



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Überprüfung der Reliabilität des Critical Power Tests
unter Laborbedingungen“

verfasst von / submitted by

Bernd Heidegger, Bakk.rer.nat

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2020 / Vienna 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 066 826

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Sportwissenschaft

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Ass. Dr. Christoph Triska, BSc MSc

Danksagung

Ich möchte mich von ganzem Herzen, bei meiner ganzen Familie jedoch besonders bei meiner verlobten Mag. Lisa Haber, MA und unserem wunderbaren Sohn Jan bedanken. Liebe Lisa, danke für deine Geduld, dein Verständnis und deine Unterstützung. Auch wenn die letzten Jahre nicht sehr einfach waren, hast du mir stets die Möglichkeit gegeben meine Ziele und Träume zu verwirklichen – DANKE.

Ein großes Dankeschön auch an meinen Betreuer Univ.-Ass. Dr. Christoph Triska, BSc MSc. Danke Christoph auch dir, für deine Geduld und dein Verständnis sowie für die menschlich- und fachlich perfekte Betreuung während meiner gesamten Studienzeit. Ich hoffe, dass du für zukünftige Studierende noch lange in der Lehre bzw. auf der Schmöz bleiben wirst.

Danke auch an meinen Freund Mag. Alexander Huber und meinen Kollegen Lukas Abpfolter, Bakk.rer.nat für die Unterstützung.

Zu guter Letzt, bedanke ich mich bei allen Probanden welche mich bei meiner Studie unterstützt habe.

Abstract

Das Ziel dieser Arbeit ist die Überprüfung der Reliabilität des Critical Power Tests unter Laborbedingungen. Im Zuge dieser Studie absolvierten zehn gut ausdauertrainierte, männliche Triathleten (Alter: 28.5 ± 4.7 Jahre; Körpergewicht 73.3 ± 7.9 kg; Körpergröße 1.8 ± 0.1 m; maximale aerobe Leistungsfähigkeit (MAP): 329 ± 41 W) einen Stufentest gefolgt von drei Zeitfahren (Familiarisierung, Test I und Test II) mit unterschiedlicher Dauer (12, 7, 3 min) und einer passiven Erholungspause von 30 min zur Feststellung der Critical Power (CP). Mittels linearer Regression wurden die CP und W' berechnet. Eine ANOVA mit Messwiederholung wurde angewandt, um Differenzen zwischen der CP und W' festzustellen. Die Beurteilung der Reliabilität erfolgte durch den Intraklassenkorrelationskoeffizient (ICC). Der Variationskoeffizient (CoV) wurde verwendet, um die intra-individuelle Variation zu bewerten. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Testwiederholungen (Test I und Test II) der CP und W' festgestellt werden ($P = 0.171$ und $P = 0.078$). Jedoch wurden signifikante Unterschiede zwischen der Familiarisierung und Test I für CP und W' ($P = 0.042$ und $d = 1.20$ Werte gelten für beide Parameter) und zwischen der Familiarisierung und Test II für CP und W' ($P = 0.008$ und $d = 1.74$ Werte gelten für beide Parameter) festgestellt. Der ICC zwischen der Familiarisierung und Test I betrug $r = 0.86$ (CP) und $r = 0.58$ (W') und zwischen Test I und Test II: $r = 0.94$ (CP) und $r = 0.95$ (W'). Deutlich gesunken ist der CoV von 4.1% auf 2.6% und von 25.3% auf 8.2% für CP und W' . Trotz der nicht signifikanten Unterschiede zwischen Familiarisierung, Test I und Test II für CP und W' verbesserte sich der CoV und ICC nach der Familiarisierung deutlich. Diese neuen Erkenntnisse zeigen, dass eine Familiarisierung die Reliabilität erhöht. Es ist ratsam, Probanden für Testungen im Labor zuvor mit den Testabläufen und Testverfahren gut vertraut zu machen, auch wenn die Probanden bereits Erfahrungen im Zeitfahren haben.

Abstract

The purpose of this study was to assess the reliability of critical power (CP) and W' under laboratory conditions. Ten-well trained male athletes (maximal aerobic power [MAP]: 329 ± 41 W; age: 28.5 ± 4.7 years; body mass: 73.3 ± 7.9 kg; height: 1.80 ± 0.07 m) performed an incremental test followed by three time trials (Familiarization, Test I and Test II) of different durations (12, 7, and 3 min). Between the trials there was a passive recovery for 30 min. To calculate CP and W' a linear regression was used. A repeated-measures ANOVA was used to detect differences between CP and W' . The reliability was assessed using the intraclass correlation coefficient (ICC) and the coefficient of variation (CoV) was used to evaluate the intra-individual variation. No significant difference where found between the repeated tests (Test I and Test II) of the CP and W' ($P = 0.171$ and $P = 0.078$). Although the result between Familiarization and Test I for CP and W' , ($P = 0.042$ and $d = 1.20$ for both parameters) and between Familiarization and Test II for CP and W' ($P = 0.008$ and $d = 1.74$ for both parameters) showed significant differences. ICCs between the Familiarization and Test I was $r = 0.86$ (CP) and $r = 0.58$ (W'). ICC between Test I and Test II was $r = 0.94$ (CP) and $r = 0.95$ (W'). The CoV has notably dropped from 4.1% to 2.6% and from 25.3% to 8.2% for CP and W' . Despite the non-significant differences between Familiarization, Test I and Test II for CP and W' , the CoV and ICC improved after Familiarization. The novel findings demonstrate that a Familiarization increases the reliability. Familiarization of test subjects with laboratory testing as well as test procedures is therefore advisable.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	2
Abstract	3
Abstract	4
1 Einleitung	7
1.1 Herzfrequenz Diagnostik	8
1.2 Laktatdiagnostik	9
1.3 Laktatschwellenkonzepte	12
1.4 Spiroergometrie	13
1.5 Weitere nicht-invasive Testverfahren	15
1.6 Functional Threshold Power	16
2 Critical Power - Geschichte	19
2.1 Critical Speed	22
2.2 Einzelbesuchsprotokolle	23
2.3 Pausengestaltung Critical Power	24
2.4 3-Minuten Test als alternative Methode	26
2.5 3-Minuten Versuche Laufen	28
2.6 3-Minuten Versuche Schwimmen	31
3 Physiologie Critical Power	32
4 Physiologie W'	34
5 Trainingszonen CP	36
5.1 Moderate-intensity	38
5.2 Heavy-intensity	38
5.3 Very heavy-intensity	38
5.4 Severe intensity	38
6 Validität CP und W' und unterschiedliche Testmethoden'	39

7	Reliabilität CP und W' bzw. CS und D'	43
8	Begründung der Studie	46
9	Forschungsfrage	47
10	Methodik	48
10.1	Probanden	48
10.2	Studiendesign.....	49
10.3	Stufentest	50
10.4	Messung der Blutlaktatkonzentration	51
10.5	Versuche zur Bestimmung der CP	51
10.6	Berechnung der CP and W'	51
10.7	Bestimmung LT	52
11	Statistik	53
12	Ergebnisse	55
13	Diskussion.....	60
14	Conclusio	63
	Abkürzungsverzeichnis	64
	Abbildungsverzeichnis	66
	Tabellenverzeichnis.....	70
	Literaturverzeichnis.....	71
	Anhang	79
	Eigenständigkeitserklärung	79
	Teilnehmerinformation und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie.....	80
	Anamnesebogen.....	84

1 Einleitung

Zahlreiche Verfahren und Protokolle zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit im Ausdauersport sind uns heute bekannt. Neben den klassischen leistungsdagnostischen Verfahren, wie z.B. der Spiroergometrie, bei der anhand der Atemgase Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit gezogen werden können, gibt es unter anderem auch noch den sehr populären und weit verbreiteten Laktat Stufentest. Zudem werden im Gesundheits- und Breitensport oft auch Herzfrequenzdiagnostiken eingesetzt da diese im Vergleich zu den invasiven Testverfahren einfacher in der Durchführung sind (Pokan et al. 2004).

Pokan et al. (2004) beschreiben in ihrer Arbeit die folgenden Belastungsvarianten für leistungsdagnostische Verfahren: Zunächst beschreiben sie Einstufentests, deren Belastungsgestaltung in Form einer Sprungfunktion stattfindet. Beispielhaft zu nennen bei dieser Belastungsvariante wäre der Cooper-Test oder zum Beispiel ein 2400 m Lauf oder ein Zeitfahren mit vorgegebener Zeit oder Distanz. Der Einstufentest folgt einer vorgegeben Belastungsgröße bzw. einer definierten Zeit. Der Zweistufentest stellt eine Sonderform des Mehrstufentests dar. Der Zweistufentest ist durch zwei unterschiedlich hohe Belastungen gekennzeichnet, die entweder mit oder ohne Pause absolviert werden können. Oft wird diese Variante verwendet, um die sogenannte Physical Work Capacity zu bestimmen. Die dritte und wohl am meisten verwendete Variante ist der Mehrstufentest. Bei dieser Belastungsvariante wird stufenförmig die Belastung bis zu einer submaximalen oder maximalen Belastung gesteigert. Die Belastungsdauer kann je nach Fragestellung bzw. Ziel der jeweiligen Diagnostik stark variieren. Zudem spielt die Leistungsfähigkeit der zu testenden Personen eine große Rolle. Je nach Belastungsprotokoll kann zwischen den einzelnen Stufen eine Pause für eventuelle Blutabnahmen (zur Laktatwertbestimmung) eingelegt werden. Neben der stufenförmigen Belastungssteigerung gibt es auch noch die rampenförmige Belastungssteigerung. Diese Form der kontinuierlichen Steigerung wird vor allem bei der Spiroergometrie angewendet, um eine Erreichung der maximalen Sauerstoffaufnahme zu gewährleisten.

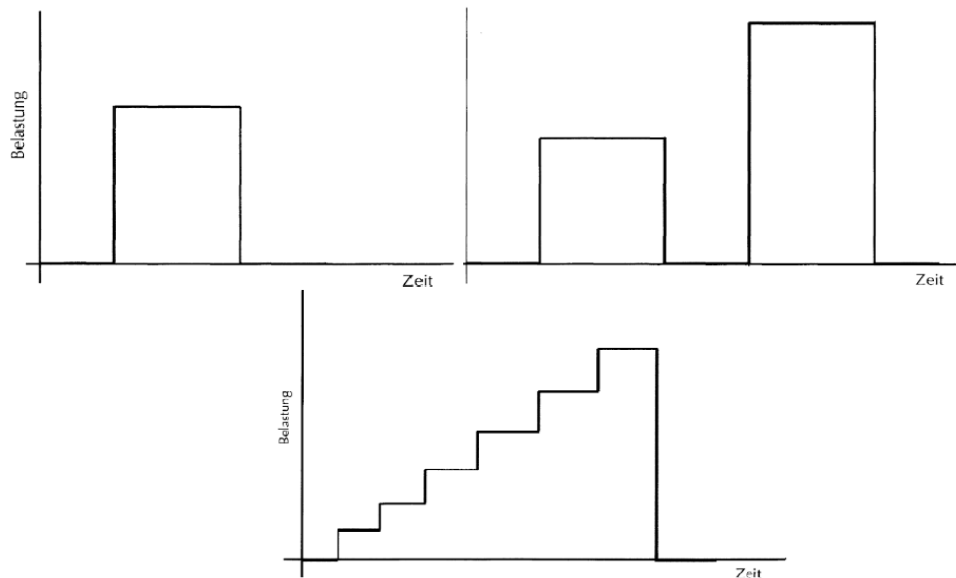


Abbildung 1 Belastungsvarianten: links oben: maximaler oder submaximaler Einstufentest. Rechts oben: maximaler oder submaximaler Zweistufentest zur Bestimmung der anaeroben Fähigkeiten. Unten: Mehrstufentest. Mehrere Belastungsstufen mit ansteigender Belastung. (Pokan et al. 2004, S.34-35)

1.1 Herzfrequenz Diagnostik

Tomasits und Haber (2008) beschreiben, dass die Herzfrequenz bei einer Ergometrie, ausgehend vom Ruhewert, bei gesunden Proband*innen linear mit der Belastung ansteigt. Die Herzfrequenz steigt bis zum symptomlimitierenden Abbruch an. Die maximale Herzfrequenz ist unabhängig von Körpermaßen und Geschlecht. Nach der Formel „ $HF_{\max} = 220 - \text{Lebensalter}$ “ nimmt die Herzfrequenz mit dem Alter ab. Diese Formel gibt nur einen statistischen Schätzwert wieder. Die individuelle maximale Herzfrequenz kann nur durch eine symptomlimitierte Ergometrie ermittelt werden. Die maximale Herzfrequenz ist unabhängig von der Leistungsfähigkeit eines Individuums. Bei ausreichender Belastungsdauer kann häufig bei ca. 70-80% der Maximalleistung eine Abflachung der Herzfrequenz beobachtet werden. Der Übergang vom steileren in einen etwas flacheren Anstieg der Herzfrequenz wird auch Conconi-Schwelle genannt. Pokan et al., (2004) fügen hinzu, dass bei gesunden Sportlerinnen der sogenannte Deflektionspunkt in Zusammenhang mit der anaeroben Schwelle gebracht werden kann und daher die Herzfrequenzdiagnostik durchaus als eine valide Methodik zur Bestimmung der Trainingsbereiche herangezogen werden kann. Eine Herzfrequenz Ergometrie würde unter die Kategorie „nicht-invasive“ Testverfahren fallen.

1.2 Laktatdiagnostik

Die Laktatdiagnostik erfolgt meist im Rahmen eines Stufentests auf einem Laufband oder einem Fahrradergometer. Ein gängiges Belastungsprotokoll für eine/n Läufer*in ist beispielsweise eine Startgeschwindigkeit von 10 km/h und eine Stufendauer von drei Minuten. Die Erhöhung der Geschwindigkeit findet in der Regel im Bereich von 1-2 km/h alle zwei bis fünf Minuten statt. Ist die Belastungsstufe zu kurz, kann das entstandene Anlaufaktat zu Beginn der Diagnostik nicht eliminiert werden und die Blutlaktatkonzentration steigt von der ersten Minute kontinuierlich an. Ist die Belastungsdauer zu lange kann der/die Proband*in zu einer muskulären Ermüdung kommen und daher möglicherweise keine Maximalleistung erreichen. (Pokan et al., 2004). Daher ist es von großer Bedeutung und für das Ergebnis der Diagnostik essenziell, dass die Sportwissenschaftler/innen das Belastungsinkrement richtig wählen. Die Stufen werden so lange gesteigert, bis der/die Proband*in nicht mehr in der Lage ist, weiter zu laufen und die jeweilige subjektive Maximalgeschwindigkeit erreicht ist. Am Ende jeder Belastungsstufe erfolgt eine Blutabnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen oder der Fingerbeere. Unmittelbar nach der Entnahme wird das Blut mit einer Glukose Lösung verdünnt und im Anschluss mit einem Laktatanalysegerät analysiert. Zudem wird die Herzfrequenz registriert und protokolliert. Die Herzfrequenz kann nach der Leistungsdiagnostik zur Trainingssteuerung verwendet werden. Als Laktatleistungskurve wird die Beziehung zwischen Herzfrequenz und Laktatkonzentration bezeichnet. In der Leistungsdiagnostik werden für die jeweiligen Schwellen unterschiedliche Nomenklaturen verwenden. In der Laktatdiagnostik sind dies z.B. für die aerobe Schwelle (AS) und die anaerobe Schwelle (ANS). Im Sinne einer Vereinheitlichung wird in der vorliegenden Arbeit der Begriff VT (Ventilatory Threshold - ventilatorische Schwelle) für die aerobe Schwelle und der Begriff RCP (respiratory compensation point - respiratorischer Kompensationspunkt) für die anaerobe Schwelle verwendet. (Wonisch et al., 2017)

Auch bei niedriger Belastungsstufe entsteht in der Arbeitsmuskulatur bereits Laktat. Dieses Laktat wird innerhalb des Muskels verstoffwechselt, sodass das Laktat nicht messbar ist. Bei ansteigender Belastung wird die Grenze der innermuskulären oxidativen Stoffwechselrate für Laktat überschritten und das entstandene Laktat über die so genannten Laktat Transporter (Monocarboxyl-Transporter, MCTs) in den Kreislauf transportiert und ist damit auch im Blut messbar. Der erste Anstieg der Blut-Laktatkonzentration über dem Ruhewert wird als LTP1 (Lactat Turn Point 1) beschrieben oder VT. In der Praxis wird zu Beginn der Testung ein geringfügiger Anstieg der Blut-Laktatkonzentration gefunden. Mit jedem Stufenanstieg entsteht ein soge-

nannter Anlaufaktat bedingt durch den verzögerten Anstieg der Sauerstoffaufnahme. Bei kleinen Belastungssprüngen und ausreichender Belastungsdauer kann das Anlaufaktat zu Beginn der Testung abgebaut bzw. verstoffwechselt werden (Wonisch et al., 2017). Bei gut ausdauertrainierten Probanden/innen zeigt die Laktatkurve bei ansteigender Belastung zunächst einen flachen Verlauf. Ein flacher Verlauf bedeutet, dass der/die Proband*in fähig ist, das angefallene Laktat zu kompensieren. Diese Phase wird auch als Kompensationsphase bezeichnet. Die zunehmende Belastung geht mit einem Anstieg der Laktatkonzentration einher. Die „steady state“-Bedingungen können nicht mehr gehalten werden und es findet ein exponentieller Anstieg des Laktates statt, vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..** Von „steady state“ wird gesprochen, wenn das angefallene Laktat noch verstoffwechselt werden bzw. kompensiert werden kann. Dieser Bereich kann auch als LTP 2 bezeichnet werden. Kann dieser Anstieg sehr lange hinausgezögert werden, wird von einer hohen aeroben Kapazität gesprochen. Gerade für Ausdauersportler im Langzeitausdauerbereich, ist eine hohe aerobe Kapazität fundamental. Zwischen aerober und anaerober Phase befindet sich das maximale Laktat-steady-state (MLSS). Diese Phase basiert auf der Grundlage, dass bei konstanter, submaximaler Belastung ein stabiler Laktatspiegel beobachtet werden kann. In der Phase des MLSS besteht ein physiologisches Gleichgewicht zwischen Laktatproduktion und Laktatelimination (Stockhausen et al., 1997). Vorteil einer Laktatdiagnostik ist, dass auch ohne Ausbelastung valide und reliable Daten zur Trainingssteuerung zur Verfügung stehen (Hall, Schmidt-Trucksäss, Hambrecht und Berg, 2008). Um einen Laktattest durchzuführen, ist nicht unbedingt ein Laufband oder ein Labor notwendig. Bei richtiger Handhabung können Laktattests durchaus auch auf einer Laufbahn oder einer exakt ausgemessenen Strecke durchgeführt werden (Galbraith, Hopker, Lelloitt, Diddams, Passfield, 2014).

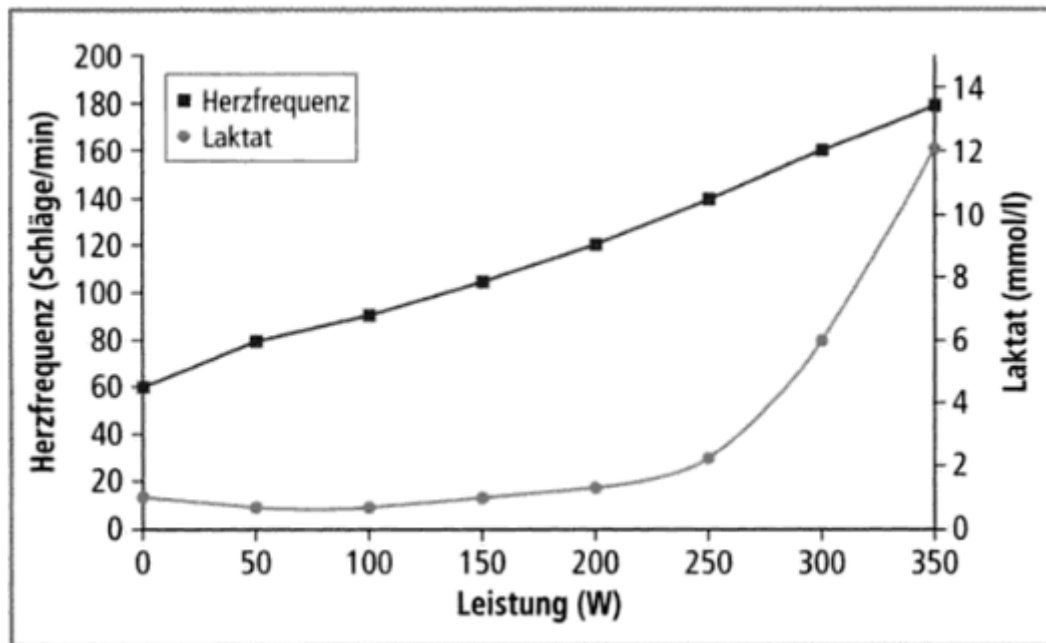


Abbildung 2 Beispielhafter Verlauf von Herzfrequenz und Laktatkonzentration bei einem gut trainierten Probanden (Halle et al., 2008, S. 130)

1.3 Laktatschwellenkonzepte

Wassermann und McIlroy (1964) gehörten zu den Ersten, die sich mit den Laktatschwellen beschäftigt haben. Die Ergebnisse dieser Forschungen bilden heute noch die Grundlage der Schwellenkonzepte für die Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung. In der Literatur tauchen eine Vielzahl von verschiedenen Schwellenkonzepten auf. Auf die Vielzahl der unterschiedlichen Modelle und der daraus resultierenden Abweichungen der Testergebnisse stützt sich die Kritik von Kindermann und Coen (1998) und Tokmakidis et al. (1998).

Als Meilenstein der Laktatschwellenkonzepte kann die Publikation von Mader et al. (1976) bezeichnet werden. Das „4-mmol/l-Schwellenkonzept“ beschreibt, wie es der Name schon sagt, den aerob-anaeroben Übergang bei einer fixen Laktatkonzentration von 4 mmol/l. Ein weiteres Schwellenkonzept, welches neben dem „4-mmol/l Konzept“ in den letzten Jahrzehnten sehr umfangreich validiert wurde, ist das „IAS-Modell“. Das Modell der individuellen anaeroben Schwelle, welches von Stegmann und Kindermann (1981) weiterentwickelt wurde, basiert auf der Laktatkinetik während der Belastungs- bzw. der Nachbelastungsphase. Die erhobenen Laktatwerte werden polynomisch gefittet und durch zwei Tangenten an spezifischen Punkten der Laktatleistungskurve angelegt. Durch dieses Verfahren können die Laktatschwellen ermittelt werden. In Abbildung 3 sind verschiedene Schwellenkonzepte illustriert.

Ein weiteres bekanntes Schwellenmodell ist das „+1.5-mmol/l-Methode“ nach Dickhut et al. (1991). Dieses Modell bedient sich der Addition einer fixen Laktatkonzentration von 1.5 mmol/l zur VT. Ein etwas weniger komplexes Modell ist die „D_{max}-Methode“ (Cheng et al., 1992). Die „D_{max}-Methode“ definiert die maximale Distanz einer Geraden, welche den ersten und letzten Messpunkt einer stufenförmigen Belastung verbindet. Die einfache grafische Bestimmung dieser Methode ist im Vergleich zu den anderen genannten Modellen ein großer Vorteil. Ein ähnliches Modell ist die „D_{max}_{mod}“ Methode. Bei der modifizierten Methode wird nicht wie bei der „D_{max}-Methode“ von dem ersten Messpunkt ausgegangen, sondern von der VT (Bishop et al., 1998).

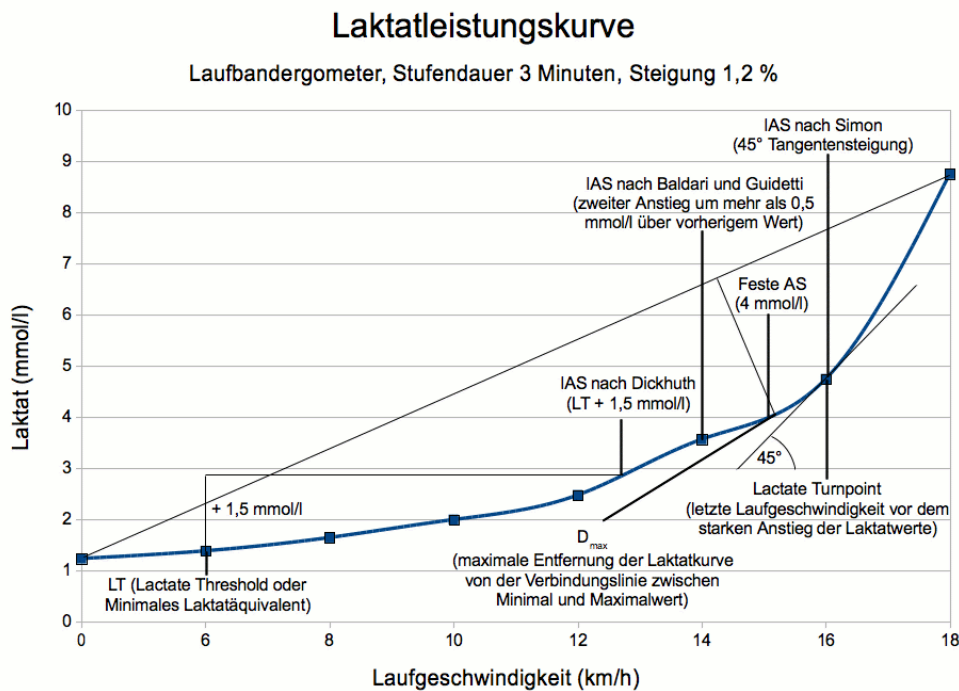


Abbildung 3 Darstellung verschiedener Schwellenkonzepte. Von Florian Jesse - Eigenes Werk, CC0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20368578>.

1.4 Spiroergometrie

Mit der Spiroergometrie wird das Zusammenspiel von Herz, Kreislauf, Atmung und Stoffwechsel während einer Belastung analysiert. Dabei wird die ausgeatmete Luft, die Kohlendioxidfraktion der ausgeatmeten Luft und das Volumen der ausgeatmeten Luft aufgezeichnet und analysiert. Zur Berechnung leistungsphysiologischer Parameter werden zudem die Atemfrequenz und die Herzfrequenz hinzugezogen. Bei einer Spiroergometrie können sowohl stufen- als auch rampenförmige Protokolle verwendet werden. Bei der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2max}$) handelt es sich um die Menge an Sauerstoff, die der Organismus während der Belastung maximal aufnehmen bzw. verwerten kann. Die $\dot{V}O_{2max}$ wird in L/min angegeben und dient als Standard-Messgröße der aeroben Leistungsfähigkeit. Um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Probanden*innen zu ermöglichen wird die $\dot{V}O_{2max}$ auf das Körpergewicht (ml/min/kg) normiert. Als Normalwerte in Ruhe werden etwa 4-5 ml/min/kg angegeben. Bei Ausbelastungen erreichen Untrainierte in etwa 35-45 ml/min/kg und Trainierte bis zu 90 ml/min/kg (Pokan et al., 2004). In Abbildung 4 ist die Einteilung des Fitnesszustandes von sehr schlecht (very poor) bis ausgezeichnet (superior), bezogen auf die $\dot{V}O_{2max}$, dargestellt.

Age (year)		Very poor		Poor		Fair		Good		Excellent		Superior
from	to	under		from	to	from	to	from	to	from	to	over
20	29	30.9		32.3	35.2	36.1	38.5	39.5	42.4	43.9	46.8	49.6
30	39	29.4		30.9	33.8	34.2	36.9	37.7	41.0	42.4	45.3	47.4
40	49	28.2		29.4	32.3	32.8	35.2	35.9	38.6	39.6	43.1	45.3
50	59	25.8		26.8	29.4	29.9	32.3	32.6	35.2	36.7	38.8	41.0
60	69	23.9		24.6	26.6	27.3	29.4	29.7	32.3	32.7	35.9	37.8
70	79	22.2		23.5	25.3	25.9	28.0	28.1	29.8	30.6	32.5	37.2

Age (year)		Very poor		Poor		Fair		Good		Excellent		Superior
from	to	under		from	to	from	to	from	to	from	to	over
20	29	36.7		38.0	41.0	41.7	44.8	45.6	48.5	51.1	54.0	55.5
30	39	35.2		36.7	39.5	40.7	43.9	44.1	47.0	48.3	51.7	54.1
40	49	33.8		34.8	37.6	38.4	41.0	42.4	44.9	46.4	49.6	52.5
50	59	30.9		32.0	34.8	35.5	38.1	39.0	41.8	43.3	46.8	49.0
60	69	27.3		28.7	31.6	32.3	34.9	35.6	38.3	39.6	42.7	45.7
70	79	24.6		25.7	28.4	29.4	31.6	32.4	35.2	36.7	39.5	43.9

Abbildung 4 Übersicht über den Fitnesszustand bezogen auf das Alter und Geschlecht. <https://blog.running-coach.me/blog/2018/10/04/vo2max-die-maximale-sauerstoffaufnahme/>.

Eine Möglichkeit zur Feststellung der VT ist der erste nicht-lineare Anstieg der Ventilation (VE), zu sehen in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** (,Wasserman 1‘). Der systematische Anstieg des VO₂ ohne einen Anstieg des VCO₂ ist eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der VT, zu erkennen auf Abbildung 5(,Wasserman 3‘). ,Wasserman 6‘ (Abbildung 5) beschreibt die Atemökonomie. Das Atemäquivalent für Sauerstoff (VE/VO₂) und das Atemäquivalent für Kohlendioxid (EQCO₂) kann zur Einschätzung von VT und RCP verwendet werden. Der Anstieg der VE/VO₂, welche unter submaximaler Belastung sinkt, ist ein Indikator für die VT. (Pokan et al., 2004).

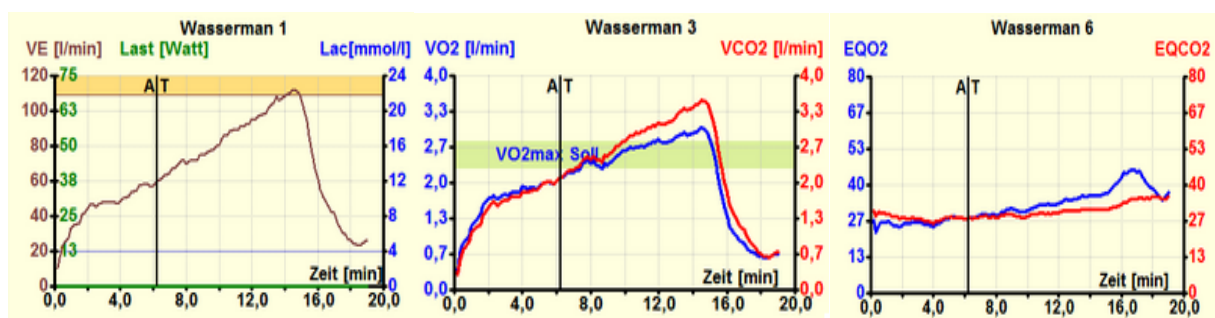


Abbildung 5. Wassermann 1. VE= Ventilation, Lac= Lactat. Wassermann 3 VO₂= Sauerstoffaufnahme in Liter pro Minute unter Belastung, VCO₂= Kohlendioxidabgabe in Liter pro Minute. Wassermann 6, EQO₂= Atemäquivalent für Sauerstoff, EQCO₂= Atemäquivalent für Kohlendioxid. <https://www.uni-marburg.de/fb20/unfallchir/lehre/wahl/sportmed/spiro>.

1.5 Weitere nicht-invasive Testverfahren

Ergänzend zu den bereits beschriebenen leistungsdiagnostischen Verfahren wie z.B. der Laktatdiagnostik oder der Spiroergometrie werden in der Literatur auch alternative, nicht-invasive Testverfahren angewendet. Schnabel et al. (2008) beschreiben etwa den Conconi Test. Beim Conconi Test wird bei systematisch ansteigender Laufgeschwindigkeit die aerobe Leistungsfähigkeit der Sportler/innen ermittelt. Dabei wird auf einer 400-m Laufbahn alle 200 m die Geschwindigkeit solange erhöht, bis der/die Sportler/in nicht mehr in der Lage ist die Geschwindigkeit weiter zu steigern. Somit wird die Stufendauer immer kürzer, die geleistete Arbeit (=Distanz) bleibt jedoch konstant. Dabei wird die Herzfrequenz aufgezeichnet, welche später zur Trainingssteuerung verwendet werden kann. Der Knickpunkt der Herzfrequenz oder Deflektionspunkt (zu erkennen auf Abbildung 6) wird dabei als Zusammenhang mit der anaeroben Schwelle gesehen und ermöglicht demnach eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit. Nöcker (1989) ergänzt jedoch, dass die Aussagekraft des Conconi-Tests für Leistungssportler anzuzweifeln ist und rät, den Conconi Test ausschließlich im Hobbysport anzuwenden.

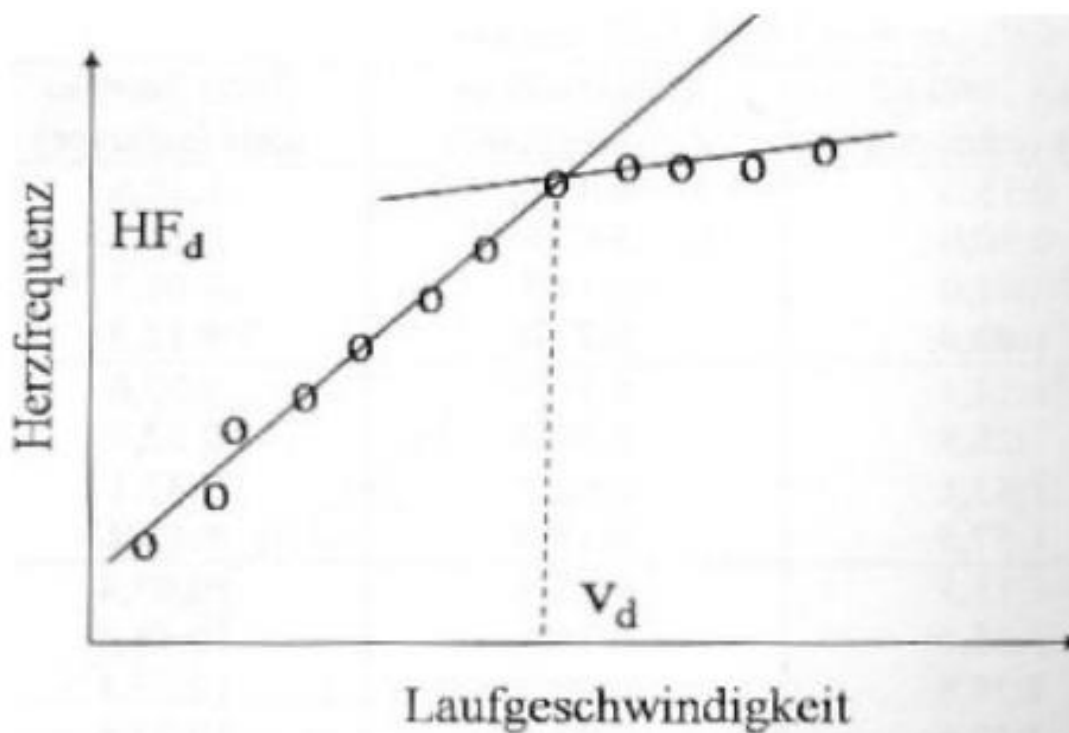


Abbildung 6 Darstellung des Herzfrequenzknickpunktes (HFd = Herzfrequenz beim Knickpunkt, Vd = Laufgeschwindigkeit beim Knickpunkt). https://physiologie.medunigraz.at/fileadmin/institute-oes/physiologie/lehre/M23_Herz_Kreislauf_System.pdf

Eine weitere Möglichkeit zur Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit ist der Coopertest. Bei diesem Testverfahren wird in 12 min eine möglichst weite Distanz zurückgelegt. Zwischen

der maximalen Sauerstoffaufnahme und der Laufleistung besteht eine enge korrelative Beziehung. Der Coopertest kommt oft bei Sportarten zur Verwendung, da mit wenig Aufwand mehrere Sportler/innen gleichzeitig getestet werden können. Dabei gelten 2500 m als gute und Distanzen über 3000 m als sehr gute aerobe Ausdauer (Schnabel et al., 2008). Die von Schnabel et al. (2008) beschriebene Testverfahren können auch der Kategorie nicht-invasiver Testungen zugeschrieben werden, da während der Testung kein Blut abgenommen wird. Zudem sind auch diese Verfahren sehr leicht durchzuführen und benötigen kein Labor bzw. keine spezielle Ausstattung. Der Coopertest kann nicht für die Trainingssteuerung herangezogen werden da keine Aufzeichnung der Intensität erfolgt. Der Test ein geeignetes Tool für die Kontrolle des Trainingszustandes.

1.6 Functional Threshold Power

Leistungsdiagnostische Verfahren wie z.B. die Laktatdiagnostik oder die Spiroergometrie erfordern oft viel Zeit, sind meist teuer und für Athlet*innen oft schwer in den Trainingsablauf zu integrieren und benötigen (meist) eine komplette Laborausstattung. Für Athlet/innen, welche auf einem hohen Niveau trainieren, zählt oft jede Trainingseinheit. Daher ist es wichtig, dass sich leistungsdiagnostische Verfahren sehr leicht und unkompliziert durchführen lassen und der Trainingsalltag der Sportler/innen nicht zu sehr beeinträchtigt wird (Triska et al., 2015).

Der wohl bekannteste Test in der populär-wissenschaftlichen Literatur für viele Radsportler/innen und Triathlet/innen ist der sogenannte Functional Threshold Power Test, kurz FTP-Test. Die FTP ist die durchschnittliche Leistung die ein/e Sportler*in 60 min lang maximal erbringen kann. Es gibt verschiedene Testprotokolle die angewendet werden können, um die FTP zu bestimmen. Dies kann beispielsweise mit einem 20 min Test erfolgen, bei dem über diesen Zeitraum versucht wird, eine möglichst hohe durchschnittliche Leistung zu erbringen. Die Durchschnittsleistung dieser 20 min wird mit dem Faktor 0,95 multipliziert, um so die FTP (über 60 min) zu errechnen (Valenzuela et al., 2018). Doch zeigt die Erfahrung, dass nicht alle Athleten/innen in der Lage sind, 20 min an ihrer persönlichen Leistungsgrenze zu fahren. Eine weitere Möglichkeit um die FTP zu testen, ist der FTP 60 min Test. Bei diesem Test wird, wie beim FTP 20, für 60 min die maximale Leistung erbracht. Dieser Test fordert eine hohe intrinsische Motivation und setzt die Fähigkeit voraus, über die gesamte Testdauer an sein persönliches physisches Limit zu gehen. Zudem braucht es auch einiges an Erfahrung, um den FTP-Test

richtig zu fahren und zusätzlich eine geeignete verkehrsarme Teststrecke sowie günstige Umweltbedingungen (z.B. Wind, Steigung, Bodenbeschaffenheit). (Allen und Cogan, 2015).

Valenzuela et al. (2018) fügen in ihrer Studie an, dass die FTP als Pendant zur LTP gesehen werden kann. Die Autoren verglichen in ihrer Studie gut trainierte Fahrradfahrer (Spitzenleistung [PPO] >4.5 W/kg, n = 9) und mäßig trainierte Radfahrer (Spitzenleistung [PPO] < 4.5 W/kg, n = 11). Die beiden Gruppen absolvierten jeweils einen Stufentest, um ihre individuelle LTP zu bestimmen und im Anschluss ein 20-minütiges Zeitfahren (TT) Test aus welchem dann die FTP bestimmt wurde. Alle Tests wurden im Labor auf einem Ergometer durchgeführt. Das Ergebnis zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen der FTP (240 ± 35 W) und der LTP (246 ± 24 W), ($r = 0.95$, $p < 0.001$). Dies gilt jedoch nur für die Gruppe der gut trainierten Radfahrer. Die FTP im Vergleich zur LTP der Gruppe untrainierter Radfahrer war jedoch signifikant niedriger ($p < 0.001$). Dies lässt darauf schließen, dass der FTP Test (wenn überhaupt) nur für gut trainierte und erfahrene Radfahrer ein brauchbares Testverfahren ist. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Abbildung 7 sind die erhobenen Werte dargestellt. Die Studie zeigt, dass die FTP sehr stark mit der LTP korreliert, allerdings nur für Radfahrer ab einem gewissen Leistungsniveau.

	All subjects (n=20)	RC (n=11)	TC (n=9)	p-value (ES)
Age (years)	32 ± 6	32 ± 5	33 ± 8	0.64 (0.23)
Weight (kg)	71 ± 6	74 ± 6	68 ± 5	0.04 (1.00)
Height (cm)	176 ± 6	177 ± 6	174 ± 5	0.14 (0.54)
Body fat (%)	11.0 ± 4.5	12.8 ± 3.5	8.5 ± 4.4	0.02 (1.10)
Training volume (h·week ⁻¹)	12.0 ± 6.5	7.0 ± 1.8	17.6 ± 5.7	<0.0001 (2.63)
PPO (W·kg ⁻¹)	4.47 ± 0.69	3.97 ± 0.20	5.09 ± 0.54	<0.0001 (2.87)
Peak [lactate] (mmol·l ⁻¹)	11.0 ± 2.5	11.4 ± 2.1	10.0 ± 2.3	0.19 (0.61)
LT (W·kg ⁻¹)	3.47 ± 0.46	3.14 ± 0.18	3.89 ± 0.36	<0.0001 (2.69)
LT (mmol·l ⁻¹)	4.0 ± 1.2	4.8 ± 0.9	3.1 ± 0.7	0.003 (1.99)
LT (% PPO)	78 ± 2	78 ± 1	77 ± 2	0.10 (0.63)
FTP (W·kg ⁻¹)	3.39 ± 0.62	2.93 ± 0.22	3.96 ± 0.46	<0.0001 (2.96)

Abbildung 7 Die Werte zeigen einen Durchschnitt $\pm$ SD, FTP, functional threshold power, LT, lactate threshold, PPO, peak power output. (Valenzuela et al., 2018) RC = Freizeitsportler, TC = Trainierte Radfahrer. (Valenzuela et al., 2018).

Ergänzend zu der Studie von Valenzuela et al. (2018), überprüften Borszcz et al. (2018) die Validität des FTP-Tests im Zusammenhang mit dem maximalen Laktat Steady State“ (MLSS). Das MLSS ist die maximale konstante Leistung, die über einen gewissen Zeitraum erbracht werden kann, ohne dass dabei die Blutlaktatkonzentration kontinuierlich ansteigt (Stockhausen et al., 1997). Die Autoren testeten dabei 15 gut trainierte Radfahrer ($VO_{2\max}$ 62.3 ± 6.4 ml/kg/min und MAP: 329 ± 30 W). Die Probanden absolvierten einen Stufentest sowie einen FTP-Test und zusätzlich mehrere Tests mit konstanter Leistung, um die MLSS zu bestimmen. Das Ergebnis zeigt eine sehr hohe Korrelation zwischen FTP und MLSS ($r = 0.91$). Die Leistung des FTP-Tests war bei sechs Radfahrern kongruent (mittlere Differenz = 0%), bei drei Radfahrern etwas niedriger (5%) und bei fünf Radfahrern war die FTP Leistung etwas über (5%) der MLSS (Abbildung 8). Dieses Ergebnis zeigt, dass der FTP Test für gut trainierte Radfahrer verwendet werden kann. Allerdings sollten diese mit dem Testprotokoll vertraut sein.

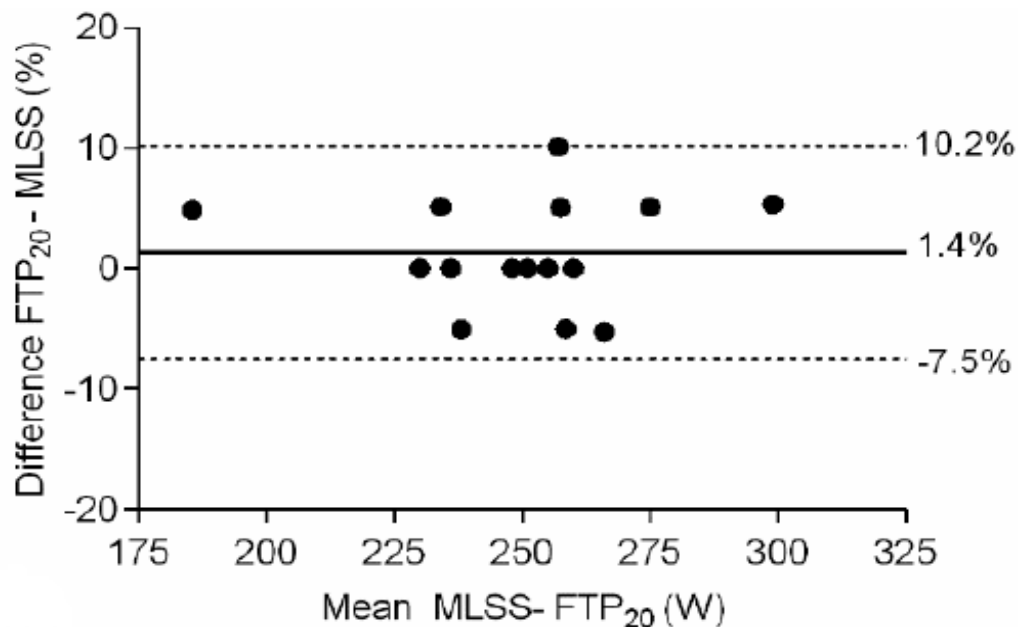


Abbildung 8. Unterschied zwischen FTP und MLSS. X-Achse zeigt die Durchschnittsleistung in W. y-Achse zeigt die Differenz zwischen FTP-MLSS in Prozent. (Borszcz et al., 2018).

2 Critical Power - Geschichte

Die Critical Power (CP) oder „kritische Leistung“ beschreibt die hyperbole Beziehung zwischen Leistung und Zeit bis zur Erschöpfung und folgt somit einem theoretischen, mathematischen Konzept. Der CP Test ist im Vergleich zur Laktatdiagnostik nicht invasiv und lässt sich sehr leicht ins Training integrieren, da die Feststellung der CP weder ein Labor noch Laborpersonal benötigt. Die CP wird traditionell mit 3-5 Versuchen zwischen 2-15 min getestet. All diese Tests werden mit der möglichst hohen Leistung gefahren. Werden die Werte der Versuche nun auf ein Diagramm gelegt (Abbildung 9), kann eine Hyperbel erkannt werden, wenn die x-Achse die Leistung (W) und die y-Achse die Zeit (s) darstellt. Bezugnehmend auf das theoretische Konzept einer Hyperbel wurde ursprünglich davon ausgegangen, dass die CP eine Leistung ist, die ohne Erschöpfung bis in die Unendlichkeit gefahren werden kann. Die Asymptote beschreibt dabei die CP in W, während die Krümmung die Arbeit über der CP (W') in J beschreibt (Jones et al., 2017).

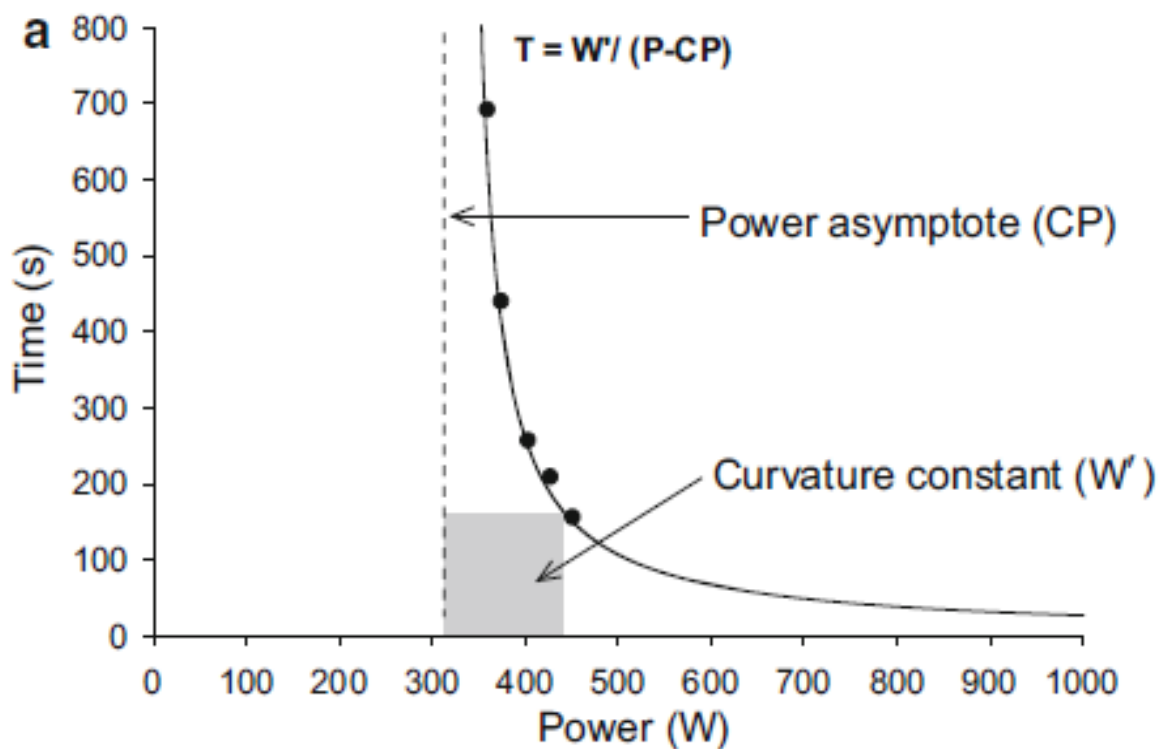


Abbildung 9 Hyperboles Verhältnis zwischen Leistung und Power. x-Achse stellt die Leistung in W dar, y-Achse stellt die Zeit in Sekunden dar. (Jones & Vanhatalo, 2017).

Der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Zeitdauer (in diesem Fall Critical Speed, CS) wurde in den frühen 20er Jahren des letzten Jahrhunderts von Kennelly (1906) entdeckt. Kennelly analysierte Weltrekordzeiten im Laufen und fand heraus, dass ein Zusammenhang zwischen den durchschnittlichen Laufgeschwindigkeiten und der Zielzeit besteht. Kennelly stellte fest, dass eine Verdoppelung der Wettkampfdistanz mit einer um 118% erhöhten Zielzeit einher geht. Basierend auf den neuen Erkenntnissen von Kennelly, stellte Hill (1925) fest, dass es einen hyperbolischen Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und der Zielzeit gibt.

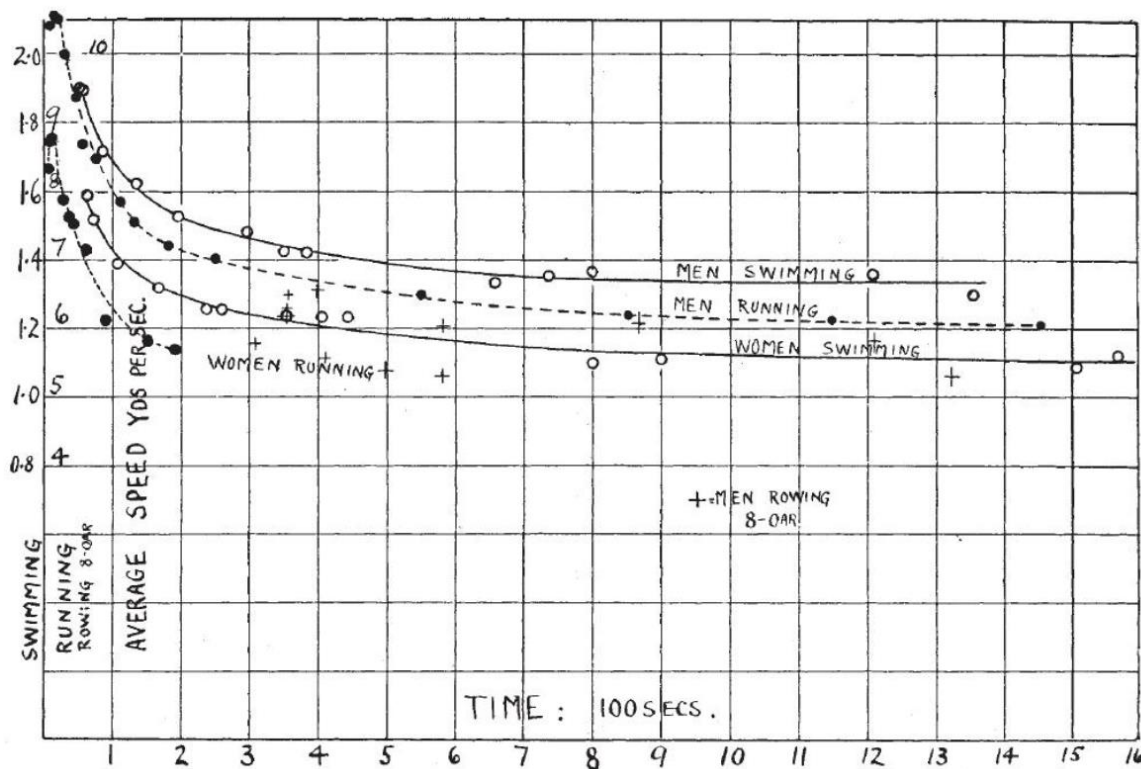


Abbildung 10 Die hyperbole Beziehung zwischen Zeit und Geschwindigkeit Schwimmen und Laufen von Männern und Frauen (A.V. Hill, 1925, S.544).

Abbildung 10 zeigt die Pionierarbeit von Hill (1925), bei welcher die Durchschnittsgeschwindigkeiten der Weltrekorde von Männern und Frauen im Schwimmen und Laufen den Zielzeiten gegenübergestellt werden. Der Autor fand heraus, dass es nach etwa 12-15 min zu einer konstanten Geschwindigkeit kommt. Nach dem Einpendeln der Geschwindigkeit konnte im Vorfeld ein rascher Abfall dieser beobachtet werden. Die Autoren stellten sich die Frage, ob durch die Extrapolation Rückschlüsse auf die Zeitdauer bis zur Erschöpfung bei längeren oder kürzeren Distanzen gezogen werden können.

In der Literatur werden Monod und Scherrer (1965) als wegweisende Forscher und Entdecker der Critical Power geführt. Die Autoren untersuchten 1965 einzelne Muskeln und Muskelgrup-

pen hinsichtlich des Zusammenhangs der Arbeit und der Zeit bis zur Erschöpfung mit unterschiedlichen Intensitäten. Während der durchgeführten Versuche in ihrer Untersuchung waren die Intensitäten konstant. Die Intensitäten waren jedoch so hoch gewählt, dass sie früher oder später eine muskuläre Ermüdung hervorriefen. Konnten einzelne Muskeln oder Muskelgruppen der vorgegebenen Intensität nicht mehr standhalten, so wurde laut den Forschern die Schwelle der lokalen Ermüdung erreicht. Ähnlich zu Hill (1925) zeigte sich ein linearer Zusammenhang zwischen der Arbeit und der Zeit bis zur Erschöpfung. Um einen linearen Zusammenhang basierend auf dem Arbeit-Zeit-Modell konstruieren zu können, sind zumindest zwei vorgegebene Versuche mit verschiedenen Leistungen (PO) notwendig (Abbildung 11).

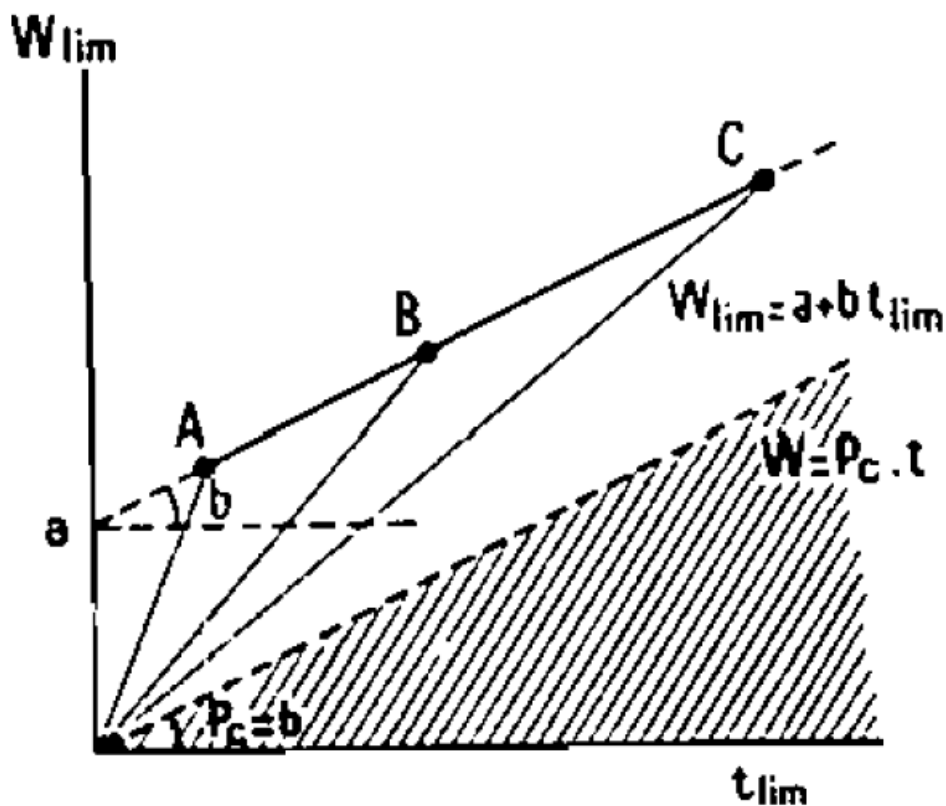


Abbildung 11 Zusammenhang zwischen Zeit und Arbeit bestimmt durch drei vorgegeben Versuche mit unterschiedlicher Leistung (Monod & Scherrer, 1965, p. 331).

Moritani et al., (1981) fanden einen linearen Zusammenhang zwischen Arbeit und Zeit bis zur Erschöpfung auf einem Fahrrad-Ergometer und waren somit die ersten, die eine Ganzkörperaktivität untersuchten. Zudem fanden die Forscher heraus, dass die CP mit der anaeroben Schwelle und auch der $\dot{V}O_{2max}$ in Verbindung steht.

2.1 Critical Speed

CS und D' können als Äquivalent für CP und W' aus dem Radsport verstanden werden. Hughson et al. (1984) testeten das CP Konzept erstmals beim Laufen auf einem Laufband. Die Forscher verwendeten sechs verschiedene Versuche mit konstanter Geschwindigkeit bis zur Erschöpfung. Die verschiedenen Versuche wurden mit einer Pause von 48 h durchgeführt, was die Testung sehr zeitaufwändig machte. Pepper et al. (1992) überprüften die Zeit bis zur Erschöpfung des CS Konzepts. Nach Testung ihres individuellen CS versuchten die Probanden in dieser Studie ihre CS, welcher in der Theorie ohne Erschöpfung gelaufen werden kann, so lange wie möglich zu halten. Kurzum, die Athleten waren nicht in der Lage, länger als 10-30 min bei einer 100% ihrer CS zu laufen, welches der Grundannahme, die CS könne ohne Erschöpfung gelaufen werden, widerspricht. In einer aktuellen Studie untersuchten Triska et al. (2018) zwei unterschiedliche Protokolle, um den CS festzustellen. Zehn männliche Triathleten absolvierten jeweils zwei unterschiedliche Testprotokolle: Protokoll I (12, 7, 3 min.) und Protokoll II (10, 5, 2 min.). Die Ergebnisse sind in Abbildung 12 dargestellt. Alle Tests wurden auf einer Laufbahn im Feld durchgeführt.

	<i>Protocol I</i>	<i>Protocol II</i>
CS	4.17 ± 0.37	$4.29 \pm 0.30^*$
SE CS (m s^{-1})	0.03 ± 0.02	0.04 ± 0.02
SE CS (%)	0.8 ± 0.6	0.8 ± 0.4
Mean bias	$0.12 \pm 0.14 \text{ m s}^{-1}$	
95% LoA	$\pm 0.28 \text{ m s}^{-1}$	
D'	144.8 ± 29.6	124.4 ± 25.0
SE D' (m)	9.0 ± 6.6	6.9 ± 3.7
SE D' (%)	6.5 ± 5.3	5.6 ± 2.7
Mean bias	$20.3 \pm 37.7 \text{ m}$	
95%LoA	$\pm 73.9 \text{ m}$	

Abbildung 12 Werte des CS und D' (durchschn. $\pm$ SD) aus Protokoll I und II. CS = Critical Speed, D' = maximale Laufdistanz über dem Critical Speed, SE = Standardfehler, LoA = Übereinstimmungsgrenzen. (Triska et al., 2018).

Die Pause zwischen den Durchgängen betrug 60 min. Die Autoren konnten einen signifikanten Unterschied für CS ($p = 0.026$) allerdings nicht für D' ($p = 0.123$) feststellen. Ein einheitliches

Protokoll und die Verwendung von fixen Zeiten gegenüber fixer Distanz zur Berechnung des CS wird von den Autoren empfohlen (Triska et al., 2018).

2.2 Einzelbesuchsprotokolle

Galbraith et al. (2011) wiesen zuerst auf die Notwendigkeit eines zeitsparenden Protokolls hin. Traditionell wurden die einzelnen Läufe mindestens 24 h voneinander getrennt durchgeführt. Dies bedeutete jedoch einen zu großen Einschnitt in das tägliche Training eines Athleten und einen enormen zeitlichen Aufwand. Das gesamte Protokoll in eine einzelne Einheit zu verpacken, würde die CS Testung für Trainer und Athleten praktikabler gestalten und die Ökonomie der Testung erhöhen.

Galbraith et al. (2011) untersuchten dahingehend die Reliabilität eines Einzelbesuchsprotokolls, in dem die passive Pause zwischen den Läufen lediglich 30 min betrug. Die Dauer des Protokolls wurde dadurch auf 90 min verkürzt. Ein 90-minütiges Testprotokoll ist leichter in den Trainingsplan eines Athleten zu integrieren und könnte als intensives Intervall Training, mit drei maximalen Läufen über vorgegebene Distanzen/Dauer, gesehen werden. Die Autoren verzeichneten eine ähnlich hohe Reliabilität im Vergleich zu dem auf mehrere Tage aufgeteilten Protokoll.

Die Forschungsergebnisse von Ferguson et al. (2010), welche auf die rasche Wiederherstellung von D' hinwiesen haben, waren richtungsweisend für diese Erkenntnisse. Die Autoren geben in ihrer Studie an, dass W' nach 20 bis 25 min vollständig aufgeladen ist. In Abbildung 13 sind die zeitlichen Erholungsverläufe von Laktat (L^-), W' und VO_2 zu erkennen.

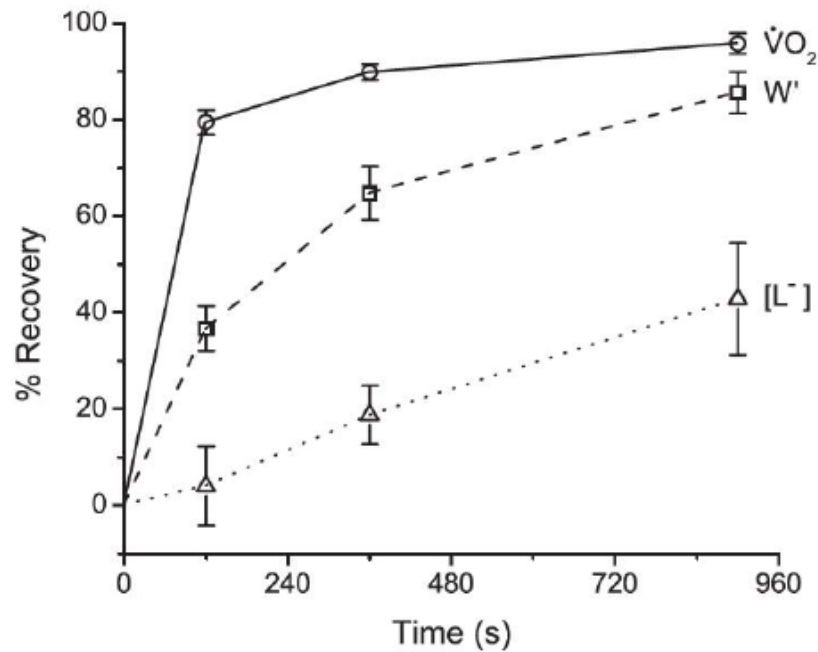


Abbildung 13: Zeitliche Verläufe bezogen auf die Erholung in Prozent. L^- = Laktat, VO_2 = Sauerstoff. (Ferguson et al., 2010, S. 870).

2.3 Pausengestaltung Critical Power

In einer Studie von Galbraith et al. (2014) wurden zwei Protokolle, welche sich durch die jeweilige Pausendauer (30 min vs. 60 min) unterschieden, verglichen. Die Autoren untersuchten dabei zehn männliche Läufer, welche jeweils drei Läufe auf einer Laufbahn und drei Läufe auf dem Laufband im Labor absolvierten. In Abbildung 14 sind die Ergebnisse der verschiedenen Testprotokolle illustriert. Dabei konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Protokollen bei CS ($P = 0.34$) und D' ($P = 0.67$) festgestellt werden. Im Vergleich mit einem „Mehrfachbesuchs-Laufband-Protokoll“ wurden jedoch signifikante Unterschiede, sowohl für die 30 min als auch 60 min Pausen für D' festgestellt ($P < 0.01$) (Galbraith et al., 2014).

	CS (m·s ⁻¹)			D' (m)		
	Field-30	Field-60	Treadmill	Field-30	Field-60	Treadmill
1	4.47	4.42	4.28	47	78	371
2	4.31	4.31	4.26	102	65	170
3	4.16	4.14	4.28	29	61	153
4	3.99	4.04	4.01	110	113	233
5	3.94	4.04	3.80	144	135	210
6	3.87	3.82	4.06	177	149	351
7	3.64	3.79	3.73	214	138	249
8	3.76	3.65	3.74	89	140	308
9	4.40	4.42	4.21	80	83	135
10	4.12	4.12	4.12	71	62	317
X	4.07	4.07	4.05	106*	102*	250
σ	0.28	0.26	0.22	57	36	84

Abbildung 14 CS und D' Werte der Probanden während des Labor bzw. Feldtests. Field-30 = 30 min Pause zwischen den Läufen, Field-60 = 60 min Pause zwischen den Läufen. * = Signifikanter Unterschied zum Laufband, P<0.01. Galbraith, Passfield & Hopker (2014).

Damit einhergehend fanden Karsten et al. (2017) eine große Effektstärke ($\eta_p^2 > 0.14$), eine niedrige Übereinstimmung (± 7 und ± 11 kJ) und eine hohe Variation (± 3.9 und ± 5.0 kJ) bei W' zwischen einem Mehrfachbesuchs-Protokoll (24 h) und einem 60 min bzw. 3 h Einzelbesuchsprotokoll (Abbildung 15). Indes wies eine ANOVA mit Messwiederholung ($P = 0.07$) keine signifikanten Unterschiede bei W' auf. Auch für die CP wurden von den Autoren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Protokollen festgestellt ($P = 0.31$). Die 95% Übereinstimmungsgrenzen (LoA) waren für die CP hoch (± 25 W). Allerdings wich die Dauer der jeweiligen TTEs in den verschiedenen Protokollen nicht signifikant voneinander ab ($P = 0.08-0.87$). Die CP liefert robuste/valide Ergebnisse bei Pausendauern von ≥ 30 min. W' hingegen zeigte laut den Autoren eine hohe tagesabhängige Schwankung, oder ein Verhältnis zwischen Leistung und Zeit ist nicht valide W' abzuschätzen. Die Autoren fügen an, dass noch weitere Forschungsarbeit notwendig sein wird, um die mechanistische Grundlage von W' und deren Wirkungsweise genauer zu verstehen.

	Mean (W)
Protocol A vs. B: (CP ₂₄ vs. CP ₃)	277 ± 26 vs. 274 ± 25
Protocol A vs. C: (CP ₂₄ vs. CP _{0.5})	277 ± 26 vs. 279 ± 33

Abbildung 15 CP Vergleich zwischen Protokoll A (24h Pause) und Protokoll B (3h Pause) bzw. Vergleich zwischen A und C (30Min.) (Karsten et al., 2017).

Beim Radfahren reicht eine passive Pause von 30 min aus, um von einer zuvor erfolgten völligen Erschöpfung erholt zu sein, dies zeigen Triska et al. (2015) in ihrer Arbeit. Diese Erkenntnis wird von anderen Arbeiten bestätigt (Bullet al. 2008; Housh et al., 2001; Karsten et al., 2014; Kranenburg & Smith, 1996). Der Determinationskoeffizient der individuellen Leistungs-Zeit-Beziehung bei Triska et al. (2015) befand sich innerhalb der Bereiche ($R^2 > 0.92$) von früher erhobenen Daten von Mehrfachbesuchs-Protokollen. Die Autoren wiesen zusätzlich darauf hin, dass eine längere Pausendauer die Qualität des Modells nicht beeinflusst hätte.

Wichtig zu erwähnen ist, dass die Blutlaktatkonzentration, nach einer 30 min Pause, nicht mehr auf den Ruhewert absinken kann (Karsten et al., 2017). Die Probanden wiesen bei der Untersuchung Blutlaktatkonzentrationen von $3.5 \pm 0.8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ bzw. $4.1 \pm 1.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ vor dem zweiten bzw. dritten Versuche auf. Burnley et al. (2005) gaben an, dass sich eine erhöhte Blutlaktatkonzentration $< 5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ leistungssteigernd auf nachfolgende Belastungen auswirken könnte. Übersteigt die Blutlaktatkonzentration jedoch die $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ Grenze, kann es negative Auswirkungen auf nachfolgende Belastungen darstellen.

2.43-Minuten Test als alternative Methode

Ursprünglich waren mindestens zwei Versuche bis zur Erschöpfung notwendig, um die Parameter der Leistung-Zeit-Beziehung zu ermitteln (Hughson et al., 1984; Monod & Scherrer, 1965; Moritani et al., 1981). Um das Prozedere zu verkürzen und die möglichen Effekte einer einsetzenden Ermüdung durch vorherige Belastungen auszuschließen, wurde versucht anhand eines einzigen „all out“-Versuchs die Parameter CP und W' zu bestimmen (Brickley et al., 2007; Dekerle et al., 2006; Karsten et al., 2014; Vanhatalo et al., 2007).

Die neue Methode basierte auf der theoretischen Annahme, dass $PO = CP$, wenn W' vollkommen entleert wird (d.h. $W' = 0 \text{ kJ}$) ist. $P = W'/t + CP$

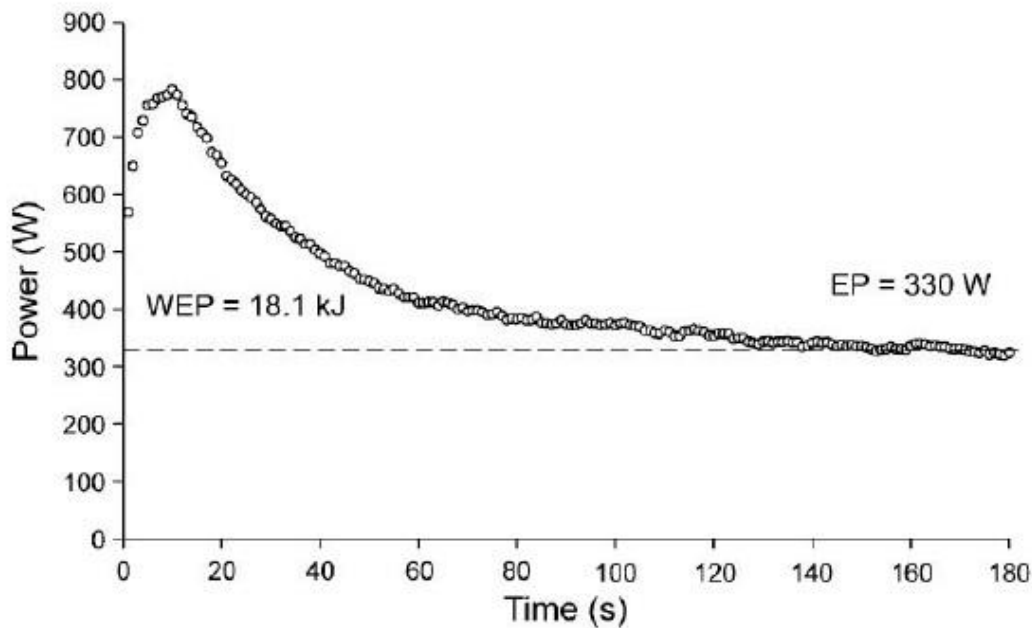


Abbildung 16 Leistungsprofil einer 180s All Out Ergometerbelastung. PO stabilisiert sich nach 150s und der Mittelwert der letzten 30s ergibt CP (Vanhatalo et al., 2007, p. 550).

Brickley et al. (2007) zeigten, dass eine 90-s „all out“ Belastung auf einem Fahrradergometer, um CP zu ermitteln, nicht ausreichend ist, da W' danach nicht völlig entleert war. Dadurch wurde die CP signifikant überschätzt im Vergleich zur traditionellen Methode mit mehreren Belastungen/Versuchen, obwohl eine signifikante Korrelation zwischen den beiden Schätzungen vorlag ($r = 0.86$, $P < 0.01$).

Basierend auf den Ergebnissen untersuchten Vanhatalo et al. (2007) einen 3 min „all out“ Test (3MT), in dem W' innerhalb der ersten 150 s entleert wird und der Mittelwert der letzten 30 s die CP ergibt. Die berechneten CP Werte korrelierten mit den Werten, die anhand der traditionellen Methode errechnet wurden ($r = 0.99$) und wiesen keine signifikanten Unterschiede auf ($P = 0.37$). Die Werte für W' aus dem 3MT wichen auch nicht wesentlich von der traditionellen Methode ab ($P = 0.35$) und korrelierten zudem mit den Werten aus der traditionellen Methode ($r = 0.84$). Dadurch konnten die Autoren belegen, dass der Mittelwert der letzten 30 s eines 3MT mit der errechneten CP aus drei TTE Versuche übereinstimmt.

Karsten et al. (2014) nutzten den isokinetischen Modus (die Kadenz kann einen zuvor festgelegten Wert nicht überschreiten) des Ergometers um CP und W' während eines 3MT zu ermitteln. Ihre gefundenen Werte wichen jedoch signifikant von denen des traditionellen Ansatzes mit TTEs ab ($P < 0.001$ und $P = 0.001$ für CP und W'), während auch die LoA zwischen den

beiden Ansätzen hoch waren. Die Messungen waren zwar zuverlässig, jedoch war die Validität niedrig und die Autoren sahen den 3MT nicht als geeignete Methode an, um die gewünschten Parameter zu ermitteln. Kürzlich wurden der Kadenz gesteuerte (der PO erhöht sich mit zunehmender Kadenz) und der isokinetische Modus bei 3MT von Wright et al. (2017) verglichen um die Validität und Reliabilität zu überprüfen. Dabei wurden keine signifikanten Abweichungen der CP im isokinetischen Modus festgestellt ($P = 0.377$), womit sie nicht mit den Ergebnissen von Karsten et al. (2014) übereinstimmen. Die Ergebnisse der Studie von Wright et al. (2017) sind in Abbildung 17 zu sehen. Der Kadenz gesteuerte Ansatz lieferte dagegen signifikant abweichende Ergebnisse für CP ($P = 0.004$), welche sich von den Ergebnissen von Vanhatalo et al. (2007) unterscheiden. W' wich sowohl im isokinetischen, als auch Kadenz gesteuerten Modus signifikant vom traditionellen Ansatz ab ($P < 0.001$). Dadurch kann laut diesen Autoren ein isokinetischer 3MT als valide und zuverlässige Methode zur Ermittlung der CP gesehen werden, während der Kadenz gesteuerte Ansatz dafür nicht geeignet scheint. Unabhängig vom Ansatz kann W' nicht akkurat ermittelt werden. (Wright et al, 2017)

	$\dot{V}O_{2peak} (L \cdot min^{-1})$	Peak blood lactate ($mmol \cdot L^{-1}$)	CP/EP (W)	W'/WEP (kJ)
Ramp protocol	4.4 ± 0.5	11.3 ± 0.6	–	–
Original CP protocol	4.3 ± 0.5	11.5 ± 2.1	244.9 ± 26.2	22.7 ± 5.6
3-min all-out test (isokinetic)	4.5 ± 0.5	12.5 ± 2.3	240.9 ± 23.3	$15.6 \pm 5.6^*$
3-min all-out test (linear)	4.4 ± 0.4	12.8 ± 2.1	$275.1 \pm 41.2^*$	$13.5 \pm 4.7^*$

Abbildung 17 Durchschnittswerte für VO_{2peak} , Laktat, CP und W' der unterschiedlichen Protokolle. (Wright et al., 2017, S. 464.)

2.53-Minuten Versuche Laufen

Später wurde versucht den 3-Minuten Testaufs Laufen zu übertragen. Dafür wurde die Methode der ursprünglichen 3MT adaptiert und Vanhatalo et al. (2017), Pettitt et al., (2012) und Broxterman et al. (2013) versuchten CS und D' in Feldtestungen mittels 3MT zu ermitteln. Die Ergebnisse zeigten, dass CS und D' der 3MT Testungen nicht signifikant von der traditionellen Methode abwichen, jedoch wurde D' signifikant unterschätzt (141 ± 34 m vs. 204 ± 103 m bei 3MT und der traditionellen Methode) und die intra-individuelle Variabilität bei beiden Parametern war hoch ($>10\%$). Den Autoren zufolge kann CS anhand des 3MT valide bestimmt werden, jedoch konnte dies nicht für D' zugesichert werden. Eine weitere Studie verglich die Resultate eines 3MT mit $\Delta 50\%$ Geschwindigkeit (50% der Differenz zwischen der VT und der Geschwindigkeit bei $\dot{V}O_{2max}$). Die Intensität bei $\Delta 50\%$ soll in etwa CS widerspiegeln (Burnley et al.,

2006). Es konnten keine signifikanten Differenzen zwischen den 3MT und $\Delta 50\%$ Geschwindigkeit festgestellt werden ($P = 0.37$). Darüber hinaus wurde gezeigt, dass Probanden mit höheren CS auch höhere Geschwindigkeiten über CS realisieren konnten.

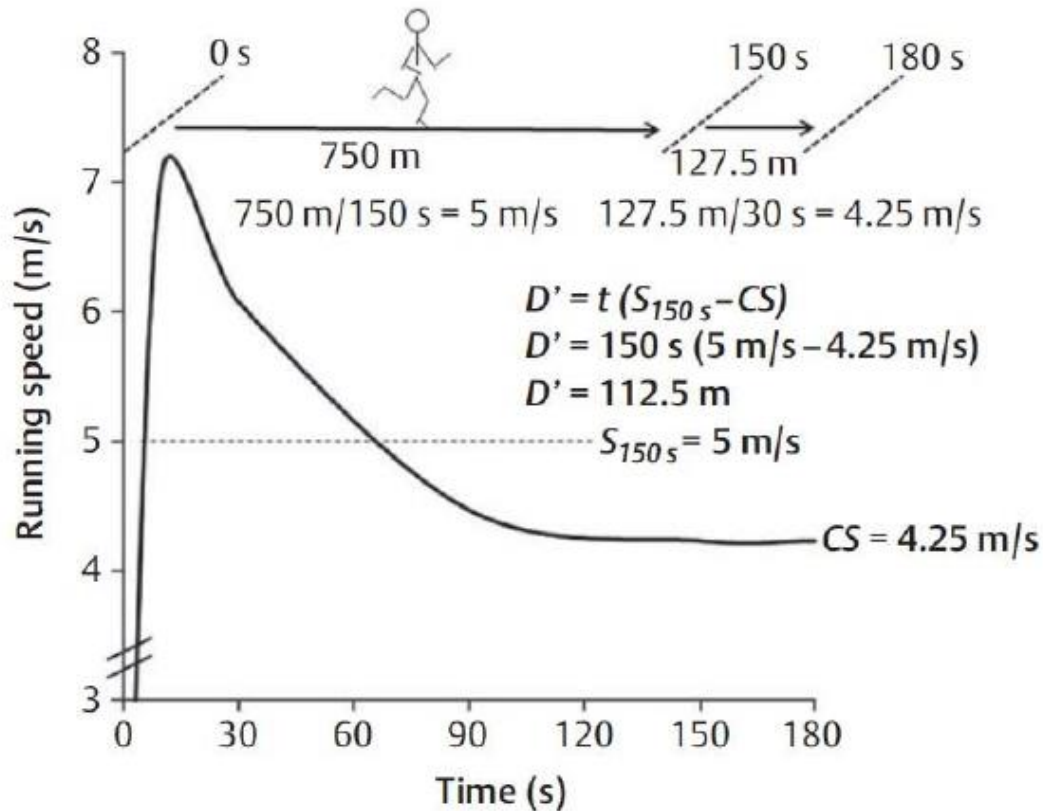


Abbildung 18 Geschwindigkeitsprofil während einem 3-Minütigem maximalen Lauf. Geschwindigkeit während den letzten 30 Sek. gleicht dem CS und die Distanz über dem CS gleich den ersten 150 Sek. (Pettitt, Jamnick, & Clark, 2012, p. 427).

Dieses Ergebnis wird von der Studie der Autoren Bartram et al. (2016) widerlegt. Die Autoren verglichen unter anderem die CP berechnet aus einem 3MT und dem klassischen CP Test. In Abbildung 19 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. sind die Werte der Studie von Bartram et al. (2016) dargestellt.

Subject	Traditional CP (W)	3-min All-out CP (W)	Difference (W)
1	324	375	51
2	371	380	8
3	357	418	61
4	343	411	68
5	313	365	51
6	395	464	69
Mean	351	402	51*
SD	27	33	20

Abbildung 19 Vergleich 3 Min. all out Test und klassische lineare Methode. (Batram et al., S.19 2016).

In Abbildung 20 ist zu sehen, dass auch bei der Studie von Wright et al. (2017) die Werte der CP aus dem 3 min „all out“ Test höher sind (275 ± 41 W) im Vergleich zum CP Test aus den drei Versuchen mit vorgegebenem Widerstand (244 ± 26 W) ($P < 0.005$).

	$\dot{V}O_{2peak}$ (L·min ⁻¹)	Peak blood lactate (mmol·L ⁻¹)	CP/EP (W)
Ramp protocol	4.4±0.5	11.3±0.6	-
Original CP protocol	4.3±0.5	11.5±2.1	244.9±26.2
3-min all-out test (isokinetic)	4.5±0.5	12.5±2.3	240.9±23.3
3-min all-out test (linear)	4.4±0.4	12.8±2.1	275.1±41.2 *

Abbildung 20 Ergebnisse 3 Min. all out Test vs. CP mit vorgegebener Leistung. (Wright et al., 2017).

2.6 3-Minuten Versuche Schwimmen

Tsai und Thomas (2017) versuchten den 3MT für Schwimmen zu adaptieren. Auch hier wichen die Ergebnisse signifikant von denen der traditionellen Methode ab ($P = 0.023$). Vergleichbar mit früheren Studien wurde D' unterschätzt ($P < 0.001$), was das Ergebnis anderer Studien bestätigt (Broxterman et al., 2013). Trotz allem sprechen die Autoren von einem validen Ansatz um CS, jedoch nicht D' , zu ermitteln.

Konträr dazu sind die Ergebnisse von Piatrikova et al., (2018). Die Autoren untersuchten 13 hoch-ausdauertrainierte Schwimmer. Dabei verwendeten die Autoren ein ähnliches Protokoll wie Tsai und Thomas (2017). Wie in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu sehen ist, sind zwischen den unterschiedlichen Testprotokollen keine signifikanten Unterschiede zu erkennen. Die Abbildung 21 zeigt eine Zusammenfassung von CS und D' aus den unterschiedlichen Modellen.

Subject	CS estimates (m.s ⁻¹)			D' estimates (m)			SEE	
	3MT	D-T	1/T	3MT	D-T	1/T	D'	CS
1	1.33	1.29	1.30	21.60	27.55	26.42	7.99	0.02
2	1.25	1.25	1.25	22.40	23.41	23.49	0.80	0.002
3	1.26	1.26	1.26	22.82	22.31	22.61	0.61	0.001
4	1.29	1.26	1.26	23.30	32.44	32.25	1.32	0.004
5	1.29	1.29	1.29	15.70	16.03	16.64	1.63	0.003
6	1.42	1.42	1.43	18.35	20.81	17.30	4.26	0.01
7	1.37	1.35	1.35	16.20	22.49	23.58	3.98	0.01
8	1.36	1.32	1.33	21.51	27.64	25.85	3.75	0.01
9	1.36	1.39	1.39	14.10	17.36	17.98	3.25	0.01
10	1.30	1.30	1.30	21.50	21.80	21.39	2.32	0.01
11	1.39	1.38	1.40	22.20	34.08	27.40	6.54	0.02
12	1.39	1.39	1.40	14.30	13.67	10.88	2.59	0.01
Mean	1.33	1.33	1.33	19.50	23.30*	22.15	3.26	0.01
SD	0.06	0.06	0.06	3.52	6.24	5.75	2.25	0.01

Abbildung 21 3MT = 3 min. Test, D-T = Distanz-Zeit Modell, 1/T = Geschwindigkeit-1/ Zeit Modell, SEE = Standardfehler. CS = Critical Speed, D' Distanz über dem Critical Speed. (Piatrikova et al., 2018).

3 Physiologie Critical Power

Physiologisch wird die CP als eine Intensität beschrieben, welche lange Zeit ohne Ermüdung aufrechterhalten werden kann (Monod & Scherrer, 1965; Moritani et al., 1981) und die, stark vereinfacht ausgedrückt, den aeroben Anteil der Energiebereitstellung darstellt. Zudem stellt die CP die Grenze zwischen metabolischem Gleichgewicht und Ungleichgewicht dar (Jones et al. 2019). Grundsätzlich gilt zu beachten, dass das CP-Konzept ein mathematisches Konzept ist und daher nicht als rein physiologisches Modell angesehen werden soll. Moritani et al. (1981) zeigten in ihrer Studie mit Radfahrern, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen der $\dot{V}O_2$ an der anaeroben Schwelle vergleichen mit der $\dot{V}O_2$ der CP ($P > 0.05$) gibt. Des Weiteren konnten die Autoren eine signifikante Korrelation zwischen $\dot{V}O_2$ an der anaeroben Schwelle und der $\dot{V}O_2$ der CP feststellen ($r = 0.907$). Die Autoren suggerieren, dass die CP signifikant mit der Leistung an der anaeroben Schwelle korreliert und dass die CP hauptsächlich von der Sauerstoffversorgung abhängt und daher als hauptsächlich aerober Parameter angesehen werden kann.

Viele Studien (Housh et al., 1991; Pringle & Jones, 2002; Leo et al., 2017) zeigen jedoch, dass die CP nicht mit einer Intensität gleichgesetzt werden kann, die mit einem metabolischen Gleichgewichtszustand verbunden ist (z.B. MLSS, RCP, OBLA). In den meisten Fällen wird die CP überschätzt und liegt über den angebenen physiologischen Größen (Triska, 2017).

Study	MLSS	LTP	OBLA	RCP
Housh et al. (1991)			$P < 0.05$	
Smith & Jones (2001)	$P > 0.05$	$P > 0.05$		
Pringle & Jones (2002)	$P < 0.05$			
Dekerle et al. (2003)	$P < 0.05$			
Denadai et al. (2005)	$P < 0.05$		$P > 0.05$	
DeLucas et al. (2012)	$P < 0.05$			
Sperlich et al. (2014)	$P = 0.007$			
Mattioni Maturana et al. (2016)	$P < 0.05$			
Dekerle et al. (2003)				$P = 0.80$
Broxterman et al. (2015b)				$P = 0.21$
Leo et al. (2017) [fast and moderate protocol]				$P < 0.05$

Abbildung 22 Unterschiede zwischen CP/CS und verschiedenen physiologischen Schwellen. (Triska, 2017 S. 38)

Vanhatalo et al. (2016) führten in ihrer Studie Muskelbiopsien bei acht Radfahrern durch, um Kreatinphosphat (PCr), intra-muskuläre [La] und pH während der Belastung zu testen. Die Probanden wurden in zwei Gruppen unterteilt. Eine Gruppe fuhr 24 min $<CP$ und eine Gruppe $>CP$

bis zur Erschöpfung. Das Ergebnis zeigte, dass weder [PCr], [La] noch der pH zwischen ~ 12 und 24 min ($P > 0.05$) in der Gruppe <CP signifikant unterschiedlich war, es aber signifikante Unterschiede bei der Gruppe >CP gab ($P < 0.05$). Die Schlussfolgerung der Autoren war, dass die CP eine Grenze zwischen einem metabolischen Gleichgewicht und Ungleichgewicht der getesteten Werte [PCr], [La] und pH darstellt. Dies wurde auch in einem Review von Jones et al. (2019) bestätigt.

4 Physiologie W'

In Ergänzung zur CP stellten Monod und Scherrer (1965) fest, dass ein weiterer Parameter unter Verwendung der Leistung-Zeit-Beziehung festgestellt werden kann. „Anaerobic work capacity“ (AWC) besteht nach Annahme von Monod und Scherrer aus hauptsächlich anaeroben Substanzen wie z.B. ATP, PCr und Glykogen. AWC wird heute in der Literatur als W' bezeichnet und steht für die Energieversorgung bei Intensitäten über der CP. W' wird als physiologische Größe gesehen und angegeben in Joule (J) oder Kilojoule (kJ) (Karsten et al., 2014). W' stellt die Gesamtarbeit dar, die bei Intensitäten über der CP verrichtet werden und ist deshalb ein wichtiger Faktor für die Beurteilung der anaeroben Kapazität. In Abbildung 13 ist illustriert, dass W' die Leistung über der CP darstellt. Die CP stellt in Abbildung 23 die horizontale schwarze Linie dar.

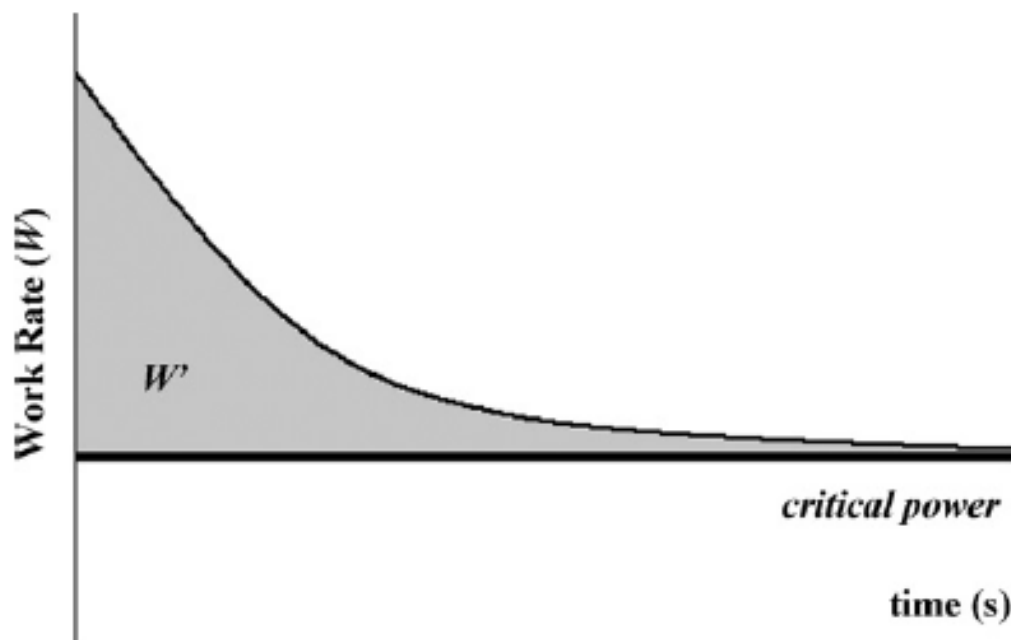


Abbildung 23. Schematische Darstellung des CP Konzepts. x-Achse stellt die Zeit (s) dar und die y-Achse stellt die Leistung (W) dar. Der graue Bereich stellt die Leistung über der CP dar und wird als W' bezeichnet. (Dekerle et al., 2008).

In der Studie von Monod und Scherrer (1965) wurde festgestellt, dass W' , im Gegensatz zur CP, unabhängig von der Sauerstoffversorgung ist. Das Ergebnis der Studie von Whippet al. (1982) bekräftigt dieses Ergebnis und führt an, dass W' unabhängig von verschiedenen Sauerstoffniveaus ist (Hypoxie, Normoxie, Hyperoxie), während die CP von verschiedenen Sauerstoffniveaus beeinflusst werden kann. Townsend et al. (2017) führten jedoch an, dass W' sehr wohl von Sauerstoff abhängig ist. Jones et al. (2008) ergänzen, dass W' bei Belastungen über der CP verbraucht wird. Der Verbrauch bzw. die Entleerung von W' ist abhängig von der Intensität. Je höher die Leistung über der CP ist, desto schneller ist W' entleert und desto größer

ist die Erschöpfung bezogen auf verschiedene Metaboliten (P_i , ADP, H^+ , K^+). Während einer Untersuchung der Physiologie von $\dot{W}$ stellten Ferguson et al. (2010) einen Zusammenhang zwischen der Nutzung von $\dot{W}$ und der proportionalen Anhäufung von Metaboliten.

5 Trainingszonen CP

Um die CP für die angewandte Trainingsplanung verwendbar zu machen, müssen zunächst verschiedene Bereiche definiert werden. Neben der bereits existierenden Einteilung von Poole et al., (2009) („moderate, heavy, very heavy und severe“) wird auch vorgeschlagen, Bereiche durch Prozentangaben der CP festzulegen (Allen & Coggan, 2015). Eine Möglichkeit zur Festlegung von Trainingsbereichen beschreiben Allen und Coggan (2015) mit ihrem 7-Zonen-Modell. Dabei verwenden die Autoren die FTP und unterteilen diese Anhand von Prozentangaben in sieben Trainingsbereiche. Die verschiedenen Trainingsbereiche sind in Abbildung 24 dargestellt. Die Autoren merken an, dass sieben Trainingsbereiche das Minimum darstellen, um den komplexen Ansprüchen der verschiedenen physiologischen Reaktionen, bezogen auf die unterschiedlichen Trainingsbereiche, gerecht zu werden (Allen & Coggan, 2015).

Zone	Percentage of FTP	Use for
1	<55%	Active recovery
2	56-75%	Long, endurance rides
3	76-90%	Tempo rides aimed at improving endurance at high effort
4	91-105%	8-30 minute intervals focused on improving FTP
5	106-120%	3-8 minute 'VO2 max' intervals
6	121-150%	30sec-3minute efforts focused on improving anaerobic capacity
7	N/A	Efforts less than 30 seconds, sprinting, neuromuscular power

Abbildung 24 7-Zonen-Modell von Coggan. <https://steemit.com/cycling/@formynextjourney/does-ftp-matter>.

Die Steuerung der Trainingsintensität, abgeleitet von den jeweiligen Trainingsbereichen erfolgt beim Radfahren in den meisten Fällen in Watt. In Abbildung 25 ist die Unterteilung, abhängig von der CP, in drei Zonen zu sehen. Es wird auch deutlich dargestellt, dass sich der Bereich moderate unter der VT befindet, der Bereich heavy zwischen VT und der CP und der Bereich severe sich über der CP befindet.

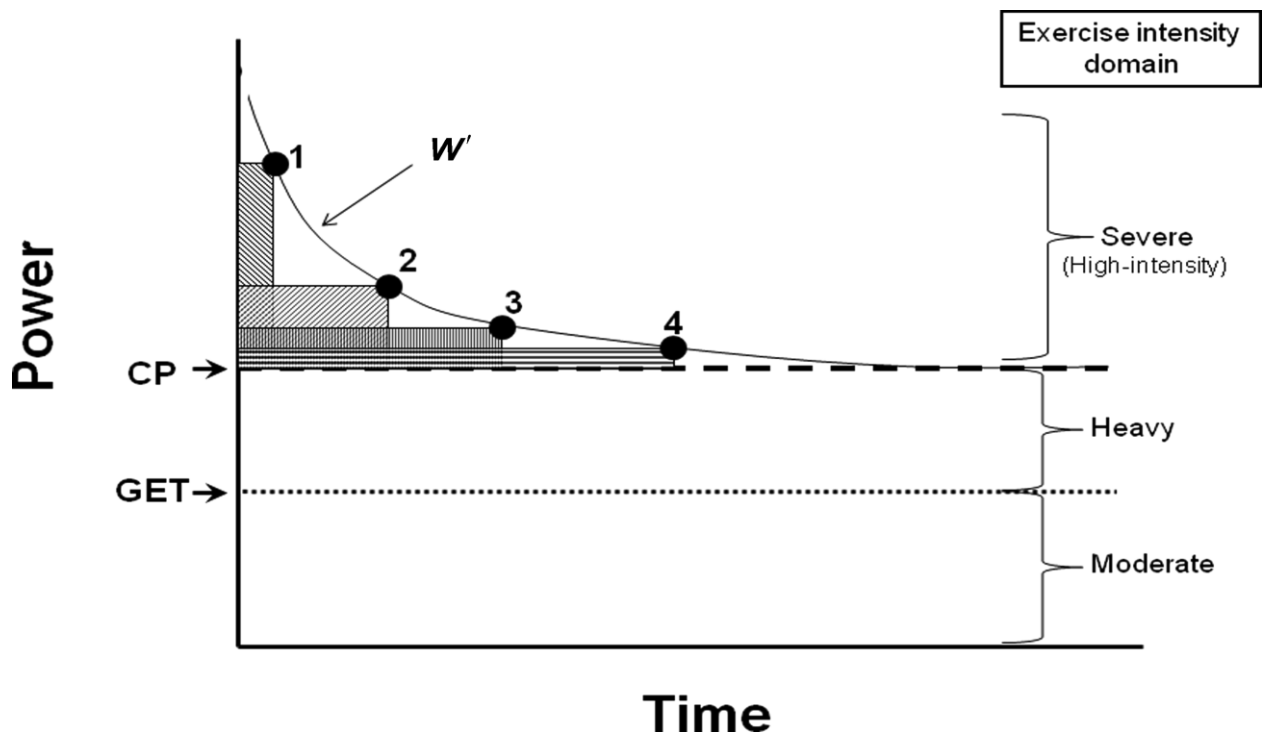


Abbildung 25 Darstellung der Trainingszonen unterteilt in Severe „Heavy“ und „Moderate“. GET= gas exchange threshold. (Poole et al., 2009): 94:197.

Abbildung 26 stellt die vier Trainingsbereiche und deren dominante Energiebereitstellung dar.

Intensities	Boundary	Predominant Energy System
Extreme	Above CP	
Severe	Upper: CP	
	Lower: MLSS	Aerobic and anaerobic glycolytic
Heavy	Upper: MLSS	
	Lower: LT/VT	Aerobic oxidative and anaerobic glycolytic
Moderate	Upper: LT/VT	Aerobic Oxidative Systems

Abbildung 26 Darstellung der Trainingszonen in vier Bereiche mit den jeweiligen dominanten Energielieferanten. MLSS= maximales Laktat steady state. LT = Laktatschwelle, VT = ventilatorische Schwelle. (Karsten 2014, S.40.)

5.1 Moderate-intensity

Der untere Bereich der moderate-intensity kann als regenerativer Bereich dargestellt werden. Dieser Trainingsbereich dient, wie der Name schon sagt, der Regeneration. Die obere Grenze dieser Trainingszone stellt die Laktat bzw. die ventilatorische Schwelle dar. Dieser Trainingsbereich kann auch als aerob-anaerober Übergang bezeichnet werden und dient in erster Linie der Verbesserung der Ökonomie. In diesem Trainingsbereich können Athleten/innen bis zu 6 h trainieren (Karsten, 2014).

5.2 Heavy-intensity

Dieser Bereich erstreckt sich von der Laktat- bzw. ventilatorischen Schwelle bis zur MLSS. Trainings bis zu einer Dauer von 3 h können in dieser Zone absolviert werden. Energieliefernde Substrate stellen die limitierenden Faktoren in diesem Trainingsbereich dar (Karsten 2014).

5.3 Very heavy-intensity

Von der MLSS bis zur CP erstreckt sich diese Trainingszone. Über der MLSS kann die Laktatproduktion und die Laktatelimination nicht mehr im Gleichgewicht gehalten werden und es folgt eine Akkumulation von Laktat. Kann diese Intensität lange genug toleriert werden, wird die $\dot{V}O_{2max}$ erreicht. Üblicherweise kann dieser Trainingsbereich 30-40 min toleriert werden (Karsten 2014).

5.4 Severe intensity

Severe intensity beschreibt die Trainingszone beginnend mit dem CP-Bereich bis hin zur höchsten Leistung, die erbracht werden kann, um die $\dot{V}O_{2max}$ noch zu erreichen. Ein Ansteigen der $\dot{V}O_{2max}$ und der Laktatkonzentration bis zur Erschöpfung charakterisieren diese Trainingszone. Die mögliche Belastungszeit für diesen Trainingszone ist kürzer als jene der very heavy-intensity, allerdings lang genug um die $\dot{V}O_{2max}$ noch zu erreichen. Dieser Trainingsbereich dient der Verbesserung bzw. Steigerung der VO_{2max} , welche ein wichtiges Kriterium für die sportliche Leistungsfähigkeit darstellt (Karsten 2014).

6 Validität CP und W' und unterschiedliche Testmethoden'

Die valide Ermittlung von CS/CP mittels Feldtestungen konnte bereits von einigen Studien wissenschaftlich bestätigt werden. Diese Studien nutzten Versuche über eine fixe Dauer, welche die Wettkampfsituation eines Athleten realistisch abbilden. Karsten et al. (2014) zeigten in Ihrer Studie, dass sich die CP Werte, von im Labor durchgeführten TTE Versuche und TT (Zeitfahren)-Versuchen auf einer Radbahn, nicht signifikant voneinander unterscheiden. Für W' wurden jedoch signifikante Unterschiede festgestellt, welche durch den stehenden Start auf der Bahn bzw. den fliegenden Start auf dem Ergometer und einer unterschiedlichen Aktivierung von Typ II Muskelfasern erklärt wurden. Dadurch könnte sich eine schnellere Entleerung von W' im Feldtest ergeben haben. Karsten et al. (2015) verbesserten die ökologische Validität des CP Test, indem sie die Feldtestung auf der Straße in eine Trainingseinheit integrierten. Die CP Werte aus dem Labor bzw. Feldtest stimmten wiederum überein, jedoch wies W' erneut einen signifikanten Unterschied auf, obwohl in beiden Fällen ein fliegender Start genutzt wurde.

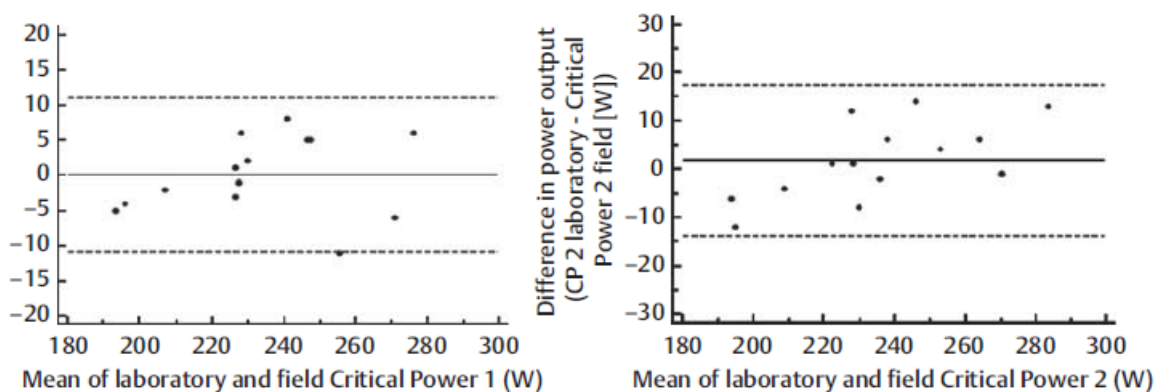


Abbildung 27. Vergleich der CP im Labor (links) vs. Feld (rechts). (Karsten et al., 2014).

In späteren Studien wurde versucht die Leistung im Labor über die Kadenz zu steuern, um die Charakteristik des Fahrens im Freien abzubilden. Triska et al. (2015) fanden nicht-signifikante Unterschiede für CP, jedoch wurden auch in dieser Studie signifikante Unterschiede für W' ($P = 0.013$) festgestellt. Zusätzlich wiesen die Testergebnisse eine hohe intra-individuelle Variabilität auf, welche von den Autoren nicht erklärt werden konnte. Abbildung 28 CP Werte im Labor und im Feld. HYP = hyperboles Modell, LIN = das lineare Arbeit vs. Zeit Modell und INV = lineare Power vs. 1/Zeit (Triska et al., 2015, S.3)

zeigt die CP-Werte der Testungen im Feld und im Labor unterteilt in drei mathematische Modelle..

No	Laboratory			Field conditions		
	HYP	LIN	INV	HYP	LIN	INV
1	287	283	272	254	310	295
2	280	293	325	293	227	308
3	246	244	241	250	253	256
4	321	324	328	283	279	275
5	296	307	318	308	316	325
6	302	311	338	268	289	320
7	234	249	260	270	285	311
8	274	279	289	281	277	273
9	267	270	279	307	304	301
10	229	229	229	222	233	247
mean	274	279	288	274	277	291
SD	30	31	38	27	31	27

Abbildung 28 CP Werte im Labor und im Feld. HYP = hyperboles Modell, LIN = das lineare Arbeit vs. Zeit Modell und INV = lineare Power vs. 1/Zeit (Triska et al., 2015, S.3)

Galbraith et al. (2014) untersuchten mögliche Unterschiede zwischen Labor- und Feldtestungen für CS und D' im Laufen. Im Labor wurde ein "Mehrfachbesuchs-Laufband-Protokoll" und TTEs mit konstanten Geschwindigkeiten genutzt, während die Feldtestungen als TT über fixe Distanzen an einem einzigen Tag durchgeführt wurden. Bei den Feldtestungen wurden zwei verschiedene Protokolle durchgeführt, welche sich in der Pausendauer unterschieden (30 min vs. 60 min). Die Resultate zeigten, dass CS unabhängig der Testart und der Pausendauer war (Abbildung 29). W' wies hingegen signifikante Unterschiede auf ($P = 0.80$). Die CS Ergebnisse durch TT Versuche im Feld können daher als valide betrachtet werden. Erklärungen, warum D' signifikante Unterschiede aufwies, konnten bislang keine erbracht werden. Es wird vermutet, dass die Unterschiede in der Gesamtdauer der Versuche einen Einfluss auf die Ergebnisse hatten. Dieser Erklärungsansatz wurde jedoch durch tiefergehende Analyse widerlegt, da sich die Gesamtdauer der einzelnen Protokolle nicht wesentlich unterschied. Als mögliche Einflussfaktoren könnten einerseits der Unterschied zwischen dem Laufen auf dem Laufband bzw. im Freien oder auch die geringere Validität der TTE Versuche sein.

	CS ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)			D' (m)		
	Field-30	Field-60	Treadmill	Field-30	Field-60	Treadmill
1	4.47	4.42	4.28	47	78	371
2	4.31	4.31	4.26	102	65	170
3	4.16	4.14	4.28	29	61	153
4	3.99	4.04	4.01	110	113	233
5	3.94	4.04	3.80	144	135	210
6	3.87	3.82	4.06	177	149	351
7	3.64	3.79	3.73	214	138	249
8	3.76	3.65	3.74	89	140	308
9	4.40	4.42	4.21	80	83	135
10	4.12	4.12	4.12	71	62	317

Abbildung 29 CS und D' der Probanden vom Laufband und Feldtest. Field-30: = 30 min. Pause zwischen den Tests, Field-60 = 60 min. Pause. (Galbraith et al., 2014).

Black et al. (2015) verglich TTE Versuche mit konstanter Leistung mit selbst „gepacten“ TT Versuchen am Fahrrad Ergometer. Die TT Versuche wurden jedoch im Kadenz-abhängigen Modus (i.e. Linearer Faktor) des Ergometers durchgeführt, das heißt die Probanden konnten die Leistung nur mittels Kadenzveränderungen steuern. Das Studiendesign unterschied sich insofern, dass der „Iso-work“ Ansatz zur Geltung kam, welcher bislang noch nicht untersucht wurde. Probanden mussten, unabhängig welche Methode genutzt wurde, dieselbe Arbeitsleistung erbringen. Die Ergebnisse zeigten, dass die TT Versuche wesentlich schneller zur erbrachten Arbeitsleistung führten als die TTE Versuche, ergo die Leistung wesentlich höher war. Auch die CP wurde durch die TT Versuche deutlich erhöht. W' wies in dieser Studie keine signifikanten Differenzen auf, jedoch eine hohe inter-individuelle Variabilität (-14,8 kJ bis 3,4 kJ). Aus den Ergebnissen geht hervor, dass weder ein schneller Start, noch unterschiedliche Pacing Strategien die Größe von W' beeinflussen, jedoch wird CP dadurch signifikant erhöht. Die Autoren empfehlen selbst-gepacte TT Versuche für eine präzisere Prognose der Leistung.

Die Ermittlung von W' anhand von TT Versuchen in Feldtestungen könnte von Terrainunterschieden, Sitzposition oder Beschleunigungsmuster abhängen (Karsten et al., 2015). Um diese Faktoren auszuschließen, wurden valide TT Versuche unter Laborbedingungen auf einem Cyc-lus2 Ergometer durchgeführt, wodurch die Probanden die eigenen Räder benutzen konnten. Zusätzlich konnten die Probanden während der TT Versuche auch Schaltwechsel vornehmen,

wodurch die ökologische Validität im Vergleich zu anderen Labortestungen erhöht werden konnte (Karsten et al., 2017). Das Ziel der Studie war ein Vergleich von ökologisch hoch validen TT Versuchen mit TTE Versuchen mit konstantem Widerstand unter Laborbedingungen, um die beeinflussenden Umweltfaktoren auszuschließen. Vergleichbar mit vorherigen Studien konnte eine gute Validität für die Ermittlung von CP gewährleistet werden, jedoch nicht für W_c (Galbraith et al., 2014; Karsten et al., 2014; Karsten et al., 2015; Triska et al., 2015).

7 Reliabilität CP und W' bzw. CS und D'

Gaesser und Wilson (1988) gehörten zu den ersten Autoren, welche die Zuverlässigkeit der CP und W' im Test- Retest Verfahren überprüften. Die Autoren verwendeten zwei Durchgänge mit jeweils fünf zufällig zugewiesenen TTEs mit konstanter Leistung. t_{lim} wurde mit 1-10 Minuten definiert, um die CP und W' festzustellen. Die Autoren konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Testwiederholungen (217 W vs. 223 W und 14.7 kJ vs. 15.1 kJ; $P > 0.05$ für CP und W') feststellen.

Ebenso wie Gaesser und Wilson (1988), konnten Nebelsick-Gullet et al. (1988) in ihrer Studie keine signifikanten Unterschiede zwischen zwei Testwiederholungen feststellen. 25 Probandinnen absolvierten zwei CP Tests und 3 TTE Durchgänge > 60 s. Keine signifikanten Unterschiede für CP und W' (156 W vs. 158 W und 9.6 kJ vs. 10.0 kJ; $P > 0.05$). Der Korrelationskoeffizient betrug $r = 0.94$ und $r = 0.87$ für CP und W zwischen den Testwiederholungen. Der SEE zwischen den Testwiederholungen lag bei ± 12 W und ± 1.4 kJ für CP and W'.

Fünf randomisierte TTEs verwendeten Smith und Hill (1993) in ihrer Studie. Mit einer Pause von mindestens 24 h wurden auf einem Ergometer TTE Durchgänge zwischen 1 und 10 Minuten absolviert. Die Autoren konnten signifikanten Unterschiede der CP ($P = 0.002$) jedoch nicht der W' ($P = 0.944$) feststellen. Trotz der signifikanten Unterschiede der CP waren sowohl die CP ($r = 0.90$ und $r = 0.92$ für Männer und Frauen) als auch die W' ($r = 0.64$ und $r = 0.80$ für Männer und Frauen) signifikant korreliert. Die Autoren ergänzten, dass ein potenzieller Lerneffekt stattfinden könnte und ggf. eine Familiarisierung notwendig ist.

Galbraith et al. (2011) untersuchten in ihrer Studie zehn trainierte, männliche Läufer. Im Vergleich zu vorangegangenen Studien, absolvierten die Probanden keine Durchgänge mit fixen Zeiten, sondern fixen Distanzen. Die Probanden absolvierten drei TT Läufe mit 1200 m, 2400 m, und 3600m. Die Pause zwischen den Durchgängen betrug 30 min. Weder für CS noch für D' konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($P > 0.05$). Variationskoeffizient (CoV) zwischen Test 1 und Test 2 betrug 2.0% und zwischen Test 2 und 3 1.3% für CS und 18.4% und 9.8% für D'. Auch diese Autoren ergänzten in ihrer Studie, dass eine Familiarisierung notwendig ist. Abbildung 30 zeigt anhand eines Bland-Altman-Plots die mittlere Differenz zwischen Test 1 und 2 bzw. Test 3 und 3 in Meter.

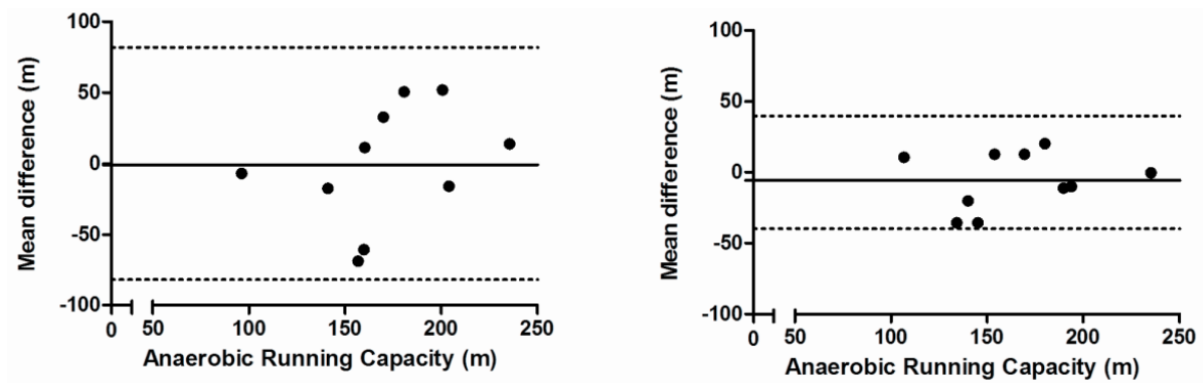


Abbildung 30. Bland-Altman Plots. Links: Unterschiede zwischen Test 1 und Test 2, rechts: Unterschiede zwischen Test 2 und Test 3. Die Durchgehende Linie zeigt die mittlere Differenz, die gepunktete Linie 95% Übereinstimmungsgrenzen (LoA). Galbraith et al, (2011).

Karsten et al. (2015) untersuchten in ihrer Studie die Reliabilität der CP und W' im Feld mit fixen Zeiten (Abbildung 31). Das Studiendesign war so aufgebaut, dass die Probanden drei TT Durchgänge von 12, 7 und 3 Minuten absolvieren mussten. 30 min passive Pause trennten die TT Durchgänge. Für die CP konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($P > 0.05$). Der ICC betrug $r = 0.99$ und somit waren die Werte für die CP hoch reliabel. Jedoch zeigten die Werte für W' eine schlechte Reliabilität (ICC $r = 0.16$). In Abbildung 31 Durchschnittswerte, Übereinstimmungsgrenzen (LoA) und SEE von CP (links) und W' (rechts). Karten et al. (2015).

Abbildung 32Abbildung 33 sind die Werte der CP und W' zu sehen. Die Autoren merkten an, dass Umwelteinflüsse wie z.B. das Wetter oder die Tageszeit einen Einfluss auf das Ergebnis der W' haben könnten.

	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3		Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
Mean field CP (W)	277 ± 38	271 ± 44	276 ± 46	Mean field W' (kJ)	12 ± 3	17 ± 5	20 ± 5
Mean difference CP lab (W)	-2 ± 14	10.37 ± 22	-5 ± 20	Mean difference W' lab (kJ)	-0.14 ± 3.36	-4.62 ± 5.69*	7.79 ± 3.15*
95 % CI	-11 to 8	26 to 5	-19 to 9	95 % CI	2.40 to 2.12	0.54 to 8.69	5.53 to 10.04
LoA (W)	-26 to 29	-32 to 53	-34 to 44	LoA (kJ)	-6 to 7	-16 to 7	-14 to -2
SEE (%)	4.5	5.8	5.2	SEE (%)	31.4	39.4	31.8
SEE (W)	11	17	14	SEE (kJ)	3.08	4.03	2.83

Abbildung 31 Durchschnittswerte, Übereinstimmungsgrenzen (LoA) und SEE von CP (links) und W' (rechts). Karten et al. (2015).

Die Notwendigkeit einer Familiarisierung betonten Parker Simpson und Kordi (2016) in ihrer Studie. Die Autoren fanden signifikante Unterschiede in der CP zwischen der Familiarisierung während TT Durchgängen im Labor. Zwischen der Fam 1 (272 ± 58 W, $P = 0.011$) und der Fam 2 (274 ± 51 W, $P = 0.028$) gab es signifikante Unterschiede im Vergleich zu Exp 1 (288 ± 63 W) (Abbildung 34).

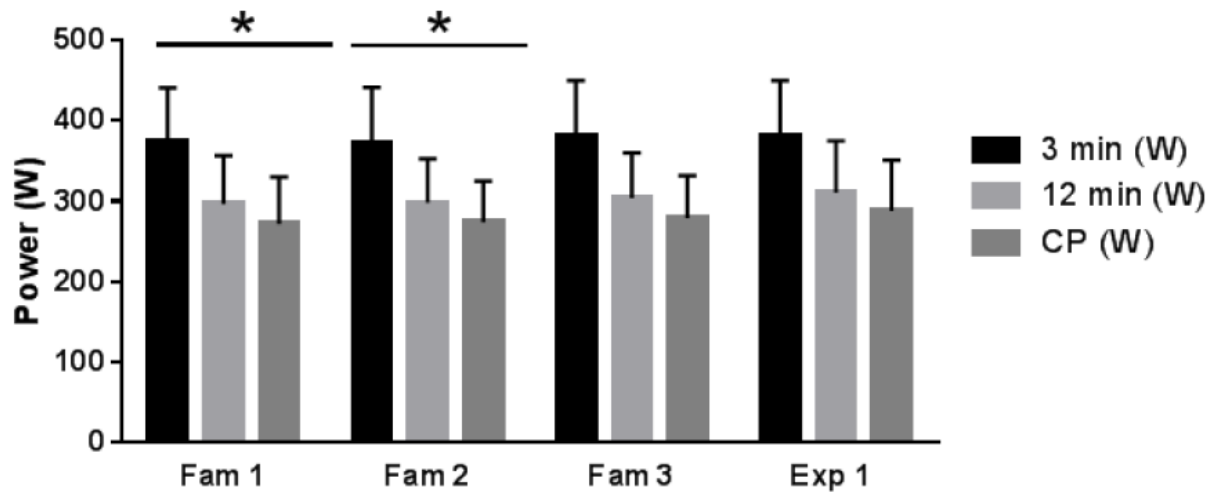


Abbildung 34 Durchschnittsleistung für die 3 und 12 min. TT sowie die CP aller drei Familiarisierungstrials und Exp Session 1. * = signifikanter Unterschied zu Exp 1. Parker Simpson et al. (2016)

Die Reliabilität der CP konnte in verschiedenen Studien nachgewiesen werden. Dennoch sind die Werte von nachfolgenden Tests tendenziell höher, was auf einen möglichen Lerneffekt deuten kann. (Parker-Simpson & Kordi, 2016; Smith & Hill, 1993). Parker- Simpson und Kordi, (2016) unterstreichen in ihrer Arbeit die Notwendigkeit einer Familiarisierung.

8 Begründung der Studie

Um Anerkennung als wissenschaftliches Prüfverfahren zu erlangen und Verwendung in der Leistungsdiagnostik zu finden, müssen Testverfahren gewisse Kriterien erfüllen (Jansen, 2011). Leistungsdiagnostische Verfahren müssen valide, objektiv und reliabel sein. Sind Testergebnisse unabhängig von der jeweiligen Person, kann von objektiven Testergebnissen gesprochen werden. Von vollständiger Objektivität kann dann gesprochen werden, wenn zwei Anwender übereinstimmende Ergebnisse mit demselben Messinstrument erzielen. Ein Korrelationskoeffizient von $r = 1.00$ kommt zur Geltung bei perfekter Übereinstimmung. Ein für die vorliegende Arbeit wichtiges Gütekriterium ist die Reliabilität. Die Reliabilität kann als Grad der Reproduzierbarkeit von Messergebnissen desselben Messinstrumentes verstanden werden. Durch den Korrelationskoeffizienten wird der Grad der Reproduzierbarkeit angegeben. In der vorliegenden Masterarbeit wurde die Test-Retest-Methode verwendet, bei der die Messung nach einem bestimmten Zeitintervall wiederholt wird. Die Validität informiert über die Gültigkeit eines Testverfahrens (Diekmann, 2004).

Atkinson und Nevill (2007) erläuterten in ihrer Arbeit, dass es die Aufgabe der heutigen Forschung bzw. der Sportwissenschaft ist, Testungen auf deren ökologische Anwendung zu überprüfen. Jeder Leistungstest muss auf Validität und Reliabilität überprüft werden. Die Überprüfung auf Zuverlässigkeit der Tests ist Voraussetzung, um Trainer/innen und Coaches das Vertrauen für Testabläufe und deren Umsetzbarkeit in die Praxis zu geben. Zudem sollen Tests leicht in den Trainingsalltag der Athlet/innen integrierbar sein und möglichst wettkampfnähe Bedingungen schaffen.

9 Forschungsfrage

Eine zuverlässige Bestimmung der CP und der W' liegt schon lange im Interesse der Forschung. Die Reliabilität der CP und W' bei der Bestimmung mit Zeitfahren konnte bisher im Labor nicht nachgewiesen werden. Angesichts der vorliegenden Ergebnisse für W' (Karsten et al., 2015; Triska et al., 2017) könnten kontrollierte Laborbedingungen, eine Familiarisierung und an den aktuellen Stand der Forschung angepasste Versuche einen weiteren Einblick in die Reproduzierbarkeit von W' geben. Ziel der vorliegenden Masterarbeit ist es daher, die Reliabilität der CP und W' auf einem Cycclus2 Ergometer nach erfolgter Familiarisierung zu überprüfen. Es wird davon ausgegangen, dass es nach der Familiarisierung keinen signifikanten Unterschied für CP und W' festgestellt werden kann. Zudem soll untersucht werden, ob zwischen der CP und der LTP ein Zusammenhang besteht.

H1_0 = Es wird keine Reliabilität für CP und W' nachgewiesen werden.

H1_1 = Es wird eine Reliabilität für CP und W' nachgewiesen werden.

H2_0 = Es gibt keinen Zusammenhang zwischen der CP und der LTP.

H2_1= Es gibt einen Zusammenhang zwischen der CP und der LTP.

10 Methodik

10.1 Probanden

Zehn ausdauertrainierte männliche Triathleten (Alter: 28.5 ± 4.7 Jahre; Körpergewicht 73.3 ± 7.9 ; Körpergröße 1.80 ± 0.07 m; MAP: 329 ± 41 W) nahmen an der Studie teil. Die anthropometrischen Daten sind in Tabelle 1 ersichtlich. Alle Studienteilnehmer trainierten seit mindestens drei Jahren regelmäßig und nahmen dementsprechend auch an Wettkämpfen teil. Die Rekrutierung der Probanden erfolgte primär über Kontakte des Forschungsteams. Da die teilnehmenden Probanden ausschließlich Triathleten bzw. Radfahrer mit Wettkampferfahrung waren, verfügten diese auch über ausreichend Praxis im Zeitfahren und waren daher ideal geeignet für die Teilnahme an der Studie. Bevor die Teilnehmer mit der Studie starteten, wurden diese über mögliche Risiken und den genauen Studienablauf informiert. Zudem mussten die Teilnehmer einen Gesundheitsfragebogen über ihren eigenen Gesundheitszustand ausfüllen. Die Ethikkommission der Universität Wien (#00216) genehmigte alle Testverfahren und die Studie wurde gemäß der Deklaration von Helsinki von 1976 durchgeführt.

Tabelle 1: Anthropometrische Daten aller Studienteilnehmer: BMI = Body Mass Index, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung.

ID	Größe	Gewicht	BMI	Alter
1	163	56	21,1	28
2	182	72	21,7	33
3	189	80	22,4	27
4	178	67	21,1	25
5	173	72	24,1	27
7	182	83	25,1	39
8	186	76	22,1	28
9	180	70	21,6	25
10	183	76	22,7	24
11	181	80	24,4	25
MW	179.9	73.3	22.6	28.5
SD	7.3	7.9	1.4	4

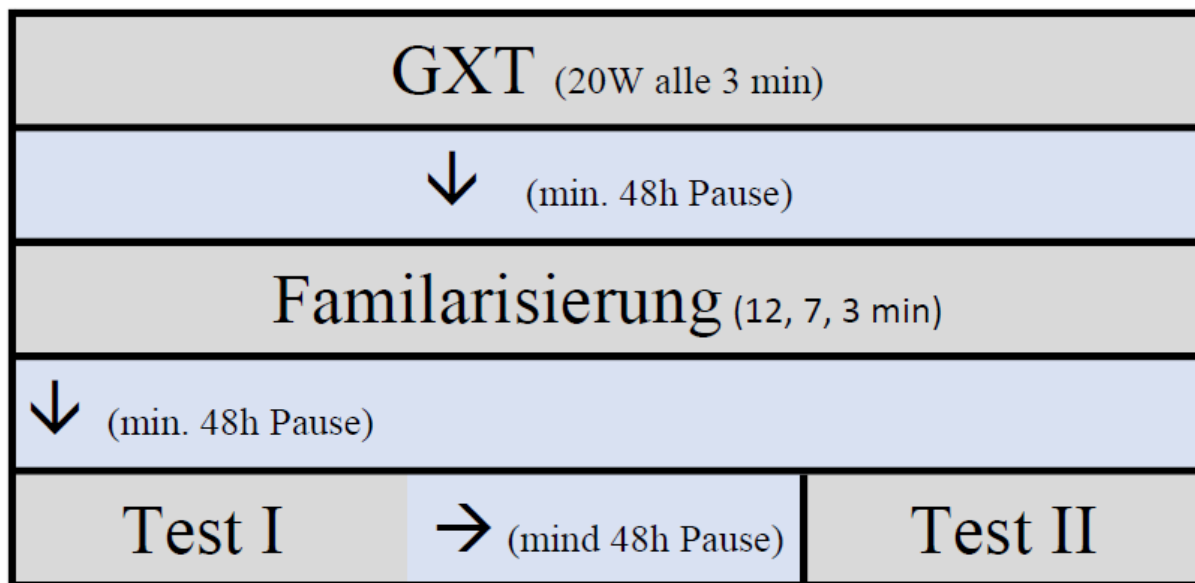
10.2 Studiendesign

Das Studiendesign wurde so gewählt, dass die Probanden vier Mal erscheinen mussten und insgesamt vier Tests absolvierten. Ein sogenanntes Test-Retest Verfahren, um die Reliabilität der CP unter Laborbedingungen zu testen, wurde angewendet. Der Abstand zwischen den Testungen betrug mindestens 72 h. Eingangs wurden von allen Probanden die anthropometrischen Daten festgestellt (Größe, Gewicht). Der Erste der vier Tests war ein Stufentest (GXT), bei dem alle 3 min der Widerstand um 20 W erhöht wurde. Um die CP mit der LTP vergleichen zu können, wurde am Ende jeder Belastungsstufe eine Blutprobe aus dem hyperämisierten Ohrläppchen entnommen und im Anschluss analysiert. Die drei darauffolgenden Laborbesuche bestanden dann aus jeweils drei Versuchen mit einer Dauer von 12, 7 und 3 min. Die passive Pause zwischen den einzelnen Versuchen betrug 30 min.

Die Temperatur betrug zwischen 22°C und 23°C und die Luftfeuchtigkeit betrug etwa 45% bis 55%. Somit konnten möglichst konstante und gleichbleibende Bedingungen geboten werden. Die einzelnen Tests wurden so angesetzt, dass sie in etwa zur selben Uhrzeit (± 2 h) stattfanden. Die Probanden wurden angehalten, jeweils am Tag vor der Testung kein anstrengendes Training zu absolvieren und genügend Flüssigkeit zu sich zu nehmen. Zudem sollten die Teilnehmer drei Stunden vor der Testung kein Essen, Koffein oder Alkohol konsumieren. Alle Testungen wurden auf einem Cycclus2 Ergometer (RBM Electronics, Leipzig, Deutschland) durchgeführt. Die Probanden absolvierten alle Tests auf ihrem eigenen Renn- oder Triathlon Rad, welches auf dem Ergometer befestigt wurde. Die Teilnehmer wurden angehalten, die komplette Testreihe auf demselben Rad zu absolvieren um möglichst gleichbleibende Bedingungen sicher zu stellen zudem wurden die Probanden angehalten, ihre Position am Rad während der Testung nicht zu verändern

Um mögliche Trainingsadaptationen auszuschließen und den Test so ökologisch wie möglich zu gestalten, wurde versucht, die vier Tests innerhalb von drei Wochen durchzuführen. Während allen Tests wurden die Teilnehmer vom Testpersonal lautstark angefeuert. In Tabelle 2 ist eine schematische Darstellung des Studiendesigns illustriert.

Tabelle 2 Schematische Darstellung des Studiendesign. GTX = Stufentest.



10.3 Stufentest

Eingangs absolvierten die Teilnehmer einen Stufentest, um die MAP festzustellen. Nach einer 3-minütigen Aufwärmphase starteten die Probanden mit einer Anfangsstufe von 100 W. Die Stufendauer betrug 3 min und das Belastungssinkrement wurde für alle Probanden mit 20 W festgelegt, was bedeutet, dass jeweils nach 3 min eine Belastungssteigerung von 20 W folgt. Die Teilnehmer wurden angehalten den Test bis zur vollständigen Erschöpfung zu fahren. Nach jeder Stufe wurden 20 µL Blut aus dem Ohrläppchen entnommen, um im Anschluss die Laktatkonzentration zu messen. Konnte die letzte Belastungsstufe nicht bis zum Ende gefahren werden, wurde folgende Formel zur Berechnung der MAP herangezogen (Kuipers et al., 1985).

$$MAP = P_{\text{last}} + \left(\frac{t}{180} \cdot 20 \right)$$

MAP ist die maximale aerobe Leistungsfähigkeit (W), P_{last} steht für die letzte vollständig absolvierte Stufe und t steht für die Dauer der abgebrochenen Stufe.

10.4 Messung der Blutlaktatkonzentration

Sowohl bei den Stufentests als auch bei den Versuchen für die CP wurde zur Bestimmung der Laktatkonzentration Blut aus dem hyperämisierten Ohrläppchen entnommen. Unmittelbar nach der Entnahme wurde das Blut mit einer 1000 µl Glukose Lösung verdünnt. Im Anschluss wurden die Proben mit einem Laktatanalysegerät (Biosen S_line, EKF Diagnostics, Barleben, Deutschland) analysiert.

10.5 Versuche zur Bestimmung der CP

Um die CP der Probanden festzustellen, absolvierten diese drei identische Tests. Diese Werte dienten als Basis zur Bestimmung der CP. Die Familiarisierung, also das Vertraut-machen mit dem Test, stellte den ersten der drei Testdurchgänge dar. Die Gewöhnung wird als Familiarisierung im Ergebnis dargestellt und ist auch Teil der Auswertung. Die zweiten und dritten Tests werden in der Auswertung als *Test I* und *Test II* dargestellt und beinhalteten jeweils 3 Versuche über 12, 7 und 3 min. Während der TT Versuche wurden die Probanden angehalten, die höchst mögliche Durchschnittsleistung über 12, 7 und 3 min bis zur völligen Erschöpfung zu erzeugen. Um möglichst realitätsnahe TT Bedingungen zu schaffen, hatten die Probanden die Möglichkeit am Cyclus2 Ergometer selbst ‚virtuell‘ zu schalten. Zudem war es den Teilnehmer möglich ihre eigene, bevorzugte Trittfrequenz zu wählen.

10.6 Berechnung der CP and W'

Die durchschnittliche PO jedes einzelnen Versuchs wurde über das Invers der Zeit mit einer linearen Regression dargestellt. Dabei beschreibt PO die durchschnittliche Leistung (W), W' die Leistung welche über die CP absolviert wurde und CP die Critical Power.

$$PO = W' \cdot \frac{1}{t} + CP$$

Das CP Modell Invers der Zeit wurde verwendet da es im Vergleich zu den anderen Modellen (Hypeboles Modell, Power vs. Zeit Modell) den kleinsten Fehler der Schätzung (SEE) aufwiesen hat. (Nimmerrichter et al.2015).

10.7 Bestimmung LT

Die Bestimmung der LTP wurde mittels der $D_{\max_{\text{mod}}}$ Methode festgestellt. Eine Beschreibung dieser Methode findet sich in Kapitel 1.3 Laktatschwellenkonzepte.

11 Statistik

Zu Beginn der Auswertung wurden die Daten auf Normalverteilung untersucht. Der Test auf Normalverteilung ist ein erforderliches Verfahren und gleichzeitig eine Voraussetzung für parametrische Verfahren. Die Testung auf Normalverteilung wurde unter Verwendung des Shapiro-Wilk Verfahrens durchgeführt. Eine weitere Möglichkeit zur Feststellung der Normalverteilung ist die Darstellung in einem q-q Plot. In Abbildung 35 ist der q-q Plot für die Familiarisierung dargestellt.

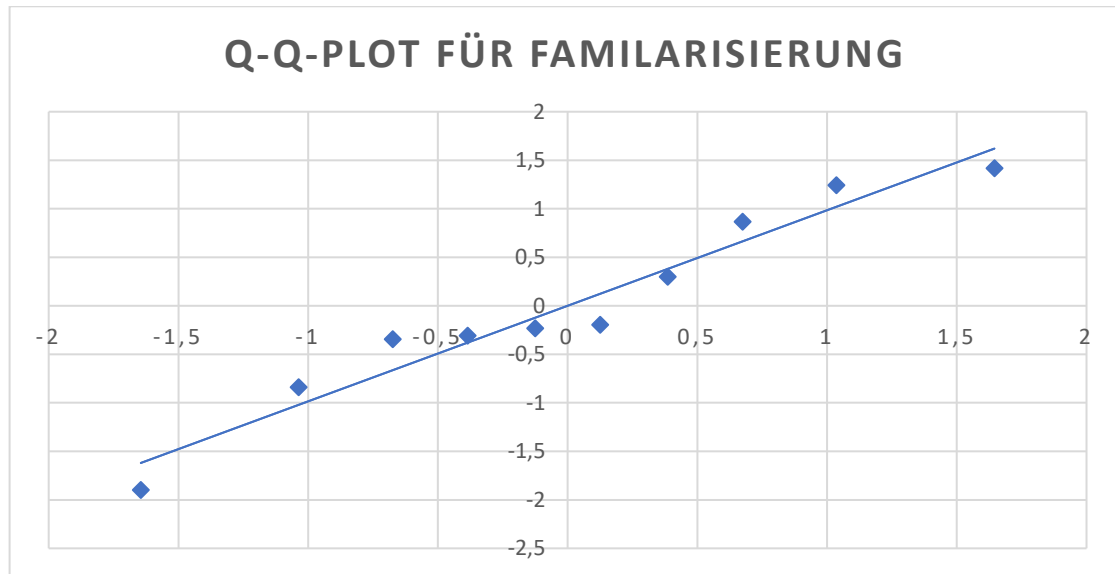


Abbildung 35. q-q Plot für die Familiarisierung. Quelle: Eigene Darstellung mithilfe von Excel.

Nach Feststellung einer Normalverteilung kam die die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung zum Einsatz, um mögliche Unterschiede zwischen den Tests festzustellen. Im Falle einer Verletzung der Annahme der Sphärizität ($P < 0.001$) kommt die Greenhouse-Geisser-Korrektur zur Anwendung. Das Bonferroni post-hoc Verfahren wurde angewendet, um signifikante Unterschiede der einfaktoriellen ANOVA zu analysieren. Um die Effektstärke der ANOVA darzustellen, fand das partielle Eta-Quadrat (η_p^2) Verwendung. Dabei gelten folgende Abgrenzungen: (kleiner Effekt: $\eta_p^2 = 0.01$; mittlerer Effekt: $\eta_p^2 = 0.10$; großer Effekt: $\eta_p^2 = 0.25$). Cohen's d wurde verwendet um die Effektstärke der post-hoc Tests zu beschreiben: (klein $d = 0.2$; mittel $d = 0.5$; groß $d = 0.8$) (Cohen, 1988). Der Intraklassenkorrelationskoeffizient (ICC) ist ein Maß der Beobachtungsübereinstimmung und daher ein Indikator für die Reliabilität. Der Variationskoeffizient (CoV) wird definiert als Standardabweichung dividiert durch das arithmetische Mittel und wurde verwendet, um die intraindividuelle Variation zu beschreiben. Sowohl der ICC

als auch der CoV wurden mittels einer Kalkulationstabelle berechnet (Hopkins, 2011). Ein ICC Wert >0.9 zeigt eine *hohe* Reliabilität, Werte >0.8 zeigen eine *mittlere* Reliabilität, Werte >0.6 zeigen eine *fragwürdige* und Werte <0.6 zeigen eine *schlechte* Reliabilität. Die Bland-Altman-Methode mit 95% Übereinstimmungsgrenzen (LoA) bewertete die Übereinstimmung zwischen wiederholten Tests für CP und W'. Mittels der Bland-Altman-Analyse lässt sich die Übereinstimmung zwischen zwei Messwertreihen bewerten. Insbesondere gibt diese Methode Auskunft über Abweichungen und Unterschiede im Falle der vorliegenden Arbeit zwischen Familiarisierung, Test I und Test II. Der standard error of the estimate (SEE) wird als Standardfehler der Regression () beschrieben. Die Pearson Produkt-Moment-Korrelation bewertet die Stärke des Verhältnisses zwischen den wiederholten Tests. Der Korrelationskoeffizient stellt ein Maß für den linearen Zusammenhang zwischen mindestens zwei intervallskalierten Merkmalen dar. Die statistische Signifikanz wurde angenommen, wenn $P < 0.05$. Die Durchführung der statistischen Auswertungen folgte mit der Statistiksoftware IBM® SPSS® Statistic, Version 21.0.0.1774.

12 Ergebnisse

In Tabelle 3 werden die Ergebnisse der Überprüfung der Normalverteilung illustriert. Wenn hier ein Ergebnis signifikant wird (also unter ,05 liegt, wird die Annahme, dass die Variable normalverteilt ist verworfen.

Tabelle 3 Ergebnisse der Überprüfung der Normalverteilung mittels Shapiro-Wilk Test.

	Statistik	df	Signifikanz
CP1	,950	10	,664
CP2	,827	10	,031
CP3	,972	10	,912
W1	,971	10	,896
W2	,930	10	,446
W3	,941	10	,568
SE_CP1	,939	10	,544
SE_CP2	,878	10	,122
SE_CP3	,830	10	,034
SE_W1	,941	10	,566
SE_W2	,879	10	,128
SE_W3	,829	10	,032
Fam_Test1	,979	10	,960
Mean12	,926	10	,406
Mean23	,922	10	,375
Wmean_12	,933	10	,474
Wmean_23	,922	10	,373

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der CP und W' abgebildet, zudem sind die absoluten und relativen Standardfehler der Familiarisierung, Test I und Test II illustriert. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tests (Test I und Test II) bei der CP festgestellt, $P = 0.171$ und W' $P = 0.078$ festgestellt werden. Jedoch wurden signifikante Unterschiede für den absoluten SEE der CP ($P = 0.001$) und W' ($P = 0.001$) und den relativen SEE der CP ($P = 0.001$) und W' ($P = 0.014$) festgestellt. Durch das Bonferroni post-hoc Verfahren konnten für die absoluten SEE für CP und W' zwischen der Familiarisierung und Test I signifikante Unterschiede festgestellt werden ($P = 0.042$ und $d = 1.20$ Werte, gelten für beide Parameter) sowie zwischen

der Familiarisierung und Test II für CP und W' ($P = 0.008$ und $d = 1.74$ Werte, gelten für beide Parameter). Allerdings ergab das Bonferroni post-hoc Verfahren keine signifikanten Unterschiede für den absoluten SEE der CP ($P = 0.989$ und $d < 0.01$) sowie die absoluten SEE der W' ($P = 0.945$ und $d < 0.01$) zwischen Test I und Test II. Weiters zeigte das Bonferroni post-hoc-Verfahren signifikante Unterschiede für den relativen SEE zwischen Familiarisierung und Test I sowie Familiarisierung und Test II jedoch nur für die CP ($P = 0.043$, $d = 1.04$ und $P = 0.005$, $d = 1.85$) aber nicht für W' ($P = 0.185$, $d = 0.75$ und $P = 0.075$, $d = 0.96$). Beim relativen SEE der CP ($P = 0.850$ und $d = 0.12$) und dem relativen SEE der W ($P = 0.841$ und $d = 0.12$) zwischen Test I und Test II zeigen sich wiederum keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 4).

Tabelle 4 Ergebnisse der CP und W' und der jeweilige SEE.

	Familiarisierung	Test I	Test II
CP (W)	294 ± 26	302 ± 28	304 ± 29
W' (J)	17316 ± 6340	14972 ± 3052	14710 ± 3368
SEE CP (W)	7.2 ± 3.4	3.8 ± 3.2*	3.1 ± 3.0*
SEE W' (J)	2012 ± 963	1060 ± 896*	868 ± 825*
SEE CP (%)	2.4 ± 1.1	1.3 ± 1.1*	1.0 ± 1.0*
SEE W' (%)	12.6 ± 7.4	7.3 ± 6.5	6.0 ± 6.0

CP = Critical Power, W' = maximale Leistung über der CP, SEE= Standardfehler. * = signifikanter Unterschied ($P < 0.005$) zur Familiarisierung.

Tabelle 5 ICC (95%CL), CoV (95%CL), Durchschnittliche mittlere Differenz und 95% LoA für W' und CP.

	W' (J)	CP (W)
ICC Familiarization vs. Test I	0.58 (-0.03 bis 0.88)	0.86 (0.53 bis 0.96)
ICC Test I vs. Test II	0.95 (0.80 bis 0.99)	0.94 (0.78 bis 0.98)
CoV (%) Familiarization vs. Test I	25.3 (16.8 bis 50.9)	4.1 (2.8 bis 7.7)
CoV (%) Test I vs. Test II	8.2 (5.6 bis 15.5)	2.6 (1.8 bis 4.8)
Bias Familiarization±Test I	2742	-8
95% LoA	-6899 bis 12384	-40 bis 24
Bias Test I±Test II	-135	-2
95% LoA	-2635 bis 2366	-24 bis 21

In Tabelle 5 ist der ICC, welcher als Indikator für die Reliabilität bezeichnet werden kann, zwischen Familiarisierung und Test I sowie der ICC zwischen Test I und Test II dargestellt. Zudem sind der CoV zwischen Familiarisierung und Test I sowie Test I und Test II illustriert, dieser stellte ein Maß für den linearen Zusammenhang der abgebildeten Werte dar.

Wie Tabelle 5 zeigt, lag der ICC zwischen der Familiarisierung und Test I bei $r = 0.86$ für die CP und $r = 0.58$ für W' sowie $r = 0.94$ für CP und $r = 0.95$ für W' . Zwischen Test I und Test II lag der ICC für die CP bei $r = 0.94$ und für W' $r = 0.95$. Somit kann der ICC für die CP zwischen der Familiarisierung und Test I als eine mittlere Reliabilität und der ICC für die CP zwischen Test I und Test II als hohe Reliabilität interpretiert werden.

Deutlich gesunken ist der CoV von 4.1% auf 2.6% und von 25.3% auf 8.2% für CP und W' nach der Familiarisierung. Trotz der nicht signifikanten Unterschiede zwischen Familiarisierung, Test I und Test II für CP und W' verbesserte sich der CoV und ICC nach der Familiarisierung deutlich.

Abbildung 36 und Abbildung 37 bzw. Abbildung 38 und Abbildung 39 illustrieren die Korrelation der CP und W' zwischen Test I und Test II. Die durchschnittliche mittlere Differenz der CP und W' tendiert zu null nach der Familiarisierung.

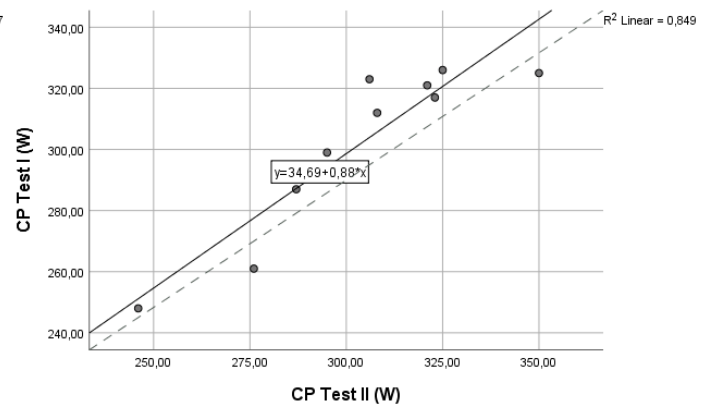
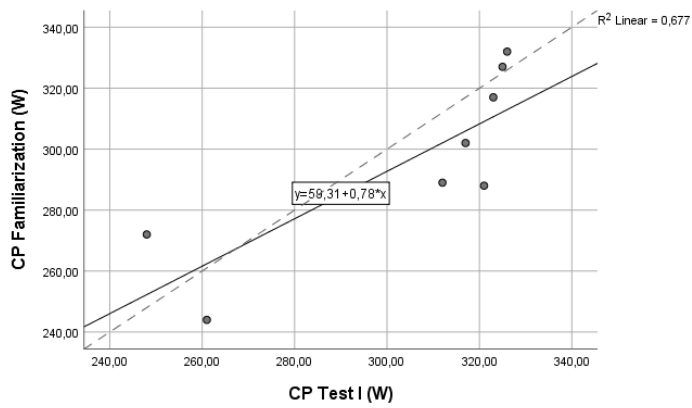


Abbildung 36 Zusammenhang der CP zwischen Familiarisierung (y-Achse) und Test I (x-Achse) linke Abbildung und Test I (y-Achse) und Test II (x-Achse), rechte Abbildung, unter Hinzunahme der Regressionsgeraden.

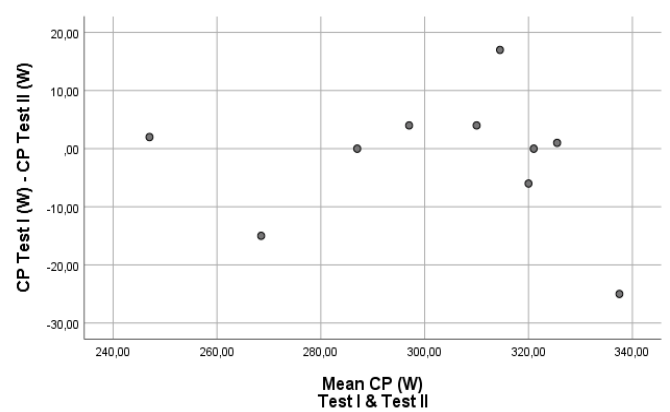
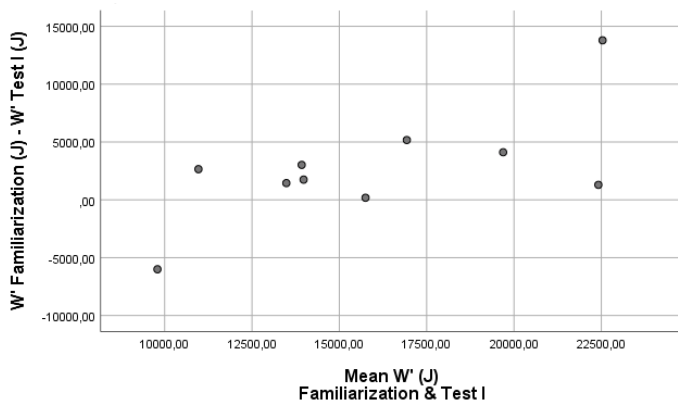


Abbildung 37 Bland-Altman plots der Unterschiede zwischen den Testwiederholungen der CP.

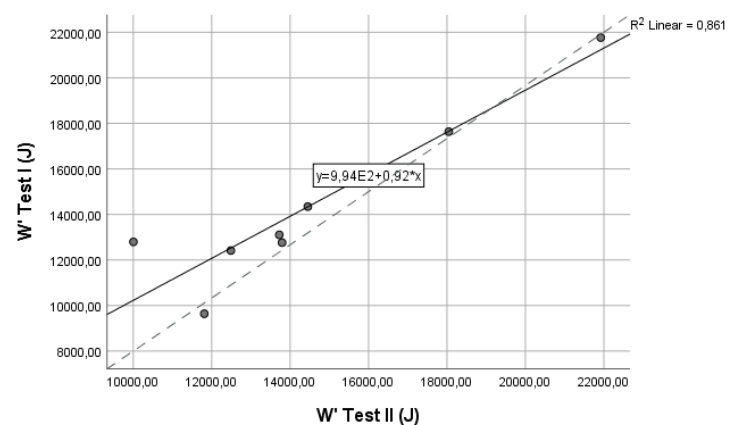
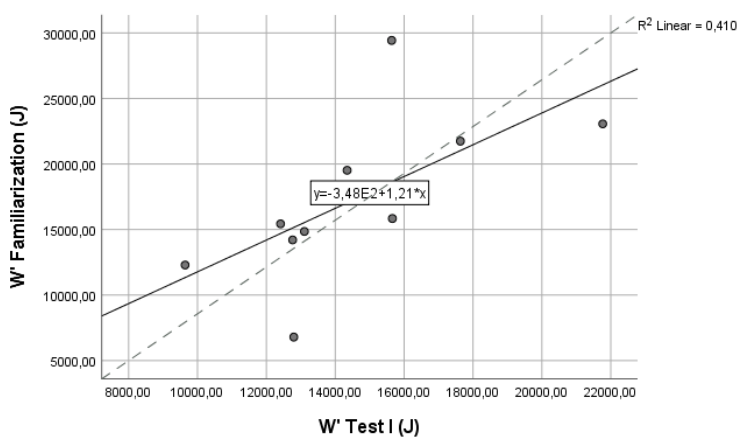


Abbildung 38 Zusammenhang der W' zwischen Familiarisierung (y-Achse) und Test I (x-Achse) linke Abbildung und Test I (y-Achse) und Test II (x-Achse), rechte Abbildung, unter Hinzunahme der Regressionsgeraden.

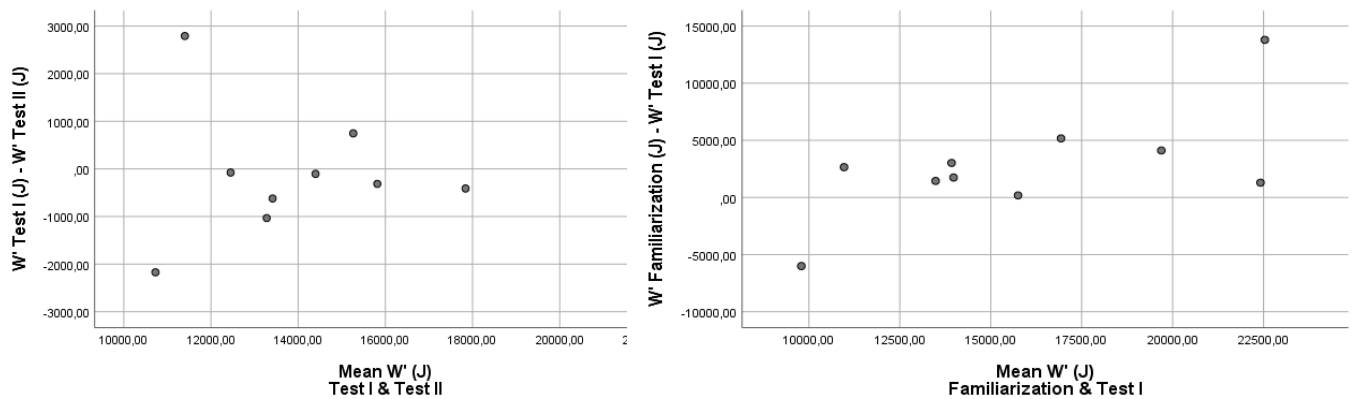


Abbildung 39 Bland-Altman plots der Unterschiede zwischen den Testwiederholungen der CP.

In Tabelle 6 sind Mittelwerte sowie die Differenz zwischen LT und der CP (Test II) dargestellt. Der Mittelwert der Differenz zwischen der LT und der CP beträgt 35 W bzw. 13.5%.

Der Typical Error beträgt 12,7 W und 0,45 standardisiert, was als *moderat* bezeichnet werden kann (Hopkins 2011). Der CoV beträgt 4,2%. Hier liegt die Grenze bei 5% (Hopkins 2011). Die LTP unterschätzt die CP bei allen Probanden.

Tabelle 6 Vergleich CP vs. LTP

	CP (W)	LTP (W)	Diff. (W)	Diff. %
	246	211	35	16,4
	295	239	56	23,4
	308	260	48	18,5
	276	230	46	20,0
	323	284	39	13,7
	321	288	33	11,5
	306	287	19	6,6
	350	310	40	12,9
	287	261	26	10,0
	325	317	8	2,5
Mittelwert	304	269	35	13,5

CP = kritische Leistung.; LTP = laktat turning point,

13 Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass der CP Test für die CP und W' zuverlässige und reliable Daten liefert. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass diese Aussage auf erfahrene und gut ausdauertrainierte Athleten trifft und eine Familiarisierung notwendig ist.

Zu erwähnen ist auch, dass die vorliegende Studie die erste ist, welche eine hohe Reliabilität für W' aufzeigt (ICC $r = 0.94$). Trotz der Erfahrung der Probanden im Zeitfahren, waren die Werte CP nach der Familiarisierung höher ($\sim 3.5\%$) und für W' niedriger ($\sim 13\%$). Dies weist auf einen deutlichen Lerneffekt zwischen Familiarisierung und Test I hin.

Der ICC für die CP zwischen Familiarisierung und Test I sowie Test I und Test II kann als moderat (Familiarisierung – Test I) und als hoch reliabel (Test I und Test II) bezeichnet werden. Nach der Familiarisierung sank der CoV deutlich (4.1 vs. 2.6%), dennoch sind beide Werte im anerkannten Bereich von $<10\%$ für W' (Atkinson 1988) und $<5\%$ für CP (Hopkins 2011). Die Werte für CP ($r = 0.99$) und W' ($r = 0.97$) korrelierten signifikant. Die Werte der CP der vorliegenden Studie sind konsistent mit vergleichbaren anderen Studien. Das Ergebnis von Simpson und Kordi (2016) zeigte keine Unterschiede in der CP und W' zwischen zwei bzw. drei Trials im Labor (CP 283 ± 66 W vs. 282 ± 65 W, $P = 0.990$) W' (18.72 ± 6.21 kJ vs. 18.27 ± 6.29 kJ, $P = 0.886$).

Karsten et al. (2015) überprüften die Reliabilität von verschiedenen Protokollen im Labor und im Feld und fanden in ihrer Studie ähnliche Ergebnisse wie bei der vorliegenden Studie (ICC $r = 0.99$ und CoV = 2.2%). Karsten et al. (2015) erwähnen in ihrer Arbeit die verschiedenen Umwelteinflüsse (Wetter, Temperatur, Wind), welche eine mögliche Ursache für das Ergebnis der W' haben könnte. Um solchen Umwelteinflüssen entgegen zu wirken, sah das Studiendesign der vorliegenden Arbeit standardisierte Laborbedingungen vor.

Die Tatsache, dass die Temperatur im Labor zwischen 22°C und 23°C und die Luftfeuchtigkeit etwa 45% bis 55% betrug und die einzelnen Tests so angesetzt wurden, dass sie in etwa zur selben Uhrzeit (± 2 h) stattfanden, kann ein Mitgrund für das vorliegende Ergebnis sein. Die Probanden wurden angehalten, jeweils am Tag vor der Testung kein anstrengendes Training zu absolvieren und genügend Flüssigkeit zu sich zu nehmen wodurch standardisierte Bedingungen geschaffen wurden. Um im Vorfeld mögliche Abweichungen durch Sitzposition oder ungewohnte Bewegungsabläufe zu minimieren, wurden alle Tests auf dem eigenen Rad der Probanden durchgeführt. Um mögliche Trainingsadaptation auszuscheiden

und den Test so ökologisch wie möglich zu gestalten, wurde versucht, die vier Tests innerhalb von drei Wochen durchzuführen.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Sitzposition auf dem Fahrrad. Jobson et al. (2008) zeigten in ihrer Studie, dass der PO im Labor in Aeroposition signifikant niedriger ($P = 0.013$) war als in aufrechter Position. Diese Tatsache gilt es sowohl im Training als auch in Tests zu berücksichtigen. Die Probanden in der vorliegenden Studie wurden angehalten, die Position während der gesamten Testdauer nicht zu verändern, um mögliche Diskrepanzen auszuschließen. Dieses Ergebnis lässt die Frage aufkommen, ob der CP für Triathleten in Aeroposition oder in aufrechter Position gefahren werden soll.

Trotz des homogenen und erfahrenen Probandenkollektivs gab es bei der absoluten und relativen SEE zwischen Familiarisierung und Test I signifikante Unterschiede ($P = 0.001$). Im Vergleich dazu gab es zwischen dem absoluten und dem relativen SEE zwischen Test I und Test II keine signifikanten Unterschiede ($P = 0.989$ und $P = 0.945$). Der Lerneffekt zeigt die Notwendigkeit des Familiarisierung Trials. Die höhere Reliabilität der vorliegenden Studie verglichen mit anderen Studien kann möglicherweise damit erklärt werden, dass standardisierte Laborbedingungen vorherrschten. Die Probanden fanden konstante Temperaturen und eine konstante Luftfeuchtigkeit für alle Testungen vor sowie ein konstantes Terrain und eine unveränderte Sitzposition.

Triska et al. (2018) zeigen in ihrer Studie, dass die Auswahl des Testprotokolls einen Einfluss auf das Testergebnis hat. Die Autoren untersuchten zwei unterschiedliche TT Protokolle (12, 7, 3 min. vs. 10, 5, 2 min.). Die Autoren fanden einen signifikanten Unterschied in CS ($P = 0.026$) jedoch nicht für D' ($P = 0.123$) zudem stellten die Autoren eine signifikante Korrelation in CS fest ($r = 0.934$ und $P < 0.001$) jedoch nicht für D' ($r = 0.053$ und $P = 0.884$). Den Unterschied zwischen dem „Iso-Work“ Ansatz im Labor und TT im Feldtest untersuchten Triska et al., (2017). Für CS und D' konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den TTEs im Labor und den TTs im Feld festgestellt werden (221 ± 7 m vs. 225 ± 72 m, $P = 0.73$ und 3.75 ± 0.36 m·s⁻¹ vs. 3.77 ± 0.35 m·s⁻¹, $P = 0.68$). Zudem stellten die Autoren eine signifikante Korrelation zwischen dem Iso-Work Ansatz im Labor und dem Feldtest fest ($r = 0.86$ und 0.94).

Obwohl die physiologische Definition der CP und LTP gewisse Ähnlichkeiten aufweist, ist das Ergebnis doch divergierend. Wie die vorliegende Studie zeigt, ist die Annahme, dass die CP nicht mit der LTP verglichen werden kann, bestätigt worden. Die LTP unterschätzt die CP bei

allen Probanden. Der Mittelwert der Differenz zwischen der LT und der CP beträgt 35 W das entspricht 13.5%. Dieses Ergebnis spiegelt auch den aktuellen Forschungsstand wider und unterstreicht, dass die CP nicht mit einer Schwelle aus der Laktatleistungsdiagnostik verglichen werden kann. McLellan und Cheung (1992) kamen in ihrer Studie, in welcher sie die LT und CP verglichen haben ebenso auf eine niedrigere LT im Vergleich zur CP (265 ± 39 W CP vs. 235 ± 44 W LTP). Dieses Resultat bestätigt die Ergebnisse der vorliegenden Studie. Ebenso berichten Dekerle et al. (2003) in ihrer Studie von einer höheren CP im Vergleich zur LT.

Die Untersuchungen zeigten, dass weder die CP noch die LTP Bereiche sind, welche für eine längere Zeit absolviert werden kann ohne einen Anstieg der Laktatwerte herbeizuführen. Ein Anstieg der Laktatkonzentration würde über kurz oder lang zu einem Abbruch führen. (Dekerle et al. 2003). Bezugnehmend auf das theoretische Konzept einer Hyperbel wurde ursprünglich davon ausgegangen, dass die CP eine Leistung ist, die ohne Erschöpfung bis in die Unendlichkeit gefahren werden kann. Diese Annahme wurde mittlerweile von vielen Autoren u.a. (Housh et al. 1989; Jenkins und Quigley 1990; McLellan und Cheung 1992; Brickley et al. 2002) widerlegt. Dennoch stellt der CP Test eine einfache, günstige und wie das Ergebnis der vorliegenden Studie zeigt reliable Möglichkeit dar, einen aktuellen Leistungszustand festzustellen. Aufgrund der einfachen Durchführung kann der CP Test mehrmals in einem Trainingszyklus angewendet werden. Trotz der vielen Vorteile des CP Tests gegenüber invasiven Testverfahren wie zb. der Laktatdiagnostik oder der Spiroergometrie bleibt anzumerken, dass für Einsteiger bzw. Sportler/innen mit wenig Erfahrung eine Laktatdiagnostik durchaus sinnvoller ist da er CP eine gewisse Erfahrung und ein gewisses Maß an Körpergefühl voraussetzt. Zudem ersetzt der CP Test nicht ein Gesundheitscheck welcher beispielsweise mit einer Spiroergometrie und EKG Messung kombiniert werden könnte.

14 Conclusio

Wie die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, bieten TT mit 12, 7 und 3 min eine reliable und zuverlässige Möglichkeit um die CP und W' festzustellen. Auch wenn die Ergebnisse reliable sind ist zu beachten, dass eine Familiarisierung bzw. eine Gewöhnung an den Test und eine gewisse Erfahrung notwendig sind. Unter Berücksichtigung dieser Punkte, kann der CP Test mit TT Versuchen als valider, reliabler und ökologisch gültiger Test bezeichnet werden.

Abkürzungsverzeichnis

ANS	anerobe Schwelle
AS	aerobe Schwelle
AWC	Anaerobic work capacity
BMI	Bodymass Index
CoV	Variationskoeffizient
CP	Critical Power
CS	Critical Speed
EKG	Elektrokardiogramm
Fam	Familiarisierung
FTP	Functional Threshold Power
GXT	graded exercise test
HF	Herzfrequenz
HFmax	maximale Herzfrequenz
HR	Heart rate
IAS	individuelle anerobe Schwelle
ICC	Intraklassenkorrelationskoeffizient
LA	Laktat
LT	lactate threshold
LTP	lactat turning point
MAP	maximal aerobic Power
MLSS	Maximal laktat steady state
MW	Mittelwert
P	Power
PO	Power Output
PPO	Peak Power Output
PWC	Physical Work Capacity
RCP	respiratory compensation point
SD	Standardabweichung
t	Time
TT	Time Trial
VE	Ventilation
VT	ventilatory threshold

$v\dot{V}O_2$	max Geschwindigkeit an der maximalen Sauerstoffaufnahme
W	Watt
$\dot{V}O_{2max}$	maximale Sauerstoffaufnahme

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1 Belastungsvarianten: links oben: maximaler oder submaximaler Einstufentest.
Rechts oben: maximaler oder submaximaler Zweistufentest zur Bestimmung der anaeroben Fähigkeiten. Unten: Mehrstufentest. Mehrere Belastungsstufen mit ansteigender Belastung.
(Pokan et al. 2004, S.34-35) _____ 8
- Abbildung 2 Beispielhafter Verlauf von Herzfrequenz und Laktatkonzentration bei einem gut trainierten Probanden (Halle et al., 2008, S. 130) _____ 11
- Abbildung 3 Darstellung verschiedener Schwellenkonzepte. Von Florian Jesse - Eigenes Werk, CC0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20368578>. (Onlinezugriff am 11.8.19 um 15:15 Uhr). _____ 13
- Abbildung 4 Übersicht über den Fitnesszustand bezogen auf das Alter und Geschlecht.
<https://blog.runningcoach.me/blog/2018/10/04/vo2max-die-maximale-sauerstoffaufnahme/>.
Onlinezugriff am 13.08.19 um 21:15 Uhr. _____ 14
- Abbildung 5. Wassermann 1. VE = Ventilation, Lac= Lactat. Wassermann 3 VO_2 = Sauerstoffaufnahme in Liter pro Minute unter Belastung, VCO_2 = Kohlendioxidabgabe in Liter pro Minute. Wassermann 6, EQO_2 = Atemäquivalent für Sauerstoff, $EQCO_2$ = Atemäquivalent für Kohlendioxid. <https://www.uni-marburg.de/fb20/unfallchir/lehre/wahl/sportmed/spiro>. Onlinezugriff am 12.05.2019 um 22:15. _____ 14
- Abbildung 6 Darstellung des Herzfrequenzknickpunktes (HF_d = Herzfrequenz beim Knickpunkt, V_d = Laufgeschwindigkeit beim Knickpunkt).
https://physiologie.medunigraz.at/fileadmin/institute-oes/physiologie/lehre/M23_Herz_Kreislauf_System.pdf (Onlinezugriff, 25.3.19, 20:55). ____ 15
- Abbildung 7 Die Werte zeigen einen Durchschnitt $\pm$ SD, FTP, functional threshold power, LT, lactate threshold, PPO, peak power output. (Valenzuela et al., 2018) RC = Freizeitsportler, TC = Trainierte Radfahrer. (Valenzuela et al., 2018). _____ 17
- Abbildung 8. Unterschied zwischen FTP und MLSS. X-Achse zeigt die Durchschnittsleistung in W. y-Achse zeigt die Differenz zwischen FTP-MLSS in Prozent. (Borszcz et al., 2018). ____ 18
- Abbildung 9 Hyperboles Verhältnis zwischen Leistung und Power. x-Achse stellt die Leistung in W dar, y-Achse stellt die Zeit in Sekunden dar. (Jones & Vanhatalo, 2017). _____ 19

Abbildung 10 Die hyperbole Beziehung zwischen Zeit und Geschwindigkeit Schwimmen und Laufen von Männern und Frauen (A.V. Hill, 1925, S.544).	20
Abbildung 11 Zusammenhang zwischen Zeit und Arbeit bestimmt durch drei vorgegeben Versuche mit unterschiedlicher Leistung (Monod & Scherrer, 1965, p. 331).	21
Abbildung 12 Werte des CS und D' (durchschn. $\pm$ SD) aus Protokoll I und II. CS = Critical Speed, D' = maximale Laufristanz über dem Critical Speed, SE = Standardfehler, LoA = Übereinstimmungsgrenzen. (Triska et al., 2018).	22
Abbildung 13: Zeitliche Verläufe bezogen auf die Erholung in Prozent. L' = Laktat, VO ₂ = Sauerstoff. (Ferguson et al., 2010, S. 870).	24
Abbildung 14 CS und D' Werte der Probanden während des Labor bzw. Feldtests. Field-30 = 30 min Pause zwischen den Läufen, Field-60 = 60 min Pause zwischen den Läufen. * = Signifikanter Unterschied zum Laufband, P<0.01. Galbraith, Passfield & Hopker (2014).	25
Abbildung 15 CP Vergleich zwischen Protokoll A (24h Pause) und Protokoll B (3h Pause) bzw. Vergleich zwischen A und C (30Min.) (Karsten et al., 2017).	26
Abbildung 16 Leistungsprofil einer 180s All Out Ergometerbelastung. PO stabilisiert sich nach 150s und der Mittelwert der letzten 30s ergibt CP (Vanhatalo et al., 2007, p. 550).	27
Abbildung 17 Durchschnittswerte für VO _{2peak} , Laktat, CP und W' der unterschiedlichen Protokolle. (Wright et al., 2017, S. 464.)	28
Abbildung 18 Geschwindigkeitsprofil während einem 3-Minütigem maximalen Lauf. Geschwindigkeit während den letzten 30 Sek. gleicht dem CS und die Distanz über dem CS gleich den ersten 150 Sek. (Pettitt, Jamnick, & Clark, 2012, p. 427).	29
Abbildung 19 Vergleich 3 Min. all out Test und klassische lineare Methode. (Batram et al., S.19 2016).	30
Abbildung 20 Ergebnisse 3 Min. all out Test vs. CP mit vorgegebener Leistung. (Wright et al., 2017).	30
Abbildung 21 3MT = 3 min. Test, D-T = Distanz-Zeit Modell, 1/ T = Geschwindigkeit-1/ Zeit Modell, SEE = Standardfehler. CS = Critical Speed, D' Distanz über dem Critical Speed. (Patrikova et al., 2018).	31
Abbildung 22 Unterschiede zwischen CP/CS und verschiedenen physiologischen Schwellen. (Triska, 2017 S. 38)	32

Abbildung 23. Schematische Darstellung des CP Konzepts. x-Achse stellt die Zeit (s) dar und die y-Achse stellt die Leistung (W) dar. (Dekerle et al., 2008).	34
Abbildung 24 7-Zonen-Modell von Coggan. https://steemit.com/cycling/@formynextjourney/does-ftp-matter . (Onlinezugriff am 30.7.19, 19:30.)	36
Abbildung 25 Darstellung der Trainingszonen unterteilt in Severe“, „Heavy“ und „Moderate“. GET= gas exchange threshold. (Poole et al., 2009): 94:197.	37
Abbildung 26 Darstellung der Trainingszonen in vier Bereiche mit den jeweiligen dominanten Energielieferanten. MLSS= maximales Laktat steady state. LT = Laktatschwelle, VT = ventilatorische Schwelle. (Karsten 2014, S.40.)	37
Abbildung 27. Vergleich der CP im Labor (links) vs. Feld (rechts). (Karsten et al., 2014).	39
Abbildung 28 CP Werte im Labor und im Feld. (Triska et al., 2015, S.3)	40
Abbildung 29 CS und D' der Probanden vom Laufband und Feldtest. Field-30: = 30 min. Pause zwischen den Tests. Field-60 = 60 min. Pause. (Galbraith et al., 2014).	41
Abbildung 30. Bland-Altman Plots. Links: Unterschiede zwischen Test 1 und Test 2, rechts: Unterschiede zwischen Test 2 und Test 3. Die Durchgehende Linie zeigt die mittlere Differenz, die gepunktete Linie 95% Übereinstimmungsgrenzen (LoA). Hopker et al, (2011).	44
Abbildung 31 Durchschnittswerte, Übereinstimmungsgrenzen (LoA) und SEE von CP (links) und W' (rechts). Karten et al. (2015).	44
Abbildung 32 Durchschnittswerte, Übereinstimmungsgrenzen (LoA) und SEE von CP (links) und W' (rechts). Karten et al. (2015).	44
Abbildung 34 Durchschnittsleistung für die 3 und 12 Min. TT sowie die CP aller 3 Familiarisierungstrials und Exp Session 1. * = signifikanter Unterschied zu Exp 1. Kordi et al. (2016)	45
Abbildung 35. q-q Plot für die Familiarisierung. Quelle: Eigene Darstellung mithilfe von Excel.	53
Abbildung 36 Zusammenhang der CP zwischen Familiarisierung (y-Achse) und Test I (x-Achse) linke Abbildung und Test I (y-Achse) und Test II (x-Achse), rechte Abbildung, unter Hinzunahme der Regressionsgeraden.	58

Abbildung 37 Bland-Altman plots der Unterschiede zwischen den Testwiederholungen der CP.	58
Abbildung 38 Zusammenhang der W' zwischen Familiarisierung (y-Achse) und Test I (x-Achse) linke Abbildung und Test I (y-Achse) und Test II (x-Achse), rechte Abbildung, unter Hinzunahme der Regressionsgeraden.	58
Abbildung 39 Bland-Altman plots der Unterschiede zwischen den Testwiederholungen der CP.	59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anthropometrische Daten aller Studienteilnehmer: BMI = Body Mass Index, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung. _____ **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Tabelle 2 Schematische Darstellung des Studiendesign. GTX = Stufentest. Test I = TT Versuch 1, Test II = TT Versuch Nr. 2. Quelle: Eigene Darstellung __ **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Tabelle 3 Ergebnisse der Überprüfung der Normalverteilung mittels Shapiro-Wilk Test. _____ **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

Tabelle 4 Ergebnisse der CP und W' und der jeweilige SEE. CP = Critical Power, W' = maximale Leistung über der CP, SEE= Standartfehler. * = signifikanter Unterschied (P<0.005) zur Familiarisierung. _____ 56

Tabelle 5 ICC (95%CL), CoV (95%CL), Durschnittl. mittlere Differenz und 95% LoA für W' und CP. _____ 56

Tabelle 6 Vergleich CP vs. LTP. SD= Standardabweichung. _____ 59

Literaturverzeichnis

- Allen H. & Coggan A. (2015). Wattmessung im Radsport und Triathlon. *Spomedis GmbH Hamburg*. 4. Auflage 2015.
- Atkinson G. & Nevill, A. M. (2007). Method agreement and measurement error in the physiology of exercise. In E. M. Winter, A. M. Jones, R. C. R. Davison, P. D. Bromley, & T. H. Mercer (Eds.), *Sport and Exercise Physiology Testing* (pp. 41-48). London: Routledge.
- Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217-238
- Bartels Sportservice. Zugriff am 25.3.19 unter: http://www.bartels.de/spowi/spiroergometrie_de.htm
- Bartram J., Thewlis D., Martin D. & Norton K. (2016). Predicting Critical Power in Elite Cyclists: Questioning Validity of the 3-min All-out Test. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1123/ijsp.2016-0376>
- Bishop D., Jenkins D.G. & MacKinnon L.T.: The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} and 1-h cycling performance in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30 (8) 1998: 1270-1275
- Black, M. I., Jones, A. M., Bailey, S. J., & Vanhatalo, A. (2015). Self-pacing increases critical power and improves performance during severe-intensity exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(7), 662-670. doi:10.1139/apnm-2014-0442
- Borszcz F., Tramontin A. & Coasta V. (2018). Is the functional threshold power interchangeable with the maximal lactate steady state in trained cyclists. *International Journal of Sports Physiology and Performance*., DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0572>
- Brickley, G., Dekerle, J., Hammond, A. J., Pringle, J., & Carter, H. (2007). Assessment of maximal aerobic power and critical power in a single 90-s isokinetic all-out cycling test. *International Journal of Sports Medicine*, 28(5), 414-419. doi:10.1055/s-2006-924513

- Broxterman, R. M., Ade, C. J., Poole, D. C., Harms, C. A., & Barstow, T. J. (2013). A single test for the determination of parameters of the speed-time relationship for running. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 185(2), 380-385. doi:10.1016/j.resp.2012.08.024
- Bull, A. J., Housh, T. J., Johnson, G. O., & Rana, S. R. (2008). Physiological responses at five estimates of critical velocity. *European Journal of Applied Physiology*, 102(6), 711-720. doi:10.1007/s00421-007-0649-7
- Burnley, M., Doust, J. H., & Jones, A. M. (2005). Effects of prior warm-up regime on severe-intensity cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(5), 838-845.
- Burnley, M., Doust, J. H., & Vanhatalo, A. (2006). A 3-min all-out test to determine peak oxygen uptake and the maximal steady state. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(11), 1995-2003. doi:10.1249/01.mss.0000232024.06114.a6
- Cheng B., Kuipers H., Snyder A.C., Keizer H.A., Jeukendrup A. & Hesselink M. (1992). A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *International Journal of Sports Medicine* 13 (7) 1992: 518-522
- Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd ed. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates; 1988. xxi, 567 p. p.
- Dekerle J., Vanhatalo A. & Burnley M. (2008). Determination of critical power from a single test. *Science & Sports*. 23 (2008) 231-238.
- Dekerle J., Vanvelcenaher J., Baron B. & Pelayo P. (2003). Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *European Journal of Applied Physiology*. 89: 281–288. DOI 10.1007/s00421-002-0786-y
- Dekerle, J., Brickley, G., Hammond, A. J., Pringle, J. S., & Carter, H. (2006). Validity of the two-parameter model in estimating the anaerobic work capacity. *European Journal of Applied Physiology*, 96(3), 257-264. doi:10.1007/s00421-005-0074-8^

- Dickhuth H.-H., Huonker M., Münzel T., Drexler H., Berg A. & Keul J. (1991). Individual anaerobic threshold for evaluation of competitive athletes and patients with left ventricular dysfunctions. In: Bachl., Graham T.E., Löllgen H. (Hrsg.): *Advances in ergometry*. Springer. Berlin, Heidelberg, New York 1991: 173-179
- Diekmann A. (2011). *Empirische Sozialforschung. Grundlagen, Methoden, Anwendungen*. (5. Auflage). Hamburg: Rowohlt Verlag GmbH.
- Ferguson, C., Rossiter, H. B., Whipp, B. J., Cathcart, A. J., Murgatroyd, S. R., & Ward, S. A. (2010). Effect of recovery duration from prior exhaustive exercise on the parameters of the power-duration relationship. *Journal of Applied Physiology*, 108(4), 866-874. doi:10.1152/jappphysiol.91425.2008
- Gaesser, G. A., & Wilson, L. A. (1988). Effects of continuous and interval training on the parameters of the power-endurance time relationship for high-intensity exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 9(6), 417-421. doi:10.1055/s-2007-1025043
- Galbraith, A., Hopker, J. G., Jobson, S. A., & Passfield, L. (2011). A novel field test to determine critical speed. *Journal of Sports Medicine & Doping Studies*, 01(01), 1-4.
- Galbraith, A., Hopker, J., Cardinale, M., Cunniffe, B., & Passfield, L. (2014). A 1-year study of endurance runners: training, laboratory tests, and field tests. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 1019-1025. doi:10.1123/ijsp.2013-0508
- Galbraith, A., Hopker, J., Lelliott, S., Diddams, L., & Passfield, L. (2014). A single-visit field test of critical speed. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 931-935. doi:10.1123/ijsp.2013-0507
- Hall M., Schmidt-Trucksäss A., Hambrecht R. & Berg A., (2008). *Sporttherapie in der Medizin*. Stuttgart: Schattauer GmbH.
- Hill, A. V. (1925). The Physiological Basis of Athletic Records. *Nature*, 116(2919), 544-548. doi:10.1038/116544a0
- Hinckson, E. A., & Hopkins, W. G. (2005). Reliability of time to exhaustion analyzed with critical-power and log-log modeling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(4), 696-701.

- Hopkins WG. A new view on statistics: Internet Society for Sport Science; 2000 [updated 17 August 2011]. Available from: <http://www.sportsci.org/resource/stats/>.
- Housh, T. J., Devries, H. A., Housh, D. J., Tichy, M. W., Smyth, K. D., & Tichy, A. M. (1991). The relationship between critical power and the onset of blood lactate accumulation. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 31(1), 31-36.
- Housh, T. J., Cramer, J. T., Bull, A. J., Johnson, G. O., & Housh, D. J. (2001). The effect of mathematical modeling on critical velocity. *European Journal of Applied Physiology*, 84(5), 469-475.
- Hunter Allen & Dr. Andrew Coggan (2015). Wattmessung im Radsport und Triathlon. Spomed GmbH. Hamburg
- Hughson, R., Orok, C., & Staudt, L. (1984). A High Velocity Treadmill Running Test to Assess Endurance Running Potential. *International Journal of Sports Medicine*, 05(01), 23–25. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025875>
- Jones, A. M., Wilkerson, D. P., DiMenna, F., Fulford, J., & Poole, D. C. (2008). Muscle metabolic responses to exercise above and below the "critical power" assessed using ³¹P-MRS. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 294(2), R585-593. doi:10.1152/ajpregu.00731.2007
- Karsten B, Baker J, Naclerio F, Klose A, Bianco A, Nimmerichter A. Time Trials versus Time to Exhaustion Tests: Effects on Critical Power, W' and Oxygen Uptake Kinetics. *Int J Sports Physiol Perform*.2017;1-22. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0761> PMID: 28530476.
- Karsten B, Jobson SA, Hopker J, Stevens L, Beedie C. Validity and reliability of critical power field testing. *Eur J Appl Physiol*. 2015; 115(1):197-204. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-3001-z> PMID: 25260244.
- Karsten, B., Baker, J., Naclerio, F., Klose, A., Bianco, A., & Nimmerichter, A. (2017). Time Trials versus Time to Exhaustion Tests: Effects on Critical Power, W' and Oxygen Uptake Kinetics. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1-22. doi:10.1123/ijsp.2016-0761

- Karsten, B., Hopker, J., Jobson, S. A., Baker, J., Petrigna, L., Klose, A., & Beedie, C. (2017). Comparison of inter-trial recovery times for the determination of critical power and W' in cycling. *Journal of Sports Sciences*, 35(14), 1420-1425. doi:10.1080/02640414.2016.1215500
- Karsten, B., Jobson, S. A., Hopker, J., Jimenez, A., & Beedie, C. (2014). High agreement between laboratory and field estimates of critical power in cycling. *International Journal of Sports Medicine*, 35(4), 298-303. doi:10.1055/s-0033-1349844
- Karsten, B., Jobson, S. A., Hopker, J., Passfield, L., & Beedie, C. (2014). The 3-min test does not provide a valid measure of critical power using the SRM isokinetic mode. *International Journal of Sports Medicine*, 35(4), 304-309. doi:10.1055/s-0033-1349093
- Kennelly, A. E. (1906). An approximate law of fatigue in the speeds of racing animals Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences (pp. 275-331): *American Academy of Arts and Sciences*.
- Kindermann W. & Coen B. (1998). Aerob-anaerobe Schwellenkonzeptionen zur Trainingssteuerung. In: Jeschke D., Lorenz R. (Hrsg.): Sportartspezifische Leistungsdiagnostik - Energetische Aspekte. Strauß. Köln. 37-48.
- Kranenburg, K. J., & Smith, D. J. (1996). Comparison of critical speed determined from track running and treadmill tests in elite runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(5), 614-618.
- Krodil R., Schwarz S. & Lehnigk B., (2007). Kursbuch Spiroergometrie, Technik und Befundung leicht gemacht. *Thieme Verlag, Stuttgart*).
- Mader A., Liesen H., Heck H., Philippi H., Rost R., Schürch P. & Hollmann W. (1976). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt und Sportmedizin* 27 (4) 1976: 80-88, 27 (5): 109-112
- Mc Lellan M. & Cheung K. (1992). A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and the critical power. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 24(5):543–550. PMID: [1569851](#)

- Medizinische Universität Graz, Zugriff am 25.3.19 unter: https://physiologie.medunigraz.at/fileadmin/instituteoes/physiologie/lehre/M23_Herz_Kreislauf_System.pdf
- Monod, H., & Scherrer, J. (1965). The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*, 8(3), 329-338.
- Moritani, T., Nagata, A., deVries, H. A., & Muro, M. (1981). Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics*, 24(5), 339-350. doi:10.1080/00140138108924856
- Nebelsick-Gullett, L. J., Housh, T. J., Johnson, G. O., & Bauge, S. M. (1988). A comparison between methods of measuring anaerobic work capacity. *Ergonomics*, 31(10), 1413-1419. doi:10.1080/00140138808966785
- Nöcker J. (1989). Die biologischen Grundlagen der Leistungssteigerung durch Training. *Hoffmann Verlag*.
- Nimmerichter, A., Steindl, M., & Williams, C. A. (2015). Reliability of the Single-Visit Field Test of Critical Speed in Trained and Untrained Adolescents. *Sports*, 3(4), 358-368. doi:10.3390/sports3040358
- Parker Simpson L, Kordi M. Comparison of Critical Power and W' Derived from Two or Three Maximal Tests. *Int J Sports Physiol Perform*. 12(6):1-24. DOI: 10.1123/ijsp.2016-0371
- Parker Simpson, L., Jones, A. M., Skiba, P. F., Vanhatalo, A., & Wilkerson, D. (2015). Influence of hypoxia on the power-duration relationship during high-intensity exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 36(2), 113-119. doi:10.1055/s-0034-1389943
- Pettitt, R. W., Jamnick, N., & Clark, I. E. (2012). 3-min all-out exercise test for running. *International Journal of Sports Medicine*, 33(6), 426-431. doi:10.1055/s-0031-1299749
- Piatrikoa E., Sousa A., Gonzalez J., & Williams S. (2018). Validity and Reliability of the 3-Minute All-Out Test in National and International Competitive Swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0018>

- Poole D. (2009). Resolving the determinants of high-intensity exercise performance. *The Physiological Society*. 94.2 pp 197-198. DOI: 10.1113/expphysiol.2008.045849
- Poole, D. C., Burnley, M., Vanhatalo, A., Rossiter, H. B., & Jones, A. M. (2016). Critical Power: An Important Fatigue Threshold in Exercise Physiology. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2320-2334. doi:10.1249/MSS.0000000000000939
- Pringle, J. S., & Jones, A. M. (2002). Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 88(3), 214-226. doi:10.1007/s00421-002-0703-4
- Schnabel G., Harre H. & Krug J.,(2008). Trainingslehre-Trainingswissenschaft, Leistung – Training – Wettkampf. (2. Aktualisierte Auflage). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Stegmann H., Kindermann W. & Schnabel A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine* 2 (3) 1981: 160-165.
- Stockhausen W., Grathwohl D., Bürklin C., Spranz P., Keul J. Stage duration and increase of work load in incremental testing on a cycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology*. 1997; 76(4): 295-301. DOI:10.1007/s004210050251
- Tokmakidis S.P., Léger L.A. & Piliandis T.C. (1998). Failure to obtain a unique threshold on the blood lactate concentration curve during exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 77 (4) 1998: 333-342
- Townsend, N. E., Nichols, D. S., Skiba, P. F., Racinais, S., & Periard, J. D. (2017). Prediction of Critical Power and W' in Hypoxia: Application to Work-Balance Modelling. *Frontiers in Physiology*, 8, 180. doi:10.3389/fphys.2017.00180
- Triska C., Karsten B., Beedie C., Koller-Zeisler B., Nimmerrichter A., & Tschan H. (2018). Different durations within the method of best practice affect the parameters of the speed–duration relationship. *European Journal of Sport Science*, 18:3,332-340, DOI: 10.1080/17461391.2017.1418025
- Triska, C., Karsten, B., Nimmerichter, A., & Tschan, H. (2017). Iso-duration Determination of D' and CS under Laboratory and Field Conditions. *International Journal of Sports Medicine*, 38(7), 527-533. doi:10.1055/s-0043-102943

- Triska, C., Tschan, H., Tazreiter, G., & Nimmerichter, A. (2015). Critical Power in Laboratory and Field Conditions Using Single-visit Maximal Effort Trials. *International Journal of Sports Medicine*, 36(13), 1063-1068. doi:10.1055/s-0035-1549958
- Tsai, M. C., & Thomas, S. G. (2017). Three-Minute All-Out Test in Swimming. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 27-35. doi:10.1123/ijsp.2015-0479
- Valenzuela P., Morales J., Foster C., Lucia A. & Villa P. (2018). Is the Functional Threshold Power (FTP) a Valid Surrogate of the Lactate Threshold? *International Journal of Sports Physiology and Performance*. DOI: <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0008>
- Vandewalle, H., Vautier, J. F., Kachouri, M., Lechevalier, J. M., & Monod, H. (1997). Work-exhaustion time relationships and the critical power concept. A critical review. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 37(2), 89-102.
- Vanhatalo, A., Doust, J. H., & Burnley, M. (2007). Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(3), 548-555. doi:10.1249/mss.0b013e31802dd3e6
- Wasserman K. & McIlroy M.B. (1964). Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *American Journal of Cardiology* 14:844-852.
- Wonisch M., Hofmann P., Förster H., Hörtnagel H., Ledl-Kurkowski E. & Pokan R., (2017) Kompendium der Sportmedizin, Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie. 2. Auflage. Springer Verlag Wien.
- Wright, J., Bruce-Low, S., & Jobson, S. A. (2017). The Reliability and Validity of the 3-min All-out Cycling Critical Power Test. *International Journal of Sports Medicine*, 38(6), 462-467. doi:10.1055/s-0043-102944

Anhang

Eigenständigkeitserklärung

„Hiermit gebe ich die Versicherung, Bernd Heidegger, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Publikationen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt.“

Teilnehmerinformation und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie
Reliability of Critical Power using time-trials under laboratory conditions (Reliabilität der Feststellung der kritischen Leistung unter Verwendung von Zeitfahren im Labor)

Sehr geehrter Teilnehmer,

wir laden Sie ein, an der oben genannten Studie teilzunehmen. Die Aufklärung darüber erfolgt in einem ausführlichen Gespräch.

Ihre Teilnahme an dieser Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit, ohne Angabe von Gründen, Ihre Bereitschaft zur Teilnahme ablehnen oder auch im Verlauf der Studie zurückziehen. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie hat keine nachteiligen Folgen für Sie.

Diese Art von Studien ist notwendig, um verlässliche neue *wissenschaftliche* Forschungsergebnisse zu gewinnen. Unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung von Studien ist jedoch, dass Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dieser Studie schriftlich erklären. Bitte lesen Sie den folgenden Text als Ergänzung zum Informationsgespräch sorgfältig durch und zögern Sie nicht, Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

- wenn Sie Art und Ablauf der Studie vollständig verstanden haben,
- wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen und
- wenn Sie sich über Ihre Rechte als Teilnehmer an dieser Studie im Klaren sind.

Was ist der Zweck der Studie?

Die kritische Leistung (Critical Power – CP) und die maximale Arbeit, die über der CP verwendet werden kann (W') sind wichtige Parameter für die Trainingsplanung, Leistungsvorhersage und auch die Leistungsdiagnostik. Um die CP und W' festzustellen, werden drei vollausbelastende Tests benötigt (sog. Predictive Trials). Da die CP und W' derzeit im Labor nur auf einem Ergometer festgestellt werden kann, soll nun ein wesentlich sportartspezifischerer Test entwickelt werden. Dazu fahren Sie auf einem Cycclus2 Ergometer mit Ihrem eigenen Fahrrad verschieden lange Zeitfahren. Dabei können Sie wie unter Feldbedingungen den Gang wechseln, die Trittfrequenz variieren und das Zeitfahren „pacen“ (z.B. schneller Start, Schlusssprint, ...). Dieser Test wird zweimal durchgeführt, um festzustellen ob derartige Tests im Labor auch verlässlich sind (d.h. bei Wiederholung zu gleichen Ergebnissen führen).

Wie läuft die Studie ab?

Insgesamt werden bei dieser Studie drei Tests durchgeführt. Alle Tests finden am Universitätssport Zentrum Wien, Auf der Schmelz 6, 1150 Wien statt.

Der erste Test ist ein Stufentest, bei dem alle drei Minuten der Widerstand erhöht wird. Diesen Reliability of Critical Power using time-trials under laboratory conditions

Test fahren Sie so lange, bis Sie nicht mehr in der Lage sind, den Widerstand zu bewältigen.

Der zweite und dritte Test finden wieder im Labor auf der Cycclus2 Ergometer statt. Bei diesen Tests wird die CP und W' festgestellt. Dazu fahren Sie wie im Wettkampf mit maximaler Anstrengung über 12 min, 7 min und 3 min. Die Pause zwischen den „Predictive Trials“ beträgt 1 Stunde.

An dieser Studie werden ca. 20 Probanden teilnehmen. Die Zeitdauer für den ersten Test beträgt etwa 1 Stunde und Test zwei und drei benötigen etwa 2.5 Stunden. Somit ist der Gesamtaufwand ca. 6 Stunden für diese Studie. Die Testungen sind dabei mindestens 48 Stunden voneinander entfernt.

Bei allen Tests wird Ihnen aus dem Ohrläppchen Blut abgenommen, um die Blutlaktatkonzentration zu bestimmen.

Sollten Sie kein eigenes Rennrad besitzen, so können Sie auch gerne das Rennrad der Abt. Trainingswissenschaft verwenden.

Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Studie?

Es ist nicht zu erwarten, dass Sie aus Ihrer Teilnahme an dieser Studie gesundheitlichen Nutzen ziehen werden. Die Teilnahme an der Studie sowie alle Testverfahren sind für Sie selbstverständlich ohne materielle Kosten verbunden. Sie erhalten die Auswertungen Ihrer eigenen Testergebnisse, sowie die Resultate und Rückschlüsse nach Abschluss des Projektes.

Gibt es Risiken bei der Durchführung der Studie und ist mit Beschwerden oder anderen Begleiterscheinungen zu rechnen?

Vor Beginn dieser Studie wird Ihr Gesundheitszustand mit einem Fragebogen erhoben. Es sind keine zusätzlichen Risiken zu erwarten, die nicht auch während Ihrer üblichen Sportausübung auftreten könnten. Die im Rahmen der Studie durchgeführten Belastungstests können als intensive sportliche Tätigkeit betrachtet werden, wie sie auch in Wettkampfsituationen auftreten. Die damit verbundene Erschöpfung kann einige Stunden andauern. Die Blutabnahmen können zu vorübergehenden Hämatomen („blauen Flecken“) führen, die sich jedoch

nach kurzer Zeit wieder zurückbilden. Die im Rahmen der Studie angewandten Untersuchungsmethoden werden in Österreich regelmäßig eingesetzt. Gesundheitliche Vorbelastungen müssen dem Testleiter mitgeteilt werden und dies kann zu einem Ausschluss aus der Studie führen.

Hat die Teilnahme an der Studie sonstige Auswirkungen auf die Lebensführung und welche Verpflichtungen ergeben sich daraus?

Am Tag vor der Untersuchung dürfen keine bzw. nur leichte körperliche Aktivitäten durchgeführt werden, um die Tests in ermüdungsfreiem Zustand absolvieren zu können. An den Testtagen sollten Sie 3 Stunden vor der Belastung eine leichte Mahlzeit zu sich nehmen. In den letzten 3 Stunden vor der Belastung dürfen Sie keine koffeinhaltigen oder Sportgetränke zu sich nehmen. In dieser Zeit, sowie während der Untersuchungen dürfen Sie ausschließlich Wasser trinken.

Was ist zu tun beim Auftreten von Beschwerdesymptomen, unerwünschten Begleiterscheinungen und/oder Verletzungen?

Sollten im Verlauf der Studie irgendwelche Symptome, Begleiterscheinungen oder Verletzungen auftreten, müssen Sie diese dem Studienleiter mitteilen, bei schwerwiegenden Begleiterscheinungen umgehend, ggf. telefonisch (Telefonnummern, etc. siehe unten). Reliability of Critical Power using time-trials under laboratory conditions

Wann wird die Studie vorzeitig beendet?

Sie können jederzeit auch ohne Angabe von Gründen Ihre Teilnahmebereitschaft widerrufen und aus der Studie ausscheiden, ohne, dass dadurch irgendwelche Nachteile für Sie entstehen.

Es ist aber auch möglich, dass der Studienleiter entscheidet, Ihre Teilnahme an der Studie vorzeitig zu beenden, ohne vorher Ihr Einverständnis einzuholen. Die Gründe hierfür können sein:

- (a) Sie können den Erfordernissen der Studie nicht entsprechen;
- (b) Der Studienleiter hat den Eindruck, dass eine weitere Teilnahme an der Studie nicht in Ihrem Interesse ist

In welcher Weise werden die im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten verwendet?

Es haben nur der Studienleiter und seine Mitarbeiter Zugang zu den vertraulichen Daten, in denen Sie namentlich genannt werden. Diese Personen unterliegen der Schweigepflicht. Die Verarbeitung der Daten erfolgt ausschließlich zu statistischen Zwecken und Sie werden ausnahmslos darin nicht namentlich genannt. Auch in etwaigen Veröffentlichungen der Daten dieser Studie werden Sie nicht namentlich genannt und es können keine Rückschlüsse auf die Teilnehmer gezogen werden. Ihre Daten werden pseudonymisiert (durch Zuweisung einer ID-Nummer, unter der die Daten gespeichert werden), sodass für all jene, die nicht den „Schlüssel“ haben, kein Rückschluss auf Ihre Person möglich ist. Die Löschung der persönlichen Daten kann beim Testleiter jederzeit schriftlich oder mündlich erfolgen.

Entstehen für die Teilnehmer Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?

Durch Ihre Teilnahme an dieser Studie entstehen für Sie keine materiellen Kosten.

Für Ihre Teilnahme an dieser Studie kann kein Kostenersatz gewährt werden.

Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser Studie stehen Ihnen der Studienleiter und seine Mitarbeiter gerne zur Verfügung. Auch Fragen, die Ihre Rechte als Teilnehmer an dieser Studie betreffen, werden Ihnen gerne beantwortet.

Namen der Kontaktperson: Name: Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Leiter/in E-Mail: harald.tschan@univie.ac.at

Tel.: +43 1 4277 48862

Versuchsleiter/in Name: Bernd Heidegger, Bakk. rer. nat.

E-Mail: bernd.heidegger@gmail.com

Tel.: +43 680 443 78 73

Weitere relevante Name: Univ.-Ass. Christoph Triska, BSc MSc

Personen E-Mail: christoph.triska@univie.ac.at

Tel.: +43 1 4277 48867

Studientitel: Reliability of Critical Power using time-trials under laboratory conditions

Geb. Datum _____ Gewicht (kg) _____

1a Waren Sie während der letzten 6 Monate in ärztlicher Behandlung? 1b Ist aufgrund dieser ärztlichen Behandlung eine Genesung erfolgt?

- | | |
|-----|----|
| 1 | 2 |
| 2 | 1 |
| 3 | 2 |
| 4 | 3 |
| 5 | 4 |
| 6 | 5 |
| 7 | 6 |
| 8 | 7 |
| 9 | 8 |
| 10 | 9 |
| 11 | 10 |
| 12 | 11 |
| 13 | 12 |
| 14 | 13 |
| 15 | 14 |
| 16 | 15 |
| 17 | 16 |
| 18 | 17 |
| 19 | 18 |
| 20 | 19 |
| 21 | 20 |
| 22 | 21 |
| 23 | 22 |
| 24 | 23 |
| 25 | 24 |
| 26 | 25 |
| 27 | 26 |
| 28 | 27 |
| 29 | 28 |
| 30 | 29 |
| 31 | 30 |
| 32 | 31 |
| 33 | 32 |
| 34 | 33 |
| 35 | 34 |
| 36 | 35 |
| 37 | 36 |
| 38 | 37 |
| 39 | 38 |
| 40 | 39 |
| 41 | 40 |
| 42 | 41 |
| 43 | 42 |
| 44 | 43 |
| 45 | 44 |
| 46 | 45 |
| 47 | 46 |
| 48 | 47 |
| 49 | 48 |
| 50 | 49 |
| 51 | 50 |
| 52 | 51 |
| 53 | 52 |
| 54 | 53 |
| 55 | 54 |
| 56 | 55 |
| 57 | 56 |
| 58 | 57 |
| 59 | 58 |
| 60 | 59 |
| 61 | 60 |
| 62 | 61 |
| 63 | 62 |
| 64 | 63 |
| 65 | 64 |
| 66 | 65 |
| 67 | 66 |
| 68 | 67 |
| 69 | 68 |
| 70 | 69 |
| 71 | 70 |
| 72 | 71 |
| 73 | 72 |
| 74 | 73 |
| 75 | 74 |
| 76 | 75 |
| 77 | 76 |
| 78 | 77 |
| 79 | 78 |
| 80 | 79 |
| 81 | 80 |
| 82 | 81 |
| 83 | 82 |
| 84 | 83 |
| 85 | 84 |
| 86 | 85 |
| 87 | 86 |
| 88 | 87 |
| 89 | 88 |
| 90 | 89 |
| 91 | 90 |
| 92 | 91 |
| 93 | 92 |
| 94 | 93 |
| 95 | 94 |
| 96 | 95 |
| 97 | 96 |
| 98 | 97 |
| 99 | 98 |
| 100 | 99 |

Kardiovaskuläre Risikofaktoren

1 für Ja oder 0 für Nein

- 16 Aktueller Blutdruck systolisch > 140 mm Hg oder diastolisch > 90 mm Hg, wenn systolisch > 160 mm Hg oder diastolisch > 100 mm Hg nicht testen! (wird vor Ort gemessen)
- 17 BMI >30 oder Taillenumfang >102 cm (Männer) oder >88 cm (Frauen) (wird vor Ort gemessen)
- 18 Hatte einer Ihrer Angehörigen (Vater, Mutter, Schwester und/oder Bruder) einen Herzinfarkt?
- 19 Rauchen Sie oder haben Sie innerhalb der letzten 6 Monate zu rauchen aufgehört?
- 20 Sind Sie an weniger als 3 Tagen pro Woche 30 Minuten körperlich aktiv?

Summe der kardiovaskulären Risikofaktoren (Fragen 16-20)

--

Ich habe die vorliegenden Fragen nach bestem Wissen beantwortet. Es ist mir klar, dass unrichtige Angaben ein Gesundheitsrisiko darstellen können. Ich wurde darüber informiert, dass im Rahmen dieser Untersuchungen mein Gesundheits- und Fitnessstatus erhoben wird. Ich wurde darüber informiert, dass die Belastungsuntersuchungen eine intensive körperliche Beanspruchung darstellen können. Während diesen Untersuchungen kann es zu Übelkeit, Ohnmacht oder muskulären Beschwerden kommen. Diese Risiken werden durch entsprechende Maßnahmen wie Auf- und Abwärmen sowie Anleitung in die Zielübung minimiert. Bei Auftreten von ungewöhnlichen Beschwerden werde ich den Testleiter umgehend darauf aufmerksam machen. Ich habe das Recht, jederzeit ohne Angabe von Gründen die Untersuchung zu beenden, ohne dass mir dadurch ein Nachteil entsteht. Alle im Rahmen dieser Untersuchungen erhobenen Daten werden ausschließlich in anonymer Form zu Studienzwecken verwendet und nicht an Dritte weitergegeben.

Interpretation des Risikofaktoren Gesamtscores (Fragen 16-20)

Als Personen mit **geringem Risiko** werden asymptotische Männer bis zum 45. Lebensjahr und Frauen bis zum 55. Lebensjahr eingestuft, deren **Gesamtscore nicht mehr als 1 beträgt**. Solche Personen können einem maximalen Belastungstest ausgesetzt werden und ein regelmäßiges und intensives Training durchführen.

Als Personen mit **moderatem Risiko** werden asymptotische Männer ab dem 45. Lebensjahr und Frauen ab dem 55. Lebensjahr eingestuft und - unabhängig vom Alter - solche Personen deren **Gesamtscore 2 oder mehr beträgt**. Solche Personen können einem sub- maximalen Belastungstest ausgesetzt werden und ein Training mit moderater Intensität durchführen. Vor

dem Beginn eines intensiven Trainings oder einer maximalen Belastung sollte eine medizinische Untersuchung erfolgen.

Als Personen mit **hohem Risiko** gelten solche, die Symptome von akuten oder chronischen Krankheiten aufweisen ("**Ja**" **Fragen 2-15**). Solche Personen sollten einen Arzt aufsuchen bevor sie einem Belastungstest ausgesetzt werden oder mit einem regelmäßigen Training beginnen

American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 8th ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2010.

Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin. S1 - Leitlinie Vorsorgeuntersuchung im Sport. DGSP, 2007.