Belastungsabbruch ein Plateau einstellt, wird sich dies weit nach 2 Minuten ausbilden und wohl auch nur über wenige Minuten aufrechterhalten werden können, Abbildung 5 (Davis, 1985 ; Poole & Jones, 2012).

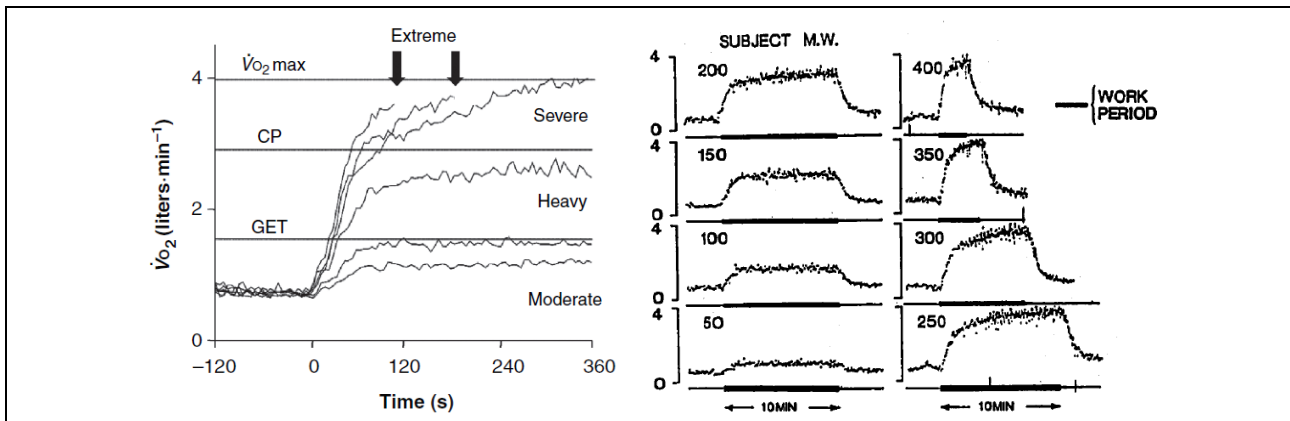


Abb. 5. Links: Sauerstoffverläufe unterschiedlicher Intensitäten, keine Steady-State Bildung bei hohen Intensitäten, CP = Critical Point, GET = Gas Exchange Threshold, Poole & Jones, 2012, S. 937 ; rechts: Sauerstoffverläufe von Fahrradergometrien zu unterschiedlichen Wattleistungen eines Probanden, Schwellenleistung bei 170 Watt, anzumerken der Anstieg der $\dot{V}O_2$ ab einer Belastung von 200 Watt, Davis, 1985

Der grafische Verlauf der $\dot{V}O_2$ bei höheren Intensitäten zeigt einen schnelleren und einen langsameren Anstieg. Poole & Jones (2012, S. 939, 953 f.) beschreiben Zweitgenanntes als $\dot{V}O_2$ Slow Component (SC). Nach ihnen setzt die $\dot{V}O_2$ SC während des ersten steilen Anstiegs ein. Es werden Startwerte bei 90-120 Sekunden angegeben, aber auch Zeiten von 3 Minuten seit Belastungsbeginn. Aus der Abbildung 6 kann entnommen werden, dass es trotz Erhöhung der $\dot{V}O_2$ zu keinem weiteren Laktatanstieg kommt. Hinzu wird beschrieben, dass Laktat nicht die Kausalität des Sauerstoffanstieges ist. Entsprechend kann hier von keiner weiteren Sauerstoffschuld gesprochen werden.

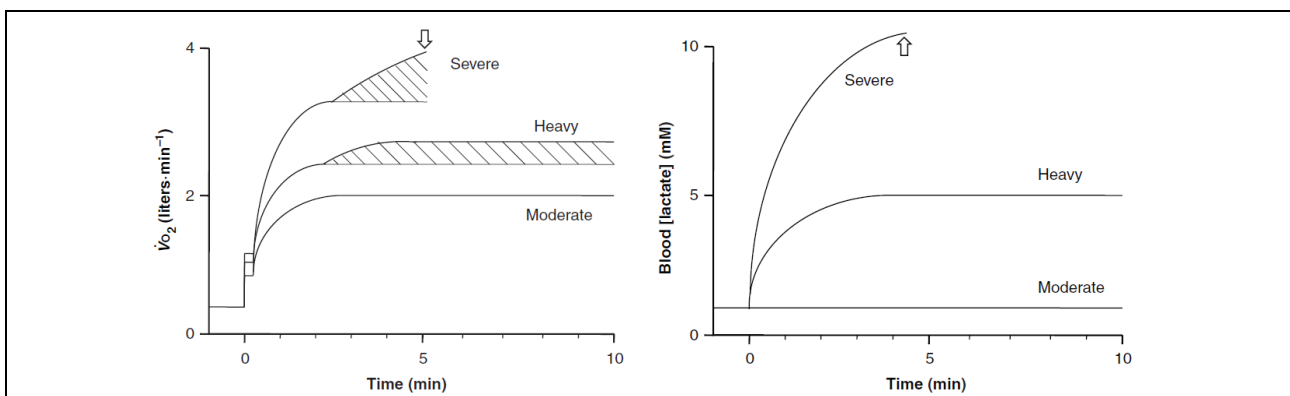


Abb. 6. Links: schematische Darstellung des Sauerstoffverlaufs bei drei unterschiedlichen Intensitäten, schraffierte Fläche beschreibt die $\dot{V}O_2$ SC, Pfeil entspricht Belastungsabbruch ; rechts: schematische Darstellung des Laktatverhaltens bei der jeweiligen Belastungsform, betrachte: kein weiterer Laktatanstieg bei steigender $\dot{V}O_2$ bei Belastung Heavy, Poole & Jones, 2012, S. 939

Demnach kann nicht die gesamte Fläche bis zur späteren Steady-State Einstellung oder bis zum Abbruch als Sauerstoffdefizit bezeichnet werden. Gleiches gilt auch z.B. für einen Rampenverlauf im Untersuchungsprotokoll. Die SC überlagert das Sauerstoffdefizit, wodurch dieses bei intensiven Belastungen schwer zu bestimmen ist. Man bedient sich mathematischen Formeln, um den schnellen von dem lang-

samen Anstieg zu quantifizieren. Ein Unterschied des schnellen Anstiegs zwischen den unterschiedlichen Belastungen ist bisher bei jungen Erwachsenen nicht ausfindig gemacht worden (Poole & Jones, 2012, S. 952 f., 956, 972).

Der Abschnitt verdeutlichte die leichte zeitliche Diskrepanz der VO_2 zur Belastungsanforderung. Hinzu wurde die Kinetik zu unterschiedlichen Intensitätsstufen beschrieben. Mit der Messungen der VO_2 und der Blutlaktatkonzentration in sport-spezifischen Bewegungen kann der VO_2 Verlauf und das Sauerstoffdefizit beschrieben werden. Hieraus lässt sich das energetische Anforderungsprofil ableiten, welches im folgenden Abschnitt für das Karate-Kumite dargestellt wird.

2.4 Karate-Kumite und seine energetische Anforderung

Das sportliche Training im Kontext zu einer Wettkampfleistung steht immer im Fokus zur Wettkampfanforderung. Entsprechend ist es die Aufgabe der Sportwissenschaft das Beanspruchungsprofil des Wettkampfes in der jeweiligen Sportart genau zu definieren. Erst mit diesem Wissen kann zielgerichtet ein Training geplant und durchgeführt werden. Das kommende Kapitel beschreibt die wettkampfspezifische energetische Anforderung im Karate-Kumite.

Das Kumite repräsentiert die Kampfform im Karate, Sportler gegen Sportler. Der Kumite-Kampf ist geprägt von blitzschnellen Aktionen der Arme und Beine zum Oberkörper und zum Kopf des Gegners. Hierbei herrscht Semi-Kontakt. Besonders Attacken zum Kopf müssen kontrolliert abgestoppt werden. Während einer festgelegten Kampfzeit und auf einer definierten Kampffläche versuchen die Kontrahenten Punkte zu erreichen. Bei der Punkt- und Sanktionsvergabe wird die Kampfzeit angehalten. Die Nettokampfzeit beträgt bei den Frauen 2 Minuten, bei den Männern 3 Minuten. Entsprechend liegt die Bruttokampfzeit in der die Sportler auf der Kampffläche stehen für Frauen bei ca. 3-4 Minuten und für Männer bei ca. 4-5 Minuten (Tabben et al., 2013). Der Gewinner gelangt in die nächste Runde. Entsprechend eines pyramidenförmigen Wettkampfsystems wird der Sieger ermittelt. Einschließlich des Finales müssen 5-7 Kampfunden auf internationalen Turnieren bis zum Sieg vollzogen werden (World Karate Federation, 2017).

Für die Ermittlung des physiologischen Anforderungsprofils der Disziplin Kumite wurde das energetische Profil in den letzten Jahren erforscht. Hierbei kamen Wettkampfsimulationen zum Einsatz (Beneke et al., 2004; Doria et al., 2009). Beneke et al. (2004) führten eine kampfrichter gesteuerte Turniersimulation mit ähnlichen Pausenzeiten wie in einem Wettkampf durch. Die Nettokampfzeit betrug 3 Minuten. Lediglich das männliche Geschlecht wurde für die Untersuchung herangezogen. Doria et al. (2009) hingegen untersuchten Frauen und Männer von internationalem Niveau. Jedoch war die Fallzahl mit jeweils drei Personen sehr gering. In ihrer Simulation wurde nur ein Kampf durchgeführt und es kam zu keiner Unterbrechung durch eine Punkt- oder Sanktionsvergabe. Die Kampfzeiten richteten sich nach den damaligen Final-Nettowettkampfzeiten der WKF für Frauen von 3 Minuten und für Männer von 4 Minuten.

Trotz der methodischen Unterschiede verdeutlichen die Ergebnisse, dass die Disziplin vorrangig Energie aus dem aeroben Stoffwechsel bezieht. Die schnellen dynamischen Angriffs- und Abwehraktionen werden zum Großteil aus dem alaktaziden Stoffwechselweg rekrutiert. Dies ist bedingt durch die kurze Aktionszeit von ca. 1-3 Sekunden. Die restliche Energiezufuhr erfolgt aus dem laktaziden Stoffwechselweg (Beneke et al., 2004; Doria et al., 2009). Die Abbildung 7 verdeutlicht die energetische Verteilung. In Tabelle 2 sind die Prozentangaben der Untersuchungen dargestellt.

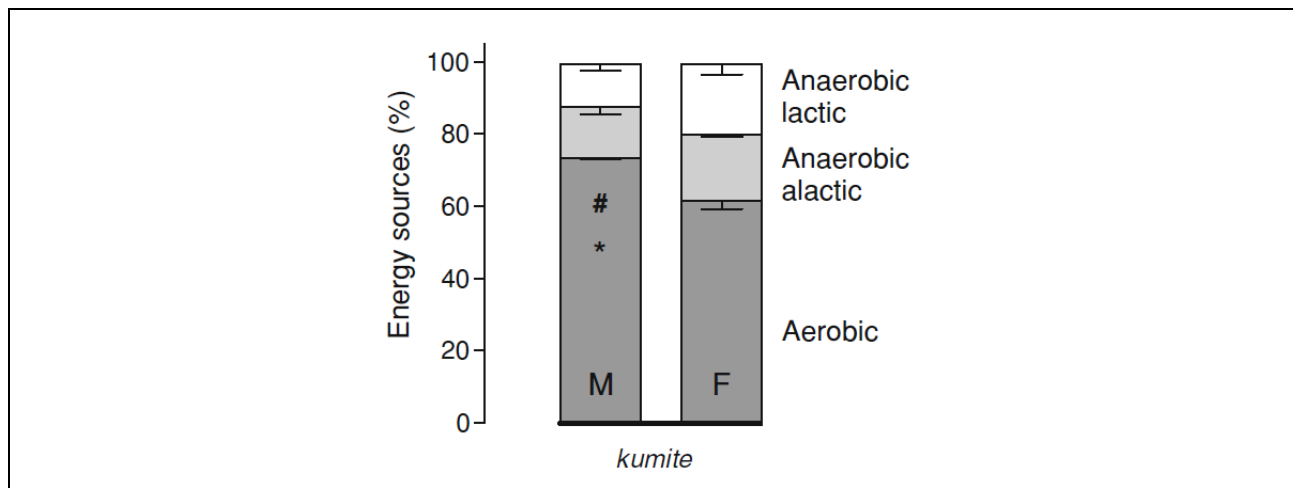


Abb. 7. Energetisches Anforderungsprofil für beide Geschlechter im Karate-Kumite, modifiziert nach Doria et al., 2009

Tab. 2. Ergebnisse aus den Forschungen zur Quantifizierung der energetischen Anforderung im Karate Kumite, Werte bei Doria et al., 2009, aus der Grafik abgeleitet, Werte nur teilweise in Arbeit ausgewiesen

Untersuchung	N	Aerob	Anaerob laktazid	Anaerob alaktazid
Beneke et al. (2004)	10 (m)	77.8 ± 5.8%	6.2 ± 2.4%	16.0 ± 4.6%
Doria et al. (2009)	6 (3w, 3m)	M = 74% W = 62%	M = 12% W = 20%	M = 14% F = 18%

Entsprechend der Netto-Kampfzeit von 2 bzw. 3 Minuten können die Werte im Vergleich zu leichtathletischen Laufdisziplinen im ähnlichen Zeitfenster, 800-1500m, nach der Theorie von Hartmann & Niessen (2011) bestätigt werden, Abbildung 8.

Distance	ATP/CRPH (%)	Anaerobic-lac (%)	Aerobic (%)
30 m	80	19	1
60 m	55	43	2
100 m	25	70	5
200 m	15	60	25
400 m	12	43	45
800 m	10	30	60
1,500 m	8	20	72
3,000 m	5	15	80
5,000 m	4	10	86
10,000 m	3-2	12-8	85-90
Marathon	0	5-2	95-98

Abb. 8. Verteilung der Energieversorgung in leichtathletischen Laufdisziplinen bei Spitzenathleten, Hartmann & Niessen, 2011

Beneke et al. (2004) konnten nachweisen, dass vor allem mit steigender Rundenanzahl die lactazide Energiebereitstellung an Bedeutung verliert und der aerobe Anteil noch stärker dominiert, Abbildung 9.

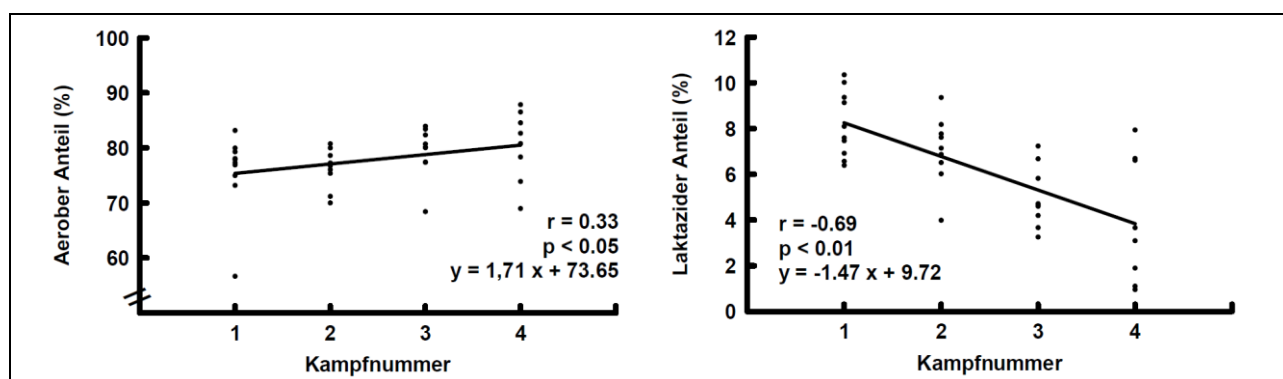


Abb. 9. Zusammenhang zwischen dem aeroben/anaerob-laktaziden Anteil am Arbeitsumsatz und der Kampf-
runde, aus der Diplomschrift von Beyer, 1999, gleiche Untersuchung wie Beneke et al., 2004

Die angewandte Methodik von Beneke et al. (2004) und Doria et al. (2009) zur Bestimmung der Energieanteile kann auf ihre Validität hinterfragt werden.

In der Methodik wird der Arbeitsumsatz in Form des Sauerstoffverbrauchs und dem kalorischen Äquivalent berechnet. Für die anaeroben Stoffwechselwege finden Umformungsschritte zum äquivalenten Sauerstoffverbrauch statt. So wird für die lactazide Energiebereitstellung das Sauerstoff-Laktat-Äquivalent herangezogen. Es besagt, dass jedes produzierte mmol/l an Laktat 3,0 ml Sauerstoff je Kilogramm an Körpermasse entspricht. Untersuchungen konnten bestätigen, dass das Sauerstoff-Laktat-Äquivalent im Mittel von 3,0 ml je mmol/l * kg angenommen werden kann, wodurch die Umformung als valide angesehen wird (Di Prampero, 1981 ; Mader & Heck, 1986). Der alaktazide Energieanteil wird über die schnelle Phase der Sauerstoffnachatmung bestimmt. Hierbei kommt eine mono-exponentielle Funktion zum Einsatz. Die bestimmte Fläche soll dem Energieanteil des Kreatinphosphates entsprechen. Eine detailliertere Darstellung und Diskussion zur Validitätsprüfung ist

der Arbeit von Neumann (2015) zu entnehmen. Über invasive und non-invasive Verfahren konnte hierbei die Methodik bezüglich ihrer Validität bestätigt werden. Dabei wurde jedoch nicht der Zeitversatz von der Peripherie zur Repräsentation der Stoffwechsellage an der Lunge berücksichtigt. Dieser ist abhängig von dem Ausmaß des HMVs. Dahingehend kann davon ausgegangen werden, wenn die Betrachtung der VO_2 ab dem Belastungsende vollzogen wird, dass der alaktazide Energieanteil zu Teilen überschätzt ist. Die Berücksichtigung des Zeitversatzes ist jedoch ausschlaggebender bei einer Belastung bis zu einer Minute. Je länger die Belastungszeit andauert, desto geringer wird der Fehler für die Bestimmung der anaeroben Leistung über Kreatinphosphat, weil im Allgemeinen ein deutlich größerer Anteil der Belastung aerob abgedeckt wird und der energetische Gesamtverbrauch steigt. Da in den Untersuchungen Belastungszeiten von mindestens 3 Minuten vorlagen, ist eine Validität der Bestimmungsmethode anzunehmen. Wird letztendlich eine hinreichende Validität der verwendeten mobilen Spirometriegeräte für die Erfassung der VO_2 anerkannt, ist die angewandte Methodik als valide zu erklären.

Auch wenn die Ergebnisse eindeutig sind und die Theorien sich gegenseitig bestätigen, bleibt die angewandte Methodik ein Modell und kann kritisch hinterfragt werden. Entsprechend erfolgt die Resynthese von Kreatinphosphat durch den aeroben Stoffwechselweg. Weiterhin wird auch das Laktat im Verlauf der Zeit aerob verstoffwechselt (Wahl, Bloch & Mester, 2009). Grundlegend könnte auch eine vollständige aerobe Energiebereitstellung für jegliche Prozesse postuliert werden, die jedoch nur zeitversetzt abläuft.

Zusammenfassend kann anhand der übergreifenden Belastungszeiten von ca. 3 Minuten pro Kampf über 5-7 Kampfrunden mit einer Gesamtbelastungszeit von ca. 18 Minuten die Ausdauerleistungsfähigkeit als ausschlaggebende energetische Fähigkeit benannt werden. Die Forschungen stützen die Aussage und konnten belegen, dass die aerobe Energiebereitstellung im Karate-Kumite den dominierenden Stoffwechselweg darstellt. Entsprechend ist Karate-Kumite als Ausdauersportart zu deklarieren.

2.5 Physiologische Beanspruchung bei Wettkampfsimulationen und Wettkämpfen im Karate-Kumite

Wie im vorherigen Kapitel erläutert, stellt die Wettkampfanalyse die Grundlage der Trainingsabsicht dar. Dieser Abschnitt soll weiterführend die physiologische Beanspruchung im Wettkampf beschreiben. Im weiteren Verlauf der Arbeit können die durchgeführten Übungen und Belastungsformen zur Wettkampfanforderung beurteilt werden.

In den spirometrischen Untersuchungen von Beneke et al. (2004) und Doria et al. (2009) sind keine prozentualen Bezugswerte zur Intensität in Form der VO_2 ausgewiesen. Auch aus den gegebenen Daten sind die Werte nicht zu berechnen. Hinzu wurde bei Beneke et al. (2004) auch kein separates Labortestverfahren durchgeführt. Aus der Diplomschrift von Beyer (1999) lassen sich lediglich die mittleren Absolutwerte der VO_2 je Kampfrunde entnehmen, Abbildung 10. Diese gleichen sich mit dem

Steady-State Verlauf der VO_2 der singulären grafischen Beispieldarstellung aus Doria et al. (2009) für das männliche Geschlecht im Mittel von ca. 3,5 l/min. Für Frauen ist der Grafik ein Steady-State von ca. 2,2 l/min zu entnehmen. Ein Gesamtverbrauch an Sauerstoff konnte bei Männern mit einer Belastungszeit von 4 Minuten von $189,0 \pm 14,6$ ml/kg und bei Frauen mit einer Belastungszeit von 3 Minuten von $155,8 \pm 38,4$ ml/kg bestimmt werden.

	1. Kampf	2. Kampf	3. Kampf	4. Kampf	Gesamt
Mittelwert	3.3	3.4	3.0	3.0	3.2
± SD	0.5	0.5	0.4	0.7	0.5
Maximum	4.0	4.0	3.6	4.1	4.1
Minimum	2.6	2.6	2.5	2.2	2.2

Abb. 10. Absolute VO_2 in l/min aus 10, 9, 9 und 8 Kämpfen in Runde1-4 und für die gesamte Anzahl an Kämpfen, Beyer, 1999

Bezüglich der HF konnte bei Doria et al. (2009) eine prozentuale Belastung der HFmax von $92 \pm 2\%$ für Männer und $97 \pm 6\%$ für Frauen herausgestellt werden. Iide et al. (2008) untersuchten unter anderem die physiologische Beanspruchung einer Wettkampfsimulation. Hierbei kamen 12 Athleten zum Einsatz, welche einen kampfrichtergeführten 2 Minuten-Kampf und nach einer 60 minütigen Unterbrechung einen 3 Minuten-Kampf absolvierten. Neben einem Herzfrequenzmesssystem wurden die Atemgase über einen Douglas-Sack aufgefangen und nach den Kämpfen ausgelesen. Der Douglas-Sack wurde am Rücken befestigt. Die Sportler waren in ihren Bewegungen frei, jedoch gab es aus Sicherheitsgründen bestimmte Technikverbote, z.B. Tritte zum Rücken. Im Vorfeld der Simulation wurde eine Laufbandlabordiagnostik durchgeführt. Es konnte ein Gesamtsauerstoffverbrauch für den 2 bzw. 3 Minuten-Kampf im Mittel von 1292 ± 236 ml/min und 1466 ± 193 ml/min erfasst werden. Diese Werte unterscheiden sich deutlich von den Absolutwerten der voran beschriebenen Untersuchungen. Es wird vermutet, dass die Werte stark unterschätzt sind. Dem belegend fallen auch die prozentualen Werte der VO_2 bezogen auf die $\text{VO}_{2\text{max}}$ von $42.3 \pm 10.0\%$ und $47.8 \pm 8.0\%$ für eine Wettkampfleistung sehr gering aus. Hingegen gleichen sich annähernd die prozentualen Angaben anhand der HFmax, $85.2 \pm 6.5\%$ für 2 Minuten und $93.2 \pm 4.4\%$ für 3 Minuten. Entsprechend wird ein methodischer Fehler bei der Atemgasmessung vermutet.

Eine prozentuale Intensitätsangabe anhand der $\text{VO}_{2\text{max}}$ konnte nur der Untersuchung von Toyoshima, Inoshita, Ueda, Mori & Nakano (2003) entnommen werden. Sie geben 72,5% der $\text{VO}_{2\text{max}}$ für eine simulierte Wettkampfkation an. Leider wurde dieser Wert nur per Interpolation über die HF anhand eines vorangegangenen Labortests ermittelt. Die prozentuale HF ähnelt sich wieder gegenüber den vorhergehenden Angaben von 85,2% der HFmax. Abschließend ist zu vermerken, dass eine detailliertere Einsichtnahme der Arbeit nicht möglich war, da sie in Japanisch verfasst ist und nur der Abstract in Englisch zur Verfügung stand.

Oliveira et al. (2014) bestimmten in ihrer 4 Runden Wettkampfsimulation ohne Schiedsrichterunterbrechungen eine durchschnittliche prozentuale kardiale Leistung von ca. 84% der HFmax über alle Runden hinweg. Der durchschnittliche HFpeak je Runde erreichte nie die HFmax aus Labortests und betrug für alle Kampfrunden im Mittel ca. 94%. Jedoch belief sich die Belastungszeit je Kampfrunde auf lediglich 1 Minute.

In der Forschung von Le Roux (2015) führten 12 männliche Probanden eine schiedsrichtergeführte Wettkampfsimulation von 6 Kampfrunden mit kürzer werdenden Pausen zwischen den Kämpfen durch. In Bezug zu erfassten HFmax im Labor wurde eine prozentuale kardiale Auslastung im Mittel von 90,1% für alle Kämpfe bestimmt. Chaabène et al. (2014b) untersuchten die physiologischen Unterschiede bei Athleten zwischen simulierten, n = 3, und offiziellen Wettkämpfen, n = 6. Für die durchschnittliche HF konnte kein relativer Unterschied zur HFmax herausgefunden werden: Wettkampfsimulation 91,14%, offizieller Wettkampf 91,70%.

Die Daten werden von einer weiteren Untersuchung eines offiziellen Wettkampfes bestätigt, in der ein durchschnittlich prozentualer Anteil von 91% der HFpeak ermittelt wurde. Hinzu wurde dargestellt, dass die Sportler 65% der Zeit in einem HF Bereich von >90% von ihrer HFmax arbeiten. Es sei jedoch darauf verwiesen, dass die HFmax hier als HFpeak aus den Kampfrunden herangezogen wurde. Bei der Forschung kamen wiederum männliche Athleten von hohem Niveau zum Einsatz (Chaabène et al., 2014a).

Eine differenziertere Darstellung der kardialen Belastung in internationalen Wettkämpfen konnten Tabben et al. (2013) darstellen. Sie haben Daten von vier Männern und drei Frauen über drei Kampfrunden bei einem offiziellen Wettbewerb ermittelt. Die Auswertung erfolgte über die Maximalparameter einer vorangegangenen Laufbandlabordiagnostik. Abbildung 11 verdeutlicht die durchschnittliche Beanspruchung der Athleten. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Kampfrunden und dem Geschlecht herausgefunden werden.

Matches		Total time (min)	HR (bpm)	% HRmax
Match 1	Women	3.5 (0.8)	185 (11)	92 (3)
	Men	5.1 (1.3)	177 (9)	88 (3)
	All	4.5 (1.4)	181(10)	90 (3)
Match 2	Women	3.0 (0.9)	185 (10)	92 (3)
	Men	5.7 (1.0)	179 (7)	89 (4)
	All	4.6 (1.7)	182 (8)	91 (4)
Match 3	Women	4.3 (1.1)	185 (9)	92 (2)
	Men	5.3 (2.3)	181 (8)	90 (2)
	All	4.9 (1.8)	183 (8)	91 (3)
Mean	Women	3.6 (1.0)	185 (8.7)	92 (2)
	Men	5.4 (1.5)	179 (7)	89 (3)
	All	4.7 (1.6)	182 (9)	91 (3)

Abb. 11. Bruttokampfzeiten und absolute und relative HFen eines offiziellen internationalen Turniers, Tabben et al., 2013

Hinzu sind die Bruttowettkampfzeiten mit aufgelistet. Frauen stehen im Mittel ca. 3,5 Minuten auf der Kampffläche je Kampfrunde, Männer ca. 5,5 Minuten.

Abbildung 12 verweist auf die zeitliche Verteilung der kardialen Leistung. Ihr ist zu entnehmen, dass die Kampfzeit zum Großteil von über 90% der HFmax absolviert wird und das 90% der Kampfzeit im Bereich von 80-100% der maximalen Herzleistung abgedeckt werden.

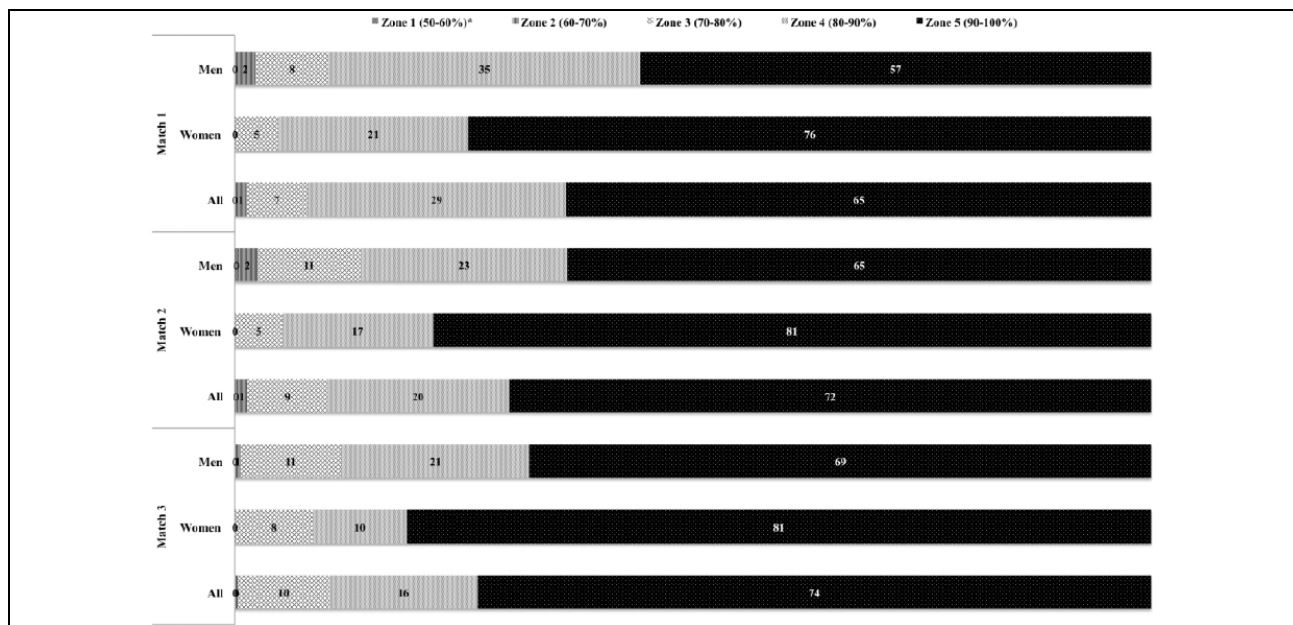


Abb. 12. Durchschnittliche prozentuale Verteilung der Kampfzeit in Intensitätszonen der HF je Kampfrunde und Geschlecht, Tabben et al., 2013

Es kann zusammengefasst werden, dass in einer Kampfrunde bei einem offiziellen Turnier mit Unterbrechungen der Kampfrichter eine durchschnittliche kardiale Belastung von ca. 90% der individuellen HFmax gefordert wird. Die dargestellten Werte weisen dabei auf eine Unabhängigkeit von durchgeführter Kampfrunde und Geschlecht hin, auch wenn die Nettobelastungszeit bei Frauen nur 2 Minuten beträgt. Die Bruttozeit verdeutlicht aber längere Gesamtbelastungszeiten von ca. 3,5 Minuten. Ein Unterschied zwischen einer kampfrichtergesteuerten Simulation oder einer kontinuierlichen Simulation konnte nicht ausfindig gemacht werden. Demnach kann geschlossen werden, dass die Unterbrechungen von wenigen Sekunden keinen erholenden Effekt aufzeigen. Eher geringere Belastungszeiten von 1 bis 2 Minuten senken die Beanspruchung auf durchschnittlich ca. 85%. Die Ergebnisse zeigen, dass 65% der Kampfzeit über 90% von der HFmax fordern und dass 90% der Kampfzeit mit 80-100% der maximalen Herzleistung durchgeführt werden. Für die Beanspruchung der VO_2 konnten nur Absolutwerte eruiert werden: Im Mittel für Männer ca. 3,3 l/min, für Frauen ca. 2,0 l/min. Die dargestellten prozentualen Bezugswerte sind uneindeutig. Weitere Forschung wird benötigt, um hier klarere Aussagen treffen zu können.

2.6 Spezifische leistungsdagnostische Testformen im Karate-Kumite

Zur Beurteilung der physiologischen Ausdauerleistungsfähigkeit wird in der Regel die $\dot{V}O_{2\max}$ verwendet. Diese kann durch eine spiroergometrische Untersuchung ermittelt werden. Als Standardverfahren wird die Fahrradergometrie oder die Laufbandergometrie eingesetzt. Um der Spezifik näher zu kommen, entwickelte Nunan (2006) erstmalig einen spezifischen Ausbelastungstest für Karate-Kumite. Der Test wurde durch mehrere Untersuchungen von Chaabène (Chaabène et al., 2012a ; Chaabène et al., 2012c ; Chaabène et al., 2015) auf die Testgütekriterien mittels subjektiven Empfindens, der $\dot{V}O_2$ und der HF überprüft. Methodisch ist kritisch anzumerken, dass die vergleichenden Messungen anderer Ausbelastungstests nicht immer mit den gleichen physiologischen Messparametern durchgeführt worden sind. Dennoch zeigten sich sehr gute Ergebnisse, wodurch der Test als spezifisches Mittel zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Karate-Kumite Sportlers herangezogen werden kann. Tabben, Coquart, Chaabène & Franchini (2014b) modifizierten den Test von Nunan (2006) und passten ihn in der Belastungszeit der Aktionen entsprechend einem Wettkampf an, 3 Sekunden. Sie beschreiben ihn als Karate-Spezifischen-Test (KST) und überprüften die Reliabilität und die Validität. Als Messinstrumente nutzten sie in jedem Test die Spirometrie, ein Herzfrequenzmessgerät und die subjektive Befindlichkeit. Dies stellt derzeit aus physiologischer Sicht einen sehr hohen Messstandard dar. Es konnte kein signifikanter Unterschied in der $\dot{V}O_2$, der HF und dem subjektiven Befinden im Test-Retest-Verfahren ausfindig gemacht werden. Die Absolutwerte unterscheiden sich marginal und die Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) verweisen auf sehr gute Ergebnisse, Abbildung 13. Die Reliabilität kann angenommen werden.

Variables	$\dot{V}O_{2\text{peak}}$ ($\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\dot{V}O_{2\text{peak}}$ ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	TE (s)	$[\text{La}^-]$ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)
Test	53.7±5.1	3.4±0.6	635.3±50	10.8±2.6
Retest	54.0±5.0	3.4±0.7	636.9±49.0	10.5±2.4
p value	0.29	0.25	0.27	0.47
ICC (95% CI)	0.99 (0.990-0.998)	0.98 (0.96-0.99)	0.99 (0.990-0.998)	0.90 (0.720-0.963)
SEM	0.039 (1.14%)	0.50 (0.93%)	2.22 (0.34%)	0.55 (5.12%)
SWC	0.135	1.10	9.75	0.50

Abb. 13. Reliabilitätsprüfung, Test-Retest-Verfahren KST, SEM = standard error of measurement, SWC = smallest worthwhile effect, Tabben et al., 2014b

Die Validität des KSTs wurde mit einer stufenförmigen Fahrradergometrie beurteilt (Start bei 60 Watt, Steigerung 30 Watt alle 3 Minuten; 60 U/min). Für die $r\dot{V}O_{2\max}$ und die HF konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den erhobenen Werten herausgestellt werden. Die Ergebnisse verweisen darauf, dass der KST valide zur

Fahrradergometrie ist. Weiterhin zeigt die $r\text{VO}_2\text{max}$ beider Testverfahren eine positive Korrelation ($r = 0,83$; 95% CI: 0,51-0,94 ; $p < 0,0001$). Die $r\text{VO}_2\text{max}$ mit der maximalen subjektiven Ausbelastung aus dem KST ($r = 0,81$; 95% CI: 0,47-0,94 ; $p < 0,001$) und die $r\text{VO}_2\text{max}$ aus dem Labortest mit der maximalen subjektiven Ausschöpfung des KSTs ($r = 0,81$; 95% CI: 0,47-0,94; $p = 0,0007$) wurden miteinander korreliert. Die Werte verdeutlichen auch hier positive Korrelationen und untermauern die Validität. Kritisch zu sehen ist die geringe Teilnehmeranzahl von 13 Personen für die Überprüfung der Testgütekriterien und dass ein unterschiedliches Messsystem der Spirometrie im Labor und Feld zum Einsatz kam.

Aus der Arbeit wurde geschlossen, dass mittels des spezifischen Tests die aerobe Leistungsfähigkeit eines Karate-Kumite Kämpfers beurteilt werden kann (Tabben et al., 2014b).

2.7 Belastungsmindestmaß für eine trainingsbedingte Adaptation im Allgemeinen und im Karate-Kumite

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, ist die Bestimmung einer Belastung für eine gewünschte Adaptation schwer darzustellen. Um sich der Problematik anzunehmen, bedient man sich an Trainingsmaßzahlen. Es werden hier die grundlegenden Maßzahlen Intensität, Dauer und Häufigkeit präsentiert (Haber, 2009, S. 162 f.). Die Forschungen waren dahingehend ausgerichtet ein Mindestmaß der Trainingsmaßzahlen zu bestimmen, um eine biopositive Anpassung des Leistungsvermögens zu evozieren. Die folgenden Absätze verdeutlichen den aktuellen Forschungsstand für eine Anpassung durch Ausdauertraining.

Als Intensitätsparameter werden die HF, die Herzfrequenzreserve (HFR) (engl. Heart rate reserve: HRR), die VO_2 , die Reserve der Sauerstoffaufnahme (VO_2R) und die subjektive Bewertung der Belastung (RPE – ratings of perceived exertion) herangezogen.

Bei der HFR und der VO_2R werden die Ruheparameter vom Maximalwert subtrahiert, da der Ruheumsatz der allgemeinen Organfunktion in der Belastung weiterhin aufrechterhalten bleibt. Das Ergebnis wird als maximale Leistung definiert und auf 100% festgesetzt. Zur Bestimmung der Trainingsintensität wird der gewünschte Bereich prozentual vom Maximalwert gebildet und der Ruhewert addiert. Im Vergleich zu den Einteilungen der Trainingsintensitäten an den reinen Maximalwerten wird davon ausgegangen, dass die geforderte Intensität exakter dargestellt werden kann (Borg, 1998 ; Pollock et al., 1998 ; Thompson et al., 2010, S. 156).

International anerkannter Vorreiter der Empfehlungsvertreter ist das American College of Sports Medicine (ACSM). Ein zeitlicher Verlauf ihrer Empfehlungen über die benannten Intensitätsparameter zur Entwicklung oder Aufrechterhaltung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit, einhergehend auch die der Peripherie, ist der folgenden Abbildung zu entnehmen.

Past and present (1975–2006) American College of Sports Medicine (ACSM) guidelines for prescribing exercise intensity for developing and maintaining the cardiorespiratory fitness of adults.

ACSM guidelines	Aerobic exercise intensity
1975 ³²	60–90% $\text{VO}_{2\text{max}}$ /HRR
1980 ³³	50–85% $\text{VO}_{2\text{max}}$ /HRR; 60–90% HR_{max}
1986 ³⁴	50–85% $\text{VO}_{2\text{max}}$ /HRR; 60–90% HR_{max}
1991 ³⁵	40–85% $\text{VO}_{2\text{max}}$; 55–90% HR_{max} ; RPE 12–16
1995 ³⁶	40–85% $\text{VO}_{2\text{max}}$ /HRR; RPE 12–16
2000 ³⁷	40/50–85% VO_2R /HRR; 55/65–90% HR_{max} ; RPE 12–16
2006 ^{9,a}	40/50–85% VO_2R or HRR; 64/70–94% HR_{max} ; RPE 12–16; 20% HRR or 50% HR_{max} ^b ; 30% VO_2R or HRR ^c ; >90% VO_2R /HRR ^d

^a Suggests substituting the % HR_{max} method with the %HRR method for the determination of the aerobic exercise intensity.

^b Minimum intensity threshold for the development of aerobic power in individuals with $\text{VO}_{2\text{max}}$ below $30 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$.

^c Minimum intensity threshold for the development of aerobic power in individuals with $\text{VO}_{2\text{max}}$ below $40 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$.

^d Recommended for improving the performance of athletes. HR_{max} : maximal heart rate; HRR: heart rate reserve; RPE: rating of perceived exertion; VO_2R : VO_2 reserve.

Abb. 14. Übersicht der ACSM Intensitätsempfehlungen zur Entwicklung und Aufrechterhaltung der kardio-pulmonalen Fitness bei Erwachsenen, da Cunha et al., 2011

Die ACSM empfiehlt eine Trainingshäufigkeit von 3-5 Tagen in der Woche mit einer Minstdauer von 20-60 Minuten. Dabei zählt die Zeitangabe als Summe im Tagesverlauf. Entsprechend kann die Belastung auch unterbrochen werden, sollte aber mindestens 10 Minuten kontinuierlich aufrechterhalten bleiben (Pollock et al., 1998). Haskell et al. (2007) überarbeiteten die Empfehlungen. Sie differenzierten die Häufigkeit in Abhängigkeit von der Intensität. So geben Sie an, dass bei moderater Intensität, z.B. zügiges Spazieren, eine Belastung an 5 Tagen in der Woche über ein Minimum von 30 Minuten erfolgen sollte. Bei höheren Intensitäten, wie z. B. Joggen, sollten 3 Tage in der Woche mit einer Mindestbelastungszeit von 20 Minuten in Anspruch genommen werden. Die Angaben gleichen sich mit neueren Fassungen der ACSM (Thompson et al., 2010).

Haber (2009, S. 161 ff.) empfiehlt unabhängig vom Leistungsstand eine Intensität von 55-70% der $\text{VO}_{2\text{max}}$. Die Intensität sollte für mindestens 10 Minuten aufrechterhalten bleiben. Dabei differenziert er den Trainingsreiz sehr genau. Es gilt nur die Trainingszeit, welche tatsächlich in diesem Bereich durchgeführt wurde. So zählt nach seiner Theorie eine lockere Aufwärmphase oder ein Windschattenfahren, wobei die Intensität den geforderten Bereich unterschreitet, nicht mit zur Trainingszeit. Nach ihm sollte das Training eine Kadenz von mindestens 2 Tagen in der Woche besitzen.

Weiter kritisiert Haber (2009, S. 167 ff.) Untersuchungen mit den Aussagen, dass höhere Intensitäten höhere Anpassungsprozesse der $\text{VO}_{2\text{max}}$ nach sich ziehen (vgl. z.B. Gormley et al., 2008). Nach seiner Meinung sind die Untersuchungszeiträume zu kurz und die Ergebnisse irrelevant, weil die Anpassung der VO_2 über mehrere Jahre verläuft. Höhere Intensitäten sind nach seinem Dafürhalten nicht für die Verbesserung der VO_2 notwendig. Hinzu wird die prozentuale Trainingsintensität immer durch den aktuellen Leistungsstand angepasst. Entsprechend ist seine Intensitätsangabe unabhängig vom Leistungsstand und auch auf 70% der $\text{VO}_{2\text{max}}$ limitiert. Dahingehend unterscheiden sich die Angaben zu den Werten der ACSM.

Eine Abhängigkeit zu den Trainingsmaßzahlen Intensität, Dauer und Häufigkeit stellt der individuelle Leistungsstand dar. Für sehr untrainierte Personen ist ein geringerer

Intensitätsreiz für eine Adaptation bzw. Erhaltung ausreichend. Allgemein sind die Angaben für ein Mindestmaß an Bewegung ausgerichtet, um einen gesunden und präventiven Lebensstil zu führen. Entsprechend liegt keine Abhängigkeit von Alter und Geschlecht vor. Die Aussagen beziehen sich auf eine Altersstruktur von 18-65 Jahre (da Cunha et al., 2011 ; Haber, 2009 ; Haskell et al., 2007 ; Pollock et al., 1998 ; Swain & Franklin, 2002 ; Thompson et al., 2010, S. 8). Swain & Franklin (2002) konkretisieren die Abhängigkeit vom Leistungsniveau. Für Personen mit einer $\dot{V}O_2\text{max}$ unter 40 ml/min*kg konnten sie einen Mindestintensitätswert von 38% berechnen und bei Personen mit einer $\dot{V}O_2\text{max}$ von über 40 ml/min*kg eine Mindestintensität von 49% der $\dot{V}O_2\text{max}$.

Weiterhin vergleichen sie in ihrer Schrift die $\dot{V}O_2R$ mit der $\dot{V}O_2$. Sie beschreiben die Diskrepanz beider Einheiten untereinander. Sie sind abhängig von der aeroben Kapazität und der Intensität der Übung. Dennoch verdeutlichen und bestätigen ihre Ergebnisse den Zusammenhang zu früheren Angaben der ACSM zur $\dot{V}O_2\text{max}$ (Swain & Franklin, 2002).

Aktuell wird aus den oben beschriebenen Gründen vermehrt die $\dot{V}O_2R$ bzw. die HRR zur Intensitätsbeschreibung herangezogen. Die Bestimmung der Reserve wird jedoch kritisch hinterfragt. Es werden vor allem methodische Schwierigkeiten in Bezug zum Ruhewert und zum Maximalwert aufgeführt (da Cunha et al., 2011). So wird der Ruhewert bei Untersuchungen und bei der ACSM auf den empirisch verbreiteten Wert von 3,5 ml/min*kg für den Grundumsatz verwendet (Swain & Franklin, 2002; Thompson et al., 2010, S. 160). Dabei ist der Grundumsatz u.a. abhängig vom Geschlecht, vom Alter und der Körpermasse (Marées et al., 2003, S. 387 ff.). Weiterhin verweisen da Cunha et al. (2011) auf ein dezidiertes Vorgehen zur Ruhebestimmung, welches zu Teilen große Abweichungen zu anderen Untersuchungen aufweist. Auch für die Bestimmung des Maximalwertes bleibt die Frage offen, ob ein Rampenprotokoll oder Stufenprotokoll das Mittel der Wahl darstellt. Aus der Literatur wird vorzugsweise ein Rampenprotokoll empfohlen (Astorino et al., 2004 ; Buchfuhrer et al., 1983 ; Czuba, Zajac, Cholewa, Poprzecki & Roczniok, 2010 ; Kroidl, Schwarz, Lehnigk & Greiwing, 2010 ; Thoden, 1991 ; Yoon, Kravitz & Robergs, 2007). Die meisten Untersuchungen arbeiteten hingegen mit Stufenprotokollen (da Cunha et al., 2011).

Trainingsuntersuchungen im Karate mit Probanden unterschiedlicher Leistungsklassen verweisen auf durchschnittliche HFen von über 60% der HFmax über einen Trainingszeitraum von 60-90 Minuten, siehe Kapitel 2.8. Imamura et al. (1999) konnten in ihrem 70 minütigen Training eine durchschnittliche prozentuale $\dot{V}O_2$ von $47.4 \pm 5.9\%$ von der $\dot{V}O_2\text{max}$ darstellen (detaillierte Sichtweisen und kritische Aspekte im Abschnitt 2.8). Es ist anzumerken, dass im Karatetraining intermittierende Belastungen vorherrschen. Entsprechend sind die Beanspruchungen während den Übungen höher als ihre Mittelwerte einzuschätzen. Anhand der dargestellten Mindestanforderungen an Intensität und Dauer stellt ein wöchentlich zweimal durchgeführtes Karatetraining, in der Regel 60-90 Minuten, eine sehr gute Alternative für ein ausdauerorientiertes Training dar, um einen kardiopulmonalen Anpassungsreiz

zu setzen bzw. um die bestehende Leistungsfähigkeit zu erhalten (Imamura et al., 1999 ; Milanez, Dantas, Christofaro & Fernandes, 2012).

Es kann schließend festgehalten werden, dass eine sportlich intermittierende Belastung von 60 Minuten, die eine VO₂, eine VO₂R oder eine HFR von durchschnittlich mindestens ca. 50% der Maximalleistung oder eine durchschnittliche HF von mindestens ca. 60% der HFmax fordert und 2-3 mal in der Woche durchgeführt wird, kardiopulmonale und periphere Adaptationen provoziert und den individuellen Leistungsstand aufrechterhält oder gar fördert.

2.8 Trainingsuntersuchungen im Karate-Kumite

Vereinzelte Forschungen sind im Trainingsbereich der Disziplin Kumite ausfindig zu machen (Milanez et al., 2010; Milanez et al., 2012; Milanez & Pedro, 2012; Padulo et al., 2014; Padulo, Salernitano, Maurino, Stefano & Gevat, 2014; Tabben et al., 2014a; Tabben et al., 2015). Die bisherigen Untersuchungen erfolgten mittels Herzfrequenzmessungen, Messungen der Blutlaktatkonzentrationen sowie Bewertungen über die subjektive Befindlichkeit in den Übungen und über die gesamte Trainingseinheit. Leider ist aus den benannten Untersuchungen nicht immer eindeutig zu erkennen, ob es sich um reine Karate-Kumite Trainingseinheiten gemäß der WKF-Wettkampfausrichtung handelt. Weiterhin sind die Trainingsausführungen sehr grob beschrieben, z.B. taktisches Training. Genaue Übungsbeschreibungen fehlen. Eine detaillierte Ausführung wäre für die Interpretation der erhobenen Daten von Vorteil. Eine umfangreiche Untersuchung mit vermutlich rein kumitespezifischen Übungsausführungen ist die von Tabben et al. (2014a). Sie begleiteten ein Trainingslager und haben insgesamt acht Trainingseinheiten untersucht. Dabei überprüften sie drei verschiedene Trainingsformen auf ihre physiologische Belastung: Techniktraining (TD - 2 Einheiten), Taktiktraining (TT - 4 Einheiten) und Randori (Sparing mit dem Partner) (2 Einheiten). Hinzu führten sie einen Vergleich zwischen Geschlecht und Niveau durch. Die Ergebnisse sind der Abbildung 15 zu entnehmen.

	HR (% HR _{max})			
	TT	TD	Randori	All training modalities
Women with international level	70.2 ± 1.8	64.4 ± 1.4	74.1 ± 0.8	69.7 ± 4.0
Women with national level	71.6 ± 2.1	65.5 ± 1.2	75.3 ± 2.3	71.0 ± 4.2
Women regardless of level	70.9 ± 2.0 ^{a,b,c,e}	65.0 ± 1.3 ^{a,b,d,f}	74.7 ± 1.7 ^{c,d,g,h}	70.3 ± 4.1 ^a
Men with international level	64.4 ± 3.0	59.7 ± 2.7	73.4 ± 2.6	65.4 ± 6.0
Men with national level	66.2 ± 4.6	62.5 ± 5.8	72.9 ± 5.9	66.9 ± 6.6
Men regardless of level	65.3 ± 3.8 ^{a,b,c}	61.1 ± 4.5 ^{a,b,d,e,h}	73.1 ± 4.3 ^{c,d,f}	66.2 ± 6.3 ^a
Men and women with international level	67.0 ± 3.9	61.8 ± 3.3	73.7 ± 2.0	67.3 ± 5.6
Men and women with national level	68.6 ± 4.5	63.8 ± 3.9	74.0 ± 4.6	68.7 ± 6.0
Men and women regardless of practice level	67.8 ± 4.6 ^{b,c,g}	62.8 ± 4.4 ^{b,d}	73.9 ± 4.6 ^{c,d}	68.1 ± 5.8

Legend: ^a - Women are significantly different from men; ^b - TT is significantly different from TD; ^c - TT is significantly different from randori; ^d - TD is significantly different from randori; ^e - Women during TT are significantly different from men during TD; ^f - Women during TD are significantly different from men during randori; ^g - Women during randori are significantly different from men during TT; ^h - Women during randori are significantly different from men during TD.

Abb. 15. Prozentuale Darstellung der maximalen HF in den Trainingseinheiten, TT = Taktiktraining, TD = Techniktraining, Tabben et al., 2014a

Es wird deutlich, dass Randori in allen Gruppen die höchste kardiale Leistung fordert. Hinzu verlangen alle Einheiten bei jeder Gruppe eine durchschnittliche Leistung von

größer 60% der HFmax. Da die Daten Mittelwerte darstellen, ist ihnen nicht zu entnehmen wie sich die Beanspruchungen in den jeweiligen Übungen verhalten und ob auch hier Unterschiede zwischen den Trainingsformen vorliegen.

Bei der Trainingsdurchführung von Milanez et al. (2010) konnte eine ähnliche prozentuale Leistung von $70,7 \pm 7,4\%$ der HFmax bestimmt werden. Hierbei kamen nationale und internationale Athleten beider Geschlechter zum Einsatz. Es wird davon ausgegangen, dass ein breit gefächertes Training mit allen elementaren Karateausführungen, Kata, Kihon, Kumite, durchgeführt wurde.

Eine weitere Untersuchung von Milanez et al. (2012) mit einer vermutlich ähnlichen Trainingsausführung konnte recherchiert werden. Es kamen Athleten beider Geschlechter mit einem Trainingsumfang von mindestens fünf Einheiten die Woche zum Einsatz. Die Studie verdeutlicht, dass 79,9% der Trainingszeit mit einer HF von größer 60% der maximalen HF absolviert wurde, Abbildung 16. Im Mittel agierten die Probanden in ihrem Training mit 72% ihrer HFmax.

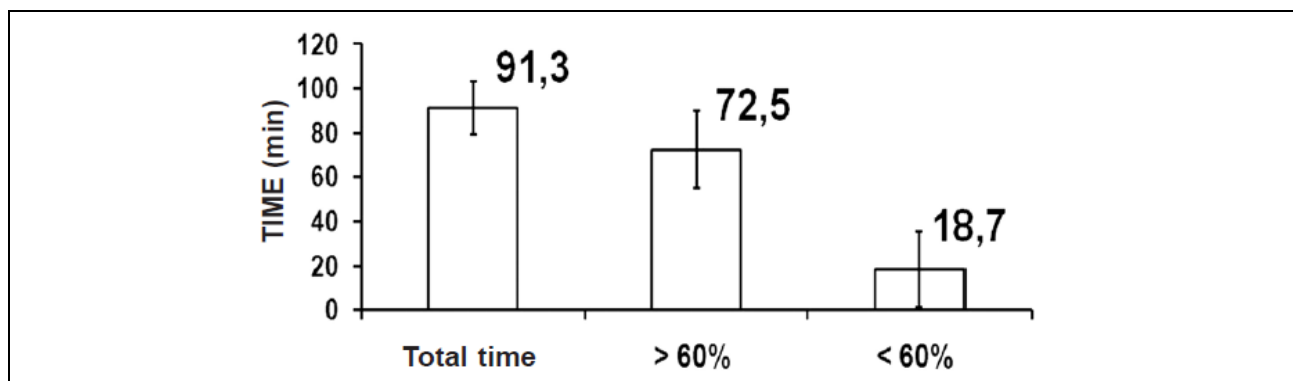


Abb. 16. Darstellung der durchschnittlichen Trainingszeit und der Zeit über und unter der durchschnittlichen Herzleistung von 60% von der maximalen Herzleistung, Milanez et al., 2012

Eine Untersuchung konnte ausfindig gemacht werden, in der auch die VO_2 bestimmt wurde (Imamura et al., 1999). Hierbei kam es jedoch zu stichpunktartigen Messungen innerhalb der Übungen und die erhobenen Werte wurden anschließend für den Übungsabschnitt gemittelt. Als Messinstrument kam der Douglas-Sack zum Einsatz. Weiterhin wurden in dem Training fünf verschiedene Übungsformen durchgeführt, welche die Gesamtheit des Karates in Kihon, Kata und Kumite abdecken. Zwischen den Übungen fand eine 5 minütige Pause statt. In Bezug auf die vorliegende Arbeit wird der Abschnitt Tech I und Tech II genauer betrachtet. Bei Tech I kam es zu freien Technikausführungen in die Luft. Bei Tech II kam es zu Kampfkationen mit dem Partner, wobei erst zum Ende des Übungsabschnittes direkte Interaktionen mit dem Trainingspartner absolviert wurden. Das Ergebnis der HF und der VO_2 je Übungsabschnitt ist der Abbildung 17 zu entnehmen.

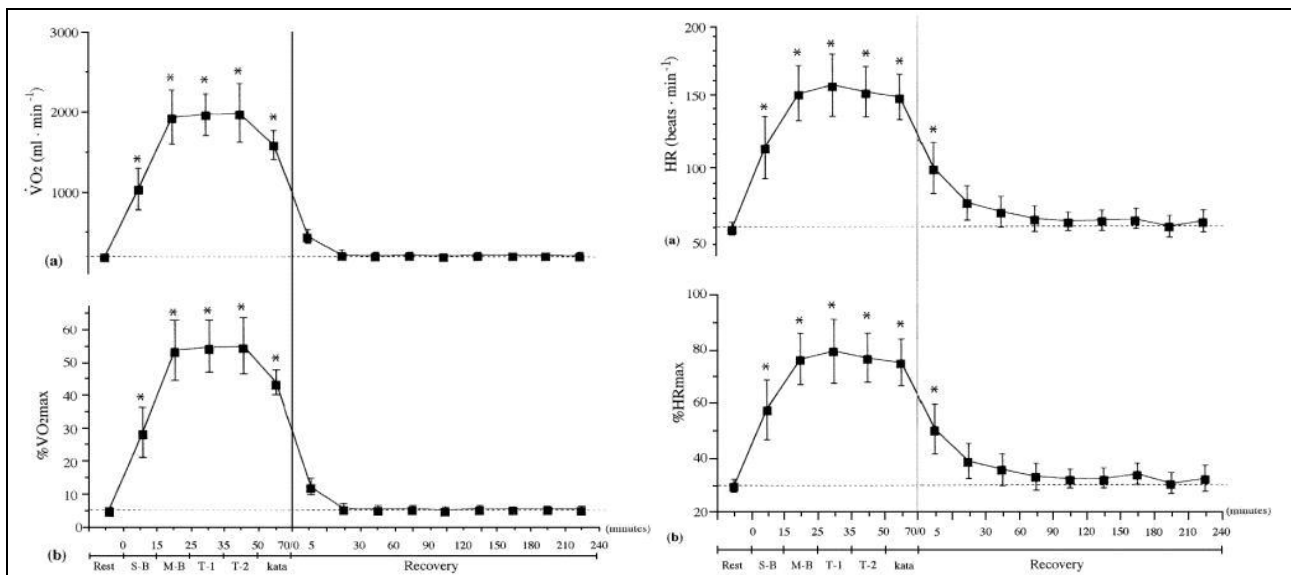


Abb. 17. $\dot{V}O_2$ (links) und HF (rechts) zu den jeweiligen Übungsausführungen, T für Tech, Imamura et al., 1999

Die durchschnittliche $\dot{V}O_{2max}$ aus einer vorangestellten Laufbandergometrie betrug für das Kollektiv 58.6 ± 6.8 ml/min*kg. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass für Tech I und Tech II Mittelwerte von ca. 53 ml/min*kg im Steady-State gemessen wurden. Dies entspricht in etwa einer prozentualen Belastung anhand der $\dot{V}O_{2max}$ von 90%. Die kardiale Leistung wird prozentual zu ca. 79% gefordert. Für die vollständige Trainingseinheit konnte von den Maximalwerten im Mittel eine $\dot{V}O_2$ von $47,4 \pm 5,9\%$ und für die HF von $72,6 \pm 9,2\%$ bestimmt werden.

Mit der Gesamtmenge des verbrauchten Sauerstoffs bei der sportlichen Aktivität kann die energetisch aufgebrauchte Gesamtleistung in Form von Kilojoule (kJ) oder Kilokalorien (kcal) ermittelt und der Nahrungsaufnahme gegenübergestellt werden. In der 70 minütigen Trainingseinheit wurde bei einem respiratorischen Quotient (RQ) von 1 ein Energieumsatz von 2464,4 kJ (ca. 616,1 kcal) und bei einem RQ von 0,7 von 2292,8 kJ (ca. 573,2 kcal) berechnet.

Aus den Darstellungen kann festgehalten werden, dass die Erfassung physiologischer Anforderungen einer Karate-Kumite Trainingseinheit Forschungsbedarf aufweist. Es fehlen detaillierte Übungsbeschreibungen, Ausweisungen an angelehnte Verbandsstrukturen und kontinuierlich spirometrische Messungen. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein Karate-Kumite Training durchschnittlich 60-70% der maximalen kardialen Leistung fordert, unabhängig davon welcher Schwerpunkt im Training gesetzt wird (z.B. Taktik) und welches Niveau oder Geschlecht vorliegt. Inwiefern einzelne Übungen die Herzleistung beanspruchen, kann nur von Imamura et al. (1999) erahnt werden, ca. 80%, und erfordert weiteren Untersuchungsbedarf. Weiterhin wurde erstmalig von der Untersuchungsgruppe die $\dot{V}O_2$ im Training erfasst. Sie deutet für die Übungen eine sehr hohe Beanspruchung an und in Bezug zur gesamten Trainingseinheit eine moderate Beanspruchung. Aufgrund der diskontinuierlichen Messung und der erstmaligen Erhebung fehlen Referenzdaten zur Beurteilung.

2.9 Fazit Forschungsstand

Der Theorieteil konnte aufzeigen, dass die physiologische Beanspruchung auf eine gegebene Belastung, Wettkampf oder Training von Bedeutung ist, um die physiologische Anforderung zu kennen bzw. um sie beschreiben zu können. Demnach kann eine objektivere und argumentativ wissenschaftlichere Begründung der Trainingssteuerung erfolgen. Im Karate-Kumite ist aus physiologischer Sicht die Beanspruchung durch eine Wettkampfbelastung vielfältig erforscht. Es konnte verdeutlicht werden, dass Karate-Kumite eine Ausdauersportart darstellt. Ein allgemeines Karate-Training bietet demnach eine Trainingsalternative für kardiopulmonale Anpassungserscheinungen. Dennoch konnten Defizite in der Spezifizierung der Forschungslage herausgestellt werden. Im Trainingsbereich sind aktuell nur wenige Untersuchungen ausfindig zu machen. Hinzu sind die Forschungen wenig präzisiert in ihrer Anlehnung an einer Organisationsstruktur (Verbände), an ihrer Trainingsinhalte (Kata, Kumite, Kihon), an detaillierter Übungsbeschreibungen und an detaillierter Beanspruchungsdarstellung je Übung. Weiterhin kamen spirometrische Messungen als validester Belastungs- und Beanspruchungsparameter nur sehr selten zum Einsatz und es konnte bisher keine kontinuierliche Breath-By-Breath Messung ausfindig gemacht werden. Entsprechend kann für das Karate-Kumite aktuell festgehalten werden, dass eine detailgetreue Abbildung des Trainings mit seinen Beanspruchungsstrukturen nicht vorliegt. Dies stellt eine große Lücke im Verständnis des Trainingsprozesses dar und ist wenig förderlich für eine objektive Trainingssteuerung.

3 Forschungsfragen und Hypothesen

Aus dem Forschungsfazit resultiert die Frage, wie groß das Ausmaß der Intensität eines Karate-Kumite Trainings ist, um übergreifend im Trainingssteuerungsprozess eine fundierte Einschätzung treffen zu können. Des Weiteren fehlen detaillierte Gegenüberstellung von Karate-Kumite Übungen mit ihren Belastungsformen zu ihrem Intensitätsausmaß. Erst mit dieser Quantifizierung können die durchgeführten Elemente im Training besser begründet werden. Daher ist das Hauptziel der Arbeit ein spezifisches Karate-Kumite Training angelehnt an die Wettkampfstruktur der WKF mit den Parametern VO_2 und HF in seiner Gesamtheit und übungsspezifisch deskriptiv darzustellen. Die Präsentation der Intensitätsparameter erfolgt prozentual vom erhobenen Maximalwert. Diese wurden über Ausbelastungsverfahren im Vorfeld kreiert. Hierbei wurde sich an der Untersuchung von (Tabben et al., 2014b) orientiert, um deren Ergebnisse zu verifizieren oder zu falsifizieren. Folgende Hypothesen werden aus der Theorie und den zusammenfassenden Inhalten zur Forschungsfrage abgeleitet.

- H1: Die Parameter VO_2 , HF und Laktat aus den Ausbelastungstests Rad und KST unterscheiden sich nicht voneinander.
- H2: Das vollständige Karate-Kumite Training wird mit einer durchschnittlichen Intensität von >70% der HFmax durchgeführt.
- H3: Das vollständige Karate-Kumite Training wird mit einer durchschnittlichen Intensität von >60% der VO_{2max} durchgeführt.

Aus der vollständigen Trainingseinheit lassen sich auch Beanspruchungen auf einzelne Übungen und Belastungsformen quantifizieren. Es kommen unterschiedliche Belastungsverfahren bei gleichen Übungsausführungen zum Einsatz. Entsprechend werden für eine detailliertere Sichtweise des Trainings folgende Hypothesen formuliert. Hierbei sei darauf verwiesen, dass sich die nachfolgenden Thesen nur auf die Übungen aus dem Trainingshauptteil, Übung 1-3, beziehen (siehe 4.4 Trainingsmessung).

- H4: Die durchschnittliche VO_2 beträgt für jede Übung mindestens 70% von der VO_{2max} unabhängig von der Belastungsform.
- H5: Die durchschnittliche HF beträgt für jede Übung mindestens 80% von der HFmax unabhängig von der Belastungsform.

- H6: Die Übungsausführung „1-1 im Wechsel“ in den Übungen 1 und 2 hat einen größeren Sauerstoffverbrauch / einen größeren kalorischen Aufwand als die Übungsausführung „1 Minute der eine Partner und 1 Minute der andere Partner“.
- H7: Die Übungsausführung „1 Minute der eine Partner und 1 Minute der andere Partner“ weist keinen Unterschied im Sauerstoffverbrauch zwischen den Übungen 1-3 auf.
- H8: Die Übungsausführung „1-1 im Wechsel“ weist keinen Unterschied im Sauerstoffverbrauch zwischen den Übungen 1 und 2 auf.
- H9: Bei der Belastungsform „1 bzw. 3 Minute/n der eine Partner und 1 bzw. 3 Minute/n der andere Partner“ unterscheidet sich die VO_2 im passiven Part vom aktiven Part für die jeweilige Übung.

Des Weiteren konnte im Theorieteil ein Mindestmaß an Belastung im Ausdauerbereich beschrieben werden, bei der es zu einer biopositiven Anpassung oder zu einer leistungserhaltenden Anpassung kommt. Das energetische Profil des Karate-Kumites konnte eindeutig aufzeigen, dass bei dieser Sportart vorrangig das aerobe System gefordert wird und es sich demzufolge um eine Ausdauerdisziplin handelt. Demnach wird weiterhin geprüft, ob ein Karate-Kumite Training in Anlehnung an die WKF Wettkampfstruktur auch im Breitensportbereich die Mindestanforderungen für den Erhalt oder die Verbesserung der Leistungsfähigkeit eines Ausdauertrainings erfüllt.

- H10: Ein 2-3 maliges Karate-Kumite Training in der Woche über 60 Minuten erfüllt die Kriterien der ACSM zu einem gesundheitsfördernden Ausdauertraining.

Aus den ermittelten VO_2 Daten kann der kalorische Aufwand bestimmt werden. Die Beanspruchung kann erstmalig quantitativ der Nahrungsaufnahme gegenübergestellt werden. Abschließend soll ein Bezug zu anderen Sportarten hergestellt werden. Als ergänzende Trainingsmittel stehen zyklische Disziplinen im Vordergrund. Hingegen werden Sportsportarten als alternative Trainingsform betrachtet. Konsequente Trainingsmaßnahmen werden dargestellt.

4 Methodik

4.1 Studiendesign

Bei der Studie handelt es sich um eine prospektive, kontrollierte und nicht-interventionelle Studie. Sie kann als Beobachtungsstudie ohne Prüfung von Wirksamkeiten deklariert werden. Sie bezieht sich auf quantitative Daten. Entsprechend liegt eine empirische Forschung vor. Es existiert keine Kontrollgruppe und es findet keine Verblindung statt. Es wird ein Querschnitt erhoben. Ausgehend von den Sozialwissenschaften handelt es sich um ein vorexperimentelles Design (Stier, 1999, S. 217).

4.2 Sample/Stichprobe

An der vorliegenden Untersuchung nahmen neun männliche Probanden im Alter von 18 bis 30 Jahren teil. Sie mussten als Einschlusskriterium mindestens den 3. Kyu-Grad (brauner Gürtel) besitzen und mindestens ein Jahr einen Landeskaderstatus im Bereich Karate-Kumite in ihrer sportlichen Laufbahn nachweisen. Somit konnte ein spezifisches sporttechnisches Niveau gewährleistet werden. Hinzu galt als Kriterium eine wöchentliche Trainingspraxis von mindestens zwei Karate-Kumite Trainingseinheiten in den letzten 4 Wochen vor der Datenerhebung, um einen sportartspezifischen physiologischen Stoffwechsel sicherzustellen. Es konnten aktuelle und ehemalige Landeskadersportler sowie auch ehemalige Nationalkadersportler gewonnen werden. Die folgenden Tabellen verdeutlichen die anthropometrischen Daten, die Qualität und den aktuellen Trainingsumfang des Studienkollektivs.

Tab. 3. Anthropometrische Daten des Untersuchungskollektivs

Probanden: N = 9	Alter in Jahre	Größe in cm	Gewicht in kg
MW	24,11	180,72	76,53
SD	4,86	8,68	12,45

Tab. 4. Spezifische Qualität der Sportler im Karate-Kumite, LK = Landeskader, BK = Bundeskader, WK = Wettkampf

Proband	Graduierung	Karate in Jahren	Gewichtsklasse nach WKF	LK Status in Jahren	BK Status in Jahren	aktive WK-Zeit in Jahren	Turniere im Jahr (aktive Zeit)
1	3. Kyu	12	+ 84kg	3	-	3	4-5
2	1. Dan	13	- 60kg	9	-	9	12-15
3	3. Dan	23	- 60kg	16	2	16	10
4	1. Dan	5	- 67kg	4	-	4	4-5
5	1. Dan	21	+ 84kg	15	12	15	8
6	3. Dan	24	- 75kg	14	7	15	12-15
7	3. Dan	22	- 75kg	8	-	8	4-5
8	1. Dan	18	+ 84kg	6	-	13	10-12
9	2. Kyu	14	- 67kg	9	-	9	10-12

Tab. 5. *Aktuelles Trainingsvolumen der letzten 4 Wochen vor der individuellen Datenaufnahme, TE = Trainingseinheit, h = Trainingsstunden*

Proband	Art	TE die Woche	h die Woche	Summe h die Woche
1	Kumite	2	3	3
2	Kumite	6	7,5	9
	Kraft	1	1,5	
3	Kumite	2	2,5	2,5
4	Kumite, Kata, Athletik	3	3,75	3,75
5	Kumite	2	1	5
	Kraft	2	1,5	
6	Lauf + Kumite	2	1,5	3
7	Kumite	2	1	4,75
	Lauf	1	1,25	
	Kraft	1	1,5	
8	Kumite	2	4	10
	Brazilian Jiu-Jitsu	3	6	
9	Kumite	3	4,5	4,5

MW	5,1
SD	2,67

4.3 Erhebungsinstrumente

Folgend werden die in der Arbeit verwendeten Instrumente für die Datenerhebung und für den Untersuchungsablauf vorgestellt.

Blutdruckmanschette und Stethoskop

Vor und nach jeder körperlichen Belastung wurden der Blutdruck und der Ruhepuls überprüft.

Fahrradergometer

Für die Fahrradergometrie kam das Ergo Bike medical 8i der Fa. daum electronic GmbH zum Einsatz.

Hygrometer

Zur Bestimmung der Raumtemperatur, des Luftdrucks und der Luftfeuchtigkeit kam das Hygrometer der Fa. TFA Dostmann zum Einsatz.

Mobile Spirometrie

Die Atemgase und die Atemarbeit wurden mit dem portablen spirometrischen System K4 b² von Cosmed erhoben. Der Aufbau des Gerätes und seine Funktionsweise sind in zahlreichen Studien beschrieben (Duffield, Dawson, Pinnington & Wong, 2004 ; Eisenmann, Brisko, Shadrack & Welsh, 2003 ; McLaughlin, King, Howley, Bassett Jr & Ainsworth, 2001 ; Pinnington, Wong, Tay, Green & Dawson, 2001). Das Gerät ist ein zugelassenes Produkt des Medizinproduktegesetzes und wurde in den beschriebenen Nutzungsbereichen und Bedienungsfunktionen des Herstellers angewendet und kalibriert (Cosmed, 2008). Für die Volumenkalibrierung kam eine 2 Liter Pumpe

zum Einsatz. Für die Gaskalibrierung wurde das Gas von der Firma Rießner-Gase GmbH verwendet. Das Tragesystem des Herstellers wurde so geschnürt, dass sich die Spirometrie und der Akku auf dem Rücken befinden. Der Sportler trägt das System wie einen Rucksack. Für unterschiedliche Kopfgrößen standen Masken in verschiedenen Formaten bereit. Die Messschläuche und Messkabel wurden an die Halterung getapt, sodass der Sportler sich frei bewegen konnte. Gleichzeitig wurde eine störende freie Kabelbewegung vermieden.

Das Gerät wurde in vielen Untersuchungen auf seine Reliabilität und Validität überprüft. Die Tabellen im Anhang A und B geben einen Überblick über die Ergebnisse der Untersuchungen bezüglich der Testgütekriterien.

Der Übersicht kann entnommen werden, dass die Reliabilitätsprüfung jeweils mit dem Test-Retest-Verfahren durchgeführt wurde. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die K4 b² ein reliables Messsystem darstellt. Die einzige Untersuchung, die dem zu Teilen widerspricht, ist die Forschung an Alltagsbelastungen von Veluswamy, Guddattu & Maiya, (2015). Hierbei wird jedoch selbst angemerkt, dass die Belastungszeiten der intermittierenden Belastungen sehr kurz ausfielen (57-96 Sekunden). Abschnitt 2.3 konnte aufzeigen, dass ein VO₂ Steady-State sich nach ca. 2-3 Minuten einstellt und abhängig von Tau (T) ist. Aus diesem Grund ist das Ergebnis dieser Messung bezüglich der Reliabilität zu hinterfragen.

Zur Prüfung der Validität wurde jeweils die Methode der Kriteriumsvalidität gewählt. Hierbei kamen der Douglas-Sack und die Metabolic Carts zum Einsatz. Metabolic Carts sind größere Analysesysteme im Labor. Mit ihnen ist eine Feldmessung nicht möglich. Sie können unterschiedlich aufgebaut sein, z.B. wird die Ventilation über ein separates Gerät gemessen. Es können Mischkammern oder Breath-By-Breath Systeme verarbeitet sein. Die Systeme werden in der Regel auf einem Rollwagen positioniert, sodass eine Teilmobilität gegeben ist. Daher leitet sich der Name Cart (= Wagen) ab. Da eine deutsche Übersetzung als weniger verständnisvoll erscheint, wird weiterhin der Begriff Metabolic Cart verwendet. Macfarlane (2001) beschreibt, dass früher der Douglas-Sack als Instrument zur Überprüfung der Kriteriumsvalidität als Goldstandard herangezogen wurde. Im Verlauf der Zeit und mit dem Fortschritt der Technik werden vermehrt die Metabolic Carts für die Kriteriumsprüfungen verwendet. Welches System das bessere darstellt, mag hier nicht beurteilt werden.

Aus der Übersicht, Anhang A und B, kann entnommen werden, dass die Atemarbeitsmessung der K4 b² im Vergleich zu jeglichen anderen Messsystemen sehr robust ist und eine sehr gute Validität repräsentiert.

Bei den Atemgasparametern VO₂ und VCO₂ bzw. der Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidkonzentration (FeO₂ und FeCO₂) ist die Forschung weniger eindeutig. Allgemein kann festgehalten werden, dass sich die Absolutwerte der dargestellten Untersuchungen unterschiedlicher Messsysteme ähneln. Sofern Korrelationsanalysen durchgeführt wurden, ergaben diese ein gutes bis sehr gutes Ergebnis. Es konnten jedoch auch signifikante Unterschiede in den Einzelergebnissen aufgezeigt werden. Vermehrt vor allem bei den Untersuchungen mit den Metabolic Carts. Hinzu ist nicht deutlich zu erkennen, ob eine Tendenz der Werte zur Über- oder Unterschätzung

vorliegt. Lediglich der VO_2 könnte einer leichten Tendenz zur Überschätzung zugesprochen werden. Die Untersuchungen widersprechen sich jeweils, sowie Einzelergebnisse innerhalb der Studien, z.B. bei verschiedenen Wattstufen. Die Forschungen decken insgesamt ein breites Spektrum von Aktivitäten und Intensitäten ab. Dies ist auf der einen Seite positiv zu bewerten, auf der anderen Seite erschweren die methodischen Unterschiede die Vergleichbarkeit.

Ein weiteres methodisches Problem ist der unterschiedliche Einsatz der Metabolic Carts. Verschiedene Analysesysteme wurden zur Überprüfung verwendet, welche die Unterschiede in den Daten erklären könnten. Werden Metabolic Carts als Goldstandard zur Kriteriumsprüfung angenommen, kann es empfehlenswert sein, die Daten der K4 b² mit ermittelten Korrekturfaktoren zu bearbeiten (Duffield et al., 2004; Mc Naughton, Sherman, Roberts & Bentley, 2005; Pinnington et al., 2001). Nach Littlewood et al. (2002) ist das Gerät für eine Ruheumsatzbestimmung nicht geeignet. Wenige Untersuchungen fordern eine individuelle Ausbelastung. Daher erfolgt oft die Schlussfolgerung, dass das Gerät für eine moderate bis submaximale Belastung geeignet ist. Für maximale Belastungen ist die Aussage umstritten (vgl. Doyon, Perrey, Abe & Hughson, 2001; Mc Naughton et al., 2005; Ross, Fudge, Gibson, Ojiambo & Pitsiladis, 2011). Auch hier ist ein Schluss durch die unterschiedlichen methodischen Vorgehensweisen nicht möglich.

Zusammengefasst stellt das Messsystem K4 b² von Cosmed ein sehr reliables Messsystem dar. Die Messung der Atemarbeit kann als sehr valide angenommen werden. Eine ausreichende Validität ist für die Atemgasparameter anzunehmen. Nicht immer konnte das Messsystem für unterschiedliche Belastungen und Intensitäten identische Werte eruieren. Auf der anderen Seite erschweren der unterschiedliche Einsatz von Messinstrumenten zur Kriteriumsprüfung sowie das methodische Design der Forschungen die Vergleichbarkeit.

Herzfrequenzmessung

Zur Herzfrequenzbestimmung wurde die Multisportuhr Forerunner® 920XT von Garmin eingesetzt. Hinzu wurde zur Erfassung und Übertragung der Herzfrequenzgurt HRM Run von Garmin genutzt. Der Gurt wurde wie nach Anleitung um den Brustkorb angelegt. Die Uhr wurde an das Tragesystem der Spirometrie getapt. Somit konnte das Tragen am Handgelenk umgangen werden, um Verletzungen zu vermeiden und die Uhr in ihrer Funktion zu schützen. Die Reichweite des Systems beträgt drei Meter zueinander. Die Aufnahme der HF erfolgte sekundengenau (Garmin, 2015, S. 9, 18).

Bestimmung der Blutlaktatkonzentration

Die Abnahme von Blutproben zur Bestimmung der Blutlaktatkonzentration erfolgte nach der Richtlinie der World Health Organization (WHO) (2010). Hierbei wurden sterile Einmalstechlanzetten (Accu-Chek Safe-T-Pro Uno, Fa. Roche Diagnostik), 5 µl Kapillaren und Glucocapil vordosierte Reaktionsgefäße (Fa. Dr. Müller Gerätebau GmbH) verwendet. Die Abnahme erfolgte am hyperämisierten Ohrläppchen. Die

Werte wurden über das Analysegerät Super GL für Blutlaktat- und Blutglukosekonzentration (Fa. Dr. Müller Gerätebau GmbH) ausgelesen.

Subjektive Beurteilung nach Borg

In den Ausbelastungstests waren die Sportler aufgefordert, ihr subjektives Empfinden in der Belastung nach der CR-10-Scale von Borg zu beurteilen. Borg wirbt in seiner Schrift für Ausbelastungstest eher für seine CR-20-Scale. Dennoch verweist er darauf, dass auch seine CR-10-Scale für allgemeine Auslastungen anwendbar ist. Aus Gründen der Praktikabilität und dem einfacheren Verständnis für die Probanden wurde sich für die CR-10-Scale entschieden (Borg, 1998). Die Untersuchung von Borg, Ljunggren & Ceci, (1985) verweist auf die praktische Anwendung der CR-10-Scale und auf valide Ergebnisse.

Subjektive Beurteilung nach Forster

Foster et al. (2001) modifizieren die CR-10-Scale von Borg und beziehen diese auf die Beurteilung eines Trainings. Sie benennen das Rating als session-RPE, wobei ebenfalls die Skala von 1-10 Anwendung findet. Hierbei wird angegeben, dass die Befragung möglichst 30 Minuten nach dem Training erfolgen soll. Wird unmittelbar nach dem Training die subjektive Belastung erfragt, wird ein Einfluss der letzten Übung vermutet. Ist die Zeit etwas vergangen, ist das Training distanzierter und soll in seinem Gesamtumfang beurteilt werden.

Qualitative Erhebung

Nach jeder Messung wurde die subjektive Meinung der Probanden über den Messablauf und die Messungsdurchführung eingeholt. Hierbei kam es zu keinem standardisierten Vorgehen.

Standardisierung der Abläufe

Für die Erwärmung des KSTs, für den Ablauf des KSTs und für den Ablauf des Trainings wurden Tonsignale eingesetzt. Hierbei fand die Programmierung und die Wiedergabe der Tonabfolge über ein Smartphone mit der App Impetus Intervall Trainer statt. Den Start- und Stoppsignalen wurde zur Differenzierung eine unterschiedliche Intonation zugewiesen. Das Smartphone wurde mit einem Verstärker verbunden. Ein deutlich hörbarer und standardisierter Ablauf konnte bewerkstelligt werden.

4.4 Forschungsdesign und Durchführung

Bei der Untersuchung handelte es sich um eine trainingsbegleitende diagnostische Maßnahme des Instituts für Sportmedizin & Prävention Leipzig, die nur mit dem Einverständnis der Kooperationspartner und dem schriftlichen Einverständnis der Probanden durchgeführt wurde, Anhang C und D.

Das Design war auf drei aufeinanderfolgende Tage konzipiert. Hierbei wurden in den ersten zwei Testtagen die Ausbelastungstests (spezifischer und unspezifischer Test)

absolviert. Die Durchführung erfolgte teilrandomisiert. Entsprechend der Probandenanzahl wurden die Tests in ihrer Abfolge gleichmäßig verteilt. Am dritten Testtag fand die Trainingssimulation statt. Das Training wurde in dem Design mit den anderen Tests aufgrund einer physischen Vorbelastung nicht randomisiert. Es wurde vermutet, dass die Maximalwerte aufgrund der Ermüdung einer vorangegangenen Trainingssimulation geringer ausfallen könnten. Da die Ausbelastungstests kürzere Belastungszeiten aufweisen, wurde der Einfluss geringer eingeschätzt. Die Messungen erfolgten in den jeweiligen Trainingsstätten der Sportler. Entsprechend ist die Untersuchung einer Feldmessung zuzuordnen. In der Regel fanden die Messungen über ein Wochenende, Freitag bis Sonntag, statt. Das Design ist zusammenfassend in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tab. 6. Forschungsdesign

Forschungsdesign		
Tag 1	Tag 2	Tag 3
Maximaltest: Karate Spezifischer Test (KST)	Maximaltest: Fahrradergometrie	Standardisierte Trainingsmessung
Randomisiert und gleichmäßig im Kollektiv verteilt		Fix an Tag 3

Die Probanden wurden vom Untersuchungsleiter angehalten, vor dem ersten Mess-tag keinen Sport zu absolvieren und auch während des Untersuchungszeitraumes keinen zusätzlichen Sport durchzuführen. Weiterhin sollten sie sich nach ihrem alltäglichen Lebensstil ernähren, jedoch einen Tag vor und während der Messungen keinen Alkohol und kein Koffein zu sich nehmen. Zwei Stunden vor der Messung sollte die letzte leicht verdauliche Mahlzeit zu sich genommen werden.

Bei jeder Messung wurden die VO_2 mit mobiler Spirometrie, die HF mit einem Herzfrequenzmessgurt mit Uhr und die subjektive Befindlichkeit erfasst. Eine Blutabnahme zur Bestimmung der Blutlaktatkonzentration erfolgte nur in den Ausbelastungstests zur Bestimmung des Ruhe- und Maximalwertes.

Karate spezifischer Test – KST

Der KST ist einer von Tabben et al. (2014b) weiterentwickelter kumitespezifischer Test. Er ist entsprechend einem Yo-Yo-Test oder Shuttle-Run-Test aufgebaut. Bei einem akustischen Signal ist der Sportler aufgefordert, eine Technikkombination gegen einen Sandsack in 1,5 Metern Entfernung durchzuführen. Hierfür bleiben ihm 3 Sekunden. Das Ende der Zeit wird durch ein erneutes Signal gekennzeichnet. Die auszuführenden Aktionen sind durch Pausen getrennt. Es sind unterschiedliche Belastungslevel angegeben. Mit jedem Level erhöht sich die Durchlaufanzahl der Aktionen und gleichzeitig reduziert sich die Pausenzeit. Eine progressive Steigerung der Belastung wird provoziert. Abbildung 18 verdeutlicht die Belastungsstruktur.

Level	Activity (s)	Active Rest (s)	Number of Repetition	Exercise Total (s)	Cumulative Duration (s)
1	3	42	2	90	90
2	3	27	3	90	180
3	3	20	4	92	272
4	3	15	5	90	362
5	3	12	6	90	452
6	3	10	7	91	543
7	3	8	8	88	631
8	3	5	11	88	719
9	3	3	15	90	809
10	3	2	18	90	899

Abb. 18. KST Testprotokoll, Tabben et al., 2014b

Die aktive Phase ist in zwei Angriffsaktionen untergliedert. In der ersten Aktion soll eine Schlagkombination ausgeführt werden. Hierbei schlägt zuerst der vordere Arm und dann der hintere Arm. In der zweiten Aktion soll ein Tritt mit dem hinteren Bein durchgeführt werden. Konkretere Technikangaben werden nicht vollzogen. Es soll immer die gleiche Kampfauslage beibehalten werden. Für beide Angriffsaktionen gilt das Zeitfenster von 3 Sekunden. Der Test gilt als ausbelastet, wenn der Sportler in zwei aufeinanderfolgenden Aktionen das Zeitfenster nicht mehr einhalten kann und/oder wenn die Schlag- und Trittkraft deutlich abnimmt. Dies wird subjektiv vom erfahrenen Testleiter beurteilt.

Der Test wurde in seiner Ausführung zu Teilen modifiziert. Anstelle eines Sandsacks wurden Pratzen eingesetzt. Handpratzen stellen typische Trainingsmittel für das Karate-Kumite dar und sind überall einsetzbar. Einen Unterschied in der Schlagkraft der Athleten bei der Gegenüberstellung von einem Sandsack zu Handpratzen wurde nicht vermutet. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Probanden zu erhöhen, wurde die Schlag- und Trittaktion fest definiert. Die Sportler waren aufgefordert Kizami-Gyaku-Zuki mit Doppelstep zu schlagen (Schlagkombination: erst vorderer, dann hinterer Arm). Nach der zweiten Fausttechnik, Gyaku-Zuki, sollten die Sportler entsprechend der Rückzugbewegung kurz nach hinten steppen, um unmittelbar im Anschluss einen Mawashi-Geri Chudan mit dem hinteren Bein auszuführen (Halbkreisfußtritt zum Körper). Um den ganzen Körper gleichmäßig zu belasten, fand nach jeder Aktion ein Auslagenwechsel statt. Das Ausbelastungskriterium von einer zweimaligen Ausführung außerhalb des Zeitfensters wurde erweiternd definiert. Der Fuß vom tretenden Bein musste binnen der 3 Sekunden wieder Kontakt zum Boden haben. Ein exemplarischer Testaufbau ist der Abbildung 19 zu entnehmen.



Abb. 19. KST Testaufbau, modifiziert nach, Tabben et al., 2014b

Im Vorfeld des KSTs fand eine standardisierte Erwärmung von 10 Minuten statt, Anhang G. Diese wurde ebenfalls mit akustischen Tonsignalen gesteuert. So konnte sichergestellt werden, dass jeder Proband eine identische Aufwärmphase absolvierte. Anschließend wurde die Schutzausrüstung angelegt. Hierbei kam es zu einer Kompromisslösung. Um der Wettkampfbedingung der WKF zu entsprechen wurden Faust-, Fuß- und Schienbeinschutz angelegt. Bezüglich des Tragens der mobilen Spirometrie wurde auf das Tragen des Anzugoberteils, des Gürtels, der Schutzweste und des Mundschutzes verzichtet. Die Probanden waren aufgefordert am Oberkörper ein Sportshirt zu tragen. Somit konnte die Funktionalität der Messung und ein angemessener Komfort für die Athleten gewährleistet werden. Nach dem Anlegen der Schutzausrüstung wurde ein Probedurchlauf ausgeführt. Weiter wurde die Spirometrie und die Herzfrequenzmessung am Probanden befestigt und der Test gestartet. Der Untersuchungsleiter, 3. Dan und Wettkampferfahrung, hielt die Pratzen und führte durch den Testablauf.

Fahrradergometrie

Die Fahrradergometrie ist bei Labormessungen das standardisierteste Messinstrument von höchster Güte. Hinzu wird die sporttechnische Anforderung als sehr gering eingeschätzt. Demnach wurde die Fahrradergometrie zur Verifizierung der Ergebnisse aus dem KST und zur Verifizierung der Studie von Tabben et al. (2014b) gewählt. Des Weiteren konnte das Fahrrad als mobiles Gerät für die Feldmessung zum Einsatz kommen.

Bei der Untersuchung wurde ein Rampentest angewandt. Nach einer Erwärmung von 10 Minuten bei 60 Watt fand eine Steigerung von 30 Watt/Minute statt. Der Test wurde bis zur Ausbelastung durchgeführt. Das Protokoll ist in Tabelle 7 bis zur 17ten Minute dargestellt.

Tab. 7. Rampenprotokoll Fahrradergometrie, 10min Erwärmung bei 60 Watt, dann Steigerung 30 Watt/Minute

Minute	(10)	1	2	3	4	5	6	7	8
Watt	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Minute	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Watt	330	360	390	420	450	480	510	540	570

Die Art des Tests und die Parameter wurden anhand von Untersuchungen festgesetzt. Es wurde eruiert, dass bei einem Rampentest eine höhere VO_2max erreicht wird als bei einem Stufenprotokoll (Czuba et al., 2010). Hinzu verweisen vielfältige Untersuchungen mit der Fahrradergometrie darauf, dass die maximale VO_2 innerhalb einer Belastungszeit von 8-12 Minuten am größten ist. Geringere oder längere Belastungszeiten zeigen mindere Maximalwerte (Buchfuhrer et al., 1983 ; Kroidl et al., 2010 ; Thoden, 1991 ; Yoon et al., 2007). Für die vorliegende Untersuchungsgruppe wurde ein maximaler und realistischer Wattbereich von 300-400 Watt geschätzt. Entsprechend wurde das Protokoll so konzipiert, dass binnen der Belastungsminuten 8 und 12 der angegebene Wattbereich abgedeckt wird (vgl. Tabelle 2). Die Probanden sollten eine Trittfrequenz von 90 U/min einnehmen und um ± 5 Umdrehungen halten. Haber (2009, S.5) beschreibt die Empfehlung einer höheren Frequenz mit 80 U/min anstelle von 50-60 U/min. Zweitgenanntes wird in der Regel oft mit der Begründung des optimalen Wirkungsgrades durchgeführt. Dabei liegen die Frequenzen bei Profi-Radsportlern zwischen 90 und 120 U/min. Der Vorteil der höheren Frequenz ist, dass die Leistung mehr durch den Kreislauf und den Stoffwechsel limitiert ist. Eine niedrigere Umdrehungszahl würde demnach eher nur die lokale Muskulatur zur Auslastung bringen. Auch Stegemann (1991, S. 289 f.) erläutert die höheren Trittfrequenzen bei Profiradsportlern. Die Ursache wird in dem Kraftempfinden benannt. Bei gleicher Leistung, Produkt aus Kraft und Geschwindigkeit, wird bei einem größeren Krafteinsatz bei geringerer Ausführungsgeschwindigkeit (geringere U/min) die Bewegung anstrengender empfunden als andersherum. Gemäß der Erläuterungen war der Einsatz der Trittfrequenz von 90 U/min vertretbar und zielführend.

Ausbelastungskriterien

Eine maximale Ausbelastung der Probanden wird angenommen, wenn die subjektive Befindlichkeit in der Endbelastung mit mindestens 9 bewertet wurde, die Laktatwerte über 8 mmol/l nach Testende aufwiesen und der RQ einen Wert von 1,1 überstieg. Zusätzlich konnte ein VO_2 -Plateau als Kriterium herangezogen werden. Die Kriterien wurden in Anlehnung an Midgley, McNaughton, Polman & Marchant (2007) bestimmt. Sie kritisieren bei den Ausbelastungsverfahren, dass diese in Bezug zur Testart, zum Testprotokoll und zur Eigenschaft der Testperson nicht unabhängig sind. Es liegt kein etablierter Standard vor. Demnach wird in der vorliegenden Untersuchung durch den Einsatz von zwei Ausbelastungsverfahren der statistische Unterschied als Verifizierung mit herangezogen.

Trainingsmessung

Das standardisierte Training umfasste eine Zeitstunde. Dies ist an die Bereitschaft der Probanden gekoppelt, sich eine Stunde standardisiert zu bewegen. Die Zeit wird als tolerabel angesehen, da diese annähernd der Dauer eines Stufenbelastungstests von ca. 45 Minuten gleichkommt.

Das Training wurde lediglich mit zwei Sportlern durchgeführt. Ein Athlet trug die Messsysteme, der andere Athlet agierte als Trainingspartner. Das gesamte Training wurde akustisch mit Tonsignalen gesteuert. Jeder Ton gab das Zeichen für eine Kampfaction oder für einen zeitlichen Bereich, in der eine Aktion ausgeführt werden sollte. Somit konnte eine identische Trainingseinheit mit verschiedenen Sportlern durchgeführt werden.

Die Trainingsausführung richtete sich nach dem Regelwerk und den Ausführungsformen der WKF.

Für die Gestaltung des Trainings wurden Landes- und Bundestrainer der Bundesrepublik Deutschland für eine qualitative Erhebung herangezogen. Sie gehören dem Deutschen Karate Verband e.V. an, welcher Mitglied in der WKF ist und die gleichen Ausrichtungen der WKF vertritt. Die Trainer wurden nach spezifischen Übungsformen zur Erwärmung, Dehnung, Karate-Kumite Übungen und Belastungsformen einer für sie klassischen Karate-Kumite Trainingseinheit befragt. Hierfür konnten drei Bundestrainer und zwei Landestrainer gewonnen werden. Ihre Angaben sind anonymisiert in Anhang H dargestellt.

Aus ihren Angaben und der technischen Gegebenheit der Spirometrie wurde ein standardisiertes Training konzipiert. Hierbei unterteilt sich das Training in zwei große Hauptbereiche: Erwärmung und Hauptteil, Abbildung 20. In der Erwärmung kommen Elemente der allgemeinen und der spezifischen Erwärmung vor. Hinzu sind auch koordinative Aufgaben integriert. Im Erwärmungsteil wurde keine Schutzausrüstung getragen. Erst im Hauptteil wurden die gleichen Schützer wie beim KST angelegt. Die Begründung ist evident. Dem Trainingspartner wurden im Vorfeld Technikverbote mitgeteilt, um den Probanden und die Technik zu schützen. Dazu zählten, keine Fußtritte zum Rücken, keine Feger, keine Würfe, keine geraden Fausttechniken zum Kopf und keine geraden Tritte zum Kopf. Dem Probanden wurde lediglich die Restriktion auferlegt keinen Wurf und keine gedrehten Fußtechniken durchzuführen. Ansonsten war er frei in seiner Technikauswahl und Durchführung.

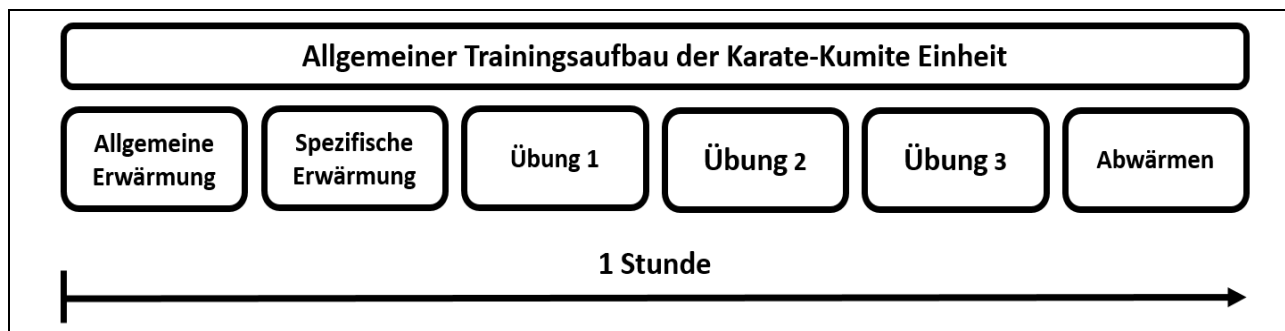


Abb. 20. Allgemeiner Trainingsaufbau der Karate-Kumite Trainingseinheit

Der Hauptteil beinhaltet drei verschiedene Übungsformen. Von ihrer Intention sind sie wie folgt geprägt: Übung 1 (Ü1) – technisch, Übung 2 (Ü2) – taktisch, Übung 3 (Ü3) – konditionell. Die Übungsformen wurden mit unterschiedlichen typischen Belastungsformen durchgeführt. Hierbei konnte die qualitative Analyse hervorbringen, dass alternierende Abläufe zwischen den Partnern, 1-1 im Wechsel (1-1W), oder nacheinander zu absolvierende Abläufe zwischen den Partnern, 1 Minute der eine Partner – 1 Minute der andere Partner (1minP), klassische Trainingsformen darstellen. Ü1 und Ü2 sind von den Belastungsformen identisch aufgebaut. Die Übungen starteten mit der Belastungsstruktur 1minP. Nach einer Pause wurde die gleiche Übung erneut durchgeführt, jedoch mit der Belastungsform 1-1W. In beiden Belastungsformen war eine 15 sekündige Pause integriert. Insgesamt war die Anzahl an Aktionen und die Dauer der Belastung zwischen den unterschiedlichen Belastungsformen identisch. Ü3 wurde mit Pratzen durchgeführt. Die Wahl der Pratzenübung wurde zugunsten des klassischen Trainingsmittels im Karate-Kumite gewählt. Hinzu ist die Arbeit mit den Pratzen gut mit den technischen Gegebenheiten der Spirometrie umzusetzen. Ü3 startete mit der identischen ersten Belastungsform von 1minP wie bei Ü1 und Ü2. Da die Pratzen und Schützer nicht unmittelbar in der Übungszeit gewechselt werden können, fiel die Belastungsform 1-1W heraus. Die zweite Belastungsform innerhalb der Ü3 ergab sich ebenfalls aus der qualitativen Erhebung und stellte eine Wettkampfsimulation dar. Hierbei wurde der Pratzenkampf über eine identische Nettowettkampfzeit für Männer von 3 Minuten durchgeführt. Des Weiteren veränderte sich die Aktionsfrequenz. Der Sportler war aufgefordert 20 Sekunden kontinuierlich gegen die Pratze zu agieren. Anschließend erfolgte eine passive Regenerationszeit von 10 Sekunden. Diese Abfolge wurde sechs Mal binnen der 3 Minuten wiederholt (3minP). Die karatespezifischen Beschreibungen der Übungen, ihre Eingliederung und ihre Belastungsformen sind zur Übersicht in Tabelle 8 dargestellt.

Tab. 8. Detaillierter Trainingsablauf; Farben: grün = allgemeine Erwärmung, orange = spezifische Erwärmung, blau = Hauptteil, lila = Schluss, hellblau = Pausen

Übung	Zeitaufteilung in sec/min	Gesamtzeit je Übung in sec/min	Übungsbeschreibung	Tonsignalsteuerung
Einlaufen		02:00		
		00:15		
Laufschule	6x00:30	03:00	Kniehebelauf, Anfersen, Ranstellschritte li und re, Scherenlauf li und re	30sec Zeitfenster je Übung
		00:15		
Stabilitäts-Übungen	4x01:00; 00:15 Pause	05:00	Liegestützstand und abwechselnd Hand zur Hüfte ziehen, Einbeinstand mit Augen zu, Bankposition mit Knie leicht vom Boden abgehoben: vorw. + rückw. Laufen (8x), Mini Ausfallschritte: Beine 90° und Knie in der Luft - vor und zurück mit diagonalen Armen (6x)	1min Zeitfenster je Übung
		-->		
Dynamisches Dehnen	10x00:30	05:00 (15:30/60)	2x Armkreisen vorw./rückw., dann 2x nach hinten die Arme Aufschwingen, Schulterdehnung und Arm seitlich über den Kopf ziehen alternierend li und re, Knieschwingen nach innen, Knieschwingen nach außen, Beinschwingen nach innen, Beinschwingen nach außen, Ausfallschritt und aufdrehen, in Schiko Dachi beugen (Adduktoren), dynamische ischio-crurale Dehnung, Wadenwechsel dynamisch	30sec Zeitfenster je Übung
		00:30	Übung erläutern	
Koordi Übung 1	2x01:00	02:00	ein Partner öffnet Hände auf unterschiedlichen Höhen, andere reagiert und schlägt Fausttechniken, Auslage frei	1min Zeitfenster je Partner als aktiver Part
		00:30	Übung erläutern	
Koordi Übung 2	2x01:00	02:00	ein Partner öffnet Hände etwas mehr als Schulterbreit auf Chudanhöhe vor dem Körper, andere Partner reagiert darauf mit Tritttechniken mit dem vorderen oder hinteren Bein, Auslage frei	1min Zeitfenster je Partner als aktiver Part
		00:15		
Spiegelschlagen	30x00:08	04:00	jew. 3 li und re: Kizami, Uraken, Faustkombi nach Wahl, Mawashi hinteres Bein, Faust-Fuß Kombi nach Wahl	Aktion auf Tonsignal
		03:00 (27:45/60)	Schützer anziehen	
	00:30		Übung erläutern	

Übung	Zeitaufteilung in sec/min.	Gesamtzeit je Übung in sec/min	Übungsbeschreibung	Tonsignalsteuerung
<u>Übung 1</u> Uraken Gyaku-Zuki Doppelstep spiegelbildlich	6x00:10	01:00	1minP – freie Auslage, freies Bewegen, Zeitfenster	10sec Zeitfenster
		00:15		
	6x00:10	01:00	1minP – anderer Partner	10sec Zeitfenster
		02:00		
	6x00:10	01:00	beide Partner 1-1 im Wechsel	10sec Zeitfenster
		00:15		
	6x00:10	01:00	beide Partner 1-1 im Wechsel	10sec Zeitfenster
		02:00 (36:45/60)	Pause und neue Übung erläutern	
<u>Übung2</u> Direkter Konter Gyaku-Zuki, Mae-Mawashi-Geri oder Mae-Uramawashi-Geri	6x00:10	01:00	1minP – freie Auslage, freies Bewegen, Zeitfenster	10sec Zeitfenster
		00:15		
	6x00:10	01:00	1minP – anderer Partner	10sec Zeitfenster
		02:00		
	6x00:10	01:00	beide Partner 1-1 im Wechsel	10sec Zeitfenster
		00:15		
	6x00:10	01:00	beide Partner 1-1 im Wechsel	10sec Zeitfenster
		02:00 (45:15/60)	Pause und neue Übung erläutern	
<u>Übung 3</u> Pratzenkampf	6x00:10	01:00	1minP – freie Auslage, freies Bewegen, Zeitfenster	10sec Zeitfenster
		00:15	Pratzenwechsel	
	6x00:10	01:00	1minP – anderer Partner	10sec Zeitfenster
		02:00	Pause, Pratzenwechsel und Übung erläutern	
	6x20:10	03:00	3minP – freie Auslage, freies Bewegen, Zeitfenster	20sec Zeitfenster aktiver Part, 10sec Zeitfenster passiver Part
		00:30	Pratzenwechsel	
	6x20:10	03:00	3minP – anderer Partner	20sec Zeitfenster aktiver Part, 10sec Zeitfenster passiver Part
Schützer ab		02:00 (58:00/60)	Pause und Schützer ab	
Auslaufen		02:00 (60/60)		2min Zeitfenster

Ausgenommen der zuletzt beschriebenen Pratzenübung über 3 Minuten, galt für alle Übungen im Hauptteil ab dem Signalton ein Zeitfenster von 10 Sekunden, um die geforderte Technik oder Aktion zu vollführen. Hinzu war die Kampfauslage für alle Übungen frei wählbar. Hintergrund dieser Vorgaben ist die typische Anforderung im Kumite-Kampf. Die Distanz zum Partner muss sich vorerst erarbeitet werden. Bewegungen und Reaktionen sind immer frei, unvorhergesehen und unabhängig von der Auslage. Würde die Vorgabe über das Tonsignal erfolgen, würde die Spezifität durch die Interaktion mit dem Gegner verloren gehen. In Ü1 wurde eine spiegelbildliche Auslage vorgegeben, jedoch nicht die Kampfauslage. Demnach musste auch hier eine Anpassung an die Gegebenheiten erfolgen. Entsprechend der Probandenauswahl und der Qualität der Sportler war zu erwarten, dass diese Form der Übungsausführung kein Problem darstellt.

Nach jeder Belastungsform der drei Hauptübungen wurde eine 2 minütige Pause durchgeführt. Hierbei sollte die Nachatmung der VO_2 mit erfasst werden, um das O_2 -Defizit auszugleichen, damit im Ansatz der Gesamtverbrauch je Übung bestimmt werden konnte. Die Nachatmung der Hauptbelastung sollte in der Pause erfolgen. Demnach agierte der Studienteilnehmer immer als zweites in der Belastungsform. Die Wahl auf 2 Minuten erfolgte durch eine vertretbare spezifische Trainingspause und der physiologischen Halbwertszeit der Resynthese von Kreatinphosphat von ca. 0,5 Minuten (Marées et al., 2003, S. 377 ; McCully et al., 1992).

Durch die singuläre Trainingsmessung war es möglich die Übungen 1-3 für jeden Probanden zu randomisieren. Somit konnten Ermüdungseffekte durch das Training diagnostiziert oder ausgeschlossen werden. Es erfolgte eine Teilrandomisierung. Der Übungsablauf wurde entsprechend der Probandenanzahl gleichmäßig zugewiesen. Gleiches wurde auch im Erwärmungsteil mit den koordinativen Aufgaben durchgeführt. Tabelle 9 verdeutlicht die Verteilung und Vorgehensweise.

Tab. 9. Koordinierte Randomisierung der Ausbelastungstests und der Übungsabfolgen im Training

Probanden	Ausbelastungstests		Training	Koordination
	Tag 1	Tag 2		
1	Rad	KST	2_3_1	Arm_Bein
2	Rad	KST	3_2_1	Bein_Arm
3	KST	Rad	1_3_2	Arm_Bein
4	Rad	KST	2_1_3	Bein_Arm
5	KST	Rad	3_1_2	Arm_Bein
6	KST	Rad	1_2_3	Bein_Arm
7	KST	Rad	3_1_2	Arm_Bein
8	Rad	KST	2_1_3	Bein_Arm
9	KST	Rad	1_2_3	Arm_Bein

Zusammenfassend absolvierten alle teilnehmenden Athleten ein identisches Training mit nahezu der gleichen Anzahl an Kampfkationen. Eine kleine Abweichung an Kampfkationen resultierte aus den freien Aktionen der koordinativen Aufgaben und der 3 minütigen Belastungsform bei Ü3.

Messungsdurchführung

Vor jeder Messung wurde das entsprechende Messsetup vorbereitet. Darin enthalten war die Warmlaufphase der Spirometrie von mindestens 45 Minuten. Zur Überprüfung des physiologischen Ist-Zustandes wurden vor jeder körperlichen Belastung der Blutdruck und die HF gemessen. Der Puls wurde an der A. radialis taktil nach Janssen & Weineck (2003, S. 59) bestimmt. Die Messung fand immer an der linken Seite statt. Anschließend erfolgte die Anamnese nach Protokoll, Anhang E, und der Proband wurde über den Testablauf instruiert. Weiter erfolgte die Kalibrierung der Spirometrie nach Herstellervorgabe: Raumluft, Gas, Volumen, Verzögerung. Die Kalibrierung wurde im Akkubetrieb durchgeführt, um eine identische Stromspannung wie in den Messungen zu gewähren. Nach erfolgreicher Umsetzung wurden die Geräte angelegt und die Messung unmittelbar gestartet. Hierbei erfolgte die Eingabe der Probandendaten und der Luftfeuchtigkeit in das Gerät. Nach dem Ende der Messung wurde bei der Spirometrie das Referenzgas gegengemessen, um einen möglichen Shift der Sensoren zu eruieren. Alle Arbeitsschritte und Nutzungsüberprüfungen der Spirometrie wurden auf einem separaten Protokoll festgehalten, Anhang F. Zur Bestimmung der Blutlaktatkonzentration in den Ausbelastungstests wurde das Ruhelaktat und das Nachbelastungslaktat in Minute 1, 3 und 5 nach Belastungsabbruch erhoben. Die Proben wurden im Transport und bei der Lagerung kühl bei ca. 7°C aufbewahrt und am Folgetag der gesamten Untersuchung ausgelesen. Nach der Belastung fand eine erneute Messung des Blutdrucks und der HF nach oben beschriebener Methodik statt. Der Proband wurde erst nach annähernd ähnlichem Blutdruck, Systole $\pm 10\text{mmHg}$ und Diastole $\pm 5\text{mmHg}$, und mit einer HF von gleich oder unter 100 Schlägen nach Hause entlassen.

4.5 Datenbearbeitung

In den folgenden Kapiteln wird die Aufarbeitung der Rohdaten beschrieben, um den Arbeitsprozess besser nachvollziehen zu können.

In den Ausbelastungstests wurden die spirometrischen Rohdaten auf 10 Sekunden gemittelt. Anschließend erfolgte die Prüfung auf fehlende Mittelwerte im Zeitverlauf. Die Werte wurden im zeitlichen Kontext korrigiert.

In der Trainingsmessung wurden die spirometrischen Daten aufgrund der besseren Zuordnung der Werte zum Trainingsablauf auf 5 Sekunden gemittelt. Auch hier erfolgte eine Prüfung fehlender Werte zum zeitlichen Verlauf, welche in die korrekte zeitliche Abfolge korrigiert wurden. Eine Ausreißerprüfung wurde manuell in der Betrachtung der Rohdaten und der Kurvenverläufe durchgeführt. Hierbei wurden die Werte nach Plausibilität in der Kinematik in Bezug zu der Individualität des Probanden und der Belastungsformen beurteilt. Wurde ein Wert als fehlerhaft empfunden, ist er aus der Datenreihe entfernt und somit als Fehlwert behandelt worden. Ca. 8 Werte wurden im Mittel aus 732 Gesamtwerten aus jedem Trainingsverlauf eliminiert. Die Herzfrequenzdaten wurden je Sekunde aufgezeichnet. Sie unterliefen auch der individuellen Überprüfung nach Fehlwerten und Ausreißern. Es konnten keine

Auffälligkeiten in den Ausbelastungsverfahren und in der Trainingsmessung eruiert werden. Die Daten wurden ungefiltert verwendet.

In der finalen Datendarstellung sind die Werte erstmalig gerundet. Hierbei wurde die nachgehende Kommastelle der Enddarstellung betrachtet und bis 4 abgerundet und ab 5 aufgerundet.

4.6 Datenauswertung

In den Ausbelastungstests wurde die VO_2max aus den drei höchsten zusammenhängenden Werten innerhalb der Belastungszeit ermittelt. Hierbei konnte es vorkommen, dass im KST der Maximalwert schon vor der Abbruchleistung erreicht wurde. Der Mittelwert entspricht einem Zeitfenster von 30 Sekunden. Die HFmax wurde vom höchsten Mittelwert über zusammenhängende 5 Sekunden innerhalb der letzten Belastungsminute bestimmt. Das VEmax wurde über die höchsten 30 Sekunden in der letzten Belastungsminute ermittelt.

Für das gesamte Training und für die jeweiligen Übungsformen finden die Datendarstellungen absolut statt und die Beurteilungen der Intensitäten erfolgen relativ in Prozent anhand der ermittelten Maximalwerte. Dabei wurde der höchste ermittelte Wert herangezogen unabhängig davon, in welchem Ausbelastungstest dieser bestimmt wurde. Diese Grundlage wird dahingehend begründet, dass in dem Fall eines Nichterreichens eines Maximalparameters die Methodik diesbezüglich nicht zielbringend ausfiel. Da keine Längsschnittdaten der Probanden vorlagen, gelten die erhobenen Daten.

Die Trainingseinheit wurde in ihrer Gesamtheit durchschnittlich in den Parametern VO_2 , HF und VE bearbeitet. Hinzu erfolgte eine Darstellung der Belastungsverteilung der VO_2 und der HF. Die Bewertung der HF wird in Anlehnung an Edwards (2001) durchgeführt, wie es z.B. bei der Untersuchung von Milanez et al. (2012) vollzogen wurde. Hierbei wird die Belastungsintensität des Herzens in 10% Stufen beginnend bei 50% der maximalen Herzleistung betrachtet. Es sei darauf verwiesen, dass die dahinter stehende Zonen-Theorie von Edwards (2001, S. 64 ff.) nicht geteilt wird. Hinzu wurde die Einteilung um den Bereich 0-50% erweitert. Die Verteilung der Intensität anhand der VO_2 erfolgte ebenfalls in 10% Stufen zum Maximalwert beginnend ab dem Bereich 0-30%.

Weiterhin erfolgte die genaue Betrachtung des zweiten Trainingsabschnittes mit den sportartspezifischen Hauptübungen und ihren unterschiedlichen Belastungsformen. Hierbei wurden die durchschnittlichen und die maximalen Werte der jeweiligen Übung und Form erhoben. Bei der HF und dem VE bezieht sich der Mittelwert auf die reine Belastungszeit. Inkludiert ist die jeweilige intraserielle Pause von 15 bzw. 30 Sekunden. Der Peak beider Parameter ist der Höchstwert über 5 Sekunden in der Belastungsphase. Für die VO_2 wurde der VO_2 -Verlauf einer Übungs- bzw. Belastungsform berücksichtigt. Der Mittelwert aus 15 Sekunden vor der Übung stellte die VO_2 -Baseline dar. In der interseriellen Pause von 2 Minuten wurde die Nachatmung der VO_2 betrachtet, wann sie wieder die vorher ermittelte Baseline von $\pm 5\%$ Abweichung erreichte. Auch hier kam es zur Mittelung von 15 Sekunden. Nur die Werte

zwischen den Grundlinien wurden zur Bestimmung herangezogen. Hierbei kam es öfter vor, dass die VO_2 bereits vor dem Ende der 2 minütigen Pause ihr vorher bestimmtes Ruhepotenzial erreicht hatte. In der Pause von 3 Minuten, welche beide Hauptabschnitte des Trainings unterteilte, wurde die Baseline aus den letzten 15 Sekunden der 2. Minute verwendet, damit eine Evidenz zu den anderen Bestimmungen und zur Randomisierung der Übungen vorliegt. Ziel dieser Methodik war es, den Energieumsatz je Übung bzw. Belastungsform vollständiger und detaillierter zu bestimmen, als wenn lediglich die reine Belastungszeit oder die Belastungszeit mit vollständiger interserieller Pause bestimmt worden wäre. Hinzu wurde sich gegen die Ruhe-Baseline entschieden, weil diese nicht repräsentativ für einen angeregten Stoffwechsel in einer typischen Pause eines Trainings ausfiel. Der VO_2Peak wurde für jede Übung aus den zusammenhängenden höchsten 15 Sekunden in der Belastungszeit gebildet. Weitere Details beschreibt der nächste Abschnitt.

Zur Charakterisierung der höchsten Steady-State Bedingung von den Übungen und Belastungsformen wurde der Mittelwert über 15 Sekunden von der VO_2 und der HF innerhalb der Belastungszeit ermittelt. Diese musste nicht zwangsläufig zum Ende der Belastung erfolgen. Hinzu fand die Ermittlung der Steady-State Bedingung in der ersten und zweiten Belastungsphase der jeweiligen Übung statt. Insofern konnte ein Vergleich der physiologischen Auslenkung, z.B. in der passiven und aktiven Phase der Belastungsform 1minP, ermöglicht werden. Es wurde die Spannweite von 15 Sekunden gewählt, um einen Kompromiss zur Beurteilung eines Maximalwertes und einer Steady-State Bedingung herzustellen. In der Regel wird für die VO_2max Bestimmung ein Zeitfenster von 30 Sekunden herangezogen (Tabben et al., 2014b). Da die Belastungsphase für fast alle Übungen jedoch nur 1 Minute andauerte, erschien die Hälfte der Belastungszeit zur Bestimmung des Maximalwertes in der jeweiligen Phase zu hoch. Weiterhin wurde der VO_2 -Kinetik mehr Zeit eingeräumt, ansatzweise ein Steady-State zu erreichen. Die HF passt sich in der Regel schneller an, als die VO_2 . Entsprechend kann das Zeitfenster auch hier vertreten werden.

Der kalorische Aufwand wurde über das Produkt des kalorischen Äquivalents, der durchschnittlichen VO_2 und der Belastungszeit für die gesamte Einheit und für die Übungen mit ihren Belastungsformen und -zeiten bestimmt. Hierbei wurde gemäß der Literatur der RQ auf 1,0 festgelegt (Beneke et al., 2004 ; Doria et al., 2009), welches dem kalorischen Äquivalent von 21,131 kJ/l O_2 entspricht (Stegemann, 1991, S. 59). Anschließend erfolgte die Umrechnung in Kilokalorien in Form von 4,186 kcal pro kJ (Müller, Bosy-Westphal, Dilba, Bader & Korth, 2006).

Eine Darstellung von „Reserve-Werten“, HFR oder VO_2R , wurde in dieser Arbeit nicht durchgeführt. Da Cunha et al. (2011) beschreiben unterschiedliche und aufwendige Methoden zur exakten Bestimmung der Ruhewerte. Entsprechend hätte dies das Untersuchungsdesign weiter aufgebläht. Hinzu verwies Littlewood et al. (2002) darauf, dass die $K_4 b^2$ für eine Ruheumsatzmessung nicht geeignet ist.

Alle Kalkulationen wurden mit der Software Excel 2013 durchgeführt.

4.7 Statistische Auswertung

Die Beurteilung der Hypothesen erfolgte anhand der statistischen Prüfung der im Vorfeld bestimmten Mittelwerte.

Aufgrund der geringen Stichprobengröße von $N = 9$ kamen nichtparametrische Testverfahren zum Einsatz (Gelbrich, 2015 ; Löffler, 2015, S.53 ; Universität Zürich, 2017). Nichtsdestotrotz fand zur Übersicht eine Prüfung der Normalverteilung nach Shapiro Wilk statt. Einfache Vergleiche wurden mit dem Wilcoxon-Test überprüft. Mehrfachvergleiche mit dem Friedmann-Test. Allgemein wurde das Signifikanzniveau auf $p \leq 0,05$ festgesetzt. Bei der Mehrfachtestung wurde Post-Hoc die Bonferroni-Korrektur angewandt. Hierbei wurde das Signifikanzniveau gemäß der Anzahl der zu vergleichenden Parameter korrigiert. Dabei wird p durch die zu vergleichende Anzahl dividiert, z.B. $p = 0,05$, Anzahl Parameter = 3, $0,05/3 = 0,017$ (Gelbrich, 2015). Alle Prüfungen wurden exakt berechnet und über exakt-2-seitig geprüft, Anhang K ,L & M. Die Effektstärken, r_{ES} , der Ergebnisse wurde nach folgender Formel bestimmt, Abbildung 21 (Bühner & Ziegler, 2012 ; Universität Zürich, 2017).

$$r_{ES} = \left| \frac{Z}{\sqrt{N}} \right|$$

Abb. 21. Formel zur Bestimmung der Effektstärke, Z = Prüfgröße, N = Teilnehmeranzahl

Die Beurteilung der Größe des Effektes erfolgte anhand von:

$r_{ES} \leq 0,10$ entspricht einem schwachen Effekt

$r_{ES} \leq 0,25$ entspricht einem mittleren Effekt

$r_{ES} \leq 0,40$ entspricht einem starken Effekt

(Universität Zürich, 2017).

Für den Methodenvergleich der Ausbelastungsverfahren wurde zusätzlich für die HFmax, die VO₂max und die rVO₂max eine Korrelationsanalyse nach Spearman durchgeführt. Die Korrelationskoeffizienten wurden nach folgendem Maßstab bewertet:

$r \leq 0,1$	trivialer Zusammenhang
$0,1 > r \leq 0,3$	kleiner Zusammenhang
$0,3 > r \leq 0,5$	moderater Zusammenhang
$0,5 > r \leq 0,7$	großer Zusammenhang
$0,7 > r \leq 0,9$	sehr großer Zusammenhang
$0,9 > r \leq 1$	nahezu perfekter Zusammenhang

(Hopkins, 2006).

Zur weiteren methodischen Prüfung beider Testverfahren wurde für die VO₂max und die rVO₂max ein Bland-Altman-Diagramm erstellt (Bland & Altman, 1986).

Die statistische Prüfung wurde mit dem Programm IBM SPSS 20 durchgeführt.

5 Ergebnisse

Aufgrund eines Messausfalls der HF von 15 Minuten eines Probanden in der Trainingseinheit, fand dieser Datensatz nur Anwendung zur Auswertung bestimmter Übungen, Kapitel 5.3. In den Gesamtdarstellungen wurde der Datensatz außen vor gelassen und die Auswertung erfolgt mit $N = 8$ Teilnehmern. Alle weiteren Datensätze sind vollständig.

5.1 Ausbelastungstests

5.1.1 KST – Deskriptive Beschreibung

Abbildung 22 zeigt beispielhaft den Verlauf der VO_2 und der HF während der Ausführung des KSTs eines Probanden. Die Darstellungen des Untersuchungskollektivs weisen ähnliche Verläufe auf.

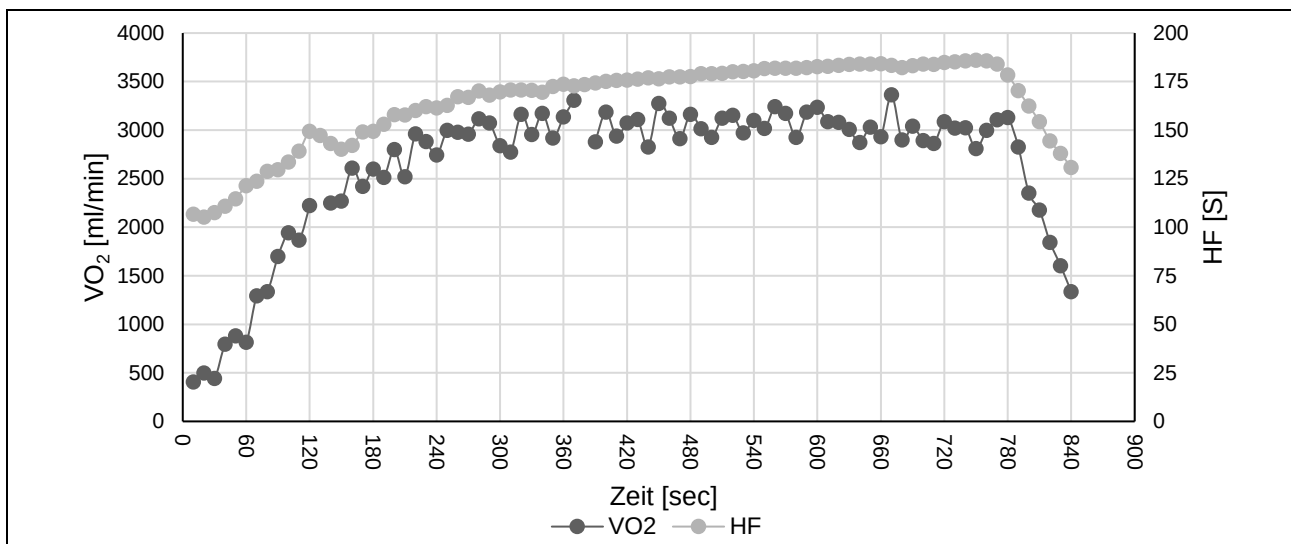


Abb. 22. Zeitlicher Verlauf der VO_2 und der HF von Proband 5 bei der Ausführung des KSTs, Werte 10 Sekunden gemittelt

Der HF ist eine Progression bis zur Ausbelastung zu entnehmen. Jedoch wird hier ersichtlich, dass der Anstieg nur sehr moderat ist und die Athleten sehr frühzeitig im Test mit einer sehr hohen HF agieren. Die VO_2 erreicht ebenfalls sehr früh im Test ein hohes Niveau und wird bis zur Ausbelastung nahezu konstant gehalten. In manchen Fällen gab es in der Endbelastung eine kleine Plateauverschiebung nach oben. Eine eindeutige Progression wie bei einer Fahrradergometrie konnte in keiner Messung eruiert werden.

5.1.2 Maximalparameter

Die beschriebenen Ausbelastungskriterien konnten von jedem Probanden in jedem Test erfüllt werden. Folgende Tabelle weist die erhobenen Leistungsparameter beider Testverfahren aus.

Tab. 10. Übersicht der erbrachten Leistungen in den Ausbelastungstests

Leistung		
Proband	Rad [Watt]	KST [Level/Runde]
1	360	10/18
2	330	10/18
3	300	10/17
4	240	09/07
5	330	08/09
6	360	10/12
7	360	10/16
8	300	09/01
9	270	10/01

Der Maximalleistung auf dem Rad kann entnommen werden, dass zwei von neun Probanden die anvisierte Mindestleistung von 300 Watt mit der entsprechenden Arbeitszeit nicht erreichen konnten. Beim KST konnten alle Sportler ein hohes bis sehr hohes Level erreichen. Zwei Sportler absolvierten den Test sogar vollständig (10/18) und bei zwei weiteren Sportlern fehlten lediglich 1-2 Wiederholungen bis zur gesamten Durchführung.

Tabelle 11 zeigt die physiologisch und subjektiv erhobenen Maximalparameter.

Tab. 11. Übersicht der Maximalparameter aus den Ausbelastungstests, MW und SD, * = sign. Unterschied

Parameter	Rad	KST	p
VO ₂ max [ml/min]	3154 ± 372,81	3155 ± 460,36	0,859
rVO ₂ max [ml/min*kg]	41,79 ± 5,97	41,72 ± 6,74	0,677
VE _{max} [l/min]	147 ± 31,64	143 ± 23,08	0,374
HF Ruhe [S/60sec]	68 ± 8,17	-	
HF _{max} [S/5sec]	186 ± 9,12	194 ± 9,07*	0,012
La max [mmol/l]	11,30 ± 1,75	8,95 ± 2,10*	0,015
Borg [1-10]	9,75 ± 0,71	9,78 ± 0,44	0,414

Für die HF_{max} und das maximale Laktat konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden, HF: $Z(N=9) = -2,521$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,84$; Laktat: $Z(N=9) = -2,431$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,81$, Anhang K. Hierbei wurde im KST durchschnittlich eine höhere HF erreicht als auf dem Rad. Beim maximalen Laktat gestaltet es sich andersherum. Auf dem Fahrrad wurden durchschnittlich höhere Werte erzielt. Bezüglich der VO₂max kann die jeweilige Ausbelastung durch zwei Testverfahren verifiziert werden.

In der Korrelationsanalyse zwischen Fahrradergometrie und dem KST konnte für die VO₂max ein sehr großer Zusammenhang mit einem signifikanten Ergebnis erzielt werden: $r = 0,717$, $p = 0,030$. Für die rVO₂max weist der Korrelationskoeffizient einen großen Zusammenhang aus und zeigt nur eine Tendenz zur Signifikanz: $r = 0,633$, $p = 0,067$. Für die Herzfrequenz konnte ein sehr großer signifikanter Zusammenhang bestimmt werden: $r = 0,723$, $p = 0,028$.

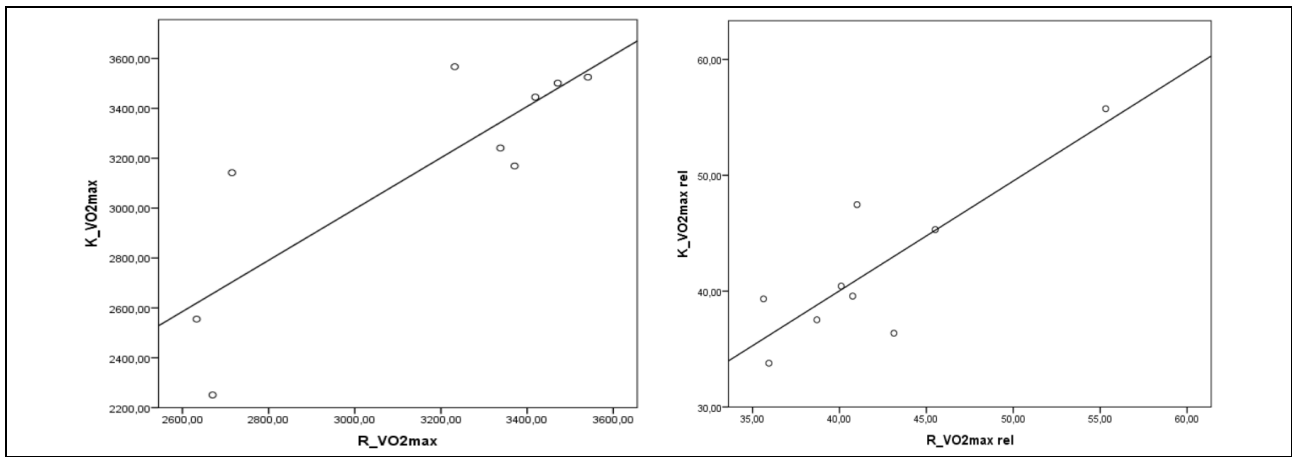


Abb. 23. Korrelationsanalyse zwischen der Fahrradergometrie und dem KST, links VO₂max, rechts rVO₂max

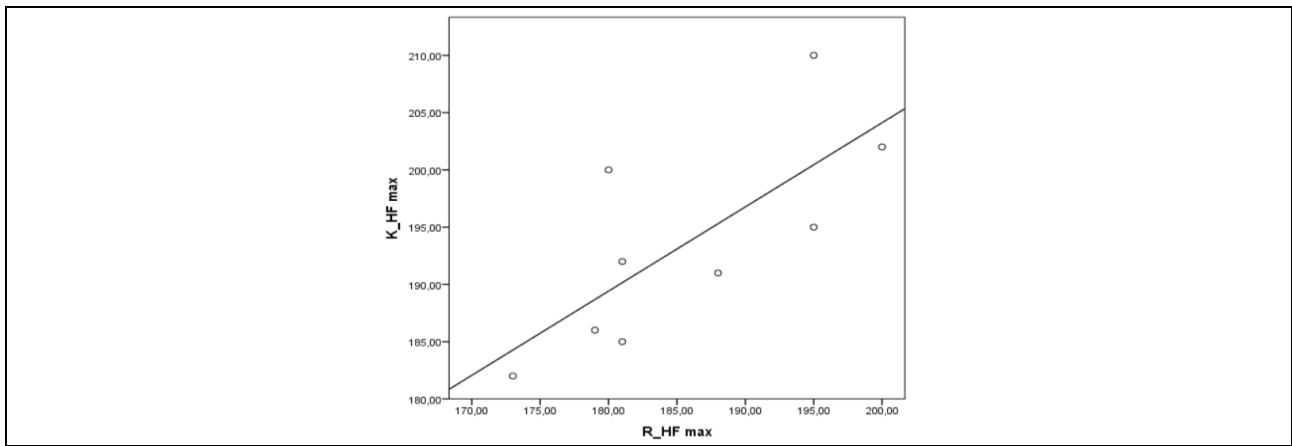


Abb. 24. Korrelationsanalyse der HFmax zwischen der Fahrradergometrie und dem KST

Das Bland-Altman-Plot zwischen den beiden durchgeführten Ausbelastungen für die VO₂max und der rVO₂max weist für 6 Probanden auf kleine Differenzen, für 3 Probanden auf größere Differenzen hin, wobei sich auch diese binnen der einfachen Standardabweichung befinden, Abbildung 25. Für die VO₂max wurde eine durchschnittliche Differenz mit ihrer Spannweite von 95% der Fälle von $-0,67 \pm 504$ ml/min und für die rVO₂max von $0,66 \pm 7,23$ ml/min*kg bestimmt (Bland & Altman, 1986).

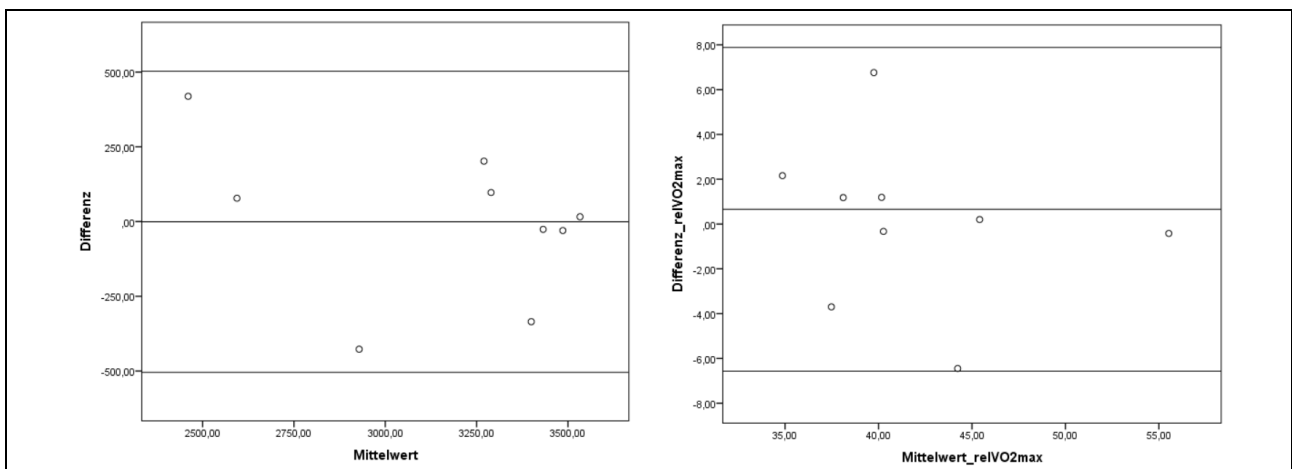


Abb. 25. Bland-Altman-Plot zwischen der Fahrradergometrie und dem KST, links VO₂max, rechts rVO₂max

5.2 Deskriptive Beschreibung der vollständigen Trainingseinheit

Das Training umfasste genau 60 Minuten. Hierbei kam es zu intermittierenden Belastungen. Die reine aktive Zeit betrug 40 Minuten. Die resultierenden 20 Minuten präsentieren die Pausenzeiten, in denen keine Aktionen durchgeführt wurden. Im Durchschnitt absolvierten die Probanden 136 ± 7 Karate-Kumite spezifische Aktionen in der Trainingseinheit. Hierbei wurde eine Kombination, z.B. Kizami-Gyaku-Mawashi-Geri, als Eins gezählt. Die leichte Standardabweichung ergibt sich aus den koordinativen Übungen und der Ü3 mit der Belastungsform 3minP, da hier aus der Funktionalität der Übung bewusst keine Vorgabe vorlag und somit die Aktionen abhängig von der Aktivität des Partners waren, Tabelle 12.

Tab. 12. Anzahl an Angriffsaktionen aller Probanden über das gesamte Training

Pro-band	Koordi Arm	Koordi Bein	Spie-schlag	Ü1 1minP	Ü1 1-1W	Ü2 1minP	Ü2 1-1W	Ü3 1minP	Ü3 3minP
1	17	17	30	6	6	6	6	6	49
2	17	18	30	6	6	6	6	6	48
3	19	18	30	6	6	6	6	6	39
4	16	18	30	6	6	6	6	6	44
5	16	16	30	6	6	6	6	6	36
6	18	17	30	6	6	6	6	6	43
7	19	20	30	6	6	6	6	6	45
8	15	16	30	6	6	6	6	6	40
9	15	15	30	6	6	6	6	6	37

Die Summe der auszuführenden Angriffsaktionen zwischen den Belastungsformen ist identisch, ausgenommen 3minP, sodass ein Gesamtvergleich möglich ist. Dennoch soll mit der folgenden Tabelle auf die Angriffsfrequenz der jeweiligen Belastungsform aufmerksam gemacht werden. Diese unterschied sich deutlich.

Tab. 13. Angriffsfrequenzen innerhalb der Belastungsformen

Angriffsfrequenzen	
Belastungsform	Frequenz
1minP	Alle 10 Sekunden
1-1W	Alle 20 Sekunden
3minP	Ca. alle 4 Sekunden (4,3)

Abbildung 26 zeigt beispielhaft einen Verlauf der VO_2 eines Probanden über das gesamte Training hinweg. Die Verläufe des Untersuchungskollektivs ähneln sich. Unterschiede sind durch die Randomisierung der Trainingsübungen in der zweiten Trainingshälfte ausfindig zu machen.

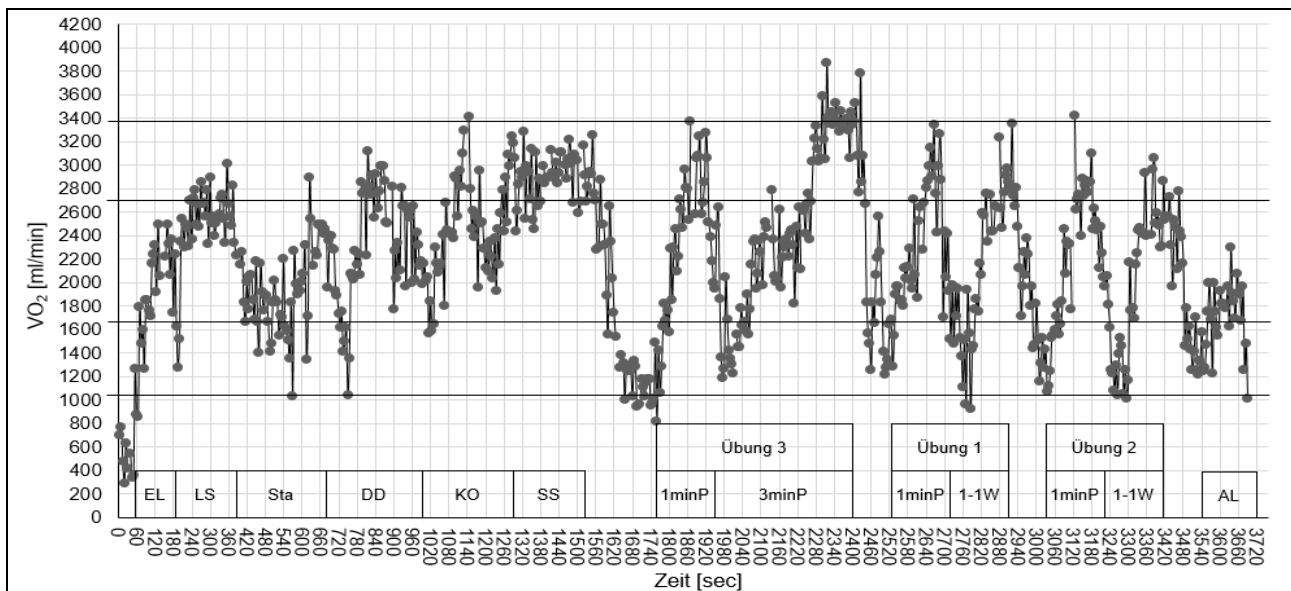


Abb. 26. Zeitlicher Verlauf der VO_2 von Proband 5 bei der Ausführung des Trainings, Übungsabfolge im Hauptteil: 3,1,2, Trainingsstart bei 60 Sekunden, horizontale Linien verdeutlichen Belastungsintensität von 30, 50, 80 und 100% der VO_{2max} , 50% Mindestanforderung nach ACSM, EL = Einlaufen, LS = Laufschule, DD = Dynamisches Dehnen, KO = Koordinative Übungen, SS = Spiegelschlagen, Ü1 = Uraken-Gyaku-Zuki mit Doppelstep, Ü2 = direkter Konter mit Faust oder Fuß, Ü3 = Pratzekampf

Die erste Trainingshälfte mit sehr kurzen Pausen rangiert im Mittel zwischen 50 und 80% der VO_{2max} . In der Regel lag der VO_2 -Verlauf beim Einlaufen und der Laufschule bei ca. 60%. Bei der Stabilitätsarbeit und dem dynamischen Dehnen sank die VO_2 im Mittel auf etwa 50% ab. Bei den koordinativen Übungen und dem Spiegelschlagen richtete sich bei jedem Probanden ein Steady-State um ca. $80 \pm 5\%$ der VO_{2max} ein. Die zweite Trainingshälfte war deutlicher von Trainingsaktionen und Pausen geprägt. Dies veranschaulicht auch die Verlaufskurve. In den Pausen wiesen die Probanden eine VO_2 von $30 \pm 5\%$ der VO_{2max} auf. Ein Ruhewert wie in den ersten 60 Sekunden wird zu keinem Zeitpunkt im Training erreicht. Die Belastungsphasen der zweiten Trainingshälfte rangieren im Mittel auch zwischen 50 und 80% der VO_{2max} . Es werden, wie bei der spezifischen Erwärmung, Steady-State Bedingungen von ca. 80% der VO_{2max} mit Belastungsspitzen bis zu 100% erreicht. Für Ü3 mit der Belastungsform 3minP konnte für jeden Probanden ein deutlicher Unterschied zwischen der passiven und aktiven Phase erkannt werden. Des Weiteren erzielte die aktive Phase immer ein Steady-State nahe der VO_{2max} .

Abbildung 27 verdeutlicht den Herzfrequenzverlauf des Trainings beispielhaft von einem Probanden. Auch hier ähneln sich die Verläufe des Kollektivs.

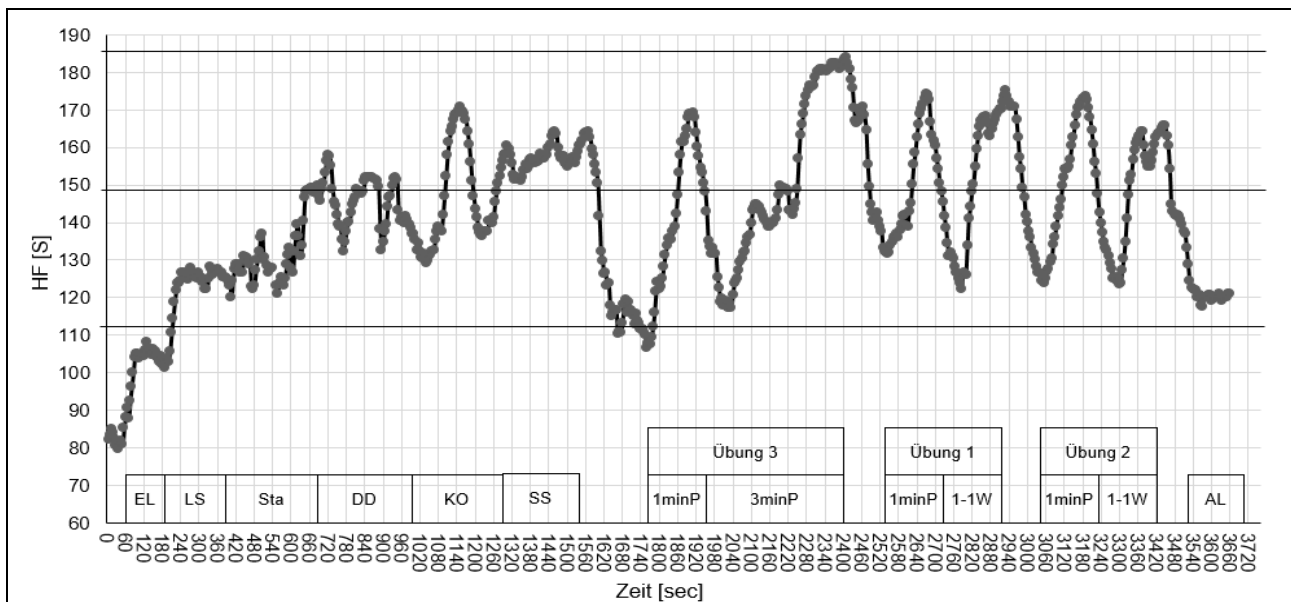


Abb. 27. Zeitlicher Verlauf der HF von Proband 5 bei der Ausführung des Trainings, Übungsabfolge im Hauptteil: 3,1,2, Trainingsstart bei 60 Sekunden, horizontale Linien verdeutlichen Belastungsintensität von 60, 80 und 100% der HFmax, 60% Mindestanforderung nach ACSM, EL = Einlaufen, LS = Laufschule, DD = Dynamisches Dehnen, KO = Koordinative Übungen, SS = Spiegelschlagen, Ü1 = Uraken-Gyaku-Zuki mit Doppelstep, Ü2 = direkter Konter mit Faust oder Fuß, Ü3 = Pratzekampf

Allgemein kann für alle Probanden festgehalten werden, dass nahezu das gesamte Training mit einer HF von über 60% der HFmax absolviert wurde. Auch in den längeren Pausen von 2-3 Minuten fällt nur bei manchen Teilnehmern die HF leicht unterhalb der individuellen 60%igen Herzleistung. Vor allem die karatespezifischen Übungen weisen längere Belastungszeiten von über 80% der HFmax auf. In Ü3 mit der Belastungsform 3minP ist wieder die passive und aktive Belastungsphase deutlich zu erkennen. In der aktiven Phase stellt sich auch hier ein HF Steady-State nahe der HFmax bei allen Teilnehmern heraus.

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen die Häufigkeitsverteilung der geforderten Intensitätsbereiche von der VO₂max aus der gesamten Trainingsbelastung. Hierbei ist die Verteilung absolut in Minuten und relativ in Prozent zur Gesamtdauer angegeben.

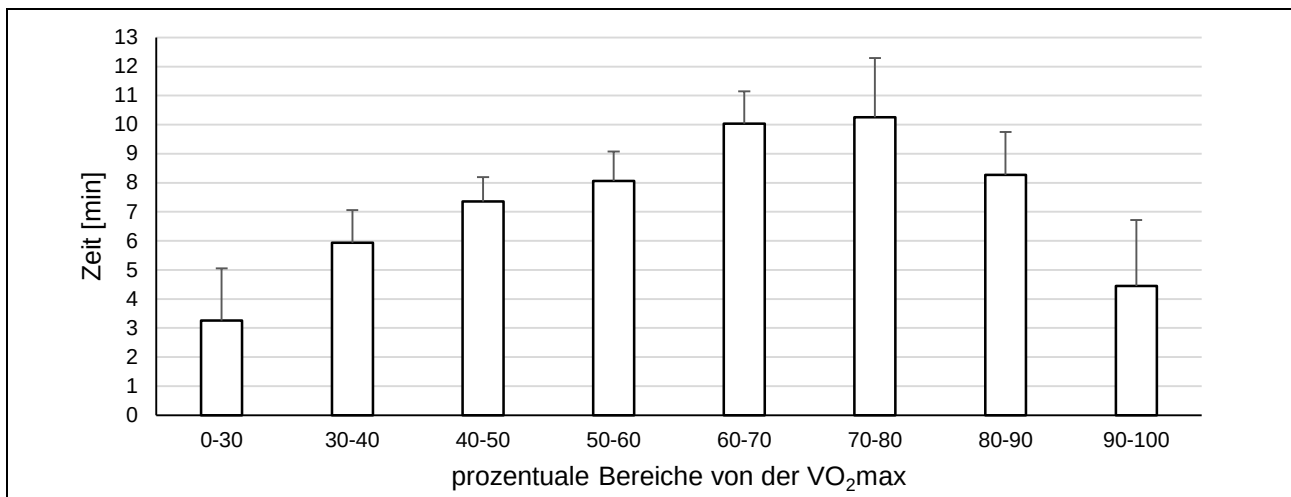


Abb. 28. Deskriptive Darstellung der zeitlichen Beanspruchung der prozentualen Intensitätsbereiche der VO₂ anhand der VO₂max vom gesamten Training, MW und SD

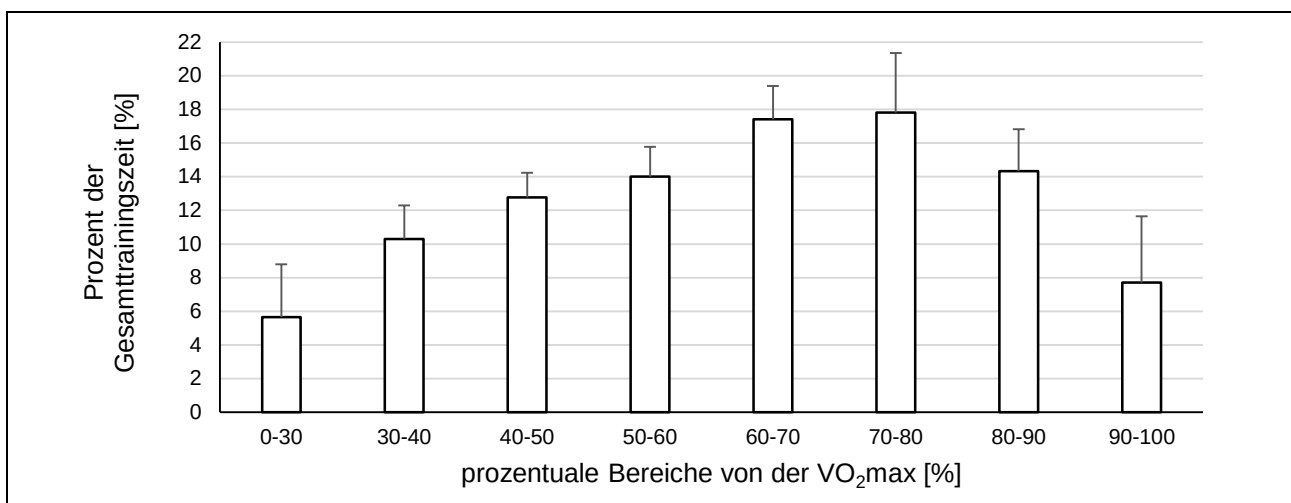


Abb. 29. Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der VO₂ anhand der VO₂max in Prozent von der gesamten Trainingseinheit, MW und SD

Im Durchschnitt wurden ca. 45 Minuten des Trainings mit einer VO₂ von über 50% der VO₂max durchgeführt. Die prozentuale Darstellung bestätigt das Ergebnis, dass ca. 70% der Gesamttrainingsbelastung mit einem VO₂-Bereich von größer als 50% durchgeführt wurde. Die größten Anteile tragen jeweils die Intensitätsbereiche von 60-80% bei.

Abbildungen 30 und 31 zeigen die Verteilung der HF Bereiche anhand der HFmax in Minuten und in Prozent zur Gesamttrainingsdauer.

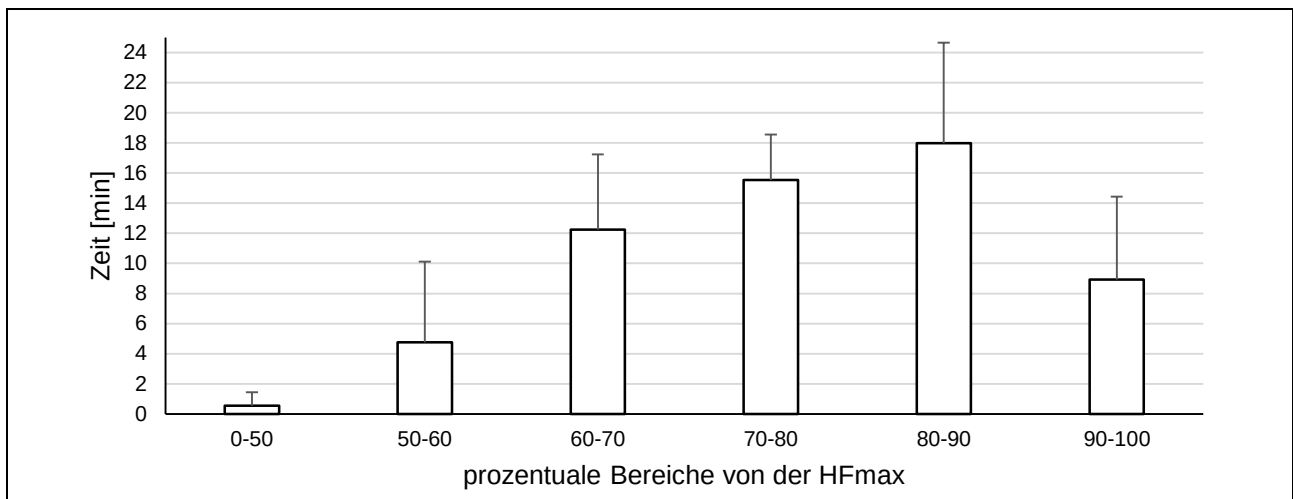


Abb. 30. Deskriptive Darstellung der zeitlichen Beanspruchung der prozentualen Intensitätsbereiche der HF anhand der HFmax vom gesamten Training, MW und SD

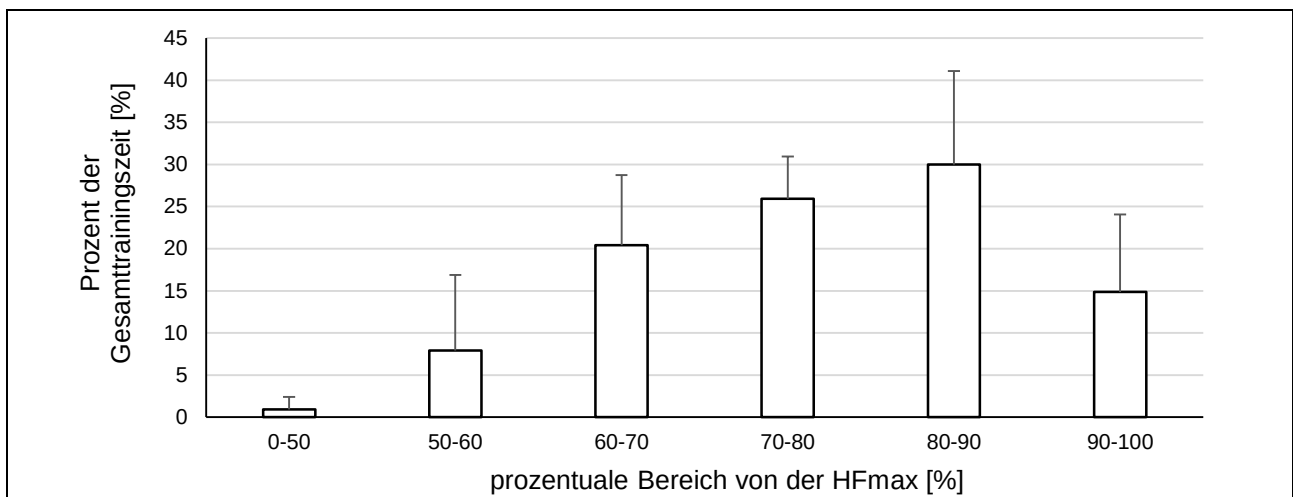


Abb. 31. Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der HF anhand der HFmax in Prozent von der gesamten Trainingseinheit, MW und SD,

Ca. 55 Minuten des Trainings werden mit einem HF-Bereich von über 60% der HFmax absolviert. Aus der prozentualen Angabe können ca. 90% der Trainingszeit mit einer Beanspruchung von über 60% der kardialen Herzleistung bestimmt werden. Die größten Anteile steuern die Intensitätsbereiche von 70-90% der HFmax bei. Tabelle 14 verdeutlicht die durchschnittlichen Werte ermittelt aus der gesamten Trainingseinheit. Die Darstellung erfolgt absolut und relativ in Prozent. Hierbei wurden die Daten jeweils zu den einzelnen Ausbelastungsverfahren und zum gesamt ermittelten Höchstwert bestimmt.

Tab. 14. *Durchschnittliche Bewertung der gesamten Trainingseinheit, TE = Trainingseinheit, HW der AB = ermittelter Höchstwert aus beiden Ausbelastungen*

Parameter	Wert
$\dot{x}$ VO ₂ der ges. TE [ml/min]	2030 ± 217,02
$\dot{x}$ VO ₂ anhand von VO ₂ max Rad [%]	64,6 ± 4,67
$\dot{x}$ VO ₂ anhand von VO ₂ max KST [%]	64,9 ± 6,00
$\dot{x}$ VO ₂ anhand von VO ₂ max vom HW der AB [%]	62,7 ± 3,07
$\dot{x}$ HF der ges. TE [S]	151 ± 14
$\dot{x}$ HF anhand von HFmax Rad [%]	81 ± 7
$\dot{x}$ HF anhand von HFmax KST [%]	77 ± 5
$\dot{x}$ HF anhand von HFmax vom HW der AB [%]	77 ± 5
$\dot{x}$ VE der ges. TE [l/min]	71 ± 6
$\dot{x}$ VE anhand von VEmax Rad [%]	50 ± 11
$\dot{x}$ VE anhand von VEmax KST [%]	50 ± 6
$\dot{x}$ VE anhand von VEmax vom HW der AB [%]	47 ± 7
$\dot{x}$ summierte VO ₂ der ges. TE [l]	121,8 ± 13,03
$\dot{x}$ Kalorien der ges. TE [kcal]	615 ± 66

Tabelle 15 gibt die subjektive Anstrengung der Probanden über die standardisierte Trainingseinheit sowie die subjektive Bewertung der Abweichung von einem ihnen bekannten, typischen Karate-Kumite Training wieder.

Tab. 15. *Qualitative Bewertung der gesamten Trainingseinheit, Foster: 10 = maximal, Abw. TE: 10 = sehr hohe Abw.*

Proband	CR-10 Foster [1-10]	Abw. TE [1-10]
1	8	4
2	6,5	4
3	8	1
4	5	1
5	7,5	3
6	7	3
7	7	2
8	8	3
9	8	3

Das Untersuchungskollektiv bewertete die standardisierte Trainingseinheit als anspruchsvoll, aber nicht maximal. Die Abweichung zu einer für sie typischen Trainingseinheit gestaltete sich als gering. Aus Gesprächen nach der Einheit wurde vor allem der Erwärmungsteil als untypisch bewertet. Er sei komplexer als sonst. Stabilitätstraining ist nicht immer ein typisches Trainingselement und es werden oft auch spezifische Bewegungsformen, wie lockeres Randori, zur Erwärmung eingesetzt. Im Hauptteil wurde von vielen die längere Pause zwischen den Übungen als untypisch benannt.

5.3 Hauptübungen

5.3.1 Darstellung der vollständigen Belastungsform

Vor der finalen Auswertung wurden die Daten bezüglich eines Ermüdungseffektes im Trainingsverlauf überprüft. Die durchschnittlichen VO_2 - und HF-Werte für jede Übung wurden in ihrer zeitlichen Reihenfolge durch die Randomisierung aufgegliedert, Anhang J. Es fand ein optischer Vergleich statt. Beide Parameter zeigten keine Tendenz einer Erhöhung oder Erniedrigung im zeitlichen Verlauf. Somit konnte kein Ermüdungseffekt ausfindig gemacht werden.

Im folgenden Abschnitt werden die durchschnittlichen Daten der VO_2 , HF und des VE über die gesamte Belastungszeit je Übung und Belastungsform dargestellt. Hierbei findet vorerst die Darstellung der Verteilung der beanspruchten Intensitätsbereiche statt. Die Mittelwertdarstellungen und grafischen Auswertungen folgen. Das VE und die HF beziehen sich jeweils auf die reine Belastungszeit und der Peakwert ist 5 Sekunden gemittelt. Die Angaben der VO_2 beinhalten die Nachatmung bis zur Erreichung des Ausgangswertes vor der Übung im VO_2 -Verlauf, Abschnitt 4.6.

Zu Beginn finden die Präsentation und die Vergleiche der Messparameter nur für die Belastungsformen 1minP und 1-1W statt, weil diese in der Gesamtzeit mit Pause von 255 Sekunden identisch sind. Im Anschluss wird die Belastungsform 3minP beschrieben und ein Vergleich zu den anderen Belastungsformen gezogen. Die detaillierte statistische Auswertung ist dem Anhang L zu entnehmen.

Abbildung 32 stellt die Verteilung der prozentualen Bereiche von der $\text{VO}_{2\text{max}}$ jeder Übung in den Belastungsformen 1minP und 1-1W dar. Hierbei wurden nur die Aufnahmedaten in der reinen Belastungszeit berücksichtigt.

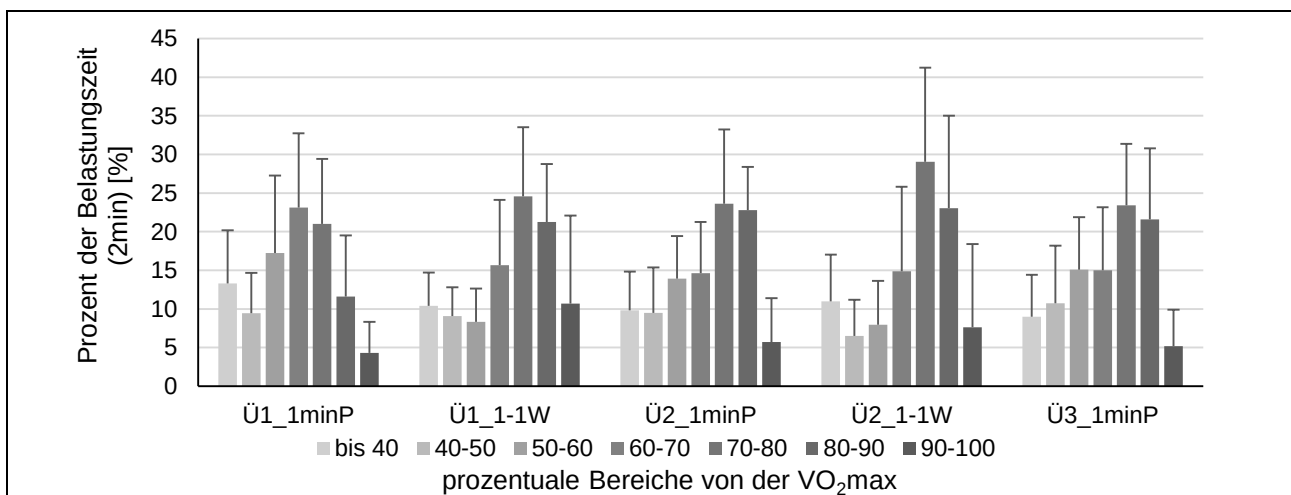


Abb. 32. Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der VO_2 anhand der $\text{VO}_{2\text{max}}$ – Vergleich aller Übungen (Ü1-3) über die gleiche Belastungszeit bei unterschiedlichen Belastungsformen (1minP und 1-1W), MW und SD

Der Abbildung ist zu entnehmen, dass sich die Belastungsform 1minP in der Verteilung zwischen den Übungen wenig unterscheidet. Die Belastungsform 1-1W weist

ebenfalls eine ähnliche Verteilung auf, unterscheidet sich jedoch zu der Belastungsform 1minP geringfügig. Der prozentuale Bereich 90-100% ist im Vergleich leicht erhöht.

Tabelle 16 gibt die durchschnittliche $\dot{V}O_2$ je Übung und Belastungsform an. Hierbei werden der Absolutwert und der Relativwert zur $\dot{V}O_{2max}$ dargestellt. Hinzu wird der entsprechende Energieumsatz aufgelistet. Die Mittelwerte beider Parameter wurden inklusive der Nachatmung bestimmt. Die durchschnittlich ermittelten Zeiten bis zur Erreichung des Ausgangsniveaus des $\dot{V}O_2$ -Verlaufes sind mit aufgetragen.

Tab. 16. Durchschnittliche $\dot{V}O_2$ je Übung und Belastungsform, Darstellung absolut und relativ zur $\dot{V}O_{2max}$, weiterhin Darstellung des Energieumsatzes und der betrachteten Gesamtzeit des $\dot{V}O_2$ -Verlaufes, MW und SD

Übung	Belastungsform	$\dot{x} \dot{V}O_2$ [ml/min]	$\dot{x} \dot{V}O_2$ von $\dot{V}O_{2max}$ [%]	$\dot{x}$ Energieumsatz je Übung [kcal]	Zeit des betrachteten $\dot{V}O_2$ -Verlaufes [sec]
Ü1	1minP	1987 ± 275,82	61,3 ± 5,17	39 ± 5	237 ± 21
	1-1W	2138 ± 175,84	66,3 ± 5,48	40 ± 5	222 ± 16
Ü2	1minP	2088 ± 257,79	64,4 ± 3,58	39 ± 4	224 ± 17
	1-1W	2060 ± 222,93	63,8 ± 6,13	42 ± 6	241 ± 23
Ü3	1min	2121 ± 238,29	65,4 ± 3,35	41 ± 4	229 ± 20

Die Ergebnisse und die Vergleiche der Belastungsformen sind in den folgenden Abbildungen zum besseren Verständnis grafisch dargestellt.

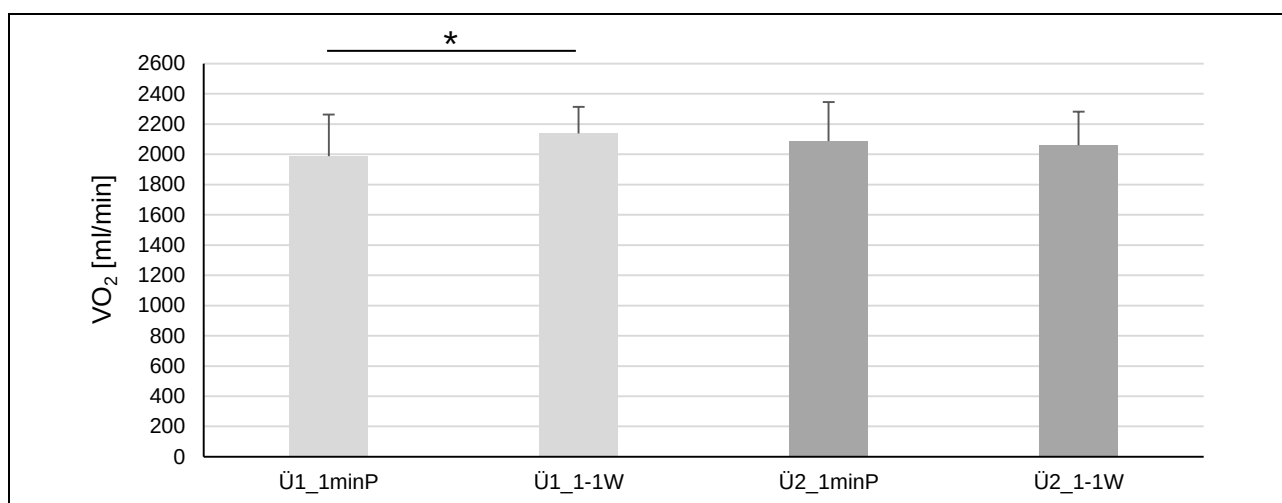


Abb. 33. Vergleich der unterschiedlichen Belastungsformen: a) 1minP und 1-1W in Ü1 und Ü2, b) Vergleich der Belastungsform 1-1W zwischen Ü1 und Ü2, * = sign. Unterschied, MW und SD

Die statistische Prüfung konnte nur einen signifikanten Unterschied in Ü1 zwischen den Belastungsformen aufweisen, $Z(N=9) = -2,547$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,85$. Die Belastungsform 1-1W erfordert einen größeren Sauerstoffverbrauch. Innerhalb der Belastungsform 1-1W konnte kein statistischer Unterschied zwischen den Übungen ermittelt werden.

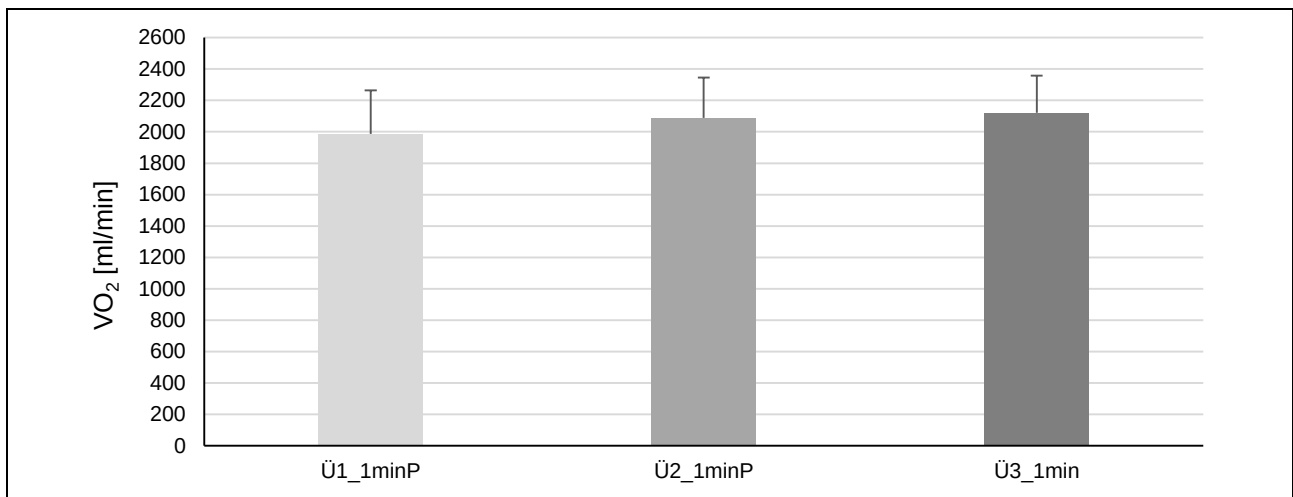


Abb. 34. Vergleich der Belastungsform 1minP von Ü1, 2 und 3, * = sign. Unterschied, MW und SD

In der Belastungsform 1minP konnte kein signifikanter Unterschied zwischen allen Übungen ausfindig gemacht werden.

Abbildung 35 zeigt die Beanspruchung der kardialen Leistung in Form der prozentualen Bereiche von der HFmax aller Übungen in den Belastungsformen 1minP und 1-1W.

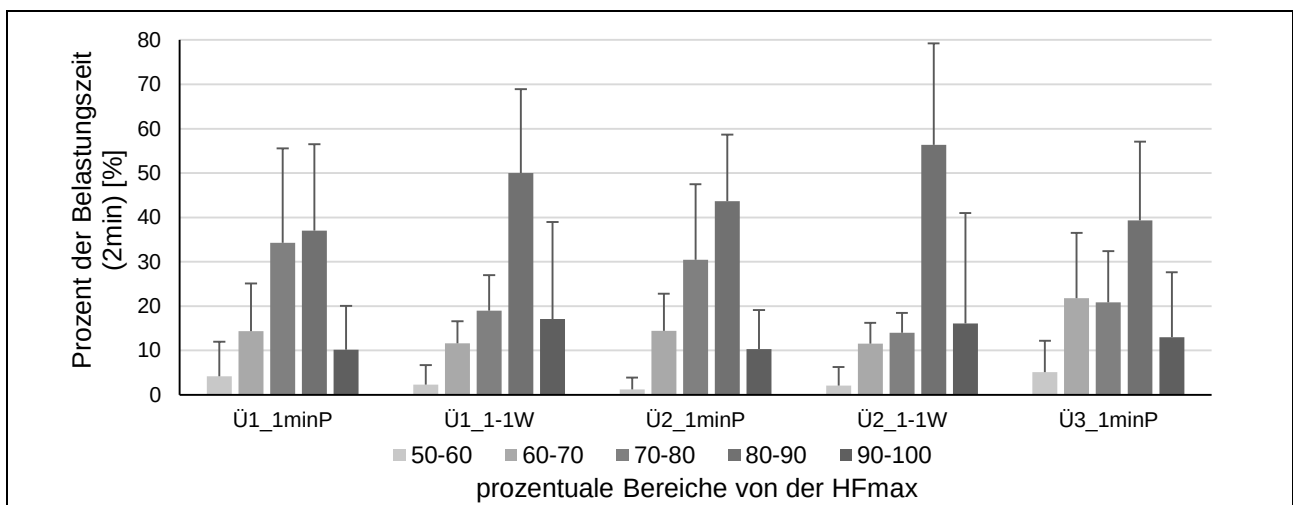


Abb. 35. Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der HF anhand der HFmax – Vergleich aller Übungen(Ü1-3) über die gleiche Belastungszeit bei unterschiedlichen Belastungsformen (1minP und 1-1W), MW und SD

Auch hier unterscheiden sich die Verteilungen innerhalb der Belastungsformen geringfügig. Zwischen den Belastungsformen kann eine Tendenz der höheren Beanspruchung in den Bereichen 80-90% und 90-100% für die Belastung 1-1W entnommen werden.

Tabelle 17 gibt die durchschnittlichen Absolut- und Relativwerte bezogen auf die HFmax an.

Tab. 17. Durchschnittliche HF und HFpeak je Übung und Belastungsform, Darstellung absolut und relativ zur HFmax, MW und SD

Übung	Belastungsform	$\bar{x}$ HF [S]	$\bar{x}$ HF von HFmax [%]	$\bar{x}$ HFpeak [S]	$\bar{x}$ HFpeak von HFmax [%]
Ü1	1minP	152 ± 14	78,1 ± 4,5	176 ± 14	90,5 ± 4,9
	1-1W	160 ± 12	81,9 ± 3,2	177 ± 10	90,8 ± 2,9
Ü2	1minP	155 ± 14	80,0 ± 4,0	176 ± 13	90,9 ± 3,8
	1-1W	160 ± 11	82,4 ± 3,0	174 ± 11	89,8 ± 3,1
Ü3	1min	153 ± 17	78,5 ± 6,2	178 ± 14	91,2 ± 4,0

Zur deutlicheren Übersicht der Belastungs- und Übungsvergleiche dienen folgende Abbildungen und Erläuterungen.

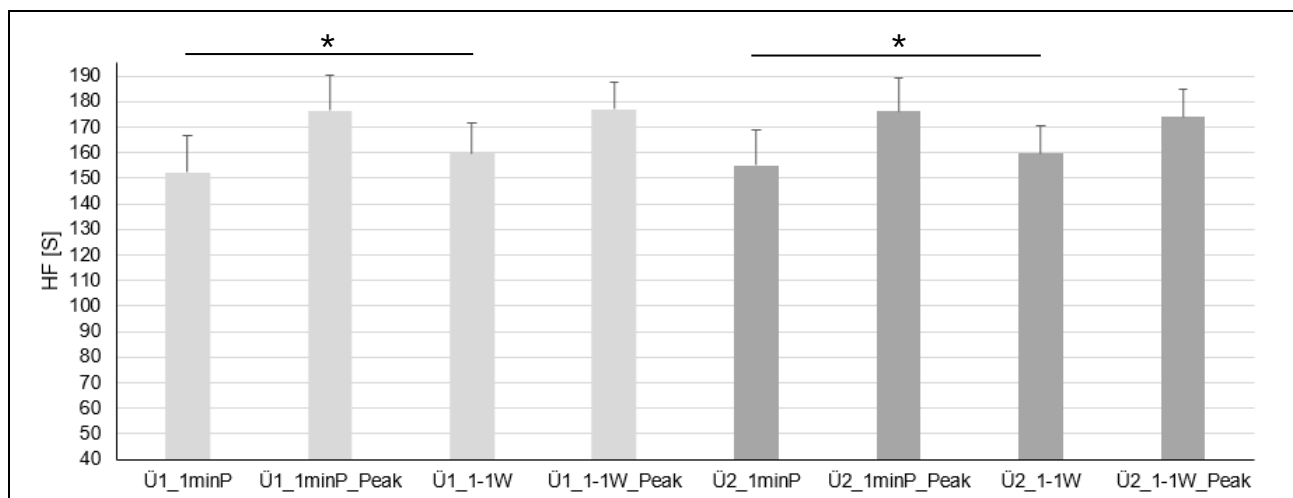


Abb. 36. Vergleich der durchschnittlichen HF und der HFpeak: a) von den unterschiedlichen Belastungsformen in Ü1 und Ü2, b) zwischen Ü1 und Ü2 bei der Belastungsform 1-1W, * = sign. Unterschied, MW und SD

Innerhalb der Übungen Ü1 und Ü2 konnte nur ein signifikanter Unterschied zwischen der durchschnittlichen kardialen Beanspruchung beider Belastungsformen ausfindig gemacht werden. Hierbei zeigt die Belastungsform 1-1W höhere Beanspruchungen, Ü1: $Z(N=8) = -2,380$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,84$; Ü2: $Z(N=9) = -2,429$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,81$. Ein Unterschied in den Peakwerten konnte nicht bestimmt werden. Im Vergleich zwischen den Übungen in der Belastungsform 1-1W konnte weder für die durchschnittliche HF noch für die HFpeak ein Unterschied herausgestellt werden.

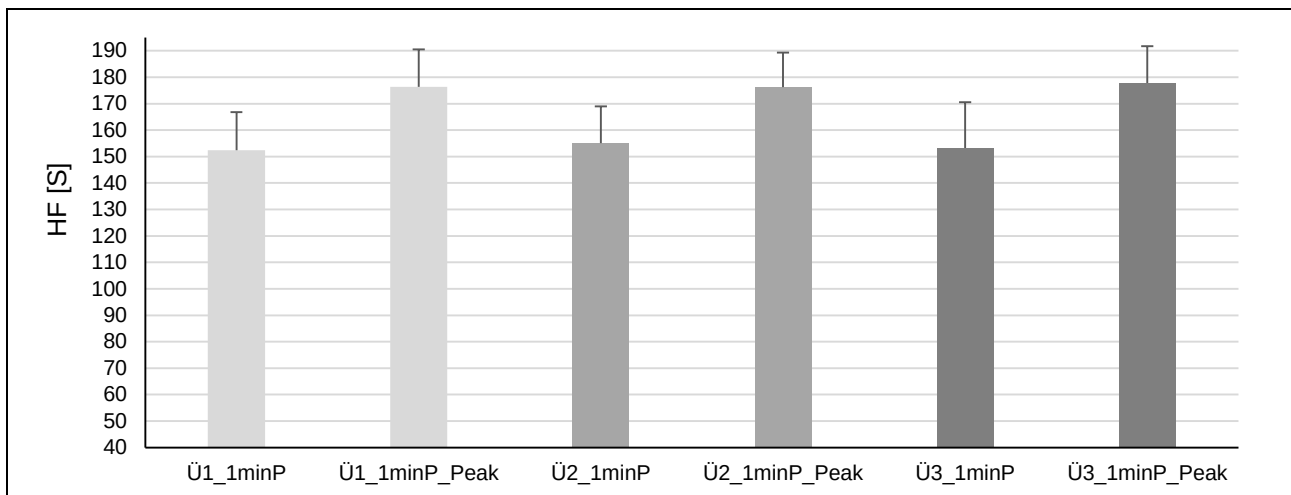


Abb. 37. Vergleich der durchschnittliche HF und der HFpeak in der Belastungsform 1minP von Ü1, 2 und 3, * = sign. Unterschied, MW und SD

Für die Belastungsform 1minP konnte in der gemittelten HF und im HFpeak kein Unterschied zwischen den Übungen eruiert werden.

Tabelle 18 gibt Auskunft über die Atemarbeit der Sportler in den Übungen und in den Belastungsformen. Auch hier findet die Darstellung absolut und relativ zum Maximalwert statt.

Tab. 18. Durchschnittliche VE und VEpeak je Übung und Belastungsform, Darstellung absolut und relativ zur VEmax, MW und SD

Übung	Belastungsform	$\dot{x}$ VE [l/min]	$\dot{x}$ VE von VEmax [%]	$\dot{x}$ VEpeak [l/min]	$\dot{x}$ VEpeak von VEmax [%]
Ü1	1minP	74 ± 13	49,7 ± 8,6	103 ± 13	69,2 ± 13,1
	1-1W	77 ± 8	52,0 ± 8,2	103 ± 11	69,4 ± 11,4
Ü2	1minP	76 ± 9	51,4 ± 10,7	104 ± 12	70,2 ± 12,2
	1-1W	78 ± 6	52,2 ± 7,5	105 ± 7	70,5 ± 8,9
Ü3	1minP	73 ± 6	49,6 ± 9,2	102 ± 9	68,9 ± 12,0

Den Daten ist zu entnehmen, dass sich weder die Übungen noch die Belastungsarten in ihrer durchschnittlichen Atemarbeit und in ihrer maximalen Atemarbeit unterscheiden. Folgende Grafiken und Erläuterungen verdeutlichen die Ergebnisse.

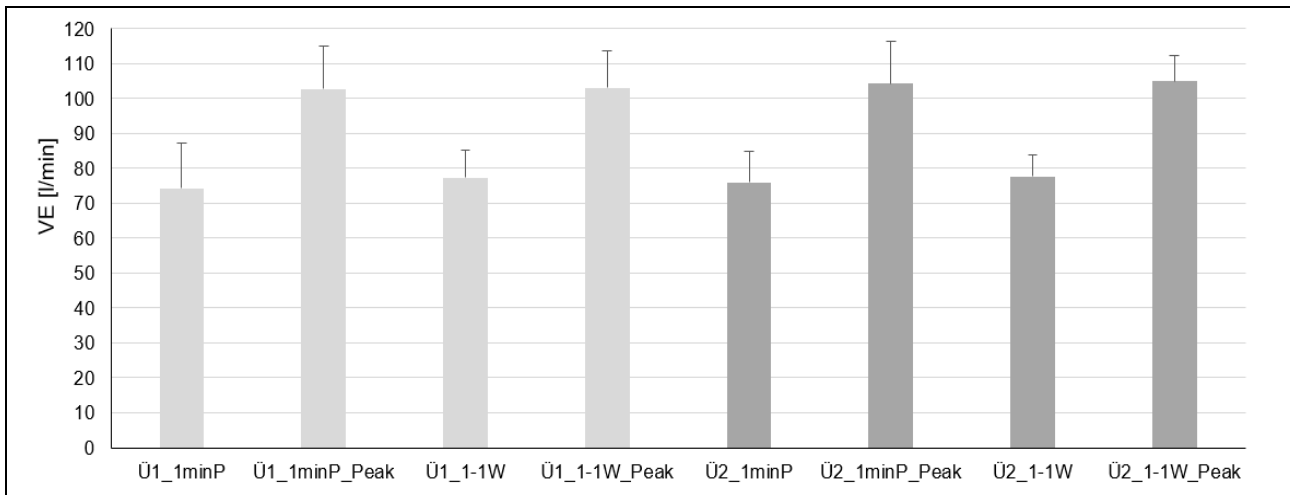


Abb. 38. Vergleich der durchschnittlichen VE und der VEpeak: a) von den unterschiedlichen Belastungsformen in Ü1 und Ü2, b) zwischen Ü1 und Ü2 bei der Belastungsform 1-1W, * = sign. Unterschied, MW und SD

Es konnte kein signifikanter Unterschied im Durchschnitt und im Peakwert innerhalb der Übungen und zwischen der Belastungsform 1-1W ausfindig gemacht werden. Abbildung 39 beschreibt die Atemarbeit der Belastungsform 1minP von Übung 1, 2 und 3.

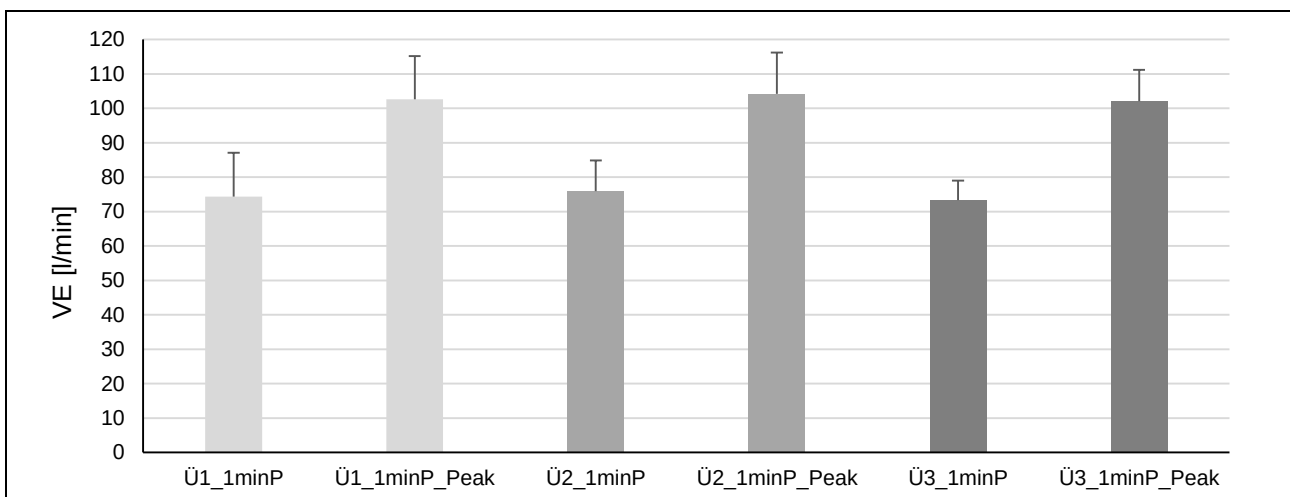


Abb. 39. Vergleich durchschnittliche VE und der VEpeak in der Belastungsform 1minP von Ü1, 2 und 3, * = sign. Unterschied, MW und SD

Auch hier konnte kein Unterschied in beiden Parametern bestimmt werden.

Ü3 unterscheidet sich in ihrem letzten Ausführungsabschnitt mit 3minP. Hier kommt es zu einer Gesamtbelastungszeit inklusive der 2 minütigen Pause von 510 Sekunden. Folgende Abbildungen beschreiben vorerst die Intensitätsverteilung der VO_2 und der HF in der reinen Belastungszeit (390sec) mit intraserialer Pause (30sec).

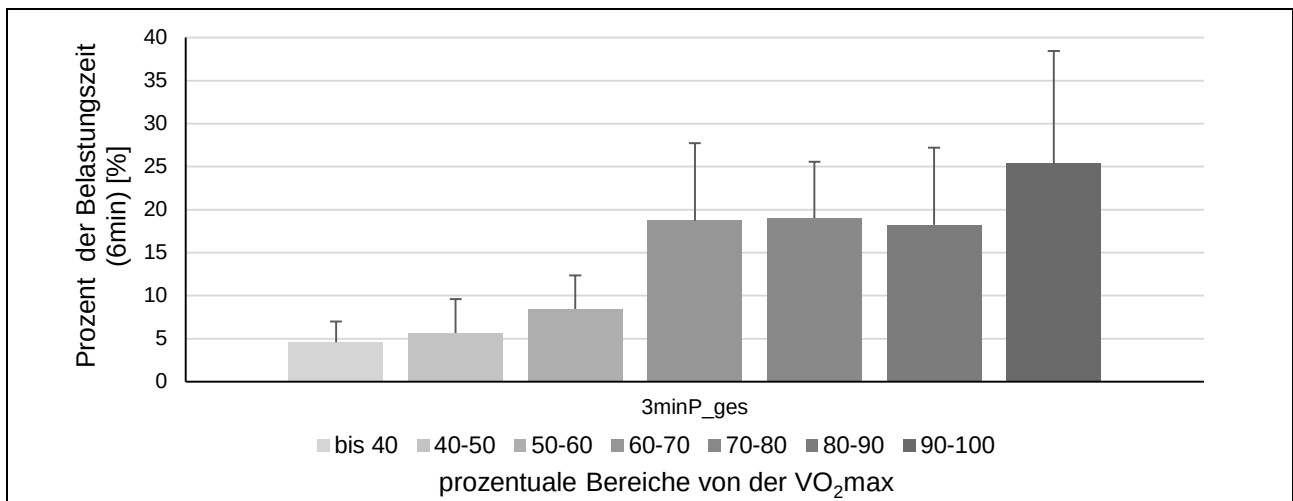


Abb. 40. Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der VO₂ anhand der VO₂max von Ü3 mit der Belastungsform 3minP, MW und SD

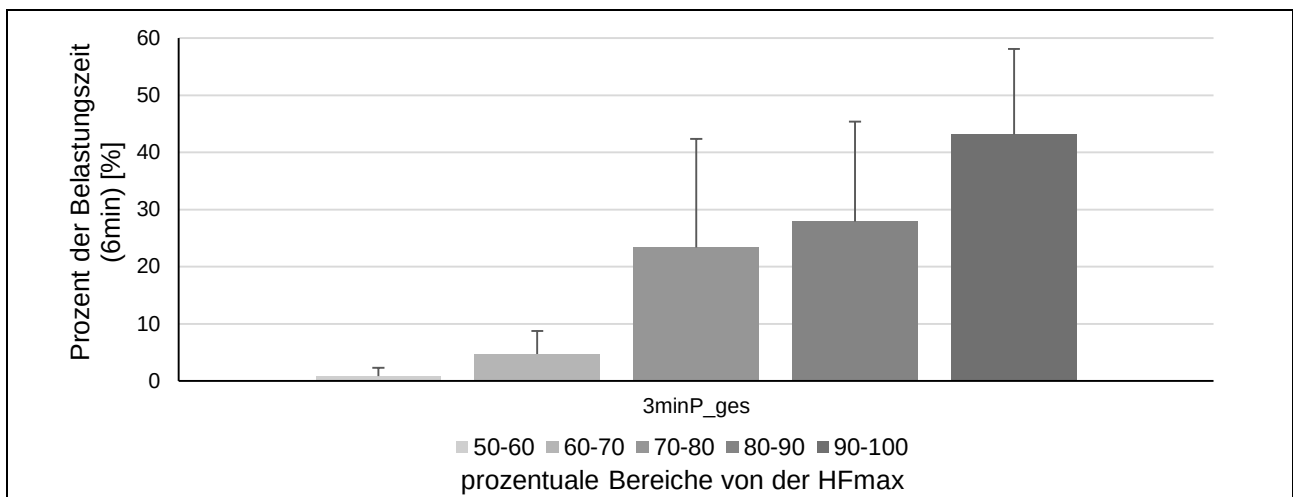


Abb. 41. Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der HF anhand der HFmax von Ü3 mit der Belastungsform 3minP, MW und SD

Es wird ersichtlich, dass 90% der Übungszeit mit einer VO₂ größer als 50% abgedeckt werden. Den größten Anteil hat der VO₂-Bereich von 90-100% mit einem Viertel der Bewegungszeit. Auch der HF sind sehr hohe Intensitäten zu entnehmen. Beanspruchungen unter 60% der kardialen Leistung werden nahezu nicht gefordert. Der Belastungsbereich von 90-100% ist auch hier am größten mit ca. 40% der Übungszeit.

Tabelle 19 gibt alle durchschnittlichen und maximalen Parameter der VO₂, der HF und der VE wieder. Hinzu werden der kalorische Aufwand und die durchschnittliche Zeit des VO₂-Verlaufes mit ausgewiesen.

Tab. 19. Übersicht aller erhobenen physiologischen Parameter von Ü3 mit der Belastungsform 3minP, absolute und relative Darstellung

$\dot{x}$ VO ₂ [ml/min]	$\dot{x}$ VO ₂ von VO ₂ max [%]	$\dot{x}$ Energieumsatz [kcal]	Zeit des betrachteten VO ₂ -Verlaufes [sec]
2349 ± 281,76	72,5 ± 4,64	100 ± 12	504 ± 9
$\dot{x}$ HF [S]	$\dot{x}$ HF von HFmax [%]	$\dot{x}$ HFpeak [S]	$\dot{x}$ HFpeak von HFmax [%]
168 ± 13	86,5 ± 3,3	190 ± 9	97,9 ± 1,7
$\dot{x}$ VE [l/min]	$\dot{x}$ VE von VEmax [%]	$\dot{x}$ VEpeak [l/min]	$\dot{x}$ VEpeak von VEmax [%]
95 ± 11	63,4 ± 8,0	148 ± 14	98,7 ± 10,2

Allgemein wird ersichtlich, dass die Übung eine größere Beanspruchung als die anderen Übungsformen fordert. Die Peakwerte erreichen fast die Maximalparameter aus den Ausbelastungstests. Folgende Abbildungen verdeutlichen in allen Parametern die Abweichungen zu den anderen Übungen und Belastungsformen.

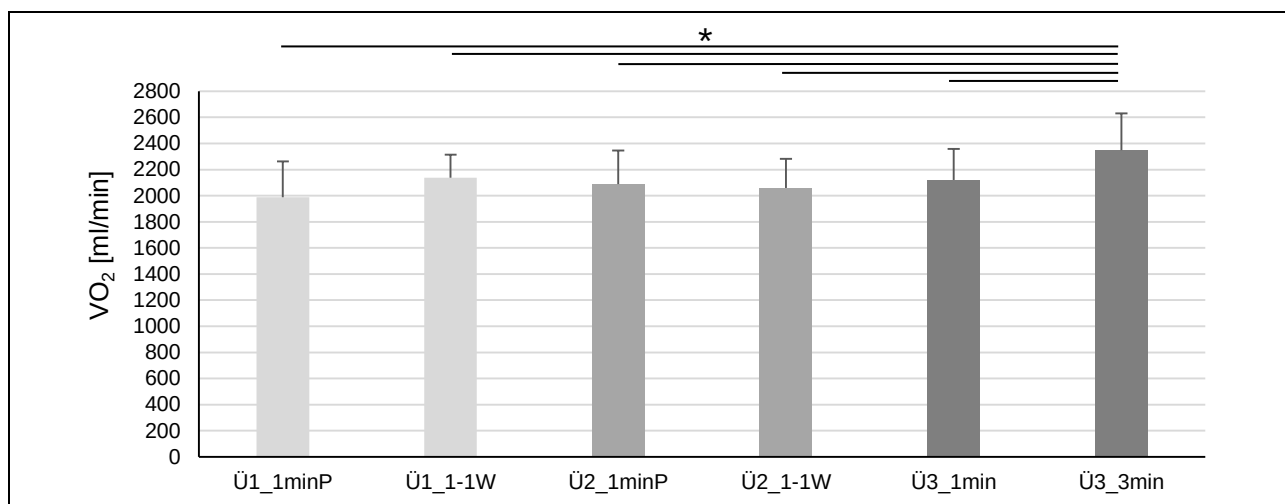


Abb. 42. Vergleich der durchschnittliche VO₂ der Belastungsform 3minP zu allen Übungen und Belastungsformen, * = sign. Unterschied, MW und SD

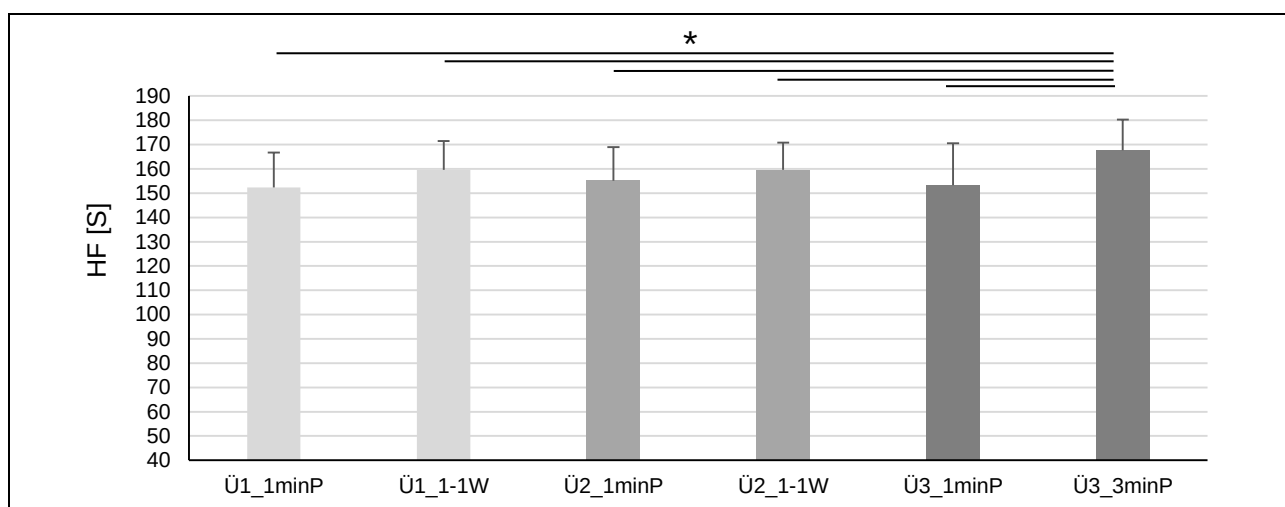


Abb. 43. Vergleich der durchschnittlichen HF der Belastungsform 3minP zu allen Übungen und Belastungsformen, * = sign. Unterschied, MW und SD

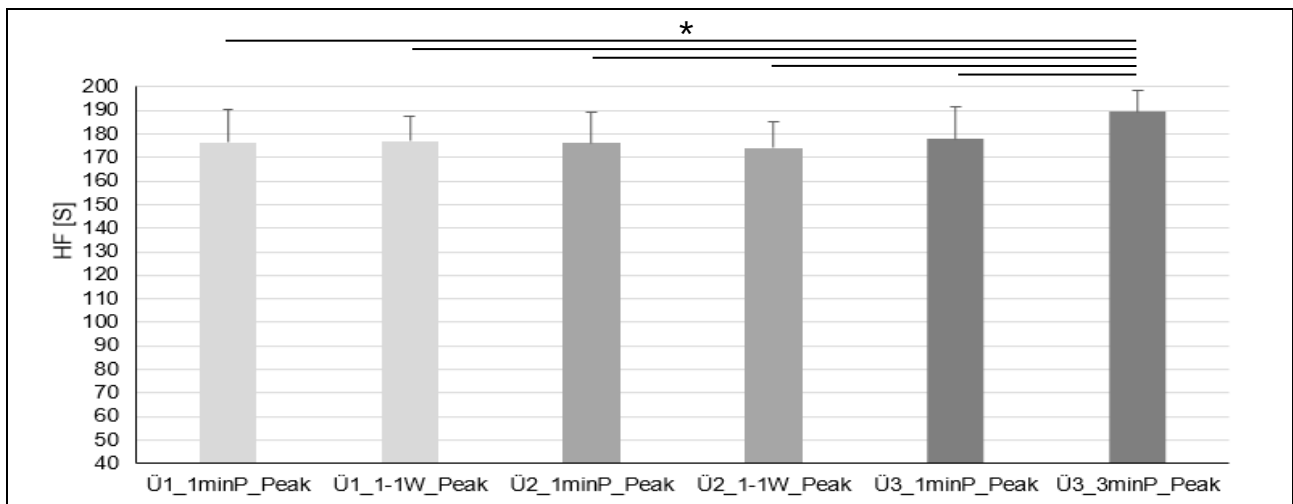


Abb. 44. Vergleich der HFpeak der Belastungsform 3minP zu allen Übungen und Belastungsformen, * = sign. Unterschied, MW und SD

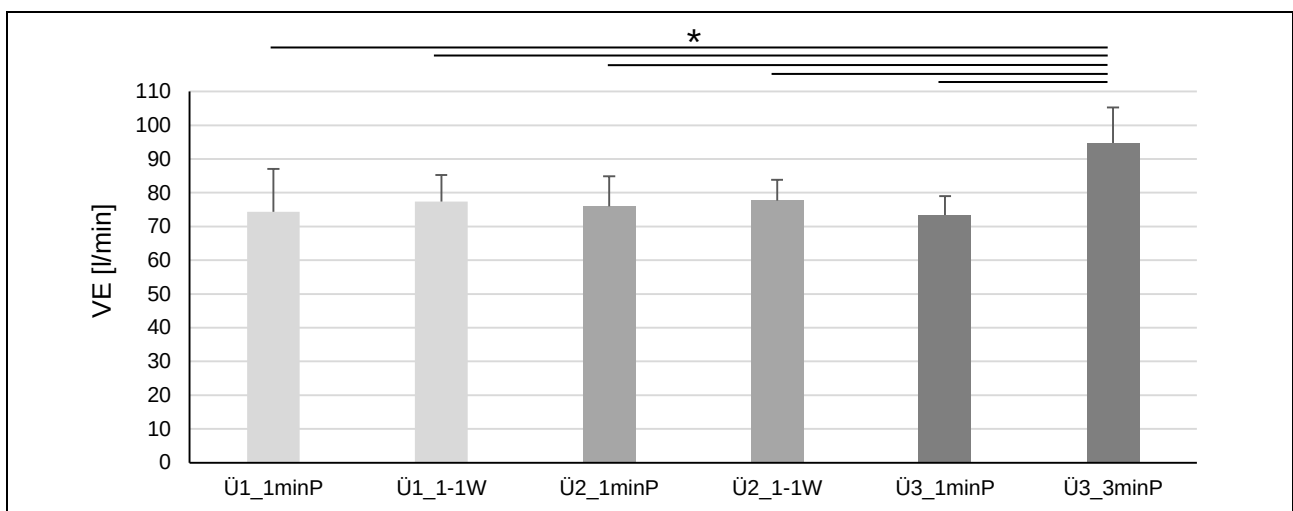


Abb. 45. Vergleich der durchschnittlichen VE der Belastungsform 3minP zu allen Übungen und Belastungsformen, * = sign. Unterschied, MW und SD

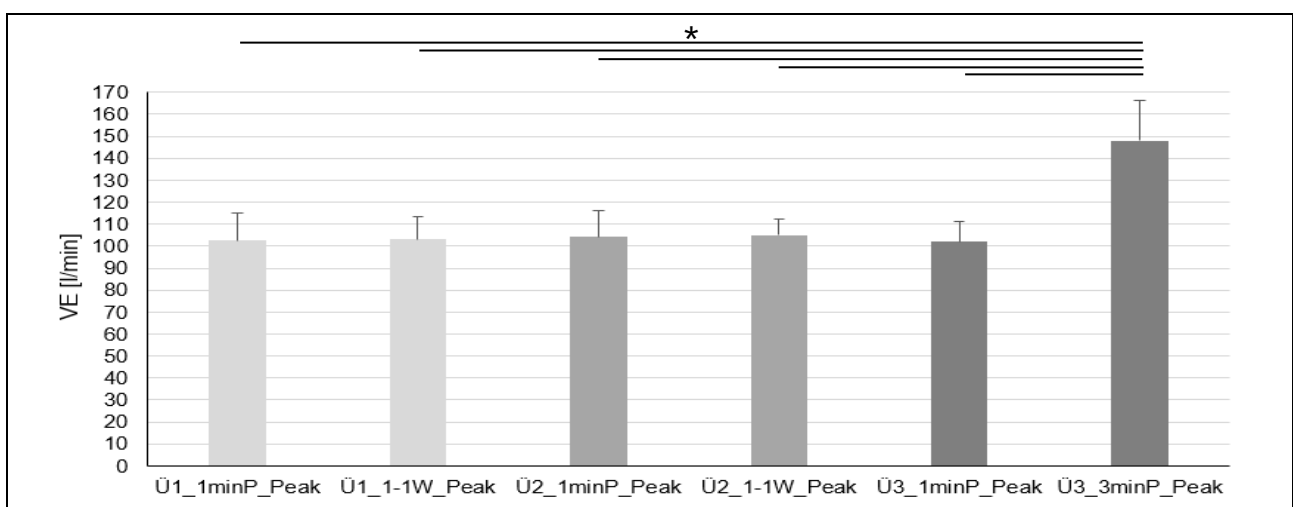


Abb. 46. Vergleich der VEpeak der Belastungsform 3minP zu allen Übungen und Belastungsformen, * = sign. Unterschied, MW und SD

In allen Parametern konnte ein signifikanter Unterschied von $p \leq 0,05$ zu allen Übungen und ihren Belastungsformen eruiert werden. Die Effektstärken liegen alle über $r_{ES} = 0,81$. Eine detaillierte Angabe aller statistischen Parameter ist Anhang N zu entnehmen.

5.3.2 Darstellung der ersten und zweiten Belastungsphase der Übungsausführungen

Der folgende Abschnitt beschreibt die Unterschiede in der ersten und zweiten Belastungsphase der durchgeführten Übungen. Hierbei ist die Darstellung vorerst nach der Belastungsform gegliedert. Weiterführend wird ein Vergleich der Belastungsformen innerhalb der Übungen vollführt. Folgend werden die ersten und zweiten Belastungsphasen aller Übungen und Belastungsphasen gegenübergestellt. Abschließend findet ein Vergleich der passiven Phase aus der Form 3minP zu den aktiven Phasen der Formen 1minP und 1-1W statt.

In diesem Kontext erfolgt anfänglich eine Darstellung der Verteilung der beanspruchten Intensitätsbereiche in dem jeweiligen Arbeitsabschnitt. Im Anschluss erfolgt die Darlegung der Maximalwerte. Diese repräsentieren den höchsten gemittelten Wert über 15 Sekunden in der jeweiligen Belastungsphase (siehe Abschnitt 4.6). Die statistische Übersicht ist dem Anhang M zu entnehmen

Abbildung 47 verdeutlicht die prozentuale Verteilung der Beanspruchungsbereiche von der VO_2max hinsichtlich in der Belastungsform 1minP von allen Übungen.

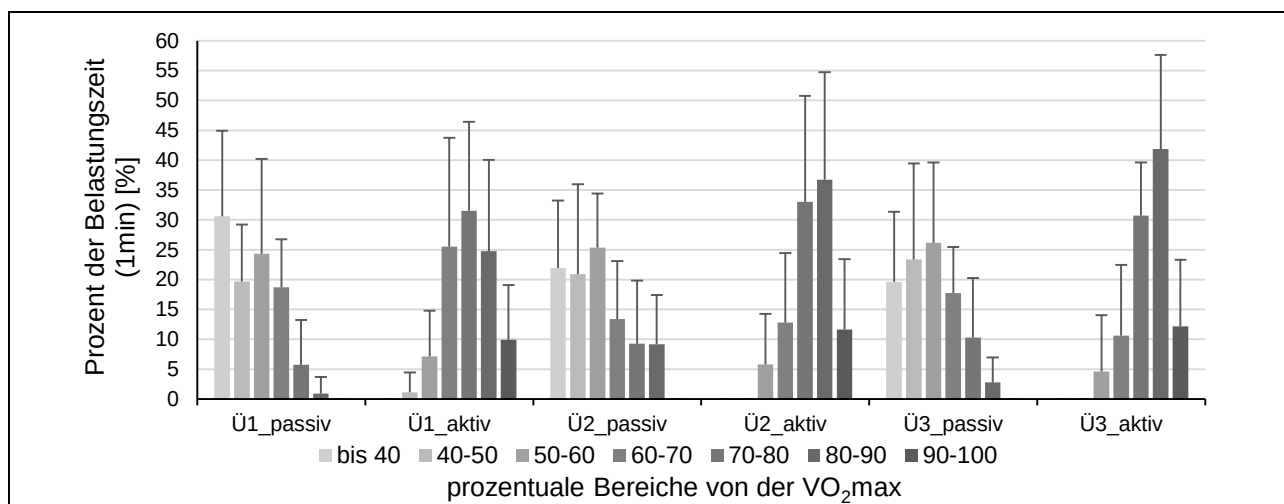


Abb. 47. Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der VO_2 anhand der VO_2max – Vergleich aller Übungen der Belastungsform 1minP im aktiven und passiven Arbeitsbereich, MW und SD

Die Darstellung zeigt für alle Übungen eine ähnliche Verteilung. Der aktive Part unterscheidet sich deutlich vom passiven Part. Hohe prozentuale Bereiche werden deutlich mehr beansprucht. Die aktiven Bereiche von Ü2 und Ü3 weisen etwas höhere Anforderungen aus als bei Ü1.

Tabelle 20 gibt die gemittelten Höchstwerte der passiven und aktiven Phasen über 15 Sekunden wieder.

Tab. 20. Gemittelte Höchstwerte der VO_2 in den passiven und aktiven Arbeitsbereichen aller Übungen der Belastungsform 1minP, MW und SD

Übung	Belastungsform	passiv		aktiv	
		$VO_2\text{max 15sec [ml/min]}$	Prozent von $VO_2\text{max [%]}$	$VO_2\text{max 15sec [ml/min]}$	Prozent von $VO_2\text{max [%]}$
Ü1	1minP	2098 ± 293	$64,6 \pm 4,0$	2788 ± 252	$86,4 \pm 7,5$
Ü2	1minP	2322 ± 280	$71,8 \pm 6,4$	2814 ± 347	$86,7 \pm 3,3$
Ü3	1minP	2246 ± 220	$69,4 \pm 4,7$	2771 ± 271	$85,5 \pm 3,0$

Die aktive Phase fordert eine ca. 15% größere Intensität. Abbildung 48 verdeutlicht die Unterschiede und gibt die Signifikanzen aus.

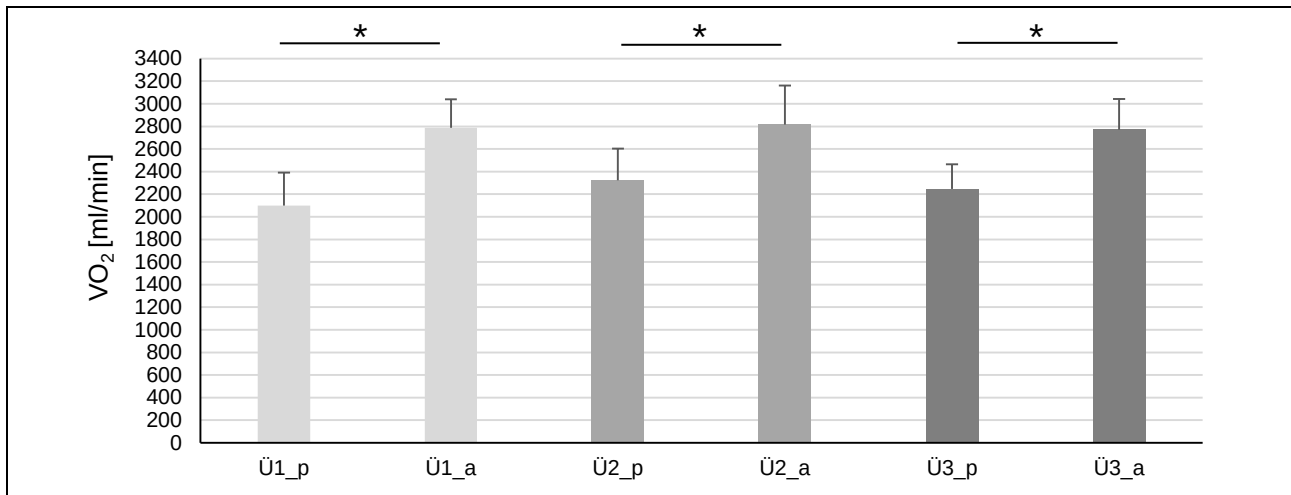


Abb. 48. Passive und aktive Maximalwerte der VO_2 der Belastungsform 1minP aller Übungen, Vergleich innerhalb der Übungen: * = sign. Unterschied, MW und SD

Innerhalb aller Übungen der Belastungsform 1minP unterscheidet sich die passive Phase signifikant von der aktiven Phase, Ü1: $Z(N=9) = -2,666$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,89$; Ü2: $Z(N=9) = -2,666$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,89$; Ü3: $Z(N=9) = -2,666$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,84$. Abbildung 49 gibt die Verteilung der beanspruchten HF-Bereiche der passiven und aktiven Phasen der Belastungsform 1minP an.

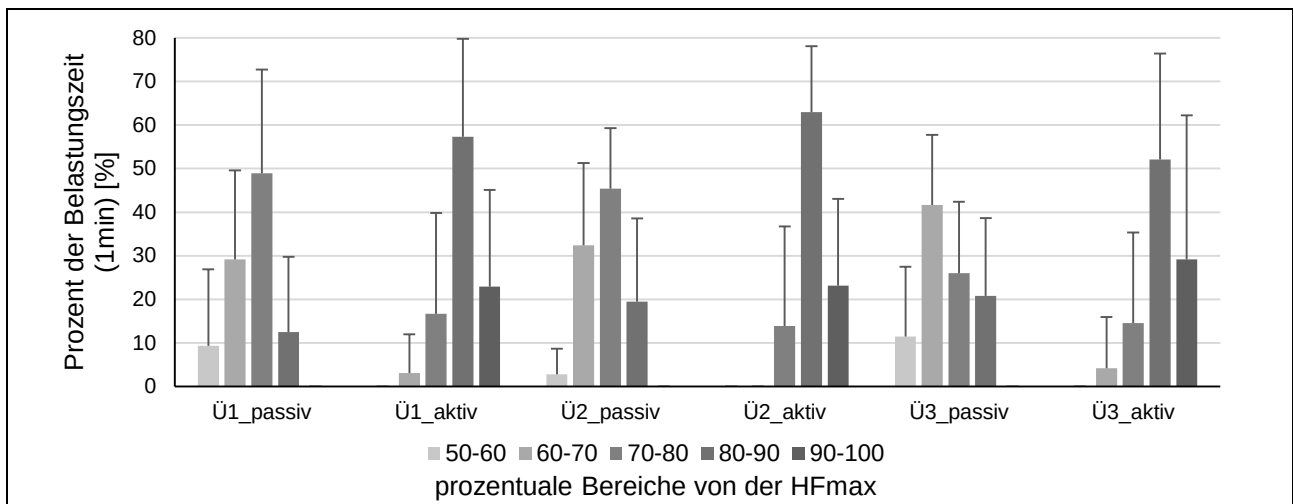


Abb. 49. Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der HF anhand der HFmax – Vergleich aller Übungen der Belastungsform 1minP in aktiven und passiven Arbeitsbereich, MW und SD

Ihr ist zu entnehmen, dass auch hier die aktive Phase mehr die kardiale Leistungsfähigkeit fordert. Hierbei unterscheidet sich Ü3 von Ü1 und Ü2 mit der höchsten Beanspruchung.

Tabelle 21 gibt die mittleren Höchstwerte der HF über 15 Sekunden aller Übungen der Belastungsform 1minP wieder.

Tab. 21. Gemittelte Höchstwerte der HF in den passiven und aktiven Arbeitsbereichen aller Übungen der Belastungsform 1minP, MW und SD

Übung	Belastungsform	passiv		aktiv	
		HFmax 15sec [ml/min]	Prozent von HFmax [%]	HFmax 15sec [ml/min]	Prozent von HFmax [%]
Ü1	1minP	151 ± 16	77,5 ± 5,1	175 ± 15	89,9 ± 5,1
Ü2	1minP	155 ± 17	80,0 ± 5,4	175 ± 13	90,2 ± 3,9
Ü3	1minP	153 ± 21	78,3 ± 7,9	176 ± 14	90,5 ± 4,3

Aus den Daten ist zu entnehmen, dass die aktive Phase ca. 10% mehr die kardiale Leistungsfähigkeit fordert. Zur weiteren Verdeutlichung der Daten folgt die grafische Auswertung.

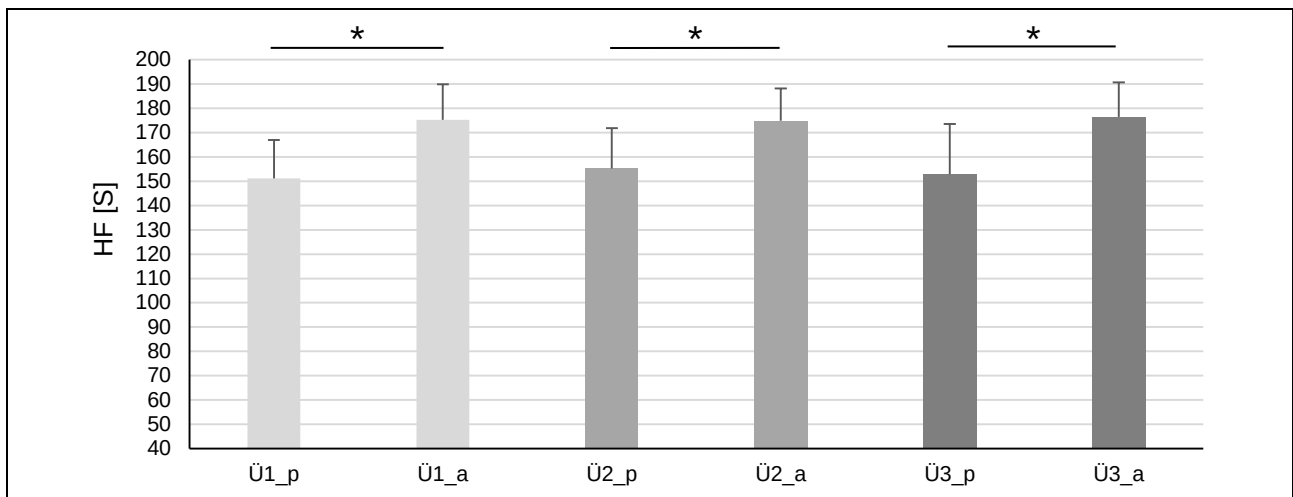


Abb. 50. Passive und aktive Maximalwerte der HF der Belastungsform 1minP aller Übungen, Vergleich innerhalb der Übungen: * = sign. Unterschied

Innerhalb der Übungen konnte erneut ein signifikantes Ergebnis zwischen der aktiven und passiven Phase bestimmt werden, Ü1: $Z(N=8) = -2,524$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,89$; Ü2: $Z(N=9) = -2,666$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,89$; Ü3: $Z(N=8) = -2,524$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,84$.

Abbildung 51 verdeutlicht die Unterteilung der Belastungsform 1-1W in der 1. und 2. Minute und gibt die Verteilung der prozentualen VO_2 -Bereiche an.

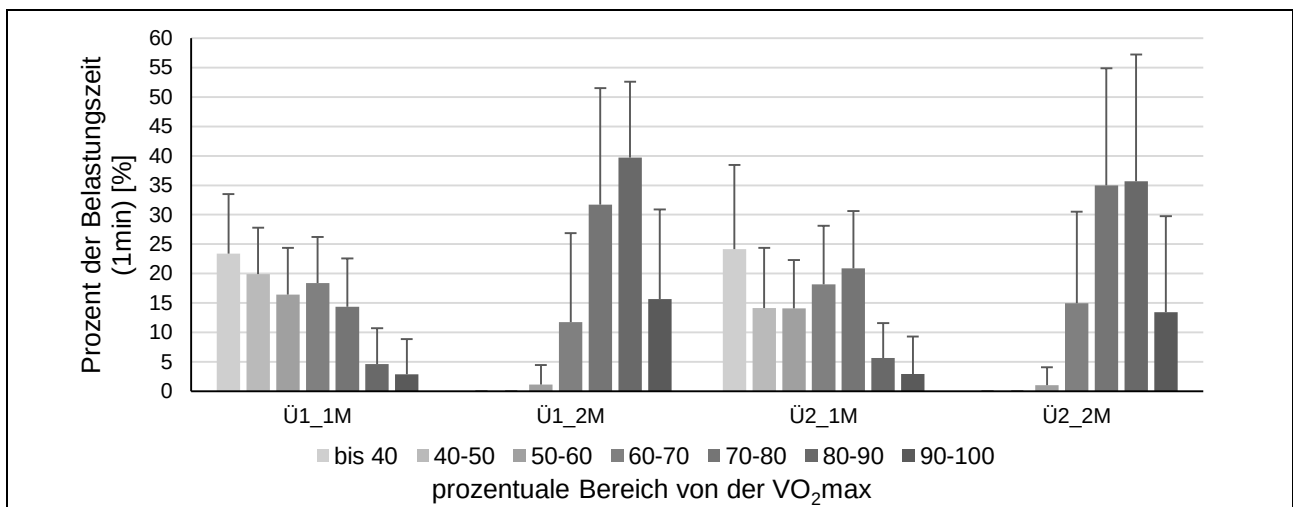


Abb. 51. Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der VO_2 anhand der VO_{2max} – Vergleich der Ü1 und Ü2 in der Belastungsform 1-1W in der 1. (1M) und 2. (2M) Belastungsminute, MW und SD

Ü1 und Ü2 verweisen auf ähnliche Ergebnisse. Eine besondere Auffälligkeit ist nicht ausfindig zu machen. Auch hier werden in der zweiten Minute vermehrt die höheren Intensitätsbereiche beansprucht.

Tabelle 22 gibt die gemittelten Höchstwerte über 15 Sekunden in der 1. und 2. Belastungsminute der beiden Übungen an.

Tab. 22. Gemittelte Höchstwerte der VO_2 in der 1. und 2. Belastungsminute aller Übungen der Belastungsform 1-1W, MW und SD

Übung	Belastungsform	1. Minute		2. Minute	
		$VO_2\text{max 15sec}$ [ml/min]	Prozent von $VO_2\text{max}$ [%]	$VO_2\text{max 15sec}$ [ml/min]	Prozent von $VO_2\text{max}$ [%]
Ü1	1-1W	2447 ± 220	$75,8 \pm 5,9$	2776 ± 303	$85,7 \pm 5,2$
Ü2	1-1W	2506 ± 268	$77,4 \pm 4,9$	2684 ± 329	$83,1 \pm 8,6$

Die Daten verdeutlichen eine ca. 10% größere Beanspruchung in der 2. Belastungsminute. Folgende grafische Abbildung verdeutlicht das Ergebnis.

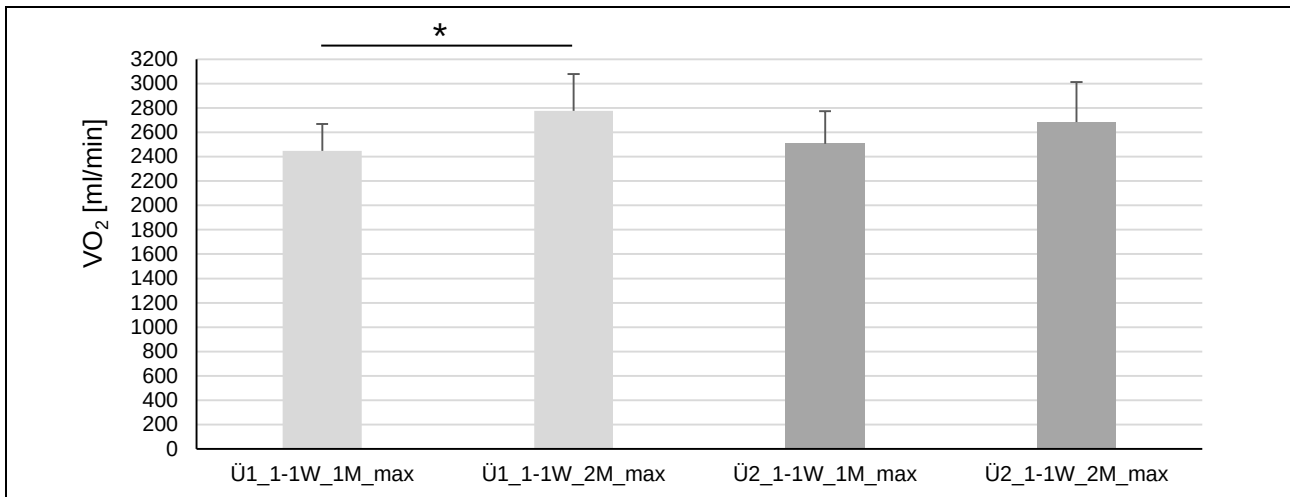


Abb. 52. Maximalwerte der VO_2 der 1. und 2. Belastungsminute der Belastungsform 1-1W aller Übungen, Vergleich innerhalb der Übungen: * = sign. Unterschied, MW und SD

Ein signifikanter Unterschied konnte nur für Ü1 ausfindig gemacht werden, $Z(N=9) = -2,666$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,89$.

Abbildung 53 gibt die Verteilung der beanspruchten HF in der Belastungsform 1-1W wieder.

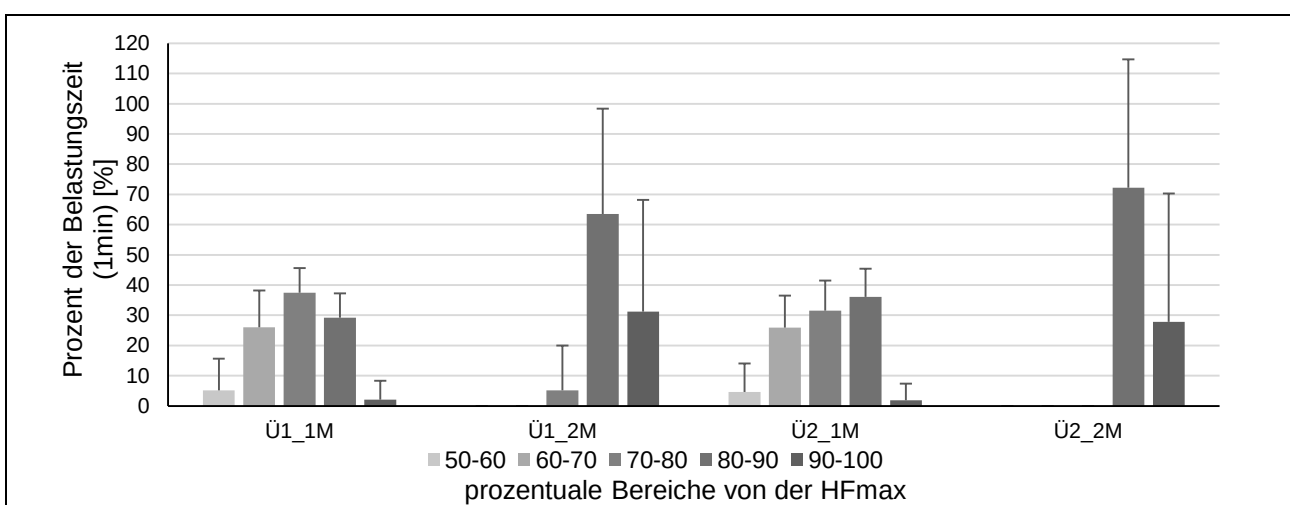


Abb. 53. Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der HF anhand der HFmax – Vergleich der Ü1 und Ü2 in der Belastungsform 1-1W in der 1. (1M) und 2. (2M) Belastungsminute, MW und SD

Auch die HF verweist auf ein ähnliches Bild, dass die zweite Belastungsminute höhere Belastungsbereiche fordert. Hierbei ist zu entnehmen, dass die zweite Belastungsminute in den Übungen fast ausschließlich mit einem HF-Bereich von 80-100% der HFmax abgedeckt wird.

Tabelle 23 verdeutlicht die Höchstwerte der HF aus der Belastungsform 1-1W.

Tab. 23. Gemittelte Höchstwerte der HF in der 1. und 2. Belastungsminute aller Übungen der Belastungsform 1-1W, MW und SD

Übung	Belastungsform	1. Minute		2. Minute	
		HFmax 15sec [S]	Prozent von HFmax [%]	HFmax 15sec [S]	Prozent von HFmax [%]
Ü1	1-1W	165 ± 12	84,4 ± 3,2	176 ± 11	90,3 ± 2,9
Ü2	1-1W	165 ± 11	85,3 ± 3,3	173 ± 11	89,2 ± 3,1

Die Werte zeigen eine ca. 5% größere Beanspruchung in der 2. Belastungsminute. Die grafische Auswertung vertieft das Ergebnis.

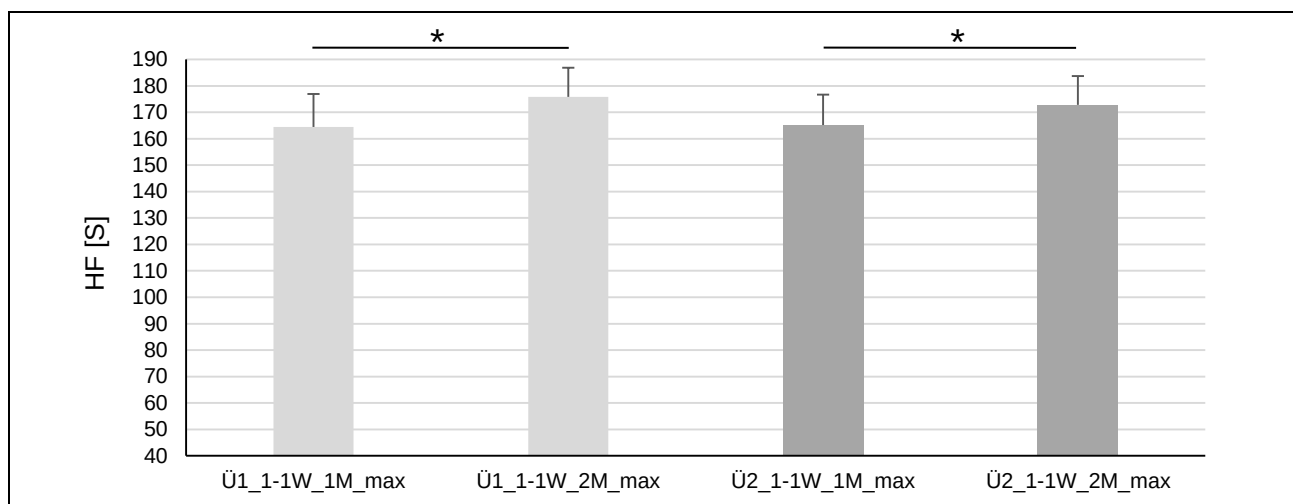


Abb. 54. Maximalwerte der HF der 1. und 2. Belastungsminute der Belastungsform 1-1W aller Übungen, Vergleich innerhalb der Übungen: * = sign. Unterschied, MW und SD

Die statistische Prüfung konnte innerhalb der Übungen einen signifikanten Unterschied eruieren, Ü1: $Z(N=8) = -2,527$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,89$; Ü2: $Z(N=9) = -2,699$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,90$.

Abbildung 55 und 56 zeigen die Verteilung der Beanspruchungsbereiche der VO_2 und der HF von Ü3 mit der Belastungsform 3minP.

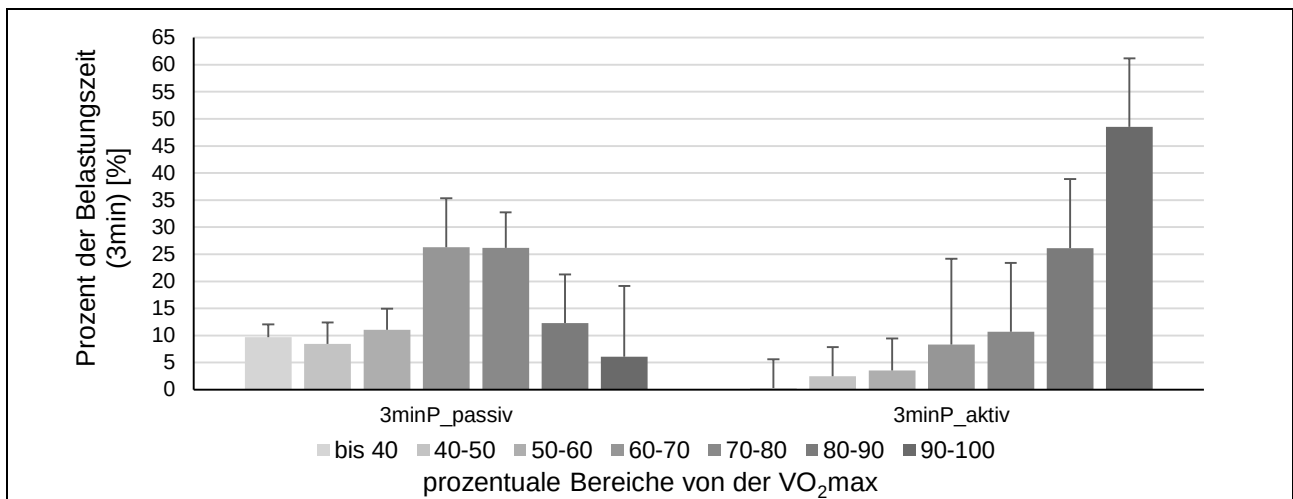


Abb. 55. Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der VO₂ anhand der VO₂max von Ü3 mit der Belastungsform 3minP, aufgeteilt in aktiven und passiven Bereich, MW und SD

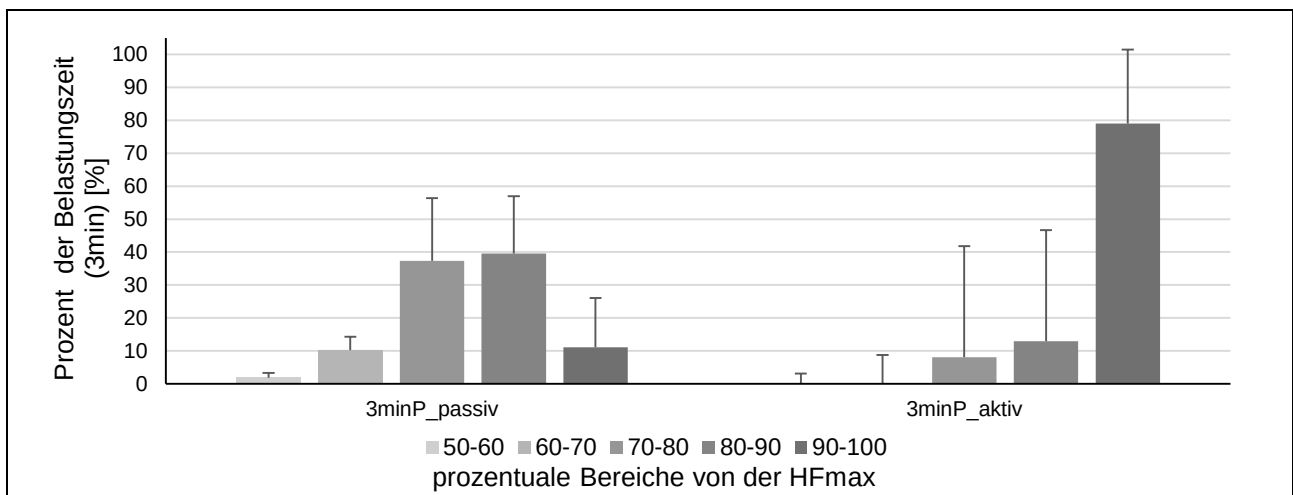


Abb. 56. Deskriptive Darstellung der prozentualen Intensitätsverteilung der HF anhand der HFmax von Ü3 mit der Belastungsform 3minP, aufgeteilt in aktiven und passiven Bereich, MW und SD

Die Abbildungen verdeutlichen ein ähnliches Verhalten wie bei den anderen Belastungsformen, dass die aktive Phase sich deutlich von der passiven unterscheidet. Während in der ersten Belastungszeit der Großteil submaximal abgedeckt wird, fordert der aktive Belastungsteil zum Großteil die maximale Leistungsfähigkeit. Tabelle 24 gibt die ermittelten Höchstwerte der VO₂ und der HF wieder.

Tab. 24. Gemittelte Höchstwerte der VO₂ und der HF im passiven und aktiven Arbeitsbereich von Ü3 in der Belastungsform 3minP, * = sign. Unterschied, MW und SD

passiv		aktiv	
VO ₂ max 15sec [ml/min]	Prozent von VO ₂ max [%]	VO ₂ max 15sec [ml/min]	Prozent von VO ₂ max [%]
2575 ± 350	79,6 ± 8,3	3171 ± 448*	97,5 ± 5,8
HFmax 15sec [S]	Prozent von HFmax [%]	HFmax 15sec [S]	Prozent von HFmax [%]
167 ± 17	86,1 ± 6,3	189 ± 9*	97,6 ± 1,5

Die aktive Phase unterscheidet sich in beiden Parametern signifikant von der passiven Phase, VO_2 : $Z(N=9) = -2,666$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,89$; HF: $Z(N=9) = -2,668$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,89$. Die Höchstwerte erreichen fast die maximale Leistungsfähigkeit.

Folgend sind die Vergleiche der Höchstwerte innerhalb der Übungen mit ihren unterschiedlichen Belastungsformen dargestellt.

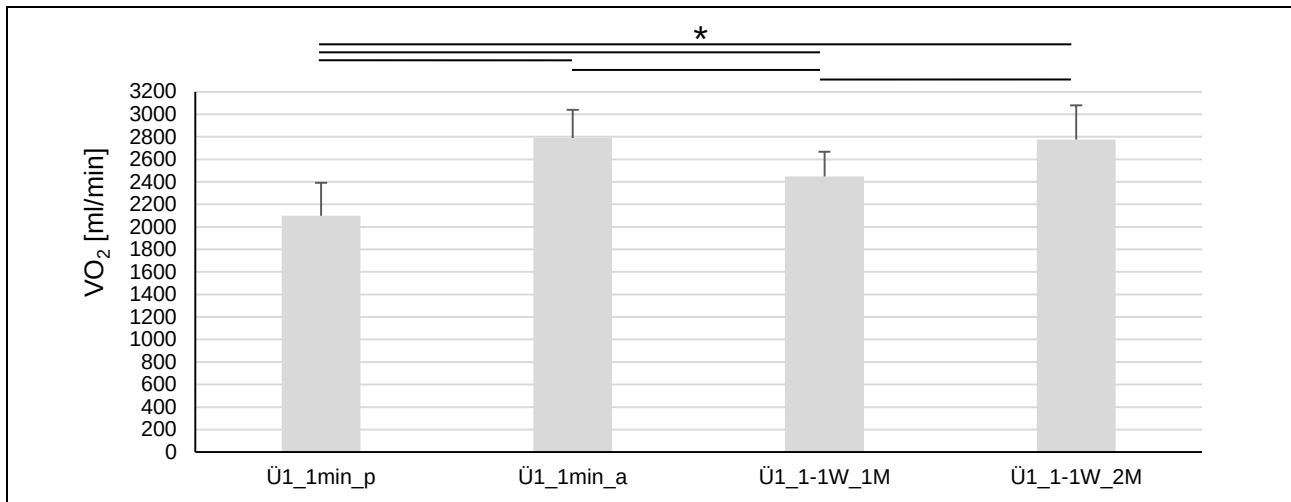


Abb. 57. Maximalwerte der VO_2 der Ü1 aus der ersten und zweiten Belastungsphase der Belastungsformen 1minP und 1-1W, p = passiv, a = aktiv, 1M = 1. Minute, 2M = 2. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD

Für die VO_2 unterscheiden sich in Ü1 alle Belastungsphasen untereinander, außer die zweiten Belastungsphasen der unterschiedlichen Belastungsformen, bei $p \leq 0,0125$ mit den Effektstärken von größer $r_{ES} = 0,81$. Ein detaillierter Überblick befindet sich in Anhang N.

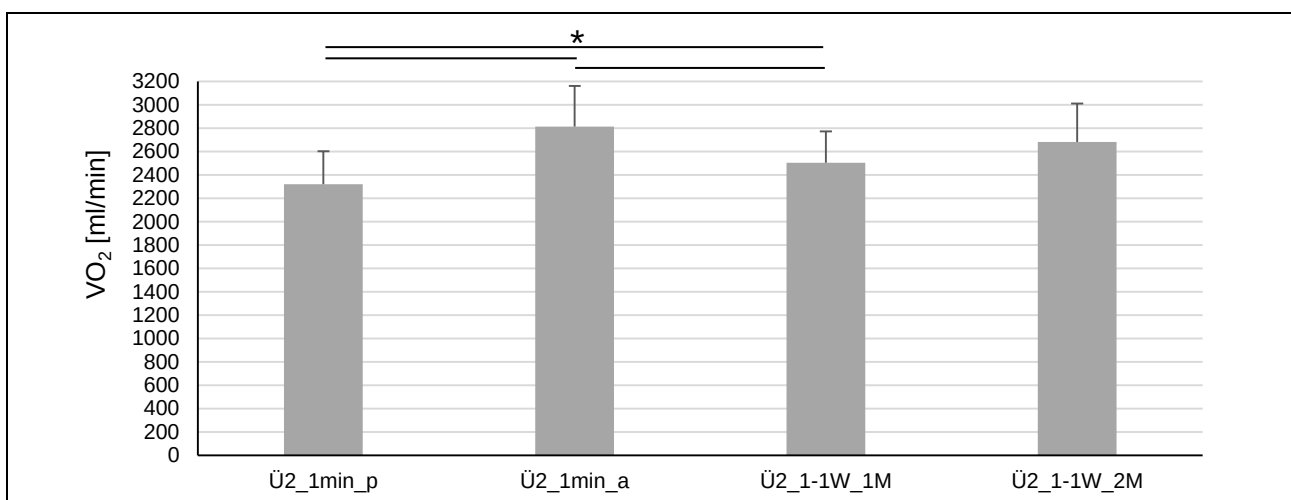


Abb. 58. Maximalwerte der VO_2 der Ü2 aus der ersten und zweiten Belastungsphase der Belastungsformen 1minP und 1-1W, p = passiv, a = aktiv, 1M = 1. Minute, 2M = 2. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD

Auch in Ü2 wurde kein Unterschied in der zweiten Belastungsphase zwischen den Übungsformen ausfindig gemacht. Unterschiede weisen jeweils die ersten Belastungsphasen beider Belastungsformen zur aktiven Phase der Belastungsform 1minP bei $p \leq 0,0125$ und $r_{ES} \geq 0,81$ auf, Anhang N.

Die folgenden Abbildungen präsentieren die HF der internen Übungsvergleiche.

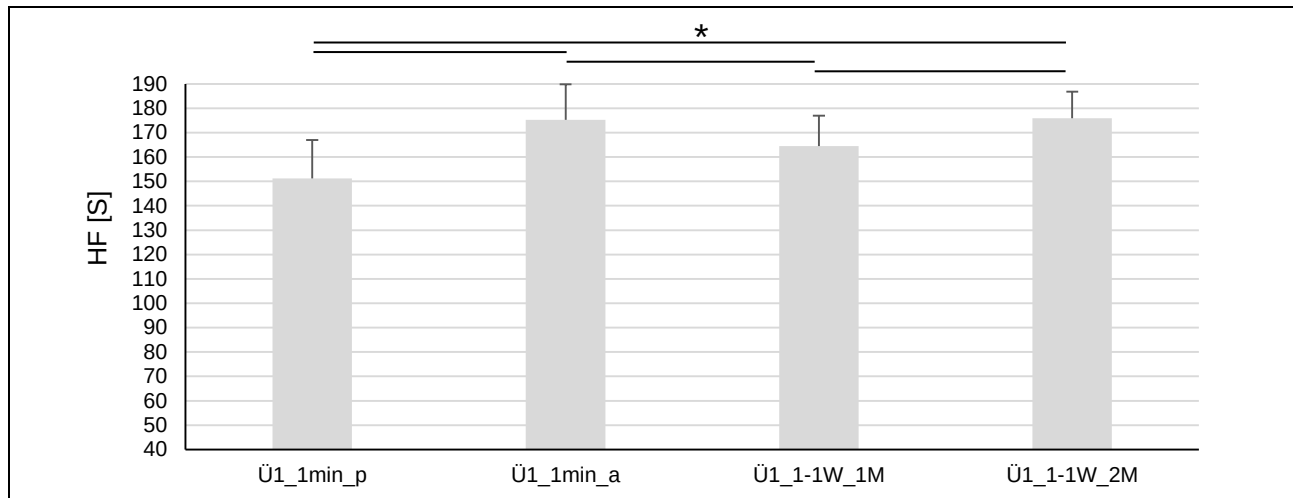


Abb. 59. Maximalwerte der HF der Ü1 aus der ersten und zweiten Belastungsphase der Belastungsformen 1minP und 1-1W, p = passiv, a = aktiv, 1M = 1. Minute, 2M = 2. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD

Auch die HF bestätigt das Bild für Ü1, dass sich die zweiten Belastungsphasen nicht durch die Belastungsform unterscheiden. Hingegen zur VO_2 unterscheiden sich auch die ersten Belastungsphasen zwischen den Übungsformen nicht voneinander. Alle anderen Belastungsphasen verweisen bei $p \leq 0,0125$ und $r_{ES} \geq 0,89$ auf einen Unterschied, Anhang N.

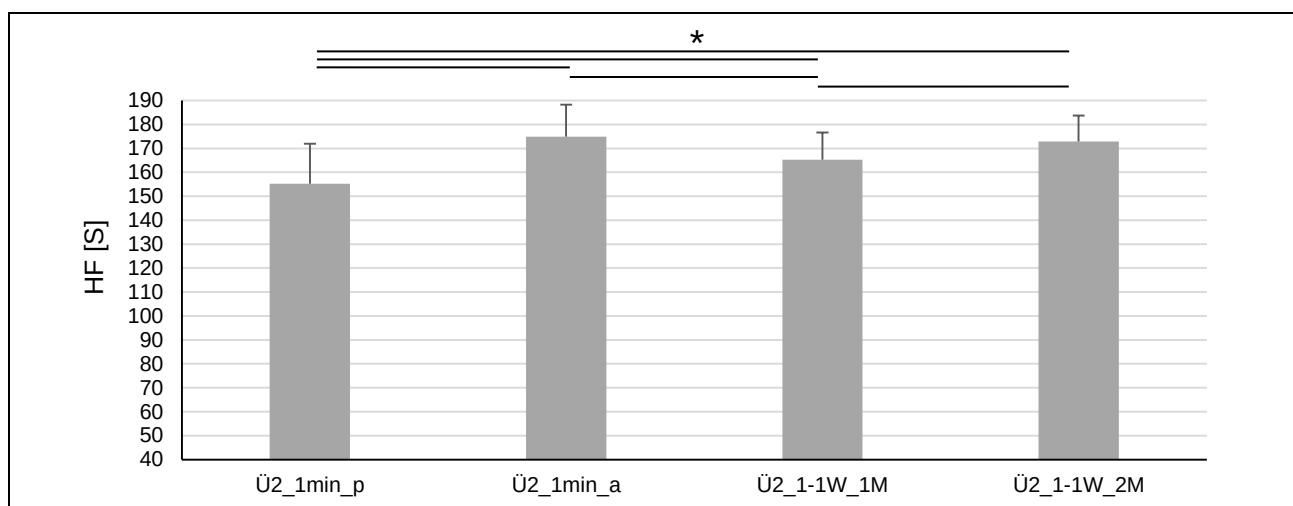


Abb. 60. Maximalwerte der HF der Ü2 aus der ersten und zweiten Belastungsphase der Belastungsformen 1minP und 1-1W, p = passiv, a = aktiv, 1M = 1. Minute, 2M = 2. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD

Ü2 verweist auf ein ähnliches Bild. Es konnte überall ein Unterschied bestimmt werden, außer bei der zweiten Belastungsphase beider Belastungsformen, bei $p \leq 0,0125$ und $r_{ES} \geq 0,84$, Anhang N.

Weiterführend sind die Maximalwerte der ersten Belastungsphase aller Übungen und Belastungsformen von der VO_2 und der HF gegeneinander aufgetragen. Im Anschluss erfolgt die Gegenüberstellung von der zweiten Belastungsphase.

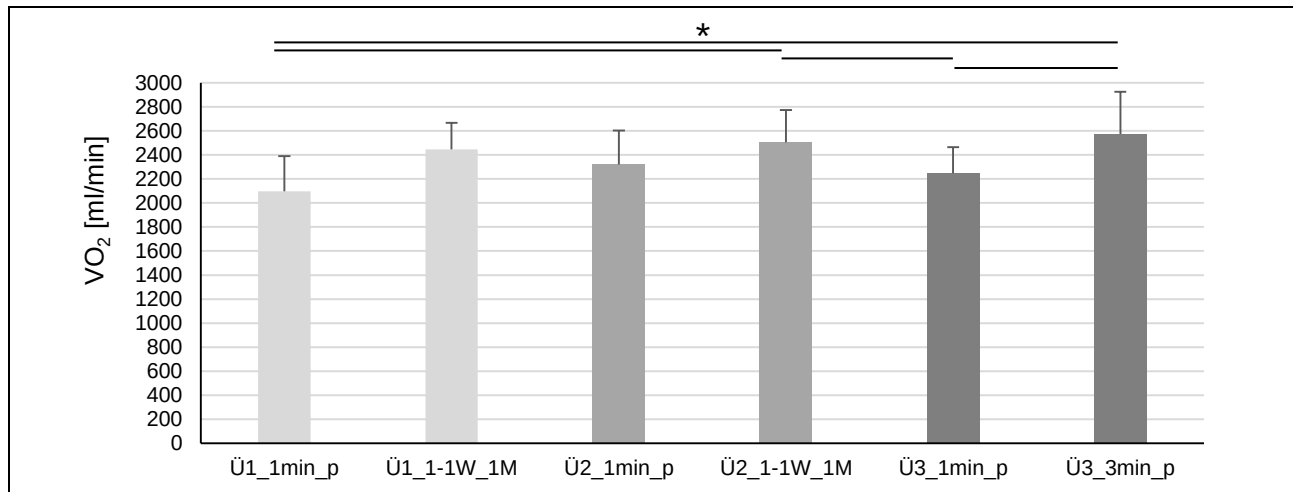


Abb. 61. Maximalwerte der VO_2 aller Übungen und Belastungsformen der ersten Belastungsphase, p = passiv, 1M = 1. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD

Nach der Bonferroni-Korrektur weisen nur 4 von 15 Vergleichen einen signifikanten Unterschied bei $p \leq 0,008$ und $r_{ES} \geq 0,85$ aus, Anhang N. Entsprechend unterscheiden sich die maximalen Beanspruchungen in der ersten Belastungsphase unabhängig von den Übungs- und Belastungsformen für die VO_2 zum Großteil nicht voneinander.

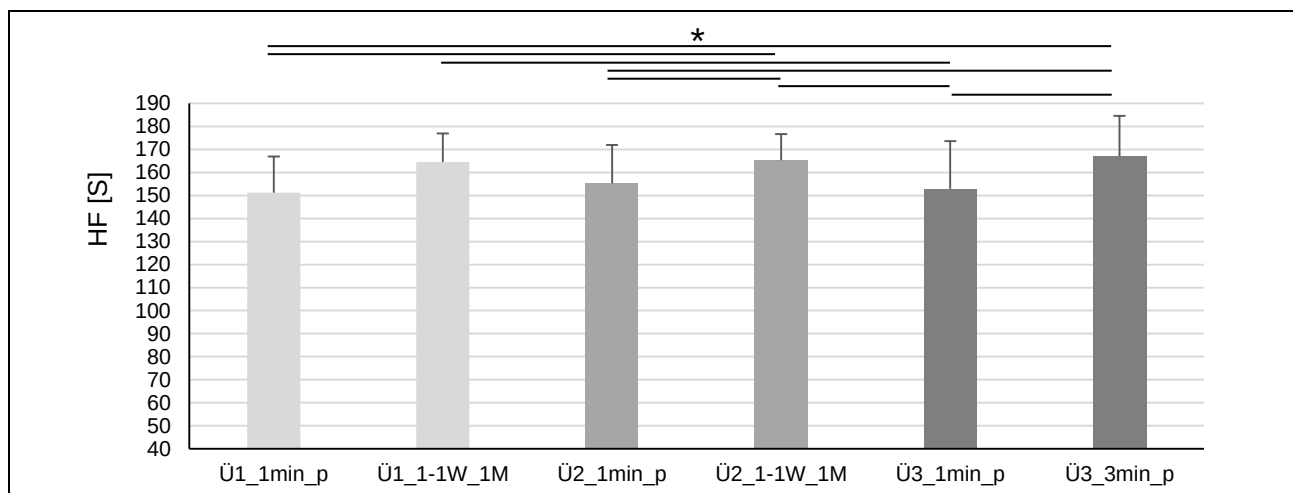


Abb. 62. Maximalwerte der HF aller Übungen und Belastungsformen der ersten Belastungsphase, p = passiv, 1M = 1. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD

Für die HF kann diese Annahme nicht geteilt werden. Hierbei kam es nach der Bonferroni-Korrektur zu 7 statistischen Unterscheidungen bei $p \leq 0,008$ und $r_{ES} \geq 0,84$, Anhang N. Vor allem die Maximalwerte der Belastungsform 1minP zeigen niedere Werte im Vergleich zu den anderen Belastungsformen 1-1W und 3minP. Folgende Abbildungen präsentieren den Vergleich der zweiten Belastungsphase.

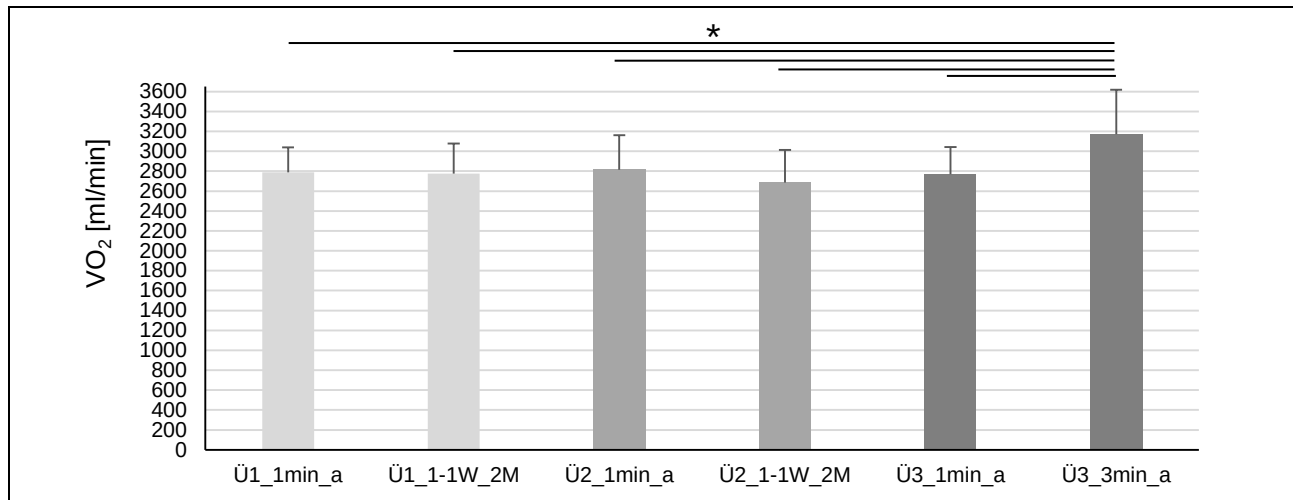


Abb. 63. Maximalwerte der VO₂ aller Übungen und Belastungsformen der zweiten Belastungsphase, a = aktiv, 2M = 2. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD

Die Analyse konnte für die VO₂ nach der Bonferroni-Korrektur ein signifikantes Ergebnis für Ü3 mit der Belastungsform 3minP gegenüber allen anderen Übungen und Belastungen bei $p \leq 0,008$ und $r_{ES} \geq 0,89$ aufweisen, Anhang N. Ein Unterschied zwischen den anderen Höchstwerten wurde nicht ausfindig gemacht.

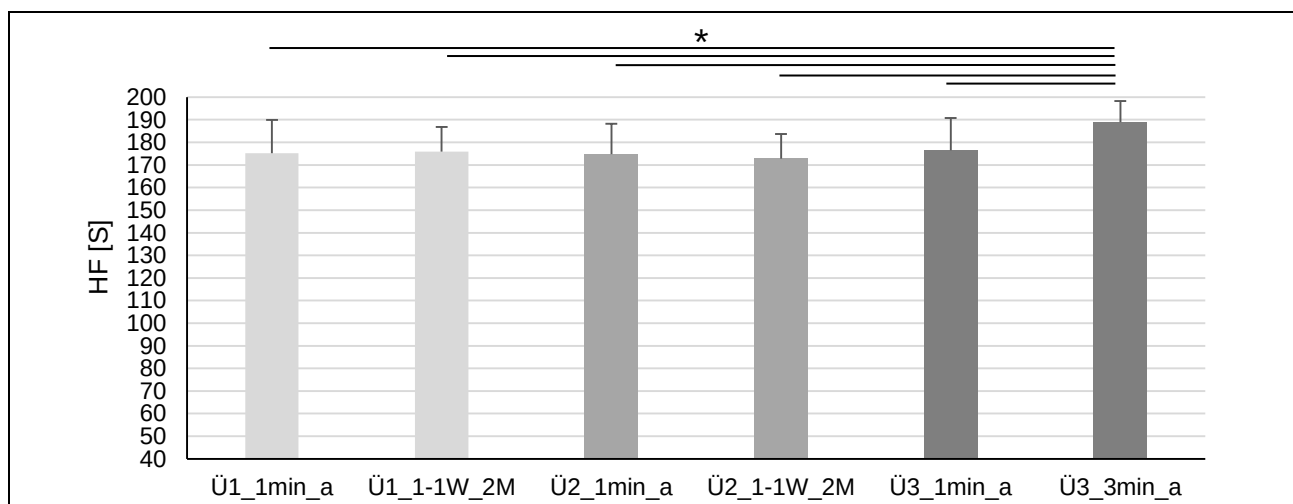


Abb. 64. Maximalwerte der HF aller Übungen und Belastungsformen der zweiten Belastungsphase, a = aktiv, 2M = 2. Minute, * = sign. Unterschied, MW und SD

Ein gleiches Bild zeigt auch die HF bei $p \leq 0,008$ und $r_{ES} \geq 0,89$, Anhang N.

Abschließend ist die Steady-State Bedingung der passiven Phase aus Ü3 mit der Belastungsform 3minP gegenüber den aktiven Phasen aller anderen Übungen mit den Belastungsphasen 1minP und 1-1W aufgetragen. Somit soll ein Einblick in die Auswirkung des Parameters Belastungszeit gewährt werden. Abbildung 65 gibt die VO_2 Angaben wieder.

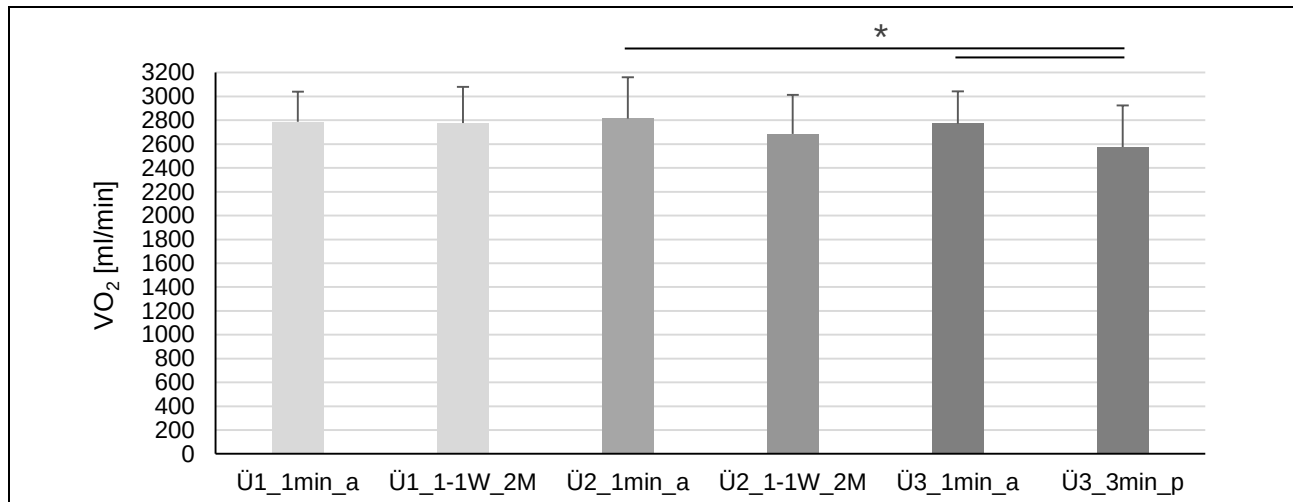


Abb. 65. Maximalwerte der VO_2 von der aktiven Phase aller Übungen in den Belastungsformen 1minP und 1-1W im Vergleich zur passiven Phase der Ü3 mit der Belastungsphase 3minP, * = sign. Unterschied, MW und SD

Die aktive Phase von Ü2 und Ü3 mit der Belastungsform 1minP weisen signifikante Unterschiede auf, Ü2: $Z(N=9) = -2,073$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,69$; Ü3: $Z(N=9) = -2,073$, $p \leq 0,05$, $r_{ES} = 0,69$. Ü1 weist in beiden Belastungsformen nur Tendenzen zum Unterschied auf. Abbildung 66 gibt die HFen des Vergleichs an.

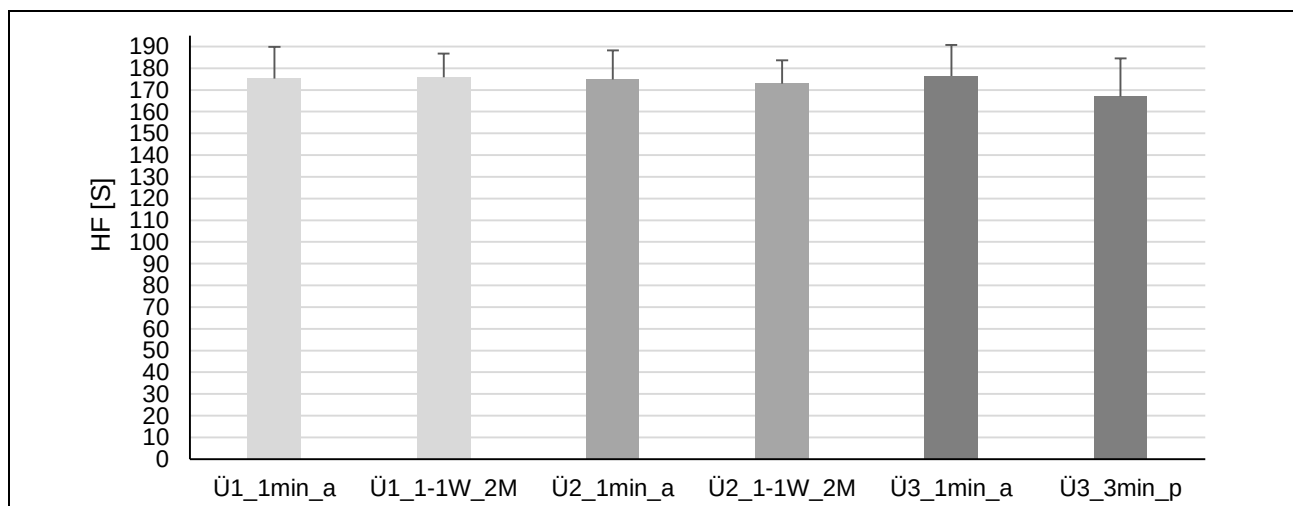


Abb. 66. Maximalwerte der HF von der aktiven Phase aller Übungen in den Belastungsformen 1minP und 1-1W im Vergleich zur passiven Phase der Ü3 mit der Belastungsphase 3minP, * = sign. Unterschied, MW und SD

Die statistische Prüfung konnte keinen Unterschied hervorbringen. Lediglich Ü2 mit der Belastungsform 1minP verweist auf eine leichte Tendenz zu einem signifikanten Ergebnis.

5.4 Übungsart als Wettkampfsimulation

Zum Vergleich als Wettkampfsimulation wurde gemäß der qualitativen Erhebung Ü3 über die Belastungsform 3minP durchgeführt. In den vorherigen Abschnitten wurden bereits die Verteilungen in der gesamten reinen Belastungszeit und in der jeweiligen passiven und aktiven Phase für die VO_2 und die HF dargestellt, Abbildung 40-41 und 55-56. Für den Vergleich zu einer Wettkampfbelastung ist jedoch nur die aktive Phase der Übung zu berücksichtigen. Dabei ist der HF zu entnehmen, dass ca. 92% der Belastungszeit von 3 Minuten in einem HF-Bereich von 80-100% der HFmax abgedeckt werden. Bei der VO_2 werden ca. 85% der Übungszeit in einem Bereich von 70-100% der $\text{VO}_{2\text{max}}$ beansprucht. Tabelle 25 gibt für beide Parameter die absoluten und relativen Mittelwerte der aktiven Phase von 3 Minuten des vollständigen Kollektivs wieder. Ihnen ist ebenfalls eine sehr hohe physiologische Auslastung zu entnehmen.

Tab. 25. MW und SD der aktiven Belastungsphase von Ü3 über 3 Minuten von den Parametern VO_2 und HF

Parameter	Wert
$\dot{x} \text{ VO}_2$ [ml/min]	2798 ± 376
$\dot{x} \text{ VO}_2$ von $\text{VO}_{2\text{max}}$ [%]	86,2 ± 5,2
$\dot{x} \text{ HF}$ [S]	180 ± 10
$\dot{x} \text{ HF}$ von HFmax [%]	93,1 ± 1,8

6 Diskussion

Im ersten Abschnitt dieses Kapitels werden mögliche Limitationen der Untersuchung diskutiert, inwiefern sie einen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Das Ziel soll es sein, die folgende inhaltliche Diskussion besser zu verstehen und bewerten zu können. Folgend werden die untergliederten Schwerpunkte gemäß der Ergebnisdarstellung in Anbetracht der Hypothesen diskutiert.

6.1 Limitationen der Studie

Bezug der Forschung

In der Sportart Karate-Kumite spielen die Parameter Taktik und Technik für den sportlichen Erfolg eine entscheidende Rolle. Auch die Psyche und weitere Faktoren haben ihren Anteil an der Leistungsfähigkeit eines Athleten. Entsprechend der Datenerhebung der ausschließlich physiologischen Parameter sind die Ergebnisse dieser Arbeit nur auf den physiologischen Bereich der Sportart zu beziehen.

Forschungsdesign

Aus Sicht der physiologischen Leistungsbereitschaft kann das Drei-Tage-Untersuchungskonzept kritisch betrachtet werden. In der Regel werden ein bis zwei belastungsfreie Tage vor Ausbelastungstests eingehalten, um eine vollständige Regeneration zu gewährleisten. Hierbei ist anzumerken, dass eine vollständige Erholung physiologisch nicht eindeutig zu diagnostizieren ist. Nichtsdestotrotz kann ein ermüdender Einfluss auf den zweiten Ausbelastungstest und das Training vermutet werden. Entsprechend der relativ kurzen maximalen Belastungszeiten der Ausbelastungstests wird die kumulierende Ermüdung als sehr gering eingeschätzt. Belegend hierfür kann die qualitative Erhebung der subjektiven Befindlichkeit vor der Belastung der Probanden herangezogen werden. Hierbei ist im Allgemeinen zwischen den Tagen kein Unterschied ausfindig zu machen, Tabelle 26.

Tab. 26. Subjektive Befindlichkeit vor der Belastung, 1 = ganz schlecht, 10 = sehr gut

Subjektive Befindlichkeit vor der Belastung [1-10]							
Aufteilung nach Ablauf: 1. Rad, 2. KST				Aufteilung nach Ablauf: 1. KST, 2. Rad			
Proband	Rad	KST	Training	Proband	KST	Rad	Training
1	8	8	8	3	7	8	8
2	7	8	8	5	7	7	4
4	10	10	10	6	5	6	4
8	9	9	9	7	8	8	7
				9	8	9	9

Auch bei der Betrachtung der Laktatwerte lässt sich eine Ermüdung nicht erschließen, Tabelle 27. Da oft am zweiten Untersuchungstag sogar höhere Laktatwerte erreicht wurden, ist eine Glykogenverarmung auszuschließen. Bei der subjektiven Rückmeldung der Probanden in Gesprächen war ebenfalls keine Überforderung zu entnehmen.

Tab. 27. Maximale Laktatwerte geordnet nach Randomisierung

Maximales Laktat [mmol/l]					
Aufteilung nach Ablauf: 1. Rad, 2. KST			Aufteilung nach Ablauf: 1. KST, 2. Rad		
Proband	Rad	KST	Proband	KST	Rad
1	8,79	5,97	3	9,09	12,70
2	11,50	11,70	5	8,72	10,50
4	8,67	6,16	6	8,47	13,90
8	12,30	9,77	7	12,1	12,20
			9	8,57	11,10

Weiterhin sind durch die Feldmessung die standardisierten räumlichen und Umgebungsbedingungen wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit nicht gegeben. Ein Einfluss kann diskutiert werden. Die Umgebungsbedingungen erfüllten jedoch immer die technischen Anforderungen der Messinstrumente. Aus organisatorischen Gründen und der Compliance der Probanden wurde das Drei-Tage-Konzept als effektiv und wissenschaftlich vertretbar eingeschätzt.

Fahrradergometrie

Bei der Fahrradergometrie kann kritisch angemerkt werden, dass die Rampe etwas zu steil konzipiert wurde. Speziell bei kleineren und leichteren Sportlern erschienen im entscheidenden Verlauf zur Ausbelastung die Schritte als zu groß. Die Wattzahl konnte nicht mehr getreten werden.

Einhergehend wurde davon ausgegangen, dass die Sportler mindestens 300 Watt erreichen. Dies war grundsätzlich auch der Fall, jedoch endete die 300 Watt Stufe bei Minute 8. Nicht alle Sportler konnten diese Stufe zu Ende fahren und hatten ihre Ausbelastung entsprechend vor der 8. Minute erreicht.

Weiterhin stellte auch die Umdrehungsanzahl von 90 gelegentlich eine sporttechnische Barriere der Probanden dar.

Bei einem erneuten Einsatz sollte die Rampe auf 25 Watt/Minute verkleinert werden. Hinzu ist bei der Bestimmung der Ausgangswattleistung darauf zu achten, dass die Belastung möglichst bis zu Minute 8 aufrechterhalten bleiben kann.

Training

Ein klassisches Karate-Kumite Training dauert im deutschen Raum erfahrungsgemäß zwischen 75 und 90 Minuten. Demnach kann die durchgeführte Trainingseinheit als zu kurz beurteilt werden. Aus dem methodischen Gründen, z.B. Akkuleistung der Spirometrie, konnte eine längere Einheit nicht konzipiert werden. Des Weiteren stellt die Angabe Leistung/Verbrauch zur Stunde einen vereinfachten Wert zum Vergleich dar. Abschließend kann eine Überforderung der Athleten ausgeschlossen werden. Der Hauptteil des Trainings wurde mit mehreren Pausen von 2 Minuten Länge unterbrochen. Dies wurde so konzipiert, um die Nachatmung der VO_2 je Übung und Belastungsform mit zu erfassen und gleichzeitig die Pausenlänge als typisch und vertretbar darzustellen. Aus den Rückmeldungen der Probanden konnte entnommen werden, dass die Übungsfrequenz in einem normalen Training etwas höher liegt und

die Pausen entsprechend etwas kürzer ausfallen. Folglich ist das konzipierte Training zwecks der wissenschaftlichen Vorhaben in seiner realen Anforderung etwas limitiert. Ebenfalls limitierte die Messtechnik aus Sicherheitsgründen für Proband und Technik bestimmte Übungsformen. Auch kam in persönlichen Gesprächen die Thematik der Trainingsinhalte zur Periodisierung mit auf und wurden diskutiert.

Es zeigt sich, dass die Forschung nur zu Teilen ein klassisches Karate-Kumite Training abdecken konnte. Nichtsdestotrotz verweist die subjektive Beurteilung der Probanden, dass die Tendenz zu einem ihnen gewöhnlichen Training gegeben ist, Tabelle 15. Hierbei ist auch zu bedenken, dass die Probanden bei unterschiedlichen Trainern trainieren, die ihre eigene Trainerphilosophie verfolgen. Demzufolge kann festgehalten werden, dass eine realistische und überzeugende Abbildung eines Karate-Kumite Trainings für wissenschaftliche Zwecke erreicht wurde.

Blutlaktatkonzentration

Aus organisatorischen Gründen war es nicht möglich die Blutlaktatproben unmittelbar nach der Messung auszulesen. So wurden manche Proben bis zu 64 Stunden kühl gelagert (7°C), bevor sie gemessen wurden. Eine Veränderung der Konzentration von Abnahme bis zum Auslesen ist möglich. Jedoch wurde hierzu keine Untersuchung in der Recherche gefunden, die einen Verlauf der Laktatkonzentration nach Abnahme über mehrere Tage dokumentierte.

Laktatabnahme im Training

Um einen normalen flüssigen Trainingsbetrieb zu gewähren, wurde auf die Abnahme von Blut zur Bestimmung der Laktatkonzentration im Trainingsverlauf verzichtet. Hinzu ist die Aussagekraft stark zu hinterfragen, da die Messung einen natürlichen Zeitversatz zur Belastung aufweist. Des Weiteren wird Laktat auch als Energieträger weiter verstoffwechselt (Wahl et al., 2009). Entsprechend erschwert dies die Aussagekraft, wieviel Energie wirklich aus der Glykolyse für eine bestimmte Übung resultiert. Die Ausgangsbedingungen sind für diese Aussagen nicht evident. Es kommt zu einem großen Mischverhältnis und die Grenzen verschwimmen. Ein Schluss wäre wissenschaftlich nicht fundiert.

Demnach wurde für die Bewertung des Trainings und der Übungen und für die Berechnung des Energieumsatzes lediglich die VO_2 zu Rate gezogen. Entsprechend resultiert der Fehler aus der Nichtberücksichtigung der Laktatbildung. Nach Di Prampero (1981) entspricht dies dem Sauerstoffäquivalent von 3,0 ml VO_2 je kg für 1 mmol/l Laktat. Da der Forschungsstand eine dominierende aerobe Energiebereitstellung für Karate-Kumite-Belastungen von 3 bis 5 Minuten ausweist und der glykolytische Einfluss mit andauernder Belastung abnimmt (Beneke et al., 2004 ; Doria et al., 2009), ist im Training noch von einem sehr viel größeren aeroben Anteil auszugehen. Hinzu wird jede Laktatverstoffwechselung der aeroben Energiebereitstellung zugeschrieben. Demnach wird der Fehler des Ausschlusses der Laktatbildung bzw. der Glykolysetätigkeit bezogen auf das gesamte Training als sehr gering bewertet.

Weiterführend kann Laktat als Intensitätsparameter kritisch hinterfragt werden. Neben der Glykogenabhängigkeit gibt die Blutlaktatkonzentration keine Aussage über die periphere Sauerstoffumsetzung in den Mitochondrien.

Spirometrie K4 b²

Als weiteres Kontrollinstrument zur Überprüfung und Bewertung der erhobenen Daten wurde unmittelbar nach der Kalibration und nach dem Testende die Gaskonzentration des Referenzgases an der K4 b² zur Überprüfung gegengemessen. Weiterführend wurde im Verlauf der praktischen Arbeit, eine Gegenmessung nach dem jeweiligen Test über ca. 30 Sekunden im Messmodus ergänzend durchgeführt. Bezüglich der komplexen Arbeitsschritte an einem Messtag kam es vor, dass gelegentlich die Gegenmessungen ausgeblieben sind.

Es wurden 58 von 81 Gegenmessungen vorgenommen. Dies entspricht $\approx 72\%$. Anhang I verdeutlicht die Übersicht für den KST, die Fahrradergometrie und das Training. Für die Sauerstoffkonzentration ist die größte mittlere Abweichung $-1,1\%$. Demnach wird der Sauerstoffsensor des Gerätes als sehr Robust und ohne zeitlichen Shift bewertet. Die größte mittlere Abweichung der Kohlenstoffdioxidkonzentration nach der Datenerhebung beträgt $4,9\%$. Den Übersichten ist zu entnehmen, dass die Messungen unmittelbar nach der Kalibrierung nur geringfügige Abweichungen bis zu $0,35\%$ aufweisen. Entsprechend verweist der CO₂ Sensor auf einen leichten zeitlichen Shift zur Unterschätzung der CO₂ Werte. Die Mittlungen streuen von $\approx 1-5\%$. Trotz Shift ist die Abweichung als gering zu beurteilen. Des Weiteren wurden die CO₂ Werte nur für die Bestimmung der RQen in den Ausbelastungsverfahren genutzt. Schlussfolgernd ist das herangezogene System hinsichtlich der Qualität seiner Sensoren als sehr gut zu bewerten.

Die Relativwerte der VO₂ in den Ausbelastungstests fallen recht gering aus. Für die Fahrradergometrie und dem KST wurden im Mittel ca. 42 ml/min*kg bestimmt. Der Minimalwert des Kollektivs liegt bei der Fahrradergometrie bei $\approx 36 \text{ ml/min*kg}$ und beim KST bei $\approx 34 \text{ ml/min*kg}$. Die Theorie verweist deutlich darauf, dass Karate-Kumite eine aerob-basierende Sportart ist (Kapitel 2.4). Entsprechend stehen die Werte nicht im Verhältnis zum Trainingsumfang des Kollektivs und nicht im Verhältnis zu den dargestellten Normwertangaben (Kapitel 2.2). Einhergehend wird davon ausgegangen, dass das Messgerät die Absolutwerte um ca. 10% unterschätzt. Eine mögliche Ursache wäre die Messung im Akkubetrieb. Jeder Test wurde mit dem identischen Messsetup in Form von der Akkukalibrierung und -messung und dem gleichen spirometrischen Gerät durchgeführt. Es wurde vermutet, dass im Akkubetrieb eine geringere Spannung anlag und dies die Messung beeinflusste. Innerhalb der Untersuchungszeit wurde bei Proband 7 eine Woche nach der Feldmessung erneut die Fahrradergometrie mit identischem Stufenprotokoll durchgeführt. Hierbei kam wieder die Akkumessung zum Einsatz. Jedoch wurde eine andere K4 b² Einheit zur Messung herangezogen. Es wurde eine identische Wattleistung erreicht. Die VO₂ Werte unterlagen der physiologischen Streuung:

Feldtest: Rad: $rVO_{2max} = 45,51 \text{ ml/min*kg}$, Laktat = $12,2 \text{ mmol/l}$; KST: $rVO_{2max} = 45,31 \text{ ml/min*kg}$, Laktat: $12,1 \text{ mmol/l}$; Nachtest: $rVO_{2max} = 48,70 \text{ ml/min*kg}$, Laktat = $15,1 \text{ mmol/l}$; Abw. $rVO_{2max} = 6,5\%$. Ein Fehler in der Messtechnik konnte somit ausgeschlossen werden. Eine weitere Woche später wurde eine Laufbanddiagnostik mit einem Rampenprotokoll bei Proband 7 durchgeführt. Hierbei kam die K4 b² Einheit der Feldmessungen zum Einsatz, jedoch unter Strombetrieb. Es konnte eine rVO_{2max} von $61,42 \text{ ml/min} * \text{kg}$ erfasst werden. Wird ausgehend von den $61 \text{ ml/min} * \text{kg}$ eine 10% Abweichung zur Fahrradergometrie und ebenfalls eine 10% Abweichung aus dem Strombetrieb subtrahiert, ergibt sich eine VO_2 von $48,8 \text{ ml/min} * \text{kg}$. Schlussfolgernd kann für die Auswertung postuliert werden, dass die Absolutwerte ca. 10% unterschätzt sind. Da immer mit dem gleichen Messsetup agiert wurde, gilt dies für die gesamte Untersuchung und für alle Daten der VO_2 . Demnach sind die Vergleiche mit den erhobenen Daten innerhalb des Kollektivs möglich. Die Angaben der Relativwerte in Prozent erhalten durch den identischen Messablauf keine Einschränkungen. Hinzu konnten binnen 3 Tagen jeweils identische Maximalwerte mit geringen Streuungen für jeden Proband bestimmt werden (Rad, KST, Training). Demzufolge ist eine gewisse Robustheit des Messsetups abzuleiten. Es wurden keine Unregelmäßigkeiten erkannt. Somit sind die Relativwerte in Prozent als valide anzusehen und für den Vergleich zu wissenschaftlichen Forschungen geeignet.

Bearbeitung der VO_2 Umsätze je Übung

Wie beschrieben, wurde die Nachatmung der VO_2 je Übung für die Auswertung mit herangezogen, um den größtmöglichen Gesamtenergieverbrauch in Form von Sauerstoff zu erfassen. Über eine klare Definition der Auswertung wurde versucht das Vorgehen zu standardisieren, um den Vergleichen eine größere Aussagekraft zu geben. Es wurden nur die Daten von „Baseline zu Baseline“ herangezogen. Dennoch kann eine Beeinflussung einer vorherigen Übung auf die andere Übung in Form auf eine erhöhte Baseline nicht ausgeschlossen werden. Vor allem wenn Ü3 als erstes oder zweites durchgeführt wurde, kam es durch die Belastungsform 3minP zu Teilen zu Erhöhungen der Baselines. Entsprechend war die Pausenzeit zu kurz bzw. die Übung zu intensiv für die wissenschaftliche Konzeption des Trainings.

Ermittlung der Höchstwerte in den Belastungsphasen

Gemäß Abschnitt 4.6, wurde zur Beurteilung der Beanspruchung innerhalb der ersten und zweiten Belastungsphase jeder Übungsausführung die höchsten zusammenhängenden 15 Sekunden gewählt. Kritisch zu sehen ist die kurze Zeit einer Steady-State Bildung für die VO_2 und die HF. Die Theorie weist bis zu 3 Minuten aus (Kapitel 2.3). Dagegen ist die Einstellung aber auch intensitätsabhängig. Aufgrund der gewählten kurzen Belastungszeit ist es möglich, dass sich nicht das repräsentative Steady-State jeweils ausgebildet hat. Im Studiendesign wurde sich hingegen aber für die typische Trainingsausführung in Anlehnung an die qualitative Erhebung

entschieden, um dem Realitätsbezug mehr zu entsprechen. Demzufolge können die Werte der ausgewiesenen Steady-State Bedingungen Limitierungen darstellen.

6.2 Der KST als leistungsdiagnostische Testform

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die VO_2max und die rVO_2max sich nicht von der Fahrradergometrie unterscheiden. Entsprechend kann der KST zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit herangezogen werden. Die Korrelationsanalyse und die Betrachtung nach Bland & Altman verweisen darauf, dass der KST ein valides Messinstrument für die VO_2 darstellt. Auch die Parameter VE_{max} und Borg zeigten keinen Unterschied.

Einen signifikanten Unterschied präsentierte die HF, trotzdem die Korrelation einen statistisch bestätigten sehr großen Zusammenhang aufzeigte. Der KST erzielte eine durchschnittlich höhere HF. Die Diskrepanz ist womöglich aus dem Rampenprotokoll der Fahrradergometrie zu erklären. Wie beschrieben, waren die Wattsprünge sehr hoch angesetzt. Die kardiale Anpassung zur Belastung bedarf einer gewissen Zeit bis zum Steady-State. Entsprechend wird vermutet, dass die Stufenzeit zu kurz bzw. die Wattleistung zu hoch gewählt war und somit die kardiale Leistungsfähigkeit der Beanspruchung immer etwas hinter hinkte. Auf der anderen Seite ist es im Allgemeinen bekannt, dass die HF in der Fahrradergometrie geringer ausfallen kann als bei stehenden körperlichen Belastungen wie z.B. beim Lauf (Marées et al., 2003, S. 455; Heck, 1990a, S. 124). Dementsprechend kann auch für den KST eine höhere HF angenommen werden. Um den Unterschied genau bestimmen zu können, wäre die Messung des HMV und einhergehend die Bestimmung des SV gewinnbringend. Aufgrund beschriebener methodischer Schwierigkeiten in Kapitel 2.2 wurde die Erhebung in der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt und stellt eine Limitation dar. Ein weiterer Unterschied konnte im Laktatmaximum ausfindig gemacht werden. Hierbei erreichten die Sportler beim KST im Mittel niedrigere Laktatwerte als bei der Fahrradergometrie. Durch den vermehrten Einsatz unterschiedlicher Muskelgruppen beim KST und somit auch ihrer Aktivierung und ihrem Bedarf an Energie, scheint Laktat schneller verstoffwechselt zu werden. Hinzu könnte auch das intermittierende Belastungsverhalten zwischen Anspannung und Entspannung zu verbessertem Abtransport beitragen, während bei der Fahrradergometrie die muskuläre Anspannung immer weiter steigt.

Die Hypothese 1 kann anhand der Ergebnisse nur zu Teilen verifiziert werden.

H1: Die Parameter VO_2 , HF und Laktat aus den Ausbelastungstest Rad und KST unterscheiden sich nicht voneinander.

Wie beschrieben ist ein ausschlaggebender Punkt womöglich das Rampenprotokoll der Fahrradergometrie. In der Studie von Tabben et al. (2014b) wurde ein Stufenprotokoll mit 30 Watt Steigerung alle 3 Minuten gewählt. Bezüglich der VO_2max bestätigt die vorliegende Untersuchung die Ergebnisse von Tabben et al. (2014b)

und der KST ist als Karate-Kumite spezifisches Testelement zur Bestimmung der maximalen aeroben Leistungsfähigkeit geeignet.

Trotzdem der spezifische Test sich als anwendbar erwies, besitzt er Entwicklungspotenzial. In der Originalliteratur von Tabben et al. (2014b) könnte eine noch detaillierte Beschreibung des Aktionsendes erfolgen. Muss der Sportler binnen 3 Sekunden den Fußtritt an der Pratze haben, auf dem Boden abgesetzt haben oder mit seinem gesamten Körper hinter der Linie sein? Hinzu wird das Aktionszeitfenster als zu groß betrachtet. In der Messung war auffallend, dass die Athleten keine Schwierigkeiten hatten dieses einzuhalten. Auch zum Ende bei hohen Schlagzahlen nicht, wobei aber die Geschwindigkeit der Probanden abgenommen hat. Die subjektive Schlagkraft blieb hingegen gleich. Die Sportler kompensierten die Kraft in dem sie die Techniken mehr geschoben haben. Trotz der langsameren Ausführung war es ihnen immer möglich im Zeitfenster zu bleiben.

Wahrscheinlich auch aus diesem Grund, konnte fast jeder Proband den Test vollständig absolvieren. Bei der Untersuchung von Tabben et al. (2014b) erreichten die Probanden durchschnittlich Level 7. Ob sie wirklich mit internationalen Topathleten gearbeitet haben und die Ausführungsform an der WKF angelehnt war, ist fraglich. In der vorliegenden Untersuchung erzielten manche Sportler nach Borg nicht ihre vollständige Auslastung. Entsprechend ist der Test in diesem Fall limitiert. Er sollte so konzipiert sein, dass auch Leistungssportler ihre Maximalleistung erreichen können. Einhergehend kann nach dem Ergebnis dieser Untersuchung geschlossen werden, dass der Test zeitlich zu lang ist. Werden die Arbeiten von Astorino et al. (2004), Buchfuhrer et al. (1983), Kroidl et al. (2010), Thoden (1991) und Yoon et al. (2007) herangezogen, sollten die Sportler zwischen der 8. und 12. Minute zur Ausbelastung kommen. Die Konzeption auf 15 Minuten stellte womöglich den erweiterten Bereich für sehr gute Sportler dar. Nach dieser Untersuchung sollte jedoch die Belastungsstruktur überdacht werden, um die Sportler früher zur Ausbelastung zu bringen.

In Bezug zur Bestimmung der maximalen VO_2 stellte dies jedoch nur ein geringes Problem dar. Allgemein ist durch die Vorgabe jede Aktion wie im Wettkampf durchzuführen der Sauerstoffanstieg zum zeitlichen Verlauf sehr steil und gleicht einer Exponentialfunktion. Zu Beginn ist eine große Streuung des Verlaufes zu erkennen. Zum Ende des Tests stabilisiert sich die Sauerstoffkurve und fällt manchmal sogar leicht ab. Entsprechend wird die maximale VO_2 bereits sehr frühzeitig und zu Teilen weit vor der maximalen Auslastung erreicht. Die Athleten bewegen sich über einen sehr langen Zeitraum an ihrem Maximum. Bewegungskompensatorische Effekte könnten eine Erklärung sein. Auch die HF bestätigt dieses Ergebnis. Zwar ist bei ihr ein kontinuierlicher Anstieg zu erkennen, jedoch ist dieser sehr flach.

Ergo: Der KST ist zur Bestimmung von submaximalen Leistungsfähigkeiten, die auf physiologische Parameter zur Trainingssteuerung heruntergebrochen werden sollen, nicht geeignet.

Wird der KST für eine erneute Untersuchung eingesetzt ist das Aktionszeitfenster auf 2 Sekunden zu verkleinern. Weiterhin sollte das Ende der Aktion fest definiert

werden. Als Vorschlag wird hier angegeben, wenn der tretende Fuß wieder die Matte berührt. Weiterhin sollte das Belastungsprotokoll modifiziert werden. Eine kritische Rückmeldung der Probanden war das lange untypische Steppen auf der Stelle. Speziell zu Beginn des Tests sind die Pausenzeiten sehr lang. Es kam oft die Rückmeldung, dass der Test sehr die Wadenmuskulatur beansprucht. Die ersten 3 Level erschienen für die Untersuchung als überflüssig. Entsprechend könnte mit kürzeren Pausenzeiten gestartet werden. Ein langes eintöniges Steppen wäre vermieden. Die Belastungssteigerung sollte so konzipiert sein, so dass Wettkampfsportler auf nationalem und internationalem Niveau ihre Ausbelastung zwischen Minute 8 und 12 erreichen. Durch die Straffung der Belastungsstruktur wird vermutet, dass der Sauerstoffverlauf noch steiler von staten geht. Ein klassischer Verlauf wie bei einer Fahrradergometrie kann nicht erwartet werden. Vor allem durch die hohen Geschwindigkeiten/Technikfrequenzen einer einzelnen Aktion, wird vermutlich die zentrale Mitinnervation unmittelbar aktiviert, was einen sehr steilen Anstieg der VO_2 und HF mit sich führt. Entsprechend ist zu hinterfragen ob spezifische Testformen im Karate-Kumite das Ziel einer Bestimmung der submaximalen Leistungsfähigkeit aufweisen können bzw. es für die Sportart als sinnvoll angesehen werden kann. Eine Lösungsmöglichkeit für eine andere spezifische Testform ist Neumann (2014) zu entnehmen. Hierbei wird ein Parcoursablauf mit typischen Kampfelementen absolviert. Weitere Forschung wird aufzeigen, ob eine spezifische Testform einen progressiveren Verlauf der physiologischen Parameter erzielen kann, wodurch eine Trainingsableitung für submaximale Belastungsbereiche möglich ist. Ob diese Anwendung dann zielführend für das Training ist, bleibt die kommende Frage. Letztendlich ist der KST zur Bestimmung der spezifischen maximalen physiologischen Leistungsfähigkeit geeignet.

6.3 Beanspruchung einer Karate-Kumite Trainingseinheit

Das vorliegende Kapitel diskutiert das durchgeführte Training in seiner Gesamtbeanspruchung und betrachtet die entsprechenden Hypothesen.

Die subjektiven Bewertungen der Probanden konnten aufzeigen, dass es trotz methodischer Einschränkungen möglich war, eine typische Karate-Kumite Trainingseinheit abzubilden. Das Training war komplex aufgebaut mit klassischen Erwärmungselementen, Stabilitätsübungen, koordinativen Anteilen und spezifischen Karate-Kumite Übungen. Einhergehend kann der Bezug der Ergebnisse zur reinen Spezifik der Sportart Karate-Kumite hinterfragt werden. Auf der anderen Seite spiegelt das Training in der Gesamtheit und seinen vielfältigen Elementen eine annähernd reale tagtägliche Trainingssituation wieder und wurde erstmalig vollständig spirometrisch erfasst.

Da die statistische Prüfung zwischen den Ausbelastungstests für die VO_{2max} und die rVO_{2max} keinen Unterschied ergeben hat, wurde das Ausbelastungskriterium erfüllt, Kapitel 4.4. Demnach können die prozentualen Angaben zum Maximalwert als folgerichtig und aussagekräftig betrachtet werden.

Insgesamt konnte im Mittel der vollständigen Trainingseinheit eine VO_2 von $2030 \pm 217\text{ml}$ bestimmt werden. Dies entspricht einer Beanspruchung von $62,7 \pm 3,07\%$ von der $VO_{2\text{max}}$. Demnach kann Hypothese 3 bestätigt werden.

H3: Das vollständige Karate-Kumite Training wird mit einer durchschnittlichen Intensität von $>60\%$ der $VO_{2\text{max}}$ durchgeführt.

Das Ergebnis unterscheidet sich deutlich in den Durchschnittsdaten von Imamura et al. (1999) mit $47,4 \pm 5,9\%$. Hierbei wurde jedoch ein sehr breit gefächertes Training dargestellt mit Kihon, Kata und Kumite. Weiterhin sei erneut auf den methodischen Unterschied der diskontinuierlichen Messung mit dem Douglas-Sack verwiesen. Betrachtet man dennoch die Daten als gegeben, so ist festzuhalten, dass ein Karate-Kumite Training in der Ausführungsform in Anlehnung an die WKF höhere Intensitäten fordert als ein breit gefächertes Training mit allen elementaren Pfeilern des Karates.

Die Verteilung der Intensitätsbereiche der VO_2 aus der aktuellen Untersuchung zeigt, dass ca. 45 Minuten der gesamten Trainingszeit mit einer VO_2 von größer 50% der $VO_{2\text{max}}$ abgedeckt werden. Betrachtet man hierbei, dass allein die Pausenzeiten im gesamten Training 20 Minuten betragen, kann pauschal geschlussfolgert werden, dass jegliche Übungen in dem Training nach der ACSM einen biopositiven Stimulus hervorrufen (Thompson et al., 2010). Ein gleiches Ergebnis lässt sich der prozentualen Darstellung entnehmen, in der 70% der Trainingszeit mit über 50% der $VO_{2\text{max}}$ abgedeckt werden. Die am meisten geforderten Intensitätsbereiche liegen zwischen 60-80% und nehmen ca. 20 Minuten (ca. 35%) der Trainingszeit ein.

Für die HF konnte eine durchschnittliche Beanspruchung der gesamten Trainingseinheit von 151 ± 14 Schlägen ermittelt werden. Dies entspricht $77 \pm 5\%$ der HF_{max} und die Hypothese 2 kann bestätigt werden.

H2: Das vollständige Karate-Kumite Training wird mit einer durchschnittlichen Intensität von $>70\%$ der HF_{max} durchgeführt.

Die durchschnittlichen HF-Werte der vorgestellten Untersuchungen von Imamura et al. (1999), Milanez et al. (2010), Milanez et al. (2012) und Tabben et al. (2014a) streuen in ihren durchgeführten Trainingseinheiten um $ca. 70 \pm 2\%$ und unterschreiten somit den ermittelten Wert der vorliegenden Untersuchung um ca. 7%. Wie beschrieben, ist eine Ableitung der Trainingsart in diesen Forschungen schwer ausfindig zu machen. In den Untersuchungen von Milanez et al. (2010, 2012) und Imamura et al. (1999) ist vermutlich ein breit gefächertes Training von Kihon, Partnerübung und Randori durchgeführt worden. Am ehesten wettkampfspezifisch in der Karate-Kumite Form der WKF scheint die Untersuchung von Tabben et al. (2014a) zu sein. Des Weiteren unterscheiden sich die vorgestellten Untersuchungen in ihren Gesamtbelastungszeiten zur vorliegenden Untersuchung. So streuen die Zeiten von 65-90 Minuten. Durch eine längere Dauer könnte anhand von Ermüdung eine

geringere durchschnittliche HF resultieren. Auch die Belastungsstrukturen von z.B. 2-3 Minuten Aktivität, getrennt durch 30-60 Sekunden Pause differieren untereinander und zu dieser Untersuchung. Es wird die Vermutung aufgestellt, dass ein spezifisches Karate-Kumite Training in Anlehnung an die WKF höhere Intensitäten hervorruft. Die Werte stützen auch die Tendenz der voran beschriebenen VO_2 . Insgesamt wurden ca. 55 Minuten der Trainingseinheit in einem HF-Bereich von größer als dem biopositive Anpassungsbereich der ACSM von 60% der HFmax vollbracht (Thompson et al., 2010). Nach der Darstellung der Daten entspricht dies ca. 90% der Gesamttrainingszeit. Der häufigsten geforderten kardialen Leistungsbereiche liegen bei 70-90% der HFmax und nehmen eine Zeit von ca. 34 Minuten ein. Die Daten stützen und übersteigen die Untersuchung von Milanez et al. (2012) in der ca. 70% der Trainingseinheit mit 60% der HFmax absolviert wurden. Der Unterschied kann aus den unterschiedlichen Belastungsformen resultieren, die bei Milanez et al. (2012) nicht genau ausgewiesen sind. Schließlich bestätigt die vorliegende Forschung die Aussage von Milanez et al. (2012).

„...it is possible to state that the intensity of one karate TS with preserved ecological validity meets the recommendations of the ACSM concerning intensity, duration and weekly frequency, being an interesting alternative of physical exercise for promotion of cardiorespiratory fitness.“

Die Aussage wird hierbei mit der Darstellung des validen Intensitätsparameters VO_2 gestärkt. Entsprechend kann die Hypothese 10 bestätigt werden.

H10: Ein 2-3 maliges Karate-Kumite Training in der Woche über 60 Minuten erfüllt die Kriterien der ACSM zu einem gesundheitsfördernden Ausdauertraining.

Die Mindestanforderungen zur kardiopulmonalen und peripheren Adaptation in den Trainingsmaßzahlen Intensität (HF und VO_2), Dauer und Häufigkeit nach der ASCM werden erfüllt bzw. übertroffen (Thompson et al., 2010). Die individuelle Leistungsfähigkeit wird erhalten oder gar verbessert. Die Forschung bestätigt eindeutig die Berechtigung eines Karate-Kumite Trainings als präventive Aktivität für den physiologischen Bereich. Karate ist in Deutschland mit dem Konzept Budomotion über die Kampagne des Deutschen Olympischen Sportbundes „Sport pro Gesundheit“ verifiziert. Mit einem erworbenen Gütesiegel können Vereine karatespezifisches Training als Präventionskurs anbieten. Durch das Siegel ist der Verein von Krankenkassen anerkannt. Bei Teilnahme eines Kunden übernehmen die Krankenkassen einen Großteil der Kosten (Deutscher Karate Verband, 2017 ; Deutscher Olympischer Sportbund e.V., 2017a, 2017b). Ein Karate-Kumite Training stellt eine Alternative zu anderen präventiven Herz-Kreislaufsportarten dar.

6.3.1 Kalorischer Aufwand und Glykogenverbrauch im Karate-Kumite Training

Vor allem sportliche Tätigkeiten fordern zusätzlichen Energiebedarf. Der körperliche Verschleiß ist durch die Belastung erhöht. Nur über die Nahrungsaufnahme kann dem Abbau entgegengewirkt werden (Hartmann & Mader, 1999a). Um ein gesundes Verhältnis zwischen Verbrauch und Aufbau quantifizieren zu können, bedient man

sich u.a. der Bestimmung der Kilokalorien (kcal). Erst mit ihrer Angabe kann eine Belastung mit ihrem Verbrauch objektiv zur Nahrungsaufnahme gegenübergestellt werden. Somit können Missverhältnisse zu beiden Seiten erkannt und eliminiert werden. Der folgende Abschnitt weist durch die kontinuierliche Messung der VO_2 erstmalig den kalorischen Aufwand für ein Karate-Kumite Training auf.

Die vorliegende Untersuchung hat für das Karate-Kumite Training einen kalorischen Aufwand von 615 ± 66 kcal ($0,57 \pm 0,07$ kJ/min*kg) ergeben. Dieser gleicht sich bei identischen kalorischen Äquivalent mit den Daten von Imamura et al. (1999) mit 616,1 kcal. Da sich in beiden Untersuchungen die durchschnittlichen VO_2 Werte deutlich unterscheiden, bestätigen die Daten möglicherweise den methodischen Fehler, dass das Messgerät K4 b² die Absolutwerte unterschätzt hat. Entsprechend ist eine höhere kalorische Ausschöpfung im durchgeführten Kumite Training zu erwarten. Wird dennoch der erhobene Umsatz angenommen und der Einfluss des RQ betrachtet, ergibt sich eine Abweichung von $\approx 7,5\%$ bei einem RQ von 0,7. Absolut wurden hierbei 570 ± 61 kcal bestimmt.

Der RQ Verlauf des Kollektivs weist eine große Spannweite von 0,8-1,3 auf. Vor allem die dynamischen Atemausstöße bei den Technikausführungen repräsentieren wohl die Werte über 1. Der gemessene durchschnittliche RQ des Kollektivs lag bei 1,0 und unterscheidet sich nicht mit der Berechnung aus der Literaturangabe. Der wahre metabolische Wert liegt vermutlich innerhalb der beschriebenen Abweichung. Es kann festgehalten werden, dass für ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Verbrauch und Nahrungsaufnahme eine kalorische Menge von ca. 600 kcal pro Tag mehr aufgenommen werden sollte, wenn ein Karate-Kumite Training mit einer Dauer von 60 Minuten durchgeführt wird.

Neben der Bestimmung der allgemeinen kalorischen Umsetzung, ist es weiter von Bedeutung wie sich die kalorische Ernährung zusammensetzt. In der Ernährung könnte jeweils ein Schwerpunkt auf einen der Energieträger gelegt werden, welches Auswirkungen auf die aufzunehmende Menge und auf die Energiebereitstellung hat. Karate-Kumite Übungen werden in der Regel mit einer sehr hohen Intensität durchgeführt, ausgenommen Technikerwerbstraining. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stützen diese Aussage, Kapitel 6.4. Spezifische Übungen weisen submaximale bis maximale Auslenkungen der HF und der VO_2 aus. Hinzu werden die Techniken schnellkräftig mit maximalen Geschwindigkeiten ausgeführt. Einhergehend kann davon ausgegangen werden, dass Fette den Grundbedarf an Energie stellen. Für die dynamischen Bewegungen werden hingegen vornehmlich die Kohlenhydratspeicher beansprucht.

Wird eine Energieabdeckung zu 60% aus Kohlenhydraten angenommen, ergibt dies einen Energieanteil von 369 kcal. Gemäß des physiologischen Brennwertes von Kohlenhydraten von ca. 4,11 kcal pro Gramm entspricht dies einem Bedarf von ≈ 90 g an Kohlenhydraten (Marées et al., 2003, S. 405). Wird die Unterschätzung der VO_2 von 10% angenommen erhöht sich der Anteil auf 100g. Ausgehend von der Annahme für das Kollektiv, welches überwiegend aus Breitensportlern bestand, dass

eine Speichermöglichkeit in der Muskulatur von 10g/kg vorliegt und sie eine Gesamtmuskelmasse von 30kg besitzen, schließend vom Mittelwert des Kollektivs von 76 kg (40%), beträgt der Muskelglykogenspeicher 300g. Wird ein Leberglykogen von 50g angenommen ergibt sich ein Gesamtspeicher von 350g. Durch die Ganzkörper-tätigkeit mit dynamischen Schlägen und Tritten im Karate-Kumite wird eine Aktivierung der gesamten Muskelmasse von 30 kg angenommen (Marées et al., 2003, S. 412 ; Stegemann, 1991, S. 78). Schlussfolgernd ist der Glykogenspeicher ca. zu einem Drittel durch das Training entleert worden. Demzufolge kann abgeschätzt werden, dass ein zweimaliges Karate-Kumite Training an einem Tag mit einer Dauer von 90 Minuten die Glykogenreserven nahezu vollständig erschöpft. Entsprechend ist bei Spitzensportlern mit einem umfangreichen Trainingsplan auf eine gesicherte Kohlenhydratzufuhr zu achten. Die Darstellung verweist auf eine Tendenz. Es wird hier lediglich die Gesamtmasse betrachtet und nicht die detaillierte Verteilung in der jeweiligen Muskulatur.

6.3.2 Die Beanspruchung eines Karate-Kumite Trainings im Kontext zu zyklischen Trainingsmitteln

Zyklische Sportarten stellen in azyklischen Sportarten Trainingsalternativen dar. Sie werden zum Erwerb und Erhalt einer gewissen Grundlagenausdauer eingesetzt. Diese trägt zur Belastungsverträglichkeit bei und wirkt präventiv (Weineck, 2007, S. 233). Hinzu führen die Trainingsformen zur Abwechslung im Trainingsalltag. Da die Disziplinen Lauf und Rad in der unmittelbaren Evolution die elementarsten Fertigkeiten darlegen und für jegliche azyklische Sportarten die grundlegendsten zyklischen Trainingsmittel darstellen, wird in den folgenden Absätzen ein Bezug von der Beanspruchung eines Karate-Kumite Trainings zu diesen beiden Sportarten vollzogen.

Findet mit dem erhobenen Umsatz des Karate-Kumite Trainings von 615 kcal ein Vergleich zu einer Laufbelastung statt, kommt es bei der Annahme des Arbeitsumsatzes von $4 \text{ kJ/kg} \cdot \text{km}$ zu einer durchschnittlichen Kilometerleistung des Kollektivs von $8,14 \pm 0,97 \text{ km}$ für eine Stunde (Marées et al., 2003, S. 392). Dies entspricht gleichzeitig der Geschwindigkeit von $8,14 \text{ km/h}$ bzw. $7:28 \pm 0:50 \text{ min/km}$. Vergleichsweise spiegelt dies ein sehr geringes Tempo und eine sehr geringe Intensität wieder. Hierbei wird aber eine Intervallbelastung mit einer Dauerbelastung verglichen. Wird die Berechnung auf die rein aktive Zeit des Karate-Kumite Trainings von 40 Minuten bezogen, ergeben sich folgende Werte: $12,2 \pm 1,5 \text{ km/h}$ bzw. $4:58 \pm 0:33 \text{ min/km}$. Dieses Tempo tendiert zu einer Arbeit an der individuellen Schwellenleistung, angenommen für reine Laufdisziplinen. Da im Allgemeinen die Definition der Schwellenleistung vielfältig und in Bezug zu anderen Worten wie der Dauerleistungsgrenze undurchsichtig ist, wird in diesem Kontext die Schwellenleistung in Anlehnung an Heck (1990b, S. 98, 23, 108 ff.) als die Leistung definiert, in der das maximale Laktat Steady-State (maxLass) erreicht wird und über eine Zeit bis 60 Minuten gehalten werden kann. Wird angenommen, dass die durchschnittliche VO_2 um 10% unterschätzt wurde, erhöht sich die Gesamtkilometerleistung auf $8,95 \pm 1,06$ was einer

Geschwindigkeit bei einer 40 minütigen Arbeitszeit von $13,4 \pm 1,6$ km/h bzw. $4:31 \pm 0:30$ min/km entspricht. Dies untermauert die Aussage zur zyklischen Arbeit an der persönlichen Dauerleistungsgrenze.

Gleiche Ergebnisse lassen sich auf die Fahrradleistung beziehen. Gemäß einem Wirkungsgrad von 20% müsste das Kollektiv eine Wattleistung von 143 ± 15 W über 60 Minuten bewerkstelligen, um den gleichen kalorischen Verbrauch zu evozieren (Marées et al., 2003, S. 380). Wird die Leistung auf die aktive Arbeitszeit von 40 Minuten bezogen ergeben sich 215 ± 23 Watt. Wird wiederum von einer 10%igen Unterschätzung der VO_2 ausgegangen erhöhen sich die Wattleistungen bei 60 Minuten auf 157 ± 17 W und bei 40 Minute auf 236 ± 25 W. Für radunspezifische Athleten tendiert der Leistungsbereich für die reine Belastungszeit von 40 Minuten ebenfalls zur Schwellenbelastung.

Zusammenfassend kann für den Vergleich zu zyklischen Belastungsformen festgehalten werden, dass ein Karate-Kumite Training im Übertrag zu einem zyklischen Trainingsmittel eine Arbeit an der individuellen Dauerleistungsgrenze darstellt. Entsprechend dem Ergebnis kann die Intensitätsform beim Einsatz eines zyklischen Trainingsmittels als ergänzende Trainingsform für den Karate-Kumite Bereich überdacht werden. In einem dicht gespickten Trainingsplan von spezifischen Kumite- und Krafttrainingseinheiten mit eher hohen Intensitäten in Form der VO_2 , HF und Muskelbeanspruchung scheint es eher gewinnbringend zu sein, ein ergänzendes zyklisches Training zum Erhalt und Aufbau der Leistungsfähigkeit extensiv und über eine längere Dauer zu gestalten. Somit kann einer Überforderung des Organismus durch zu hohe Intensitäten entgegengewirkt werden. Außenvorgenommen ist die individuelle Periodisierung zum Wettkampfhöhepunkt.

6.3.3 Die Beanspruchung eines Karate-Kumite Trainings im Kontext zu Sportsportarten

Da erstmalig ein Karate-Kumite Training spirometrisch vollständig erfasst wurde und eine Verteilung der Intensitätsbereiche bestimmt werden konnte, kann nun ein Vergleich zu anderen Sportarten gezogen werden. Da Spiel- und Kampfsportarten sich in ihren intermittierenden Belastungen gleichen und in situationsspezifischen Momenten maximale dynamische Bewegungen durchgeführt werden, sowie schnelle Stoppbewegungen und Richtungswechsel, steht folgend der Vergleich zu Sportsportarten im Vordergrund. Hierbei werden die Wettkampfleistungen betrachtet, da bei einem Einsatz einer Sportsportart als Trainingsmittel in Nicht-Sportsportarten in der Regel die Spielform praktiziert wird und kein Fokus auf Technik- oder Taktiktraining erfolgt. In den Teamsportarten unterscheiden sich die vorgestellten Parameter geringfügig in ihren Spielpositionen. Eine Differenzierung wird jedoch nicht weiter durchgeführt und ein zusammenfassender Überblick wird als hinreichend angenommen.

Bangsbo, Mohr & Krstrup (2006) benennen in ihrem Review eine durchschnittliche VO_2 Beanspruchung von 70% der $\text{VO}_{2\text{max}}$ in einem Fußballspiel von 90 Minuten

ohne Pause mit einer durchschnittlichen Laufleistung von 10-13 km. Hierbei verweisen sie jedoch auf indirekte Methoden über die HF und über die Körperwärme, beschreiben aber gleichzeitig ihre gegebene Validität. Die mittlere HF und die HFpeak werden mit 85 und 98% der HFmax beschrieben. Ferrauti, Giesen, Merheim & Weber (2006) geben nach ihrer Recherche einen VO_2 Bereich von 65-80% der $\text{VO}_{2\text{max}}$ für ein Fußballspiel aus. Weiterhin führten sie eine direkte spirometrische Messung (mit der K4 b²) von 10 Spielern über 5 Spiele, einer pro Team, durch. Es konnte ein Bereich von 62-77% der $\text{VO}_{2\text{max}}$ für das Kollektiv ermittelt werden. Kritisch zu sehen ist die fehlende Durchführung einer separaten Labordiagnostik. Der Maximalwert wurde approximiert. Entsprechend fehlt auch eine relative Angabe der HF-Auslastung. Gatterer (2007) verweist auf kritische Sichtweisen zu den indirekten Erhebungsverfahren nach Bangsbo et al. (2006). Demnach wurde ebenfalls eine direkte Messung der HF und der VO_2 durchgeführt (Cosmed K4). Die Datenaufnahme erfolgte an 2 Spielern der 8. Italienischen Liga in einem Spiel. Die HF wurde kontinuierlich aufgenommen, während die VO_2 jeweils nur in einer Halbzeit aufgezeichnet wurde. Die Daten wurden gegen Maximalwerte ausgewertet. Jedoch kam auch hier keine separate Labordiagnostik zum Einsatz. Es fand unmittelbar nach der Spielzeit ein 600m Lauf bis zur Ausbelastung statt. Gatterer (2007) beschreibt, dass die VO_2 in intensiven Spielsituation nahezu die $\text{VO}_{2\text{max}}$ erreicht. Es konnte durchschnittlich eine VO_2 von 56,8 und 61,0% für beide Spieler ermittelt werden. Die prozentualen VO_2 Angaben tendieren zu ähnlichen Beanspruchungen, fallen aber geringer aus als bei Bangsbo et al. (2006) und Ferrauti et al. (2006). Die durchschnittliche HF wies bei beiden Probanden ca. 87% der HFmax aus. Die HF Angaben gleichen sich mit denen von Bangsbo et al. (2006). Durch die Diskrepanz zwischen HF und VO_2 wird geschlussfolgert, dass die HF nicht als alleiniges Kriterium zur Einschätzung der Beanspruchung herangeführt werden sollte. Kritisch zu sehen ist jedoch, dass sehr kleine Kollektiv, die unvollständige Messung des gesamten Spieles und die fehlende Labordiagnostik zur Bestimmung der Ausbelastungsparameter. Zusammenfassend kann die Auslastung von ca. $70 \pm 5\%$ der $\text{VO}_{2\text{max}}$ in einem Fußballspiel angenommen werden. Im Vergleich zu den erhobenen $\approx 63\%$ in der Karate-Kumite Trainingseinheit ist im Fußball ein leicht erhöhter Durchschnitt zu entnehmen. Berücksichtigt man hingegen aber die von den Probanden erwähnten zu langen Pausen und die etwas zu geringe Ausführung an aktiven Aktionen in der Karate-Kumite Trainingseinheit, lässt sich vermuten, dass in einem realen Training die Beanspruchung höher liegt und Werte über 63% der $\text{VO}_{2\text{max}}$ erzielt werden. Weiterhin konnten auch die Verläufe im Karate-Kumite Auslastungen bis zur $\text{VO}_{2\text{max}}$ aufweisen. Mit Betrachtung der HF kann die Vermutung gestützt werden. In der vorliegenden Untersuchung wurde eine mittlere HF von $77 \pm 5\%$ bestimmt. Sie liegt nur leicht unterhalb der durchschnittlichen HF in einem Fußballspiel von ca. 85% der HFmax. Demzufolge wird der Schluss gefasst, dass ein Fußballspiel für die physiologische Anpassung, aufgrund einer ähnlichen biologischen Auslastung, eine alternative Trainingsform für eine Karate-Kumite Trainingseinheit darstellt.

McInnes (1993) beschreibt die kardiale Auslastung in acht Basketballern bei acht Spielen. Die Spielzeit betrug 12 Minuten in vier Vierteln. Eine durchschnittliche HF für die gesamte Spielzeit ohne Viertel-, Halbzeitpausen und Auswechselfpausen wurde für das Kollektiv von 86,8% der HFmax ermittelt. Die Maximalparameter wurden über eine Laufbanddiagnostik bestimmt. Eine Erhebung der VO_2 im Spiel wurde nicht durchgeführt. Paul G, David B & Clare L (2010) geben eine VO_2 von durchschnittlich $70 \pm 16\%$ der VO_{2max} für ein Spiel an. Die Angabe erscheint in Bezug zur HF sinngemäß. Dennoch kann sie hinterfragt werden, da die Daten nur indirekt kalkuliert wurden. In dem Review von Ziv & Lidor (2009) werden spirometrisch erfasste Trainings- und Wettkampfsimulationen ausgewiesen, wobei sie prozentuale VO_2 -Werte von 64-69% darstellen. Auch die durchschnittliche HF wird mit ca. 85% bestätigt. Narazaki, Berg, Stergiou & Chen (2009) geben eine Laufleistung in einem Basketballspiel von 4,5-5 km an. Diese Daten werden von Erčulj et al. (2008) bestätigt. Sie konnten für die aktive Spielzeit 4,4 km bestimmen, während 1,8 km in den Pausenzeiten hinzukamen. Somit kann eine durchschnittliche Laufleistung von 4-6 km angenommen werden. Auch wenn im Vergleich zum Fußball sich die Laufleistung auf den ersten Blick um die Hälfte unterscheidet, ist die Belastungszeit nicht zu vernachlässigen. Gemäß einer Viertelzeit von 12 Minuten absolvieren Basketballspieler ihre Laufleistung in 48 Minuten, was einer Halbzeit im Fußball entspricht. Entsprechend verdoppeln sich die Angaben und gleichen sich. Daher scheint es nachvollziehbar, dass die physiologischen Werte ähnliche Beanspruchungen aufzeigen. Einhergehend kann auch Basketball als alternative Spielform für ein Kumite Training benannt werden.

Tennis scheint als alternative Trainingsform für eine ähnliche physiologische Beanspruchung wie in einem Karate-Kumite Training weniger geeignet. In einer weiteren Forschung von Ferrauti, Bergeron, Pluim & Weber (2001) konnte eine durchschnittliche VO_2 von 50-60% der VO_{2max} bei einer spirometrischen Messung (X1 Cortex) für ein zweistündiges Tennismatch inklusive Wechselfpausen bestimmt werden. Die Maximalparameter wurden mittels Fahrradergometrie erhoben. Prozentuale HFen werden nicht mit ausgewiesen. Es kamen hierbei sechs weibliche und sechs männliche Probanden im Alter von durchschnittlich 47 Jahren zum Einsatz. Durch die relativen Bezüge in Prozent und der rVO_2 in der Arbeit sollte der Einfluss Alter keine Relevanz besitzen. Dennoch ist die Aktivität der Spielweise und einhergehend des VO_2 -Verbrauchs bei jüngeren Spielern im Vergleich zu älteren zu hinterfragen. Eine Übersichtsarbeit von Fernandez, Mendez-Villanueva & Pluim, (2006) beschreibt, dass ein Match bis zu mehreren Stunden andauern kann. Weiterhin geben sie für einen Ballwechsel 8-12 zu absolvierende Meter an und bis zu 300-500 Ballwechsel in einem Spiel von 3 Gewinnsätzen. Daraus ergibt sich für die maximale Auslastung eine Laufstrecke in der aktiven Zeit von ca. 6 km. Die aktive Spielzeit von der Gesamtmatchdauer beträgt 10-30% und ist abhängig von der Platzbeschaffenheit. Daraus resultiert ein Arbeit-Pausen-Verhältnis von 1:1 bis 1:4. Die VO_2 -Auslastung von ca. 60% der VO_{2max} wird bestätigt. Für die kardiale Beanspruchung werden im Mittel 60-80% angegeben. Auch wenn die zyklische Laufleistung vergleichbar mit

einem Basketballspiel erscheint, fällt die Beanspruchung durch den hohen Anteil an Pausenzeit und der längeren Gesamtbelastungszeit geringer aus.

Ebenfalls keine alternative Trainingsform scheint die Sportart Volleyball darzustellen. Concu, Marcello, Rocchitta, CIUTU & Esposito (1992) führten eine direkte Messung (Cosmed K2) in einem Volleyballspiel durch. Sechs Spieler eines drittklassigen Teams nahmen an der Untersuchung teil. Die Daten resultieren aus einer Spielzeit von 12 ± 3 Minuten für jeden Probanden. Im Vorfeld absolvierten die Athleten eine Fahrradergometrie bis zur Ausbelastung. Durchschnittlich konnte eine VO_2 von 48% von der VO_{2max} ermittelt werden. Nur die reine Spielzeit wurde hierbei betrachtet. Weiterhin erreichte kein Spieler seine VO_{2max} im Spielverlauf. Eine relative HF Beschreibung konnte auch hier nicht ausfindig gemacht werden. Kritisch zu sehen ist die sehr kurze aufgenommene Belastungszeit des Spieles. Eine Übersichtsarbeit von Maclaren (1990 S. 376 ff.) weist einen HF-Vergleich zu anderen Sportarten auf. Es ist eine Abweichung von 15-25% gegenüber den Spilsportarten Basketball und Fußball und gegenüber Kampfsportarten zu erkennen. Die gleiche Tendenz spiegelt der Energieumsatz wieder. Spirometrisch erfasste Daten aus Wettkampfsimulationen werden mit 50-55% der VO_{2max} ausgewiesen. Ebenfalls wird die Aussage bestätigt, dass Volleyballspieler selten ihre VO_{2max} im Spielverlauf beanspruchen. Ein Volleyballspiel kann bis zu 3 Stunden in einem Spiel mit drei Gewinnsätzen andauern. Das Arbeits-Pausen-Verhältnis liegt dabei im Durchschnitt bei 1:1,5. Mroczek, Januszkiewicz, Kawczyński, Borysiuk & Chmura (2014) konnten für 3 Spielsätze eine durchschnittliche Laufleistung von 1,2 km bestimmen. Dies entspricht in einer Begegnung mit drei Gewinnsätzen eine maximale Gesamtstrecke von ca. 2 km.

Die Physiologie bestätigt, dass im Tennis und Volleyball durch ein großes Verhältnis der Arbeits-Pausen-Zeit und den geringeren Laufstrecken pro Spielzeit die Beanspruchung geringer ausfällt als beim Fußball, Basketball oder Karate-Kumite. Auf der anderen Seite ist es im Tennis und Volleyball nicht unvorstellbar, dass auf höchstem Niveau bei langen Ballwechseln auch Beanspruchungen bis nahe an die VO_{2max} heranreichen. Hierbei ist jedoch wohl das technische Niveau ausschlaggebend. Ist dieses nicht gegeben, wird vermutet, dass die physiologische Auslastung begrenzt ist. Im Fußball und Basketball ist eine technische Voraussetzung weniger notwendig, da ein Großteil der physischen Arbeit in der natürlichen zyklischen Laufbewegung durchgeführt wird. Durch die hohe Laufleistung zur Zeiteinheit kann demnach auch mit einem geringeren technischen Niveau eine hohe physiologische Auslastung erfolgen. Demzufolge wird postuliert, dass Spielformen mit großem zyklischen Laufanteil pro Zeiteinheit und kurzen Spielunterbrechungen sehr gute Trainingsalternativen für ein Karate-Kumite Training in seiner physiologischen Beanspruchung darstellen. Dazu werden neben den beschriebenen Sportarten Fußball und Basketball, Hockey, Handball, Floorball und Spielvariationen der benannten Sportarten vermutet.

Sofern der Ansatz der Arbeit über die Darstellung der Trainingsbeanspruchung im Karate-Kumite gewinnbringend ist, ist gleichzeitig die Durchführung der Trainings-

belastung zur Belastung im Wettkampf zu hinterfragen. Wird der Ablauf am Wettkampftag betrachtet, unterscheidet er sich deutlich vom Training. Der zeitliche Ablauf ist gekoppelt an die Anzahl der Teilnehmer. Ebenso auch die Pausenzeiten zwischen den Kämpfen. Hinzu kommt das individuelle Erwärmungsregim der Athleten. Es kann insgesamt zu längeren Belastungszeiten mit integrierten längeren Pausen als im Training kommen. Entsprechend gleicht sich ein typisches Training nicht mit der Wettkampfbelastung im gesamten Verlauf. Somit ist die Trainingsbelastung und ggf. die alternativen Trainingsmittel in Spielform zur Wettkampfbeanspruchung zu reflektieren.

6.4 Übungsarten und Belastungsformen im Vergleich

Im folgenden Abschnitt werden die Hypothesen bezüglich der einzelnen Übungen und ihrer Belastungsformen näher betrachtet und diskutiert. Schließlich findet ein Übertrag der Erkenntnisse auf die Trainingsdurchführung statt.

Alle Übungen mit der identischen Belastungszeit von 135 Sekunden, unabhängig von der Belastungsform, weisen in der VO_2 mit der Nachatmung einen Durchschnitt zwischen 61 und 66% der VO_{2max} aus, Tabelle 16. Für die Belastungsform 3minP konnten 72,5% der VO_{2max} bestimmt werden. Anhand der Ergebnisse kann die Hypothese 4, nur für die Belastungsform 3minP bestätigt werden.

H4: Die durchschnittliche VO_2 beträgt für jede Übung mindestens 70% von der VO_{2max} unabhängig von der Belastungsform.

Die Auslastungen der Hauptübungszeiten von 135 Sekunden ähneln sich in der Mittelwertbelastung der vollständigen Trainingseinheit von ca. 63%. Eine höhere Auslastung wäre für die Übungen erwartet worden. Auch mit dem Nichteinbeziehen der Nachatmung, erhöhen sich die Mittelwerte nicht bis zu 70%. Eine mögliche Erklärung zu dem hohen Durchschnittswert im Vergleich zu den Übungen, könnte die erste Trainingshälfte liefern. Hierbei wurden, wie in einem klassischen Training, die Pausen zwischen den Übungen sehr kurz gehalten. Allgemein arbeiteten die Probanden kontinuierlicher auf einem erhöhten Niveau. Entsprechend auch der Rückmeldung der Teilnehmer, dass die Pausen im Hauptteil zum Teil etwas zu lang ausfielen und im normalen Training etwas öfter Aktionen durchgeführt werden, kann die spezifische Übungsauslastung und die Gesamtauslastung etwas unterschätzt sein. Auf der anderen Seite konnten mit der aktuellen Durchführung die Übungen dedizierter in ihrer reinen Belastungsstruktur dargestellt werden. Ein weiterer Einfluss auf die geringer als erwartete Intensität der Übungen ist die kurze reine Belastungszeit. Gemäß der Theorie benötigt die VO_2 eine gewisse Anlaufzeit um ihr Steady-State zu erreichen. Wird dahingehend die Endphase der Übungen in der ersten und zweiten Belastungsphase betrachtet, die höchsten zusammenhängenden 15 Sekunden, so sind deutlich höhere Intensitäten zu entnehmen, welche der Mutmaßungen wiederum entsprechen. Hierbei konnte unabhängig von der Belastungsform in der ersten Belastungsphase ein Bereich von 65-77% und in der zweiten Belastungsphase von

83-87% der $VO_2\text{max}$ eruiert werden, Tabellen 20 und 22. Entsprechend kann geschlussfolgert werden, dass nach einer gewissen Anpassungszeit, Karate-Kumite Übungen im weiteren Belastungsverlauf mit hohen und sehr hohen Intensitäten von 70-100% der $VO_2\text{max}$ absolviert werden. Belegend hierfür sind die Verläufe der Belastungsform 3minP. Wie aus der exemplarischen Abbildung 26 zu entnehmen ist, findet kein Einbruch der VO_2 weder in der ersten noch in der zweiten Belastungsphase statt. Das Niveau wird aufrechterhalten oder gar erhöht. Die mittleren Höchstwerte aus 15 Sekunden der Belastungsform 3minP belaufen sich in der ersten passiven Belastungsphase auf ca. 80% und in der zweiten aktiven Belastungsphase auf 98% der $VO_2\text{max}$, Tabelle 24. Auch wenn die Daten aus den Maximalwerten ermittelt wurden, streuen die Steady-State Bedingungen um diese Bereiche. Auch die Daten von Imamura et al. (1999) stützen die Aussage. Die Theorie verwies für die Karate-Kumite ähnlichen Technikabschnitte Tech I und II im Mittel auf eine Belastung von ca. 90% der $VO_2\text{max}$. Gemäß einer etwas schnelleren Anpassungszeit der HF an eine Belastung im Vergleich zur VO_2 , belegen die Daten der HF hohe bis sehr hohe Intensitäten für die Übungsausführungen unabhängig von ihrer Art und Belastungsform. Hypothese 5. kann im Mittel bestätigt werden.

H5: Die durchschnittliche HF beträgt für jede Übung mindestens 80% von der HFmax unabhängig von der Belastungsform.

Für die Belastungszeit von 135 Sekunden streuen die Mittelwerte von 78-82% der HFmax, Tabelle 17. Auch die Höchstwerte über 15 Sekunden in der ersten Belastungsphase der Übungen streuen um 80% der HFmax mit 77-85%. Die zweite Belastungsphase weist höhere Werte mit einer sehr geringen Streuung von 89-91% der HFmax aus, Tabellen 21 und 23. Für die Belastungsform 3minP wurden durchschnittlich 87% der HFmax bestimmt, Tabelle 19. In den Höchstwerten der Belastungsphasen konnten 86 und 98% der HFmax ermittelt werden, Tabelle 24. Die HFpeak Werte gleichen sich in allen Übungen. Die Werte von Imamura et al. (1999) streuen ebenfalls um ca. 80% der HFmax und stützen die hohe kardiale Beanspruchung in einer spezifischen Karate-Kumite Übung.

Entsprechend der geringeren Belastungszeit, weisen die Belastungsformen 1minP und 1-1W deutlich niedrigere Werte im Vergleich zu Wettkampfbeanspruchungen aus. Die Theorie konnte hier eine durchschnittliche kardiale Auslastung von 90% der HFmax beschreiben. Schlussfolgernd stellen die beiden Belastungsformen keine adäquate physiologische Wettkampfsimulation dar.

Für diesen Abschnitt kann festgehalten werden, dass Karate-Kumite Übungen unabhängig von ihrer Intention (Technik, Taktik u.a.) und ihrer Belastungsform, hohe bis sehr hohe physiologische Intensitäten fordern. Nach einer gewissen Anlaufzeit arbeitet der Körper in einem VO_2 -Bereich von 70-100% der $VO_2\text{max}$ und bei 80-100% der HFmax. Die Daten erklären das typische intervallartige Verhalten einer Karate-Kumite Trainingseinheit.

Im Folgenden werden die Übungen bezüglich ihrer Belastungsformen miteinander verglichen und bewertet. Hierbei erfolgt die Betrachtung aus den Mittelwerten der Gesamtbelastungszeiten. Die Hypothesen 7 und 8 postulieren, dass mit der gleichen Belastungsform, keine Unterschiede zwischen den Übungen ausfindig zu machen sind.

H7: Die Übungsausführung „1 Minute der eine Partner und 1 Minute der andere Partner“ weist keinen Unterschied im Sauerstoffverbrauch zwischen den Übungen 1-3 auf.

H8: Die Übungsausführung „1-1 im Wechsel“ weist keinen Unterschied im Sauerstoffverbrauch zwischen den Übungen 1 und 2 auf.

Abbildung 34 zeigt die Ergebnisse der Belastungsform 1minP. Ihr sind leichte absolute Unterschiede zu entnehmen, welche aber keine statistische Signifikanz aufweisen, Ü1: 1987 ml/min, Ü2: 2088 ml/min, Ü3: 2121 ml/min.

Demnach ist die H7 zu bestätigen. Dennoch ist zu erkennen, dass von Ü1-3 progressiv die VO_2 zunimmt. Dies könnte aus den Übungsformen erklärt werden. In Ü2 können Fußtritte mit eingesetzt werden, welche bei Ü1 nicht Bestandteil sind. Bei Ü3 sind ebenfalls Fußtechniken durchführbar. Hinzu könnte die Arbeit an den Prätzen die Intensität etwas mehr fordern, weil es zu größeren Schlagkräften kommt. Wird die HF betrachtet, kann auch hier die H7 bestätigt werden. Hinzu weist die HF nicht den progressiven Trend der Übungen auf, Abbildung 37. Gleiches gilt für die Atemarbeit.

Bei der Belastungsform 1-1W weist Ü1 eine etwas größere VO_2 auf, 2138 ml/min, zeigt aber auch hier keinen signifikanten Unterschied zu Ü2, 2060 ml/min. Dementsprechend ist auch die H8 anzunehmen. Werden auch wieder die HFen und die VE betrachtet, so lässt sich weder ein absoluter noch ein statistischer Unterschied ausfindig machen. Infolgedessen kann geschlussfolgert werden, dass die Übungsausrichtung, Technik, Taktik, Kondition, keinen physiologischen Unterschied in den hier angewandten Belastungsformen hervorruft.

Weiterführend vergleicht Hypothese 6 nun beide Belastungsformen miteinander und stellt nachstehende Vermutung auf.

H6: Die Übungsausführung „1-1 im Wechsel“ in den Übungen 1 und 2 hat einen größeren Sauerstoffverbrauch / einen größeren kalorischen Aufwand als die Übungsausführung „1 Minute der eine Partner und 1 Minute der andere Partner“.

Die Annahme resultiert daraus, dass durch ein „früher“ an Angriffsaktionen in der Form 1-1W schneller ein höherer VO_2 -Verbrauch erreicht wird und dieser über die Zeit konstant aufrechterhalten werden kann. In Ü1 wurde bei der Belastungsform 1-1W durchschnittlich mehr Sauerstoff verbraucht, Ü1(1minP): 1987 ml/min,

Ü1(1-1W): 2138 ml/min. Das Ergebnis konnte statistisch bestätigt werden. Bei Ü2 hingegen kam es in der Belastungsform 1-1W, 2060 ml/min, zu einer leicht geringeren Anforderung als bei der Belastungsform 1minP, 2088 ml/min. Es war kein Unterschied zu bestimmen, Abbildung 33. Demzufolge kann die H6 nur zu Teilen angenommen werden. Zieht man die HFen heran, verweisen diese auf den vermuteten Trend der Hypothese. Sie zeigen zwischen den Belastungsformen jeweils einen signifikanten Unterschied zur Mehrbelastung der Belastungsform 1-1W, Abbildung 36. Wird hingegen die Atemarbeit betrachtet, ist auch hier weder absolut noch statistisch ein Unterschied zu eruieren.

Abschließend wurde die Belastungsform 3minP zu allen anderen Übungen und Belastungsformen aufgetragen. Es konnten in allen aufgenommenen Parametern, VO_2 , HF, VE, ein signifikanter Unterschied zu allen Übungen und Belastungsformen bestimmt werden, Abbildung 42-46. Für die deutliche Mehrbeanspruchung kann die längere Belastungszeit und die erhöhte Angriffsfrequenz von ≈ 4 Sekunden im Vergleich zu 10 oder 20 Sekunden benannt werden. Welcher Parameter den größeren Einfluss besitzt, kann aus der vorliegenden Forschung nicht geschlussfolgert werden.

Festzuhalten ist, dass die Übungsart keinen Einfluss auf eine gegebene Belastungsform in einer reinen Gesamtbelastungszeit von 2 Minuten besitzt. Die Belastungsform 1-1W tendiert zu einer erhöhten Sauerstoff- und somit kalorischen Anforderung als die Belastungsform 1minP. Vermutlich wird der Unterschied bei längeren Belastungszeiten deutlicher. Der ausschlaggebendste Parameter zur Erhöhung der Intensität und des kalorischen Aufwandes ist die anhaltende aktive Bewegungszeit und die Erhöhung der Angriffsfrequenz. In welchem Ausmaß der jeweilige Parameter die Beanspruchung beeinflusst, bleibt offen.

Über die erwähnten ersten und zweiten Belastungsphasen wurde Hypothese 9 aufgestellt.

H9: Bei der Belastungsform „1 bzw. 3 Minute/n der eine Partner und 1 bzw. 3 Minute/n der andere Partner“ unterscheidet sich die VO_2 im passiven Part vom aktiven Part für die jeweilige Übung.

Zur Beurteilung wurden hier die Höchstwerte aus 15 Sekunden der Belastungsphasen herangezogen, da die Anfangsträgheit der VO_2 den Mittelwert zu stark beeinflussen würde und hier die Steady-State Bedingungen verglichen werden sollen. In der Belastungsform 1minP bzw. 3minP ist der erste Übungsabschnitt passiv, wobei der Athlet keine Angriffsaktionen startet, sich aber der Aufgabenstellung entsprechend bewegt. Für die vorliegende Belastungsform konnte in allen Fällen ein signifikanter Unterschied ausfindig gemacht werden, Abbildung 48 und Tabelle 24. Die aktiven Phasen zeigen ein deutlich höheres Steady-State und somit eine höhere Beanspruchung. Entsprechend kann Hypothese 9 angenommen werden. Ein identisches Ergebnis beschreiben auch die HFen, Abbildung 50 und Tabelle 24. Weiterhin

wurde auch die Belastungsform 1-1W in ihrer Beanspruchung in der ersten und zweiten Belastungsphase nach gleicher Auswertung über 15 Sekunden überprüft. Bei Ü1 und Ü2 ist für die VO_2 ein höherer absoluter Unterschied in der zweiten Belastungsphase zu erkennen. Hierbei konnte jedoch nur für Ü1 ein signifikanter Unterschied bestimmt werden, Abbildung 52. Bei der HF wiesen die höheren Beanspruchungen in der zweiten Belastungsphase in Ü1 und Ü2 statistische Unterschiede auf, Abbildung 54 und KHK. Somit lässt sich grundlegend auch in der Belastungsform 1-1W ein Unterschied zwischen der ersten und zweiten Belastungsphase bestimmen.

Ein interner Übungsvergleich von Ü1 und Ü2 mit beiden Belastungsformen zeigt, dass die erste Belastungsphase in der Form 1-1W bei der VO_2 in beiden Übungen ein signifikant höheres Steady-State ausweist als in der ersten Belastungsphase der Form 1minP. Die HF zeigt bei einem identischen Vergleich nur einen statistischen Unterschied bei Ü2. Ü1 verweist nur auf einen gleichen Trend. Die zweiten Belastungsphasen beider Belastungsformen unterscheiden sich jedoch nicht. Weder bei der VO_2 noch bei der HF, Abbildung 57 und 60. Durch ein „Früher“ an Aktionen ist die Beanspruchung in der Belastungsform 1-1W in der ersten Belastungsphase erhöht, trägt aber nicht zur Erhöhung in der zweiten Belastungsphase bei.

Weiter wurden alle ersten Belastungsphasen unabhängig von Übungsart und Belastungsform gegeneinander aufgetragen. Hierbei sind für die VO_2 und für die HF unterschiedliche signifikante Ergebnisse ausfindig zu machen, Abbildung 61 und 62. Die Unterschiede in der ersten Belastungsphase können durch die Trägheit des Anstiegs der VO_2 und durch individuelle Gegebenheiten wie z.B. dem Trainingszustand erklärt werden.

Bei der Gegenüberstellung aller zweiten Belastungsphasen, ist nur die aktive Phase der Belastungsform 3minP signifikant höher zu allen anderen Belastungsphasen, Abbildung 63 und 64. Auch hier werden, wie aus dem vorangegangenen Abschnitt, der Einfluss der längeren Belastungszeit und der erhöhten Angriffsfrequenz als Hauptkriterien angenommen.

Für den Einfluss der Belastungszeit in der Beanspruchung einer Übung kann der Vergleich der passiven Phase von Ü3 mit der Belastungszeit von 3minP mit den aktiven Bereichen der anderen Übungen mit den Belastungsformen 1minP und 1-1W einen Einblick geben. Die VO_2 weist nur geringe absolute Unterschiede auf sowie zwei signifikante Ergebnisse zugunsten der kürzeren aktiven Belastungsformen, Abbildung 65. Bei der HF ist kein statistischer Unterschied ausfindig zu machen, Abbildung 66. Hingegen zu den Vergleichen der ersten und zweiten Belastungsphase innerhalb der Formen 1minP und 1-1W, die jeweils in den Parametern VO_2 und HF signifikante Unterschiede hervorbrachten, ist diese Tendenz hier nicht zu erkennen. Demnach kann geschlossen werden, dass die Belastungszeit einen Einfluss besitzt. Es können mit geringeren Intensitäten über längere Belastungszeiten gleiche physiologische Steady-State Bedingungen erreicht werden. Auf der anderen Seite kann hinterfragt werden, ob sich das Steady-State in den kürzeren aktiven Belastungsformen bei anhaltender Belastungszeit nicht erhöht.

Zusammenfassend wird folgender Schluss gefasst. Entsprechend dem Zeitversatz der physiologischen Leistungsbereitschaft an die gegebene Belastung unterscheiden sich die ersten Belastungsphasen signifikant von den zweiten Belastungsphasen unabhängig von der Übungsart und Belastungsform bei der reinen Gesamtbelastungszeit von 2 Minuten. Die Belastungsform 1-1W erreicht früher eine höhere Beanspruchung als die Form 1minP, erhöht aber nicht die Endbeanspruchung binnen der Belastungszeit. Dass dies zu einer erhöhten Gesamtbeanspruchung der Übungsform führt, konnte nur zu Teilen im vorherigen Abschnitt bestätigt werden. Die reine Belastungszeit von 2 Minuten erzielt zum Ende ein identisches Steady-State unabhängig von Übungsart und Belastungsform. Durch eine längere Belastungszeit und einer erhöhten Angriffsfrequenz ist das Steady-State erhöht.

Der Abschnitt verdeutlichte für Karate-Kumite spezifische Übungen in ihrer Gesamtheit und ihrer detaillierten Sichtweise, hohe bis sehr hohe Auslastungen unabhängig von ihrer Art und Belastungsform. Dies spiegelt den typischen intervallartigen Charakter dieser Sportart im Training wieder. Die Belastungsformen 1minP und 1-1W weisen niedere Beanspruchungen wie im Wettkampf auf und sind somit zur physiologischen Wettkampfsimulation nicht geeignet. Beide Formen unterscheiden sich in ihrer Gesamtbeanspruchung und in ihrem Steady-State Verhalten kaum. Demnach obliegt die Wahl der Belastungsform der Vorliebe des Trainers. Hinzu muss er durch die Unabhängigkeit der Übungsabsicht die physiologische Auslastung in seiner Trainingsplanung nicht differenziert betrachten. Ob eine Trainingsintention ein Parameter der physiologischen Auslastung darstellt, bleibt offen und konnte mit den erhobenen Daten nicht beurteilt werden. Hingegen wurden die Aktionsfrequenz und die Belastungszeit als ausschlaggebende Faktoren zur physiologischen Beeinflussung eruiert.

6.5 Übung 3 als repräsentative Wettkampfübung

Übung 3 mit der Belastungsform 3minP wurde als repräsentative Übung für eine Wettkampfsimulation in das Training mit aufgenommen. Zur weiteren Beurteilung und zum Vergleich der Wettkampfbelastung wird lediglich die aktive Zeit betrachtet. Die Belastungszeit von 3 Minuten entspricht in etwa der spezifischen Wettkampfform. Für Frauen ist die Übungszeit zur Nettowettkampfzeit, 2 Minuten, überschätzt. Durch den Wegfall von Pausen nähert sich die Belastungszeit jedoch der Bruttozeit. Für Männer ist es umgekehrt. Die Belastungszeit entspricht der vollständigen Nettokampfzeit, hingegen unterschätzt sie die Bruttozeit, Kapitel 2.5. Die Theorie verweist auf sehr hohe durchschnittliche kardiale Beanspruchungen von ca. 90% der HFmax bei offiziellen Turnieren unabhängig vom Geschlecht. Weitergehend wird eine Auslastung von 80-100% der HFmax über 90% der Bruttokampfzeit beschrieben. In der vorliegenden Untersuchung konnte eine durchschnittliche HF von ca. 93% der HFmax bestimmt werden. Rund 92% der Bewegungszeit wurden in einem Bereich von 80-100% der HFmax absolviert. Demzufolge ist Ü3 mit 3 Minuten Belastungszeit in seiner aktiven Phase, 20 Sekunden Schlagen an Pratzen – 10 Sekunden

interagieren – intermittierend, von der kardialen Seite eine sehr gute Übung zur Wettkampfsimulation. Da die aktive Phase jedoch nicht aus der vollständigen Ruhe gestartet ist, sondern aus einer Vorbelastung und nur einer kurzen Pause von 30 Sekunden, kann es sein, dass der Mittelwert etwas überschätzt ist. Auf der anderen Seite stehen die Athleten in der Regel erwärmt und mit einem erhöhtem Adrenalin Spiegel an der Kampffläche, bevor sie vom Kampfrichter zum Kampfstart auf die Kampffläche einberufen werden. Demnach wird kein Unterschied vermutet und die Daten werden als repräsentativ angesehen. Für die VO_2 kann aus der Theorie für Männer im Mittel ca. 3,3 l/min für eine Wettkampfbelastung abgeleitet werden. Eine genauere Unterteilung in Beanspruchungszeiten wurde bisher nicht durchgeführt. Die durchgeführte Übung erzielte im Kollektiv durchschnittlich ca. $2,8 \pm 0,4$ l/min. Folglich erreicht die Übung und ihre Ausführung nicht ganz die spezifische Anforderung der VO_2 und tendiert nur dazu. Wird davon ausgegangen, dass die Messung die Absolutwerte um ca. 10% unterschätzt, nähert sich jedoch die Belastung der Spezifik an. Hinzu wurden die bisherigen Messungen aus der Theorie mit Athleten von nationalem und internationalem Niveau durchgeführt. Die aktuelle Untersuchung wies hier ein größeres Spektrum und einen geringeren Trainingsumfang der Probanden aus. Die Untersuchung von Toyoshima et al. (2003) gibt erstmalig einen durchschnittlichen relativen Wert der VO_2 zu einer Wettkampfbelastung von 72,5% der VO_{2max} an. In der vorliegenden Forschung wurde für die Übung ein Mittelwert von ca. 86% bestimmt. Der Wert übersteigt die Angabe von Toyoshima et al. (2003) deutlich und weist auf eine hohe bis sehr hohe Beanspruchung hin. Wie beschrieben interpolierten Toyoshima et al., (2003) ihre Ergebnisse, um die VO_2 in der Wettkampfsimulation zu bestimmen. Das Ergebnis ist im Vergleich zu einer direkten Messung zu hinterfragen. Ordnet man das vorliegende Ergebnis ins Verhältnis zu den hohen kardialen Belastungen ein, ergibt sich ein stimmiges Gesamtbild der Beanspruchung. Abbildung 55 verweist auf die Verteilung der VO_2 . Ihr kann entnommen werden, dass ca. 85% der Belastungszeit von 3 Minuten einen VO_2 -Bereich von 70-100% fordert.

Zusammenfassend wird auch für die VO_2 die Ü3 mit 3 Minuten aktiver Belastungszeit als repräsentative Wettkampfübung bewertet. Als Trainingsempfehlung kann überdacht werden, ob die Übungsausführung für Männer auf bis zu 5 Minuten und bei Frauen auf bis zu 4 Minuten Belastungszeit erhöht wird, da die Mittelwerte der offiziellen Wettkampfanalysen die Pausenzeiten mit beinhalten und somit eine längere Bruttozeit resultiert. Hinzu verwies die Theorie darauf, dass die Pausenzeiten im Kampf nicht zur Erholung beitragen. Es konnte kein physiologischer Unterschied bei Kämpfen mit und ohne Kampfrichterunterbrechungen herausgestellt werden. Tabben et al. (2013) ermittelten in einem internationalen Wettkampf Bruttozeiten von ca. 3,5 Minuten für Frauen und 5,5 Minuten für Männer. Weiterhin sollte in künftiger Forschung geprüft werden, welcher Parameter den größten Einfluss besitzt, eine physiologisch ähnliche Belastung wie in einem Wettkampf zu erzielen. Aus den vorherigen Kapiteln wurden die aktive Bewegungszeit und die Angriffsfrequenz benannt. Auch wenn in der aktuellen Untersuchung die Übungsart weniger beeinflussend

schien, kann sie dennoch in längeren Belastungszeiten Auswirkungen haben und stellt einen weiteren Parameter dar, welcher zu berücksichtigen ist.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In der Sportwissenschaft liegt ein großer Fokus auf dem Training. Dabei wird im Allgemeinen beschrieben, dass Training zielgerichtet ist und gesteuert erfolgt. Aus den Worten lassen sich jedoch keine Ableitungen zur Durchführung treffen. Daher geht es immer um die zentrale Frage „Wie?“. Unter welchen Bedingungen, mit welchen Einsätzen oder mit welchen Trainingsmitteln erreiche ich eine optimale Anpassung? Hierbei befasst sich die Sportwissenschaft mit einzelnen Bereichen wie der Sportartspezifik, der Kondition oder der Psychologie und versucht einen Teil zum Gesamtkonstrukt beizutragen. In der vorliegenden Arbeit wurde die physiologische Seite des Trainings in der Sportart Karate mit der Disziplin Kumite genauer betrachtet. Die Ausführungsform richtete sich nach dem weltweit größten Karateverband, der WKF. Zur Beurteilung der Physiologie kamen die Messungen der HF und der VO_2 zum Einsatz. Die Theorie konnte aufzeigen, dass Karate-Kumite in seiner Wettkampfform umfassend erforscht ist. Sehr hohe HFen von durchschnittlich 90% der HF_{max} beider Geschlechter und absolute Steady-State Bedingungen von 3,5 l/min bei Männern und 2,2 l/min bei Frauen werden je Kampfrunde erreicht. Hinzu konnte die Stoffwechselstruktur der Sportart dargestellt werden. Trotz der Sichtbarkeit von dynamischen und schnellkräftigen Bewegungen der Athleten im Karate-Kumite ist der aerobe Energieanteil dominierend. Entsprechend stellt die Disziplin eine Ausdauersportart dar. Trainingsuntersuchungen weisen hingegen Forschungspotenzial auf. Aktuelle Studien betrachteten die physiologische Seite lediglich mittels HF, Laktat und der subjektiven Befindlichkeit. Der aktuell valideste Intensitätsparameter VO_2 wurde bisher nur bei Imamura et al. (1999) aufgenommen und das mit erheblichen methodischen Kompromissen. Hierbei kamen intermittierende Messungen zwischen und nach den Trainingsübungen zum Einsatz. Demnach wurde bisher nach aktuellem Forschungsstand keine kontinuierliche Messung der VO_2 in einem Training durchgeführt. Des Weiteren ist die methodische Beschreibung der Untersuchungen als mangelhaft zu bewerten. Neben fehlenden Angaben nach welcher Verbandstruktur sich gerichtet wird, sind die Beschreibungen der Trainingsabläufe und Belastungszeiten sehr allgemein gehalten. Das erschwert den Vergleich mit subsequenten Forschungen und verhindert eine detaillierte Bewertung.

Ziel der Forschung war es, eine Karate-Kumite Trainingseinheit mit detaillierter Übungs- und Belastungsbeschreibungen, angelehnt in der Ausführungsform an der WKF, vollständig spirometrisch und kardial zu erfassen und auszuwerten. Mit der Untersuchung wird ein besseres Verständnis für die physiologische Beanspruchung durch die Trainingsbelastung erzielt. Dabei standen in der Auswertung die Gesamtbelastung und die Belastungsstruktur der vollständigen Trainingseinheit sowie der Hauptübungen im Fokus. Die Intention war es, die Beanspruchung des Körpers durch die spezifische Belastung zu charakterisieren. Somit können erstmalig Intensitäten des Trainings und der jeweiligen Übungen beurteilt werden. Die Trainingsbelastung kann im Gesamtkomplex der Trainingssteuerung verglichen und bewertet

werden. Des Weiteren geben die Vergleiche der Übungen bezüglich ihrer Schwerpunkte, Technik, Taktik u.a., einen Einblick in ihrer Beanspruchung und können intern und zur Wettkampfleistung betrachtet werden. Somit kann der Einsatz von Art und Form der Übung erstmals physiologisch begründet werden.

Neben der Trainingseinheit fand die Durchführung von zwei Ausbelastungstestverfahren statt. Es sind die Fahrradergometrie und ein validierter Karate-Kumite spezifischer Test (KST) zum Einsatz gekommen. Die Intensität der Trainingseinheit wurde zum physiologischen Höchstwert in Prozent ausgewertet. Weiterführend wurde die spezifische Testform gegenüber dem Standardlaborverfahren gegenübergestellt, um die Validierung zu prüfen und die Ausbelastung zu verifizieren.

Beginnend mit dem Vergleich der Ausbelastungsverfahren konnte ermittelt werden, dass für die VO_2 und die rVO_2 kein Unterschied vorliegt. Hingegen wiesen die Laktatwerte Unterschiede zugunsten der Fahrradergometrie auf. Eine bessere Stoffwechselung in der spezifischen Ganzkörperbelastung wird vermutet. Weiterhin kam es in der HF zu einem Unterschied zugunsten der Spezifik. Hierbei wird u.a. der eingesetzte Rampenverlauf mit zu hohen Wattstufen diskutiert. Schließlich konnte für den KST die Validität bestätigt werden. Es sind jedoch Modifizierungen vorgeschlagen, die den Testverlauf für die Sportler und die Ergebnisse verbessern können. Es ist auch zu überlegen, die spezifische Testform gänzlich neu zu betrachten.

Für die Trainingseinheit konnte eine durchschnittliche kardiale Auslastung von $77 \pm 5\%$ bestimmt werden. Diese Beanspruchung überschreitet die Angaben der Literatur um ca. 7%. Der Unterschied wird auf der einen Seite auf die fehlende Angabe der angelehnten Verbandsrichtung zurückgeführt und auf der anderen Seite auf die vielfältigen Trainingsinhalte von Kihon, Kata und Kumite. Demnach bleibt der Schluss, dass ein Karate-Kumite Training in Anlehnung an die WKF intensiver ist, als ein allgemeines Training mit allen Übungsformen des Karates. Für die VO_2 konnte ein Durchschnittswert von $62,7 \pm 3,07\%$ ermittelt werden. Er übersteigt den Wert aus der Literatur um ca. 15% (Imamura et al., 1999). Auch hier spricht die Ausführung eines Karate-Kumite Trainings für eine höhere Auslastung als für ein Training mit vielen karatespezifischen Ausrichtungen. Hinzu wurde auf die großen methodischen Unterschiede von Imamura et al. (1999) und der vorliegenden Untersuchungen verwiesen. Somit kann im Durchschnitt für das Training eine submaximale Auslastung angenommen werden. Betrachtet man die ermittelten Daten zu den Mindestanforderungen zur Erhaltung oder zur Verbesserung der individuellen Leistungsfähigkeit nach der ACSM, so kann für ein 2-3 mal in der Woche durchgeführtes Karate-Kumite Training in Anlehnung an die WKF von 60 Minuten postuliert werden, dass das Training alle Forderungen erfüllt oder gar übersteigt. Demzufolge kann ein Karate-Kumite Training als alternative Trainingsform im Vergleich zu typischen Ausdauerdisziplinen als Herz-Kreislauf-Training durchgeführt werden.

Weiterhin konnte durch die kalorische Ermittlung der Trainingseinheit ein Vergleich zu den zyklischen Disziplinen Lauf und Rad hergestellt werden. Die Ergebnisse verweisen auf eine adäquate Trainingsbelastung an der Dauerleistungsgrenze. Demnach folgte der Schluss, dass zyklisch ergänzende Trainingsmittel eher extensiv

und von längerer Dauer gestaltet werden sollten, um in einem umfangreichen Trainingsplan einen deadaptiven Status zu vermeiden. Um die These des Vergleichs zu zyklischen alternativen Trainingsmitteln an der Dauerleistungsfähigkeit zu prüfen, könnte binnen einer Woche nach der Trainingsaufnahme ein Dauertest im Lauf und Rad durchgeführt werden.

Überdies zeigte die Forschung, dass Spielformen mit hohem zyklischem Laufanteil pro Zeiteinheit wie Fußball oder Basketball ein sehr gutes alternatives Trainingsmittel für ein Karate-Kumite Training darstellen, da sie von der Physiologie ähnliche Beanspruchungen aufweisen. Entsprechend könnte in einem Trainingslager durch eine Spielform die Abwechslung, der Teamgedanke und der Spaß gesteigert werden, ohne dass die physiologische Forderung heruntergesetzt wird. Weniger geeignet sind die Spielformen Volleyball und Tennis. Benannte Ursachen sind verlängerte Pausenzeiten und die Limitierung der Beanspruchung durch ein gewisses sporttechnisches Niveau. Weiterführend wurde die physiologische Trainingsauslastung kritisch der Wettkampfbeanspruchung gegenübergestellt.

Durch die detaillierte Trainings- und Belastungsbeschreibung konnten beide Parameter erstmalig gegeneinander beurteilt werden. Es kamen die Belastungsformen 1-1W und 1minP zum Einsatz. Trotz unterschiedlicher Aktionsfrequenzen, wurden die Tätigkeiten methodisch so konzipiert, dass die gleiche Anzahl an Aktionen und identische Zeitfenster vorlagen. Somit konnte ein Vergleich ermöglicht werden. Für die Belastung 1minP konnte zwischen technischen, taktischen und konditionellen Übungen kein Unterschied festgestellt werden. Auch in der anderen Belastungsform 1-1W war zwischen den Übungen kein Unterschied herauszufinden. Hingegen verwies der Vergleich innerhalb der Übungen zwischen den Belastungsformen eine Tendenz zu einer größeren Beanspruchung für die Form 1-1W. Dennoch weisen beide Belastungsformen keine Gleichheit in Bezug zu einer Beanspruchung bei einer Wettkampfleistung auf. Entsprechend auch der geringeren Belastungszeit fallen die Werte niedriger aus. Da kein sehr großer Beanspruchungsunterschied zwischen den beiden Belastungsformen herausgestellt werden konnte, obliegt die Wahl nach der Belastungsgestaltung der persönlichen Vorliebe des Trainers. Da eine Unabhängigkeit in der Trainingsausrichtung vorlag, muss der Trainer die physiologische Auslastung zwischen den Schwerpunkten in diesen Belastungsformen nicht differenzieren.

Auch der Detailausschnitt in die Höchstwerte der ersten und zweiten Belastungsphase, bestätigte die Tendenz der Mehrbelastung zur Form 1-1W und der Unabhängigkeit der Trainingsintention und einhergehend die Ableitung für das Training. Es konnte grundsätzlich herausgefunden werden, dass sich die beiden Phasen zugunsten der zweiten Belastungsphase unabhängig von den Belastungsformen unterscheiden. Die Trägheit der VO_2 zur Steady-State Anpassung an die gegebene Belastung wird als Ursache benannt. Der Vergleich zwischen den Belastungsformen innerhalb der Übungen, weist einen Unterschied in der ersten Belastungsphase zugunsten der Form 1-1W auf. Der frühere Einstieg der Aktionsdurchführung wird als Begründung ausgewiesen. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die Steady-State

Bedingung in der zweiten Belastungsphase. Hier konnte kein Unterschied eruiert werden. Auch eine Überprüfung aller Übungsarten und beider Belastungsformen konnte eine Unabhängigkeit in der zweiten Belastungsphase aufweisen. Es wurden keine Unterschiede herausgestellt. Eine längere Belastungszeit könnte die Tendenz der Mehrbeanspruchung der Form 1-1W untermauern und weist einen möglichen Ausblick auf.

Neben den beschriebenen Belastungsformen wurde noch die Belastungsform 3minP mit der Übung Pratzenkampf als adäquate Wettkampfübung durchgeführt. Zu der längeren Belastungszeit war auch die Aktionsfrequenz in der Übung erhöht. Es konnte herausgefunden werden, dass die Übung den physiologischen Beanspruchungen einer Kampfunde im Wettkampf entspricht und somit eine sehr gute physiologische Simulation darstellt. Um sich der Wettkampfspezifität weiter zu nähern, wird jedoch eine Verlängerung der Belastungszeit auf 4 bis 5 Minuten empfohlen. Die hier ermittelten Daten betragen für die reine Belastungszeit von 3 Minuten durchschnittlich 93% der HFmax und 86% der VO₂max. Die Werte fallen deutlich höher im Vergleich zu den anderen Belastungsformen aus und konnten statistisch bestätigt werden. Auch in allen anderen Daten und Parametern weist die Übung statistisch höhere Werte aus. Als Ursache werden vor allem die längere Belastungszeit und die erhöhte Aktionsfrequenz benannt. Ein Vergleich der passiven Phase von 3minP zu den aktiven Phasen in den Formen 1minP und 1-1W zeigt in der Steady-State Bedingung nur einen geringen Unterschied aus und verdeutlicht den Einfluss des Parameters Belastungszeit.

Welcher der beiden genannten Parameter die größere physiologische Auswirkung hervorruft, kann mit der vorliegenden Untersuchung nicht bestimmt werden und gibt den Anreiz zu weiterer spezifischer Forschung. Da die erstbenannten Belastungsformen sich in ihrer Übungsart innerhalb der Übung nicht unterscheiden, sollte a) eine Überprüfung einer längeren Belastungszeit mit der hier gegebenen Aktionsfrequenz beider Belastungsformen, b) mit einer gleichen Belastungszeit und einer höheren Aktionsfrequenz und c) mit einer erhöhten Belastungszeit und mit einer erhöhten Aktionsfrequenz durchgeführt und gegenübergestellt werden. Die Ergebnisse geben einen Einblick, ob die Übungsart einen Einfluss auf die physiologische Wettkampfsimulation besitzt oder ob diese unabhängig ist. Weiterführend erwecken andere Belastungsformen wie z.B. 2-2W weiteres Interesse.

Von der Beanspruchungsstruktur fordern die durchgeführten Karate-Kumite Übungen unabhängig von Art und Belastungsform nach einer gewissen Anlaufzeit Steady-State Bedingungen zwischen 70-100% der VO₂max und 80-100% der HFmax. Die Werte veranschaulichen, dass die spezifischen Ausführungen sehr intensiv sind und erklären somit das typische intervallartige Trainingsverhalten im Karate-Kumite.

Die Arbeit zeigt den ersten Versuch einer kontinuierlichen Erfassung der spezifischen physiologischen Beanspruchung der VO₂ im Karate-Kumite Training. Demnach wird weitere Forschung zur Verifizierung oder Falsifizierung nötig sein. In der Untersuchung wurde lediglich das männliche Geschlecht herangezogen und die Fallzahl mit

neun Probanden ist als gering zu betrachten. Hinzu wurde nur das Mindestkriterium von zwei Trainingseinheiten pro Woche aufgestellt. Entsprechend war im Kollektiv das Niveau vom Breitensportler bis zum Leistungssportler vertreten. Eine Spezifizierung in Geschlecht und Niveau führt zu einem differenzierteren Bild. Hinzu sind detaillierte Ausführungen in den Trainingsschwerpunkten wie Taktik und Technik auf ihre physiologische Beanspruchung genauer zu prüfen. Auch ein Übertrag des konzipierten Forschungsdesigns auf eine reine Kata-Trainingseinheit und einer vielfältigen Trainingseinheit mit allen Säulen des Karates, Kihon, Kata, Kihon Kumite und freies Kumite, würden die umfassende Sicht des Karatetrainings erweitern.

Nichtsdestotrotz konnte das Forschungsziel der Arbeit erreicht werden. Erstmals ist eine Beanspruchungsverteilung der VO_2 und HF detailgetreu in einer spezifischen Karate-Kumite Trainingseinheit gemäß der Wettkampfstruktur der WKF dargestellt worden. Die Ergebnisse verweisen auf vielversprechende Hinweise für den Übertrag in die Trainingsdurchführung und Trainingssteuerung.

Literaturverzeichnis

- Astorino, T.A., Rietschel, J.C., Tam, P.A., Taylor, K., Johnson, S.M., Freedman, T.P. & Sakarya, C.E. (2004). Reinvestigation of optimal duration of VO₂max testing. *J Exerc Physiol Online*, 7, 1–8.
- Bangsbo, J., Mohr, M. & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of sports sciences*, 24 (07), 665–674.
- Bassett, D.R. & Howley, E.T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (1), 70–84.
- Beneke, R., Beyer, T., Jachner, C., Erasmus, J. & Hütler, M. (2004). Energetics of karate kumite. *European journal of applied physiology*, 92 (4-5), 518–523.
- Berger, J. (2008). Bealstung und Beanspruchung. In G. Schnabel, H.-D. Harre, J. Krug & W.-D. Kaeubler (Hrsg.), *Trainingslehre - Trainingswissenschaft. Leistung - Training - Wettkampf* (S. 220–236). Aachen: Meyer & Meyer.
- Beyer, T. (1999). *Physiologisches Anforderungsprofil Karate Kumite*. Berlin.
- Billat, V.L., Petot, H., Landrain, M., Meilland, R., Koralsztein, J.P. & Mille-Hamard, L. (2012). Cardiac output and performance during a marathon race in middle-aged recreational runners. *The Scientific World Journal*, 2012.
- Binder, R.K., Wonisch, M., Corra, U., Cohen-Solal, A., Vanhees, L., Saner, H. & Schmid, J.-P. (2008). Methodological approach to the first and second lactate threshold in incremental cardiopulmonary exercise testing. *European journal of cardiovascular prevention & rehabilitation*, 15 (6), 726–734.
- Bland, J.M. & Altman, D. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The lancet*, 327 (8476), 307–310.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- Borg, G., Ljunggren, G. & Ceci, R. (1985). The increase of perceived exertion, aches and pain in the legs, heart rate and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 54 (4), 343–349.
- Buchfuhrer, M.J., Hansen, J.E., Robinson, T.E., Sue, D.Y., Wasserman, K. & Whipp, B.J. (1983). Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *Journal of Applied Physiology*, 55 (5), 1558–1564.
- Bühner, M. & Ziegler, M. (2012). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler (Always learning)* (3. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Chaabène, H., Hachana, Y., Attia, A., Mkaouer, B., Chaabouni, S. & Chamari, K. (2012a). Relative and absolute reliability of karate specific aerobic test (ksat) in experienced male athletes. *Biology of Sport*, 29 (3), 211.
- Chaabène, H., Franchini, E., Miarka, B., Selmi, M.A., Mkaouer, B. & Chamari, K. (2014a). Time-motion analysis and physiological responses to karate official combat sessions: is there a difference between winners and defeated karatekas. *Int J Sports Physiol Perform*, 9 (2), 302–308.
- Chaabène, H., Hachana, Y., Franchini, E., Mkaouer, B. & Chamari, K. (2012b). Physical and physiological profile of elite karate athletes. *Sports medicine*, 42 (10), 829–843.
- Chaabène, H., Hachana, Y., Franchini, E., Mkaouer, B., Montassar, M. & Chamari, K. (2012c). Reliability and construct validity of the karate-specific aerobic test. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26 (12), 3454–3460.
- Chaabène, H., Hachana, Y., Franchini, E., Tabben, M., Mkaouer, B., Negra, Y., Hammami, M. & Chamari, K. (2015). Criterion Related Validity of Karate Specific Aerobic Test (KSAT). *Asian journal of sports medicine*, 6 (3).
- Chaabène, H., Mkaouer, B., Franchini, E., Souissi, N., Selmi, M.A., Nagra, Y. & Chamari, K. (2014b). Physiological responses and performance analysis difference between official and simulated karate combat conditions. *Asian journal of sports medicine*, 5 (1), 21.
- Concu, A., Marcello, C., Rocchitta, A., CIUTU, C. & Esposito, A. (1992). Telemetric measurement of heart-rate-matched oxygen consumption during volleyball games. *Medical science research*, 20 (7), 243–245.
- Cosmed (Hrsg.). (2008). *K4 b2 Benutzerhandbuch* (18. Aufl.). Italien.

- Cosmed (Hrsg.). (2016). *K4 b2 - The World's first and most popular mobile system for field testing*. Zugriff am 30. Mai 2017 unter https://www.cosmed.com/hires/marketing_literature/product_brochure/k4b2/K4b2_Brochure_EN_C09052-02-93_A4_print.pdf.
- Costill, D.L. (1986). *Inside running: basics of sports physiology*. Indianapolis: Benchmark Pr.
- Czuba, M., Zajac, A., Cholewa, J., Poprzecki, S. & Rocznik, R. (2010). Difference in maximal oxygen uptake (VO₂max) determined by incremental and ramp tests. *Studies in Physical Culture and Tourism*, 17 (2), 123–127.
- da Cunha, F.A., Farinatti, P.d.T.V. & Midgley, A.W. (2011). Methodological and practical application issues in exercise prescription using the heart rate reserve and oxygen uptake reserve methods. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14 (1), 46–57.
- Darter, B.J., Rodriguez, K.M. & Wilken, J.M. (2013). Test–retest reliability and minimum detectable change using the k4b2: oxygen consumption, gait efficiency, and heart rate for healthy adults during submaximal walking. *Research quarterly for exercise and sport*, 84 (2), 223–231.
- Davis, J.A. (1985). Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Medicine and science in sports and exercise*, 17 (1), 6–21.
- Deutscher Karate Verband (Hrsg.). (2017). *Sport Pro Gesundheit - Budomotion*. Zugriff am 09. März 2017 unter <http://www.karate.de/ressorts/budomotion>.
- Deutscher Olympischer Sportbund e.V. (Hrsg.). (2017a). *Sport Pro Gesundheit*. Zugriff am 09. März 2017 unter <https://service-sportprogesundheit.de/148/sportprogesundheit>.
- Deutscher Olympischer Sportbund e.V. (Hrsg.). (2010b, 01. Dezember). *Tipp des Monats: Budomotion - Karate als Gesundheitssport*. Zugriff am 09. März 2017 unter http://www.dosb.de/tr/sportentwicklung/sportentwicklungs-news/detail/news/tipp_des_monats_budomotion_karate_als_gesundheitssport/.
- Di Prampero, P.E. (1981). Energetics of muscular exercise. In, *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology, Volume 89* (S. 143–222): Springer.
- Doria, C., Veicsteinas, A., Limonta, E., Maggioni, M.A., Aschieri, P., Eusebi, F., Fano, G. & Pietrangelo, T. (2009). Energetics of karate (kata and kumite techniques) in top-level athletes. *European journal of applied physiology*, 107 (5), 603–610.
- Doyon, K.H., Perrey, S., Abe, D. & Hughson, R.L. (2001). Field Testing of in Cross-Country Skiers With Portable Breath-by-Breath System. *Canadian journal of applied physiology*, 26 (1), 1–11.
- Duffield, R., Dawson, B., Pinnington, H.C. & Wong, P. (2004). Accuracy and reliability of a Cosmed K4b 2 portable gas analysis system. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7 (1), 11–22.
- Edwards, S. (2001). *Leitfaden zur Trainingskontrolle* (12. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Eisenmann, J.C., Brisko, N., Shadrick, D. & Welsh, S. (2003). Comparative analysis of the Cosmed Quark b (2) and K4b (2) gas analysis systems during submaximal exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43 (2), 150.
- Erčulj, F., Dežman, B., Vučković, G., Perš, J., Perše, M. & Kristan, M. (2008). AN ANALYSIS OF BASKETBALL PLAYERS' MOVEMENTS IN THE SLOVENIAN BASKETBALL LEAGUE PLAY-OFFS USING THE SAGIT TRACKING SYSTEM.
- Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A. & Pluim, B.M. (2006). Intensity of tennis match play. *British journal of sports medicine*, 40 (5), 387–391.
- Ferrauti, A., Giesen, H.T., Merheim, G. & Weber, K. (2006). Indirekte Kalorimetrie im Fußballspiel. *Dtsch Z Sportmed*, 57, 142–146.
- Ferrauti, A., Bergeron, M.F., Pluim, B.M. & Weber, K. (2001). Physiological responses in tennis and running with similar oxygen uptake. *European journal of applied physiology*, 85 (1), 27–33.
- Foster, C., Florhaug, J.A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L.A., Parker, S., Doleshal, P. & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15 (1), 109–115.
- Garmin (Hrsg.). (2015). *Forerunner® 920XT Benutzerhandbuch*. Taiwan.
- Gatterer, H. (2007). Sauerstoffaufnahme während eines Fußballspiels: Eine Fallbeschreibung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 58 (3), 83–85.
- Gelbrich, G. (2015). *Gruppenvergleich für kontinuierliche Merkmale*. Statistik Vorlesung. Universität Leipzig.
- Gormley, S.E., Swain, D.P., High, R., Spina, R.J., Dowling, E.A., Kotipalli, U.S. & Gandrakota, R. (2008). Effect of Intensity of Aerobic Training on VO₂ max. *Medicine and science in sports and exercise*, 40 (7), 1336.

- Haber, P. (2009). *Leitfaden zur medizinischen Trainingsberatung. Rehabilitation bis Leistungssport* (3. Aufl.). Wien: Springer Verlag Wien.
- Hartmann, U. & Mader, A. (1999a). Belastung – Anpassung – Training im Sport: Grundlegende Aspekte und Stellenwert der Trainingsprinzipien im Freizeit-/Breiten-, Alters- und Leistungssport. In W. Fritsch (Hrsg.), *Rudern - informieren, reflektieren, innovieren. Berichtsband 3. Konstanzer Ruder-Symposium 1997* (S. 215–228). Limpert, Wiesbaden,
- Hartmann, U. & Mader, A. (1999b). Grundlegende Aspekte zu Trainingsanpassungen und zum Training in mittlerer Höhe. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft*, 6 (1), 72–105.
- Hartmann, U. (2015). *Diagnostik und Training in Sportartengruppen*.
- Hartmann, U. & Niessen, M. (2011). Performance diagnosis and training monitoring of human athletes in track & field running disciplines. In *Applied equine nutrition and training* (S. 113–133): Springer.
- Haskell, W.L., Lee, I.-M., Pate, R.R., Powell, K.E., Blair, S.N., Franklin, B.A., Macera, C.A., Heath, G.W., Thompson, P.D. & Bauman, A. (2007). Physical activity and public health. Updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation*.
- Heck, H. (Hrsg.). (1990). *Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik* (Studienbrief der Trainerakademie Köln des Deutschen Sportbundes, 8). Schorndorf: Hofmann. (1990).
- Heck, H. (1990b). *Laktat in der Leistungsdiagnostik*. Zugl.: Köln, Dt. Sporthochsch., Habil.-Schr., 1987 (Wissenschaftliche Schriftenreihe des Deutschen Sportbundes, 22). Schorndorf: Hofmann.
- Hollmann, W. & Mader, A. (2000). Grenzen der Leistungsfähigkeit des Menschen aus physiologischer Sicht. *Leistungssport* 30 (1), 11–17.
- Hollmann, W. (2006). *Spiroergometrie: kardiopulmonale Leistungsdiagnostik des Gesunden und Kranken; mit 15 Tabellen*: Schattauer Verlag.
- Hollmann, W. & Strüder, H.K. (2009). *Sportmedizin: Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin; mit 91 Tabellen*: Schattauer Verlag.
- Hopkins, W.G. (2006, 07. August). *A New View of Statistics - A Scale of Magnitudes for Effect Statistics*. Zugriff am 30. Mai 2017 unter <http://www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html>.
- Iide, K., Imamura, H., Yoshimura, Y., Yamashita, A., Miyahara, K., Miyamoto, N. & Moriwaki, C. (2008). Physiological responses of simulated karate sparring matches in young men and boys. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22 (3), 839–844.
- Imamura, H., Yoshimura, Y., Nishimura, S., Nakazawa, A.T., Nishimura, C. & Shirota, T. (1999). Oxygen uptake, heart rate, and blood lactate responses during and following karate training. *Medicine and science in sports and exercise*, 31 (2), 342–347.
- Janssen, P.G.J.M. & Weineck, J. (2003). *Ausdauertraining. Trainingssteuerung über die Herzfrequenz- und Milchsäurebestimmung* (3., überarb. und erw. Aufl.). Balingen: Spitta-Verl.
- Jones, A. (2006). The physiology of the world record holder for the women's marathon. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 1 (2), 101–116.
- Kroidl, R.F., Schwarz, S., Lehnigk, B. & Greiving, A. (2010). *Kursbuch Spiroergometrie. Technik und Befundung verständlich gemacht ; 26 Tabellen* (2., aktualisierte und erw. Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Kwast, S. (2016). *Modul - Sportmedizin im Leistungssport*. Leipzig.
- Le Roux, E. (2015). Physiological demands and time-motion analysis of simulated elite karate kumite matches.
- Lind, W. (1997). *Okinawa-Karate: Geschichte und Tradition der Stile*. SVB Sportverlag.
- Littlewood, R.A., White, M.S., Bell, K.L., Davies, P.S., Cleghorn, G.J. & Grote, R. (2002). Comparison of the Cosmed K4 b2 and the Deltatrac IITM metabolic cart in measuring resting energy expenditure in adults. *Clinical Nutrition*, 21 (6), 491–497.
- Löffler, M. (Hrsg.). (2015). *Kurs zur Auswertung medizinischer Daten unter Verwendung des Statistikprogramms SPSS. Skriptenheft zum SPSS-Kurs* (7. Auflage). Leipzig. (2015).
- Macfarlane, D.J. (2001). Automated metabolic gas analysis systems. *Sports medicine*, 31 (12), 841–861.
- Maclaren, D. (1990). Court games: volleyball and basketball. In T. Reilly, N. Secher, P. Snell & C. Williams (Hrsg.), *Physiology of Sports* (S. 376–409): E & FN Spon.
- Mader, A. & Heck, H. (1986). A theory of the metabolic origin of “anaerobic threshold”. *International journal of sports medicine*, 7 (S 1), S45–S65.

- Marées, H.d., Hermann, H. & Bartmus, U. (2003). *Sportphysiologie* (Korr. Nachdr. der 9., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Köln: Sportverl. Strauß.
- Mc Naughton, L.R., Sherman, R., Roberts, S. & Bentley, D.J. (2005). Portable gas analyser Cosmed K4b² compared to a laboratory based mass spectrometer system. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 45 (3), 315.
- McCully, K.K., Vandenborne, K., DeMeirleir, K., Posner, J.D. & Leigh Jr, J.S. (1992). Muscle metabolism in track athletes, using ³¹P magnetic resonance spectroscopy. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 70 (10), 1353–1359.
- McInnes, S.E. (1993). *The physiological load imposed on basketball players during game play*. Masterarbeit. Melbourne: Victoria University of Technology, Department of Physical Education and Recreation.
- McLaughlin, J.E., King, G.A., Howley, E.T., Bassett Jr & Ainsworth, B.E. (2001). Validation of the COSMED K4 b2 portable metabolic system. *International journal of sports medicine*, 22 (04), 280–284.
- Midgley, A.W., McNaughton, L.R., Polman, R. & Marchant, D. (2007). Criteria for determination of maximal oxygen uptake. *Sports medicine*, 37 (12), 1019–1028.
- Milanez, V.F., Lima, M.S., Gobatto, C.A., La Perandini, Nakamura, F.Y. & Ribeiro, L.F. (2010). Correlates of session-rate of perceived exertion (RPE) in a karate training session. *Science & Sports*, 26 (1), 38–43.
- Milanez, V.F., Dantas, J.L., Christofaro, D.G.D. & Fernandes, R.A. (2012). Heart rate response during a karate training session. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 18 (1), 42–45.
- Milanez, V.F. & Pedro, R.E. (2012). Application of different load quantification methods during a karate training session. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 18 (4), 278–282.
- Mroczek, D., Januszkiewicz, A., Kawczyński, A.S., Borysiuk, Z. & Chmura, J. (2014). Analysis of male volleyball players' motor activities during a top level match. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28 (8), 2297–2305.
- Müller, M.J., Bosy-Westphal, A., Dilba, B., Bader, N. & Korth, O. (2006). Energieverbrauch und Energiebedarf gesunder Menschen. *Aktuelle Ernährungsmedizin*, 31 (03), 98–109.
- Narazaki, K., Berg, K., Stergiou, N. & Chen, B. (2009). Physiological demands of competitive basketball. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 19 (3), 425–432.
- Neumann, M. (2014). *Karate-Kumite - semispezifischer Laktatleistungstest - eine Pilotstudie*. Berlin: Humboldt Universität zu Berlin.
- Neumann, M. (2015). *Karate-Kumite: Vorüberlegungen zur Bestimmung des energetischen Anforderungsprofils in einer Schnelldkrafttrainingseinheit*. Leipzig: Universität Leipzig, Sportwissenschaftliche Fakultät.
- Noakes, T.D. (2008). How did AV Hill understand the VO₂max and the “plateau phenomenon”? Still no clarity? *British journal of sports medicine*, 42 (7), 574–580.
- Nunan, D. (2006). Development of a sports specific aerobic capacity test for karate—a pilot study. *J Sports Sci Med*, 5, 47–53.
- Oliveira, T.P. de, Andrade, F. de, Braga, B.S., Filgueiras, J., Coelho, L., Pertence, M.S., Coelho, E., Flávio, V., Milanez, M.S. & Lima, J. de. (2014). Heart rate and rating of perceived exertion in simulated competitive fights in Brazilian karate fighters.
- Padulo, J., Chaabène, H., Tabben, M., Haddad, M., Gevat, C., Vando, S., Maurino, L., Chaouachi, A. & Chamari, K. (2014). The construct validity of session RPE during an intensive camp in young male Karate athletes. *Muscles, ligaments and tendons journal*, 4 (2), 121.
- Padulo, J., Salernitano, G., Maurino, L., Stefano, V. & Gevat, C. (2014). VALIDITY OF RPE SESSION IN YOUNG MALE KARATE ATHLETES. *Ovidius University Annals, Series Physical Education and Sport/Science, Movement and Health*, 14 (2), 298–302.
- Parr, B.B., Strath, S.J., Bassett & Howley, E.T. (2001). Validation of the Cosmed K4b2 portable metabolic measurement system. *Med Sci Sports Exerc*, 33 (5), S300.
- Paul G, M., David B, P. & Clare L, M. (2010). The physical and physiological demands of basketball training and competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5 (1), 75–86.
- Pinnington, H.C., Wong, P., Tay, J., Green, D. & Dawson, B. (2001). The level of accuracy and agreement in measures of FEO₂, FECO₂ and VE between the Cosmed K4b2 portable, respiratory gas analysis system and a metabolic cart. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 4 (3), 324–335.

- Pollock, M.L., Gaesser, G.A., Butcher, J.D., Després, J.-P., Dishman, R.K., Franklin, B.A. & Garber, C.E. (1998). ACSM position stand: the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 30 (6), 975–991.
- Poole, D.C. & Jones, A.M. (2012). Oxygen uptake kinetics. *Comprehensive Physiology*.
- Prommer, N. & Schmidt, W. (2009). Hämoglobinmenge und Sport. *Dtsch Z Sportmed*, 60, 293–294.
- Ross, R., Fudge, B., Gibson, A., Ojiambo, R. & Pitsiladis, Y. (2011). K4b2 Validity and Reliability during Fast Outdoor Running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43 (5), 80.
- Schmidt, W. & Prommer, N. (2007). Einführung der totalen Hämoglobinmenge als entscheidende Größe in einem Blutpass für Ausdauersportler. *BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2006/07*, 125, 1.
- Schrack, J.A., Simonsick, E.M. & Ferrucci, L. (2010). Comparison of the Cosmed K4b 2 portable metabolic system in measuring steady-state walking energy expenditure. *PLoS One*, 5 (2), e9292.
- Silbernagl, S., Despopoulos, A. & Gay, R. (2001). *Taschenatlas der Physiologie* (Flexibles Taschenbuch) (5., komplett überarb. und neu gestaltete Aufl.). Stuttgart: Thieme.
- Stegemann, J. (1991). *Leistungsphysiologie* (4. Neuaufl.). Stuttgart: Georg Thieme.
- Stier, W. (1999). *Empirische Forschungsmethoden*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Stookey, A.D., McCusker, M.G., Sorkin, J.D., Katzel, L.I., Shaughnessy, M., Macko, R.F. & Ivey, F.M. (2013). Test–Retest Reliability of Portable Metabolic Monitoring After Disabling Stroke. *Neurorehabilitation and neural repair*, 27 (9), 872–877.
- Swain, D.P. & Franklin, B.A. (2002). VO₂ reserve and the minimal intensity for improving cardiorespiratory fitness. *Medicine and science in sports and exercise*, 34 (1), 152–157.
- Tabben, M., Chaabène, H., Franchini, E., Tourny, C., Chamari, K. & Coquart, J. (2014a). The influence of karate practice level and sex on physiological and perceptual responses in three modern karate training modalities. *Biol. Sport*, 31, 201–207.
- Tabben, M., Tourny, C., Haddad, M., Chaabane, H., Chamari, K. & Coquart, J.B. (2015). Validity and reliability of the session-RPE method for quantifying training load in karate athletes. *The Journal of sports medicine and physical fitness*.
- Tabben, M., Coquart, J., Chaabène, H. & Franchini, E. (2014b). Validity and Reliability of New Field Aerobic Karate Specific Test (KST) for. *International Journal*.
- Tabben, M., Sioud, R., Haddad, M., Franchini, E., Chaouachi, A., Chamari, K. & Tourny-Chollet, C. (2013). Physiological and perceived exertion responses during international karate kumite competition. *Asian journal of sports medicine*, 4 (4), 263.
- Thoden, J.S. (1991). Testing Aerobic Power. In J.D. MacDougall (Hrsg.), *Physiological testing of the high-performance athlete. Published for the Canadian Association of Sport Sciences* (S. 107–174). Champaign Ill.: Human Kinetics Books.
- Thompson, W.R., Gordon, N.F. & Pescatello, L.S. (Hrsg.). (2010). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (Wolters Kluwer Health) (8th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. (2010).
- Toyoshima, T., Inoshita, K., Ueda, D., Mori, K. & Nakano, S. (2003). Exercise intensity in a kumite bout estimated by oxygen intake, blood lactate concentration and the speed of movement. *Res J Budo (Martial Arts)*, 36, 31–38.
- Universität Zürich. (2016, 13. September). *Wilcoxon-Test*. Zugriff am 11. Mai 2017 unter <http://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse/unterschiede/zentral/wilcoxon.html#28>.
- Veluswamy, S.K., Guddattu, V. & Maiya, A.G. (2015). Test-retest reliability of a portable gas analysis system under free living conditions.
- Wahl, P., Bloch, W. & Mester, J. (2009). Moderne Betrachtungsweisen des Laktats: Laktat ein überschätztes und zugleich unterschätztes Molekül. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 57 (3), 100–107.
- Weineck, J. (2007). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (15. Aufl.). Balingen: Spitta.
- Weineck, J. (2010). *Sportbiologie* (10., überarbeitete und erweiterte Auflage). Balingen: Spitta.
- Wonisch, M., Fruhwald, F.M., Hofmann, P., Hödl, R., Klein, W., Kraxner, W., Maier, R., Pokan, R., Smekal, G. & Watzinger, N. (2003). Spiroergometrie in der Kardiologie-Grundlagen der Physiologie und Terminologie. *Journal für Kardiologie-Austrian Journal of Cardiology*, 10 (9), 383–390.

- World Health Organization (Hrsg.). (2010). *WHO guidelines on drawing blood: best practice in phlebotomy*. Zugriff am 15. September 2016 unter http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44294/1/9789241599221_eng.pdf.
- World Karate Federation (Hrsg.). (2017). *Kata and Kumite Competition Rules*. Zugriff am 23. Februar 2017 unter <http://www.wkf.net/pdf/WKFCCompetitionRules2017.pdf>.
- Yoon, B.-K., Kravitz, L. & Robergs, R. (2007). VO₂max, protocol duration, and the VO₂ plateau. *Med Sci Sports Exerc*, 39 (7), 1186–1192.
- Ziv, G. & Lidor, R. (2009). Physical attributes, physiological characteristics, on-court performances and nutritional strategies of female and male basketball players. *Sports medicine*, 39 (7), 547–568.

Anhang

- A K4 b²: Übersicht Reliabilitätsstudien
- B K4 b²: Übersicht Validitätsstudien
- C Einverständniserklärung
- D Kooperationsvereinbarung
- E Probandenprotokoll
- F Spirometrie-Protokoll
- G Standardisierte Erwärmung KST
- H Qualitative Erhebung typischer Trainings und Belastungsformen im Karate-Kumite
- I Kontrollmessung der Spirometrie
- J Überprüfung von Ermüdungseffekten in der Trainingseinheit
- K Statistikausdrucke: Vergleich Fahrradergometrie und KST
- L Statistikausdrucke: Hauptübungen – Vergleich ihrer Gesamtbelastungen
- M Statistikausdrucke: Hauptübungen – Vergleich ihrer Teilbelastungen
- N detaillierte Statistikangaben

Anhang A – K4 b²: Übersicht Reliabilitätsstudien

Abkürzungen: k.i.A. = keine individuelle Ausbelastung, n.s. = nicht signifikant, m = männlich, w = weiblich, FeO₂/FeCO₂ = Gaskonzentration O₂/CO₂

Autor	Jahr	N Probanden	Belastungsform	Untersuchte Parameter	Reliabilitätsprüfung	Korrelation	Kein Sign. Unterschied	Zusammenfassung
Ross, Fudge, Gibson, Ojiambo & Pitsiladis	2011	19 Erwachsene, 30 Jugendliche	Lauf, bis zur Ausbelastung, 2km/h je Stufe, Stufenlänge 3min	FeO ₂ , FeCO ₂ , VO ₂ , VCO ₂ , VE, R			in allen aufgenommenen Parameter bei submaximalen und maximalen Geschwindigkeiten	Reliables Messsystem für Feldmessungen
Duffield, Dawson, Pinnington & Wong	2004	12, m	Lauf, 10min locker, 3min hart, 1min Sprint, dazw. 10min Pause, k.i.A.	FeO ₂ , FeCO ₂ , VO ₂ , VCO ₂ , VE	Test-Retest	ICC = 0,51-0,88 alle sign. < 0,05, Ausnahme FeCO ₂ 10min ICC = 0,40, n.s.	Für alle Parameter in allen Belastungsformen	Reliables Messsystem über verschiedene Belastungsformen
Darter, Rodriguez & Wilken	2013	22 (11m, 11w)	2 Gehtests an unterschiedlichen Tagen, 5 Geschwindigkeiten	VO ₂ , HF	Test-Retest	P < 0,05 VO ₂ rel ICC in allen Belastungsstufen von 0,85-0,96 in Ruhe ICC bei 0,43	-	Reliables Messsystem für unterschiedliche Gehgeschwindigkeiten
Stookey et al.	2013	23 (12w, 11m) ältere chronisch herzkrankte Personen	2 x 6min Gehtest mit einer Woche Pause dazwischen	VO ₂ , VCO ₂ , VE, R	Test-Retest	ICC bei p=0,001 VO ₂ (mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹) 0.90 VO ₂ (L · min ⁻¹) 0.93 VCO ₂ (mL · min ⁻¹) 0.93 VE (L · min ⁻¹) 0.95 R 0,64	Kein sign. Unterschied bei p=0,05 VO ₂ (mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹) 0.95 VO ₂ (L · min ⁻¹) 0.97 VCO ₂ (mL · min ⁻¹) 0.38 VE (L · min ⁻¹) 0.86 R 0,37	Reliables Messsystem für geringe Intensitäten und für herzkrankte Personen einsetzbar

Veluswamy, Gudattu & Maiya	2015	20 (9m, 11w)	Testung von Alltagsbelastungen Spaziergang draußen, Treppen herauf und herab steigen im Haus, jeweils im selbst gewählten Tempo	VO ₂ , VCO ₂	Test-Retest Lauf, n=12 (6w, 6m), Messungen 1 Woche separiert, Treppensteigen, n=20, 10min separiert	ICC bei p=0,001 VO ₂ : Gehen: 0.91 Trepp auf: 0.82 Trepp ab: 0.67 VCO ₂ : Gehen 0.91 Trepp auf 0.73 Trepp ab 0.51	Kein sign. Unterschied bei P=0,001 VO ₂ : Gehen 0.748 Trepp auf 0.253 Trepp ab 0.123] VCO ₂ : Gehen 0.937 Trepp auf 0.527 Trepp ab 0.007 (p=0,01)	Reliable Messsystem für gleichmäßige Belastungen und für Bestimmung von Alltagsbelastungen, kurze intermittierende Belastungen benötigen mehr Forschung Kritik: Belastungszeit nur zw. 57-96sec bei Treppensteigen
----------------------------	------	--------------	---	------------------------------------	---	---	---	---

Anhang B – K4 b²: Übersicht Validitätsstudien

Abkürzungen: k.i.A. = keine individuelle Ausbelastung, n.s. = nicht signifikant, m = männlich, w = weiblich, FeO₂/FeCO₂ = Gaskonzentration O₂/CO₂

Autor	Jahr	N Probanden	Belastungsform	Untersuchte Parameter	Methode	Korrelation	Sign. Unterschiede	Zusammenfassung
Kriteriumsvalidität mit Douglas Sack								
Parr, Strath, Bassett & Howley	2001	7	Rad, 5min Stufen von 50, 100, 150, 200, 250 W, keine individuelle Ausbelastung, nur 4 Personen absolvierten 250W	FeO ₂ , FeCO ₂ , VO ₂ , VCO ₂ , VE, R	Einzelmessung der Systeme, randomisierte Zuweisung auf Gleichverteilung, 2x binnen einer Woche		P=0,05; 50-200 W bei FeO ₂ und FeCO ₂ , R und VCO ₂ bei 250 W	FeO ₂ unterschätzt, FeCO ₂ überschätzt, jedoch kein sign. Unterschied in VO ₂ und VCO ₂ , akkurates Messsystem für Ruhe und Belastung
Mc Laughlin, King, Howley, Bassett Jr & Ainsworth	2001	10	Rad, 5min Stufen von 50, 100, 150, 200, 250 W, keine individuelle Ausbelastung.	FeO ₂ , FeCO ₂ , VO ₂ , VCO ₂ , VE, R	Einzelmessung der Systeme, randomisierte Zuweisung auf Gleichverteilung, gleiche Tagesabstände		P=0,05; VO ₂ bei 50-200 W, VCO ₂ & VE bei 200 und 250 W, FeO ₂ bei 50-250W, FeCO ₂ bei 50 W, R von Rest-250W	Leichte Überschätzung von VO ₂ und leichte Unterschätzung von VCO ₂ , trotz sign. Unterschiede das Ausmaß der Abweichung gering, Messsystem wird als akzeptabel für Ruhe und Belastung angesehen
Ross, Fudge, Gibson, Ojiambo & Pitsiladis	2011	19 Erwachsene, 30 Jugendliche (15w, 15m)	Lauf, bis zur Ausbelastung, 2km/h je Stufe, Stufenlänge 3min	FeO ₂ , FeCO ₂ , VO ₂ , VCO ₂ , VE, R			Kein Unterschied für VO ₂ in allen submaximalen und maximalen Geschwindigkeiten	Valides Messsystem für Feldmessungen

Kriteriumsvalidität mit Metabolic Carts								
Duffield, Dawson, Pinnington & Wong	2004	12, m	Lauf, 10min locker, 3min hart, 1min Sprint, dazw. 10min Pause, k. i. A.	FeO ₂ , FeCO ₂ , VO ₂ , VCO ₂ , VE	Jeweils Einzelmessung der Systeme und eine simultane Messung beider Systeme, Metabolic cart Gasanalysegerät Ametek & Morgan Ventilometer	VO ₂ r ² =0,84 VCO ₂ r ² =0,92	P=0,05; FeO ₂ , FeCO ₂ , VO ₂ & VCO ₂ in der Einzelmessung und in der Simultanmessung zum Metabolic cart in allen Belastungsformen, und auch Werte von Metabolic cart in der Simultanmessung, kein sign. Unterschied in VE bei allen Messungen	Überschätzt VO ₂ und VCO ₂ , unterschätzt FeO ₂ und überschätzt FeCO ₂ , VE verweist auf keine Unterschiede, Empfehlung die Werte mit ermittelten Korrekturfaktor zu bearbeiten
Eisenmann, Brisko, Shadrick & Welsh	2003	21 (13m, 8w)	Gehen, 5km/h bei 0%, 5% und 10 % Steigung, k. i. A.	FeO ₂ , FeCO ₂ , VO ₂ , VCO ₂ , VE, R	2 fache Durchführung der Gehstufen mit jeweiligem System, randomisiert, Einzelmessung der Systeme Metabolic cart Cosmed Quark b2	Korrelation von VO ₂ rel. beider Systeme r=0,96	P=0,01; VO ₂ rel. & abs. bei 0% Steigung und bei 10% Steigung VO ₂ abs. überschätzt, FECO ₂ bei 5% Steigung unterschätzt, FEO ₂ bei 0% Steigung unterschätzt, R in jeder Steigung unterschätzt, p=0,05; FeO ₂ /VO ₂ rel. bei 10% Steigung unterschätzt/ überschätzt Kein sign. bei VE und VCO ₂	Tendenz einer leichten Überschätzung der VO ₂ zu 0,5-1ml/min*kg, Abweichung ; Sign. Abweichungen gering und physiologisch nicht sign. ; tolerabel und System für niedrige bis moderate Belastungen anwendbar

Littlewood et al.	2002	9 (4m, 5w)	Ruheumsatzbestimmung	REE, VO ₂ , VCO ₂ , R	3 Messungen á 20min, jeweils eine Einzelmessung und eine Simultanmessung Metabolic cart Deltatrac II™		Keine Signifikanzprüfung, Auswertung über Bland und Altman Analyse, mathematische Berechnungen und über Standardabweichungen	Allg. sehr große Streuung zu berechneten Werten und zur Metabolic cart, kein valides Instrument zur Bestimmung des Ruheumsatzes bei Erwachsenen
Pinnington, Wong, Tay, Green & Dawson	2001	20 (12m, 8w) für FeO ₂ und FeCO ₂ 10 (8m, 2w) für VE	Lauf, für FeO ₂ und FeCO ₂ 12-15min selbst gewählte Geschwindigkeit, für VE 8, 11 und 14 km/h 5min Stufen	FeO ₂ , FeCO ₂ , VE	2 simultane Messungen, eine für FeO ₂ und FeCO ₂ , andere für VE Gasanalyse über Tisso Tank (600l Collins Gasometer), Gas wurde anschließend über Servomax O ₂ analyser, Datex normocap CO ₂ analyser vermessen Ventilationsmessung mit Morgan Analyser	FeO ₂ ; r= 0.971, P<0.01, SEM 0.071; r ² = 0.940 P < 0.001 FeCO ₂ ; r= 0.925, P<0.01, SEM 0.087 r ² = 0.856 P < 0.001 VE; r= 0.982, P<0.01; SEM 3.03 r ² = 0.965 P < 0.001	P=0,01; FeO ₂ unterschätzt, FeCO ₂ unterschätzt P=0,05; VE überschätzt bei 8 und 11 km/h	VO ₂ wird zu ca. 8% überschätzt und VCO ₂ zu ca. 3,2% unterschätzt, auch die Ventilation wird überschätzt und beeinflusst somit auch die VO ₂ Angabe, Abweichungen können physiologisch statistisch signifikant sein, daher Empfehlung Daten mit Regressionsgleichung aus Daten eines Laboranalysegerätes zu korrigieren

Mc Naughton, Sherman, Roberts & Bentley	2005	8 (m)	Rad, VO_2max Test (30W/3min), submaximal Test mit 50, 100, 150, 200, 250 und 300 Watt	VO_2 , VCO_2 , VE, R	Simultane Messung beider Systeme Matebolic cart Morgan EX670	P=0,05 VO_2 abs. r = 0,72 VO_2 rel r = 0,76	Kleine absolute, aber zum Teil Sign. Unterschiede bei VO_2 und VCO_2 zunehmend mit Belastung, Über- und Unterschätzung beider Parameter, keine Vereinheitlichung erkennbar keine sign. Unterschiede bei VE und R	Unsystematische Abweichung zwischen 1-16% und systematische Abweichung zwischen 3-8%, Speziell in höheren Belastungsbereichen größere Streuung der Werte zum Vergleichssystem; K4 b^2 nicht für Austausch geeignet, Empfehlung sich für ein System zu entscheiden mit dem man seine Untersuchungen durchführen möchte, wenn Einsatz von K4 b^2 Daten mit Regression zu korrigieren
---	------	-------	---	--	---	---	---	--

Doyon, Perrey, Abe & Hughson	2001	8 (6m, 2w)	Labortest Laufband, Feldtest 3x maximal diagonal stride, 2x maximal Doppelstockeinsatz über 640m Voruntersuchung Fahrradergometrie mit K4 b² und Metabolic cart im Labor und eine Feldmessung,	VO ₂ , HF, VO ₂ /HF	Separate und randomisierte Messung der Tests und einhergehend der Messsysteme Metabolic Cart mixing box system (Hughson et al., 1980) consisting of O₂, (Applied Electrochemistry Inc.) and CO₂ (Beckman LB-2) analyzers and pneumotachograph (Hewlett-Packard, 4730A).	Diagonal Stride P<0,0005 r = 0,94 Doppel-stock p<0,004 r = 0,88 Voruntersuchung, keine Korrelationsangabe, grafische Darstellung nahezu identischer Werte eines Einzelbeispiels	Keine weitere statistische Prüfung Voruntersuchung, keine statistische Angaben, grafische Darstellung nahezu identischer Werte eines Einzelbeispiels	Sehr gute Übereinstimmung bei der Systeme über gesamten VO₂-Bereich auch bei kalten Temperaturen (2°C)
Schrack, Simonsick & Ferrucci	2001	19 (9w, 10m)	Laufband-Gehtest über eine ¼ Meile mit selbst gewählter Geschwindigkeit, jeweils mit beiden Messsystemen, Messungen randomisiert hintereinander mit kurzer Pause dazwischen,	VO ₂ , VCO ₂	Separate Messungen Medgraphics D-Series Gas Exchange System, ebenfalls Breath-by-breath System	ICC: VO₂ (ml/kg/min) 0.9512 VO₂ (ml/min) 0.9698 VCO₂ (ml/min) 0.9285 Pearson VO₂ (ml/kg/min) 0.9582 VO₂ (ml/min) 0.9718 VCO₂ (ml/min) 0.9735	Kein sign. Unterschied im Gesamtkollektiv bei p=0,05 VO₂ (ml/kg/min) 0.249 VO₂ (ml/min) 0.159 VCO₂ (ml/min) 0.085	K4 b² gibt sehr gute Ergebnisse für niederintensive gleichmäßige Belastungen und ist für den Außeneinsatz geeignet

6. Prüfen ob HF angezeigt wird			
7. Proband in der Einheit eingeben			
8. Start Test			
Startzeit			
9. Nach Testende Referenzgas gegenmessen um Drift im zeitlichen Verlauf zu detektieren			
CO2		O2	
10. Test beenden (cancel, enter)			
11. Test auslesen, filtern, mitteln und exportieren			
Bemerkungen/ Hinweise:			
Testleiter		Unterschrift	

Anhang G – Standardisierte Erwärmung KST

10min – Steuerung über Audiosignal

Zeit	Aktion
3min	Laufen
2min	Seilspringen
2min	Laufschule – jeweils 30sec. Kniehebellauf, Anfersen, Scherenlauf li u re
3min	Dehnung
3min	Schützer anziehen und Trinken
2min	4x Probe des Ablaufes
Anlegen der Messinstrumente und Start der Messung	

Anhang H – Qualitative Erhebung typischer Trainings und Belastungsformen im Karate-Kumite

3 Bundes- und 2 Landestrainer: Fett markiert = berücksichtigte Inhalte in der Trainingsgestaltung der vorliegenden Untersuchung

Person	Erwärmung	Dehnung	Übung 1	Übung 2	Übung 3	Belastungsstruktur	Randori-Simulation
1	Die Erwärmung mit den dazugehörigen Koordinationsübungen, Lauf ABC und Stabilisationsübungen sind unbegrenzt		Ausgangsstellung spiegelbildlich. Uraken zum Führungsarm des Partners – eintauchen Gyaku-Tsuki zum Körper. Bewegung aus dem freien Steppen auf der Linie. Variation: Partner bleibt stehen= Angriff Einstep Partner weicht nach hinten aus= Angriff Zweistep Partner rutscht vor= Angriff auf Reaktion (Einstep)	Ausgangsstellung spiegelbildlich Mae-Mawashi-Geri zum Kopf (vorderen Arm des Partners kontrollieren/wegdrücken). Bewegung aus dem freien Steppen auf der Linie. Variation: Partner bleibt stehen= Angriff Einstep Partner weicht nach hinten aus= Angriff mit Beisetzschrift Partner rutscht vor= direkte Ausföhrung ohne Distanzbewegung	Ausgangsstellung spiegelbildlich Uraken zum Führungsarm des Partners – eintauchen Gyaku-Tsuki zum Körper – Mae-Mawashi-Geri zum Kopf Bewegung aus dem freien Steppen auf der Linie. Variation: Bewegung aus dem freien Steppen in der Kampffläche Partner verschiebt ständig die Distanzen Angriff erfolgt auf akustisches Signal vom Trainer		Simulation Randori/Turnier: Freies Pratzen-training : 20sec Schlagserien – 10sec Pause= 3min lang Eine Kampfzeit von 3min Pause Wiederholungszahl 5 (entspricht einem Turnier)

2	20 Minuten Aufwärmen 1-2`Laufübungen</b>  <b>2-5`Min Spielform für Reaktion (z.B. Schulter, Füße abtippen) 3-5 Min. Stabi (Einbeinstandübungen, Vierfüßlerstand, Brücke) 5 Min Miniausfallschritte, Ausfallschritte im vorwärts- rückwärtsgehen und Variationen 3`aktivierungsübungen (Skip-pings, Seilspringen, etc.)		Beide links vor vordere Hand berührt gegners Führhand Überlaufener Gyaku jodan Gegner versucht zu entkommen Gegner kontert	Links/rechts vor Uraken zum Kopf und sofort vorderes Bein mit vorderem Bein anfeigen Uraken zum Kopf und so tun als ob der Feger kommt und sofort das Bein hochreißen zu jodan Mawashi W. o. nur anstatt Mawashi Uramawashi noch fintieren und erst dann Mawash	Beide links vor vordere Hand berührt gegners Führhand Überlaufener Gyaku jodan, das Bein außen neben des Gegners Bein absetzen und fegen Gegner versucht zu entkommen Gegner kontert	In der Regel 1min der eine, dann der andere oder 10 Wdh. der eine, dann der andere	
3	Bewegen mit dem Partner unter Vorgaben wie z. B. Partner sollen versuchen sich mit der vorderen Hand an der Schulter berühren (Randori-like für Kizami) Partner sollen versuchen sich	verschiedene Dehnungen Beine, Hüfte, Oberkörper, Arme (ca. 5 Sekunden Spannung halten) z. T. zwischen den Erwärmungsübungen, z. T. aber auch danach als längerer Block	Reaktive Trainingsabschnitte (verschiedene Konterformen (direkt, indirekt mit Fuß oder Faust)	Angriffsformen (individuelle Angriffskombinationen (Abschluss mit Faust bzw. Fuß) mit entsprechender Vorbereitung (Finte, Anpushen, Anfeigen,...)	Die genannten Trainingsformen in kleineren Gruppen unter Vorgabe, wer angreift, wer kontert Rückmeldung der beteiligten Gruppenteilnehmer was gut, was verbesserungswürdig ist		

	mit beiden Händen zu berühren (Randori-like für Kizami /Gyaku) Ein Partner versucht mit Pratzen dem anderen „Ohrfeigen □“ zu verteilen, der andere soll die Deckungsarbeit üben, usw. Bewegen ohne Partner (Schritt-, Step-, Beisetz-Bewegungen mit Seitwärtsbewegungen, Abducken , z.T. mit Vorgabe welche Bewegung, z. T. frei), usw.						
4	Ansatzkontern: Partner kommt ohne Technik, nur mit dem Oberkörper nach vorne. Er wird dann mit einen direkten Konter Arm "ab gekontert". Dies wird drei Runden gemacht	Klassische Dehnung, beginnend mit der Wade	Direkter Konter auf Vordere Hand- hintere Hand Spiegelbildlich. Das Gleiche mit Konter Fuß Seitengleich.	In die Vorbereitung des Gegners angreifen (Druck schlagen)	Konter des Gegners ziehen, dann schlagen oder treten.		

5	Seilspringen, 3x2min, 3x3min Blackroll-Mo- bilasation, lockeres Randori Koordinationslei- ter	Durchs ganze Training hinweg	Pratzentraining 1min der eine 1min der andere	Techniktraining 3x locker, 2x stark Einzel und kom- bination oder Kizami Gyaku, Auslage frei 1-1 im Wechsel über 2min	Dirketer Konter 1-1 im Wechsel über 2min	Aktionen immer aus freier Aus- lage und Bewe- gung, Belastungs- struktur i.d.R. 1- 1 im Wechsel	Training nach Aufgabenstel- lung, z.B. nur Fausttechniken, andere nur 1. Ausweichen 2. Mit Konter 3. Mit Gegenangriff Parcoursform kumitespezifisch zur Belastungs- zeit
---	---	---------------------------------	--	--	---	--	---

Anhang I – Kontrollmessung der Spirometrie

Kontrollmessung nach der Kalibrierung und nach der Messung bei der Fahrradergometrie, alle Angaben in % der Gaskonzentration

		O ₂		CO ₂			
Sollwerte in %		15,96		5,00			
		nach Kalibrierung		nach Test im Messmodus		nach Test nach Messmodus	
		O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
1	Rad	-	-	-	-	-	-
2	Rad	-	-	-	-	16,16	5,02
3	Rad	16,03	4,95	-	-	16,03	5,09
4	Rad	-	-	-	-	-	-
5	Rad	-	-	15,95	4,74	15,90	4,87
6	Rad	16,00	4,98	15,96	4,87	-	-
7	Rad	15,96	5,05	15,87	5,05	15,88	4,88
8	Rad	15,95	4,98	15,88	4,88	15,87	4,89
9	Rad	15,95	4,99	15,84	4,94	16,18	4,96

MW		15,98	4,99	15,90	4,90	16,00	4,95
SD		0,036	0,037	0,052	0,113	0,142	0,089

Abw. in %		-0,11	0,2	0,38	2,08	-0,27	0,97
-----------	--	-------	-----	------	------	-------	------

Kontrollmessung nach der Kalibrierung und nach der Messung beim KST, alle Angaben in % der Gaskonzentration

		O ₂		CO ₂			
Sollwerte in %		15,96		5,00			
		nach Kalibrierung		nach Test im Messmodus		nach Test nach Messmodus	
		O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
1	KST	-	-	-	-	16,20	4,95
2	KST	-	-	-	-	16,18	4,87
3	KST	-	-	-	-	16,23	5,08
4	KST	-	-	16,00	4,94	16,23	5,02
5	KST	15,94	4,98	15,97	4,74	16,12	4,90
6	KST	15,99	4,98	15,93	4,76	15,99	4,89
7	KST	15,95	5,07	15,95	4,93	16,08	4,96
8	KST	15,99	4,97	15,96	4,71	16,13	4,80
9	KST	15,95	5,03	15,95	4,80	16,07	4,93

MW		15,96	5,01	15,96	4,81	16,14	4,93
SD		0,024	0,043	0,024	0,099	0,081	0,083

Abw. in %		-0,03	-0,12	0,00	3,73	-1,11	1,33
-----------	--	-------	-------	------	------	-------	------

Kontrollmessung nach der Kalibrierung und nach der Messung bei der Trainingseinheit, alle Angaben in % der Gaskonzentration

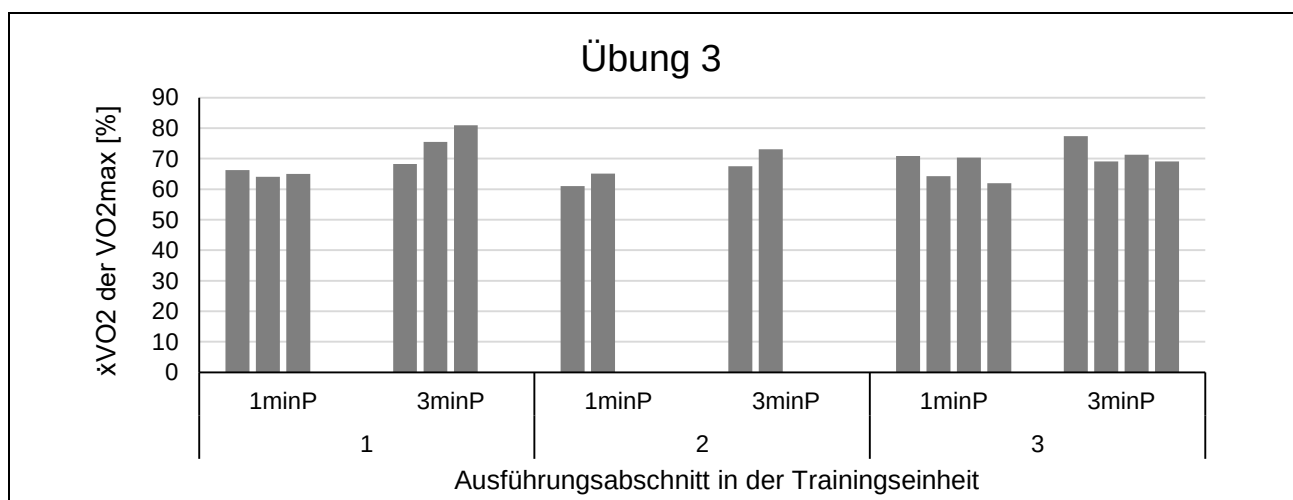
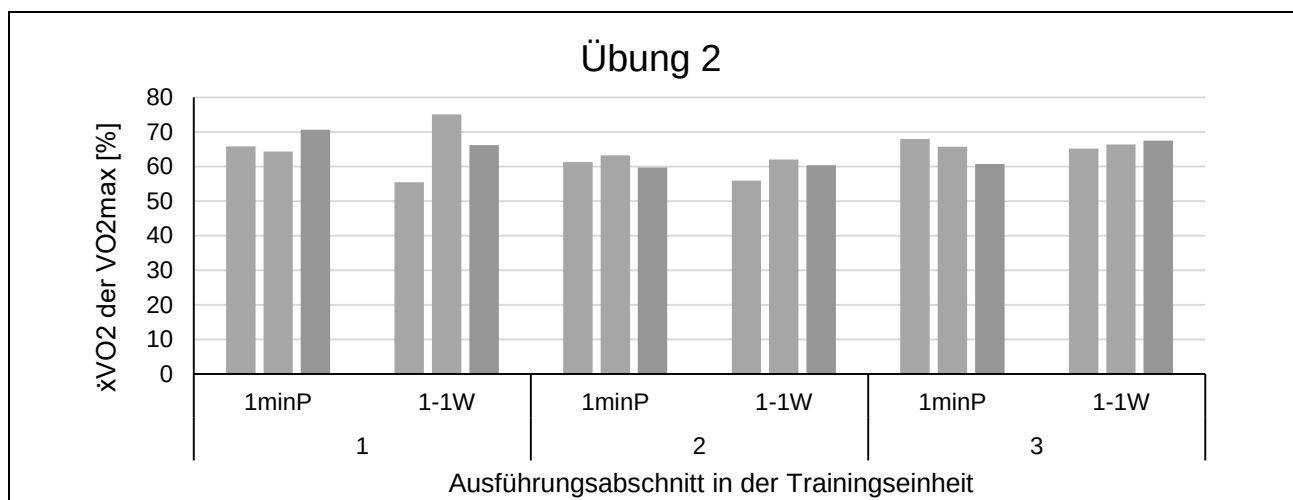
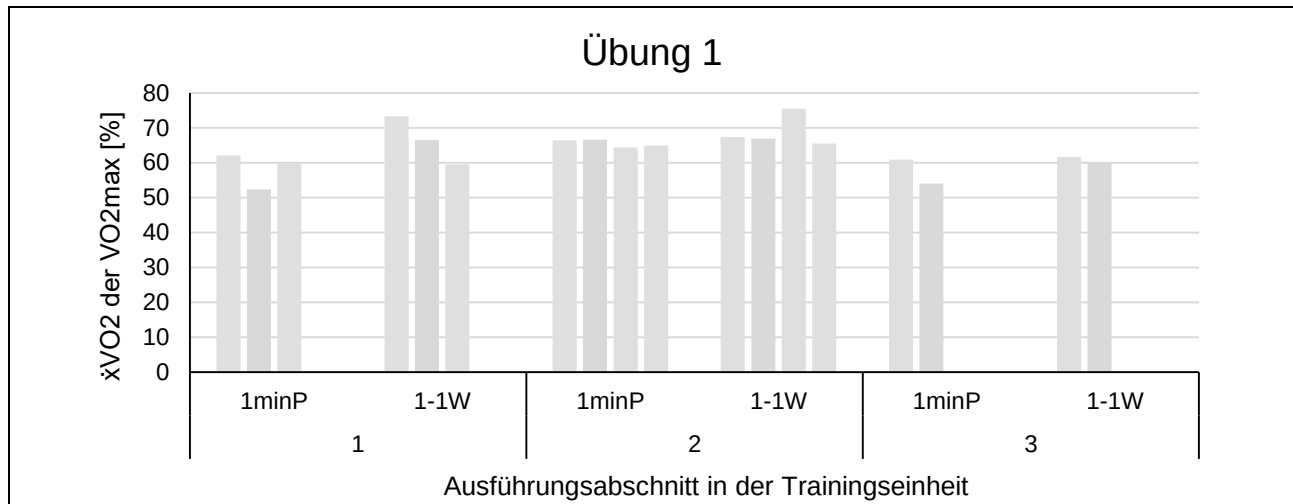
		O ₂		CO ₂			
Sollwerte in %		15,96		5,00			
		nach Kalibrierung		nach Test im Messmodus		nach Test nach Messmodus	
		O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
1	Tr	-	-	-	-	-	-
2	Tr	15,97	4,96	-	-	16,06	4,87
3	Tr	16,01	5,00	-	-	16,02	4,95
4	Tr	15,94	5,00	15,98	4,74	15,97	4,92
5	Tr	15,98	4,98	16,02	4,32	16,03	4,74
6	Tr	15,96	4,93	15,99	4,87	15,99	4,84
7	Tr	15,90	5,02	15,88	4,84	15,87	4,97
8	Tr	15,95	4,97	16,02	4,93	-	-
9	Tr	15,94	5,00	15,93	4,82	15,93	4,85

MW		15,96	4,98	15,97	4,75	15,98	4,88
SD		0,032	0,029	0,055	0,221	0,065	0,078

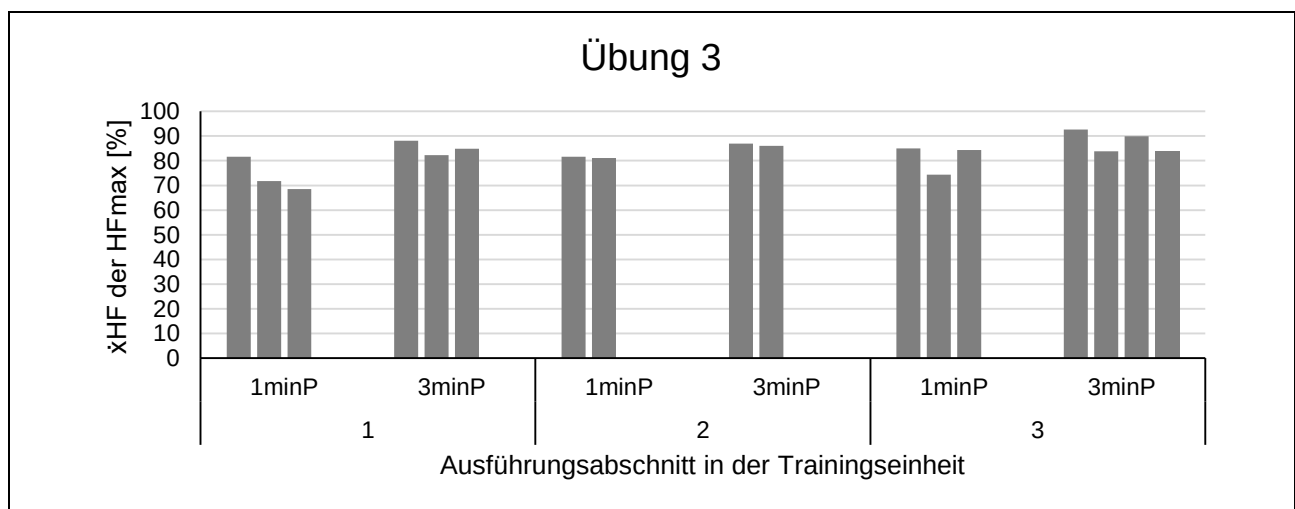
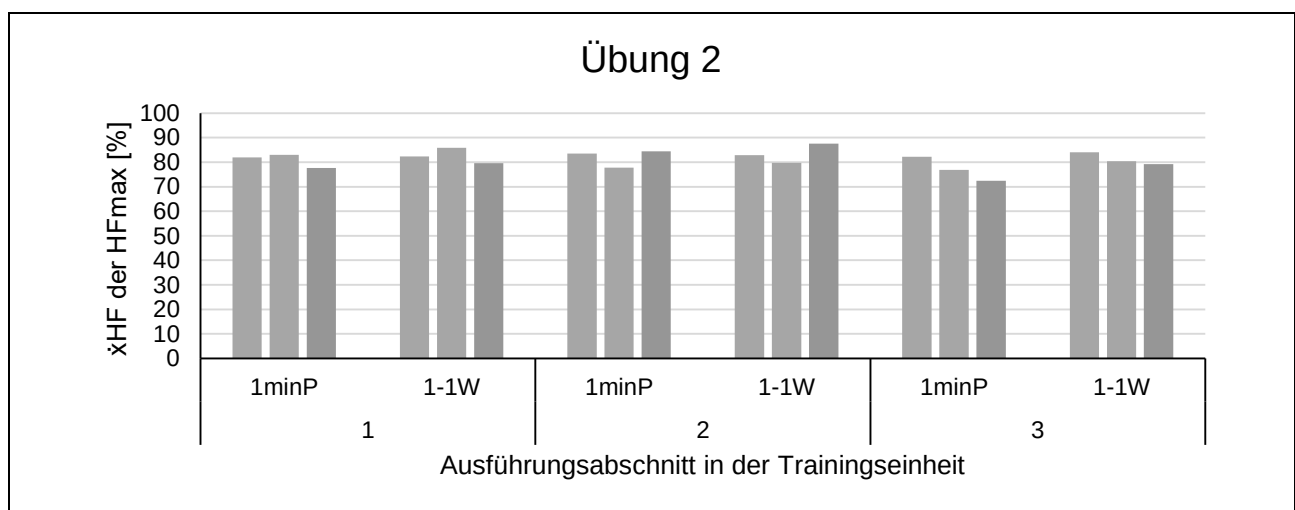
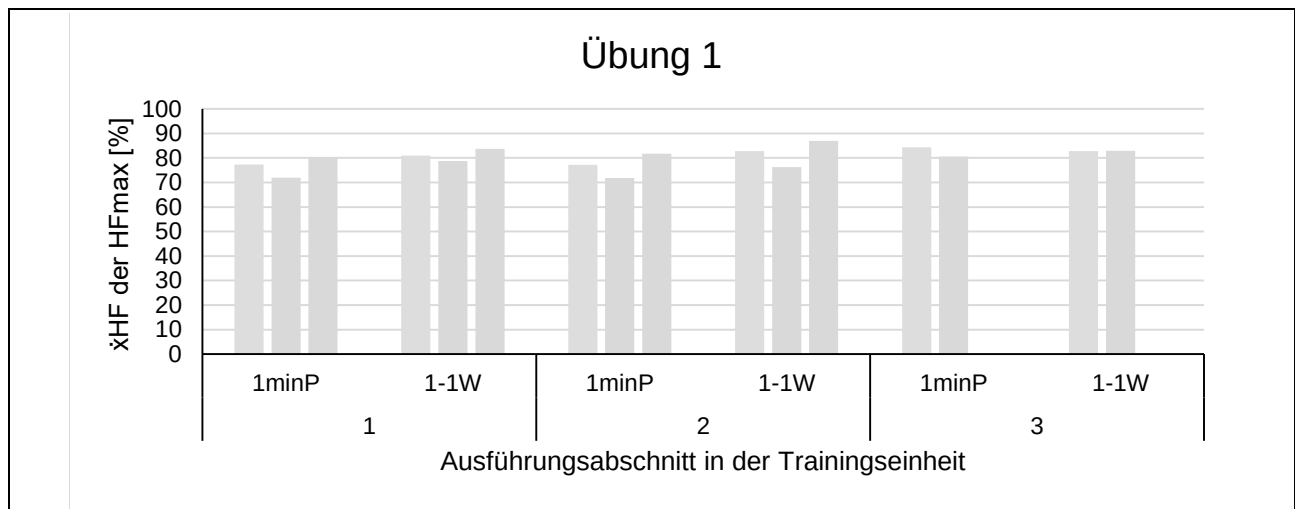
Abw. in %		0,02	0,35	-0,06	4,93	-0,13	2,46
--------------	--	------	------	-------	------	-------	------

Anhang J – Überprüfung von Ermüdungseffekten in der Trainingseinheit

Durchschnittliche $\dot{V}O_2$ der gesamten Belastungszeit je Belastungsform in % zur $\dot{V}O_{2max}$ für alle Übungen, Darstellung MW ohne SD, Anzahl der Balken präsentieren Häufigkeit der Durchführungen im jeweiligen Trainingsabschnitt des gesamten Kollektivs, Verteilung aufgrund der Randomisierung



Durchschnittliche HF der gesamten Belastungszeit je Belastungsform in % zur HFmax für alle Übungen, Darstellung ohne SD, Anzahl der Balken präsentieren Häufigkeit der Durchführungen im jeweiligen Trainingsabschnitt des gesamten Kollektivs, Verteilung aufgrund der Randomisierung



Anhang K – Statistikausdrucke: Vergleich Fahrradergometrie und KST

Prüfung der Normalverteilung

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
R_VO2max	,249	9	,113	,811	9	,027
R_VO2max rel	,219	9	,200 [*]	,861	9	,097
R_VE max	,146	9	,200 [*]	,968	9	,877
R_HF max	,255	9	,093	,918	9	,378
R_Laktat max	,146	9	,200 [*]	,945	9	,633
R_Borg	,434	9	,000	,485	9	,000
K_VO2max	,266	9	,065	,831	9	,045
K_VO2max rel	,243	9	,134	,908	9	,302
K_VE max	,187	9	,200 [*]	,926	9	,446
K_HF max	,134	9	,200 [*]	,961	9	,812
K_Laktat max	,187	9	,200 [*]	,925	9	,436
K_Borg	,471	9	,000	,536	9	,000

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.
a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Prüfgröße Shapiro-Wilk $p \leq 0,05$ entspricht keiner Normalverteilung

Wilcoxon-Test

Statistik für Test ^a						
	K_VO2max - R_VO2max	K_VO2max rel - R_VO2max rel	K_VE max - R_VE max	K_HF max - R_HF max	K_Laktat max - R_Laktat max	K_Borg - R_Borg
Z	-,178 ^b	-,296 ^b	-,889 ^b	-2,521 ^c	-2,431 ^b	-,816 ^c
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,859	,767	,374	,012	,015	,414
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,910	,820	,406	,008	,012	,750
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,455	,410	,203	,004	,006	,375
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,045	,043	,016	,004	,002	,250

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf positiven Rängen.
c. Basiert auf negativen Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

Spearman-Korrelation der VO₂max und der rVO₂max

Korrelationen				
			R_VO2max	K_VO2max
Spearman-Rho	R_VO2max	Korrelationskoeffizient	1,000	,717*
		Sig. (2-seitig)	.	,030
		N	9	9
	K_VO2max	Korrelationskoeffizient	,717*	1,000
		Sig. (2-seitig)	,030	.
		N	9	9

*. Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

Korrelationen				
			R_VO2max rel	K_VO2max rel
Spearman-Rho	R_VO2max rel	Korrelationskoeffizient	1,000	,633
		Sig. (2-seitig)	.	,067
		N	9	9
	K_VO2max rel	Korrelationskoeffizient	,633	1,000
		Sig. (2-seitig)	,067	.
		N	9	9

Spearman-Korrelation der HFmax

Korrelationen				
			R_HF max	K_HF max
Spearman-Rho	R_HF max	Korrelationskoeffizient	1,000	,723*
		Sig. (2-seitig)	.	,028
		N	9	9
	K_HF max	Korrelationskoeffizient	,723*	1,000
		Sig. (2-seitig)	,028	.
		N	9	9

*. Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

Anhang L – Statistikausdrucke: Hauptübungen – Vergleich ihrer Gesamtbelastungen

VO2: Prüfung der Normalverteilung

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Ü1_1min	,210	9	,200 [*]	,889	9	,196
Ü1_11	,138	9	,200 [*]	,953	9	,721
Ü2_1min	,199	9	,200 [*]	,969	9	,883
Ü2_11	,202	9	,200 [*]	,923	9	,417
Ü3_1min	,193	9	,200 [*]	,972	9	,907
Ü3_3min	,144	9	,200 [*]	,968	9	,878

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.
a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Prüfgröße Shapiro-Wilk $p \leq 0,05$ entspricht keiner Normalverteilung

HF: Prüfung der Normalverteilung

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Ü1_1min	,153	8	,200 [*]	,944	8	,649
Ü1_1min_peak	,166	8	,200 [*]	,949	8	,706
Ü1_11	,180	8	,200 [*]	,928	8	,498
Ü1_11_peak	,141	8	,200 [*]	,983	8	,977
Ü2_1min	,136	9	,200 [*]	,970	9	,899
Ü2_1min_peak	,153	9	,200 [*]	,941	9	,587
Ü2_11	,166	9	,200 [*]	,931	9	,493
Ü2_11_peak	,176	9	,200 [*]	,928	9	,466
Ü3_1min	,193	8	,200 [*]	,909	8	,345
Ü3_1min_peak	,164	8	,200 [*]	,940	8	,610
Ü3_3min	,173	9	,200 [*]	,899	9	,249
Ü3_3min_peak	,110	9	,200 [*]	,965	9	,851

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.
a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Prüfgröße Shapiro-Wilk $p \leq 0,05$ entspricht keiner Normalverteilung

VE: Prüfung der Normalverteilung

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Ü1_1min	,242	9	,138	,892	9	,210
Ü1_1min_peak	,160	9	,200 [*]	,974	9	,929
Ü1_1-1	,210	9	,200 [*]	,914	9	,342
Ü1_1-1_peak	,145	9	,200 [*]	,978	9	,956
Ü2_1min	,226	9	,200 [*]	,891	9	,204
Ü2_1min_peak	,211	9	,200 [*]	,904	9	,279
Ü2_1-1	,132	9	,200 [*]	,977	9	,948
Ü2_1-1_peak	,148	9	,200 [*]	,977	9	,947
Ü3_1min	,096	9	,200 [*]	,993	9	,999
Ü3_1min_peak	,141	9	,200 [*]	,950	9	,688
Ü3_3min	,246	9	,125	,910	9	,313
Ü3_3min_peak	,220	9	,200 [*]	,933	9	,510

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.
a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Prüfgröße Shapiro-Wilk $p \leq 0,05$ entspricht keiner Normalverteilung

VO₂: Vergleich der Belastungsformen innerhalb der Übungen und der Belastungsform 1-1W zwischen den Übungen 1 und 2

Statistik für Test ^a			
	Ü1_11 - Ü1_1min	Ü2_11 - Ü2_1min	Ü2_11 - Ü1_11
Z	-2,547 ^b	-,534 ^c	-1,599 ^c
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,011	,594	,110
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,008	,633	,129
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,004	,316	,064
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,002	,021	,016

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.
c. Basiert auf positiven Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

HF: Vergleich der Belastungsformen innerhalb der Übungen und der Belastungsform 1-1W zwischen den Übungen 1 und 2 für die Gesamt- und Peakbelastung

Statistik für Test ^a						
	Ü1_11 - Ü1_1min	Ü1_11_peak - Ü1_1min_peak	Ü2_11 - Ü2_1min	Ü2_11_peak - Ü2_1min_peak	Ü2_11 - Ü1_11	Ü2_11_peak - Ü1_11_peak
Z	-2,380 ^b	,000 ^c	-2,429 ^b	-1,362 ^d	-,980 ^b	-,840 ^d
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,017	1,000	,015	,173	,327	,401
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,016	1,000	,012	,203	,383	,461
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,008	,516	,006	,102	,191	,230
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,004	,031	,002	,020	,035	,039

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.
c. Die Summe der negativen Ränge ist gleich der Summe der positiven Ränge.
d. Basiert auf positiven Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

VE: Vergleich der Belastungsformen innerhalb der Übungen und der Belastungsform 1-1W zwischen den Übungen 1 und 2 für die Gesamt- und Peakbelastung

Statistik für Test ^a						
	Ü1_11 - Ü1_1min	Ü2_11 - Ü2_1min	Ü2_11 - Ü1_11	Ü1_11_peak - Ü1_1min_peak	Ü2_11_peak - Ü2_1min_peak	Ü2_11_peak - Ü1_11_peak
Z	-,889 ^b	-,770 ^b	-,415 ^b	-,415 ^b	-,415 ^b	-,889 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,374	,441	,678	,678	,678	,374
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,426	,496	,734	,734	,734	,426
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,213	,248	,367	,367	,367	,213
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,033	,035	,041	,041	,041	,033

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

VO₂: Friedman Test, Vergleich der Belastungsform 1minP von Ü1-3, Gesamtbelastung

Statistik für Test ^a	
N	9
Chi-Quadrat	2,000
df	2
Asymptotische Signifikanz	,368
Exakte Signifikanz	,398
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,069

a. Friedman-Test

Prüfung Exakt, $p \leq 0,05$

VO2: Post Hoc Prüfung der Belastungsform 1minP von Ü1-3, Gesamtbelastung

Statistik für Test ^a			
	Ü2_1min - Ü1_1min	Ü3_1min - Ü1_1min	Ü3_1min - Ü2_1min
Z	-1,125 ^b	-1,836 ^b	-,770 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,260	,066	,441
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,301	,074	,496
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,150	,037	,248
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,025	,010	,035

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,017$

HF: Friedmann Test der Belastungsform 1minP von Ü1-3, Gesamt- (li) und Peakbelastung (re)

Statistik für Test ^a		Statistik für Test ^a	
N	8	N	8
Chi-Quadrat	4,065	Chi-Quadrat	1,750
df	2	df	2
Asymptotische Signifikanz	,131	Asymptotische Signifikanz	,417
Exakte Signifikanz	,120	Exakte Signifikanz	,531
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,041	Punkt-Wahrscheinlichkeit	,175

a. Friedman-Test

Prüfung Exakt, $p \leq 0,05$

HF: Post Hoc Prüfung der Belastungsform 1minP von Ü1-3, Gesamt - und Peakbelastung

Statistik für Test ^a						
	Ü2_1min - Ü1_1min	Ü3_1min - Ü1_1min	Ü3_1min - Ü2_1min	Ü2_1min_pe ak - Ü1_1min_pe ak	Ü3_1min_pe ak - Ü1_1min_pe ak	Ü3_1min_pe ak - Ü2_1min_pe ak
Z	-1,820 ^b	-,420 ^b	-1,960 ^c	-1,540 ^b	-,840 ^b	-,140 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,069	,674	,050	,123	,401	,889
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,078	,742	,055	,148	,461	,945
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,039	,371	,027	,074	,230	,473
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,012	,051	,008	,020	,039	,051

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.
c. Basiert auf positiven Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,017$

VE: Friedman Test der Belastungsform 1minP von Ü1-3, Gesamt- (li) und Peakbelastung (re)

Statistik für Test ^a		Statistik für Test ^a	
N	9	N	9
Chi-Quadrat	,667	Chi-Quadrat	,222
df	2	df	2
Asymptotische Signifikanz	,717	Asymptotische Signifikanz	,895
Exakte Signifikanz	,814	Exakte Signifikanz	,971
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,128	Punkt-Wahrscheinlichkeit	,158
a. Friedman-Test		a. Friedman-Test	

Prüfung Exakt, $p \leq 0,05$

VE: Post Hoc Prüfung der Belastungsform 1minP von Ü1-3, Gesamt- und Peakbelastung

Statistik für Test ^a						
	Ü2_1min - Ü1_1min	Ü3_1min - Ü1_1min	Ü3_1min - Ü2_1min	Ü2_1min_pe ak - Ü1_1min_pe ak	Ü3_1min_pe ak - Ü1_1min_pe ak	Ü3_1min_pe ak - Ü2_1min_pe ak
Z	-,415 ^b	-,059 ^c	-,889 ^c	-,178 ^c	-,296 ^c	-,770 ^c
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,678	,953	,374	,859	,767	,441
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,734	1,000	,426	,910	,820	,496
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,367	,500	,213	,455	,410	,248
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,041	,045	,033	,045	,043	,035
a. Wilcoxon-Test						
b. Basiert auf negativen Rängen.						
c. Basiert auf positiven Rängen.						

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,017$

VO₂: Prüfung auf Unterschiede der Gesamtbelastung von Ü3 3minP zu allen anderen Übungen und Belastungsformen

Statistik für Test ^a					
	Ü1_1min - Ü3_3min	Ü1_11 - Ü3_3min	Ü2_1min - Ü3_3min	Ü2_11 - Ü3_3min	Ü3_1min - Ü3_3min
Z	-2,666 ^b	-2,549 ^b	-2,666 ^b	-2,666 ^b	-2,666 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,008	,011	,008	,008	,008
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,004	,008	,004	,004	,004
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,002	,004	,002	,002	,002
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,002	,002	,002	,002	,002
a. Wilcoxon-Test					
b. Basiert auf positiven Rängen.					

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

HF: Prüfung auf Unterschiede der Gesamtbelastung von Ü3 3minP zu allen anderen Übungen und Belastungsformen

Statistik für Test ^a					
	Ü1_1min - Ü3_3min	Ü1_11 - Ü3_3min	Ü2_1min - Ü3_3min	Ü2_11 - Ü3_3min	Ü3_1min - Ü3_3min
Z	-2,521 ^b	-2,380 ^b	-2,666 ^b	-2,666 ^b	-2,521 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,012	,017	,008	,008	,012
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,008	,016	,004	,004	,008
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,004	,008	,002	,002	,004
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,004	,004	,002	,002	,004

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf positiven Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

HF: Prüfung auf Unterschiede der Peakbelastung von Ü3 3minP zu allen anderen Übungen und Belastungsformen

Statistik für Test ^a					
	Ü1_1min_pe ak - Ü3_3min_pe ak	Ü1_11_peak - Ü3_3min_pe ak	Ü2_1min_pe ak - Ü3_3min_pe ak	Ü2_11_peak - Ü3_3min_pe ak	Ü3_1min_pe ak - Ü3_3min_pe ak
Z	-2,521 ^b	-2,521 ^b	-2,666 ^b	-2,666 ^b	-2,521 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,012	,012	,008	,008	,012
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,008	,008	,004	,004	,008
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,004	,004	,002	,002	,004
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,004	,004	,002	,002	,004

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf positiven Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

VE: Prüfung auf Unterschiede der Gesamtbelastung von Ü3 3minP zu allen anderen Übungen und Belastungsformen

Statistik für Test ^a					
	Ü1_1min - Ü3_3min	Ü1_11 - Ü3_3min	Ü2_1min - Ü3_3min	Ü2_11 - Ü3_3min	Ü3_1min - Ü3_3min
Z	-2,429 ^b	-2,547 ^b	-2,547 ^b	-2,666 ^b	-2,666 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,015	,011	,011	,008	,008
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,012	,008	,008	,004	,004
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,006	,004	,004	,002	,002
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,002	,002	,002	,002	,002

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf positiven Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

VE: Prüfung auf Unterschiede der Peakbelastung von Ü3 3minP zu allen anderen Übungen und Belastungsformen

Statistik für Test ^a					
	Ü1_1min_peak - Ü3_3min_peak	Ü1_11_peak - Ü3_3min_peak	Ü2_1min_peak - Ü3_3min_peak	Ü2_11_peak - Ü3_3min_peak	Ü3_1min_peak - Ü3_3min_peak
Z	-2,666 ^b	-2,666 ^b	-2,666 ^b	-2,666 ^b	-2,666 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,008	,008	,008	,008	,008
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,004	,004	,004	,004	,004
Exakte Signifikanz (1-seitig)	,002	,002	,002	,002	,002
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,002	,002	,002	,002	,002

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf positiven Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

Anhang M – Statistikausdrucke: Hauptübungen – Vergleich ihrer Teilbelastungen

VO₂: Prüfung der Normalverteilung

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Ü1_max_p	,164	9	,200 [*]	,978	9	,950
Ü1_max_a	,187	9	,200 [*]	,937	9	,547
Ü1_max_11_1M	,173	9	,200 [*]	,935	9	,534
Ü1_max_11_2M	,159	9	,200 [*]	,971	9	,900
Ü2_max_p	,173	9	,200 [*]	,931	9	,487
Ü2_max_a	,178	9	,200 [*]	,924	9	,426
Ü2_max_11_1M	,151	9	,200 [*]	,978	9	,955
Ü2_max_11_2M	,147	9	,200 [*]	,937	9	,552
Ü3_1min_p	,216	9	,200 [*]	,851	9	,077
Ü3_1min_a	,163	9	,200 [*]	,935	9	,526
Ü3_3min_p	,280	9	,040	,852	9	,078
Ü3_3min_a	,165	9	,200 [*]	,950	9	,692

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.
a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Prüfgröße Shapiro-Wilk $p \leq 0,05$ entspricht keiner Normalverteilung

HF: Prüfung der Normalverteilung

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Ü1_max_p	,173	8	,200 [*]	,926	8	,480
Ü1_max_a	,173	8	,200 [*]	,948	8	,689
Ü1_max_11_1M	,143	8	,200 [*]	,951	8	,719
Ü1_max_11_2M	,139	8	,200 [*]	,979	8	,956
Ü2_max_p	,124	9	,200 [*]	,937	9	,548
Ü2_max_a	,149	9	,200 [*]	,945	9	,636
Ü2_max_11_1M	,223	9	,200 [*]	,874	9	,137
Ü2_max_11_2M	,169	9	,200 [*]	,926	9	,444
Ü3_1min_p	,204	8	,200 [*]	,869	8	,147
Ü3_1min_a	,169	8	,200 [*]	,940	8	,611
Ü3_3min_p	,161	9	,200 [*]	,943	9	,616
Ü3_3min_a	,125	9	,200 [*]	,938	9	,564

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.
a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Prüfgröße Shapiro-Wilk $p \leq 0,05$ entspricht keiner Normalverteilung

VO₂: Belastungsform 1minP, Vergleich aktive und passive Phase aller Übungen

Statistik für Test ^a			
	Ü1_max_a - Ü1_max_p	Ü2_max_a - Ü2_max_p	Ü3_1min_a - Ü3_1min_p
Z	-2,666 ^b	-2,666 ^b	-2,666 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,008	,008	,008
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,004	,004	,004
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,002	,002	,002
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,002	,002	,002

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

HF Belastungsform 1minP, Vergleich aktive und passive Phase aller Übungen

Statistik für Test ^a			
	Ü1_max_a - Ü1_max_p	Ü2_max_a - Ü2_max_p	Ü3_1min_a - Ü3_1min_p
Z	-2,524 ^b	-2,666 ^b	-2,524 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,012	,008	,012
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,008	,004	,008
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,004	,002	,004
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,004	,002	,004

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

VO₂: Belastungsform 1-1W, Vergleich der 1ten und 2ten Belastungsminute in Übung 1 und 2

Statistik für Test ^a		
	Ü1_max_11_ 2M - Ü1_max_11_ 1M	Ü2_max_11_ 2M - Ü2_max_11_ 1M
Z	-2,666 ^b	-1,599 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,008	,110
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,004	,129
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,002	,064
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,002	,016

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

HF: Belastungsform 1-1W, Vergleich der 1ten und 2ten Belastungsminute in Übung 1 und 2

Statistik für Test ^a		
	Ü1_max_11_ 2M - Ü1_max_11_ 1M	Ü2_max_11_ 2M - Ü2_max_11_ 1M
Z	-2,527 ^b	-2,699 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,012	,007
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,008	,004
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,004	,002
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,004	,002

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

VO₂: Interner Übungsvergleich Ü1 aller ersten und zweiten Belastungsphasen, Friedman Test

Statistik für Test ^a	
N	9
Chi-Quadrat	21,400
df	3
Asymptotische Signifikanz	,000
Exakte Signifikanz	,000
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,000

a. Friedman-Test

Prüfung Exakt, $p \leq 0,05$

VO₂: interner Übungsvergleich Ü1 aller ersten und zweiten Belastungsphasen, Post Hoc

Statistik für Test ^a						
	Ü1_max_a - Ü1_max_p	Ü1_max_11_ 1M - Ü1_max_p	Ü1_max_11_ 2M - Ü1_max_p	Ü1_max_11_ 1M - Ü1_max_a	Ü1_max_11_ 2M - Ü1_max_a	Ü1_max_11_ 2M - Ü1_max_11_ 1M
Z	-2,666 ^b	-2,429 ^b	-2,666 ^b	-2,547 ^c	-,178 ^c	-2,666 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,008	,015	,008	,011	,859	,008
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,004	,012	,004	,008	,910	,004
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,002	,006	,002	,004	,455	,002
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,002	,002	,002	,002	,045	,002

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.
c. Basiert auf positiven Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,0125$

HF: Interner Übungsvergleich Ü1 aller ersten und zweiten Belastungsphasen, Friedman Test

Statistik für Test ^a	
N	8
Chi-Quadrat	20,848
df	3
Asymptotische Signifikanz	,000
Exakte Signifikanz	,000
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,000

a. Friedman-Test

Prüfung Exakt, $p \leq 0,05$

HF: interner Übungsvergleich Ü1 aller ersten und zweiten Belastungsphasen, Post Hoc

Statistik für Test ^a						
	Ü1_max_a - Ü1_max_p	Ü1_max_11_ 1M - Ü1_max_p	Ü1_max_11_ 2M - Ü1_max_p	Ü1_max_11_ 1M - Ü1_max_a	Ü1_max_11_ 2M - Ü1_max_a	Ü1_max_11_ 2M - Ü1_max_11_ 1M
Z	-2,524 ^b	-2,383 ^b	-2,521 ^b	-2,533 ^c	-,085 ^b	-2,527 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,012	,017	,012	,011	,932	,012
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,008	,016	,008	,008	1,000	,008
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,004	,008	,004	,004	,500	,004
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,004	,004	,004	,004	,047	,004

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.
c. Basiert auf positiven Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,0125$

VO₂: Interner Übungsvergleich Ü2 aller ersten und zweiten Belastungsphasen, Friedman Test

Statistik für Test ^a	
N	9
Chi-Quadrat	18,733
df	3
Asymptotische Signifikanz	,000
Exakte Signifikanz	,000
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,000

a. Friedman-Test

Prüfung Exakt, $p \leq 0,05$

VO₂: interner Übungsvergleich Ü2 aller ersten und zweiten Belastungsphasen, Post Hoc

Statistik für Test ^a						
	Ü2_max_a - Ü2_max_p	Ü2_max_11_ 1M - Ü2_max_p	Ü2_max_11_ 2M - Ü2_max_p	Ü2_max_11_ 1M - Ü2_max_a	Ü2_max_11_ 2M - Ü2_max_a	Ü2_max_11_ 2M - Ü2_max_11_ 1M
Z	-2,666 ^b	-2,429 ^b	-2,192 ^b	-2,666 ^c	-,889 ^c	-1,599 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,008	,015	,028	,008	,374	,110
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,004	,012	,027	,004	,426	,129
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,002	,006	,014	,002	,213	,064
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,002	,002	,004	,002	,033	,016

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.
c. Basiert auf positiven Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,0125$

HF: Interner Übungsvergleich Ü2 aller ersten und zweiten Belastungsphasen, Friedman Test

Statistik für Test ^a	
N	9
Chi-Quadrat	22,348
df	3
Asymptotische Signifikanz	,000
Exakte Signifikanz	,000
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,000

a. Friedman-Test

Prüfung Exakt, $p \leq 0,05$

HF: interner Übungsvergleich Ü2 aller ersten und zweiten Belastungsphasen, Post Hoc

Statistik für Test ^a						
	Ü2_max_a - Ü2_max_p	Ü2_max_11_ 1M - Ü2_max_p	Ü2_max_11_ 2M - Ü2_max_p	Ü2_max_11_ 1M - Ü2_max_a	Ü2_max_11_ 2M - Ü2_max_a	Ü2_max_11_ 2M - Ü2_max_11_ 1M
Z	-2,666 ^b	-2,527 ^b	-2,668 ^b	-2,552 ^c	-1,246 ^c	-2,699 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,008	,012	,008	,011	,213	,007
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,004	,008	,004	,008	,242	,004
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,002	,004	,002	,004	,121	,002
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,002	,004	,002	,002	,018	,002

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.
c. Basiert auf positiven Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,0125$

VO₂ und HF: Ü3 3minP, Vergleich der passiven und aktiven Phase, links VO₂, rechts HF

Statistik für Test ^a		Statistik für Test ^a	
	Ü3_3min_a - Ü3_3min_p		Ü3_3min_a - Ü3_3min_p
Z	-2,666 ^b	Z	-2,668 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,008	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,008
Exakte Signifikanz (2- seitig)	,004	Exakte Signifikanz (2- seitig)	,004
Exakte Signifikanz (1- seitig)	,002	Exakte Signifikanz (1- seitig)	,002
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,002	Punkt-Wahrscheinlichkeit	,002

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

VO₂: Vergleich der Maximalwerte aller Übungen und Belastungsformen in der ersten Belastungsphase, Friedman

Statistik für Test ^a	
N	9
Chi-Quadrat	22,968
df	5
Asymptotische Signifikanz	,000
Exakte Signifikanz	,000
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,000

a. Friedman-Test

Prüfung Exakt, $p \leq 0,05$

VO₂: Vergleich der Maximalwerte aller Übungen und Belastungsformen in der ersten Belastungsphase, Post Hoc

Statistik für Test ^a											
	Ü1_max_11_1M - Ü1_max_p	Ü2_max_p - Ü1_max_p	Ü2_max_11_1M - Ü1_max_p	Ü3_1min_p - Ü1_max_p	Ü3_3min_p - Ü1_max_p	Ü2_max_p - Ü1_max_11_1M	Ü2_max_11_1M - Ü1_max_11_1M	Ü3_1min_p - Ü1_max_11_1M	Ü3_3min_p - Ü1_max_11_1M	Ü2_max_11_1M - Ü2_max_p	Ü3_1min_p - Ü2_max_p
Z	-2,429 ^b	-2,429 ^b	-2,666 ^b	-1,836 ^b	-2,547 ^b	-1,125 ^c	-1,244 ^b	-2,192 ^c	-1,244 ^b	-2,429 ^b	-,889 ^a
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,015	,015	,008	,066	,011	,260	,214	,028	,214	,015	,374
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,012	,012	,004	,074	,008	,301	,250	,027	,250	,012	,426
Exakte Signifikanz (1-seitig)	,006	,006	,002	,037	,004	,150	,125	,014	,125	,006	,213
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,002	,002	,002	,010	,002	,025	,023	,004	,023	,002	,033

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.
c. Basiert auf positiven Rängen.

Ü3_3min_p - Ü2_max_p	Ü3_1min_p - Ü2_max_11_1M	Ü3_3min_p - Ü2_max_11_1M	Ü3_3min_p - Ü3_1min_p
-1,836 ^b	-2,666 ^a	-,889 ^b	-2,547 ^b
,066	,008	,374	,011
,074	,004	,426	,008
,037	,002	,213	,004
,010	,002	,033	,002

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,008$

HF: Vergleich der Maximalwerte aller Übungen und Belastungsformen in der ersten Belastungsphase, Friedman

Statistik für Test ^{a,b}	
N	8
Chi-Quadrat	29,384
df	5
Asymptotische Signifikanz	,000

a. Einige oder alle exakten Statistiken können nicht berechnet werden, da nicht genügend Speicherplatz vorhanden ist.
b. Friedman-Test

Prüfung asymptotisch, $p \leq 0,05$

HF: Vergleich der Maximalwerte aller Übungen und Belastungsformen in der ersten Belastungsphase, Post Hoc

Statistik für Test ^a											
	Ü1_max_11_1M - Ü1_max_p	Ü2_max_p - Ü1_max_p	Ü2_max_11_1M - Ü1_max_p	Ü3_1min_p - Ü1_max_p	Ü3_3min_p - Ü1_max_p	Ü2_max_p - Ü1_max_11_1M	Ü2_max_11_1M - Ü1_max_11_1M	Ü3_1min_p - Ü1_max_11_1M	Ü3_3min_p - Ü1_max_11_1M	Ü2_max_11_1M - Ü2_max_p	Ü3_1min_p - Ü2_max_p
Z	-2,383 ^b	-2,032 ^b	-2,524 ^b	-,353 ^b	-2,524 ^b	-2,243 ^c	-1,101 ^b	-2,521 ^c	-1,472 ^b	-2,527 ^b	-1,781 ^c
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,017	,042	,012	,724	,012	,025	,271	,012	,141	,012	,075
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,016	,047	,008	,789	,008	,023	,328	,008	,164	,008	,094
Exakte Signifikanz (1-seitig)	,008	,023	,004	,395	,004	,012	,164	,004	,082	,004	,047
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,004	,008	,004	,047	,004	,004	,031	,004	,016	,004	,016

a. Wilcoxon-Test

b. Basiert auf negativen Rängen.

c. Basiert auf positiven Rängen.

Ü3_3min_p - Ü2_max_p	Ü3_1min_p - Ü2_max_11_1M	Ü3_3min_p - Ü2_max_11_1M	Ü3_3min_p - Ü3_1min_p
-2,670 ^b	-2,521 ^c	-,474 ^b	-2,533 ^b
,008	,012	,635	,011
,004	,008	,676	,008
,002	,004	,338	,004
,002	,004	,023	,004

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,008$

VO₂: Vergleich der Maximalwerte aller Übungen und Belastungsformen in der zweiten Belastungsphase, Friedman

Statistik für Test^a

N	9
Chi-Quadrat	20,556
df	5
Asymptotische Signifikanz	,001
Exakte Signifikanz	,000
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,000

a. Friedman-Test

Prüfung Exakt, $p \leq 0,05$

VO₂: Vergleich der Maximalwerte aller Übungen und Belastungsformen in der zweiten Belastungsphase, Post Hoc

Statistik für Test ^a											
	Ü1_max_11_2M - Ü1_max_a	Ü2_max_a - Ü1_max_a	Ü2_max_11_2M - Ü1_max_a	Ü3_1min_a - Ü1_max_a	Ü3_3min_a - Ü1_max_a	Ü2_max_a - Ü1_max_11_2M	Ü2_max_11_2M - Ü1_max_11_2M	Ü3_1min_a - Ü1_max_11_2M	Ü3_3min_a - Ü1_max_11_2M	Ü2_max_11_2M - Ü2_max_a	Ü3_1min_a - Ü2_max_a
Z	-,178 ^b	-,296 ^c	-,1599 ^b	-,415 ^b	-,2,666 ^c	-,059 ^c	-,652 ^b	-,178 ^b	-,2,666 ^c	-,889 ^b	-,1,125 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,859	,767	,110	,678	,008	,953	,515	,859	,008	,374	,260
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,910	,820	,129	,734	,004	1,000	,570	,910	,004	,426	,301
Exakte Signifikanz (1-seitig)	,455	,410	,064	,367	,002	,500	,285	,455	,002	,213	,150
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,045	,043	,016	,041	,002	,045	,037	,045	,002	,033	,025

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf positiven Rängen.
c. Basiert auf negativen Rängen.

Ü3_3min_a - Ü2_max_a	Ü3_1min_a - Ü2_max_11_2M	Ü3_3min_a - Ü2_max_11_2M	Ü3_3min_a - Ü3_1min_a
-,2,666 ^c	-,1,125 ^c	-,2,666 ^c	-,2,666 ^c
,008	,260	,008	,008
,004	,301	,004	,004
,002	,150	,002	,002
,002	,025	,002	,002

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,008$

HF: Vergleich der Maximalwerte aller Übungen und Belastungsformen in der zweiten Belastungsphase, Friedman

Statistik für Test ^{a,b}	
N	8
Chi-Quadrat	19,380
df	5
Asymptotische Signifikanz	,002

a. Einige oder alle exakten Statistiken können nicht berechnet werden, da nicht genügend Speicherplatz vorhanden ist.
b. Friedman-Test

asymptotisch, $p \leq 0,05$

HF: Vergleich der Maximalwerte aller Übungen und Belastungsformen in der zweiten Belastungsphase, Post Hoc

Statistik für Test ^a											
	Ü1_max_11_2M - Ü1_max_a	Ü2_max_a - Ü1_max_a	Ü2_max_11_2M - Ü1_max_a	Ü3_1min_a - Ü1_max_a	Ü3_3min_a - Ü1_max_a	Ü2_max_a - Ü1_max_11_2M	Ü2_max_11_2M - Ü1_max_11_2M	Ü3_1min_a - Ü1_max_11_2M	Ü3_3min_a - Ü1_max_11_2M	Ü2_max_11_2M - Ü2_max_a	Ü3_1min_a - Ü2_max_a
Z	-.085 ^a	-1,272 ^b	-.491 ^a	-.762 ^b	-2,524 ^b	-.211 ^b	-1,022 ^a	-.491 ^b	-2,524 ^b	-1,246 ^a	-.071 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,932	,203	,624	,446	,012	,833	,307	,623	,012	,213	,944
Exakte Signifikanz (2-seitig)	1,000	,250	,672	,500	,008	,867	,375	,672	,008	,242	,969
Exakte Signifikanz (1-seitig)	,500	,125	,336	,250	,004	,434	,188	,336	,004	,121	,484
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,047	,031	,031	,031	,004	,031	,047	,039	,004	,018	,023

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.
c. Basiert auf positiven Rängen.

Ü3_3min_a - Ü2_max_a	Ü3_1min_a - Ü2_max_11_2M	Ü3_3min_a - Ü2_max_11_2M	Ü3_3min_a - Ü3_1min_a
-2,668 ^b	-.943 ^b	-2,666 ^b	-2,521 ^b
,008	,345	,008	,012
,004	,438	,004	,008
,002	,219	,002	,004
,002	,063	,002	,004

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,008$

VO₂: Vergleich Ü3 3minP passiv mit allen anderen Übungen der Belastungsformen 1minP und 1-1W aktiv

Statistik für Test ^a					
	Ü1_max_a - Ü3_3min_p	Ü1_max_11_2M - Ü3_3min_p	Ü2_max_a - Ü3_3min_p	Ü2_max_11_2M - Ü3_3min_p	Ü3_1min_a - Ü3_3min_p
Z	-1,718 ^b	-1,955 ^b	-2,073 ^b	-1,067 ^b	-2,073 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,086	,051	,038	,286	,038
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,098	,055	,039	,313	,039
Exakte Signifikanz (1-seitig)	,049	,027	,020	,156	,020
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,012	,008	,006	,012	,006

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

HF: Vergleich Ü3 3minP passiv mit allen anderen Übungen der Belastungsformen 1minP und 1-1W aktiv

Statistik für Test ^a					
	Ü1_max_a - Ü3_3min_p	Ü1_max_11_2M - Ü3_3min_p	Ü2_max_a - Ü3_3min_p	Ü2_max_11_2M - Ü3_3min_p	Ü3_1min_a - Ü3_3min_p
Z	-1,612 ^b	-1,892 ^b	-1,899 ^b	-1,680 ^b	-1,682 ^b
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,107	,058	,058	,093	,092
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,117	,094	,059	,109	,102
Exakte Signifikanz (1-seitig)	,059	,047	,029	,055	,051
Punkt-Wahrscheinlichkeit	,008	,031	,004	,016	,008

a. Wilcoxon-Test
b. Basiert auf negativen Rängen.

Prüfung Exakt 2-seitig, $p \leq 0,05$

Anhang N – detaillierte Statistikangaben

Zu Abb. 42. durchschnittliche VO₂

Ü3_3min zu Ü1_1min	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü1_1-W	Z(N=9) = -2,549, $p \leq 0,05$, res = 0,85
Ü3_3min zu Ü2_1min	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü2_1-1W	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü3_1min	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89

Zu Abb. 43. durchschnittliche HF

Ü3_3min zu Ü1_1min	Z(N=8) = -2,521, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü1_1-W	Z(N=8) = -2,380, $p \leq 0,05$, res = 0,84
Ü3_3min zu Ü2_1min	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü2_1-1W	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü3_1min	Z(N=8) = -2,521, $p \leq 0,05$, res = 0,89

Zu Abb. 44. HFpeak

Ü3_3min zu Ü1_1min	Z(N=8) = -2,521, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü1_1-W	Z(N=8) = -2,521, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü2_1min	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü2_1-1W	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü3_1min	Z(N=8) = -2,521, $p \leq 0,05$, res = 0,89

Zu Abb. 45. durchschnittliche VE

Ü3_3min zu Ü1_1min	Z(N=9) = -2,429, $p \leq 0,05$, res = 0,81
Ü3_3min zu Ü1_1-W	Z(N=9) = -2,547, $p \leq 0,05$, res = 0,85
Ü3_3min zu Ü2_1min	Z(N=9) = -2,547, $p \leq 0,05$, res = 0,85
Ü3_3min zu Ü2_1-1W	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü3_1min	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89

Zu Abb. 46. VEpeak

Ü3_3min zu Ü1_1min	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü1_1-W	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü2_1min	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü2_1-1W	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89
Ü3_3min zu Ü3_1min	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,05$, res = 0,89

Zu Abb. 57. VO₂, Maximalwerte der Übung 1 aus der ersten und zweiten Belastungsphase der Belastungsformen 1minP und 1-1W

Ü1_1min_p zu Ü1_1min_a	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,0125$, res = 0,89
Ü1_1min_p zu Ü1_1-1W_1M	Z(N=9) = -2,429, $p \leq 0,0125$, res = 0,81
Ü1_1min_p zu Ü1_1-1W_2M	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,0125$, res = 0,89
Ü1_1min_a zu Ü1_1-1W_1M	Z(N=9) = -2,547, $p \leq 0,0125$, res = 0,85
Ü1_1-1W_1M zu Ü1_1-1W_2M	Z(N=9) = -2,666, $p \leq 0,0125$, res = 0,89

Zu Abb. 59. HF, Maximalwerte der Übung 1 aus der ersten und zweiten Belastungsphase der Belastungsformen 1minP und 1-1W

Ü1_1min_p zu Ü1_1min_a	Z(N=8) = -2,524, $p \leq 0,0125$, res = 0,89
Ü1_1min_p zu Ü1_1-1W_2M	Z(N=8) = -2,521, $p \leq 0,0125$, res = 0,89
Ü1_1min_a zu Ü1_1-1W_1M	Z(N=8) = -2,533, $p \leq 0,0125$, res = 0,90
Ü1_1-1W_1M zu Ü1_1-1W_2M	Z(N=8) = -2,527, $p \leq 0,0125$, res = 0,89

Zu Abb. 58. VO₂, Maximalwerte der Übung 2 aus der ersten und zweiten Belastungsphase der Belastungsformen 1minP und 1-1W

Ü2_1min_p zu Ü2_1min_a	$Z(N=9) = -2,666, p \leq 0,0125, r_{ES} = 0,89$
Ü2_1min_p zu Ü2_1-1W_1M	$Z(N=9) = -2,429, p \leq 0,0125, r_{ES} = 0,81$
Ü2_1min_a zu Ü2_1-1W_1M	$Z(N=9) = -2,666, p \leq 0,0125, r_{ES} = 0,89$

Zu Abb. 60. HF, Maximalwerte der Übung 2 aus der ersten und zweiten Belastungsphase der Belastungsformen 1minP und 1-1W

Ü2_1min_p zu Ü2_1min_a	$Z(N=9) = -2,666, p \leq 0,0125, r_{ES} = 0,89$
Ü2_1min_p zu Ü2_1-1W_1M	$Z(N=9) = -2,527, p \leq 0,0125, r_{ES} = 0,84$
Ü2_1min_p zu Ü2_1-1W_2M	$Z(N=9) = -2,668, p \leq 0,0125, r_{ES} = 0,89$
Ü2_1min_a zu Ü2_1-1W_1M	$Z(N=9) = -2,552, p \leq 0,0125, r_{ES} = 0,85$
Ü2_1-1W_1M zu Ü2_1-1W_2M	$Z(N=9) = -2,699, p \leq 0,0125, r_{ES} = 0,90$

Zu Abb. 61. VO₂, Maximalwerte aller Übungen und Belastungsformen der ersten Belastungsphase

Ü1_1min_p zu Ü2_1-1W_1M	$Z(N=9) = -2,666, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü1_1min_p zu Ü3_3min_p	$Z(N=9) = -2,547, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,85$
Ü2_1-1W_1M zu Ü3_1min_p	$Z(N=9) = -2,666, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü3_1min_p zu Ü3_3min_p	$Z(N=9) = -2,547, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,85$

Zu Abb. 62. HF, Maximalwerte aller Übungen und Belastungsformen der ersten Belastungsphase

Ü1_1min_p zu Ü2_1-1W_1M	$Z(N=8) = -2,524, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü1_1min_p zu Ü3_3min_p	$Z(N=8) = -2,524, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü1_1-1W_1M zu Ü3_1min_p	$Z(N=8) = -2,521, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü2_1min_p zu Ü2_1-1W_1M	$Z(N=9) = -2,527, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,84$
Ü2_1min_p zu Ü3_3min_p	$Z(N=9) = -2,670, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü2_1-1W_1M zu Ü3_1min_p	$Z(N=8) = -2,521, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü3_1min_p zu Ü3_3min_p	$Z(N=8) = -2,533, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,90$

Zu Abb. 63. VO₂, Maximalwerte aller Übungen und Belastungsformen der zweiten Belastungsphase

Ü3_3min_a zu Ü1_1min_a	$Z(N=9) = -2,666, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü3_3min_a zu Ü1_1-W_2M	$Z(N=9) = -2,666, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü3_3min_a zu Ü2_1min_a	$Z(N=9) = -2,666, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü3_3min_a zu Ü2_1-1W_2M	$Z(N=9) = -2,666, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü3_3min_a zu Ü3_1min_a	$Z(N=9) = -2,666, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$

Zu Abb. 64. HF, Maximalwerte aller Übungen und Belastungsformen der zweiten Belastungsphase

Ü3_3min_a zu Ü1_1min_a	$Z(N=8) = -2,524, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü3_3min_a zu Ü1_1-W_2M	$Z(N=8) = -2,524, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü3_3min_a zu Ü2_1min_a	$Z(N=9) = -2,666, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü3_3min_a zu Ü2_1-1W_2M	$Z(N=9) = -2,666, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$
Ü3_3min_a zu Ü3_1min_a	$Z(N=8) = -2,521, p \leq 0,008, r_{ES} = 0,89$

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt (als Zitate) oder indirekt (dem Sinn nach) übernommenen Textstellen und Gedanken sind in der Arbeit als solche kenntlich gemacht worden.

Martin Neumann