

Aus der Medizinischen Universitätsklinik und Poliklinik
Tübingen
Abteilung V, Sportmedizin
(Schwerpunkt: Leistungsmedizin, spezielle Prävention,
spezielle Rehabilitation)

**Die sportspezifische Leistungsdiagnostik im
Mountainbike-Sport und ihre statistische Validierung**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät
der Eberhard Karls Universität
zu Tübingen**

vorgelegt von

Ahrend, Marc-Daniel Sebastian Martin

2017

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. A. M. Nieß

2. Berichterstatter: Professor Dr. S. Joos

3. Berichterstatter: Professor Dr. T. Meyer

Tag der Disputation: 17.10.2017

Vorwort

Das gesamte Forschungsvorhaben, das ich auf Grund meiner medizinischen Dissertation durchgeführt habe, gliedert sich in zwei aufeinanderfolgende Studien. Die erste Studie, welche explorativ verschiedene Laborparameter für den Mountainbike-Sport an einem kleinen Probandenkollektiv analysierte und die Grundlage der zweiten Studie darstellt, wurde wegen der besseren Übersichtlichkeit und wegen des vorgegebenen Rahmens der Dissertation in der Einleitung dieser Dissertationsschrift zusammenfassend beschrieben. Studie 2 des Forschungsvorhabens ist in dieser Dissertationsschrift detailliert in den Kapiteln 2 bis 5 dargestellt. Die Kapitel befassen sich mit der Methodik, den Ergebnissen, der Diskussion und der Zusammenfassung von Studie 2.

Weitere Ergebnisse sowie eine detaillierte Darstellung der Studie 1 werden nach Abschluss des Promotionsverfahrens in meiner Bachelorthesis zur Erlangung des Bachelor of Arts des Studiengangs Sportwissenschaft mit dem Profil Gesundheitsförderung beschrieben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Mountainbike-Sport und dessen Anforderungsprofil.....	1
1.2	Leistungsdiagnostik im Labor	6
1.3	Trainingssteuerung im Mountainbike-Sport	12
1.4	Ziel und Aufbau des Forschungsvorhabens	14
1.5	Studie 1 des Forschungsvorhabens: Definition einer mountainbike-spezifischen Testbatterie und deren explorative Validierung	17
1.6	Fragestellungen der Dissertation (Studie 2 des Forschungsvorhabens).....	27
2	Methodik	29
2.1	Probandenkollektiv	29
2.2	Studiendesign	33
2.3	Labordiagnostik	35
2.3.1	Sportmedizinische Eingangsuntersuchung	35
2.3.2	Leistungsdiagnostik	35
2.4	Validierungsrennen.....	38
2.5	Statistische Auswertung	39
3	Ergebnisse	42
3.1	Ergebnisse zur Fragestellung 1: Zusammenhänge zwischen Laborparametern und den einzelnen Validierungsrennen.....	42
3.2	Ergebnisse zur Fragestellung 2: Multiple Regression der Laborparameter zur Varianzanalyse der Rennzeiten	46
3.3	Ergebnisse zur Fragestellung 3: Geschlechtsspezifische Auswertung des 3. Validierungsrennens	50
3.4	Ergebnisse zur Fragestellung 4: Analyse des Laktatkonzentrationsverlaufs.....	53
4	Diskussion	57

4.1	Diskussion zur Fragestellung 1: Zusammenhänge zwischen Laborparametern und den einzelnen Validierungsrennen.....	57
4.2	Diskussion zur Fragestellung 2: Multiple Regression der Laborparameter zur Varianzanalyse der Rennzeiten	67
4.3	Diskussion zur Fragestellung 3: Geschlechtsspezifische Auswertung des 3. Validierungsrenns	72
4.4	Diskussion zur Fragestellung 4: Analyse des Laktatkonzentrationsverlaufs	75
4.5	Diskussion zur Methodik und zu Studienlimitationen.....	77
4.6	Die Dissertationsergebnisse im umfassenden Forschungsfeld	80
4.7	Anwendung der Dissertationsergebnisse in der Praxis	82
4.8	Schlussfolgerung	84
5	Zusammenfassung	86
6	Literaturverzeichnis.....	88
7	Erklärung zum Eigenanteil.....	100
8	Veröffentlichungen	101
	Danksagung.....	102
	Anhang.....	103
	Anhang 1: Studienflyer zu Probandenrekrutierung	103
	Anhang 2: Studienhomepage zur Probandenrekrutierung und Erfassung von Wettkampfergebnissen	104
	Anhang 3: Case Report Form der Studie 2.....	105
	Anhang 4: Studien-Zusammenfassung für Probanden mit praktischer Anwendung der leistungsdiagnostischen Resultate	127
	Anhang 5: Veröffentlichungen und Poster-Präsentationen	137

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stufentest auf dem Fahrradergometer mit 80/40/3-Protokoll: 80 Watt Einstiegsleistung, 40 Watt Steigerung alle 3 Minuten.....	6
Abbildung 2: Laktatleistungsdiagnostik im Stufentest zur Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle nach Dickhuth (30).....	8
Abbildung 3: Übersicht der Studien des Forschungsvorhabens inklusive Zielstellung sowie Veröffentlichungen und Vorträge	15
Abbildung 4: Testprotokoll des All-Out-Time-Trials (Reg. = Regeneration; angepasst aus Ahrend et al. (55)).....	20
Abbildung 5: Übersicht des Ablaufs der ersten Studie	22
Abbildung 6: Lineare Regressionsgeraden der Laborparameter aus dem Stufentest (angepasst aus Ahrend et al. (55))	23
Abbildung 7: Lineare Regressionsgeraden der Parameter aus dem All- Out-Time-Trial (angepasst aus Ahrend et al. (55))	23
Abbildung 8: Durchschnittliche Blutlaktatkonzentrationen (angepasst aus Ahrend et al. (53))	24
Abbildung 9: Interindividuelle Laktatkonzentrationen (angepasst aus Ahrend et al. (53))	24
Abbildung 10: Lineare Regressionen der Laktatveränderungen [mmol/l] in den Regenerationsphasen des All-Out-Time-Trials	25
Abbildung 11: Ablauf der Probandenrekrutierung	31
Abbildung 12: Studiendesign mit jeweiliger Probandenrekrutierung (LD = Leistungsdiagnostik)	33
Abbildung 13: Datenverwendung für die geschlechtsspezifische Auswertung der Daten der Studienteilnehmer, die an Rennen 3 teilgenommen haben.....	34
Abbildung 14: Übersicht der MTB-spezifischen Leistungsdiagnostik (= Laktatabnahme).....	36
Abbildung 15: Streckenprofile von Rennen 1, 2 und 3	38
Abbildung 16: Lineare Regressionsmodelle (r^2) der Laborparameter und Rennzeit 1, 2, 3 und über alle Rennen (z-Rennzeit)	44

Abbildung 17: Multiple Regressionsmodelle für Rennzeit 3 und z-Rennzeit.....	46
Abbildung 18: Residuen (in Minuten) des multiplen Regressionsmodells für Rennen 3.....	47
Abbildung 19: Residuen des multiplen Regressionsmodells aller Rennzeiten	48
Abbildung 20: Geschlechtsspezifische Darstellung der univariaten linearen Regressionsmodelle zwischen Labor und Rennen	50
Abbildung 21: Durchschnittlicher Laktatverlauf der Probanden während der Leistungsdiagnostik	53
Abbildung 22: Bisher durchgeführte und auf dem Forschungsvorhaben aufbauende Studien	81
Abbildung 23: Fahrerprofile zur Darstellung von individuellen Stärken und Schwächen.....	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Korrelationen der Laborparameter der Studie 1 des Forschungsvorhabens.....	23
Tabelle 2: Charakteristik des Probandenkollektivs (MW \pm SD).....	32
Tabelle 3: Erhobene Messgrößen	37
Tabelle 4: Charakteristika der Validierungsrennen	38
Tabelle 5: Laborparameter relativiert zum Körpergewicht aller Probanden und für jedes Rennen (MW \pm SD)	42
Tabelle 6: Korrelationen zwischen Laborparameter und Rennzeit 1, 2 und 3 (95% KI)	43
Tabelle 7: Ergebnisse der Regressionsmodelle von Rennen 3 und z- Rennzeit	47
Tabelle 8: Geschlechtsspezifische Auswertung der Laborparameter	50
Tabelle 9: Geschlechtsspezifische Korrelationen zwischen Labor und Rennzeit 3 (größte Korrelationen sind unterstrichen)	51
Tabelle 10: Absolute Laktatkonzentrationen während der Leistungsdiagnostik.....	54
Tabelle 11: Laktatkonzentrationsveränderungen vor und nach den Regenerationsphasen	55
Tabelle 12: Korrelationen zwischen Laktatveränderungen in den Regenerationsphasen und Rennzeit 3 bzw. z-Rennzeit	55
Tabelle 13: Übersicht und Vergleich der Korrelationskoeffizienten aerober Laborparameter relativiert zum Körpergewicht mit Rennergebnissen von bisher veröffentlichten Studien	58
Tabelle 14: Übersicht und Vergleich der Korrelationskoeffizienten alternativer Laborparameter relativiert zum Körpergewicht mit Rennergebnissen aus bisher veröffentlichten Studien.....	62

Abkürzungsverzeichnis

10-s Trial	10 Sekunden All-Out
1-min Trial	1 Minute All-Out
5-min Trial	5 Minuten All-Out
BDR	Bund Deutscher Radfahrer
IAS	Individuelle anaerobe Schwelle
KI	Konfidenzintervall
MTB	Mountainbike
MW	Mittelwert
OBLA	Onset of Blood Lactate Accumulation
PPO	Peak Power Output (Abbruchleistung im Stufentest)
RCP	Respiratorischer Kondensationspunkt
LT	Lactate Threshold
SD	Standardabweichung
Std. beta	Standardisierte Koeffizienten (beta)
SE	Standardfehler der Schätzung
VO ₂ max	Maximale Sauerstoffaufnahme
W	Watt
XCM	Moutainbike-Marathon
XCO	Cross-Country

1 Einleitung

1.1 Mountainbike-Sport und dessen Anforderungsprofil

Im Mountainbike-Sport (MTB) unterscheidet man vier Hauptdisziplinen. Diese sind Downhill, Four Cross, Mountainbike-Marathon (XCM) und die olympische Radsportdisziplin Cross-Country (XCO) (1). Vor allem XCO und XCM gewannen in den letzten Jahren sowohl im Leistungs- als auch im Freizeitsport an Popularität (2-4). Die XCO-Rennen werden auf einem Rundkurs im Gelände ausgetragen. Laut Reglement sollten Abschnitte auf Wald-, Feld-, Wiesen- und Schotterwegen gefahren werden (1). Eine typische Runde ist zwischen 6 und 9 km lang. Die Rundenanzahl wird vom Veranstalter für Rennen mit männlichen Teilnehmern so gewählt, dass der Gewinner ca. 120 bis 135 Minuten benötigt. Die Rennen für Athletinnen haben eine Dauer zwischen 105 und 120 Minuten. Auf der jeweiligen Strecke werden ungefähr 1500 Höhenmeter bewältigt (1, 5). Die Rennen der Disziplin XCM finden ebenfalls im Gelände statt und haben eine Streckendistanz von bis zu 120 km. Somit unterscheidet sich diese Disziplin von XCO durch eine längere Belastungsdauer und eine größere Zahl an Höhenmetern (6).

Trotz der großen Popularität der Sportart Mountainbike untersuchten bisher nur wenige Studien deren physiologisches Anforderungsprofil. Dieses ist jedoch für die Definition einer sportspezifischen Leistungsdiagnostik unabdingbar. Nachfolgend wird daher auf die Renncharakteristika, Intensität und konditionelle Eigenschaften sowie auf technische und taktische Aspekte der Sportart eingegangen.

Begonnen werden Rennen im XCO und XCM mit einem Massenstart. Die ständigen Wechsel zwischen flachen Passagen, Abfahrten und Anstiegen im Streckenprofil und auch die sich ändernden Geländebedingungen zwingen die

Fahrer¹ beider Disziplinen, wiederholt ihre Geschwindigkeit durch Abbremsen zu reduzieren und anschließend wieder zu beschleunigen (7). MTB-Rennen haben daher einen intervallartigen Charakter mit wiederkehrenden Belastungsspitzen und einer insgesamt hohen Intensität. Zusätzlich sind Überholmanöver in engen Streckenpassagen schwierig und müssen durch kurze Sprints absolviert werden (5, 8). Am häufigsten dauern Intervalle in XCO-Rennen zwischen 8 und 45 Sekunden, gemessen an der erbrachten Wattleistung. Den größten Anteil an der gesamten Rennzeit stellen Intervalle zwischen 2 und 5 Minuten (9). Durch die intervallartige Belastung ist die Beanspruchung für die Fahrer höher als bei kontinuierlicheren Belastungen, die z.B. eher im Straßenradsport auftreten. Auch ist sie im Gegensatz zum Intervalltraining unregelmäßig und unsystematisch (7). Je kürzer die Pausendauer bzw. je länger die Belastungsdauer ist, desto eher handelt es sich um eine gleichmäßige Belastung. Somit ist die jeweilige Belastung für die Fahrer abhängig von der jeweiligen Rennstrecke und das physiologische Anforderungsprofil kann hierdurch variieren (5, 8).

Charakteristische Merkmale des Anforderungsprofils sind die aerobe und anaerobe Energiebereitstellung, die isometrischen Muskelkontraktionen sowie technische und taktische Rennfertigkeiten. Auf entsprechende Kriterien wird in den nachfolgenden Abschnitten näher eingegangen.

In XCO-Rennen wird ein hoher Anteil an aerober Energiebereitstellung benötigt (5). Stapelfeldt et al. (8) zeigten eine starke Oszillation der gemessenen Wattleistung in XCO-Rennen. Neben Rennabschnitten in aeroben Bereichen kommen auch viele Rennabschnitte im hoch intensiven anaeroben Bereich vor (8-10). Im Besonderen sind bei Fahrten bergauf solche anaeroben konditionellen Fähigkeiten und das Gewicht von Fahrer und Rad leistungsbestimmend. Deswegen sollten Parameter, die die konditionellen

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten, falls nicht explizit erwähnt, gleichwohl für beiderlei Geschlechter.

Fähigkeiten beschreiben bzw. erfassen, das Körpergewicht der Athleten berücksichtigen, welches bei Spitzenathleten im Durchschnitt zwischen 65-69 kg beträgt (2, 5, 11-14). An steilen Anstiegen kurzer und mittlerer Länge, beim Massenstart und bei Überholmanövern sind die Fahrer immer wieder zu hochintensiven anaeroben Leistungsspitzen gezwungen (3, 7). Folglich kommt es neben der aeroben glykolytischen Energiebereitstellung bei solchen Belastungen oberhalb der individuellen anaeroben Schwelle zu einem exponentiellen Laktatanstieg und einer sehr hohen Herzfrequenz der Fahrer (7, 8, 10, 15). Die Energiebereitstellung in den intensiven Abschnitten erfolgt größtenteils anaerob-laktazid und –alaktazid. Dagegen kommt dem aeroben Stoffwechsel eher eine ausgleichende Rolle zu und zwar in der Form, dass in weniger intensiven Rennabschnitten Laktat verstoffwechselt wird und die Phosphatspeicher resynthetisiert werden (7). Insofern sind sowohl der aerobe als auch der anaerob-laktazide und –alaktazide Energiestoffwechsel für die Wettkampfleistung relevant (3, 5-7, 16). Im Vergleich zu XCO-Rennen ist die Belastungsintensität bei XCM-Rennen geringer. Dies kann durch die längere Belastungsdauer erklärt werden. Jedoch sind auch im XCM sowohl aerobe wie anaerobe Leistungen von Relevanz (6).

Durch Abfahrten und Bodenbeschaffenheiten sind die Athleten multiplen Stößen und Vibrationen ausgesetzt. Dies führt zu isometrischen Kontraktionen der Arm- und Rumpfmuskulatur, um das Mountainbike zu stabilisieren und z.B. Stürze zu vermeiden (10). Besonders bezüglich der auf das Körpergewicht relativierten Kraftparameter haben Mountainbiker im Vergleich zu anderen Radsportarten Spitzenwerte (15).

Durch die beschriebene Kombination von Abfahrten und Bodenbeschaffenheiten ist die Technik Grundvoraussetzung zur erfolgreichen Bewältigung einer Mountainbike-Strecke. Streckenpassagen, in denen die technischen Anforderungen sehr hoch sind, sind jedoch nur von kurzer Dauer und machen nur einen geringen Anteil am Rennen aus. Bezogen auf die Streckenlänge und die Renndauer überwiegen konditionelle Abschnitte. Jedoch

könnte der intervallartige Wechsel zwischen konditionellen Streckenabschnitten wie z.B. Anstiege und technischen Streckenabschnitten wie z.B. Abfahrten ergebnisbestimmend sein (7). Durch eine gute Technik kann die Fahrgeschwindigkeit bei Abfahrten höher gehalten werden (17). Der Fahrer muss seltener bremsen. Die höhere Fahrgeschwindigkeit kann verwendet werden, um einen folgenden Anstieg leichter zu überfahren (7). Eine gute Technik ist also auch für ansteigende Streckenabschnitte von Bedeutung. Abbiss et al. (18) zeigten, dass Frauen und schwächere Fahrer eines Rennens signifikant mehr Zeit während technisch anspruchsvollen Anstiegen benötigen. Die Autoren nehmen daher an, dass eine Verbesserung von technischen Fähigkeiten zu einer Verbesserung im Rennen führen könnte.

Unter taktischen Aspekten sollte ein Rennen mit möglichst gleichmäßiger Geschwindigkeit gefahren werden, da Geschwindigkeitsvariationen längere Fahrzeiten zur Folge haben (7, 19). Leistungen sollten laut Stapelfeldt (7) demnach bei Anstiegen erhöht und bei Abfahrten reduziert werden. Ein Wechsel der Geschwindigkeit sollte nach Möglichkeit vermieden werden (7). Speziell kurze und mittlere steile Anstiege trennen gute und schlechte Fahrer voneinander. Hingegen sind lange Anstiege mit geringer Steigung und flache Streckenpassagen für das Wettkampfergebnis nicht von großer Relevanz (7, 15). Weiterhin versuchen die Fahrer sich schon vor Rennbeginn mit einer guten Startposition eine gute Rennausgangslage zu verschaffen. Die vorderen Positionen haben den Vorteil, nicht durch langsam Vorausfahrende bei enger werdenden Strecken (z.B. im Wald) gebremst zu werden. Das Überholen ist auf dem engen Parcours schwierig. Der Rang, den ein Fahrer am Ende des Rennens erreicht, wird weitgehend schon zu Beginn des Rennens eingenommen (7). In vielen Rennen ist es daher den besseren Fahrern erlaubt, in den vorderen Reihen zu starten, um so Behinderungen zu vermeiden (10).

Die Fahrer sind nach dem Massenstart auf sich alleine gestellt und können lediglich in kleinen leistungsgleichen Fahrergruppen im Verlauf eines Rennens durch Tempowechsel eine bessere Platzierung erreichen. Die persönlichen

konditionellen und technischen Fähigkeiten haben eine größere Bedeutung auf das Rennergebnis als taktischen Faktoren. Teamtaktische Absprachen wie im Straßenradsport gibt es meist keine (7). Technische Probleme, welche durch das Fahren im Gelände gehäuft auftreten können, z.B. Kettenrisse, Reifendefekte, müssen die Fahrer selbstständig beheben. Solche Defekte führen zu Verzögerungen und können Rennergebnisse entscheidend beeinflussen (5).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das physiologische Anforderungsprofil der Mountainbike-Disziplinen XCO und XCM durch eine technisch anspruchsvolle, intensive intervallartige Belastung charakterisiert ist. Athleten müssen sowohl aerobe als auch anaerobe Leistungen erbringen sowie gute Maximalkraftwerte aufweisen.

1.2 Leistungsdiagnostik im Labor

Neben dem allgemein gesundheitlichen Nutzen einer Leistungsdiagnostik, d.h. der Feststellung bzw. Objektivierung von Funktionseinschränkungen Kranker und der Beurteilung der gesundheitlichen Befähigung zur sportlichen Betätigung, um möglichst präventiv Gesundheitsstörungen behandeln zu können (20, 21), ist eine Leistungsdiagnostik auch für Freizeit- und Leistungssportler von Bedeutung. Sie verfolgt das Ziel, die kardiopulmonale und metabolisch-muskuläre Leistungsfähigkeit objektiv zu erfassen. Mit Hilfe der Ergebnisse können Trainingsempfehlungen erstellt und die Therapie bzw. das Training dem Individuum angepasst gesteuert werden. Auch dient eine metabolische Leistungsdiagnostik der objektiven Leistungsprognose im Trainingsprozess oder im Wettkampf (20, 22). Um zuverlässige und präzise Ergebnisse auf die genannten Fragestellungen einer Leistungsdiagnostik zu erhalten, ist eine standardisierte Durchführung zwingend erforderlich und sollte nach einem bestimmten Belastungsschema durchgeführt werden. In der täglichen Routine der Sportmedizin wird häufig ein Stufentest durchgeführt (siehe Abbildung 1). Hierbei wird, ausgehend von einer Eingangsstufe, die Belastung nach einer gewissen Dauer stufenweise gesteigert, bis der Getestete durch die Belastungssteigerung Testabbruchkriterien erfüllt. Diese sind u.a. neben der subjektiven körperlichen Erschöpfung und Beschwerden wie Atemnot und Angina Pectoris auch elektrokardiographische Veränderungen, die simultan und kontinuierlich aufgezeichnet werden (20).

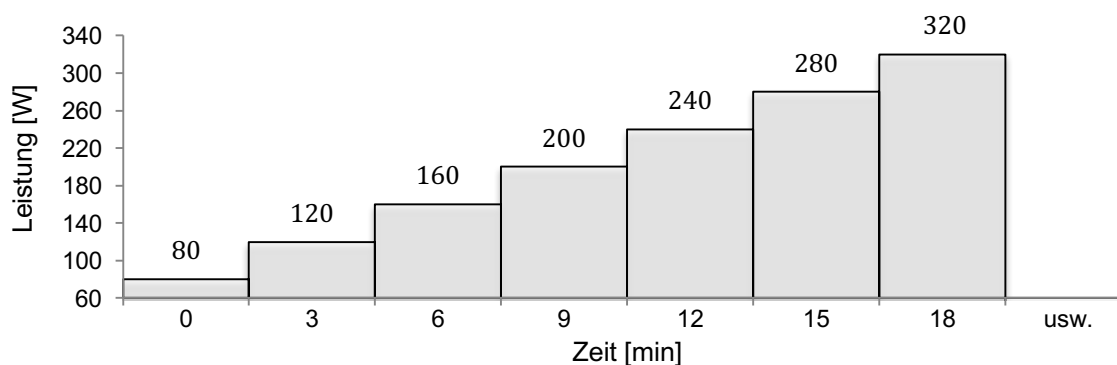


Abbildung 1: Stufentest auf dem Fahrradergometer mit 80/40/3-Protokoll: 80 Watt Einstiegsleistung, 40 Watt Steigerung alle 3 Minuten

In Kombination mit einem Stufentest kann eine Laktatleistungsdiagnostik durchgeführt werden. Das Verfahren der Laktatleistungsdiagnostik ist in der Sport- und Leistungsmedizin in Praxis und Wissenschaft von großer Bedeutung. Hierbei wird der Laktatspiegel im hyperämisierten Kapillarblut am Ende jeder Belastungsstufe erfasst. Die Laktatmessung im Verlauf einer solchen Leistungsdiagnostik erleichtert die Beurteilung von metabolischen Vorgängen (20), da das Laktat ein temporäres Produkt des anaeroben Stoffwechsels ist (20). Die Laktatkonzentration hängt von der Laktatbildung und von der Laktatelimination ab. Letztere findet sowohl im Herzmuskel als auch in der Leber und im nicht belasteten Skelettmuskel statt. Laktat wird bei anaeroben Prozessen, demnach bei höheren Belastungsintensitäten vermehrt produziert. In einem Stufentest steigt die Belastungsintensität kontinuierlich an, so dass auch die Laktatkonzentration zunimmt (23). In den letzten Stufen vor Belastungsabbruch steigt die Laktatkonzentration überproportional an (20).

In der zur weiteren leistungsdiagnostischen Analyse verwendeten Laktat-Leistungskurve (siehe Abbildung 2) lassen sich definierte Schwellen ableiten. Sie geben die Leistung an, bei welcher das Gleichgewicht zwischen Laktatelimination und Laktatproduktion gerade noch ausgeglichen ist. Bei zunehmender Leistung steigt die Laktatkonzentration im Blut an, da die Laktatproduktion überwiegt (23). Ihre Messung dient in Kombination mit der Erfassung der Herzfrequenz, welche meist über ein Belastungs-Elektrokardiogramm erfasst werden kann, zur Erfassung der Ausdauerleistungsfähigkeit, zur Ableitung von Trainingsempfehlungen und zur Kennzeichnung der individuellen Leistungsentwicklung (23, 24).

Man unterscheidet verschiedene Schwellenkonzepte. Auch die Methoden zur jeweiligen Schwellenbestimmung variieren. In der Literatur werden über 25 Schwellen beschrieben (25, 26). Gängige Methoden zur Schwellenbestimmung in bisherigen Studien zur Leistungsdiagnostik im MTB-Sport sind u.a. die „Onset of Blood Accumulation“ (OBLA) und die „individuelle anaerobe Schwelle“ (IAS). Als OBLA oder aerobe-anaerobe Schwelle bezeichnet man die

gefahrene Leistung bei einer gemessenen Laktatkonzentration von 4 mmol/l im Blut (27, 28). Diese Messmethode ist jedoch nicht mehr empfohlen, da die OBLA zur Differenzierung zwischen verschiedenen Leistungsniveaus der getesteten Athleten nicht geeignet ist (29) und die daraus abgeleiteten Trainingsempfehlungen vor allem für ausdauertrainierte Athleten fehlerhaft sind (25). Als zuverlässige Methode hat sich die IAS nach Dickhuth et al. (30, 31) gezeigt. Diese berechnet sich durch den Punkt, welcher als Lactate Threshold (LT) bezeichnet wird, an dem erstmalig die Laktatkonzentration im Blut ansteigt, und der Addition von 1,0 mmol/l bei einer Fahrradergometrie bzw. der Addition von 1,5 mmol/l bei einer Laufbandergometrie (32).

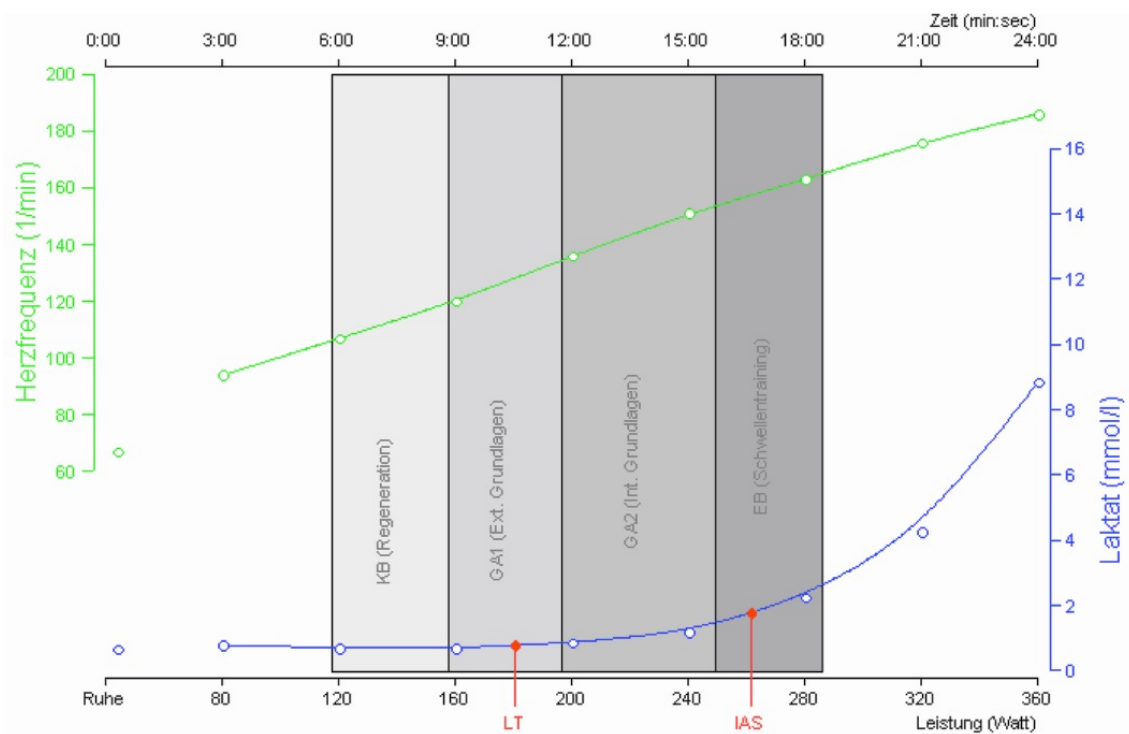


Abbildung 2: Laktatleistungsdiagnostik im Stufentest zur Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle nach Dickhuth (30)

Statt oder zusätzlich zu einer Laktatanalyse kann ein Stufentest mit einer Spiroergometrie kombiniert werden. Dieses diagnostische Messverfahren erfasst quantitative und qualitative Reaktionen sowie die kardiopulmonale und metabolische Interaktion während einer kontinuierlich ansteigenden Belastung. Hierbei tragen die Getesteten eine Atemmaske, über die der Sauerstoff- und

der Kohlenstoffdioxidgehalt der Atemluft und die Atemvolumina erfasst werden (33). Ein wichtiger und etablierter aerober Leistungsparameter ist die maximale Sauerstoffaufnahme ($VO_2\text{max}$) (34, 35). Der Leistungsparameter $VO_2\text{max}$ umfasst die Maxima sowohl der äußeren Atmung als auch der Sauerstoffaufnahme in der Lunge, den Sauerstofftransport im Blut mitsamt der Pumpleistung des Herzens und der Sauerstoffaufnahme bzw. Sauerstoffverarbeitungsfähigkeit in den Zielzellen. Die Größe der $VO_2\text{max}$ eines Athleten ist dabei u.a. determiniert durch die Ausdauerleistungsfähigkeit, durch den genetischen Einfluss, durch die Energiebereitstellung submaximaler Belastungsintensitäten sowie durch die Bewegungsökonomie (24, 35). Um valide Aussagen hierzu machen zu können, ist die Ausbelastung des Athleten in der Leistungsdiagnostik relevant (24). Die $VO_2\text{max}$ kann mit einem Rampenprotokoll, in dem die Belastung kontinuierlich bis zur Ausbelastung gesteigert wird, und auch mit einem Stufentest mit einer 7- bis 26-minütigen Dauer auf dem Fahrradergometer bestimmt werden (36). Sie gibt Auskunft über die aerobe Leistungsfähigkeit und das Leistungsprofil eines Athleten. Auch für die Talentsichtung und für Trainingsempfehlungen kann dieser Parameter herangezogen werden (24). Die Detektion von Leistungsänderungen der Athleten, beispielsweise durch ein gezieltes Training, ist jedoch besser durch die Bestimmung von Laktatschwellen als mit der $VO_2\text{max}$ zu erreichen (37).

Leistungsdiagnostiken für anaerobe Belastungsbereiche sind im Gegensatz zu Diagnostiken für aerobe Bereiche schwieriger in Durchführbarkeit und Interpretation. Ursache hierfür ist, dass die Substrate der anaeroben Stoffwechselprozesse in der Muskelzelle vorliegen und eine direkte Messung z.B. über Muskelbiopsien sehr aufwendig ist. Aussagen durch die Bestimmung von Zwischen- und Endprodukt im peripheren Blut, wie sie für die aerobe Leistungsdiagnostik Verwendung findet, sind auf Grund der komplexen Dynamik und Eliminationsprozesse nur bedingt möglich. Zudem ist eine Differenzierung zwischen dem aeroben und anaeroben Energiestoffwechsel wegen deren komplexer Interaktion nur durch eine Testbatterie möglich (38, 39). Ein häufig angewendeter anaerober Leistungstest ist der Wingate-Test.

Nach einer Aufwärmphase von 5 bis 10 Minuten wird der Wingate-Test klassischerweise bei konstanter Bremskraft von 0,75 N/kg Körpergewicht von den Athleten mit maximal möglicher Pedalgeschwindigkeit durchgeführt. Es muss versucht werden, die maximale Pedalgeschwindigkeit über 30 Sekunden aufrechtzuerhalten. Die Maximalleistung, die nach ca. 5 Sekunden erreicht wird, und die durchschnittliche Leistung über die Belastungsdauer von 30 Sekunden sind Indikatoren für die anaerobe Leistungsfähigkeit der unteren Extremität (40, 41). Untersuchungen zeigten jedoch, dass die erzielten Leistungen von verschiedenen Faktoren wie z.B. der definierten Bremskraft beeinflusst werden (38, 39).

Wegen der Komplexität der anaeroben Leistungserfassung sollte laut Heck und Schulz (39) eine Testbatterie zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit durchgeführt werden. Sie beinhaltet einen Maximaltest über 5 Sekunden zur Ermittlung der alaktaziden Leistungsfähigkeit, einen Maximaltest über 10 Sekunden zur Bestimmung der laktaziden Leistungsfähigkeit und ein Maximaltest über 40 bis 100 Sekunden zur Bestimmung der laktaziden Kapazität (38, 39). Heck und Schulz (39) definierten die Kapazität eines Energiestoffwechsels als die Summe der Arbeitsbeträge, die aus einer chemisch gespeicherten Energieform gewonnen werden können. Als Leistungsfähigkeit ist die Summe der maximalen Umsatzraten bezeichnet, also der Arbeitsbeträge der einzelnen energieliefernden Systeme pro Zeiteinheit.

Zur Wettkampfprognose und zur Ableitung von Trainingsempfehlungen sollte eine Leistungsdiagnostik möglichst umfangreich das Anforderungsprofil der jeweiligen Sportart abdecken (20, 42). Die herkömmliche Leistungsdiagnostik im MTB besteht aus einem Stufentest mit Laktatleistungsdiagnostik (43). Dieser Test wurde in bisherigen Studien (2-4, 11, 16, 44, 45) häufig zur Wettkampfprognose im MTB verwendet. In der täglichen Routine einer sportmedizinischen Ambulanz bei Mountainbike-Fahrern wird meist nur er allein angewandt. Dieses Testprotokoll kann jedoch das mountainbiketypische Anforderungsprofil nicht umfangreich genug abdecken (46). Daher werden

abhängig von Kaderstufe und Alter vom Bund Deutscher Radfahrer für Kaderathleten neben dem Stufentest mit Laktatleistungsdiagnostik weitere Tests empfohlen. Beim Motoriktest wird die maximale Trittfrequenz über 6 s mit geringer Ergometerbremsung gemessen. Als weitere Diagnostik kann fakultativ ein sog. „Anaerober Test“ durchgeführt werden. Dies ist ein Maximaltest über 75 s bei disziplintypischer Trittfrequenz. Eine isometrische Kraftdiagnostik der Beine und ein Zugkrafttest, bei dem der Fahrer über 10 s seine maximale Leistung erbringt, kann ergänzend angewendet werden (43). Diese zusätzlichen Tests werden jedoch nicht regelmäßig und routinemäßig durchgeführt. Sie sind mit einem großen zeitlichen Aufwand für das leistungsdiagnostische Labor sowie für den Athleten verbunden. Außerdem sind die Validität dieser Testbatterie sowie die Genauigkeit der Rennprognose durch die verschiedenen Tests nicht veröffentlicht.

1.3 Trainingssteuerung im Mountainbike-Sport

Wie in Kapitel 1.2 beschrieben, sollte eine Leistungsdiagnostik auch das Ziel verfolgen, Trainingsempfehlungen auf Grundlage der Ergebnisse an den Athleten und an den Trainer weiterzugeben (20, 22). Zur Planung des Trainings wurden relevante Trainingsmittel von Seiten der Radverbände in Deutschland zu Trainingsmittelkatalogen mit ihren jeweiligen Trainingsbereichen zusammengefasst (43). Grundsätzlich werden Trainingsbereiche auf der Basis von bekannten Schwellenkonzepten definiert, die mit oben beschriebenen Leistungsdiagnostiken erhoben wurden (47). Die Belastungsempfehlungen für das Training erfolgen in der Regel auf der Basis von Prozentangaben der ermittelten Herzfrequenz oder der Leistung in Watt an der LT und IAS (24). Die Herzfrequenz ist jedoch neben der Leistung, die der Körper erbringt, auch von anderen Faktoren, wie Ernährungszustand, Vorbelastungen und Tageszeit abhängig. Vor allem ist jedoch die Herzfrequenz in (sub-) maximalen Belastungsbereichen nicht zur Trainingssteuerung geeignet (7, 48). Sie stellt einen indirekten Steuerungsparameter dar.

Zur Steuerung hochintensiver Belastungen im Radsport sind Messgrößen wünschenswert, welche eine direkte Steuerung der Trainingsintensität ermöglichen. Derzeit stellt die Messung der Leistung in Watt beziehungsweise der im Rahmen einer Trainingseinheit geleisteten Arbeit in Joule (49) die präziseste Möglichkeit zur Intensitätssteuerung und zur Objektivierung von Anforderungen im Radsport dar (7, 48, 50, 51). Vor allem für hoch intensive Belastungsbereiche, welche, wie in Kapitel 1.1 beschrieben, im Mountainbike-Sport vermehrt auftreten, ist eine solche Wattmessung zur Trainingssteuerung und zur Leistungsevaluation nützlich (9, 24, 51, 52). Mit einem Wattmessgerät ist es möglich, das Training individueller zu gestalten, zu planen und zu regulieren. Mit der Erfassung der Leistungsdaten können Schwächen verbessert, Stärken ausgebaut und Trainingsfortschritte quantitativ erfasst werden (48). Auch eine bessere Zusammenarbeit mit Trainern im Mountainbike-Sport ist möglich, da detaillierte Informationen zur

Trainingsgestaltung vorliegen. Trainingsziele und Methoden können so genauer definiert werden und ein stärker zielgerichtetes Training wird möglich.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass durch eine umfangreiche Datenerhebung eine bessere Leistungsentwicklung möglich ist (48). Eine Leistungsdiagnostik im Mountainbike-Sport sollte daher auch hoch intensiven Belastungsbereiche abdecken, um zukünftig Trainingsempfehlungen für das wattgesteuerte Training abzuleiten.

1.4 Ziel und Aufbau des Forschungsvorhabens

Da sich nach der aufgezeigten Grundlage die Leistung mit Hilfe von Wattmessgeräten auch in submaximalen und maximalen Intensitätsbereichen messen und steuern lässt (48), drängt es sich als gewinnbringende Chance auf, diese Methoden dafür einzusetzen, die Leistungsfähigkeit der Athleten in diesen Bereichen zu prüfen. Für die Disziplinen XCO und XCM konnte gezeigt werden, dass die Belastungen oberhalb der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) der Athleten dominieren (6, 9), sodass neben aeroben Leistungsparametern auch anaerobe Belastungsgrößen wichtige Determinanten für die Rennleistung darstellen (10, 46). Wie beschrieben wird jedoch die Kapazität der Athleten in diesen hochintensiven Zonen durch den klassischen Laktatstufentest nur unzureichend erfasst (3, 9). Zwar konnten bisherige Studien zeigen, dass ein klassischer Laktatstufentest die Wettkampfleistung teilweise vorhersagen lässt, doch wird darauf hingewiesen, dass eine Leistungsdiagnostik dahingehend überarbeitet werden sollte, dass das MTB-charakteristische Anforderungsprofil möglichst in seinem ganzen Umfang abgedeckt wird, um die Wettkampfleistung besser zu prognostizieren (16, 46) und um Trainingsempfehlungen für hoch intensive Belastungsbereiche geben zu können (9).

Das Forschungsvorhaben verfolgte daher das Ziel, eine spezifischere Leistungsdiagnostik für den Mountainbike-Sport zu entwickeln. Diese sollte auch submaximale und maximale Leistungsbereiche abdecken, um im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren die sportartspezifischen Anforderungen des MTB-Sports besser abzubilden und zudem neue Möglichkeiten der wattbasierten Trainingssteuerung zu unterstützen.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden zwei Studien und eine Pilotstudie durchgeführt (siehe Abbildung 3).

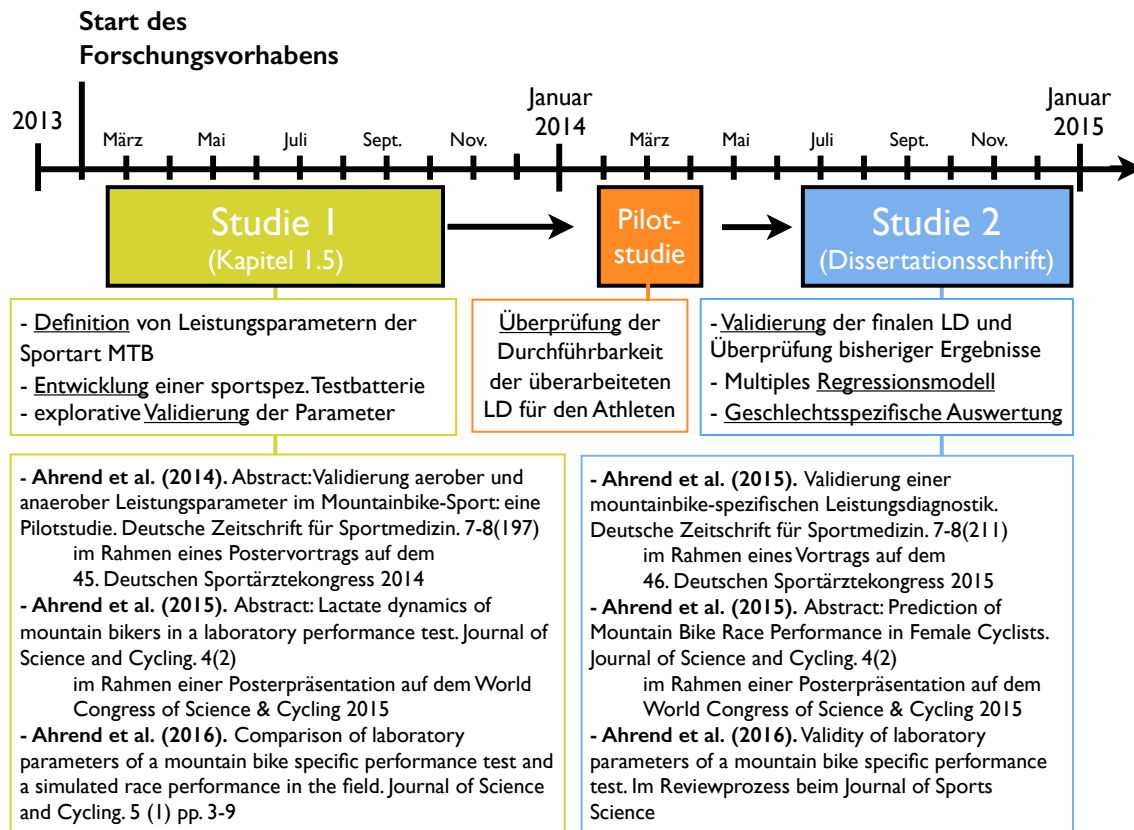


Abbildung 3: Übersicht der Studien des Forschungsvorhabens inklusive Zielstellung sowie Veröffentlichungen und Vorträge

In Studie 1 (53-55) des Forschungsvorhabens wurden mountainbike-spezifische leistungsdiagnostische Laborparameter auf Grundlage einer Literaturrecherche definiert. Es folgte daraus die Entwicklung einer komplexen Testbatterie mit Abdeckung der submaximalen und maximalen Leistungsbereiche der Sportart und die explorative Validierung der Testbatterie an Hand der Mountainbike Disziplin XCO.

Auf Grundlage dieser Studie (siehe Kapitel 1.5) sowie unter dem Aspekt der Praktikabilität im klinischen Alltag der Sportmedizin wurde die Testbatterie modifiziert. Die überarbeitete Leistungsdiagnostik wurde anschließend auf Durchführbarkeit aus Sicht der Athleten in einer Pilotstudie überprüft.

Die Ergebnisse der Studie 1 (53-55) sollten anschließend in Studie 2 (56, 57), welche in dieser Dissertationsschrift ausführlich dargestellt wird, an einem

größeren Probandenkollektiv sowie für mehrere Mountainbike-Marathon-Rennen, welche unterschiedliche Streckenprofile haben, validiert werden. Hierzu sollte die von Currell et al. (42) beschriebene Vorhersagevalidität als Unterform der Kriteriumsvalidität Anwendung finden. Neben der Berechnung von Korrelationen zwischen Laborparametern und Ergebnissen von verschiedenen XCM-Rennen mit unterschiedlichem Anforderungsprofil sollte erstmalig für die Sportart Mountainbike auch ein multiples Regressionsmodell erstellt werden. Neben diesen Hauptzielen wurde im Speziellen auf einen hohen Frauenanteil im Probandenkollektiv geachtet. In der Literatur sind sehr wenige physiologische Daten von Mountainbike-Fahrerinnen dargestellt (5). Bisher fand die geschlechtsspezifische Validität der Leistungsdiagnostik keine Berücksichtigung.

1.5 Studie 1 des Forschungsvorhabens: Definition einer mountainbike-spezifischen Testbatterie und deren explorative Validierung

Ziele der Studie 1

Aus Kapitel 1.1 wird deutlich, dass das Anforderungsprofil des MTB-Sports viele unterschiedliche leistungsphysiologische Aspekte beinhaltet. Um Aussagen zu Trainingsempfehlungen, Leistungsprogression und Leistungsniveau zu machen sowie Wettkampfprognosen abgeben zu können, sollte eine Leistungsdiagnostik sportspezifisch sein (20). Zielsetzungen der Studie 1 (53-55) waren leistungsrelevante Messgrößen sowohl in aeroben als auch in hoch intensiven Belastungsbereichen zu definieren und diese in einer speziell für die Sportart zusammengestellten Testbatterie zu erfassen. Anschließend wurden sie auf Relevanz für die Wettkampfleistung überprüft. Da lediglich 40% der Varianz der Leistung im MTB durch aerobe Belastungsgrößen bestimmt wird (2) und MTB-Athleten eine hohe Laktatkonzentration während eines MTB-Rennens aufweisen (46), sollten zudem Laktatkonzentrationsverläufe während intervallartigen Belastungen untersucht werden. Es ist denkbar, dass die Laktattoleranz und der Laktatabbau in Regenerationsphasen mit der Leistung im Mountainbike-Sport zusammenhängen.

Definition der Testbatterie

Im nachfolgenden Abschnitt wird die Definition der leistungsdiagnostischen Testbatterie der ersten Studie beschrieben und begründet.

Wie bereits beschrieben stellt der Stufentest in Kombination mit der Laktatleistungsdiagnostik das klassische Testprotokoll zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit dar (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2). Da in bisherigen Studien zum MTB-Sport (2-4, 11, 16, 44, 45) der Stufentest zur Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit und zur Wettkampfprognose Verwendung fand, wurde der Stufentest mit Laktatleistungsdiagnostik zur Bestimmung der anaeroben Schwelle in die Testbatterie eingeschlossen. Zusätzlich sollte mit Hilfe einer parallel durchgeführten Spiroergometrie die aerobe Kapazität

bestimmt werden, welche ebenfalls bisher in einigen Studien berücksichtigt wurde (2, 11, 44, 46).

Gerade in Abfahrtspassagen und durch die Bodenbeschaffenheit sind die Athleten vielen Stößen und Vibrationen ausgesetzt, die zu isometrischen Kontraktionen der Arm-, Rumpf- (10) und Beinmuskulatur führen. Deswegen wurde die Bestimmung der Maximalkraft der Knieextensoren, Knieflexoren, Rumpfflexoren und Rumpfextensoren mittels isometrischer Maximalkraftdiagnostik in die Testbatterie aufgenommen.

Auf Grundlage der Studie von Theobald (9) wurde ein Testprotokoll, der sog. All-Out-Time-Trial, erstellt, um Leistungsparameter in hochintensiven Belastungsbereichen zu bestimmen. Das Testprotokoll umfasste Intervalle von unterschiedlicher Dauer, in denen die Fahrer ihre maximal mögliche Leistung erzielen sollten. Diese Methodik hat sich in der Vergangenheit bewährt (58). Die verschiedenen Intervalllängen sind angelehnt an Empfehlungen und Untersuchungen von Allen und Coggan (48), Baron (3), Theobald (9) und Stapelfeldt et al. (8). Allen und Coggan (48) schlagen für die Ermittlung von Stärken und Schwächen eines Fahrers die Leistungserfassung über 5 Sekunden, 1 Minute und 5 Minuten vor. Heck und Schulz (39) empfehlen für die Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit neben einem Maximaltest über ca. 5 s zur Ermittlung der alaktaziden Leistungsfähigkeit auch einen Maximaltest über ca. 10 s zur Ermittlung der laktaziden Leistungsfähigkeit. Des Weiteren sollte die Leistungsdiagnostik einen Ausbelastungstest mit einer Dauer von 40-100 s mit Bestimmung des maximalen Nachbelastungslaktatwerts zur Determination der laktaziden Kapazität beinhalten (39). Theobald (9) konnte bei der Analyse von Wattmessaufzeichnungen in XCO-Rennen zeigen, dass Intervalllängen von 8-45 Sekunden 15% der Renndauer, bzw. 49% der gefahrenen Intervalle im Rennen ausmachen. 10% der Rennintervalle haben eine Länge zwischen 46-120 Sekunden und machen 13% der Renndauer aus. 24% der Intervalle betragen zwischen 2 bis 5 Minuten. Diese Intervalle dauern 67% der Rennzeit.

Basierend auf der oben dargestellten Literatur und der Studie von Vaitkevičiūtė und Milašius (45), welche einen Stufentest sowie 10- und 30-sekündige Wingate-Tests beinhaltete, wurde der All-Out-Time-Trial des vorliegenden Forschungsvorhabens definiert. Er umfasste Intervalle mit einer Dauer von 10 Sekunden (10-s Trial), 1 Minute (1-min Trial) und 5 Minuten (5-min Trial). In diesen mussten die Probanden ihre Maximalleistung erzielen.

Zur Erfassung der maximalen Leistung ist es nötig, das Verhältnis zwischen Kraft und Geschwindigkeit zu betrachten (3). Zwar sind in der Literatur viele Methoden zur Analyse von kurz andauernden anaeroben Leistungen beschrieben, doch sind laut Baron (3) lediglich drei Testmethoden geeignet, um die Durchschnittsleistung und die Spitzenleistung in einem solchen kurz-andauernden Intervall zu erfassen (3). Zu diesen drei Methoden gehört die isokinetische Messmethode, die bisher in vielen Studien Anwendung fand (59). Die Messmethodik zeigte sich in ähnlichen Studien als reliabel und valide zur Bestimmung der Maximalleistung (41, 60, 61). Sie wurde daher zur Erfassung der Leistungsfähigkeit in den Time-Trials herangezogen. Hierbei ist die Trittfrequenz während der Maximalbelastung konstant und die erbrachten Leistungen sind vom Probanden abhängig.

Bei Trittfrequenzen zwischen 90 und 100 U/min sind die peripheren Tretwiderstände und somit die periphere Muskelermüdung am geringsten (62). Auf Grundlage der Ergebnisse von Baron (3) wurde die Trittfrequenz für die 10-s Trials auf 100 U/min gesetzt, da mit dieser die höchsten Wattleistungen bei Mountainbikern wie auch bei Nicht-Mountainbikern erzielt werden können. Die Trittfrequenzen der anderen Intervalle wurden auf Grund des subjektiven Belastungsempfindens bei Test-Messungen mit 90 U/min definiert. Dies deckt sich weitgehend mit anderen Studien (11, 63).

MTB-Rennen sind geprägt durch eine hochintensive Belastung mit wiederkehrenden Belastungsintervallen (5, 8, 9). Bereits Inoue et al. (16) konnten zeigen, dass sich wiederholende Maximalbelastungsintervallen in einer

Leistungsdiagnostik Vorteile gegenüber einem einzelnen Belastungsintervall zur Vorhersage der MTB-Wettkampfleistung hat. Daher sollte das Testprotokoll die terrainbedingte Intensitätsvariabilität im MTB berücksichtigen. Das Testprotokoll beinhaltete daher wiederkehrende Intervalle: vier 10-s Trials, zwei 1-min Trials und ein 5-min Trial.

Die Aufwärmdauer von 10 Minuten wurde in Anlehnung an das Testprotokoll von Allen und Coggan (48) gewählt. Die Aufwärmphase und die Regenerationsphasen wurden mit einer festgelegten Wattleistung abhängig vom Körpergewicht gefahren. Diese Wattleistung wurde wie bei Gaitanos et al. (64) und in Anlehnung an Quod et al. (51) auf 1,5 W/kg gesetzt. Die Dauer der Regenerationsphasen wurde auf Grundlage von Erfahrungen aus den Testfahrten definiert. Hierbei wurde auch die Annahme von Baron (3) berücksichtigt, die davon ausgeht, dass die Fahrer innerhalb einer 4-minütigen aktiven Erholungsphase nach einem 10-s Trial erneut Wattspitzen erreichen können. Daher wurden die Regenerationsphasen länger als 4 Minuten, nämlich mindestens 5 Minuten gewählt.

Zur Überprüfung der Annahme, dass bessere Fahrer hohe Laktatwerte besser tolerieren und die Laktatkonzentration schneller eliminieren und dass somit die Laktatdynamik ein Faktor zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Fahrer darstellt, wurde die kapillare Blutlaktatkonzentration vor bzw. nach den Time-Trials und während den Regenerationsphasen bestimmt.

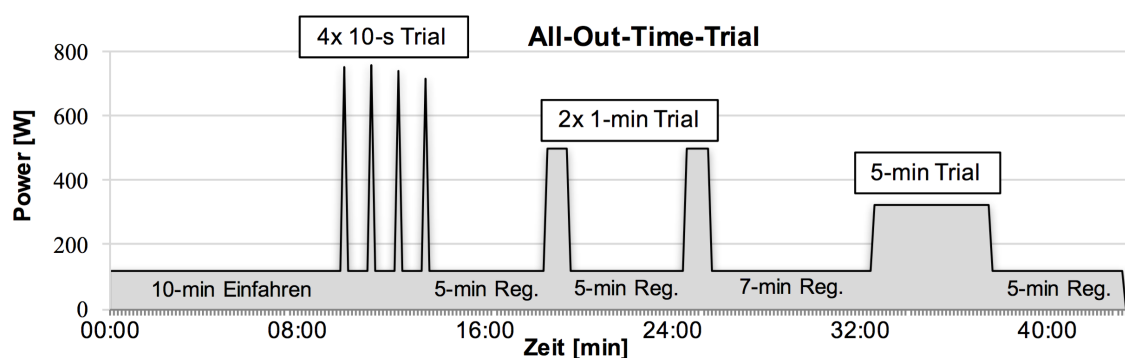


Abbildung 4: Testprotokoll des All-Out-Time-Trials (Reg. = Regeneration; angepasst aus Ahrend et al. (55))

Zusammengefasst stellt diese Testbatterie in der Theorie eine sportspezifische Leistungsdiagnostik dar. Sie erfasst die Leistung der Sportler in verschiedenen Ausdauerbereichen (anaerobe Ausdauer, Kurzzeit- und Mittelzeitausdauer). Zusätzlich berücksichtigt der Test wettkampfspezifische Strukturen, wie z.B. wiederholte, intervallartige maximale Belastungen für den Fahrer. Auf Grund von Laktatanalysen sind Rückschlüsse auf den metabolischen Stoffwechsel zu ziehen. Taktische und technische Fähigkeiten werden in der Testbatterie nicht berücksichtigt. Diese sind unter Laborbedingungen nur schwer zu erfassen.

Methodik zur Validierung

Hierfür absolvierten 10 Fahrer (Alter $34,3 \pm 8,7$ Jahre; $VO_2\text{max}$ $66,5 \pm 11,3$ ml/min/kg) am ersten Messtag einen Stufentest (80 Watt Startleistung, 40 Watt Steigerung pro Stufe, 3 Minuten Stufendauer) mit Laktatanalyse zur Bestimmung der IAS auf einem Fahrradergometer (SRM GmbH, Schoberer Rad Messtechnik, Jülich, Germany). Gleichzeitig wurde eine Spiroergometrie zur $VO_2\text{max}$ -Bestimmung durchgeführt. Im Abstand von 2 bis 7 Tagen fand der zweite Messtag statt. Am zweiten Messtag wurden eine isometrische Maximalkraftdiagnostik (Future Line DMS-EVE series, DAVID Health Solutions Ltd.) der Bein- und Rumpfmuskulatur (Kraft) und der All-Out-Time-Trial im Labor durchgeführt (siehe Abbildung 4). Vor und nach jedem Intervall wurde die Laktatkonzentration im kapillären Blut bestimmt (Biosen S-Line, EKF, Cardiff, UK). Die durchschnittlichen Leistungen der jeweiligen Intervalldauer wurden berechnet und in den Parametern 10-s Trial, 1-min Trial, 5-min Trial ausgedrückt.

Auf Grund des großen Einflusses des Körpergewichts im MTB wurden die Wattleistungen zum Körpergewicht relativiert. Im Abstand von 1-3 Wochen zur Laboruntersuchung wurde zur Validierung der Laborparameter ein Feldtest unter wettkampfnahen Bedingungen auf einer offiziellen, nur geringfügig modifizierten XCO-Wettkampfstrecke durchgeführt. Das Rennen bestand aus 6 Runden mit einer gesamten Länge von 26,5 km und 711 Höhenmetern. Dabei wurde über ein Wattmessgerät (PowerTab PRO MTB Disc Hub, CycleOps,

Madison, USA) die getretene Wattleistung pro Kilogramm Körpergewicht aufgezeichnet, um die Feldtestleistung zu bestimmen. Die benötigte Rennzeit für die Strecke wurde zusätzlich erfasst. Der Studienablauf ist mit den erhobenen Messgrößen in Abbildung 5 dargestellt.

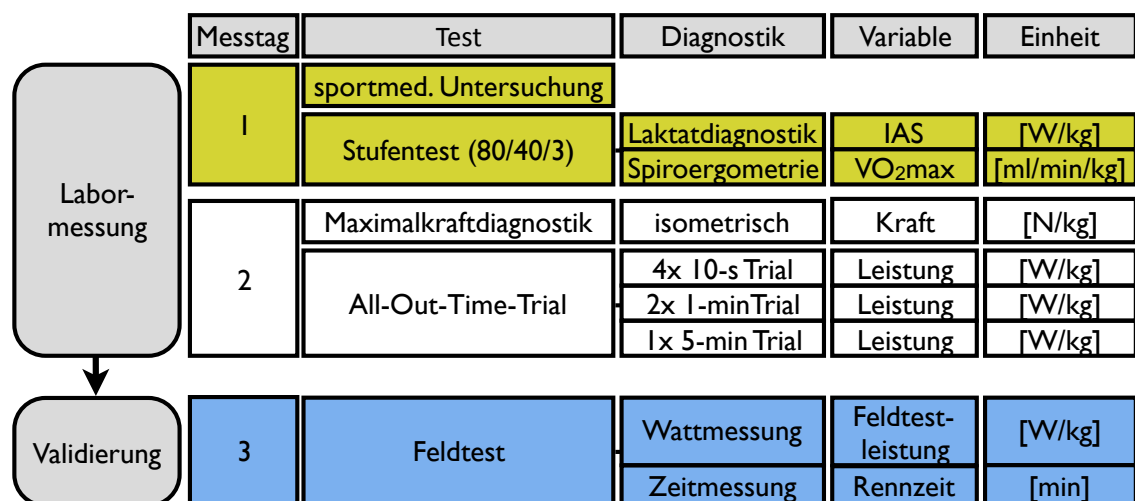


Abbildung 5: Übersicht des Ablaufs der ersten Studie

Es wurden paarweise Korrelationen (Korrelationskoeffizienten nach Pearson) zwischen den Laborparametern sowie den Laktatveränderungen in den Regenerationsphasen und der Wettkampfleistung (r_{Leistung}) bzw. der Rennzeit (r_{Zeit}) des Feldtests berechnet. Des Weiteren wurden paarweise Korrelationen zwischen der Laktatveränderung durch ein Intervall und der Leistung eines Intervalls berechnet. Die statistische Auswertung wurde mit JMP® (SAS Institute Inc., JMP®, Version 10.2.2, Cary, NC, USA) vorgenommen.

Ergebnisse

Die Korrelationen zwischen Laborparametern und Feldtestleistung bzw. Rennzeit des Feldtests sind in Abbildung 6 und Abbildung 7 dargestellt. Trotz des kleinen Probandenkollektivs zeigten sich ausgeprägte Zusammenhänge zwischen den Laborparametern und der Feldtestleistung bzw. der Rennzeit im Feldtest (r_{Leistung} ; r_{Zeit}): Am stärksten korrelierte die VO₂max ($r_{\text{Leistung}} = 0,85$; $r_{\text{Zeit}} = -0,86$) und die individuelle anaerobe Schwelle ($r_{\text{Leistung}} = 0,70$; $r_{\text{Zeit}} = -0,74$). Von den Leistungen im All-Out-Time-Trial korrelierten die Leistungen

der 1-min Trials ($r_{\text{Leistung}} = 0,69$; $r_{\text{Zeit}} = -0,68$) und 5-min Trials ($r_{\text{Leistung}} = 0,63$; $r_{\text{Zeit}} = -0,82$) stark bis sehr stark mit der Feldtestleistung bzw. der Rennzeit. Kleiner bis moderater Zusammenhang bestand zwischen den abhängigen Parametern und der Leistung der 10-s Trials ($r_{\text{Leistung}} = 0,20$; $r_{\text{Zeit}} = -0,44$). Lediglich ein schwacher Zusammenhang bestand zwischen der Maximalkraft ($r_{\text{Leistung}} = -0,13$; $r_{\text{Zeit}} = -0,24$) und der Feldtestleistung bzw. der Rennzeit.

Tabelle 1: Korrelationen der Laborparameter der Studie 1 des Forschungsvorhabens

		IAS	VO ₂ max	10-s Trials	1-min Trials	5-min Trial	Maximal Kraft
Feldtest	Leistung	$r = 0,70$	$r = 0,85$	$r = 0,20$	$r = 0,69$	$r = 0,63$	$r = -0,13$
	Rennzeit	$r = -0,74$	$r = -0,86$	$r = -0,44$	$r = -0,68$	$r = -0,82$	$r = -0,24$

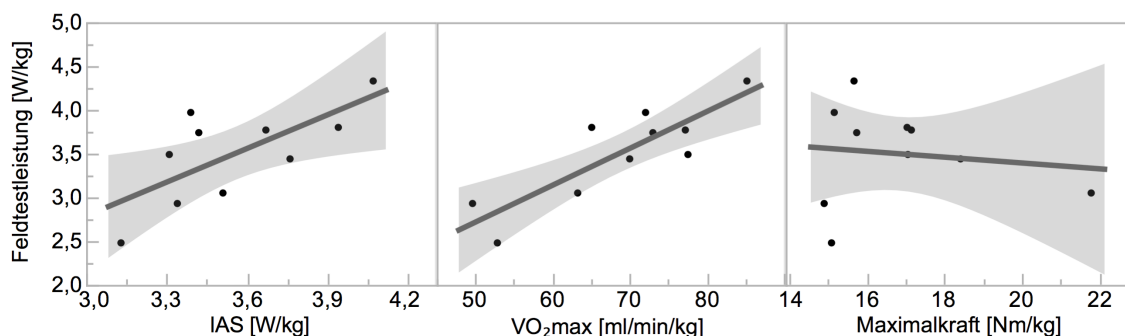


Abbildung 6: Lineare Regressionsgeraden der Laborparameter aus dem Stufentest (angepasst aus Ahrend et al. (55))

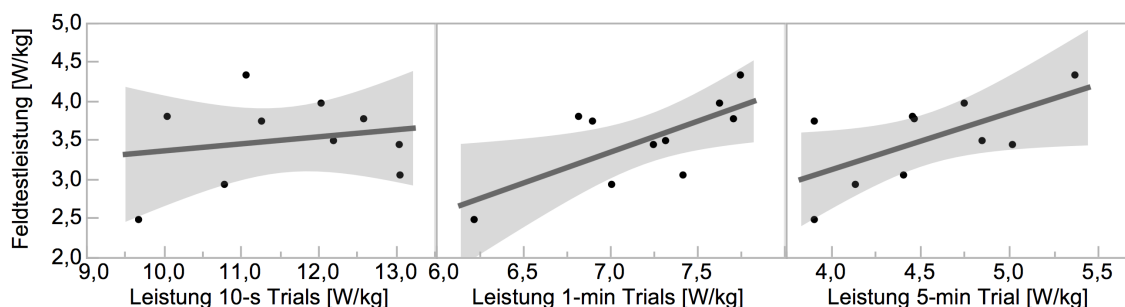


Abbildung 7: Lineare Regressionsgeraden der Parameter aus dem All-Out-Time-Trial (angepasst aus Ahrend et al. (55))

Die Konzentrationsverläufe des Laktats im Blut zeigten, wie in Abbildung 8 und Abbildung 9 dargestellt, große interindividuelle Unterschiede zwischen den Probanden. Die maximal erreichte Laktatkonzentration der Athleten betrug durchschnittlich $14,5 \pm 3,1$ mmol/l.

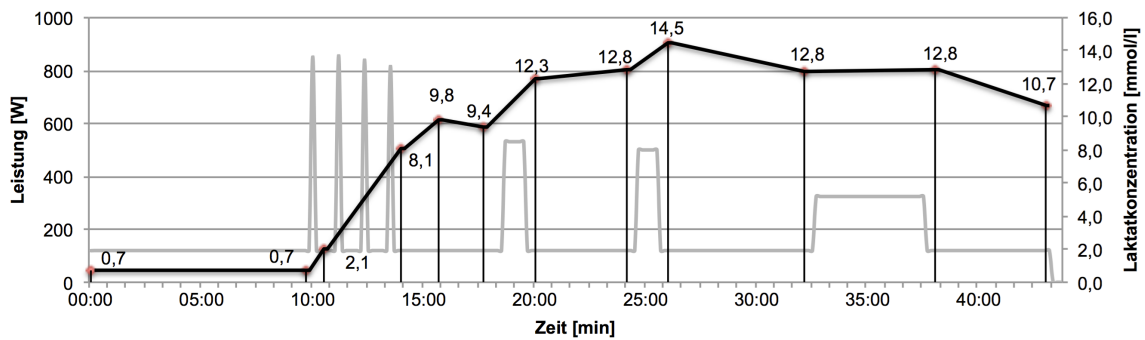


Abbildung 8: Durchschnittliche Blutlaktatkonzentrationen (angepasst aus Ahrend et al. (53))

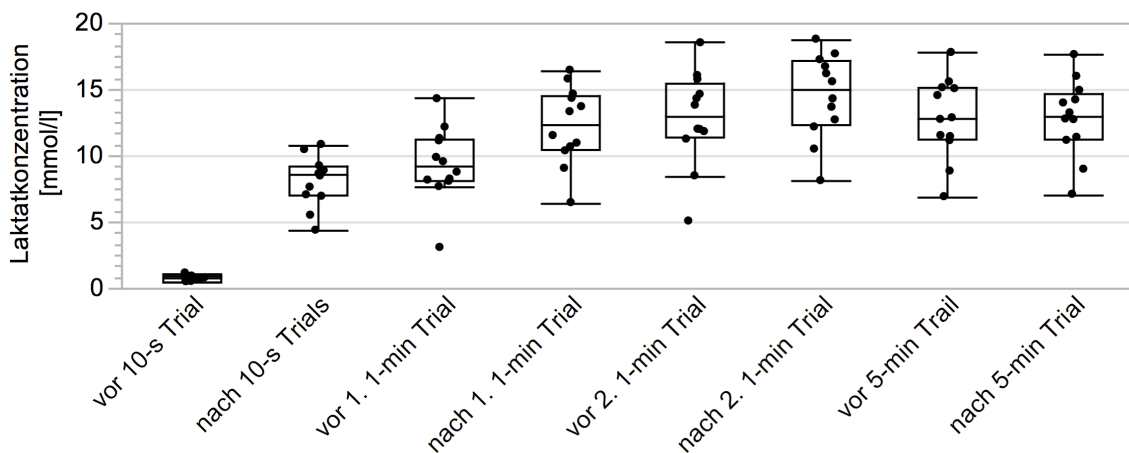


Abbildung 9: Interindividuelle Laktatkonzentrationen (angepasst aus Ahrend et al. (53))

Der Laktatanstieg der 10-s Trials ($r = 0,58$), der 1-min Trials ($r = 0,65$) und des 5-min Trials ($r = 0,47$) korrelierte mit der jeweiligen Leistung des All-Outs. Der Laktatabfall in den 5-minütigen Regenerationsphasen vor ($r_{\text{Leistung}} = 0,20$; $r_{\text{Zeit}} = -0,12$) und nach ($r_{\text{Leistung}} = 0,41$; $r_{\text{Zeit}} = -0,38$) dem ersten 1-min Trial korrelierte leicht mit der Wettkampfleistung. Stark hängt die Laktatveränderung, bzw. der Laktatkonzentrationsabfall in der 7-minütigen Regenerationsphase nach dem zweiten 1-min Trial mit der Feldtestleistung zusammen ($r_{\text{Leistung}} = 0,80$; $r_{\text{Zeit}} = -0,64$).

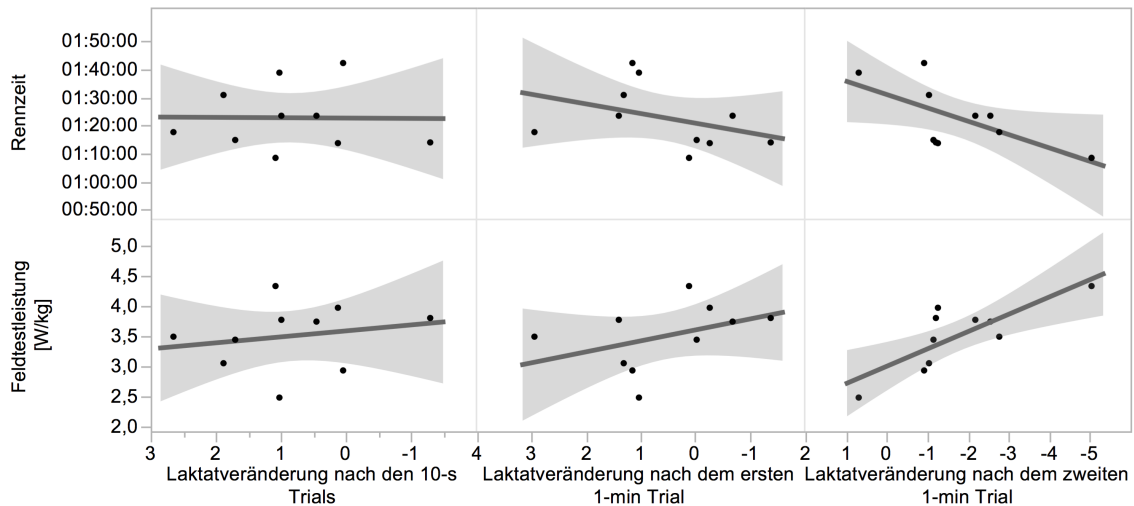


Abbildung 10: Lineare Regressionen der Laktatveränderungen [mmol/l] in den Regenerationsphasen des All-Out-Time-Trials

Schlussfolgerungen und Modifizierung der Testbatterie

Die Ergebnisse zeigten, dass neben der aeroben Leistungsfähigkeit ($VO_2\max$ und IAS) auch intensive Belastungen über 1 Minute und 5 Minuten mit den Rennergebnissen eines Feldtests zusammenhängen. Vergleichbare Zusammenhänge zum traditionellen Leistungsparameter, der individuellen anaeroben Schwelle, wurden aufgewiesen. Somit erscheint es sinnvoll, dass zukünftig die Leistungsdiagnostik im MTB neben einem Stufenprotokoll auch intensive Intervalle erfasst, um das gesamte Anforderungsprofil abzubilden. Diese intensiven Intervalle sollten daher auch in der nachfolgenden zweiten Studie Verwendung finden. Auf Grund der geringen Korrelationen zu den isometrischen Maximalkraftwerten der Rumpf-, Bauch- und Beinmuskulatur kann jedoch zukünftig unter dem Aspekt der Wettkampfprognose eine Maximalkraftdiagnostik dieser Muskelgruppen vernachlässigt werden.

Zudem zeigten die Ergebnisse der Laktatverlaufsanalyse, dass Fahrer mit besseren Leistungen in den All-Out-Time-Trials höhere Laktatanstiege hatten und eventuell gegenüber diesen resistenter sind als Fahrer mit geringeren Trial-Leistungen. Während der aktiven Regenerationsphasen konnten bessere Fahrer die Laktatkonzentration stärker abbauen. Die Ergebnisse können dahingehend interpretiert werden, dass bessere Mountainbike-Fahrer sich

während geringerer Belastungen (z.B. Abfahrten) besser erholen können als Fahrer mit geringerer Wettkampfleistung.

In der ersten Studie wurden die erhobenen Parameter an zwei unterschiedlichen Messtagen erhoben. Für Athlet und leistungsdiagnostisches Labor wäre es organisatorisch von Vorteil, wenn die Leistungsdiagnostik an einem Tag durchführbar wäre. Zudem könnte die Dauer des All-Out-Time-Trials reduziert werden. Es zeigte sich in Studie 1 des Forschungsvorhabens, dass die wiederholte Absolvierung der 10-Sekunden- bzw. 1-Minute-Intervalle die Prognose der Wettkampfleistung nur geringfügig verbesserte (55). Durch die Reduzierung der Anzahl an Intervallen ist es möglich, den All-Out-Time-Trial im Anschluss an den Stufentest nach kurzer Regenerationszeit durchzuführen. Die Untersuchungen wären dadurch an einem Messtag durchführbar. Diese modifizierte Leistungsdiagnostik, welche unter Kapitel 2.3.2 beschrieben ist, wurde im Sinne einer Machbarkeitsprüfung von Mitarbeitern der Sportmedizin im Rahmen einer Pilotstudie vor Beginn der zweiten Studie getestet.

Studie 2 des Forschungsvorhabens sollte an einem größeren Probandenkollektiv und an mehreren offiziellen Mountainbike-Rennen, nun der Disziplin XCM, die bisherigen Ergebnisse überprüfen und die nach den Ergebnissen modifizierte Leistungsdiagnostik validieren. Hierzu wurden die im nachfolgenden Kapitel dargestellten Fragestellungen für Studie 2 formuliert. Die zur Beantwortung der Fragestellung verwendete Methodik und statistische Auswertung ist in Kapitel 2 bzw. 2.5 dargestellt. Die direkte Antwort auf die Fragestellung ist im letzten Absatz des jeweiligen Ergebnisteils zu finden.

1.6 Fragestellungen der Dissertation (Studie 2 des Forschungsvorhabens)

Parameter, die in einer sportsspezifischen Leistungsdiagnostik erhoben werden, sollten mit der Wettkampfleistung der jeweiligen Sportart zusammenhängen. MTB-Rennen variieren sowohl in Distanz als auch im Höhenprofil der Strecke und somit auch im Beanspruchungsgrad (8, 65). Daher unterscheidet sich diese Sportart von Leichtathletikdisziplinen oder Bahnradrennen, in denen die Streckenlänge konstant ist. Des Weiteren sind unterschiedliche äußere Bedingungen bei MTB-Rennen, wie Wetter und Bodenbeschaffenheiten, Einflussfaktoren. Die Leistungsparameter einer Leistungsdiagnostik im Mountainbike-Sport sollten daher mit den Zeiten verschiedener MTB-Rennen zusammenhängen.

- Fragestellung 1:
 - a) Korrelieren die in der überarbeiteten mountainbike-spezifischen Leistungsdiagnostik erhobenen Laborparameter mit den Rennzeiten der drei Validierungsrennen?
 - b) Variieren diese Zusammenhänge in Abhängigkeit vom jeweils untersuchten MTB-Rennen?

Zusammen mit den aeroben Belastungsgrößen spielen auch hochintensive, anaerobe Leistungsparameter im MTB eine Rolle (5, 16). Bisher wurden nur Studien mit kleinen Probandenkollektiven durchgeführt, so dass multiple Regressionsmodelle zur Bestimmung der Varianz der Mountainbike-Rennen nicht berechnet werden konnten.

- Fragestellung 2:

Wie exakt lässt sich die Varianz der Rennzeit eines Rennens bzw. mehrerer Rennen durch Laborparameter und anthropometrische Parameter in multiplen Regressionsmodellen bestimmen?

Bisherige Veröffentlichungen untersuchen die physiologischen Variablen von männlichen Mountainbike-Fahrern. Lediglich Stapelfeldt et al. (8), Impellizzeri et al. (66) und Wilber et al. (63) untersuchten Leistungsparameter von MTB-Fahrerinnen und verglichen diese mit anderen Radsportdisziplinen. Eine Analyse der Leistungsparameter zur Prognose von Wettkampfergebnissen weiblicher Fahrer wurde bislang noch nicht durchgeführt. Des Weiteren sind bisherige Untersuchungen mit einem Stufentest durchgeführt worden. Erhebungen von maximalen anaeroben Belastungsbereichen bei MTB-Fahrerinnen zur besseren Charakterisierung des Anforderungsprofils wurden noch nicht erfasst. Zwar werden die Rennen der Disziplin XCM auf gleicher Distanz und Strecke ausgetragen, doch sind geschlechtsspezifische Unterschiede in der Relevanz der erhobenen Laborparameter zur Wettkampfforegnose denkbar.

- Fragestellung 3:

Unterscheiden sich die Ausprägungen der Zusammenhangsmaße zwischen Laborparametern und der Rennzeit in Abhängigkeit der Geschlechter?

Die Ergebnisse der Laktatkonzentrationsanalyse der Studie 1 des Forschungsvorhabens (53) konnte zeigen, dass bessere Fahrer hohe Laktatwerte besser eliminieren können. Laktatanalysen könnten einen wichtigen Faktor zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Athleten darstellen.

- Fragestellung 4:

a) Wie verhalten sich die Laktatkonzentrationen während der Durchführung der modifizierten Leistungsdiagnostik?

b) Korrelieren die Veränderungen der Laktatkonzentration während der Regenerationsphasen der modifizierten Leistungsdiagnostik mit der Rennzeit der Athleten?

2 Methodik

2.1 Probandenkollektiv

Für die Studie liegt gemäß Richtlinien der Deklaration von Helsinki ein positives Votum der Ethikkommission der Universitätsklinik Tübingen vor (Ethikantrag: 229/2013BO2). Basierend auf den Ergebnissen der Studie 1 des Forschungsvorhabens wurde eine Fallzahlschätzung durchgeführt. Mit einer Fallzahl von $n = 50$ war ein Ergebnis mit $r^2 = 0,64$ KI = [0,45; 0,77] zu erwarten. Dieses wurde als suffizientes Validierungsergebnis angesehen. Bei der Durchführung der Studie 2 musste mit einer Ausfallquote von 10% gerechnet werden. Die finale Gruppenstärke wurde deshalb auf $n = 55$ festgelegt. Die Probanden wurden via Newsletter und Homepages von MTB-Rennveranstaltern, über persönliche Kontakte der Studienleitung, über Flyer (siehe Anhang 1) sowie über eine zu Studienzwecken angefertigte Studienhomepage (www.mtb-leistungsdiagnostik.de; siehe Anhang 2) rekrutiert. Alle gemeldeten Fahrer der Rennen hatten somit die Chance zur Studienteilnahme, sofern die Studieneinschlusskriterien erfüllt werden konnten. Durch die Rekrutierungsmaßnahmen wurden ungefähr 2900 Athleten über die Studie informiert. Die Studienpopulation berücksichtigte männliche und weibliche leistungsorientierte volljährige MTB-Fahrer. Die Probanden wurden im Vorfeld über die Ziele und Inhalte der Studie aufgeklärt und konnten anschließend über die Teilnahme per Einverständniserklärung entscheiden.

Eingeschlossen wurden alle mit der Studie einverständenen Probanden, die nachfolgende Kriterien erfüllten:

- Der Proband gibt nach mündlicher und schriftlicher Aufklärung über die Ziele und Inhalte der Studie seine Einwilligung zur Teilnahme ab.
- Volljährigkeit zum Zeitpunkt des Studienstarts
- Wettkampferfahrung im MTB-Sport: mindestens zwei bereits absolvierte Rennen in der laufenden Wettkampfsaison (zuzüglich zum jeweiligen Untersuchungsblock festgelegten Rennen) mit mindestens einer

Platzierung in der vorderen Hälfte der jeweiligen Klassenwertung (Altersklasse, Geschlecht).

- Verbindliche Anmeldung an einem der vorher festgelegten Validierungsrennen

Alle Athleten erhielten eine medizinische Untersuchung. Zum Studienausschluss führten:

- Erkrankungen am Bewegungsapparat, auf Grund derer der Athlet zum Zeitpunkt der Studie in medizinischer Behandlung war (auch Physiotherapie) und aufgrund derer eine Wettkampfteilnahme von Seiten des behandelnden Arztes untersagt wurde.
- Bekannte internistische Vorerkrankungen, die zu einer Gefährdung des Probanden während der Messungen führen könnten. Hierunter waren explizit bekannte Vorerkrankungen des kardio-vaskulären Systems genannt.
- Akuter oder chronischer Allgemeininfekt

Die Probandenrekrutierung, die Gründe für die 5 Drop-outs und das finale Probandenkollektiv mit vollständigem Datensatz ($n = 49$) sind in Abbildung 11 dargestellt. Im ersten Validierungsrennen hatte ein Fahrer einen technischen Defekt und konnte dadurch das Rennen nur nach über 10-minütiger Rennunterbrechung und anschließend reduzierter Geschwindigkeit zu Ende fahren. Seine Rennzeit wurde deswegen nicht für die Studienzwecke verwendet. Zum zweiten Validierungsrennen trat ein Proband nicht an. Ein weiterer stürzte und musste das Rennen abbrechen. Zwei Fahrer des letzten Validierungsrennens fielen als Drop-out aus der Studie, da diese technische Defekte im Rennen hatten, bzw. eine Verletzung zwischen Leistungsdiagnostik und Validierungsrennen die Wettkampfteilnahme unmöglich machte. Die Probandencharakteristika des gesamten Kollektivs sowie der Kohorten für Rennen 1, 2 und 3 sind in Tabelle 2 gezeigt. Anhand der Kriterien von De Pauw et al. (67) war das Kollektiv, welches eine absolute Abbruchleistung im

Stufentest von 329 ± 49 W hatte, in die Leistungsgruppe der trainierten Athleten (Leistungsgruppe 3) einzuordnen.

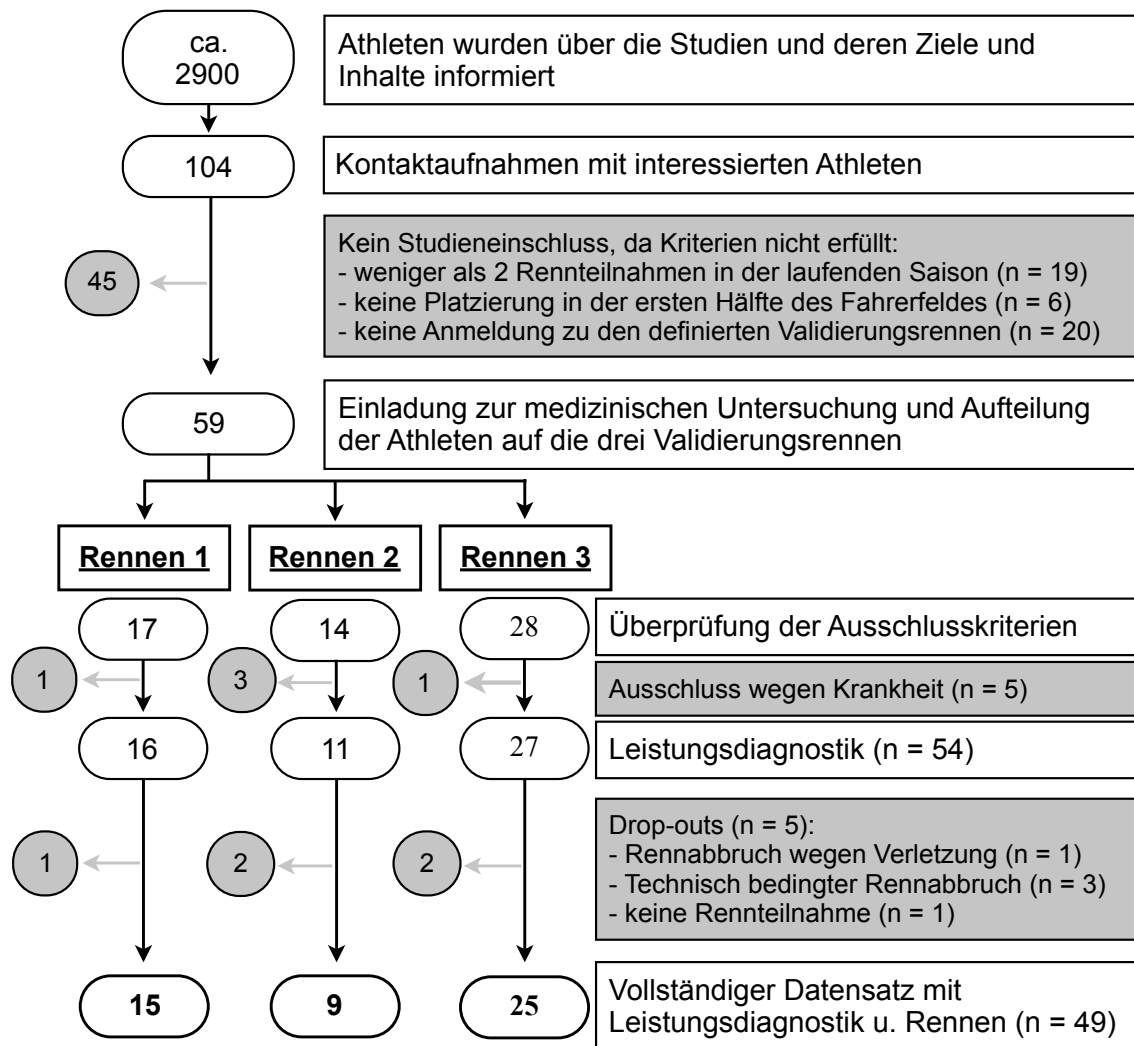


Abbildung 11: Ablauf der Probandenrekrutierung

Tabelle 2: Charakteristik des Probandenkollektivs (MW \pm SD)

	Gesamt n = 49	Rennen 1 n = 15	Rennen 2 n = 9	Rennen 3 n = 25
Geschlecht [männlich/weiblich]	38 / 11	11 / 4	8 / 1	19 / 6
Alter [Jahre]	38,8 \pm 9,1	38,2 \pm 7,9	43,4 \pm 7,9	37,6 \pm 9,9
Größe [cm]	176,2 \pm 7,5	175,7 \pm 8,4	179,7 \pm 5,4	175,3 \pm 7,5
Körpergewicht [kg]	72,2 \pm 10,4	72,6 \pm 10,3	78,3 \pm 13,2	69,9 \pm 8,9
Absolute PPO [W]	329 \pm 49	320 \pm 58	336 \pm 21	332 \pm 52
Sport- und Trainingsparameter				
Rennen pro Jahr	5,9 \pm 4,1	5,2 \pm 3,2	8,0 \pm 6,1	5,5 \pm 3,5
XCM Erfahrung [Jahre]	10,6 \pm 7,1	10,9 \pm 5,2	14,2 \pm 8,9	9,1 \pm 7,2
Trainingsfrequenz pro Woche	4,4 \pm 1,6	4,0 \pm 1,3	5,0 \pm 2,8	4,4 \pm 1,1
Trainingsstunden pro Woche	10,2 \pm 3,1	10,3 \pm 3,2	9,5 \pm 3,3	10,5 \pm 3,1
Trainingskilometer pro Woche	218 \pm 129	258 \pm 195	175 \pm 70	210 \pm 84

2.2 Studiendesign

In der vorliegenden Studie handelt es sich um eine sogenannte „short-term prognostic study“, die während der Wettkampfphase der Rennsaison durchgeführt wurde. Zur Erstellung eines multiplen Regressionsmodells mit den erhobenen Laborparametern und zur Validierung der modifizierten Leistungsdiagnostik an verschiedenen Rennen wurde die Studie mit einem großen Probandenkollektiv durchgeführt und in drei Untersuchungskohorten aufgeteilt (siehe Abbildung 12). Jeder Athlet absolvierte eine Leistungsdiagnostik und nahm anschließend innerhalb von 2 Wochen ($7,6 \pm 3,6$ Tage) an einem von drei vorher festgelegten Rennen teil. Der Abstand zwischen Leistungsdiagnostik und Rennen betrug mindestens 2 Tage, damit die durch die Leistungsdiagnostik induzierte körperliche Erschöpfung keinen Einfluss auf das Rennergebnis hatte. Die Erhebung aller leistungsdiagnostischen Daten und Rennergebnisse erfolgte innerhalb von 5 Wochen, um saisonbedingte Veränderungen des Leistungsniveaus der Probanden zu vermeiden. Am Vortag von Leistungsdiagnostik und Validierungsrennen sollten sich die Athleten keinen intensiven Belastungen aussetzen.

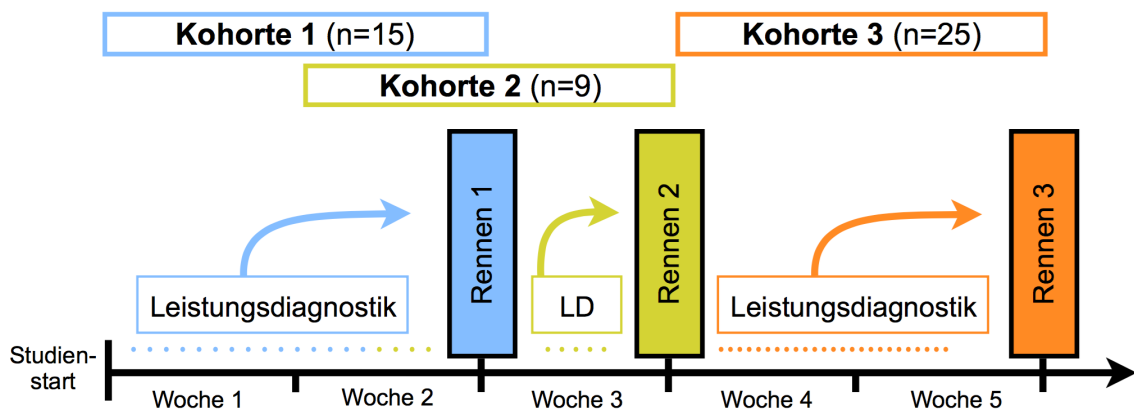


Abbildung 12: Studiendesign mit jeweiliger Probandenrekrutierung (LD = Leistungsdiagnostik)

Neben dem für die einzelnen Athleten bei Studieneinschluss festgelegten Validierungsrennen nahmen manche Studienteilnehmer neben Rennen 1 oder 2 auch zusätzlich am Validierungsrennen 3 teil. Die hierbei erreichten Rennzeiten konnten für die Beantwortung von Fragestellung 3 herangezogen werden. Zur Analyse von Fragestellung 3 wurden daher die 33 Teilnehmer, die innerhalb eines Monats Leistungsdiagnostik und Rennen 3 absolvierten, geschlechtsgetrennt analysiert. Somit wurden die Daten aller weiblichen (n = 9) und männlichen (n = 24) Probanden getrennt analysiert (siehe Abbildung 13).

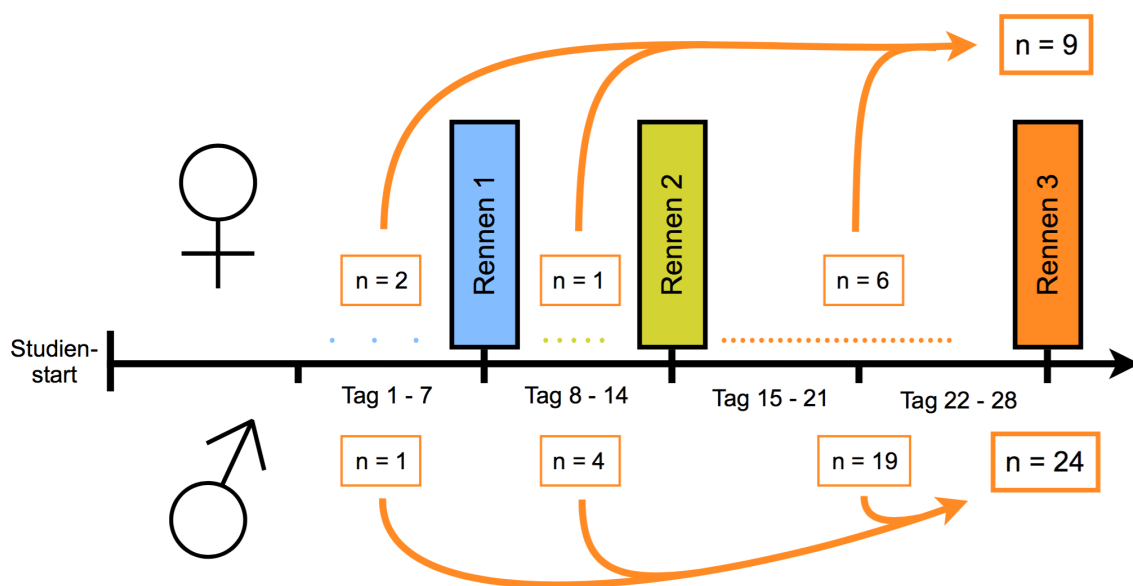


Abbildung 13: Datenverwendung für die geschlechtsspezifische Auswertung der Daten der Studienteilnehmer, die an Rennen 3 teilgenommen haben

2.3 Labordiagnostik

2.3.1 Sportmedizinische Eingangsuntersuchung

Die Messungen der einzelnen Probanden fanden an einem Tag statt. Ausgangspunkt war die Vorstellung des Probanden zur sportmedizinischen Untersuchung, die sich nach den aktuellen Empfehlungen der nationalen und internationalen sportmedizinischen Gesellschaften richtete. Neben der Überprüfung der Ein- und Ausschlusskriterien wurden die anthropometrischen Daten erhoben und eine ausführliche körperliche Untersuchung und ein Ruhe-EKG durchgeführt. Das verwendete Instrumentarium orientierte sich an dem standardisierten Untersuchungsdesign des Uniklinikums Tübingen. Im Rahmen der Eingangsdiagnose erfolgte auch eine Trainingsanamnese, in der die Trainingshistorie, die aktuelle Trainingsplanung sowie die aktuellen Wettkampfergebnisse erfasst wurden. Zusätzlich führten die Fahrer ein Trainingstagebuch (siehe Anhang 3: Case Report Form), beginnend eine Woche vor der Leistungsdiagnostik und endend eine Woche nach dem Validierungsrennen.

2.3.2 Leistungsdiagnostik

Anschließend führen die Probanden, die dazu angehalten waren, sich auf die Leistungsdiagnostik mit gleicher Sorgfalt wie für das Validierungsrennen vorzubereiten, die Leistungsdiagnostik. Die Untersuchungen erfolgten in der Sportmedizin Tübingen auf einem mit einem Schoberer-Rad-Messsystem (SRM GmbH, Schoberer Rad Meßtechnik, Jülich, Deutschland) ausgestatteten Fahrradergometer. Diese erfasste die getretene Leistung in Watt und zusätzlich die Trittfrequenz. Das Ergometer ließ sich individuell auf die Körpermaße des Probanden einstellen. Die Herzfrequenz wurde kontinuierlich mit einem Polar®-Herzmessgerät (Polar Electro, Kempele, Finnland) aufgezeichnet.

Das Testprotokoll (siehe Abbildung 14) bestand aus einem Stufentest (80 Watt Startleistung, 40 Watt Steigerung pro Stufe, 3 Minuten Stufendauer). Beim Stufentest führen die Probanden zu Beginn mit 80 Watt. Alle drei Minuten wurde die zu tretende Leistung um 40 Watt erhöht. Die Probanden führen den

Stufentest, bis sie durch subjektive körperliche Erschöpfung den Test abbrechen oder ihre Trittfrequenz unter 70 Umdrehungen/min abfiel. Nach Abschluss des Stufentests wurde das Anstrengungsempfinden der Probanden mittels Borg-RPE-Skala (68) abgeschätzt.

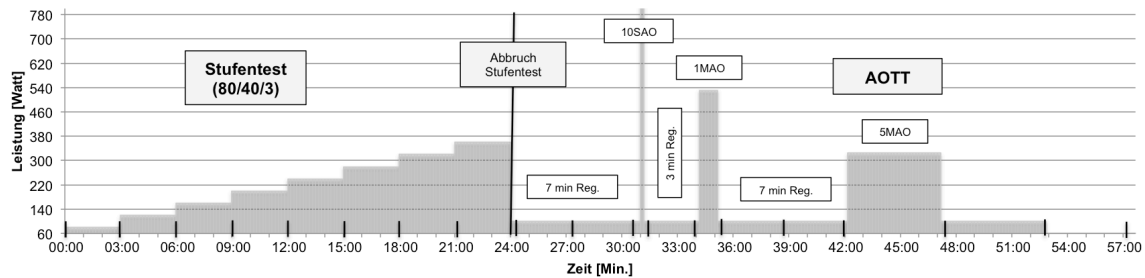


Abbildung 14: Übersicht der MTB-spezifischen Leistungsdiagnostik (| = Laktatabnahme)

Es folgte das im Vergleich zu Studie 1 (54) modifizierte All-Out-Time-Trial-Protokoll (siehe Kapitel 1.5): Nach einer 7-minütigen aktiven Erholungsphase im Anschluss an das klassische Stufenprotokoll fuhren die Probanden ein 10-Sekunden-Intervall. Nach einer weiteren 3-minütigen Regeneration erfolgte das 1-Minute-Intervall. Nach einer weiteren aktiven Erholung (7 min) fand eine 5-minütige maximale Belastung statt. Abschließend fuhren die Probanden 5 Minuten locker aus. Alle Trials sollten mit individuell maximal möglicher Wattleistung von den Probanden absolviert werden. Die Regenerationsphasen und das Ausfahren fanden mit einer konstanten Leistung von 100 Watt statt. Die Trittfrequenz durfte in diesen Phasen von den Probanden zwischen 70 und 100 U/min gewählt werden (69). Die Trial-Intervalle wurden bei einer Trittfrequenz von 100 U/min gefahren (55, 63).

Neben der Erfassung der Wattleistung, der Herz- und der Trittfrequenz wurde die Blutlaktatkonzentration bestimmt. Hierzu erfolgte die Entnahme von kapillären Blutproben (20 µl) aus dem Ohrläppchen und anschließend die Analyse der Konzentration (Biosen S-Line, EKF, Cardiff, UK). Die Entnahmen erfolgten im Stufentest in den letzten 20 s jeder Stufe, 30 Sekunden vor Beginn der All-Out-Intervalle und 20 Sekunden nach den Intervallen, da hier die größte Laktatausschwemmung zu erwarten ist. Während der 7-minütigen

Regenerationsphasen erfolgte zusätzlich eine Probenentnahme nach 3 Minuten. Der genaue Ablauf inklusive der Zeitpunkte der Blutabnahmen für die Laktatdiagnostik ist Abbildung 14 zu entnehmen.

Durch den Stufentest wurden die Abbruchleistung des Stufentests (PPO = Peak Power Output) und die individuelle anaerobe Schwelle (IAS) nach Dickhuth et al. (30) mittels Laktatkonzentrationsanalyse bestimmt. Wurde die letzte Stufe nicht bis zum Ende gefahren, wurde mit der Formel von Kuipers et al. (70) die Abbruchleistung berechnet. Im All-Out-Abschnitt wurden die Leistungen über die entsprechenden Intervalle mit der Dauer von 10 Sekunden (10-s Trial), 1 Minute (1-min Trial) und 5 Minuten (5-min Trial) bestimmt.

Tabelle 3: Erhobene Messgrößen

Messmethode	Messgröße (Abkürzung)	Einheit	Verwendung		
Anthropometrische Daten	Körpergröße	cm	Fragestellung 2		
	Körpergewicht	Kg			
	Body Mass Index	kg/m ²			
	Körperfettanteil nach Durnin et al. (71)	%			
	Alter	Jahre			
Stufentest	Wattleistungsbestimmung	Abbruchleistung (PPO)	W bzw. W/kg	Fragestellungen 1, 2 und 3	
	Laktatmessung	Individuelle anaerobe Schwelle (IAS)	W bzw. W/kg		
Time-Trials	Wattleistungsbestimmung	Durchschnittliche Wattleistung über:		Fragestellungen 1, 2 und 3	
		- 10 Sekunden Intervall (10-s Trial)	W bzw. W/kg		
		- 1 Minute Intervall (1-min Trial)	W bzw. W/kg		
		- 5 Minuten Intervall (5min-Trial)	W bzw. W/kg		
	Laktatmessung	Absolute und prozentuale Laktatkonzentrationsveränderung in den Regenerationsphasen zwischen:			Fragestellung 4
		- Stufentest und 10-s Trial	mmol/l bzw. %		
- 10-s und 1-min Trial		mmol/l bzw. %			
	- 1-min und 5-min Trial	mmol/l bzw. %			

2.4 Validierungsrennen

Zur Validierung der Laborparameter führen die Probanden in einem zweiwöchigen Zeitraum nach ihrer Leistungsdiagnostik eines von drei offiziellen nationalen Mountainbike-Marathon-Rennen. Diese unterschieden sich in Distanz, Renndauer, Schwierigkeitsgrad und Streckenprofil (siehe Tabelle 4 und Abbildung 15). Die Validierungsgröße war die offiziell vom Rennveranstalter ermittelte Rennzeit, die der Fahrer für die Strecke benötigte. Da die Startposition das Rennergebnis beeinflusst (2, 72) wurden die Fahrer gebeten, sich rechtzeitig zum Start einzufinden und möglichst weit vorne im Feld zu positionieren. Mögliche Stürze oder technische Defekte, die sich negativ auf die Rennzeit auswirken könnten, wurden anschließend bei den Studienteilnehmern abgefragt. Fahrer mit Rennunterbrechungen länger als 10 Minuten wurden in der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt. Dies betraf einen Probanden aus dem ersten Validierungsrennen (siehe Kapitel 2).

Tabelle 4: Charakteristika der Validierungsrennen

	Name	Distanz	Höhenmeter	Rennzeit	Minimum - Maximum
Rennen 1	Schwarzwald-Bike-Marathon	90 km	2100 m	04:23:54 ± 00:32:30	03:36:51- 05:37:59
Rennen 2	1. Etappe Trans Zollernalb	56 km	950 m	02:23:35 ± 00:12:49	02:05:14- 02:47:57
Rennen 3	Alb-Gold-Trophy	83 km	1700 m	03:12:42 ± 00:16:48	02:39:23- 03:43:13

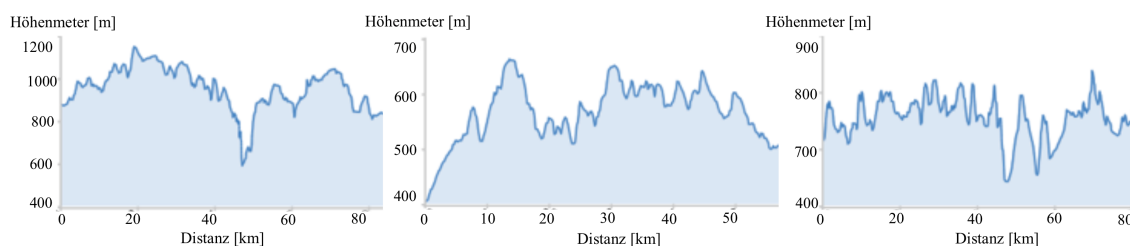


Abbildung 15: Streckenprofile von Rennen 1, 2 und 3

2.5 Statistische Auswertung

Da die Rennen unterschiedliche Charakteristika (Höhenmeter und Länge) und Rennbedingungen (Wetter, Bodenbeschaffenheit) aufweisen, wurden die Rennzeiten der drei Rennen zur Auswertung der Fragestellungen 1, 2 und 4 mittels z-Transformation (z-Rennzeit) vergleichbar gemacht.

Die Verwendung von Parametern in Abhängigkeit vom Körpergewicht ist wegen der vielen Anstiege im MTB-Sport von Relevanz (2, 16, 44). Daher wurden zur Berechnung von Korrelationen die Messgrößen IAS, PPO und die Leistungen im 10-s Trial, 1-min Trial bzw. 5-min Trial zum Körpergewicht relativiert.

Die Beurteilung der Normalverteilung erfolgte mit Hilfe einer Blickanalyse, dem Einfügen einer normalen Anpassungskurve und dem Shapiro-Wilk-Test (73). Bei Vorliegen von normalverteilten Messdaten konnte der Korrelationskoeffizient nach Pearson (r) eingesetzt werden. Falls den Daten keine Normalverteilung zu Grunde lag, wurde der Spearman-Korrelationskoeffizient (r_s) verwendet.

Die mit dem Korrelationskoeffizienten berechneten Korrelationen wurden nach Hopkins (74) analysiert. Diese Analyseskala fand bereits in vorherigen MTB-Studien Anwendung (16): $r < 0,1$: trivialer Zusammenhang; $0,1 - 0,3$: klein; $0,3 - 0,5$ moderat; $0,5 - 0,7$: groß; $0,7 - 0,9$: sehr groß; $> 0,9$: fast perfekt.

Die statistische Auswertung wurde mit JMP® (SAS Institute Inc., JMP®, Version 10.2.2, Cary, NC, USA) analysiert und ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0.05$ festgelegt.

Zur Beantwortung der Fragestellung 1 wurden die aus der Leistungsdiagnostik gewonnen Parameter (IAS, PPO, 10-s Trial, 1-min Trial, 5min-Trial) auf signifikante bivariate Korrelationen mit der Rennzeit der jeweiligen Untersuchungskohorte und der z-transformierten Rennzeit geprüft. Die Ergebnisse wurden als univariable lineare Regressionsmodelle dargestellt.

Variationen der Zusammenhänge zwischen den Laborparametern und den einzelnen Rennen (Fragestellung 1b) wurden an Hand der Korrelationskoeffizienten und der Höhe ihrer Ausprägung nach den Beurteilungskriterien von Hopkins (74) evaluiert.

Zur Beantwortung der Fragestellung 2 wurde unter Verwendung einer „backward multiple stepwise regression“ der Anteil der Varianzaufklärung der Rennzeit 3 bzw. aller drei Rennzeiten (z-Rennzeit) durch die Labor- und anthropometrischen Parameter (siehe Tabelle 3) berechnet. Je mehr erklärende Variablen in das Modell aufgenommen werden, desto größer wird das Bestimmtheitsmaß r^2 (75). Um die Anzahl der erklärenden Variablen im Regressionsmodell zu berücksichtigen, wurde die korrigierte Version (adjustiertes r^2) zur Auswertung verwendet. Hierfür fanden die absoluten Labormessgrößen (IAS, PPO, 10-s Trial 1-min Trial, 5-min Trial) und die anthropometrischen Parameter (Körpergröße, Körpergewicht, Body Mass Index, Körperfettanteil, Alter) Berücksichtigung. Ein p-Wert von $p = 0,10$ wurde als Wahrscheinlichkeit gewählt, dass Parameter die Regression verlassen, und ein p-Wert von $p = 0,05$, dass die Parameter in die schrittweise multiple Regression aufgenommen werden. Die Leave-One-Out Kreuzvalidierung wurde berechnet, um die Genauigkeit der Regressionsmodelle in der Praxis abzuschätzen.

Für Fragestellung 3 fanden die Probanden in der Datenanalyse Berücksichtigung, die das dritte Validierungsrennen innerhalb des 5-wöchigen Untersuchungszeitraums absolvierten. Für jedes Geschlecht wurden bivariate Korrelationen zwischen der Rennzeit 3 und den Laborparametern berechnet. Für Männer und Frauen wurden die Ausprägungen der Korrelationen zwischen Laborparameter und Rennzeit an Hand von Hopkins (74) beurteilt und hiermit Unterschiede zwischen den Geschlechtern dargestellt.

Für die in Fragestellung 4 beinhaltete Thematik der Laktatanalyse (siehe Tabelle 3) wurden an Hand der gemessenen Laktatkonzentrationen vor und

nach den Time-Trials bzw. Stufentest, die absoluten Laktatveränderungen und die prozentualen Laktatveränderungen (Laktatveränderung dividiert durch die Ausgangskonzentration) in den Regenerationsphasen bestimmt. Zur Beantwortung der Fragestellung 4a wurden die Laktatkonzentrationen deskriptiv ausgewertet und dargestellt, um das Verhalten der Laktatkonzentration während der modifizierten Leistungsdiagnostik detailliert zu beschreiben. Für Fragestellung 4b wurden Kohorte 3 und die z-Rennzeit als Zielgrößen zur Berechnung von Korrelationen mit den Laktatkonzentrationsveränderungen während der Regenerationsphasen berücksichtigt.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse zur Fragestellung 1: Zusammenhänge zwischen Laborparametern und den einzelnen Validierungsrennen

- a) *Korrelieren die in der überarbeiteten mountainbike-spezifischen Leistungsdiagnostik erhobenen Laborparameter mit den Rennzeiten der drei Validierungsrennen?*
- b) *Variieren diese Zusammenhänge in Abhängigkeit vom jeweils untersuchten MTB-Rennen?*

Tabelle 5 zeigt die Werte der validierten Laborparameter, die zum Körpergewicht relativiert sind. Die Korrelationen zwischen diesen Parametern und den Rennzeiten der Validierungsrennen sind in Tabelle 6 dargestellt. Entsprechende lineare Regressionsmodelle präsentiert Abbildung 16.

Tabelle 5: Laborparameter relativiert zum Körpergewicht aller Probanden und für jedes Rennen (MW \pm SD)

	Gesamtes Kollektiv (n=49)	Rennen 1 (n=15)	Rennen 2 (n=9)	Rennen 3 (n=25)
IAS [W/kg]	3,08 \pm 0,40	2,95 \pm 0,34	3,06 \pm 0,51	3,17 \pm 0,38
PPO [W/kg]	4,58 \pm 0,51	4,39 \pm 0,45	4,40 \pm 0,65	4,76 \pm 0,45
10-s Trial [W/kg]	10,57 \pm 1,68	10,45 \pm 1,78	10,17 \pm 1,57	10,79 \pm 1,69
1-min Trial [W/kg]	6,12 \pm 0,90	5,69 \pm 0,93	6,03 \pm 0,81	6,41 \pm 0,84
5-min Trial [W/kg]	3,78 \pm 0,52	3,54 \pm 0,43	3,68 \pm 0,46	3,95 \pm 0,54

Bis auf den 10-s Trial ($r = -0,59$) in Rennen 2 zeigten alle untersuchten Messgrößen signifikante Korrelationen mit der Rennzeit in den Rennen 1, 2 und 3: IAS ($r = -0,71^*$; $-0,67^*$; $-0,68^*$), PPO ($r = -0,77^*$; $-0,73^*$; $-0,76^*$), 10-s Trial ($r = -0,72^*$; $-0,59$; $-0,61^*$), 1-min Trial ($r = -0,85^*$; $-0,84^*$; $-0,82^*$) und 5-min Trial ($r = -0,57^*$; $-0,85^*$; $-0,76^*$). Am stärksten korreliert somit in Rennen 1 die Leistung im 1-minütigen Intervall, gefolgt von der Abbruchleistung im Stufentest (PPO) und der Leistung im 10-sekündigen Intervall. Für das zweite Rennen ergaben die 5-minütige und die 1-minütige Leistung den stärksten

Zusammenhang mit der Rennzeit. Stärkste Korrelation in Rennen 3 zeigte die Leistung über 1 Minute. Abbruchleistung und Leistung über 5 Minuten zeigten ebenfalls einen sehr großen Zusammenhang mit Rennzeit 3.

Am konstantesten waren die Korrelationskoeffizienten der Laborparameter von 1-min Trial ($r = -0,82$ bis $-0,85$), IAS ($r = -0,67$ bis $-0,71$) und PPO ($r = -0,73$ bis $-0,77$). Die Korrelationskoeffizienten der Laborparameter 10-s Trial ($r = -0,59$ bis $-0,72$) und 5-min Trial ($r = -0,57$ bis $-0,85$) zeigten hingegen, abhängig vom untersuchten Rennen, größere Variationen.

Die Zusammenhänge zwischen den Laborgrößen und der z-Rennzeit waren im Vergleich zur Analyse eines Rennens geringer. Sie waren jedoch allesamt signifikant. 1-min Trial ($r = -0,78$) und PPO ($r = -0,70$) zeigten weiterhin sehr große Zusammenhänge mit der Rennzeit. Ein großer Zusammenhang war beim 5-min Trial ($r = -0,67$), IAS ($r = -0,66$) und 10-s Trial ($r = -0,63$) nachweisbar.

Tabelle 6: Korrelationen zwischen Laborparameter und Rennzeit 1, 2 und 3 (95% KI)

	IAS [W/kg]	PPO [W/kg]	10-s Trial [W/kg]	1-min Trial [W/kg]	5-min Trial [W/kg]
Rennzeit 1 (90 km) n = 15	$r = -0,71$; p = 0,0032* KI:-0,89; -0,30	$r = -0,77$; p = 0,0008* KI:-0,92; -0,42	$r = -0,72$; p = 0,0027* KI:-0,90; -0,32	$r = -0,85$; p < 0,0001* KI:-0,95; -0,61	$r = -0,57$; p = 0,0274* KI:-0,84; -0,08
Rennzeit 2 (56 km) n = 9	$r = -0,67$; p = 0,0475* KI:-0,92; -0,01	$r = -0,73$; p = 0,0255* KI:-0,94; -0,13	$r = -0,59$; p = 0,0929 KI:-0,90; 0,12	$r = -0,84$; p = 0,0046* KI:-0,97; -0,40	$r = -0,85$; p = 0,0037* KI:-0,97; -0,43
Rennzeit 3 (83 km) n = 25	$r = -0,68$; p = 0,0002* KI:-0,85; -0,39	$r = -0,76$; p < 0,0001* KI:-0,89; -0,53	$r = -0,61$; p = 0,0013* KI:-0,81; -0,28	$r = -0,82$; p < 0,0001* KI:-0,92; -0,63	$r = -0,76$; p < 0,0001* KI:-0,89; -0,53
Z-Rennzeit n = 49	$r = -0,66$; p < 0,0001* KI:-0,79; -0,46	$r = -0,70$; p < 0,0001* KI:-0,82; -0,46	$r = -0,63$; p = 0,0027* KI:-0,78; -0,43	$r = -0,78$; p < 0,0001* KI:-0,87; -0,64	$r = -0,67$; p < 0,0001* KI:-0,80; -0,48

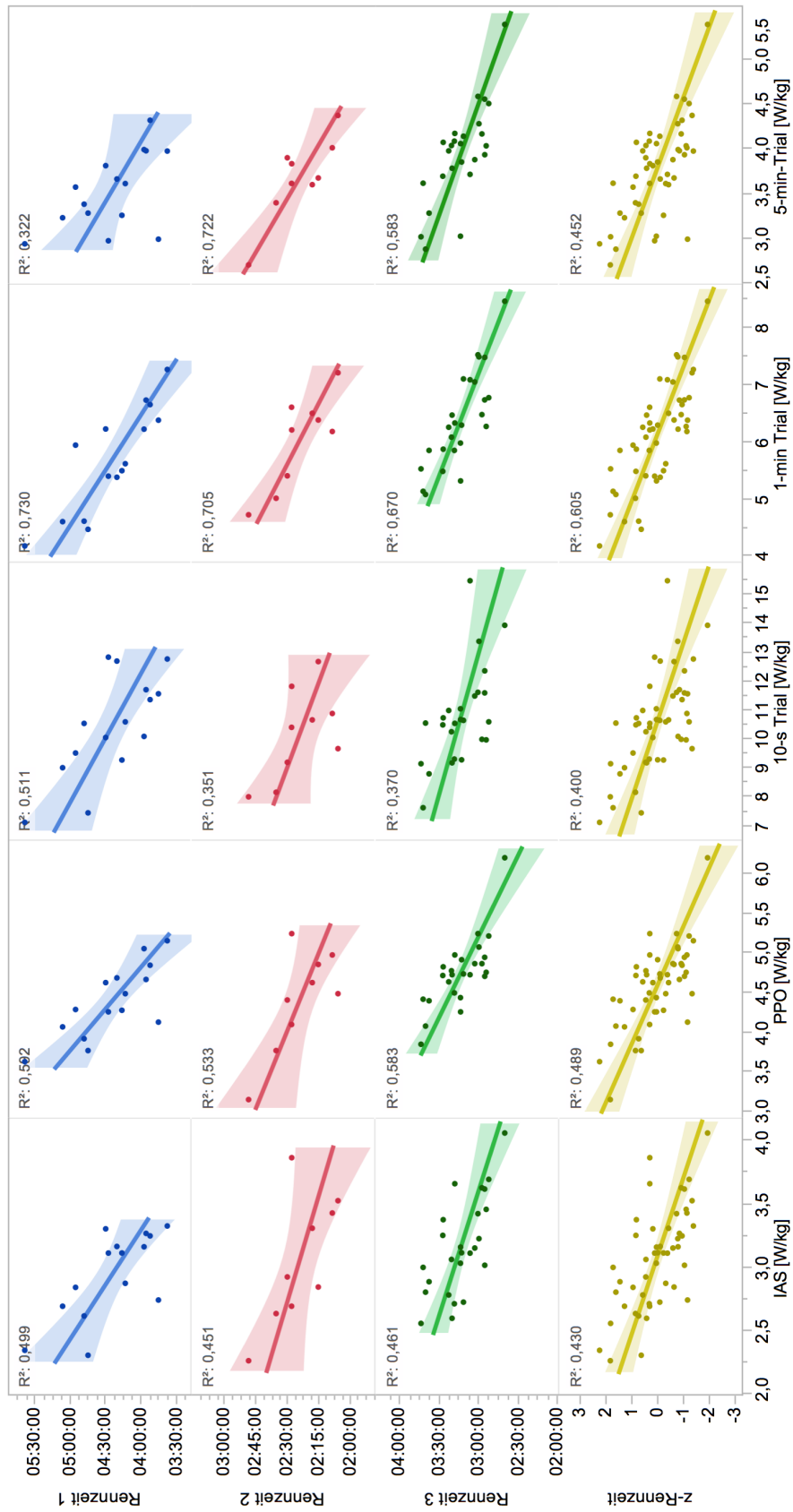


Abbildung 16: Lineare Regressionsmodelle (r^2) der Laborparameter und Rennzeit 1, 2, 3 und über alle Rennen (z-Rennzeit)

Durch univariate lineare Regressionsmodelle ließen sich 67% der Varianz der Rennzeit des Rennens 3 und 60% der Varianz der z-Rennzeit erklären. Die traditionellen leistungsdiagnostischen Parameter IAS und PPO erklärten 46,1% bzw. 58,3% der Varianz der Rennzeit 3 und 43,0% bzw. 48,9% der z-Rennzeit (siehe Abbildung 16)

Die zusammenfassende Antwort auf Fragestellung 1a und 1b lautet demnach, dass bis auf den 10-s Trial in Rennen 2 alle untersuchten Laborgrößen signifikante Korrelationen mit den jeweiligen Rennzeiten haben. Hierbei zeigten sich trotz unterschiedlicher Charakteristika der XCM-Rennen bei den Laborparametern 1-min Trial (sehr großer Zusammenhang: $r = -0,82$ bis $-0,85$), IAS (großer bis sehr großer Zusammenhang: $r = -0,67$ bis $-0,71$) und PPO (sehr großer Zusammenhang: $r = -0,73$ bis $-0,77$) keine variierenden Zusammenhänge. Die großen bis sehr großen Zusammenhänge des 10-s Trials ($r = -0,59$ bis $-0,72$) bzw. des 5-min Trials ($r = -0,57$ bis $-0,85$) mit den jeweiligen Rennzeiten zeigten hingegen größere Variationen.

3.2 Ergebnisse zur Fragestellung 2: Multiple Regression der Laborparameter zur Varianzanalyse der Rennzeiten

Wie exakt lässt sich die Varianz der Rennzeit eines Rennens bzw. mehrerer Rennen durch Laborparameter und anthropometrische Parameter in multiplen Regressionsmodellen bestimmen?

Abbildung 17 und Tabelle 7 zeigen die Ergebnisse der schrittweisen multiplen Regressionsberechnung zwischen den absoluten Labor- und anthropometrischen Parametern und Rennzeit 3 bzw. z-Rennzeit. Die Prädiktoren, die gemeinsam den größten Anteil der Varianz der Rennzeit von Rennen 3 erklärten, sind die Leistung im 1-min Trial [W] (Std. beta = -0,882), das Körpergewicht (Std. beta = 0,635) und die IAS [W] (Std. beta = 0,582). Hiermit können 87% der Varianz der Rennzeit 3 erklärt werden (adjustiertes $r^2 = 0,868$). Der Standardfehler der Schätzung (SE) betrug 10,19 Minuten. Das multiple Regressionsmodell für die z-transformierte Rennzeit erklärt 76% der Varianz der Rennzeit (adjustiertes $r^2 = 0,757$). Hier sind die Parameter 1-min Trial (Std. beta = -0,783), Körpergewicht (Std. beta = 0,581) und IAS (Std. beta = -0,460) abermals die Prädiktoren, die am besten die Varianz der Rennzeit erklären. In beiden Modellen hat die Leistung im 1-minütigen Intervall die höchste prädiktive Wertigkeit, gefolgt vom Körpergewicht der Probanden und anschließend der Leistung an der individuellen anaeroben Schwelle. Beide Modelle sind signifikant ($p < 0,0001$).

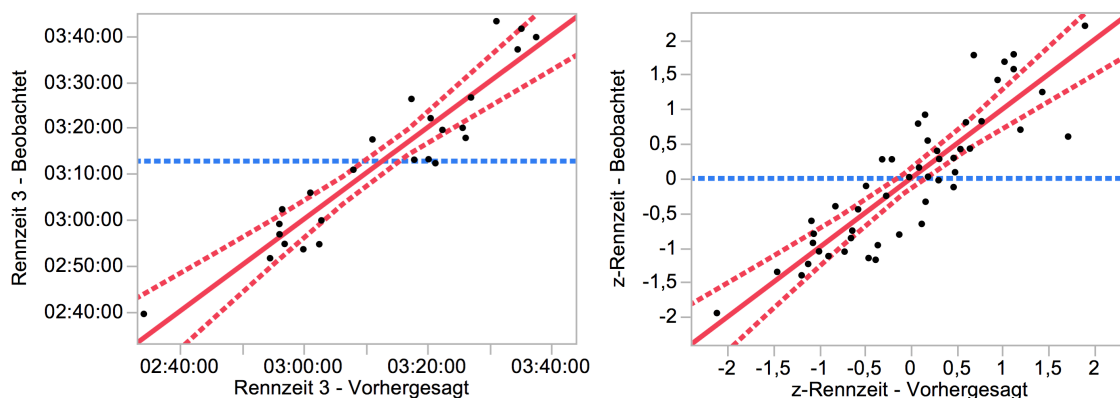


Abbildung 17: Multiple Regressionsmodelle für Rennzeit 3 und z-Rennzeit

Tabelle 7: Ergebnisse der Regressionsmodelle von Rennen 3 und z-Rennzeit

	Step	r^2 (adjustiert)	p	Schätzer	Standard- fehler	Standardisierte Koeffizienten (beta)
Rennzeit 3 n = 25	Konstante	0,868 ¹	<0,0001	235,539	10,192	
	1-min Trial		<0,0001	-0,167	0,024	-0,882
	Körpergewicht		<0,0001	1,217	0,244	0,635
	IAS		0,0002	-0,239	0,052	-0,582
z- Rennzeit n = 49	Konstante	0,757 ²	<0,0001	2,356	0,499	
	1-min Trial		<0,0001	-0,009	0,001	-0,783
	Körpergewicht		<0,0001	0,055	0,009	0,581
	IAS		0,0008	-0,011	0,003	-0,460

¹mit Leave-One-Out Kreuzvalidierung $r^2 = 0,835$

²mit Leave-One-Out Kreuzvalidierung $r^2 = 0,641$

Die Residuen des multiplen Regressionsmodells der Rennzeit 3 und z-Rennzeit sind in Abbildung 18 bzw. Abbildung 19 dargestellt. Sie zeigen, dass die Residuen beider Modelle normalverteilt sind und somit sowohl für langsamere als auch für schnellere Fahrer die Rennzeit gleich gut vorhergesagt werden konnte. Die Residuen der Vorhersage der Rennzeit 3 durch die drei Prädiktoren wichen zwischen -9,07 und 12,02 Minuten von der beobachteten Rennzeit ab. Im Durchschnitt war der Betrag der Residuen 4,92 Minuten mit einer Standardabweichung von 2,93 Minuten. Demnach hatten die Rennvorhersagen im Durchschnitt eine Abweichung von der tatsächlichen Rennzeit um $4,92 \pm 2,93$ Minuten.

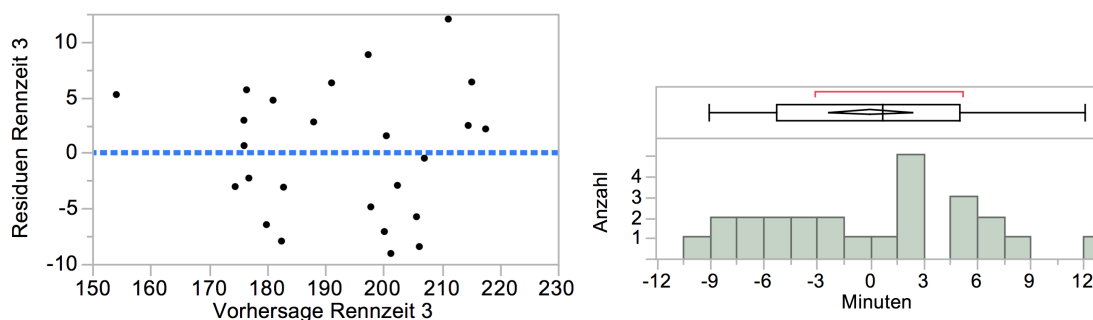


Abbildung 18: Residuen (in Minuten) des multiplen Regressionsmodells für Rennen 3

Die durchschnittliche beobachtete Rennzeit des Rennens 3 betrug 192,7 Minuten. Zur Analyse des Einflusses der Unterschiede zwischen beobachteter und vorhergesagter Rennzeit auf die Platzierung der Fahrer wurden den Rennzeiten der Probanden Ränge (1 bis 25) zugeordnet. Die Platzierungen in den beiden Rennen wichen im Durchschnitt um $2,2 \pm 1,9$ Plätze ab. Sowohl im beobachteten als auch im vorhergesagten Rennen waren die beiden bestplatzierten Fahrer die gleichen.

Die Funktion zur Vorhersage der Rennzeit 3 (in Minuten) lautete:

$$\text{Rennzeit 3 [min]} = -0,17 \cdot 1\text{-min Trial} + 1,22 \cdot \text{Körpergewicht} + -0,24 \cdot \text{IAS} + 235,54 \text{ Minuten}$$

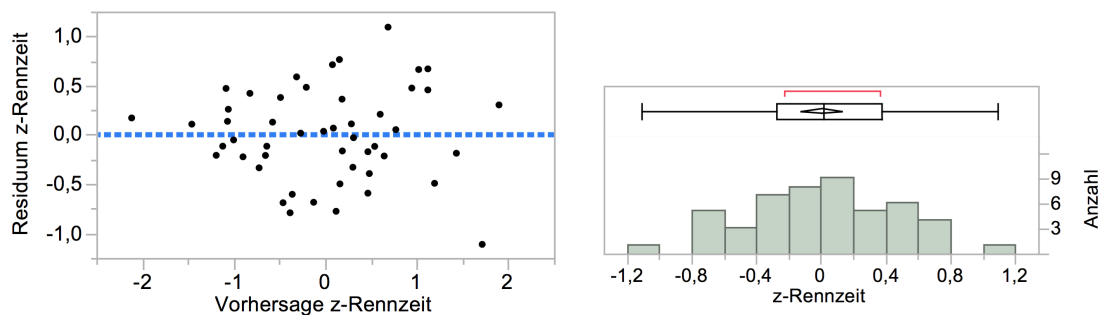


Abbildung 19: Residuen des multiplen Regressionsmodells aller Rennzeiten

Die Funktion zur Vorhersage aller Rennen lautete:

$$z\text{-Rennzeit [min]} = -0,0086 \cdot 1\text{-min Trial} + 0,0547 \cdot \text{Körpergewicht} + -0,0114 \cdot \text{IAS} + 2,3557 \text{ Minuten}$$

Somit führten in beiden Modellen höhere Leistungen im 1-min Trial und an der individuellen anaeroben Schwelle zu einer Reduktion der vorhergesagten Rennzeit für Rennen 3. Eine Gewichtszunahme hatte eine größere Rennzeit zur Folge.

In Bezug zu Fragestellung 2 ist zu resümieren, dass mit insgesamt drei leistungsdiagnostischen und anthropometrischen Parametern die Varianz der Rennzeit eines Rennens zu 87% und die Varianz mehrerer Rennzeiten zu 76% bestimmt werden kann.

3.3 Ergebnisse zur Fragestellung 3: Geschlechtsspezifische Auswertung des 3. Validierungsrennens

Unterscheiden sich die Ausprägungen der Zusammenhangsmaße zwischen Laborparametern und der Rennzeit in Abhängigkeit der Geschlechter?

Die von Frauen und Männern erzielten Werte der einzelnen Laborparameter sind Tabelle 8 zu entnehmen. Die Ergebnisse in Abbildung 20 zeigen die univariaten linearen Regressionsmodelle zwischen den Laborparametern und den Rennzeiten des dritten Validierungsrennens für männliche und weibliche Probanden separat. Korrelationskoeffizienten sind in Tabelle 9 getrennt nach Geschlecht aufgelistet.

Tabelle 8: Geschlechtsspezifische Auswertung der Laborparameter

	IAS	PPO	10-s Trial	1-min Trial	5-min Trial
Weiblich [W/kg]	3,00 ± 0,22	4,51 ± 0,29	9,70 ± 1,09	5,79 ± 0,67	3,59 ± 0,39
Männlich [W/kg]	3,14 ± 0,44	4,66 ± 0,59	10,83 ± 1,75	6,41 ± 0,91	3,95 ± 0,56

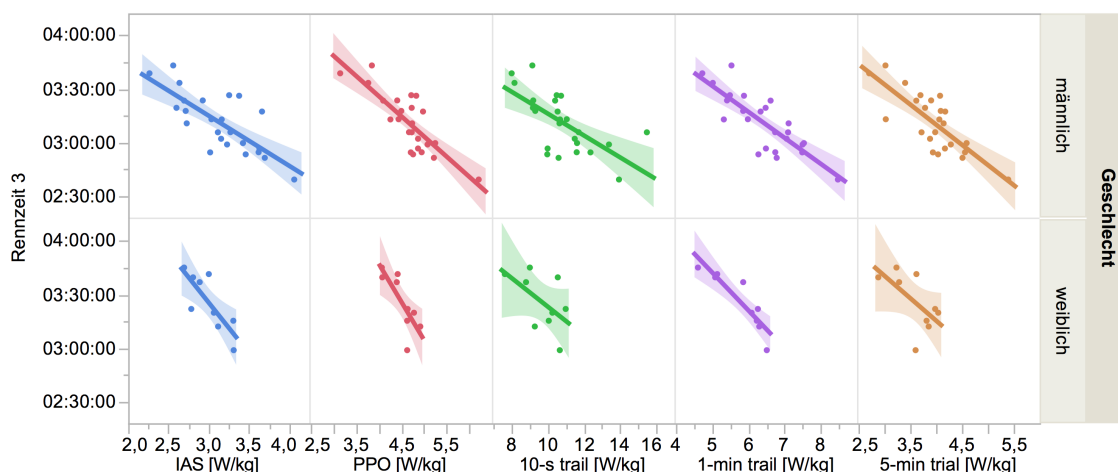


Abbildung 20: Geschlechtsspezifische Darstellung der univariaten linearen Regressionsmodelle zwischen Labor und Rennen

Bei den Männern korrelierten am stärksten die relative Leistung des 1-min Trials ($r = -0,81$; $p < 0,0001$) und PPO ($r = -0,81$; $p < 0,0001$).

IAS ($r = -0,76$; $p < 0,0001$) und Leistungen über 5 Minuten ($r = -0,78$; $p < 0,0001$) zeigten sehr große Zusammenhänge mit der Rennzeit. Großen Zusammenhang wiesen Leistungen über 10 Sekunden ($r = -0,66$; $p = 0,0005$) mit Rennzeit 3 auf.

Trotz der kleinen Anzahl der Studienteilnehmerinnen zeigten sich signifikante Korrelationen. Am stärksten korrelierte der 1-min Trial. Die Leistung im 1-min Trial hatte einen fast perfekten Zusammenhang ($r = -0,90$; $p = 0,0009$) mit Rennzeit 3. Ebenfalls signifikant waren die Zusammenhänge zwischen der Rennzeit und der relativen Leistung an der individuellen anaeroben Schwelle ($r = -0,80$; $p = 0,0101$) bzw. der Abbruchleistung im Stufentest ($r = -0,79$; $p = 0,0113$). Leistungen im 10-Sekunden Intervall ($r = -0,55$; $p = 0,1231$) und im 5-Minuten Intervall ($r = -0,61$; $p = 0,0781$) wiesen einen großen, jedoch nicht signifikanten Zusammenhang mit Rennzeit 3 auf.

Tabelle 9: Geschlechtsspezifische Korrelationen zwischen Labor und Rennzeit 3 (größte Korrelationen sind unterstrichen)

	IAS [W/kg]	PPO [W/kg]	10-s Trial [W/kg]	1-min Trial [W/kg]	5-min Trial [W/kg]
Männliche Probanden	$r = -0,76$; $p < 0,0001^*$ KI:-0,89; -0,51	<u>$r = -0,81$</u> ; $p < 0,0001^*$ KI:-0,92; -0,61	$r = -0,66$; $p = 0,0005^*$ KI:-0,84; -0,34	<u>$r = -0,81$</u> ; $p < 0,0001^*$ KI:-0,92; -0,61	$r = -0,78$; $p < 0,0001^*$ KI:-0,90; -0,55
Weibliche Probanden	$r = -0,80$; $p = 0,0101^*$ KI:-0,96; -0,28	$r = -0,79$; $p = 0,0133^*$ KI:-0,95; -0,26	$r = -0,55$; $p = 0,1231$ KI:-0,89; 0,18	<u>$r = -0,90$</u> ; $p = 0,0009^*$ KI:-0,98; -0,59	$r = -0,61$; $p = 0,0781$ KI:-0,91; 0,08

Demnach unterscheiden sich die Ausprägungen der Zusammenhangsmaße zwischen Laborparametern und der Rennzeit gering. Bei den Frauen hing der 1-min Trial (fast perfekter Zusammenhang) und bei den Männern der 1-min Trial und die IAS am stärksten mit der Rennzeit zusammen (sehr große Zusammenhänge). IAS und PPO zeigten unabhängig vom Geschlecht sehr große Zusammenhänge mit der Rennzeit. Leistungen im 5-min Trial und im

10-s Trial bei männliche Probanden hatten etwas stärkere Zusammenhänge (sehr groß bzw. groß) mit der Rennzeit im Vergleich zu Frauen (groß).

3.4 Ergebnisse zur Fragestellung 4: Analyse des Laktatkonzentrationsverlaufs

- Wie verhalten sich die Laktatkonzentrationen während der Durchführung der modifizierten Leistungsdiagnostik?
- Korrelieren die Veränderungen der Laktatkonzentration während der Regenerationsphasen der modifizierten Leistungsdiagnostik mit der Rennzeit der Athleten?

In Abbildung 21 und Tabelle 10 sind die durchschnittlichen Laktatkonzentrationen zum jeweiligen Zeitpunkt der Laktatabnahme während der Leistungsdiagnostik dargestellt. Bei Abbildung 21 ist zu beachten, dass die Laktatkonzentrationen im Stufentest die durchschnittlichen Konzentrationen zum Zeitpunkt der jeweiligen Stufe waren. Die Werte der höheren Stufe beruhen somit auf einer geringeren Zahl von Probanden, da der Test, abhängig von der Ausdauerleistung der Fahrer, unterschiedlich lang gefahren wurde.

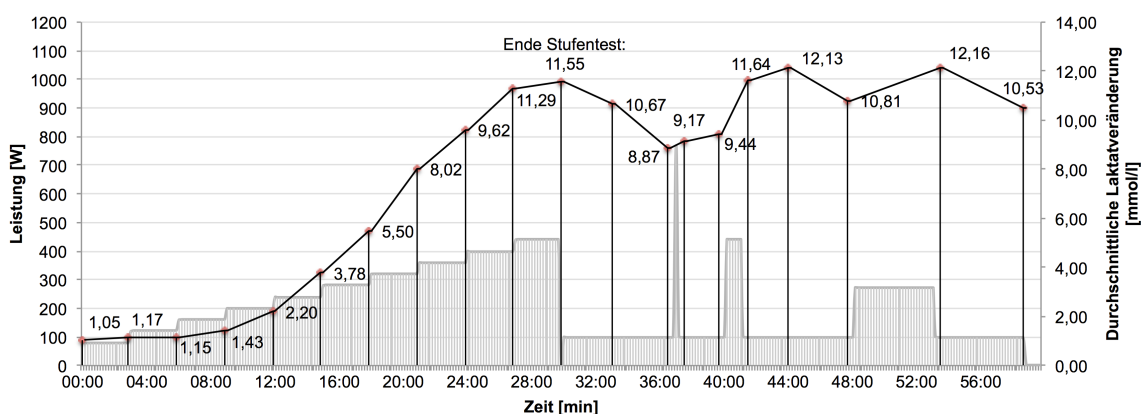


Abbildung 21: Durchschnittlicher Laktatverlauf der Probanden während der Leistungsdiagnostik

Nach bereits erfolgten 3-minütigen Regenerationen wurden sowohl nach dem Stufentest als auch nach dem 10-s Trial und dem 1-min Trial durchschnittlich höhere Laktatkonzentrationen gemessen als kurz nach der vorherigen Belastung. Nach weiterer Regenerationszeit fiel durchschnittlich in den

7-minütigen Regenerationsphasen die Laktatkonzentration ab, wobei 7 Minuten nach dem Stufentest die Laktatkonzentration weiterhin bei $8,87 \pm 2,6$ mmol/l bzw. 7 Minuten nach dem 1-min Trial bei $10,81 \pm 3,1$ mmol/l lag. Im Durchschnitt ($12,16 \pm 2,8$ mmol/l) zeigte sich die höchste Laktatkonzentration nach dem 5-min Trial, also am Belastungsende der Leistungsdiagnostik. Vor Beginn des ersten Trials lag die Laktatkonzentration durchschnittlich bei $8,87 \pm 2,6$ mmol/l. Laktatkonzentrationszunahmen zwischen den Messzeitpunkten 20 s vor und 30 s nach dem 10-s, 1-min und 5-min Trial waren $0,41 \pm 0,9$ mmol/l, $2,20 \pm 0,9$ mmol/l bzw. $1,35 \pm 1,6$ mmol/l. Die maximale Blutlaktatkonzentration der Fahrer war durchschnittlich $13,04 \pm 2,6$ mmol/l (Minimum-Maximum: 8,42 – 20,13 mmol/l).

Tabelle 10: Absolute Laktatkonzentrationen während der Leistungsdiagnostik

	Stufentest		Time Trial						
	IAS	PPO	vor 10-s	nach 10-s	vor 1-min	nach 1-min	vor 5-min	nach 5-min	Ende
MW	2,35	11,55	8,87	9,17	9,44	11,64	10,81	12,16	10,53
SD	0,4	2,1	2,6	2,5	2,4	2,3	3,1	2,8	2,7
Min-	1,68-	6,70-	3,04-	4,05-	4,09-	7,37-	5,5-	7,23-	6,69-
Max	3,36	15,66	14,97	14,99	15,99	17,81	18,41	19,25	18,24

Insgesamt zeigten sich große interindividuelle Unterschiede in den gemessenen Laktatkonzentrationsverläufen (siehe Tabelle 10) sowie in der Laktatveränderung durch einen Trial und in den Regenerationsphasen (siehe Tabelle 11). Die Laktatkonzentrationen in den Regenerationsphasen mit 7-minütiger Dauer, zwischen Stufentest und 10-s Trial ($-2,58 \pm 1,4$ mmol/l) bzw. zwischen 1-min Trial und 5-min Trial ($-0,83 \pm 1,5$ mmol/l) fielen im Durchschnitt ab. Dieser Abfall war hingegen in der 3-minütigen Regenerationsphase zwischen 10-s und 1-min Trial nicht nachzuweisen.

Tabelle 11: Laktatkonzentrationsveränderungen vor und nach den Regenerationsphasen

Laktatkonzentrationsveränderungen							
in den Regenerationsphasen				durch die Trials			
	Stufentest bis 10-s Trial	10-s bis 1-min Trial	1-min bis 5-min Trial	5-min Trial bis Ende	10-s Trial	1-min Trial	5-min Trial
MW	-2,58	0,29	-0,83	-1,63	0,41	2,20	1,35
SD	1,4	0,7	1,5	1,1	0,9	0,9	1,6
Min;	-5,2;	-0,86;	-3,7;	-6,18;	-1,5;	-0,1;	-1,7;
Max	2,2	1,94	3,4	0,82	4,8	6,12	4,9

Tabelle 12: Korrelationen zwischen Laktatveränderungen in den Regenerationsphasen und Rennzeit 3 bzw. z-Rennzeit

	Stufentest bis 10-s Trial		10-s bis 1-min Trial		1-min bis 5-min Trial	
	Laktatabfall		Laktatabfall		Laktatabfall	
	Absolut	Prozentual	Absolut	Prozentual	Absolut	Prozentual
z-Rennzeit	$r_s = -0,36$; $p = 0,0115$	$r = -0,32$; $p = 0,0267^*$	$r = 0,25$; $p = 0,0894$	$r_s = 0,26$; $p = 0,0672$	$r = -0,42$; $p = 0,0025^*$	$r = -0,43$; $p = 0,0023^*$
Rennzeit 3	$r = -0,34$; $p = 0,0267^*$	$r = -0,33$; $p = 0,0990$	$r = 0,35$; $p = 0,0977$	$r = 0,39$; $p = 0,0977$	$r = -0,47$; $p = 0,0178^*$	$r = -0,46$; $p = 0,0178^*$

Die Zusammenhänge zwischen der Laktatkonzentrationsveränderung in den Regenerationsphasen und der z-Rennzeit, bzw. der Rennzeit des dritten Validierungsrennens ($n = 25$) divergierten (siehe Tabelle 12): Die Zusammenhänge erwiesen sich hierbei von kleiner bis moderater Stärke. Dabei war es fast ohne Einfluss, ob der Laktatkonzentrationsabfall zur Ausgangskonzentration in Relation stand oder nicht. Die beobachteten Zusammenhänge galten sowohl für die Berechnung der Daten eines einzelnen Rennens (hier wegen der größten Probandenzahl Rennzeit 3) als auch für die Berechnung der Daten aller drei Rennen (z-Rennzeit).

Die Korrelationskoeffizienten nahmen sowohl negative als auch positive Werte an. Negative Korrelationskoeffizienten bedeuten, dass bei langsameren Fahrern die Laktatkonzentration stärker abfiel. Positive Werte zeigen dementsprechend, dass dies bei schnelleren Fahrern der Fall war. Bis auf die Regenerationsphase zwischen 10-s Trial und 1-min Trial waren die Korrelationskoeffizienten negativ.

In der vorliegenden Untersuchung konnten somit keine einheitlichen Zusammenhänge zwischen den Veränderungen der Laktatkonzentration während der Regenerationsphasen und der Rennzeit nachgewiesen werden. Die größten Zusammenhänge zeigten moderate Stärke.

4 Diskussion

In den nachfolgenden Abschnitten der Diskussion werden die empirischen Daten zu Fragestellungen 1 bis 4 der Studie 2 des Dissertationsvorhabens diskutiert und diese sowohl zu der vorausgehenden Studie 1 (53-55) dieses Forschungsvorhabens als auch zu Daten anderer Autoren aus der Literatur in Bezug gebracht. Anschließend werden die Methodik und die Limitationen der Dissertation (Studie 2) diskutiert. Des Weiteren ist dargestellt, welchen Bezug zukünftige Forschungsthematiken zu den vorliegenden Dissertationsergebnissen besitzen können. Hierbei wird auch Studie 1 des Forschungsvorhabens in den Kontext eingeordnet. Zum Abschluss von Kapitel 4 ist beschrieben, wie die Ergebnisse in der Praxis Anwendung finden können.

4.1 Diskussion zur Fragestellung 1: Zusammenhänge zwischen Laborparametern und den einzelnen Validierungsrennen

- a) *Korrelieren die in der überarbeiteten mountainbike-spezifischen Leistungsdiagnostik erhobenen Laborparameter mit den Rennzeiten der drei Validierungsrennen?*
- b) *Variieren diese Zusammenhänge in Abhängigkeit vom jeweils untersuchten MTB-Rennens?*

Die vorliegende Auswertung zeigt, dass mit der neuen Leistungsdiagnostik eine Wettkampfprognose präziser als mit den bisherigen Verfahren möglich ist. Durch die Erfassung der traditionellen Laborparameter und der zusätzlichen Laborparameter durch die erweiterte Leistungsdiagnostik lässt sich ein umfangreicheres Spektrum des physiologischen Anforderungsprofils im Mountainbike-Sport erfassen. Es können hierbei sowohl aerobe Belastungsgrößen als auch hoch intensive Intervalleleistungen berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse zur Fragestellung 1 zeigen, dass die erhobenen Laborparameter (IAS und PPO), die im herkömmlichen Stufentest erfasst

werden, signifikant mit der Wettkampfleistung der Fahrer korrelierten. Es erklärten die individuelle anaerobe Schwelle 45-50% ($r = -0,67$ bis $-0,71$) und die Abbruchleistung im Stufentest 53-59% ($r = -0,73$ bis $-0,77$) der Varianz der einzelnen Rennzeiten. Die Leistung vor allem im 1-min Trial stand noch enger in Beziehung zu der Rennzeit und erklärte am besten die Varianz der Rennzeiten mit 67 bis 73% ($r = -0,79$ bis $-0,84$). Die drei Variablen, also individuelle anaerobe Schwelle, Abbruchleistung im Stufentest und 1-min Trial, zeigten demnach in allen drei Rennen, obwohl diese unterschiedliche Charakteristika aufwiesen, sehr konstante und große bis sehr große Zusammenhänge mit der jeweiligen Rennzeit des Fahrers. Größere rennabhängige Unterschiede wurden für die Leistungen im 10-s Trial (35-51%) und im 5-min Trial (32-72%) festgestellt.

Tabelle 13: Übersicht und Vergleich der Korrelationskoeffizienten aerober Laborparameter relativiert zum Körpergewicht mit Rennergebnissen von bisher veröffentlichten Studien

Studie (Jahr)	n	Zielgröße	VO ₂ max	PPO	Relative Leistung an		
					OBLA	IAS	Laktatschwellen
Impellizzeri et al. (2)	15	Rennzeit	-0,46	-0,48			
Costa und De-Oliveira (44)	6	Platzierung	-0,50	-0,88			-0,32 (76)
			-0,30	-0,88			-0,78 (76)
Impellizzeri et al. (11)	13	Rennzeit	-0,62	-0,76	-0,89		-0,86 (77)
Prins et al. (46)	8	Rennzeit	-0,59	-0,83	-0,64		
		Feldtestzeit	-0,55	-0,83	-0,67		
Gregory et al. (13)	11	Geschwindigkeit im Feldtest	0,80	0,93			0,78 (13)
Miller et al. (4)	5	Durchschnittliche Rundenzeit			0,89		
Müller et al. (78)	13	Weltranglistenpunkte	0,41	0,76			0,67 (79)
				0,49			
Studie 1:	10	Feldtestleistung	0,85	0,92			0,70
Ahrend et al. (55)		Feldtestzeit	-0,86	-0,79			-0,74

Bisher veröffentlichte Studien zur Leistungsdiagnostik im Mountainbike-Sport und deren Ergebnisse sind in Tabelle 13 zusammengefasst. Die Mehrzahl derselben untersuchte die Zusammenhänge der traditionellen Laborparameter mit der Wettkampfleistung, die unter anderem auch in der hier vorliegenden Arbeit verwendet wurden. Nahezu identisch waren die Korrelationskoeffizienten

($r = 0,70$) aus Studie 1 des Forschungsvorhabens (55). Ebenfalls vergleichbare Korrelationen zwischen der Rennzeit und der OBLA, der Leistung bei 4 mmol/l Laktatkonzentration im Blut (27), zeigten Prins et al. (46) ($r = -0,64$). Sie untersuchten acht nationale Athleten u.a. in einem Stufentest, welcher bei einer Intensität von 3,3 W pro kg Körpergewicht begann. Die Intensität wurde alle 2,5 Minuten um 30 W gesteigert. Zusammenhänge zwischen der Rennzeit und dem Lactate Threshold nach Hagberg und Coyle (77) ($r = -0,86$), bzw. der OBLA ($r = -0,89$) korrelierten bei Impellizzeri et al. (11) hingegen stärker. Hier wurden 13 nationale Athleten mit einem 100/40/3-Protokoll, also 100 Watt Startleistung, die sich alle 3 Minuten um 40 Watt erhöht, untersucht. Die Variabilität der Rennzeit der beiden Cross-Country Rennen (32 km (46) bzw. 31 km (11)) in diesen Studien waren ähnlich und weniger ausgeprägt als in der vorliegenden Arbeit. Die OBLA von fünf gut trainierten MTB-Fahrern korrelierte nach einem Konferenzabstract von Miller et al. (4) ebenfalls stark mit der Rennzeit ($r = 0,89$). In Costa und De-Oliveira (44) wurden die erhobenen physiologischen Variablen u.a. eines 100/30/3-Protokolls von sechs nationalen Athleten an den erreichten Rangpositionen von zwei Rennen validiert. Die Leistung an der IAS korrelierte nicht signifikant ($r = 0,78$, bzw. $r = -0,32$) mit der erreichten Rennposition.

Die Abbruchleistung des Stufentests zeigte in Studie 1 (55) den stärksten Zusammenhang mit der gemessenen Leistung im Feldtest ($r = 0,92$). Gregory et al. (13) fanden vergleichbare Zusammenhänge ($r = 0,93$) zwischen der durchschnittlichen Renngeschwindigkeit und der Abbruchleistung von elf Fahrern. Auch die in Costa und De-Oliveira (44) analysierten Zusammenhänge ($r = -0,88$) zwischen der finalen Rennposition und der Abbruchleistung des 100/30/3-Stufentestprotokolls waren größer als die Zusammenhänge der vorliegenden Arbeit ($r = -0,73$ bis $-0,77$). Ähnliche Zusammenhänge zwischen PPO und der Rennzeit wie in der vorliegenden Arbeit zeigten Impellizzeri et al. (11) ($r = -0,76$) und Prins et al. (46) ($r = -0,83$). Impellizzeri et al. (2) analysierten eine homogenere und leistungsstärkere Fahrergruppe von zwölf internationalen Athleten mit einem 100/25/1-Stufentestprotokoll und validierten die

Laborparameter an der Rennzeit eines 33,6 km langen Cross-Country Rennens. Die Rennzeit, die lediglich moderat mit der Abbruchleistung korrelierte ($r = -0,48$), hatte eine geringere Variabilität als in der vorliegenden Arbeit (2).

Unterschiede zwischen den einzelnen Studien können verschiedener Genese sein. So haben unterschiedliche Zielgrößen der Studien Einfluss auf die Korrelationen. Für eine valide Wettkampfprognose im Mountainbike-Sport ist die Rennzeit ein geeigneter Leistungsindikator (80, 81). Impellizzeri et al. (2) beschrieben, dass die Abbruchleistung im Stufentest in einer homogenen Probandengruppe geringer mit der Rennzeit zusammenhängt als bei einer heterogenen Fahrergruppe (2). Neben Unterschieden der Renncharakteristika (5, 44), worauf im Laufe des Kapitels näher eingegangen wird, könnte die unterschiedliche Berechnung der Laktatschwellen (OBLA (27), Lactate Threshold (77) und IAS (30)) Ursache für die variierenden Zusammenhänge sein. Auch die unterschiedlichen Stufentestprotokolle waren Faktoren, die vor allem die Abbruchleistung beeinflussten. Durch eine schnelle Steigerung der Wattleistung erreichen Fahrer nach einer kürzeren Belastungsdauer den anaeroben Belastungsbereich. Durch eine kürzere Belastungsdauer im aeroben Belastungsbereich sind Fahrer in der Lage, höhere Wattleistungen zu erzielen, da die Vorbelastung geringer ist. Auch die Laktatschwellen werden durch das Testprotokoll beeinflusst. Die Laktatkonzentration passt sich bei schneller und großer Stufensteigerung erst verzögert an die neue Leistung an. Demnach ist bei kürzeren Stufendauern und bei stärkeren Leistungssteigerung pro Stufe die Laktat-Leistungskurve nach rechts verschoben. Dies führt zu einer Fehlinterpretation im Sinne eines überschätzten Leistungsniveaus des Fahrers (23). Müller et al. (78) zeigten an 13 Probanden, dass die Weltranglisten-Punkte, die in einer Saison gewonnen wurden, unterschiedlich stark mit den Abbruchleistungen von zwei Stufentests korrelierten: Die Abbruchleistung im Stufentest mit 30 Watt und einer Steigerung alle 5 Minuten ($r = 0,76$) korrelierte stärker im Vergleich zur Abbruchleistung eines Testprotokolls mit 25 Watt Steigerung pro Minute ($r = 0,49$).

Ein weiterer traditioneller Laborparameter zur Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit ist die maximale Sauerstoffaufnahme in Relation zum Körpergewicht des Athleten (34). Wegen des großen Probandenkollektivs in vorliegender Arbeit wurde auf Grund des organisatorischen Mehraufwands und der finanziellen Mehrkosten auf eine Atemgasanalyse zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme verzichtet. Vollständigkeitshalber ist trotzdem zu erwähnen, dass die maximale Sauerstoffaufnahme in bisherigen Studien mit der Wettkampfleistung moderate (2, 44, 78, 82) große (11, 46) und sehr große (13, 55) Zusammenhänge ($r = 0,30$ bis $r = 0,86$) zeigte. Die Korrelationen in der Studie 1 des vorliegenden Forschungsvorhabens (55) waren die stärksten ($r_{\text{Rennzeit}} = -0,85$ bzw. $r_{\text{Leistung}} = -0,86$).

Neben traditionellen Parametern des Stufentests wurden durch das neue Testprotokoll Daten über die maximale Leistungsfähigkeit in Intervallen mit einer Dauer von 10 s, 1 min und 5 min erhoben, um auch hochintensive Belastungsintervalle, die typisch für die Sportart sind (5, 8, 49), abzudecken. Die Leistung im 1-minütigen Intervall korrelierte am stärksten mit den Rennzeiten der Mountainbike-Marathon-Rennen ($r = 0,82$ bis $0,85$). Somit ist dieser Parameter der wichtigste Prädiktor zur Rennzeitprognose der vorliegenden Arbeit.

Bisher veröffentlichte Studien (siehe Tabelle 14) versuchten ebenfalls mittels alternativer Testprotokolle die Vorhersage der Rennzeiten zu präzisieren (siehe Tabelle 14). Costa und De-Oliveira (44) führten 30 Minuten vor dem oben beschriebenen Stufentest einen 30-sekündigen Wingate-Test durch. Die erzielte durchschnittliche Leistung in Relation zum Körpergewicht korrelierte nicht signifikant ($r = -0,29$ bzw. $r = -0,12$) mit den finalen Rennpositionen in zwei Cross-Country-Rennen. Die zum Körpergewicht relativierte Maximalleistung in diesem Test, die vergleichbar mit der PeakPower des 10-s Trials ist, korrelierte nicht ($r = -0,03$) mit dem Rennergebnis der beiden Validierungsrennen. Das Probandenkollektiv dieser Studie bestand jedoch lediglich aus 6 Fahrern.

Tabelle 14: Übersicht und Vergleich der Korrelationskoeffizienten alternativer Laborparameter relativiert zum Körpergewicht mit Rennergebnissen aus bisher veröffentlichten Studien

Studie (Jahr)	n	Wingate-Test		Weitere Testverfahren
		PO	Mean-Power	
Costa und De-Oliveira (44)	6	-0,03	-0,29	
Inoue et al. (16)	10	-0,61	-0,33	<ul style="list-style-type: none"> • Durchschnittlicher PO von fünf Wingate-Tests: -0,79 • Durchschnittliche MeanPower von fünf Wingate-Tests: -0,63
Prins et al. (46)	12			<ul style="list-style-type: none"> • 1-km Time-Trial: 0,29 und 0,24 • Nach variablem intervallartigem Trial über 26 min mit definierter Intensität, Leistung im 1-km Time-Trial: 0,53 und 0,25 • Nach zweimaliger Fahrt eines variablen intervallartigen Trials über je 26 min mit definierter Intensität, Leistung im 1-km Time-Trial: 0,59 und 0,46
Müller et al. (78)	13			<ul style="list-style-type: none"> • 24-minütiger Time-Trial: 0,83
Miller et al. (4)	5			<ul style="list-style-type: none"> • 3-minütiger Time-Trial: 0,97
Studie 1: Ahrend et al. (55)	10			<ul style="list-style-type: none"> • Leistung in den 10-s Trials: $r = 0,20$ und $r = -0,44$ • Leistung in den 1-min Trials $r = 0,69$ und $r = -0,68$ • Leistung in dem 5-min Trial $r = 63$ und $r = -0,82$

Ausführlicher untersuchten Inoue et al. (16) die anaeroben Leistungseigenschaften. Hierzu führten 10 Probanden neben einem einzigen 30-sekündigen Wingate-Test auch einen speziellen Test durch, um das intermittierende Belastungsprofil im MTB-Sport (8) zu erfassen. Bei diesem Test fuhren die 10 Probanden fünf Wingate-Tests hintereinander mit 30-sekündigen Regenerationsphasen. Die relative durchschnittliche intermittierende Leistung über die 5 Tests korrelierte signifikant ($r = -0,63$; $p < 0,05$) mit der Rennzeit eines lokalen XCO-Rennens. Die relative Durchschnittsleistung des einzelnen Wingate-Tests korrelierte hingegen nicht signifikant ($r = -0,33$). Auch die Peak Power des einzelnen Wingate-Tests korrelierte nicht signifikant ($r = -0,61$), hingegen die durchschnittliche Peak-Leistung der fünf Wingate-Tests signifikant ($r = -0,79$; $p < 0,01$).

Einen weiteren Versuch, die Rennprognose im Mountainbike zu präzisieren, unternahmen Miller et al. (83). Sie verwendeten eine Leistungsdiagnostik im Feld, die aus zwanzig 45-sekündigen Belastungsintervallen bestand. Die 11 in

regionalen Wettkämpfen teilnehmenden Probanden hatten zwischen den Intervallen 15 s Regenerationszeit. Das Testprotokoll wurde in einem 17,4 km langen simulierten XCO-Rennen validiert. Die durchschnittliche Leistung der Intervalle zeigte sehr großen Zusammenhang mit der Feldtestleistung ($r = -0,886$). Dieser Prädiktor und die durchschnittliche Peak-Leistung der fünf Wingate-Tests bei Inoue et al. (16) korrelierten damit nahezu gleich stark mit der Zielgröße wie der 1-min Trial in der vorliegenden Arbeit. Beide Studien (16, 83) validierten allerdings die Laborgröße lediglich an einem kleinen Probandenkollektiv und in einem Rennen bzw. in einem Feldtest.

Dass die durchschnittliche Leistung über mehrere Intervalle stärker als ein einzelnes Intervall mit der Rennzeit bzw. der Wettkampfleistung korrelieren, zeigten auch die Ergebnisse der Studie 1 des Forschungsvorhabens (55). Die Leistung in einem 1-minütigen Intervall korrelierte schwächer als die durchschnittliche Leistung über zwei 1-minütige Intervalle mit der Wettkampfleistung bzw. der Rennzeit ($r_{\text{Leistung}} = 0,59$; $r_{\text{Zeit}} = -0,53$ vs. $r_{\text{Leistung}} = 0,69$; $r_{\text{Zeit}} = -0,68$). Die Ergebnisse aus Inoue et al. (16) und Studie 1 (55) wurden dahingehend interpretiert, dass die Fähigkeit, wiederholte anaerobe Leistungen erbringen zu können, im Mountainbike-Sport wichtiger ist als eine besonders gute einmalige maximale anaerobe Leistungsfähigkeit (16). Dabei spielt die Erholungsfähigkeit in den Regenerationsphasen im Mountainbike-Sport eine wichtige Rolle (2). Im Testprotokoll der vorliegenden Studie mussten die jeweiligen Trials nur einmalig gefahren werden. Sowohl durch die Vorbelastung durch den Stufentest als auch durch die Hintereinanderreihung der drei verschieden andauernden Trials entstand jedoch ein intervallartiges Belastungsprofil mit mehrmaligen Regenerationsphasen.

Prins et al. (46) definierten zur Simulation eines Cross-Country-Rennens einen intervallartigen Trial mit einer Dauer von 26 Minuten. Die Belastungsintensität orientierte sich hierbei prozentual an der Abbruchleistung und der maximalen Herzfrequenz, die in einem Stufentest gemessen wurden. In der Studie wurden

drei alternative Laborgrößen mit den Zeiten in einem Rennen und in einem Feldtest an acht XCO-Fahrern validiert: die Leistung in einem 1-km Trial ($r = 0,29$ und $0,24$), welche repräsentativ für den Startsprint war, die Leistung in einem 1-km Trial nach einem Durchgang der beschriebenen Rennsimulation ($r = 0,53$ und $0,25$) und die Leistung in einem 1-km Trial nach zwei Durchgängen der Rennsimulation ($r = 0,59$ und $0,46$). Die beiden zuletzt genannten Testungen sollten Überholmanöver und den Zielsprint darstellen. Diese Zusammenhänge waren deutlich geringer als die Zusammenhänge der ebenfalls erhobenen relativen Abbruchleistung bzw. der Leistung an der OBLA mit der Zielgröße. Trotzdem betonten Prins et al. (46) die Notwendigkeit einer alternativen Leistungsdiagnostik.

In Studie 1 des Forschungsvorhabens (55) zeigte die Leistung über ein 5-minütiges Intervall großen bis sehr großen Zusammenhang mit der Leistung im Feldtest bzw. mit der Rennzeit des Feldtests ($r_{\text{Leistung}} = 0,63$; $r_{\text{Zeit}} = -0,82$). Dies entsprach in etwa der Stärke der Zusammenhänge der zweiten Studie der hier vorliegenden Arbeit. In einem Konferenzabstract von Miller et al. (4) mit fünf Fahrern korrelierte die Leistung in einem 3-minütigen Intervall nahezu perfekt ($r = 0,97$) mit der durchschnittlichen Rundenzeit eines MTB-Rennens. Vier Runden mit einer Länge von 7,5 km wurden gefahren. Der stärkere Zusammenhang eines 3-minütigen Intervalls im Vergleich zum 5-min Trial sollte jedoch auf Grund der Probandenzahl nicht zu hoch bewertet werden. Dies zeigt sich auch darin, dass der Zusammenhang zwischen OBLA in dem Abstract von Miller et al. mit der durchschnittlichen Rundenzeit ebenfalls sehr stark ($r = 0,89$) ist.

Die Leistung über die 10-sekündigen Intervalle korrelierten in Studie 2 ($r = -0,59$ bis $-0,72$) deutlich stärker als in Studie 1 dieses Forschungsvorhabens (55) mit dem Rennresultat ($r_{\text{Leistung}} = 0,20$; $r_{\text{Zeit}} = -0,44$).

Zwar konnten Inoue et al. (16) und Miller et al. (83) mit der Erstellung eines alternativen Testprotokolls einen Laborparameter finden, der vergleichbar

suffizient mit dem 1-min Trial die Wettkampfleistung eines Rennens vorhersagen kann. Die einschlägigen Laborparameter wurden lediglich an einem kleinen Probandenkollektiv (10 bzw. 11 Fahrer) und in einem Rennen bzw. in einem Feldtest validiert. Auch die anderen genannten Studien zu mountainbike-spezifischen Analysen validierten die Laborgrößen mit den Rennresultaten (durchschnittliche Geschwindigkeit, Runden und Rennzeiten) eines Rennens (2, 11, 16, 46, 83), in einer Studie an zwei Rennen (44) und in einer weiteren an Hand der Weltranglistenpunkte einer Saison (78). Wie auch bei den alternativen Laborgrößen 10-s Trial und 5-min Trial der vorliegenden Arbeit unterliegt die Zuverlässigkeit der Rennprognose stark verschiedenen untersuchungsspezifischen Einflussgrößen. Solche Einflussfaktoren sind u.a. die Renncharakteristika und die Zusammensetzung des Probandenkollektivs. Diese fanden in den Untersuchungen von Inoue et al. (16) und Miller et al. (83) keine Berücksichtigung, so dass im Gegensatz zum 1-min Trial keine Aussage über die Konstanz der Rennprognose über mehrere Validierungen getroffen werden kann. Im Vergleich hierzu erweist sich die Generalisierbarkeit der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit vor allem für die Laborparameter IAS, PPO und 1-min Trial als groß. Geringer ist sie für die Leistung im 10-s Trial und im 5-min Trial.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit konnten zudem zeigen, dass durch die Validierung der Laborparameter an einem Mountainbike-Rennen der prognostische Wert von Leistungsdiagnostik und Laborparameter im Vergleich zu der Validierung über mehrere Rennen überschätzt wird. Deutlich wurde dies durch die niedrigeren Korrelationskoeffizienten zwischen den Laborparametern und der z-transformierten Rennzeit aller drei Validierungsrennen. Im Gegensatz zu Marathonrennen in der Leichtathletik mit einer definierten Rennstrecke von 42,195 km und keinen relevanten Unterschieden bezüglich Höhenmetern oder Bodenbeschaffenheit und technischem Anspruchsgrad unterscheiden sich Mountainbike-Rennen in diesen Faktoren oft stark voneinander. Auch verschiedene Wetterbedingungen sind durch die vielen Erd- und Waldwege Einflussfaktoren, die die Rennprognose erschweren (5, 44).

Als Vorteil gegenüber anderen Testprotokollen kann die Tatsache gewertet werden, dass die Leistungsdiagnostik der vorliegenden Arbeit neben einem sehr stark korrelierenden Laborparameter (1-min Trial) noch weitere Leistungsparameter in einer kontinuierlich durchgeführten Diagnostik erfasst. Wie in den Testprotokollen von Inoue et al. (16) und Miller et al. (83) wurde bisher das umfangreiche Anforderungsprofil mit aeroben und anaeroben Belastungsgrößen im Mountainbike-Sport (5) mit ergänzenden Leistungsdiagnostiken durchgeführt. Dies war allerdings mit einem größeren zeitlichen Aufwand verbunden.

Beim Vergleich der Ergebnisse der Studie 2 des vorliegenden Forschungsvorhabens mit bisher veröffentlichten Studien muss neben oben genannten Faktoren auch beachtet werden, dass in den genannten anderen Studien die Prädiktoren mit Cross-Country-Mountainbike-Rennen verglichen wurden. Diese Renndisziplinen sind intensiver, intervallartiger und haben kürzere Renndauern im Vergleich zu Mountainbike-Marathon-Rennen (5, 9). Auf Grund der zunehmenden Popularität von XCM-Rennen im Freizeit- wie auch im Leistungssport ist diese leistungsdiagnostische Studie von großer Bedeutung, um Erkenntnisdifferenzen dieser beiden Disziplinen zu minimieren. Des Weiteren gilt es zu beachten, dass die erwähnten Studien kleinere Probandenkollektive haben. Somit sind die berechneten Konfidenzintervalle der Korrelationskoeffizienten entsprechend größer im Vergleich zu den Ergebnissen der zweiten Studie der vorliegenden Arbeit. Beispielsweise erwähnten Prins et al. (46), dass die gefundenen geringen Korrelationskoeffizienten des 1-km-Trials einen Fehler zweiter Art im Sinne eines falsch negativen Ergebnisses darstellen könnten.

4.2 Diskussion zur Fragestellung 2: Multiple Regression der Laborparameter zur Varianzanalyse der Rennzeiten

Wie exakt lässt sich die Varianz der Rennzeit eines Rennens bzw. mehrerer Rennen durch Laborparameter und anthropometrische Parameter in multiplen Regressionsmodellen bestimmen?

Im Bereich der Leistungsdiagnostik des Mountainbike-Sports wies Studie 2 des Forschungsvorhabens bisher die größte Probandenzahl mit 49 vollständigen Datensätzen auf. Hierdurch war eine Berechnung von multiplen Regressionsmodellen mit drei Prädiktoren sowohl für Rennen 3 als auch über die z-transformierten Rennzeiten möglich. Sowohl für Rennen 3 als auch für die z-transformierte Rennzeit aller drei Rennen war die Leistung im 1-min Trial der bedeutendste Prädiktor, gefolgt vom Körpergewicht der Athleten und der Leistung an der individuellen anaeroben Schwelle.

Mit diesen drei Prädiktoren können in dem signifikanten Regressionsmodell 86,8% der Varianz der Rennzeit eines Rennens erklärt werden. In der Praxis wurde die Rennzeit durchschnittlich für alle Probanden um $4,92 \pm 2,93$ Minuten exakt ausgerechnet. Die Residuen der einzelnen Probanden reichten von einer Rennvorhersage, die um 9 Minuten langsamer war als die beobachtete Rennzeit, bis zu einer Vorhersage, die um 12 Minuten schneller war als die beobachtete Rennzeit. Unter Berücksichtigung, dass das untersuchte Rennen in einer Zeit zwischen 159 Minuten und 223 Minuten absolviert wurde und der Tatsache, dass die technisch anspruchsvollen Rennbedingungen dieser Sportart in der Leistungsdiagnostik nicht erfasst werden können, ist dies eine gute und genaue Prognose der Rennzeit.

Für eine valide Wettkampfprognose im Mountainbike-Sport ist die Rennzeit ein geeigneter Leistungsindikator (80, 81). In der Praxis spielen in erster Linie die Platzierungen in einem Rennen eine bedeutende Rolle. Daher wurde der Einfluss der Unterschiede zwischen beobachteter und vorhergesagter Rennzeit auf die Platzierung der Fahrer untersucht. Mit einer durchschnittlichen

Abweichung der Rennplatzierung um zwei Plätze ist die Rennvorhersage durch die modifizierte Leistungsdiagnostik auch für die Praxis geeignet. Vor allem waren die Spitzenplatzierten sowohl im beobachteten als auch im vorhergesagten Rennen dieselben.

Die Genauigkeit der Wettkampfprognose eines Mountainbike-Rennens durch die erstellte Leistungsdiagnostik war geringfügig kleiner als in einer Studie von Roecker et al. (84), die die Erklärung der Wettkampfprognose durch drei Prädiktoren in Marathonrennen ($r^2 = 0,899$), Halbmarathonrennen ($r^2 = 0,924$) und 10-km-Rennen ($r^2 = 0,889$) in der Leichtathletik untersuchten. In diesen Sportarten ist die IAS nach Dickhuth et al. (30) der wichtigste Prädiktor. Die IAS allein erklärt bereits 86,5% bis 87,4% der Varianz der Rennzeiten dieser Sportarten (84). Ein solch starker Prädiktor konnte in der vorliegenden Arbeit nicht gefunden werden. Im Speziellen war die Aussagekraft der IAS im Mountainbike mit 45,1 bis 49,9% der Varianzerklärung deutlich geringer, was die Notwendigkeit einer Leistungsdiagnostik mit Erhebung verschiedener Laborparameter wie in der vorliegenden Arbeit unterstreicht. Die anderen Prädiktoren zur Wettkampfprognose der leichtathletischen Disziplinen waren die maximale Herzfrequenz, die Abbruchgeschwindigkeit des Stufentests auf einem Laufband und die gelaufenen Trainingskilometer pro Woche (84).

Auch Knechtle et al. (81) konnten zeigen, dass für ein Mountainbike Ultramarathon Rennen mit 120 km Länge und 5000 Höhenmetern hohe Trainingsumfänge zusammen mit Rennerfahrung stärker von Bedeutung sind als spezielle anthropometrische Größen. Die berücksichtigten Variablen waren anthropometrische Parameter und Trainingsparameter. Bei 73 männlichen Mountainbike-Fahrern konnte das berechnete Regressionsmodell mit 62 % der Varianz der Rennzeit eines Rennens erklären. Die Varianz der Rennzeit wurde am besten mit der persönlichen Bestzeit des Rennens aus den Vorjahren, den gefahrenen Jahreskilometern auf dem Rad und den jährlichen Trainingskilometer im Straßenradsport bestimmt. Das von Knechtle et al. (81) untersuchte Rennen gehört zu den fünf schwierigsten und anspruchsvollsten

Rennen in Europa. Die durchschnittlich benötigte Rennzeit der Probanden betrug 7 Stunden und 27 Minuten. Der Gewinner erreichte nach 4 Stunden 56 Minuten das Ziel. Der langsamste Fahrer fuhr 11 Stunden. Somit variiert die Zielgröße deutlich stärker im Vergleich zur zweiten Studie der vorliegenden Arbeit. Zudem ist vermutlich durch die längere Renndauer ein stärkerer Zusammenhang mit dem Umfang des Trainings gegeben. In der vorliegenden Arbeit wurde der Focus auf die Erhebung von leistungsphysiologischen Parametern gelegt. In zukünftigen Studien sollten jedoch auch trainingsbezogene Faktoren erfasst werden. Die Kombination von Trainings- und leistungsphysiologischen Prädiktoren könnten das Regressionsmodell noch präzisieren.

Stapelfeldt et al. (85) berechneten für den Straßenradsport im Bergzeitfahren und im Einzelzeitfahren multiple Regressionsmodelle. Validiert wurden diese mit Feldtests in der Ebene bzw. am Berg. Die jeweiligen Durchschnittsgeschwindigkeiten, die als Zielgrößen fungierten, wurden in simulierten Rennen erhoben. Die Laborgrößen wurden in einer Testbatterie mit verschiedenen Tests durchgeführt, um Parameter sowohl im aeroben (z.B. VO_2max und IAS) wie auch im anaeroben Leistungsbereich (z.B. Leistung im Drehmomenttest über 5 s) zu bestimmen. Die Varianz der Rennzeit des Zeitfahrens der 26 Probanden konnte zu 93,6% erklärt werden. Die Parameter der Testbatterie von Stapelfeldt et al. (85) erklärten hingegen lediglich 42% der Varianz der Rennzeit des Bergzeitfahrens ($n = 34$). Erkenntnisse von Lee et al. (14) gehen davon aus, dass sog. Berg-Spezialisten im Straßenradsport vergleichbare anthropometrische und physiologische Leistungsprofile haben wie Mountainbiker. Die Ergebnisse von Stapelfeldt et al. (85) verdeutlichen die Schwierigkeit, die Rennzeit von Radsportrennen in den Bergen zu erfassen. Gleichzeitig unterstreichen sie die gute Wettkampfprognose durch die in dieser Arbeit erstellten Leistungsdiagnostik.

In einer Publikation von Craig et al. (86) erklärte ein multiples Regressionsmodell für eine Bahnradstrecke der Disziplin Einerverfolgung über

eine Distanz von 4000 m mit drei Parametern 74,0% der Varianz der Rennzeit von 18 Fahrern. Die prädiktivsten Parameter waren die maximale Sauerstoffaufnahme, die Lactate Threshold nach Beaver et al. (87) und die anaerobe Kapazität gemessen am maximalen Sauerstoffdefizit (MAOD). Weitere Faktoren, die in der Studie erhoben wurden, waren anthropometrische Daten, die IAS nach Stegmann et al. (88) und die Fahrergonomie. Die erklärte Varianz ist trotz der definierten Streckenlänge und der umfangreichen Testbatterie vergleichbar mit der Leistungsdiagnostik der vorliegenden Arbeit. Ein möglicher Grund für die im Vergleich zu den leichtathletischen Laufdisziplinen schlechtere Erklärung der Varianz der Rennzeit ist, dass weitaus größere Anteile von anaerober Energiebereitstellung benötigt werden. Diese anaeroben Leistungsparameter sind schwer zu erfassen und ihre Erhebung erfolgt meist nur indirekt (38).

Wie bereits beschrieben (siehe Kapitel 4.1) lassen sich die Rennzeiten mehrerer Rennen weniger präzise vorherhersagen. Jedoch können trotz unterschiedlicher Renncharakteristika noch 75,7% der Varianz der Rennzeit durch die Leistungsdiagnostik vorhergesagt werden. Die Prädiktoren waren die gleichen wie im Modell für Rennen 3: die absolute Leistung im 1-min Trial, das Körpergewicht und die absolute Leistung an der individuellen anaeroben Schwelle. Die durch die Vorhersage mehrere Mountainbike-Marathon-Rennen bedingte größere externe Validität des Tests gleicht den reduzierten Anteil der Varianzerklärung der Rennzeit aus. Dieser Anteil ist zudem deutlich größer als der Vorhersagewert eines einzelnen Laborparameters in der univariaten Regressionsberechnung über mehrere Rennen (z-Rennzeit) und etwas größer als der Vorhersagewert der Leistung im 1-min Trial in einem Rennen. Die schwächere Erklärung der Varianz mehrerer Rennzeiten hat vermutlich ihre Ursache in den unterschiedlichen Renncharakteristika und Rennbedingungen.

Für ein einzelnes Rennen sind 13,2% der Varianz der Rennzeit nicht durch die drei besten Prädiktoren der Leistungsdiagnostik erklärt. Die verwendete Leistungsdiagnostik der vorliegenden Arbeit erfasst keine technischen

Fähigkeiten der Athleten. Solche technischen Fähigkeiten könnten einen Teil der noch unerklärten Varianz der Rennzeit erklären (80). Technisch bessere Fahrer sind in der Lage, ihre Leistung bzw. Geschwindigkeiten in technisch anspruchsvollen Streckenpassagen aufrechtzuerhalten (18). Des Weiteren kann die taktische Renneinteilung ebenfalls das Ergebnis beeinflussen, auch wenn die Renntaktik im Vergleich zum Straßenradsport eine kleinere Rolle spielt (5). Eine gleichmäßige Renneinteilung ist von Vorteil (7). Auch die Startposition hat Einfluss auf den weiteren Rennverlauf und die Renntaktik (19, 72, 89). Zwar wurden die Probanden darauf hingewiesen, möglichst in den vorderen Reihen zu starten, doch selbst hier kommt es zu Verzögerungen durch die große Dichte des Fahrerfeldes. Stürze und Probleme mit der Ausrüstung sowie Unterschiede in der Ausrüstung der Fahrer sind weitere Faktoren, die Einfluss auf die Rennzeit nehmen und die nicht durch eine Leistungsdiagnostik erklärt werden können. Weitere Einflussfaktoren sind u.a. Dehydration und entsprechendes Trink- und Essverhalten während Rennen von längerer Distanz (90).

4.3 Diskussion zur Fragestellung 3: Geschlechtsspezifische Auswertung des 3. Validierungsrennens

Unterscheiden sich die Ausprägungen der Zusammenhangsmaße zwischen Laborparametern und der Rennzeit in Abhängigkeit der Geschlechter?

Bisher veröffentlichte Studien untersuchten meist nur das physiologische Anforderungsprofil männlicher Mountainbiker. Lediglich Stapelfeldt et al. (8), Impellizzeri et al. (66) und Wilber et al. (63) erforschten Leistungsparameter von MTB-Fahrerinnen und verglichen sie mit denen anderer Radsportdisziplinen. Die bisher veröffentlichten Studien (63, 66) mit Fahrerinnen führten einen Stufentest zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme, der Abbruchleistung und der Laktatschwellen durch. Impellizzeri et al. (66) untersuchten 12 Mountainbikerinnen und Wilber et al. (31) zehn Fahrerinnen. Bei beiden Kollektiven handelte es sich um Fahrerinnen, die an internationalen Wettkämpfen teilnahmen. Es wurden deren anthropometrischen Daten und physiologischen Leistungsparameter im Stufentest bestimmt. Die Fahrerinnen starteten bei 75 W und die Leistung wurde jede Minute um 25 Watt gesteigert. In Impellizzeri et al. (66) betrug die durchschnittliche Abbruchleistung 314 ± 26 W bzw. zum Körpergewicht relativiert $5,9 \pm 0,6$ W/kg. In Wilber et al. (31) betrug diese 313 W bzw. 5,4 W/kg. Die beiden Fahrerinnen des deutschen Nationalteams in den Untersuchungen von Stapelfeldt et al. (8) erreichten eine PPO von 320 W (5,0 W/kg) und 280 W (4,5 W/kg). Die Fahrerinnen der vorliegenden Arbeit (Studie 2) wiesen im Durchschnitt etwas geringere Abbruchleistungen auf (4,5 W/kg bzw. 279 W). Nach den Kriterien von Decroix et al. (91) war das weibliche Studienkollektiv an Hand der relativen Abbruchleistung im Stufentest im zweithöchsten Leistungsbereich von 5 Leistungsbereichen einzuordnen. Dies entspricht einer Fahrergruppe, die nach Decroix et al. (91) als „gut-trainiert“ bezeichnet werden kann.

Eine Analyse der Zusammenhänge von Leistungsparametern und den Wettkampfergebnissen von MTB-Fahrerinnen wurde bislang noch nicht durchgeführt. Vor allem sollte eine solche noch ausstehende Auswertung

Aufschluss darüber geben, ob bei Fahrerinnen im Vergleich zu Männern andere Belastungsgrößen im MTB-Sport von Bedeutung sind. In einer Studie von Lamberts und Davidowitz (92), welche die Radsportleistung im Zeitfahren analysierte, zeigten besonders die Zusammenhänge von zum Körpergewicht relativierten Laborparametern geschlechtsspezifische Unterschiede

Die zum Körpergewicht relativierten Leistungen an der individuellen anaeroben Schwelle ($r = -0,81$) und bei Abbruch des Stufentests ($r = -0,81$) korrelierten bei den Fahrerinnen signifikant mit den Rennzeiten des dritten Rennens. Bei den männlichen Probanden konnten vergleichbare Korrelationen zwischen der Rennzeit und der IAS ($r = -0,76$) bzw. PPO ($r = -0,81$) gefunden werden.

Die vorliegende Arbeit untersuchte neben diesen Parametern auch anaerobe Belastungsparameter, um das Anforderungsprofil des MTB-Sports umfangreicher abzudecken. Trotz des kleinen Probandenkollektivs der Frauen zeigte sich, dass die relative Leistung im 1-min Trial ($r = -0,90$) mit der Wettkampfleistung signifikant korrelierte. Der Zusammenhang war der stärkste aller erhobenen Laborparameter und war etwas größer im Vergleich zu den männlichen Probanden ($r = -0,81$).

Die relativen Leistungen im 5-min Trial ($r = -0,61$) und im 10-s Trial ($r = -0,55$) korrelierten nicht signifikant und schwächer mit der Rennzeit im Vergleich zu den Männern ($r = -0,78$ bzw. $r = -0,66$). Somit sind leichte geschlechtsspezifische Unterschiede bei maximalen Belastungsgrößen am vorliegenden Probandenkollektiv zu erkennen. Diese können den ungleichen Größen der Untersuchungsgruppen geschuldet sein. Des Weiteren unterstreicht die geschlechtsspezifische Auswertung nochmals die Wichtigkeit der Erhebung von anaeroben maximalen Leistungsparametern. Dabei ist es gleichgültig, ob es sich um weibliche oder männliche Fahrer handelt. Besonders die Leistung im 1-min Trial der Fahrerinnen zeigte eine fast perfekte Korrelation mit der Rennzeit. Durch die kleine Zahl an weiblichen Probanden war eine multiple Regressionsberechnung nicht möglich. Jedoch ist schon allein durch die

Bestimmung des 1-min Trial eine Erklärung von 81% der Varianz der Rennzeit durch diese Belastungsgröße möglich.

In Hinblick auf die Fragestellung, ob die leistungsdiagnostischen Parameter geschlechtsunabhängig mit der Wettkampfleistung korrelieren, ist zusammenfassend festzustellen, dass die Korrelationen zwischen Rennzeit und Laborparameter in beiden Geschlechtern fast identisch waren. Die durchgeführte Leistungsdiagnostik kann somit für Fahrerinnen und Fahrer gleichermaßen verwendet werden, da für beide Geschlechter die Mountainbike-Marathon-Rennen die gleichen physiologischen Anforderungen stellen: Aerobe und auch hochintensive Leistungen, vor allem mit 1-minütiger Dauer, sind von Relevanz. Untersucht wurden geschlechtsspezifische Variationen der Zusammenhänge in der Disziplin XCM. Die Strecken sind sowohl für Frauen als auch für Männer gleich. Im XCO ist die Streckendistanz bei Frauen jedoch kürzer, so dass eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Disziplin XCO nur eingeschränkt möglich ist (siehe Kapitel 4.1).

4.4 Diskussion zur Fragestellung 4: Analyse des Laktatkonzentrationsverlaufs

- a) *Wie verhalten sich die Laktatkonzentrationen während der Durchführung der modifizierten Leistungsdiagnostik?*
- b) *Korrelieren die Veränderungen der Laktatkonzentration während der Regenerationsphasen der modifizierten Leistungsdiagnostik mit der Rennzeit der Athleten?*

Die Studienlage zu der laktatbezogenen Fragestellung ist limitiert. Die Datenauswertung erbrachte keine konstanten Ergebnisse. Wie auch in der ersten Studie wurden bei den Athleten große individuelle Abweichungen sowohl in der Dynamik als auch bei den absoluten Laktatkonzentrationsspiegeln gemessen. Tomlin und Wenger (93) beschrieben, dass ausdauertrainierte Athleten einen früheren Blutlaktatanstieg bei anaeroben Belastungen aufweisen. Gleichzeitig sind diese Athleten in der Lage, die Laktatkonzentration nach der Belastung schneller zu reduzieren. Eine höhere Laktatkonzentration nach der Belastung beruht auf einer besseren Kapazität des Laktattransports (94). Sowohl in der ersten Studie dieses Forschungsvorhabens als auch von Zarzecny et al. (94) beschrieben, weisen Fahrer mit höheren Leistungen über ein hoch intensives Intervall höhere Laktatkonzentration im Blut auf.

Konträre Ergebnisse lieferte die Auswertung des Laktatkonzentrationsverlaufs während der Regenerationsphasen. In den Regenerationsphasen zwischen Stufentest und 10-s Trial bzw. zwischen 1-min Trial und 5-min Trial zeigten schlechtere Fahrer einen stärkeren Laktatabbau als bessere Fahrer. Dieser Zusammenhang war jedoch lediglich moderat. Zwischen dem 10-s Trial und dem 1-min Trial war mit moderater Stärke dieser Zusammenhang umgekehrt, so dass keine eindeutige Schlussfolgerung gezogen werden kann, ob bessere Fahrer einen suffizienteren Laktatabbau in den Regenerationsphasen aufweisen. Hingegen zeigten die Ergebnisse in Studie 1 des Forschungsvorhabens (53), dass der Laktatabfall in den 5-minütigen Regenerationsphasen vor ($r_{\text{Leistung}} = 0,20$; $r_{\text{Zeit}} = -0,12$) und nach ($r_{\text{Leistung}} = 0,41$; $r_{\text{Zeit}} = -0,38$) dem

ersten 1-min Trial leicht mit der Wettkampfleistung korrelierte. Stark hing die Laktatveränderung, bzw. der Laktatkonzentrationsabfall in der 7-minütigen Regenerationsphase nach dem zweiten 1-min Trial mit der Wettkampfleistung im Feldtest zusammen ($r_{\text{Leistung}} = 0,80$; $r_{\text{Zeit}} = -0,64$).

Die Unterschiede der Korrelationen sowohl zwischen den Regenerationsphasen der zweiten Studie als auch die Unterschiede im Vergleich zur ersten Studie können in der unterschiedlichen Dauer der Regenerationsphasen begründet sein. Zudem wurde der Feldtest in Studie 1 (siehe Kapitel 1.5) auf einer Cross-Country Rennstrecke durchgeführt, so dass sich die Renncharakteristika der Validierungsrennen von Studie 1 und 2 unterschieden. Des Weiteren stieg im überarbeiteten Protokoll durch das Fahren des Stufentests die Laktatkonzentration langsam und kontinuierlich an. Dieser Anstieg war sehr hoch. Mit Erreichen der Abbruchleistung betrug die durchschnittliche Laktatkonzentration der Fahrer $11,55 \pm 2,1$ mmol/l. Weitere Laktatzunahmen waren daher nur noch geringfügig möglich, da auch die absolute Laktatveränderung in den Regenerationsphasen gering war. Die maximal erreichte Laktatkonzentration ist geringfügig niedriger als die gemessene Konzentration in einem simulierten Mountainbike-Rennen nach der ersten Runde. Diese betrug nach Wingo et al. (95) $9,1 \pm 1,0$ mmol/l. In einem nationalen offiziellen Rennen zeigte sich eine Laktatkonzentration von 10 bis 11 mmol/l nach den ersten 45 Minuten (5).

4.5 Diskussion zur Methodik und zu Studienlimitationen

Um eine multiple Regressionsanalyse mit leistungsphysiologischen und anthropometrischen Parametern berechnen zu können, ist für valide Ergebnisse eine große Anzahl an Probanden notwendig. In der Literatur wird beschrieben, dass je verwendetem Prädiktor 10 Beobachtungen benötigt werden, um ein weitgehend stabiles Modell zu erhalten (96). Das Studiendesign der Studie 2 der vorliegenden Arbeit wurde so ausgewählt, dass trotz der begrenzten Kapazität des Ergometrielabors der Universitätsklinik Tübingen eine große Anzahl an Probanden getestet werden konnten.

Mit 49 vollständigen Datensätzen ist die vorliegende Arbeit die größte leistungsphysiologische Studie der Sportart Mountainbike. Die Wahl des Studiendesigns ermöglichte es zudem, unterschiedliche Mountainbike-Marathon-Rennen zur Validierung (Kriteriumsvalidität (42)) heranzuziehen. Es resultierte ein sog. „short-term prognostisches Studiendesign“, welches in drei Untersuchungskohorten unterteilt wurde. Zum einen wurde die Leistungsdiagnostik an unterschiedlichen Strecken mit unterschiedlichen Distanzen und Höhenprofilen auf eine zuverlässige Wettkampfprognose überprüft. Zum anderen konnte der zeitliche Abstand zwischen Labortest und Validierung gering gehalten werden. Er betrug maximal zwei Wochen, so dass eine Veränderung des Leistungsniveaus in diesem Zeitraum unwahrscheinlich war. Darüber hinaus fanden alle Messungen in einem 5-wöchigen Zeitraum statt, damit auch eventuelle saisonbedingte Unterschiede zwischen den Messungen die Ergebnisse möglichst nicht verfälschen konnten. Im Mountainbike-Sport sind intra-individuelle Veränderungen der Wettkampfleistung (Rennzeiten von XCO-Rennen) über einen Zeitraum von 160 Tagen mit ca. 2,4% zwar gering, jedoch im Vergleich zum Straßensport ausgeprägter (97).

Die Dropout-Quote lag bei ca. 10% (n = 5) und ist mit anderen Mountainbike-Studien vergleichbar. Beispielsweise bei Inoue et al. (16) konnten 10 von 13

Probanden ausgewertet werden. Geschuldet sind diese Drop-outs meist technischen Defekten während der Rennen.

Wie von Impellizzeri et al. (2) beschrieben, können unterschiedliche Zusammensetzungen des Probandenkollektivs zu Variationen der untersuchten Korrelationskoeffizienten führen. Zur Bestimmung der prädiktiven Wertigkeit von Laborvariablen ist solchen Variationen im Studienkollektiv besondere Aufmerksamkeit zu schenken (98). Im Vergleich zu anderen Studien wie z.B. Prins et al. (46), Impellizzeri et al. (11) und Impellizzeri et al. (2) war das Probandenkollektiv in der vorliegenden Studie weniger homogen, gemessen an der Standardabweichung der Rennzeiten der Validierungsrennen (siehe Kapitel 4.1). Trotz unterschiedlicher Stufentestprotokolle wird von De Pauw et al. (67) vorgeschlagen, das Leistungsniveau eines Probandenkollektivs gemessen an der absoluten Abbruchleistung im Stufentest zu beschreiben und hiermit das Probandenkollektiv mit anderen Studienkollektiven zu vergleichen. Das Kollektiv der vorliegenden Arbeit (absolute PPO = 329 ± 49 W) war leistungsstärker als das in der einzigen im XCM publizierte Studie von Wirnitzer und Kornex (6). XCO-Fahrer, die an internationalen Wettkämpfen teilnehmen, erreichen jedoch Abbruchleistungen von durchschnittlich 426 W (2). Zurückzuführen ist dies auf die Definition der Einschlusskriterien und die Wahl der Validierungsrennen. Der Mountainbike-Marathon besitzt im Vergleich zum Cross-Country eine größere Beliebtheit im Amateursport. Des Weiteren wurden durch die Einschlusskriterien, zwei Rennteilnahmen in der laufenden Saison und eine Platzierung in der vorderen Fahrerhälfte vorzuweisen, nur bessere Fahrer (regionale und nationale leistungsorientierte Fahrer) eingeschlossen. Jedoch waren Elite-Fahrer wie beispielsweise in Impellizzeri et al. (2) nicht im Probandenkollektiv vertreten. Das Leistungsniveau des Fahrerkollektivs ist daher als Studienlimitation zu werten. In der vorliegenden Arbeit wurden die Validität und die präzise Rennprognose dokumentiert, die für ambitionierte Amateurfahrer mit der Leistungsdiagnostik erreicht werden kann. Für Elite-Fahrer von internationalem Leistungsniveau ist die Validität der Leistungsdiagnostik noch zu untersuchen.

Die IAS weist eine hohe Objektivität und Reliabilität auf (99, 100). Verschiedene Leistungstests in hochintensiven Bereichen, zum Beispiel der Wingate-Test oder der 3-minütige Time-Trial, zeigten sich ebenfalls reliabel (41, 60, 101-105). Die Reliabilität von Time-Trials ohne Vorbelastung (Variationskoeffizient < 5%) wird sogar größer angesehen als von Protokollen, bei denen die Dauer bis zu körperlichen Erschöpfung (Variationskoeffizient >10%) erfasst wird (42, 80). Die Vorbelastung durch den Stufentest könnte jedoch die Reliabilität der Time-Trials negativ beeinflussen. Daher muss für Trials im Rahmen der sportspezifischen Leistungsdiagnostik die Reliabilität untersucht werden.

Gerade die intraindividuelle Variation der Ergebnisse ist für den Trainer und den Athleten zur Leistungsabbildung von großer Bedeutung (106). Sowohl die Verbesserung durch Lerneffekte bei der Durchführung der Trials (103, 105) als auch psychologische Faktoren wie die Motivation sind hierbei kritisch zu beachten (106). Besonders zwischen den ersten beiden haben Trainingseffekte Einfluss auf die Parameter der Leistungsdiagnostik (104). Ein weiterer Faktor, der hierauf sicherlich einen Einfluss haben kann, ist die Strategie, mit denen die Trials gefahren werden. In der vorliegenden Arbeit sollten die Fahrer ihre höchste maximale Leistung erzielen. Die Empfehlungen sind in der Literatur unterschiedlich. Aisbett et al. (107) untersuchten drei Strategien für einen 5-minütigen Trial. Es zeigte sich, dass ein schneller Beginn zu einem besseren Ergebnis führt als das gleichmäßige Fahren oder eine Steigerung der Geschwindigkeit während des Trials. Hingegen empfehlen Foster et al. (108) auf Grundlage ihrer Ergebnisse eine gleichmäßige Geschwindigkeit für 2- bis 4-minütige Trials.

4.6 Die Dissertationsergebnisse im umfassenden Forschungsfeld

Zwar wird in der Leistungsdiagnostik das Leistungsniveau und die Laktatkonzentrationsdynamik in hoch intensiven Belastungsbereichen analysiert, jedoch wurde bisher nicht untersucht, welche Energiebereitstellungsformen bei diesen Belastungen nach bereits erfolgter Ausbelastung benötigt werden. Zukünftige Studien sollten daher, wie beispielsweise von Hargreaves et al. (109) oder Mendez-Villanueva et al. (110) bei ausgeruhten Fahrern durchgeführt, intramuskuläre Enzymaktivitäten und Stoffwechselprodukte sowie die Muskelaktivität mittels Elektromyographie während der intermittierenden Belastung bestimmen.

Des Weiteren sollte wie in Kapitel 4.5 beschrieben neben der oben genannten Überprüfung der Reliabilität der Leistungsdiagnostik auch die Validität der Leistungsdiagnostik für Elite-Fahrer untersucht werden. Studie 1 des Forschungsvorhabens konnte an einem kleinen Probandenkollektiv zeigen, dass die ursprünglich erstellte Testbatterie mit multiplen hochintensiven Intervallen valide für die Disziplin Cross-Country ist. Die Validität und die Rennprognose der modifizierten Leistungsdiagnostik muss jedoch noch für Cross-Country und andere Mountainbike-Disziplinen analysiert werden. Deswegen wird zum Zeitpunkt der Abgabe der Dissertationsschrift eine weitere Studie der Arbeitsgruppe zur Leistungsdiagnostik von Leistungssportlern der Disziplin Cross-Country durchgeführt. Hierzu werden Athleten des Landeskaders Baden-Württemberg (ARGE Radsport) sowie Athleten, die im Perspektivteam für die olympischen Sommerspiele 2016 in Rio trainierten, mit der neuen Leistungsdiagnostik untersucht (siehe Abbildung 22).

Diese Leistungsdiagnostik wurde, wie in Kapitel 1.3 beschrieben, ebenfalls mit dem Ziel konzipiert, die neuen Möglichkeiten zur Trainingssteuerung in Form von Wattmessungen zu berücksichtigen. Zur Messung der Wattleistung stehen den Athleten verschiedene Geräte zur Trainingssteuerung zu Verfügung. Um zu überprüfen, inwieweit die erzielten Wattleistungen im Labor mit der Anzeige der Wattleistung eines mobilen Wattmessgeräts, z.B. für Trainingsfahrten,

übereinstimmen, wurde die Objektivität eines neu auf den Markt gekommenen Wattmessgeräts mit einem bereits validierten, etablierten Gerät, welches in Studie 1 zum Einsatz kam, in Studie 3 überprüft (siehe Abbildung 22).

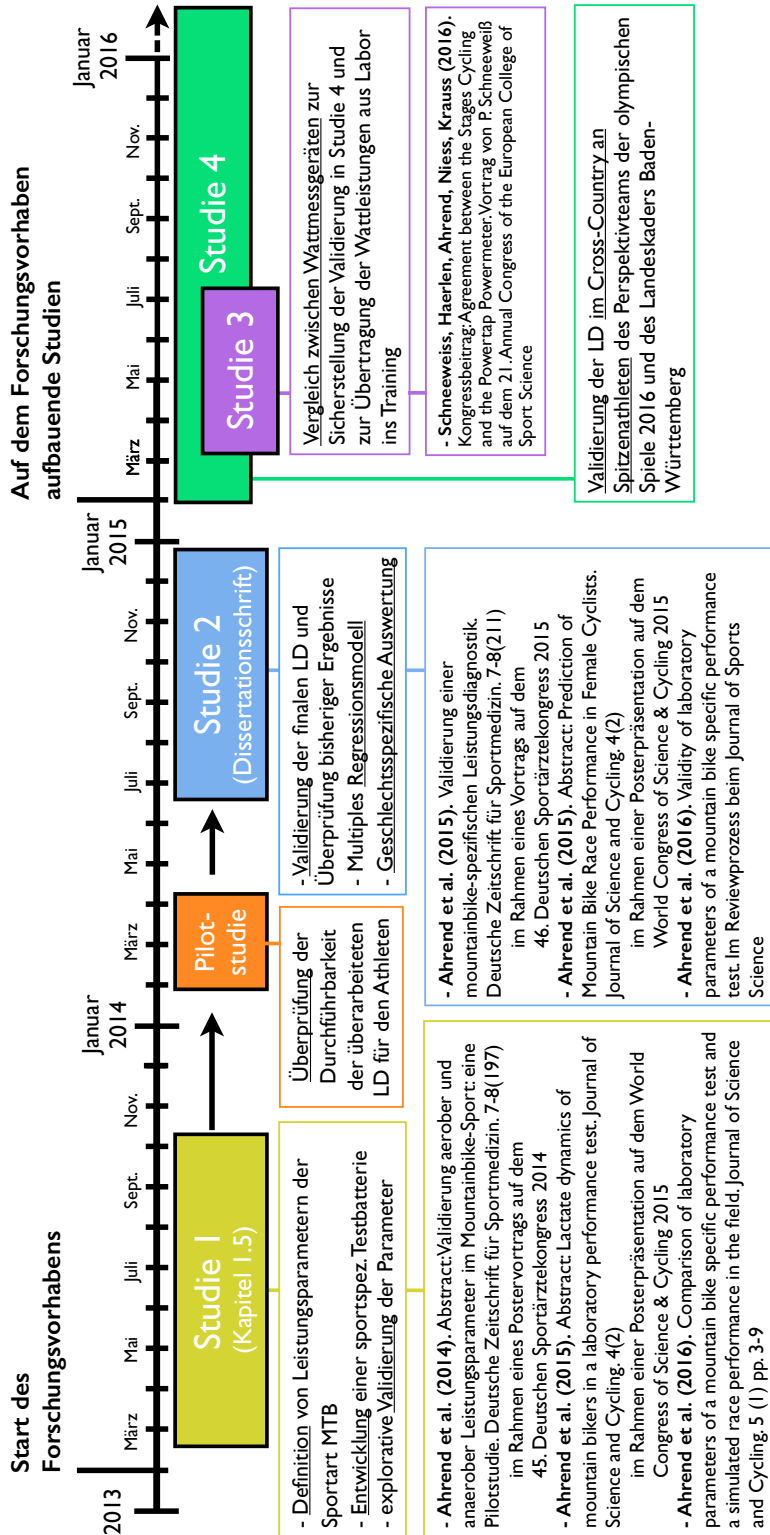


Abbildung 22: Bisher durchgeführte und auf dem Forschungsvorhaben aufbauende Studien

4.7 Anwendung der Dissertationsergebnisse in der Praxis

Das Training mit Wattsteuerung ist im Besonderen für hoch intensive Belastungsbereiche sinnvoll (9). Diese werden durch die Time-Trials in der Leistungsdiagnostik im Labor erfasst. Die Bedingungen im Labor und im Feld unterscheiden sich jedoch, so dass eine Übertragbarkeit der Leistungen aus der Leistungsdiagnostik auf das Training im Feld nicht selbstverständlich ist. Gardener et al. (111) konnten trotzdem zeigen, dass Trittfrequenzen und erzielte Leistungen bei maximal Belastungen sowohl für Feldtests und Labordiagnostik bei kurzen Radsprints übereinstimmen.

Für den herkömmlichen aeroben Leistungsparameter IAS ist die Übertragbarkeit von Labordiagnostik auf das Training im Feld bereits für verschiedene Sportarten untersucht. Es lassen sich, ausgehend von den in der Leistungsdiagnostik erreichten Leistungen an der IAS, Trainingsbereiche für verschiedene Sportarten ableiten, die sich an der Herzfrequenz oder an Wattleistungen orientieren (112, 113). Trainingsempfehlungen auf Grundlage der in der Leistungsdiagnostik erreichten Leistungen in den hochintensiven Intervallen, die mit Hilfe von Wattmessgeräten gesteuert werden könnten, sind jedoch noch nicht sicher möglich und sollten zukünftig in Trainingsinterventionsstudien untersucht werden. Eine Orientierung für wattgesteuerte Trainingsinhalte geben Allen und Coggan (48) in ihrem Buch. Ihre Ideen wurden zur Studiauswertung für die Probanden aufgegriffen (siehe Anhang 4).

Die Intervalle über 10 Sekunden, 1 Minute und 5 Minuten hängen mit der Wettkampfleistung im XCM zusammen. Somit wird eine suffiziente Rennvorhersage möglich. Hieran können sich Athlet und Trainer orientieren. Zusätzlich können durch die Erfassung verschiedener mountainbike-spezifischer Leistungsparameter aus aeroben und intensiven Ausdauerbereichen individuelle Fahrerprofile erstellt werden (siehe Abbildung 23). Diese können in Vergleich zu anderen MTB-Fahrern gesetzt werden. Individuelle Stärken und Schwächen eines Fahrers können somit aufgezeigt

und die Anhaltspunkte für Trainingsschwerpunkte geliefert werden (siehe Anhang 4). Durch erneute Durchführung der Leistungsdiagnostik können Trainings- und Leistungsentwicklungen evaluiert werden.

IAS [absolut / W/kg]:	175 / 2,49	∅	3,21 Watt	Vergleich ∅	78%
PPO [absolut / W/kg]:	327 / 4,66	∅	4,77 Watt	Vergleich ∅	98%
CP 10sek [absolut / W/kg]	967 / 13,77	∅	11,68 Watt	Vergleich ∅	118%
CP 1min [absolut / W/kg]	518 / 7,38	∅	6,52 Watt	Vergleich ∅	113%
CP 5min [absolut / W/kg]	306 / 4,36	∅	4,07 Watt	Vergleich ∅	107%

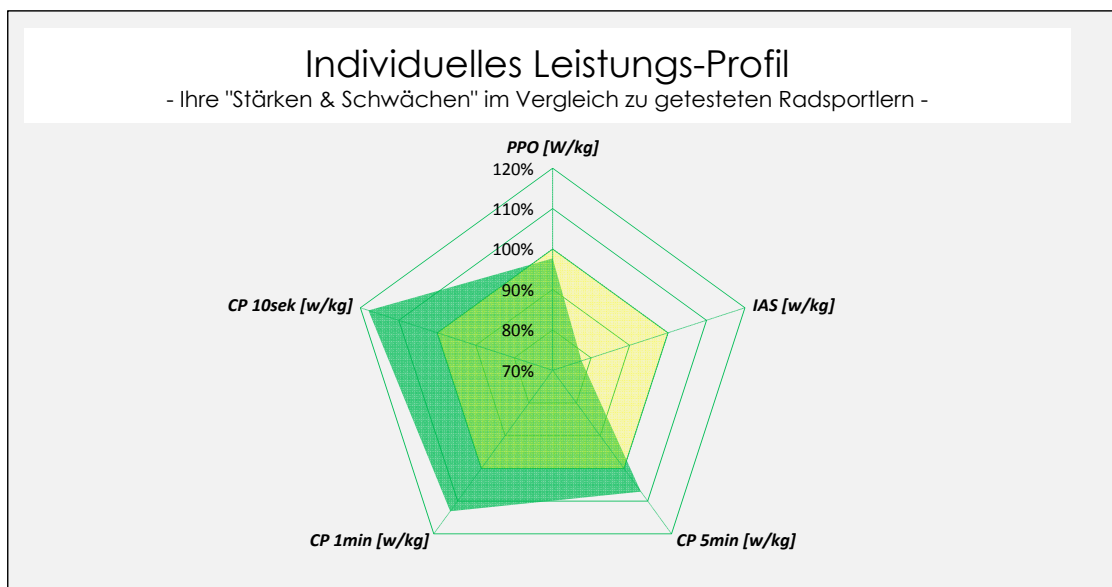


Abbildung 23: Fahrerprofile zur Darstellung von individuellen Stärken und Schwächen

Insgesamt dauert die Leistungsdiagnostik ungefähr 50 Minuten. In dieser Zeit sind Aufwärmphase und Ausfahren bereits enthalten. Unter zeitlichen Gesichtspunkten ist die Durchführbarkeit der Leistungsdiagnostik somit auch für die klinische Routine sowohl von Seiten des Athleten als auch von Seiten der sportmedizinischen Einrichtung gewährleistet.

4.8 Schlussfolgerung

Bereits die Ergebnisse der vorausgehenden Studie 1 des vorliegenden Forschungsvorhabens zeigten die Notwendigkeit einer differenzierten sportspezifischen Leistungsdiagnostik im MTB-Sport: Neben der aeroben Leistungsfähigkeit hängen auch intensive Belastungen über 1 Minute und 5 Minuten mit den Rennergebnissen eines Feldtests zusammen. Somit erschien es sinnvoll, zukünftig in der Leistungsdiagnostik für den MTB-Sport neben einem Stufenprotokoll auch intensive Intervalleleistungen zu erfassen, um das Anforderungsprofil umfangreicher abzubilden. Die untersuchten isometrischen Maximalkraftwerte der Rumpf-, Bauch- und Beinmuskulatur konnten hingegen unter dem Aspekt der Wettkampfprognose vernachlässigt werden.

In der vorliegenden Arbeit ausführlich dargestellten Studie 2 korrelierten alle Laborparameter der modifizierten Leistungsdiagnostik trotz unterschiedlicher Renndistanz und zu bewältigenden Höhenmetern mit mindestens großem Zusammenhang mit den Rennzeiten der einzelnen Mountainbike-Marathon-Rennen. Diese Leistungsdiagnostik zur Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle, der Abbruchleistung und der Leistungen in den Trials über 10 Sekunden, 1 Minute und 5 Minuten stellt somit eine valide und umfangreiche Diagnostik dar.

Die maximale Leistung über eine Minute erwies sich als die bedeutendste Messgröße zur Vorhersage der Rennleistung. Sie bildet in besonderem Maß die intensiven Anforderungen des Mountainbike-Sports ab. Während die Laktatanalyse in der vorausgehenden Studie 1 vermuten ließ, dass bessere Mountainbike-Cross-Country-Fahrer während geringeren Belastungen mehr Laktat abbauen können, liefert die Laktatanalyse der modifizierten Leistungsdiagnostik von Studie 2 keine eindeutigen Ergebnisse.

Die Auswahl des Studiendesigns und das große Probandenkollektiv erlaubten es, eine Leistungsdiagnostik an mehreren Mountainbike-Marathon-Rennen zu validieren und dadurch zum ersten Mal eine multiple Regressionsanalyse zur

Prognose für Mountainbike-Rennen auf Grundlage von leistungsphysiologischen Parametern zu berechnen. Durch diese erweiterte Analyse von Laborparametern über die herkömmlichen hinaus konnte die Wettkampfprognose der Sportart Mountainbike-Marathon präzisiert werden. So können 87% der Varianz der Rennzeit eines einzelnen Rennens und 76% der Varianz der Rennzeiten dreier Rennen erklärt werden. Die individuelle anaerobe Schwelle, die Abbruchleistung im Stufentest und die Leistung im 1-min Trial waren hierbei stabile Prädiktoren zur multivariaten Rennvorhersage.

Die Ergebnisse verdeutlichen den Mehrwert einer MTB-spezifischen Leistungsdiagnostik und erlauben damit eine umfassende Charakterisierung des Leistungsniveaus eines Fahrers. Sie gewährleistet eine zuverlässige Rennprognose ambitionierter Amateur-Fahrer der Sportart Mountainbike-Marathon. In der separat durchgeführte geschlechtsspezifische Subanalyse erwiesen sich die Ergebnisse sowohl für weibliche als auch für männliche Fahrer als gültig.

5 Zusammenfassung

Hintergrund: Die herkömmliche Leistungsdiagnostik im Mountainbike-Sport (MTB) besteht aus einem Stufentest, mit dem aerobe Leistungsparameter erfasst werden. Für die Sportart charakteristisch sind sowohl aerobe als auch wiederkehrende (sub-) maximale Belastungen, die durch den intervallartigen Rennverlauf mit Anstiegen bzw. Abfahrten entstehen. Solche besonderen physiologischen Anforderungen sind in einem Stufentest nicht abgebildet.

Die vorliegende Dissertation verfolgte daher das Ziel, eine MTB-spezifische Leistungsdiagnostik zur besseren Wettkampfprognose zu entwickeln. Auf Grundlage der Ergebnisse einer vorausgehenden Studie des selbigen Forschungsvorhabens wurde eine Leistungsdiagnostik erstellt. Nach Überprüfung der Durchführbarkeit konnte die Leistungsdiagnostik an einem größeren Probandenkollektiv sowie an mehreren Rennen validiert werden. Des Weiteren wurde ein multiples Regressionsmodell zur Wettkampfprognose der Sportart MTB-Marathon berechnet. Weitere Ziele waren die geschlechtsabhängige Auswertung der Ergebnisse sowie die Laktatkonzentrationsanalyse.

Methode: 49 Athleten (Alter: $38,8 \pm 9,1$ Jahre.; BMI: $23,2 \pm 2,2$ kg/cm²; IAS: $3,1 \pm 0,4$ W/kg) absolvierten innerhalb von 2 Wochen eine Leistungsdiagnostik auf einem SRM-Ergometer und eines von drei offiziellen, nationalen MTB-Rennen (Rennen 1: n = 15, 90 km, 2100 Höhenmeter; Rennen 2: n = 9, 56 km, 950 Hm; Rennen 3: n = 25, 83 km, 1700 Hm). Die Leistungsdiagnostik erfasste mittels Laktat-Stufentest (80/40/3) die individuelle anaerobe Schwelle (IAS) und die Abbruchleistung des Stufentests (PPO) sowie mittels Time-Trials über 10 s, 1 min und 5 min die maximal möglichen Wattleistungen (10-s Trial, 1-min Trial, 5-min Trial). Zur weiteren Berechnung wurden die Parameter zum Körpergewicht relativiert und mit den drei Validierungsrennzeiten auf bivariate Korrelationen überprüft ($\alpha < 0,05$). Ergänzend wurden die Rennzeiten des jeweiligen Rennens z-transformiert und hiermit eine multiple Regression über alle Rennen berechnet.

Ergebnisse: Bis auf den 10-s Trial ($r = -0,59$) in Rennen 2 zeigten alle untersuchten Messgrößen signifikante Korrelationen mit Rennzeit 1, 2 und 3: 1-min Trial ($r = -0,85^*$; $-0,84^*$; $-0,82^*$), PPO ($r = -0,77^*$; $-0,73^*$; $-0,76^*$), 10-s Trial ($r = -0,72^*$; $-0,59$; $-0,61^*$), IAS ($r = -0,71^*$; $-0,67^*$; $-0,68^*$) und 5-min Trial ($r = -0,57^*$; $-0,85^*$; $-0,76^*$).

Mit 1-min Trial ($\text{Std-}\beta=-0,78^*$), IAS ($\text{Std-}\beta=-0,46^*$) und Körpergewicht ($\text{Std-}\beta=0,58^*$) ließen sich 75,7% der Varianz aller z-transformierten Rennzeiten ($p<0,0001$) erklären. 86,8% der Varianz der Rennzeit 3 wurden durch die Leistungsdiagnostik erklärt. Die Prädiktoren waren ebenfalls 1-min Trial ($\text{Std-}\beta=-0,88^*$), IAS ($\text{Std-}\beta=-0,58^*$) und Körpergewicht ($\text{Std-}\beta=0,648^*$).

Bei weiblichen und männlichen Probanden korrelierte der 1-min Trial ($r = -0,90^*$ bzw. $-0,81^*$) am stärksten mit der Rennzeit 3. Vergleichbare Korrelationen zeigten sich bei Frauen und Männern für die IAS ($r = -0,80^*$ bzw. $r = -0,76^*$), PPO ($r = -0,79^*$ bzw. $-0,81^*$). Im Vergleich zu den Männern fanden sich bei den Frauen schwächere Korrelationen für den 5-min Trial ($r = -0,61$ bzw. $-0,78^*$) und den 10-s Trial ($r = -0,55$ bzw. $r = -0,66^*$) mit Rennen 3.

Bei der Laktatkonzentrationsanalyse in den Regenerationsphasen zwischen den Trials zeigten sich zu der Fragestellung, ob leistungsstärkere Fahrer besser Laktat eliminieren können, keine einheitlichen Ergebnisse.

Schlussfolgerung: Die aufgezeigten Zusammenhänge zwischen aeroben und hochintensiven Leistungsparametern mit der Wettkampfleistung verdeutlichen die Relevanz einer erweiterten Leistungsdiagnostik, in der neben der standardmäßigen Beurteilung der aeroben Leistungskapazität (IAS) auch hoch intensive Belastungsbereiche analysiert werden. Insbesondere der 1-min Trial zeigte einen sehr starken und über alle drei Rennen hinweg stabilen Zusammenhang. Die Ergebnisse verdeutlichen den Mehrwert einer MTB-spezifischen Leistungsdiagnostik und erlauben damit eine umfassendere Charakterisierung des Leistungsniveaus sowie die zuverlässige Rennprognose ambitionierter Fahrer und Fahrerinnen der Sportart Mountainbike-Marathon.

6 Literaturverzeichnis

1. Union Cycliste Internationale (2016). UCI Cycling Regulations. Part IV. Mountain Bike Races. [Zugriff am: Zugriff: 01.05.2016]; Verfügbar unter: http://www.uci.ch/mm/Document/News/Rulesandregulation/17/29/73/4MTB-E-1.01.2016_English.pdf
2. Impellizzeri FM, Marcora SM, Rampinini E, Mognoni P, Sassi A (2005). Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *Br J Sports Med*; 39(10):747-51.
3. Baron R (2001). Aerobic and anaerobic power characteristics of off-road cyclists. *Med Sci Sports Exerc*; 33(8):1387-93.
4. Miller MC, Witmer C, Moir GL, Davis S (2014). Predictive Validity of Critical Power and Functional Threshold Power for Mountain Bike Race Performance. *International Journal of Exercise Science: Conference Proceedings*; 9(2):55.
5. Impellizzeri FM, Marcora SM (2007). The physiology of mountain biking. *Sports Med*; 37(1):59-71.
6. Wirnitzer KC, Kornexl E (2008). Exercise intensity during an 8-day mountain bike marathon race. *Eur J Appl Physiol*; 104(6):999-1005.
7. Stapelfeldt B (2001). Kraft- und Ausdauerleistungen im Mountainbikesport: Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität zu Freiburg i. Br.
8. Stapelfeldt B, Schwirtz A, Schumacher YO, Hillebrecht M (2004). Workload demands in mountain bike racing. *Int J Sports Med*; 25(4):294-300.
9. Theobald U (2012). Die Relevanz eines leistungsbasierten Trainingsmittelkataloges im Mountainbike Cross-Country: Diplomarbeit Sportwissenschaft. Eberhard Karls Universität Tübingen.
10. Impellizzeri F, Sassi A, Rodriguez-Alonso M, Mognoni P, Marcora S (2002). Exercise intensity during off-road cycling competitions. *Med Sci Sports Exerc*; 34(11):1808-13.

11. Impellizzeri FM, Rampinini E, Sassi A, Mognoni P, Marcora S (2005). Physiological correlates to off-road cycling performance. *J Sports Sci*; 23(1):41-7.
12. Swain DP (1994). The influence of body mass in endurance bicycling. *Med Sci Sports Exerc*; 26(1):58-63.
13. Gregory J, Johns DP, Walls JT (2007). Relative Vs. Absolute Physiological Measures as Predictors of Mountain Bike Cross-Country Race Performance. *J Strength Cond Res*; 21(1):17-22.
14. Lee H, Martin DT, Anson JM, Grundy D, Hahn AG (2002). Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. *J Sports Sci*; 20(12):1001-8.
15. Stapelfeldt B, Schwirtz A, Schumacher O, Bührle M (1999). Leistungsbestimmende Faktoren im Mountainbikesport. Diagnose und Training. *BISp-Jahrbuch 1999: Bundesinstitut für Sportwissenschaft*; p. 197-200.
16. Inoue A, Sa Filho AS, Mello FC, Santos TM (2012). Relationship between anaerobic cycling tests and mountain bike cross-country performance. *J Strength Cond Res*; 26(6):1589-93.
17. Mastroianni GR, Zupan MF, Chuba DM, Berger RC, Wile AL (2000). Voluntary pacing and energy cost of off-road cycling and running. *Appl Ergon*; 31(5):479-85.
18. Abbiss CR, Ross ML, Garvican LA, Ross N, Pottgiesser T, Gregory J, Martin DT (2013). The distribution of pace adopted by cyclists during a cross-country mountain bike World Championships. *J Sports Sci*; 31(7):787-94.
19. Viana BF, Inoue A, Santos TM (2012). Even Pacing Strategy in Mountain Bike Race is Influenced by Start Position. *Int J Sports Physiol Perform*; 8(4):351.
20. Rost R (2002). *Lehrbuch der Sportmedizin*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.

21. Fritsch G, Hörtnagl H (2004). II Die sportmedizinische Untersuchung. In: Pokan R, Förster H, Hofmann P, Hörtnagl H, Ledl-Kurkowski E, Wonisch M, editors. Kompendium der Sportmedizin: Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie. Wien: Springer-Verlag; p. 21-30.
22. Röcker K (2010). Verfahren zur Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung. In: Dickhuth H-H, Mayer F, Röcker K, Berg A, editors. Sportmedizin für Ärzte: Lehrbuch auf der Grundlage des Weiterbildungssystems der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (DGSP). Köln: Deutscher Ärzte Verlag; p. 63-82.
23. Löllgen H, Erdmann E, Gitt AK (2009). Ergometrie: Belastungsuntersuchungen in Klinik und Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
24. Schumacher YO, Röcker K, Vogt S, Stapelfeldt B, Schmid A (2005). RADSPORT: Leistungsdiagnostik im Radsport. Sports Orthopaedics and Traumatology Sportorthopädie - Sporttraumatologie; 21(2):79-84.
25. Heck H, Beneke R (2008). 30 Jahre Laktatschwellen - was bleibt zu tun? Dtsch Z Sportmed; 59(12):297.
26. Faude O, Kindermann W, Meyer T (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? Sports Med; 39(6):469-90.
27. Sjodin B, Jacobs I (1981). Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. Int J Sports Med; 2(1):23-6.
28. Mader A, Liesen H, Heck H, Philippi H, Rost R, Schürch P, Hollmann W (1976). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. Sportarzt sportmed; 27(80-88):109-12.
29. Held T, Marti B (1999). Substantial influence of level of endurance capacity on the association of perceived exertion with blood lactate accumulation. Int J Sports Med; 20(1):34-9.

30. Dickhuth HH, Yin L, Niess A, Røcker K, Mayer F, Heitkamp HC, Horstmann T (1999). Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. *Int J Sports Med*; 20(2):122-7.
31. 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 Dysfunction. In: Bachl N, Graham TE, Löllgen H, editors. *Advances in Ergometry*: Springer-Verlag; p. 173-9.
32. Dickhuth H-H, Mayer F, Röcker K, Berg A (2007). *Sportmedizin für Ärzte*. Köln: Deutscher Ärzteverlag.
33. Wonisch M (2015). Spiroergometrie. In: Niebauer J, editor. *Sportkardiologie*. Heidelberg: Springer Verlag; p. 217-32.
34. Coyle EF, Coggan AR, Hopper MK, Walters TJ (1988). Determinants of endurance in well-trained cyclists. *J Appl Physiol* (1985); 64(6):2622-30.
35. Scharhag-Rosenberger F (2010). Spiroergometrie zur Ausdauerleistungsdiagnostik. *Dtsch Z Sportmed*; 61(6):146-7.
36. Midgley AW, Bentley DJ, Luttikholt H, McNaughton LR, Millet GP (2008). Challenging a dogma of exercise physiology: does an incremental exercise test for valid VO₂ max determination really need to last between 8 and 12 minutes? *Sports Med*; 38(6):441-7.
37. Coyle EF (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exerc Sport Sci Rev*; 23:25-63.
38. Heck H, Schulz H, Bartmus U (2003). Diagnostics of anaerobic power and capacity. *Eur J Sport Sci*; 3(3):1-23.
39. Heck H, Schulz H (2002). Methoden der anaeroben Leistungsdiagnostik. *Dtsch Z Sportmed*; 53(7-8):202-12.
40. Inbar O, Bar-Or O, Skinner JS (1996). *The Wingate Anaerobic Test*. Champaign: Human Kinetics.

41. Bar-Or O (1987). The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Med*; 4(6):381-94.
42. Currell K, Jeukendrup AE (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Med*; 38(4):297-316.
43. Radfahrer BD (2009). Nachwuchsprogramm. [Zugriff am: Zugriff: 01.06.2016]; Verfügbar unter: [http://www.bdr-ausbildung.de/ files/.../nachwuchsprogramm-des-bdr_13.pdf](http://www.bdr-ausbildung.de/files/.../nachwuchsprogramm-des-bdr_13.pdf)
44. Costa V, De-Oliveira F (2008). Physiological variables to predict performance in cross-country mountain bike races. *J Exerc Physiol Online*; 11:14-24.
45. Vaitkevičiūtė D, Milašius K (2012). Physiological correlates of cycling performance in amateur mountain bikers. *Ugdymas Kūno kultūra Sportas Education Physical Training Sport*; 85(2):90-5.
46. Prins L, Terblanche E, Myburgh KH (2007). Field and laboratory correlates of performance in competitive cross-country mountain bikers. *J Sports Sci*; 25(8):927-35.
47. Röecker K, Prettin S, Pottgiesser T, Schumacher Y, Dickhuth H (2010). Metabolische Leistungsdiagnostik und trainingssteuerung in der Sportmedizin. *Sport-und Präventivmedizin*; 40(1):6-12.
48. Allen H, Coggan A (2012). *Wattmessung im Radsport und Triathlon*. Hamburg: Spomedis.
49. Allen H, Coggan A (2010). *Training and Racing with a Power Meter*. Boulder, Colorado: Velo Press.
50. Broker JP (2003). Cycling power: Road and mountain. In: Burke ER, editor. *High-Tech Cycling: The Science of Riding Faster*. Colorado: Human Kinetics; p. 147-74.
51. Quod MJ, Martin DT, Martin JC, Laursen PB (2010). The power profile predicts road cycling MMP. *Int J Sports Med*; 31(6):397-401.

52. Pinot J, Grappe F (2011). The record power profile to assess performance in elite cyclists. *Int J Sports Med*; 32(11):839.
53. Ahrend M, Schneeweiß P, Theobald U, Niess A, Krauß I (2015). Published Abstract: Lactate dynamics of mountain bikers in a laboratory performance test. *Journal of Science and Cycling*; 4(2).
54. Ahrend M, Schneeweiß P, Theobald U, Nieß A, Krauß I (2014). Published Abstract: Validierung aerober und anaerober Leistungsparameter im Mountainbike-Sport: eine Pilotstudie. *Dtsch Z Sportmed*; 7-8:197.
55. Ahrend M, Schneeweiss P, Theobald U, Niess AM, Krauss I (2016). Comparison of laboratory parameters of a mountain bike specific performance test and a simulated race performance in the field. *Journal of Science and Cycling*; 5(1):3-9.
56. Ahrend M, Schneeweiss P, Niess AM, Martus P, Krauss I (2015). Abstract: Prediction of Mountain Bike Race Performance in Female Cyclists. *Journal of Science and Cycling*; 4(2).
57. Ahrend M, Schneeweiss P, Martus P, Niess AM, Krauss I (2015). Published Abstract: Validierung einer mountainbike-spezifischen Leistungsdiagnostik. *Dtsch Z Sportmed*; 66(7-8):211.
58. Coyle EF, Feltner ME, Kautz SA, Hamilton MT, Montain SJ, Baylor AM, Abraham LD, Petrek GW (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Med Sci Sports Exerc*; 23(1):93-107.
59. McCartney N, Heigenhauser GJ, Jones NL (1983). Power output and fatigue of human muscle in maximal cycling exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*; 55(1 Pt 1):218-24.
60. Hachana Y, Attia A, Chaabene H, Gallas S, Sassi RH, Dotan R (2012). Test-retest reliability and circadian performance variability of a 15-s Wingate Anaerobic Test. *Biol Rhythm Res*; 43(4):413-21.

61. Baron R, Bachl N, Petschnig R, Tschan H, Smekal G, Pokan R (1999). Measurement of maximal power output in isokinetic and non-isokinetic cycling. A comparison of two methods. *Int J Sports Med*; 20(8):532-7.
62. Patterson RP, Moreno MI (1990). Bicycle Pedaling Forces as a Function of Pedaling Rate and Power Output. *Med Sci Sports Exerc*; 22(4):512-6.
63. Wilber RL, Zawadzki KM, Kearney JT, Shannon MP, Disalvo D (1997). Physiological profiles of elite off-road and road cyclists. *Med Sci Sports Exerc*; 29(8):1090-4.
64. Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol* (1985); 75(2):712-9.
65. Lucas RDd, Machado CEP, Souza KMd, Oliveira MFMd, Guglielmo LGA, Vleck V, Denadai BS (2010). Physiological aspects of competitive mountain biking. *Rev Bras Med Esporte*; 16(6):459-64.
66. Impellizzeri FM, Ebert T, Sassi A, Menaspa P, Rampinini E, Martin DT (2008). Level ground and uphill cycling ability in elite female mountain bikers and road cyclists. *Eur J Appl Physiol*; 102(3):335-41.
67. De Pauw K, Roelands B, Cheung SS, de Geus B, Rietjens G, Meeusen R (2013). Guidelines to classify subject groups in sport-science research. *Int J Sports Physiol Perform*; 8(2):111-22.
68. Borg G (2004). Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. *Dtsch Arztebl*; 101(15):A1016-A21.
69. Takaishi T, Yasuda Y, Moritani T (1994). Neuromuscular Fatigue during Prolonged Pedaling Exercise at Different Pedaling Rates. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*; 69(2):154-8.
70. Kuipers H, Verstappen FT, Keizer HA, Geurten P, van Kranenburg G (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med*; 6(4):197-201.

71. Durnin J, Womersley J (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr*; 32(01):77-97.
72. Macdermid PW, Morton RH (2012). A longitudinal analysis of start position and the outcome of World Cup cross-country mountain bike racing. *J Sports Sci*; 30(2):175-82.
73. Shapiro SS, Wilk MB, Chen HJ (1968). A Comparative Study of Various Tests for Normality. *J Am Stat Assoc*; 63(324):1343-72.
74. Hopkins WG (1997). A new view of statistics. [Zugriff am: Zugriff: 01.02.2016]; Verfügbar unter: <http://sportsci.org/resource/stats/>
75. Hedderich J, Sachs L (2016). Statistische Modellbildung. *Angewandte Statistik: Methodensammlung mit R*. Berlin, Heidelberg: Springer; p. 758-863.
76. Berg A, Jakob E, Lehmann M, Dickhuth HH, Huber G, Keul J (1990). [Current aspects of modern ergometry]. *Pneumologie*; 44(1):2-13.
77. Hagberg JM, Coyle EF (1982). Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. *Med Sci Sports Exerc*; 15(4):287-9.
78. Müller B, Steiner T, Maier T, Wehrin J (2014). Treadmill-based cycling time trial better predicts seasonal cross-country mountain bike performance than traditional parameters in laboratory. *Journal of Science and Cycling*; 3(2):85.
79. Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT (1998). The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} and 1-h cycling performance in women. *Med Sci Sports Exerc*; 30(8):1270-5.
80. Stevens CJ, Dascombe BJ (2015). The Reliability and Validity of Protocols for the Assessment of Endurance Sports Performance: An Updated Review. *Meas Phys Educ Exerc Sci*; 19(4):177-85.

81. Knechtle B, Knechtle P, Rosemann T, Senn O (2011). Personal best time and training volume, not anthropometry, is related to race performance in the 'Swiss Bike Masters' mountain bike ultramarathon. *J Strength Cond Res*; 25(5):1312-7.
82. Mainardi F, Inoue A, Pompeu FAD, Santos TM (2015). Predictive Validity of Vo₂max Measurement and Estimates in Mountain Bikers' Performance. *Rev Bras Med Esporte*; 21(1):44-8.
83. Miller MC, Moir GL, Stannard SR (2014). Validity of using functional threshold power and intermittent power to predict cross-country mountain bike race outcome. *Journal of Science and Cycling*; 3(1):16-20.
84. Roecker K, Schotte O, Niess AM, Horstmann T, Dickhuth HH (1998). Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. *Med Sci Sports Exerc*; 30(10):1552-7.
85. Stapelfeldt B, Lohmüller D, Schmid A, Röcker K, Schumacher O, Gollhofer A (2006). Prädiktiver Wert physiologischer und biomechanischer Testverfahren zur Differenzierung leistungsbestimmender Faktoren im Radsport. *BISp-Jahrbuch - Forschungsförderung 2005/06: Bundesinstitut für Sportwissenschaft*; p. 179-84.
86. Craig NP, Norton KI, Bourdon PC, Woolford SM, Stanef T, Squires B, Olds TS, Conyers RA, Walsh CB (1993). Aerobic and anaerobic indices contributing to track endurance cycling performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*; 67(2):150-8.
87. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ (1985). Improved Detection of Lactate Threshold during Exercise Using a Log-Log Transformation. *J Appl Physiol* (1985); 59(6):1936-40.
88. Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med*; 2(3):160-5.
89. Martin L, Lambeth-Mansell A, Beretta-Azevedo L, Holmes LA, Wright R, St Clair Gibson A (2012). Even between-lap pacing despite high within-lap variation during mountain biking. *Int J Sports Physiol Perform*; 7(3):261-70.

90. Dugas J, Oosthuizen U, Tucker R, Noakes T (2009). Rates of fluid ingestion alter pacing but not thermoregulatory responses during prolonged exercise in hot and humid conditions with appropriate convective cooling. *Eur J Appl Physiol*; 105(1):69-80.
91. Decroix L, De Pauw K, Foster C, Meeusen R (2016). Guidelines to Classify Female Subject Groups in Sport-Science Research. *Int J Sports Physiol Perform*; 11(2):204-13.
92. Lamberts R, Davidowitz K (2014). Allometric scaling and predicting cycling performance in (well-) trained female cyclists. *Int J Sports Med*; 35(03):217-22.
93. Tomlin DL, Wenger HA (2001). The Relationship Between Aerobic Fitness and Recovery from High Intensity Intermittent Exercise. *Sports Med*; 31(1):1-11.
94. Zarzeczny R, Podlesny M, Polak A (2013). Anaerobic capacity of amateur mountain bikers during the first half of the competition season. *Biol Sport*; 30(3):189-94.
95. Wingo JE, Casa DJ, Berger EM, Dellis WO, Knight JC, McClung JM (2004). Influence of a Pre-Exercise Glycerol Hydration Beverage on Performance and Physiologic Function During Mountain-Bike Races in the Heat. *J Athl Train*; 39(2):169-75.
96. Bender R, Ziegler A, Lange S (2007). Multiple Regression. *Dtsch Med Wochenschr*; 132:e30-e2.
97. Paton CD, Hopkins WG (2006). Variation in performance of elite cyclists from race to race. *Eur J Sport Sci*; 6(1):25-31.
98. Atkinson G, Nevill AM (2001). Selected issues in the design and analysis of sport performance research. *J Sports Sci*; 19(10):811-27.
99. Coen B, Urhausen A, Kindermann W (2001). Individual anaerobic threshold: methodological aspects of its assessment in running. *Int J Sports Med*; 22(1):8-16.

100. McLellan TM, Jacobs I (1993). Reliability, reproducibility and validity of the individual anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*; 67(2):125-31.
101. Vanhatalo A, Doust JH, Burnley M (2008). Robustness of a 3 min all-out cycling test to manipulations of power profile and cadence in humans. *Exp Physiol*; 93(3):383-90.
102. Driller MW, Argus CK, Bartram JC, Boniventura J, Martin DT, West NP, Halson SL (2014). Reliability of a 2-bout exercise test on a wattbike cycle ergometer. *Int J Sports Physiol Perform*; 9(2):340-5.
103. Glaister M, Stone MH, Stewart AM, Hughes M, Moir GL (2003). Reliability of power output during short-duration maximal-intensity intermittent cycling. *J Strength Cond Res*; 17(4):781-4.
104. Hopkins WG, Schabert EJ, Hawley JA (2001). Reliability of power in physical performance tests. *Sports Med*; 31(3):211-34.
105. Capriotti PV, Sherman WM, Lamb DR (1999). Reliability of power output during intermittent high-intensity cycling. *Med Sci Sports Exerc*; 31(6):913-5.
106. Hopkins WG (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*; 30(1):1-15.
107. Aisbett B, Le Rossignol P, McConell GK, Abbiss CR, Snow R (2009). Effects of starting strategy on 5-min cycling time-trial performance. *J Sports Sci*; 27(11):1201-9.
108. Foster C, Snyder AC, Thompson NN, Green MA, Foley M, Schragger M (1993). Effect of pacing strategy on cycle time trial performance. *Med Sci Sports Exerc*; 25(3):383-8.
109. Hargreaves M, McKenna MJ, Jenkins DG, Warmington SA, Li JL, Snow RJ, Febbraio MA (1998). Muscle metabolites and performance during high-intensity, intermittent exercise. *J Appl Physiol* (1985); 84(5):1687-91.

110. Mendez-Villanueva A, Edge J, Suriano R, Hamer P, Bishop D (2012). The recovery of repeated-sprint exercise is associated with PCr resynthesis, while muscle pH and EMG amplitude remain depressed. *PLoS One*; 7(12):e51977.
111. Gardner AS, Martin JC, Martin DT, Barras M, Jenkins DG (2007). Maximal torque- and power-pedaling rate relationships for elite sprint cyclists in laboratory and field tests. *Eur J Appl Physiol*; 101(3):287-92.
112. Faria EW, Parker DL, Faria IE (2005). The science of cycling. *Sports Med*; 35(4):285-312.
113. Coen B, Schwarz L, Urhausen A, Kindermann W (1991). Control of training in middle- and long-distance running by means of the individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med*; 12(6):519-24.

7 Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Sportmedizin Tübingen unter Betreuung von Prof. Dr. Andreas M. Nieß und PD Dr. Inga Krauß durchgeführt.

Die Konzeption der ersten Studie (53-55) erfolgte in Zusammenarbeit mit PD Dr. Inga Krauß, Diplom Sportwissenschaftler Patrick Schneeweiß und Diplom Sportwissenschaftler Ulrich Theobald. Die Konzeption der zweiten Studie (56, 57) erfolgte eigenständig nach Beratung durch PD Dr. Inga Krauß, Diplom Sportwissenschaftler Patrick Schneeweiß und Prof. Dr. Peter Martus.

Sämtliche Versuche und Untersuchungen der Studie 1 und 2 wurden von mir eigenständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung der ersten Studie erfolgte eigenständig. Die statistische Auswertung der zweiten Studien erfolgte nach Beratung durch den Leiter des Instituts für Biometrie Herrn Prof. Dr. Martus. Die multiple Regressionsanalyse erfolgte nach Anleitung und Unterstützung von Herrn Prof. Dr. Martus.

Die zitierten Veröffentlichungen, die im Rahmen dieses Dissertationsprojekts angefertigt wurden, wurden von mir geschrieben und angefertigt. Hinweise und Korrekturen der Co-Autoren wurden anschließend eingearbeitet.

Ich versichere, das Manuskript selbstständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den 16.10.2016

8 Veröffentlichungen

Ahrend M, Schneeweiss P, Theobald U, Niess AM, Krauss I (2016). Comparison of laboratory parameters of a mountain bike specific performance test and a simulated race performance in the field. *Journal of Science and Cycling*; 5(1):3-9.

Ahrend M, Schneeweiß P, Theobald U, Niess A, Krauß I (2015). Published Abstract: Lactate dynamics of mountain bikers in a laboratory performance test. *Journal of Science and Cycling*; 4(2). Available at: <http://www.jsc-journal.com/ojs/index.php?journal=JSC&page=article&op=view&path%5B%5D=215&path%5B%5D=278>

Ahrend M, Schneeweiss P, Niess AM, Martus P, Krauss I (2015). Abstract: Prediction of Mountain Bike Race Performance in Female Cyclists. *Journal of Science and Cycling*; 4(2). Available at: <http://www.jsc-journal.com/ojs/index.php?journal=JSC&page=article&op=view&path%5B%5D=215&path%5B%5D=278>

Ahrend M, Schneeweiss P, Martus P, Niess AM, Krauss I (2015). Published Abstract: Validierung einer mountainbike-spezifischen Leistungsdiagnostik. *Dtsch Z Sportmed*; 66(7-8):211.

Ahrend M, Schneeweiß P, Theobald U, Nieß A, Krauß I (2014). Published Abstract: Validierung aerober und anaerober Leistungsparameter im Mountainbike-Sport: eine Pilotstudie. *Dtsch Z Sportmed*; 7-8:197.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. Andreas Michael Nieß danke ich herzlich für die Möglichkeit, diese Arbeit an der Sportmedizin Tübingen durchführen zu dürfen, sowie für die gewinnbringenden Anregungen während meiner Promotionszeit.

Mein besonderer Dank gilt Frau PD Dr. Inga Krauß. Durch ihre Unterstützung und das Gewähren von Freiräumen sowohl bei Vorträgen, Publikationen als auch bei der Arbeit selbst, konnte ich wertvolle Erfahrungen für das wissenschaftliche Arbeiten sammeln. Ihr kompetenter Rat kam mir in zahlreichen Angelegenheiten sehr zugute und trug somit zum Gelingen dieser Arbeit bei.

Des Weiteren danke ich Herrn Diplom Sportwissenschaftler Patrick Schneeweiß für die fachlich tiefgründigen Diskussionen sowie für die hilfreichen Unterstützung bei den Problemen, die während der Studien auftraten.

Ein besonderer Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. Peter Martus für die Mithilfe bei der Forschungsplanung und für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Abschließend möchte ich den Teilnehmern beider Studien sowie Haider Knall für den technischen Support danken. Ohne sie wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen.

Anhang

Anhang 1: Studienflyer zu Probandenrekrutierung



Studie zur Leistungsdiagnostik im MTB-Sport

Liebe/r Mountainbike-Fahrerinnen und -Fahrer

die Sportmedizin Tübingen sucht im Rahmen einer Studie volljährige Fahrer/innen die zwischen dem 01.09. und 18.10.14 ein offizielles MTB-Rennen fahren und davor eine MTB-spezifische Leistungsdiagnostik absolvieren möchten. Die Leistungsdiagnostik dauert ca. 3 Stunden und ist für Sie kostenfrei. Sie beinhaltet:



- Ruhe-EKG
- Lungenfunktionsdiagnostik
- klassischer Stufentests mit Laktatdiagnostik
- All-out-Time-Trial: MTB-typische Belastungsintervalle

Bei Interesse und für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an marc-daniel.ahrend@med.uni-tuebingen.de oder besuchen Sie unsere Homepage www.mtb-leistungsdiagnostik.de.

Ein erfolgreiches Rennen wünscht,

Ihre Sportmedizin Tübingen



 Sportmedizin
Tübingen

Anhang 2: Studienhomepage zur Probandenrekrutierung und Erfassung von Wettkampfergebnissen

www.mtb-leistungsdagnostik.de/

Leistungsdiagnostik im Mountainbike-Sport

STARTSEITE STUDIENINHALT LEISTUNGSDIAGNOSTIK ANMELDUNG ZUR STUDIE ERGEBNISMELDUNG DOWNLOAD KONTAKT



Studie zur Leistungsdiagnostik im Mountainbike-Sport

[Kommentar verfassen](#)

Liebe Mountainbike-Fahrerinnen und -Fahrer,

für eine Studie in der Sportmedizin der Universitätsklinik Tübingen suchen wir volljährige Fahrerinnen und Fahrer, die mindestens zwei bereits absolvierte Rennen in der laufenden Wettkampfsaison mit mindestens einer Platzierung in der vorderen Hälfte der jeweiligen Klassenwertung (Altersklasse, Geschlecht) erreicht haben.

Die Studie untersucht Messgrößen in einer speziell für den Mountainbike-Sport zusammengestellten Leistungsdiagnostik auf ihre Relevanz für den Wettkampferfolg. Die Leistungsdiagnostik, die Sie kostenlos erhalten, hat einen Wert von ca. 200€ und beinhaltet:

- Ruhe-EKG und Lungenfunktionsdiagnostik
- klassischer Stufentests mit Laktatdiagnostik (Einstiegsbelastung 80 Watt, Steigerung der Wattleistung um 40 Watt alle 3 Minuten bis zur Auslastung)
- All-out-Time-Trial: MTB-typische Belastungsintervalle über 10 Sekunden, 1 Minute sowie 5 Minuten, die mit maximal möglicher Leistung erbracht werden sollen.

Wir hoffen, dass wir Sie als Studienteilnehmer in der Sportmedizin Tübingen willkommen heißen dürfen. Weitere Informationen über den Studienablauf finden Sie auf dieser Homepage. Bei Fragen und Interesse melden Sie sich bitte unter marc-daniel.ahrend@med.uni-tuebingen.de um den weiteren Ablauf inkl. Terminen zu besprechen. Über eine Weiterleitung der Informationen an andere interessierte Fahrer würden wir uns auch sehr freuen.

Mit freundlichen Grüßen,

Marc-Daniel Ahrend



Anhang 3: Case Report Form der Studie 2

- Probandeninformation
- Einwilligungserklärung
- Überprüfungsform der Ein- und Ausschlusskriterien
- Sportbezogener Probandenfragebogen
- Gesundheitsbezogener Probandenfragebogen
- Belastungsbogen der Leistungsdiagnostik
- Abfrageform der Renndaten
- Trainingstagebuch

Studienleitung UKT:

PD Dr. Inga Krauß
Med. Universitätsklinik, Abt.
Sportmedizin/Biomechanik
Hoppe-Seyler-Str. 6
72076 Tübingen
inga.krauss@med.uni-tuebingen.de
Telefon: 07071-29-86486

Prüfarzt:

Dr. med. Jochen Hansel
Med. Universitätsklinik, Abt.
Sportmedizin
Hoppe-Seyler-Str. 6
72076 Tübingen
jochen.hansel@med.uni-
tuebingen.de
Telefon: 07071- 29-85161

Ansprechpartner:

Marc-Daniel Ahrend
Sarchhalde 15
72076 Tübingen
marc@ahrend.de
Mobil: 0160/94648212

Wettkampfspezifische Leistungsdiagnostik im MTB-Sport

Probandeninformation

Sehr geehrte Sportlerin, sehr geehrter Sportler,

mit diesem Schreiben erhalten Sie nähere Informationen zur sportartspezifischen Leistungsdiagnostik im Mountainbike. Auf der Grundlage einer vorausgehenden Studie an der Sportmedizin haben wir eine Leistungsdiagnostik speziell für Mountainbiker entwickelt, die neben dem klassischen Stufenprotokoll mit Laktatdiagnostik und Herzfrequenzmessung drei „All-Out-Time-Trials“ berücksichtigt, in denen in Belastungssequenzen von 10 Sekunden, 1 Minute sowie 5 Minuten die maximal mögliche Leistung erbracht werden soll. Dadurch werden neben der aeroben Leistungsfähigkeit auch anaerobe Wettkampfsituationen abgebildet, um dem Anforderungsprofil eines Mountainbike-Wettkampfs umfassender abbilden zu können. Zu Beginn jeder Stufe des Stufentests (Einstiegsbelastung 80 Watt, Steigerung der Wattleistung um 40 Watt alle 3 Minuten bis zur Ausbelastung), nach Abbruch sowie vor und nach den AOTT-Belastungssequenzen wird jeweils Blut aus dem Ohrläppchen entnommen und die Herzfrequenz dokumentiert.

Die Testungen bei Ihnen finden an einem Messtag statt und dauern ca. 2 Stunden.

Die Aussagekraft der jeweiligen Laborparameter soll zusätzlich validiert werden, indem die Parameter mit den Wettkampfzeiten eines offiziellen Mountainbike-Rennens verglichen werden. Dafür sind der Schwarzwald-Bike-Marathon in Furtwangen auf der 90km-Strecke am 14.09.2014, die Trans Zollernalb und die Alb-Gold-Trophy in Trochtelfingen (Langdistanz) am 05.10.2014 vorgesehen.

a) Detaillierte Darstellung der einzelnen Untersuchungsabschnitte

Eingangsuntersuchung (Dauer ca. 30 Min.)

Zu Beginn werden Sie von einem Arzt für innere Medizin sportmedizinisch untersucht. Hierbei wird überprüft, ob irgendwelche medizinischen Einwände gegen eine Ausbelastung auf dem Ergometer bestehen, beispielsweise schwerwiegende Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Nur wenn der Arzt die Durchführung der Leistungsdiagnostik

für unbedenklich erachtet, können wir Sie im Anschluss belasten. Im Rahmen der Untersuchung werden ein Ruhe-EKG und bei Bedarf eine Herzsonographie durchgeführt. Des Weiteren werden Körpergröße, Gewicht und Körperfett bestimmt. Anschließend erhalten Sie einen Fragebogen zu Ihrer Gesundheit, den Sie so detailliert wie möglich ausfüllen sollten.

Die Leistungsdiagnostik umfasst einen klassischen Stufentest, der mit wettkampfspezifischen Elementen ergänzt wurde. Die Sitzposition auf dem Fahrradergometer können Sie selbst auswählen. Bringen Sie hierzu wenn möglich Ihre Pedale sowie Ihre Radschuhe mit. Vor Protokollbeginn können Sie auch Ihre präferierte Radeinstellung vornehmen. Das Protokoll läuft wie folgt ab (siehe Abb. 1-3):

Stufentest und All-Out-Time-Trials (AOTT) (1.5 Std):

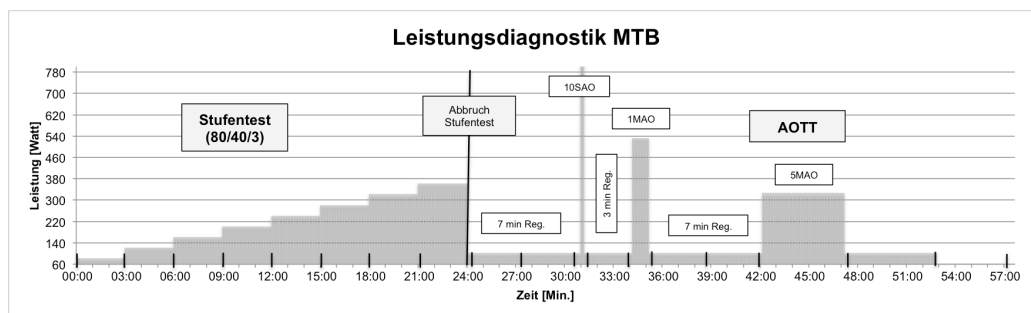


Abbildung 1: Übersicht des Belastungsprotokoll

Sie starten bei einer Leistung von 80 Watt. Alle drei Minuten steigert sich die Intensität um 40 Watt. Sie absolvieren den Test so lange, bis sie erschöpft sind oder andere körperliche Beschwerden (z.B. Gelenkschmerz) auftreten. Den Zeitpunkt des Abbruchs können Sie selbständig zu jeder Zeit festlegen. Gleichzeitig wird die Herzfrequenz mit einem Pulsgurt erfasst sowie eine Laktatleistungsdiagnostik durchgeführt. Bei der Laktatleistungsdiagnostik wird am Ende jeder Stufe und nach Belastungsabbruch eine kleine Kapillare (20 µl) mit Blut von Ihrem Ohrläppchen gefüllt.

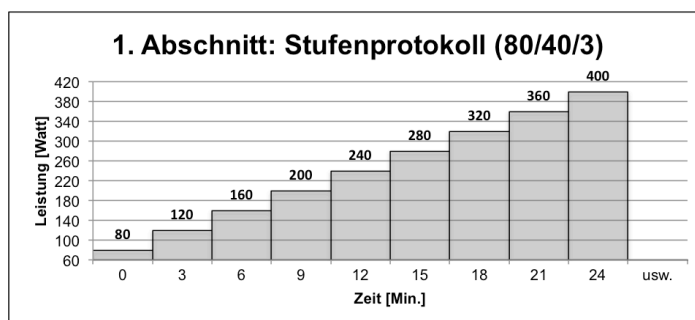


Abbildung 2: 1. Abschnitt: Stufenprotokoll

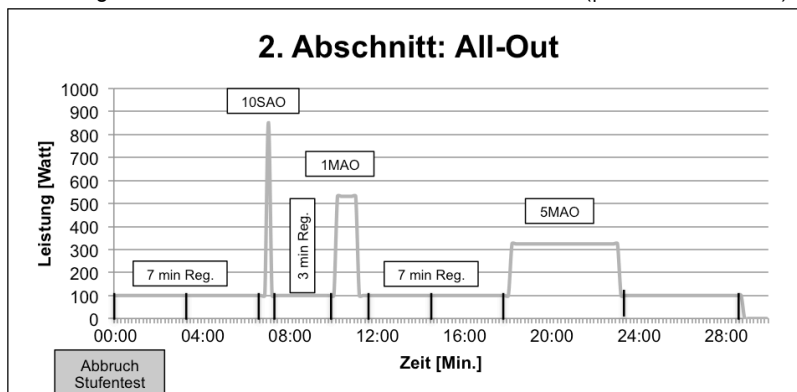
Nach der 7-minütigen Erholungsphase im Anschluss an das klassische Stufenprotokoll treten Sie 1-mal für 10 Sekunden mit individuell maximaler Intensität. Fünf Sekunden vor dem 10-s-AOTT erhalten Sie vom Untersucher die Anweisung, Ihre Tritts

frequenz auf 100 U/min zu steigern. Nach Ablauf dieser Zeit müssen Sie so schnell wie möglich die für Sie maximale Leistung erzielen. Sie sollen versuchen diese Maximalleistung über die verbleibende Zeit des 10-Sekunden AOTTs aufrechtzuerhalten. Nach einer weiteren 3-minütigen Regeneration wird untersucht, wie leistungsstark Sie über einen Zeitraum von einer Minute sind. Fahren Sie hierfür bei konstanten 100 U/min mit der höchsten Wattleistung, von der Sie denken, diese über eine Minute aufrecht erhalten zu können. Nach einer weiteren aktiven Erholung (7 Min) wird zum Abschluss der Untersuchung nochmals für fünf Minuten belastet. Teilen Sie sich diese 5 Minuten wieder so ein, dass Sie im Durchschnitt ihre maximale Leistung erzielen. Danach fahren Sie 5 Minuten locker aus.

Während der Belastungsintervalle soll es Ihr Ziel sein bei konstanter Trittfrequenz auf dem SRM-Fahrradergometer die persönlich bestmögliche Leistung zu erzielen. Während den zwischengeschalteten aktiven Erholungsphasen und beim Ausfahren können Sie Ihre Trittfrequenz zwischen 70 und 100 frei wählen. Die in diesen Abschnitten zu erbringende Leistung beträgt konstant 100 Watt.

Während des Belastungsprotokolls wird abermals die Herzfrequenz dokumentiert und etwas Blut aus dem Ohrläppchen zur Laktatdiagnostik (20 µl) entnommen. Der genaue Ablauf inklusive Blutabnahmen ist der folgenden Abbildung zu entnehmen.

Abbildung 3: 2. Abschnitt: Ablauf des All-Out-Time-Trials (| = Laktatabnahme)



Mountainbike-Rennen

Um die Ergebnisse der Labortests mit der Wettkampfleistung vergleichen zu können, bitten wir Sie, uns im Rahmen der Untersuchung Ihre Wettkampfleistung (Zielzeit) für ein im Voraus festgelegtes Rennen (Schwarzwald-Bike-Marathon, Trans Zollernalb oder Alb-Gold-Trophy) mitzuteilen. Auch die Rennzeiten aller anderen Rennen im August bis Oktober bitten wir Sie uns zur Verfügung zu stellen. Ferner werden wir Ihre Daten in pseudonymisierter Form verwenden, um den Zusammenhang der Laborparameter und der Wettkampfleistung über eine größere Personengruppe hinweg zu untersuchen.

b) Anforderungen und Vorgaben

Um verlässliche Ergebnisse zu erhalten, ist es wichtig, dass Sie den vereinbarten Termin wahrnehmen und die Laboruntersuchungen sowie das Mountainbike-Rennen mit maximaler Anstrengung durchführen. Bitte bereiten Sie sich daher adäquat mit

entsprechender Nahrungsaufnahme und Trinkverhalten auf die Belastungen vor. Ebenfalls sollte ein intensives Training am Vortag nicht durchgeführt werden. Sie werden gebeten, die Tests mit maximaler Anstrengung durchzuführen und die Fragebögen detailliert auszufüllen. Bei den Ergometerbelastungen darf nur im Sitzen gefahren werden. Ein „Wiegenschritt“ ist untersagt.

c) Vor- und Nachteile für ProbandenInnen / Risiko

Sie erhalten als Probandenprämie eine individuelle Leistungsdiagnostik sowie weitere Testergebnisse, welche im Regelfall einem Wert von ca. 200,- Euro entsprechen. Eine zusätzliche Probandenentschädigung können wir Ihnen leider nicht bieten. Mit der Teilnahme an der Studie sind keine besonderen Risiken verbunden, da es sich bei den vorgestellten Untersuchungsverfahren um nicht-invasive Methoden handelt. Belastungsbeschwerden (z.B. Schwindel, muskuläre Erschöpfung) können gelegentlich auftreten. Andere Beschwerden (z.B. Zerrungen, Herzrhythmusstörungen), die durch starke Belastungen ausgelöst werden, können nicht ausgeschlossen werden, treten aber nur in sehr seltenen Fällen auf. Eine medizinische Notfallversorgung ist durch einen approbierten Arzt gesichert.

d) Hinweis auf Rücktrittsrecht:

Die Teilnahme an der Studie ist freiwillig. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen formlos von der Teilnahme an der Studie zurücktreten. Nachteile, z.B. falls Sie zu einem späteren Zeitpunkt in der Sportmedizinischen Abteilung behandelt werden sollten, entstehen dadurch für Sie nicht.

e) Hinweis auf Datenschutz:

Alle persönlichen Informationen werden streng vertraulich behandelt. Ihre Befunde werden im institutseigenem Patientenmanagementprogramm „AIMS“ (Abteilungs Informations- und Management System) hinterlegt. Die in der Probandenakte aufgeführten Daten werden an einem verschlossenen Ort aufbewahrt, zu dem nur Mitarbeiter der Abt. Sportmedizin der Medizinischen Universitätsklinik Tübingen Zugang haben.

Die Daten Ihrer Probandenakte werden zudem für die weitere Datenanalyse elektronisch erfasst. Diese werden pseudonymisiert. Dies bedeutet, dass der Name jedes Probanden durch eine zweistellige-Kennziffer ersetzt wird. Eine Rückführung der Daten zu den Personendaten ist nur durch Einsicht der Probandenidentifikationsliste möglich. Der Zugriff auf diese Datei ist nur den direkt beteiligten Mitarbeitern der Studie (PD Dr. I. Krauß, P. Schneeweiß, U. Theobald und M. Ahrend) und dem Systemadministrator möglich. Alle digitalen Daten werden nach Abschluss der Studie 10 Jahre elektronisch gespeichert.

f) Hinweis auf Versicherungsschutz:

Es besteht keine Wegeversicherung.

g) Angabe über Kontaktpersonen bei Fragen und beim Auftreten von Schwierigkeiten:

Bei Fragen oder auftretenden Schwierigkeiten können Sie jederzeit Kontakt mit den auf Seite 1 der Probandeninformation aufgeführten Personen aufnehmen.

Studienleitung UKT:

Dr. Inga Krauß
Med. Universitätsklinik, Abt.
Sportmedizin/Biomechanik
Hoppe-Seyler-Str. 6
72076 Tübingen
inga.krauss@med.uni-tuebingen.de
Telefon: 07071-29-86486

Prüfarzt:

Dr. med. Jochen Hansel
Med. Universitätsklinik, Abt.
Sportmedizin
Hoppe-Seyler-Str. 6
72076 Tübingen
jochen.hansel@med.uni-
tuebingen.de
Telefon: 07071- 29-8516

Einverständniserklärung für Probanden

Titel der Studie: Wettkampfspezifische Leistungsdiagnostik im MTB-Sport
--

- **Bitte lesen Sie dieses Formular sorgfältig durch.**
- **Bitte fragen Sie den/die UntersucherIn oder Ihre Kontaktperson, wenn Sie etwas nicht verstehen oder wissen möchten.**

Ort der Studie: Institut für Biomechanik, Sportmedizin Tübingen

UntersucherIn: Marc-Daniel Ahrend

ProbandIn Vorname und Name: _____

Geburtsdatum: _____

Adresse/PLZ/Wohnort: _____

Telefon/e-Mail: _____

- ⇒ Ich nehme an dieser Studie freiwillig teil und kann jederzeit ohne Angabe von Gründen meine Zustimmung zur Teilnahme widerrufen, ohne dass mir deswegen Nachteile entstehen.
- ⇒ Ich wurde mündlich und schriftlich über die Ziele, den Ablauf der Studie, über die zu erwartenden Wirkungen, über mögliche Vor- und Nachteile sowie über eventuelle Risiken informiert.
- ⇒ Ich habe die zur oben genannten Studie abgegebene schriftliche ProbandInnen-Information gelesen. Meine Fragen im Zusammenhang mit der Teilnahme an dieser Studie sind mir zufriedenstellend beantwortet worden. Ich kann die schriftliche

ProbandInnen-Information behalten und erhalte auf Wunsch eine Kopie meiner schriftlichen Einverständniserklärung.

- ⇒ Ich hatte genügend Zeit, um meine Entscheidung zu treffen.
- ⇒ Ich bin einverstanden, dass die zuständigen Untersuchenden meine Originaldaten einsehen dürfen, jedoch unter strikter Einhaltung der Vertraulichkeit.
- ⇒ Ich bin mir bewusst, dass während der Studie die in der ProbandInnen-Information genannten Anforderungen und Vorgaben einzuhalten sind. Im Interesse meiner Gesundheit kann mich die untersuchende Person auch ohne gegenseitiges Einverständnis von der Studie ausschließen oder zum Abbruch der Leistungsdiagnostik zwingen. Zudem informiere ich die untersuchende Person über eine gleichzeitige Behandlung bei einem Arzt sowie über die Einnahme von Medikamenten (vom Arzt/von der Ärztin verordnete oder selbständig gekaufte).

Ort, Datum Unterschrift ProbandIn

Ort, Datum Unterschrift UntersucherIn



Wettkampfspezifische Leistungsdiagnostik im MTB-Sport

Übersicht der Aus- und Einschlusskriterien

Die Ein- und Ausschlusskriterien werden durch den Prüfarzt und den Untersucher bei der jeweiligen Belastung abgefragt bzw. kontrolliert. Für den Prüfarzt dient folgende Übersicht der Beurteilung, ob der Proband an der Studie teilnehmen darf:

Alle Einschlusskriterien erfüllt?

ja nein

- Wettkampferfahrung im MTB-Sport: mindestens zwei bereits absolvierte Rennen in der laufenden Wettkampfsaison (zuzüglich zum jeweiligen Untersuchungsblock festgelegten Rennen) mit mindestens einer Platzierung in der vorderen Hälfte der jeweiligen Klassenwertung (Altersklasse, Geschlecht).
- Der volljährige Proband gibt nach mündlicher und schriftlicher Aufklärung über die Ziele und Inhalte der Studie seine Einwilligung zur Teilnahme ab.
- Validierungsrennen

Ein Ausschlusskriterium erfüllt?

ja nein

- Akuter oder chronischer Allgemeininfekt
- Erkrankungen am Bewegungsapparat aufgrund derer der Athlet derzeit in medizinischer/physiotherapeutischer Behandlung ist und aufgrund derer eine Wettkampfteilnahme zum Zeitpunkt der Studie von Seiten des behandelnden Arztes untersagt wird. Darunter fallen u.a.:

<input type="checkbox"/> akute orthopädische Erkrankungen	<input type="checkbox"/> progrediente Instabilität der WS	<input type="checkbox"/> Osteoporose
<input type="checkbox"/> Bandscheibenvorfall	<input type="checkbox"/> frische Frakturen (4 Mo)	<input type="checkbox"/> Missbildungen der WS

- Bekannte internistische Vorerkrankungen, die zu einer Gefährdung des Probanden während der Messungen führen können. Hierunter sind explizit bekannte Vorerkrankungen des cardio-vaskulären Systems zu nennen, die zu einer gesundheitlichen Gefährdung durch maximale und/oder submaximale Belastungen führen können:

<input type="checkbox"/> Aortenstenose oder -dissektion	<input type="checkbox"/> Tachy- oder Bradyarrhythmie	<input type="checkbox"/> Akuter Myokardinfarkt
<input type="checkbox"/> Akute Myokarditis oder Perikarditis	<input type="checkbox"/> Bekannte Elektrolytstörungen	<input type="checkbox"/> Herzinsuffizienz
<input type="checkbox"/> Herzrhythmusstörungen mit Symptomatik/Hämodynamik	<input type="checkbox"/> Hauptstammstenose, Ausflussbahnobstruktion	<input type="checkbox"/> Klappenerkrankungen mäßigen Schweregrades
<input type="checkbox"/> Lungenembolie	<input type="checkbox"/> Instabile Angina pectoris	<input type="checkbox"/> AV-Blockierungen

- Sonstiges: Bauchoperationen (vor 4 Monaten), Tumorleiden



Trainingsanamnese

- Betreiben Sie andere Radsportarten im Wettkampf (z.B. Straßenradfahren)?
 ja nein
 Wenn ja, welche? _____
 Wenn ja, seit wann? _____
 Wie viele Wettkämpfe pro Jahr? _____
- Haben Sie in der Vergangenheit Wettkämpfe in einer anderen Radsportart (z.B. Straßenradfahren) gemacht?
 ja nein
 Wenn ja, welche? _____
 Wenn ja, wie lange? _____ bis _____
- Wie lange fahren sie Mountainbike insgesamt? _____ Jahre
- Seit wie vielen Jahren fahren Sie Mountainbike-Wettkämpfe? _____ Jahre
- In welcher Trainingsperiode (Jahreszyklus) befinden Sie sich?
 Vorbereitung Wettkampf Regeneration/Übergang

Folgende Angaben bitte für den Zeitraum der letzten 4 Wochen machen:

- Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche: _____
- Anzahl der gesamten! Trainingsstunden pro Woche: _____
- Geben Sie die Anteile in denen die Trainingsintensität liegt:

KO	GA 1	GA 2	EB	SB
_____ <small>Kompensationsbereich/ Regeneration</small>	_____ <small>Grundlagen- ausdauer 1</small>	_____ <small>Grundlagen- ausdauer 2</small>	_____ <small>Entwicklungs- bereich</small>	_____ <small>(Spitzenbereich/ Wettkampfspez.)</small>

- Wie viele Trainingsstd. pro Wochen sind davon auf dem Mountainbike? _____
- Trainingskilometer pro Woche: _____ km Höhenmeter/Woche _____ m
- Trainingskilometer pro Jahr: _____ km Höhenmeter/Jahr _____ m
- Wie oft machen Sie im Durchschnitt Krafttraining in der Woche? _____ Mal
 - Trainieren Sie dabei auch speziell Ihre Beinmuskulatur? ja nein
- Betreiben Sie neben dem Mountainbike auch andere Sportarten?
 ja nein
 Wenn ja, welche? _____
 Wenn ja, wie oft pro Woche? _____ Mal

--	--

- Hatten Sie im letzten ½ Jahr Trainingspausen (länger als 1 Monat)?

ja nein

Wenn ja, wann (Datum)? _____

Wenn ja, wie lange? _____

Wenn ja, warum? _____

Die 3 Bestleistungen im Mountainbike und in anderen Radfahrdisziplinen

Disziplin	Jahr	Platzierung	Rennen (Ort)

- Werden Sie dieses Jahr noch weitere Rennen absolvieren?

ja nein

Wenn ja, welche?

-
-
-
-



Wettkampfspezifische Leistungsdiagnostik im MTB-Sport

Klinischer Probandenfragebogen

- Dieser dient als Hilfe für die sportmed. Untersuchung vor der Leistungsdiagnostik -

Datum: _____

Familien-Anamnese (Mutter, Vater, Geschwister, Großeltern)

- 1) Liegt/Lag bei einem Verwandten eine Herz-(Kreislauf) Erkrankung vor (z.B. Bluthochdruck)? ja nein
Wenn ja, wer? _____
Wenn ja, welche? _____
- 2) Starb ein Familienmitglied durch eine Herzerkrankung? ja nein
Wenn ja, wer? _____
In welchem Alter? _____ Jahre
wenn Ursache bekannt, welche? _____
- 3) Ist ein Familienmitglied zuckerkrank (Diabetes mellitus)? ja nein
Wenn ja, wer? _____
In welchem Alter? _____ Jahre
- 4) Ist ein Schlaganfall aufgetreten? ja nein
Wenn ja, bei wem? _____
In welchem Alter? _____ Jahre

Eigene Vorgeschichte/Krankheitsanamnese

- 5) Welche der nachfolgenden Kinderkrankheiten hatten Sie:
 Masern Keuchhusten Mumps Scharlach
 Röteln Windpocken Sonstige _____
- 6) Hatten Sie schon eine Operation? ja nein
Wenn ja, welche / wann? _____



7) Hatten Sie Brüche und/oder Unfälle? ja nein
 Wenn ja, welche / wann? _____

8) Sind Ihnen Allergien bekannt? ja nein
 Wenn ja, welche? _____

Jetzige Beschwerden und Erkrankungen

9) Haben Sie momentan gesundheitliche Beschwerden? ja nein
 Wenn ja, welche / wann? _____

10) Hatten Sie in den letzten 3 Wochen einen Infekt/Erkältung? ja nein

11) Ist eine der folgenden Gefäß- und Herzkrankheiten bei Ihnen bekannt? ja nein

Akuter Myokardinfarkt, Instabile Angina pectoris, Herzrhythmusstörungen mit Symptomatik und/oder eingeschränkter Hämodynamik, Aortenstenose, Herzinsuffizienz, Akute Lungenembolie, Akute Myokarditis, Akute Perikarditis, Aortendissektion, Hauptstammstenose, Klappenerkrankungen mäßigen Schweregrades, Bekannte Elektrolytstörungen, Tachy- o. Bradyarrhythmie, Ausflussbahnobstruktion, AV-Blockierungen

Wenn ja, welche / seit wann? _____

12) Leiden Sie unter Herzschmerzen (Enge im Brustkorbbereich)? ja nein

13) Leiden Sie unter Atembeschwerden?

Atemnot Husten Auswurf

14) Haben Sie Bluthochdruck? ja nein
 Wenn ja, wie hoch / seit wann? _____

15) Sind Ihnen andere Krankheiten bekannt? ja nein
 Wenn ja, welche / wann? _____

16) Bei Frauen:

Sind Sie schwanger? ja nein

Ist Ihre Regelblutung regelmäßig? ja nein

Nehmen Sie die Pille? ja nein



- 17) Haben Sie irgendwelche Beschwerden? [] ja [] nein
- [] Schlafstörungen [] beim Wasserlassen
- [] Appetitmangel [] Verstopfung
- [] Gewichtsverlust in den letzten 4 Wochen (>2 kg)
- [] Sonstiges _____

- 18) Welche der sog. Risikofaktoren bestehen bei Ihnen?
- [] Rauchen [] Fettstoffwechselstörung
- [] Übergewicht [] Zuckerkrankheit
- [] Alkohol, wenn ja was/ wie oft _____

- 19) Welche Impfungen haben Sie erhalten?
- [] Tetanus, zuletzt am _____
- [] Masern [] Keuchhusten
- [] Windpocken [] Tuberkulose
- [] Hepatitis A [] Hepatitis B
- [] Sonstige _____

- 20) Nehmen Sie regelmäßig Medikamente ein? [] ja [] nein
- Wenn ja, welche? _____

- 21) Nehmen Sie regelmäßig Nahrungsergänzungsmittel oder z.B. Kreatin ein? [] ja [] nein
- Wenn ja, welche? _____

Orthopädische und sportbezogene Fragen

- 22) Ist in den letzten 2 Jahren Folgendes aufgetreten (bitte markieren mit „!!!“, wenn diese beim Mountainbike aufgetreten sind)
- [] Ohnmacht beim Sport? Wenn ja, wann?
- [] Schwindel beim Sport? Wenn ja, wann?
- [] Herzschmerzen beim/nach dem Sport? Wenn ja, wann?
- [] Herzstolpern beim/nach dem Sport? Wenn ja, wann?
- [] ungewöhnliche Luftnot beim Sport? Wenn ja, wann?

- 23) Fühlen Sie sich unsicher bei körperlichen Belastungen? [] ja [] nein



- 24) Haben Sie momentan Beschwerden an Muskeln/Gelenken? ja nein
Wenn ja, wo? _____
- 25) Haben Sie eine der folgenden orthopädischen Erkrankungen? ja nein
progrediente Instabilität der WS, Missbildungen der WS, Osteoporose,
Bandscheibenvorfall, Skoliosen der Wachstumsphase
- 26) Hatten Sie folgende Beschwerden/Verletzungen beim Mountainbike? ja nein
- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Schädelfraktur | <input type="checkbox"/> Kopfschmerzen |
| <input type="checkbox"/> Dehydration | <input type="checkbox"/> Schädeltraumen |
| <input type="checkbox"/> Halswirbelprobleme | <input type="checkbox"/> Lendenwirbelprobleme |
| <input type="checkbox"/> Armfrakturen | <input type="checkbox"/> Handgelenksverletzungen |
| <input type="checkbox"/> Hüftbeschwerden | <input type="checkbox"/> Knieprobleme |
| <input type="checkbox"/> Oberschenkelfrakturen | <input type="checkbox"/> Leistenbruch |
| <input type="checkbox"/> Hernien | <input type="checkbox"/> Leberhämatome |
| <input type="checkbox"/> Hodenveränderungen | <input type="checkbox"/> Milzverletzungen |
| <input type="checkbox"/> Sonstiges _____ | |



Wettkampfspezifische Leistungsdiagnostik im MTB-Sport

Zeit	Stufe	HF (1/min)	Laktat (mmol/l)	Anmerkung
Start: Stufentest	0			RR
0-3	80			
3-6	120			
6-9	160			
9-12	200			
12-15	240			
15-18	280			
18-21	320			
21-24	360			
24-27	400			
Start: All-Out				Abbruchzeit: _____
03:30				Hälfte Reg Stufe
06:30				Vor 10SAO
07:00-07:10	10SAO		-----	
07:30				Nach 10SAO
09:40				Vor 1MAO
10:10-11:10	1MAO		-----	
11:30				Nach 1MAO
14:10				Hälfte Reg. 1MAO-5MAO
17:40				Vor 5MAO
18:10-23:10	5MAO		-----	
23:30				Nach 5MAO
28:10				Nach Ausfahren (5min)
33:10				10 min nach 5MAO



Gewicht: kg Größe: cm Körperfett: %

Vitalkapazität: l Bauchumfang: cm

- Training am Vortag:
- Nahrungsergänzungsmittel:
- Essen:
- Voruntersuchungen des Probanden**
- sportmed. Untersuchung Lungenfunktion Ruhe-EKG
- Sonstiges:

Einstellungen/Kontrolle der Gerätschaften

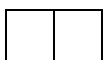
- Laktat und SRM-Kalibrierung bzw. Prüfung
- Messung Umgebungsdruck, Raumtemperatur
- RR-Messung auf jeder Stufe

Anweisungen an Probanden

- Protokollerklärung nur im Sitzen „Alles geben“
- Stufentest 80/40/3
- Erholungsphase/Einfahren: Frequenz über 70U/min bei 100 Watt
- 10SAO: 5 Sekunden vor Beginn die Trittfrequenz auf 100 steigern; „nach Signal: so schnell wie möglich Maximalleistung erreichen, und versuchen über 10 Sekunden halten“
- 1/5MAO: „höchste Durchschnittsleistung möglichst gleichmäßig über 1, bzw. 5 Minuten erzielen“ „Am Ende nochmal alles geben“ Trittfrequenz 100!

Abbruch nach min bei Watt, wegen

Ansprechpartner:
Marc-Daniel Ahrend
Sarchhalde 15
72076 Tübingen
marc@ahrend.de
Mobil: 0160/94648212



Abfrage Wettkampfleistung

Liebe Studienteilnehmerin, lieber Teilnehmer,
vielen Dank für die Teilnahme an der Studie. Zur Überprüfung Ihrer Leistungsdiagnostik fahren Sie ein Validierungsrennen. Bitte finden Sie sich rechtzeitig zum Start ein, damit Sie möglichst im vorderen Fahrerfeld starten können. Zudem haben wir die Bitte, dass Sie sich mit gleicher Sorgfalt wie für die Leistungsdiagnostik vorbereiten und den Wettkampf mit „vollem Einsatz“ absolvieren. Wir wünschen Ihnen viel Erfolg fürs Rennen!

Bitte tragen Sie Ihre Rennergebnisse aus den Monaten September und Oktober in nachstehendes Formular und senden Sie es an marc@ahrend.de oder an o.g. Anschrift. Ebenfalls kann das Formular auf www.mtbleistungsdagnostik.wordpress.com/ergebnismeldung/ bearbeitet werden. Dateien von Garmin-Geräten oder sonstigen Rad-Computer, die den Verlauf des Validierungsrennens aufgezeichnet haben, können Sie gerne per Mail schicken.

Wir danken für Ihre Studienteilnahme und hoffen Ihnen hat diese gefallen.

Ihre Sportmedizin Tübingen

Rennen 1

Anzahl an Rennen im September und Oktober: _____

Name: _____ **Geburtsjahr:** _____

Wettkampf: _____ **Distanz (km):** _____ **Datum:** _____

Mountainbikedisziplin: XCO XCM Andere:

Kategorie: Lizenz Hobby

Altersklasse: Hauptklasse Masters 1 Masters 2

Zielzeit: ____:____:____ (hh:mm:ss)

Gesamtplatzierung (alle): _____ **Gesamtplatzierung (Geschlecht):** _____

Platzierung Klasse: _____

Startblock: Lizenz Hobby vordere Reihen irgendwo:

Technischer Defekt während des Rennens: ja nein

Wenn ja, Dauer der Rennunterbrechung? _____

Sonstiges Anmerkung zum Rennen: ja nein

Wenn ja, welche?

Dauer einer möglichen weiteren Rennunterbrechung? _____

Rennen 2

Name: _____ **Geburtsjahr:** _____

Wettkampf: _____ **Distanz (km):** _____ **Datum:** _____

Mountainbikedisziplin: XCO XCM Andere:

Kategorie: Lizenz Hobby

Altersklasse: Hauptklasse Masters 1 Masters 2

Zielzeit: ____:____:____ (hh:mm:ss)

Gesamtplatzierung (alle): _____ **Gesamtplatzierung (Geschlecht):** _____

Platzierung Klasse: _____

Startblock: Lizenz Hobby vordere Reihen irgendwo:

Technischer Defekt während des Rennens: ja nein

Wenn ja, Dauer der Rennunterbrechung? _____

Sonstiges Anmerkung zum Rennen: ja nein

Wenn ja, welche?

Dauer einer möglichen weiteren Rennunterbrechung? _____

Bem.: Falls das Formular nicht ausreicht, melden Sie bitte Ihre Rennen auf

www.mtbleistungsdagnostik.wordpress.com/ergebnismeldung/ oder Drucken Sie entsprechendes

Dokument aus dem Download-Bereich.



Wettkampfspezifische Leistungsdiagnostik im MTB-Sport

Trainingstagebuch

Bitte füllen Sie sorgfältig folgende Tabelle aus. Beginnen Sie hierbei mit dem Nachtragen der Wochen vor der Leistungsdiagnostik. Ruhetage sollen kenntlich gemacht und Trainingsinhalte inkl. Intensitäten kurz beschrieben werden (z.B.: morgens Kraft Beine; abends: GA1 mit 4x15 Min. GA2-Intervalle auf Straße). Wettkampftage sollten notiert werden. Gerne können Sie auch Ihr eigenes Trainingstagebuch, falls Sie ein solches führen, an marc@ahrend.de schicken.

	Tag	Trainingsinhalt und –intensität (KO, GA1, GA2, EB, SB)	Dauer [Std]	Strecke [km]	Höhen meter	Auf dem MTB?
Woche vor Leistungsdiagnostik	Mo					
	Di					
	Mi					
	Do					
	Fr					
	Sa					
	So					
		Bemerkungen:				



Woche der Leistungsdiagnostik	Mo					
	Di					
	Mi					
	Do					
	Fr					
	Sa					
	So					
		Bemerkungen:				
1 Woche nach Leistungsdiagnostik	Mo					
	Di					
	Mi					
	Do					
	Fr					



	Sa					
	So					
	Bemerkungen:					
2 Wochen nach Leistungsdiagnostik	Mo					
	Di					
	Mi					
	Do					
	Fr					
	Sa					
	So					
	Bemerkungen:					
3 Wochen nach Leistungsdiagn.	Mo					
	Di					



	Mi					
	Do					
	Fr					
	Sa					
	So					
	Bemerkungen:					
4 Wochen nach Leistungsdiagnostik	Mo					
	Di					
	Mi					
	Do					
	Fr					
	Sa					
	So					
	Bemerkungen:					

**Anhang 4: Studien-Zusammenfassung für Probanden mit praktischer
Anwendung der leistungsdiagnostischen Resultate**



Ihre persönliche Studien-Zusammenfassung

Sehr geehrter Herr Mustermann,

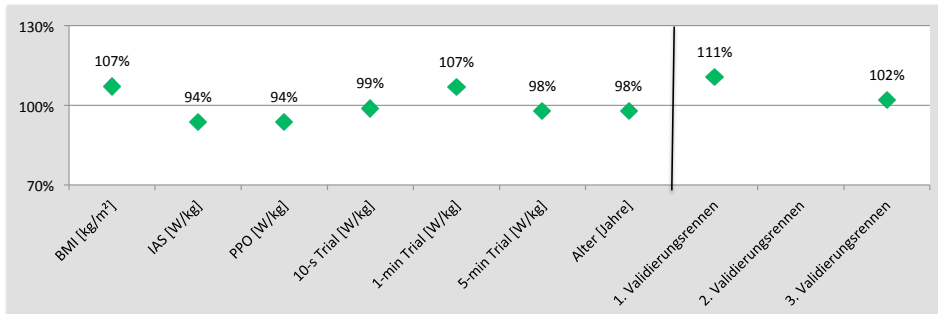
auf den nächsten Seiten sind Ihre Ergebnisse der Leistungsdiagnostik zusammengefasst. Die Ergebnisse und Ihre Probandenmappen werden im Vortrag für alle im Allgemeinen erläutert. Im Anschluss daran beantworte ich gerne Ihre weiteren Fragen.

Auswertung 1 stellt Ihre Ergebnisse im Vergleich zu den anderen Studienteilnehmern dar. Aus dieser Grafik kann man lesen in welchen Bereichen Sie im Vergleich zum Durchschnitt besser (>100%) oder schlechter (<100%) sind. Somit werden Ihre Stärken und Schwächen im Vergleich zu den anderen Probanden deutlich. Des Weiteren zeigt sich in der Grafik Ihr persönliches Leistungsprofil nach dem Sie Schwerpunkte im Training setzen können.

Gleichzeitig sehen Sie wie Sie im Vergleich zu den anderen Probanden im Validierungsrennen abgeschnitten haben (>100% entspricht eine schnellere/bessere Rennzeit). Der Zusammenhang zwischen Ihrer Leistungsdiagnostik und Ihrem Validierungsrennen wird umfassend in den Anhängen 6-8 dargestellt.

Als Interpretationshilfe soll nachfolgendes Beispiel dienen:

BMI	24,91	∅	23,24	Vergleich ∅	107%
IAS [absolut / W/kg]:	223 / 2,87	∅	3,07	Vergleich ∅	94%
PPO [absolut / W/kg]:	333 / 4,29	∅	4,58	Vergleich ∅	94%
10-s Trial [absolut / W/kg]	810 / 10,44	∅	10,56	Vergleich ∅	99%
1-min Trial [absolut / W/kg]	507 / 6,53	∅	6,11	Vergleich ∅	107%
5-min Trial [absolut / W/kg]	287 / 3,70	∅	3,78	Vergleich ∅	98%
Schwarzwald-Bike-Marathon	03:51:29	∅	04:19:10	Vergleich ∅	111%
Trans Zollernalb 1. Etappe		∅	02:24:00	Vergleich ∅	
Alb-Gold-Trophy	03:11:29	∅	03:15:23	Vergleich ∅	102%



Es ist erkennbar, dass der Fahrer Schwächen im anaeroben Ausdauerbereich hat (10-s Trial und 1-min Trial). Sowohl im Vergleich zu den anderen Fahrern, als auch im Vergleich zu seinen restlichen leistungsdiagnostischen Parametern. Die individuelle anaerobe Schwelle (IAS), als wichtiger Parameter für die aerobe Leistungsfähigkeit und der 5-min Trial, in der vermehrt aerobe Leistung erbracht wird, ist ungefähr im Durchschnitt zu den anderen Fahrern. Sie gehören aber bei diesem Fahrer zu seinen eigenen Stärken.

Für das Training bedeutet dies, dass neben dem weiteren Ausbau der aeroben Leistungsfähigkeit, auch vermehrt Trainingsinhalte im anaeroben Bereich gefahren werden sollten. Jedoch durch die für ihn persönlich gute aerobe Leistungsfähigkeit hat der Fahrer die bisherigen Rennzeiten und Erfolge erreichen können. Ihm sollte daher bewusst sein, dass er seine Stärken im Training nicht vernachlässigen darf.

Für Sie ist eventuell auch interessant wie Sie im Vergleich zu den besten Fahrer/innen abschneiden. **Auswertung 2** zeigt wie stark und in welchen Parametern sich Ihr Leistungsniveau im Vergleich zu den besten beiden Fahrer/innen unterscheidet. Um die Anonymität der Fahrer bzw. der Fahrerinnen zu wahren, sind die durchschnittlichen Werte der beiden besten Fahrer bzw. Fahrerinnen als Referenzwerte angegeben.

Zwar wurde der Einfluss einer Trainingsintervention mit den in der Leistungsdiagnostik erhobenen Parametern auf die Verbesserung der Leistungsfähigkeit im MTB-Sport bisher noch nicht umfassend untersucht, doch können unsere Studienergebnisse zeigen, dass ein starker Zusammenhang zwischen IAS bzw. 1-min Trial mit der Rennzeit besteht. Auch die maximale Leistung über ein 5 min Intervall korreliert deutlich. Dies bedeutet, dass Fahrer, die hohe Leistungen in diesen Parametern erbringen auch schneller im Rennen sind. Fahrer sollten daher eine Verbesserung der o.g. Parameter anstreben, um ihre Rennergebnisse zu verbessern. Hierzu könnten beispielhaft Trainingseinheiten in **Auswertung 3** dienen.

Auswertung 4-6 befasst sich mit der Vorhersage Ihrer Rennzeit in den Validierungsrennen auf Grundlage Ihrer Leistungsdiagnostik. Ihre Nummer entspricht Ihrer bei Studienteilnahme mitgeteilten ID.

Ich hoffe, Ihnen hat die Teilnahme an der Studie gefallen und die Auswertung der Ergebnisse hatte auch für Sie persönlich einen Nutzen. Nochmals herzlichen Dank, dass Sie uns als Proband zur Verfügung standen. Bei Rückfragen stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung.

Mit sportlichen Grüßen



Marc-Daniel Ahrend

MTB-Leistungsdagnostik: Auswertung 1				
ID	14	alle Probanden		
Vorname:	Marc			
Nachname:	Mustermann			
Geburtsdatum:	11.09.89			
Größe:	176,5			
Gewicht:	77,6			
BMI	24,91			
IAS [absolut / W/kg]:	223 / 2,87	∅ 3,07	Vergleich ∅	94%
PPO [absolut / W/kg]:	333 / 4,29	∅ 4,58	Vergleich ∅	94%
10-s Trial [absolut / W/kg]	810 / 10,44	∅ 10,56	Vergleich ∅	99%
1-min Trial [absolut / W/kg]	507 / 6,53	∅ 6,11	Vergleich ∅	107%
5-min Trial [absolut / W/kg]	287 / 3,70	∅ 3,78	Vergleich ∅	98%
Schwarzwald-Bike-Marathon	03:51:29	∅ 04:19:10	Vergleich ∅	111%
Trans Zollernalb 1. Etappe		∅ 02:24:00	Vergleich ∅	
Alb-Gold-Trophy	03:11:29	∅ 03:15:23	Vergleich ∅	102%




05.03.15

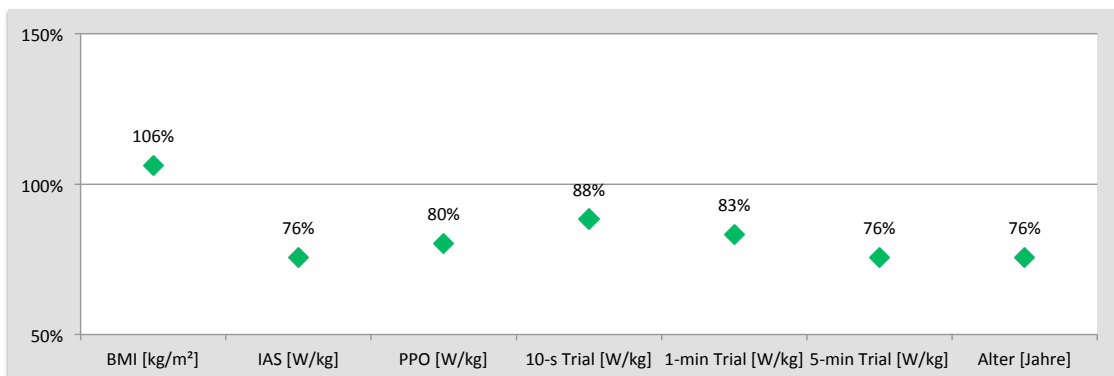
- IAS Individuelle anaerobe Schwelle (Berechnung nach Dickhuth)
- PPO Peak Power Output (max. Leistung im Stufentest, interpoliert auf 30 sek.)
- x-x Trial x-x Trial (∅-Leistung über angegebene Zeit)
- BMI Body Mass Index (Verhältnis von Körpergewicht zu -Größe)
- Rennzeiten abzüglich Rennunterbrechungen; >100% entspricht schneller als der Durchschnitt

Die ∅-Referenzen beziehen sich auf 54 Fahrer/innen in Ihrer Altersgruppe, die auch an der Studie teilnahmen.

Universitätsklinikum Tübingen, Medizinische Klinik, Abteilung Sportmedizin Hoppe-Seyler-Straße 6, 72076 Tübingen
Tel. (Termine): 07071 - 29 86493, Tel. (Infos): 07071 - 29 86496, Mail: Patrick.Schneeweiss@med.uni-tuebingen.de

MTB-Leistungsdiagnostik: Auswertung 2

Vorname:	Marc	Ergebnisauswertung			
Nachname:	Mustermann	Vergleich zu den besten Fahrer/Innen			
Geburtsdatum:	11.09.89				
Geschlecht:	männlich				
Größe:	176,5				
Gewicht:	77,6				
BMI	24,91				
IAS [absolut / w/kg]:	223 / 2,87	∅	3,80	Vergleich ∅	76%
PPO [absolut / w/kg]:	333 / 4,29	∅	5,35	Vergleich ∅	80%
10-s Trial [absolut / W/kg]	810 / 10,44	∅	11,81	Vergleich ∅	88%
1-min Trial [absolut / W/kg]	507 / 6,53	∅	7,85	Vergleich ∅	83%
5-min Trial [absolut / W/kg]	287 / 3,70	∅	4,89	Vergleich ∅	76%



05.03.15

IAS	Individuelle anaerobe Schwelle (Berechnung nach Dickhuth)
PPO	Peak Power Output (max. Leistung im Stufentest, interpoliert auf 30 sek.)
CP xx	Critical Power xx (∅-Leistung über angegebene Zeit)
BMI	Body Mass Index (Verhältnis von Körpergewicht zu -Größe)
Rennzeiten	abzüglich Rennunterbrechungen; >100% entspricht schneller als der Durchschnitt

Die ∅-Referenzen beziehen sich auf die besten 2 Fahrer/Innen (gemessen an der Rennzeit), die an der Studie teilnahmen

Universitätsklinikum Tübingen, Medizinische Klinik, Abteilung Sportmedizin Hoppe-Seyler-Straße 6, 72076 Tübingen
Tel. (Termine): 07071 - 29 86493, Tel. (Infos): 07071 - 29 86496, Mail: Patrick.Schneeweiss@med.uni-tuebingen.de

Mögliche Trainingseinheiten (Auswertung 3)

Die unten beispielhaft aufgeführten Trainingsempfehlungen stellen eine zusätzliche Möglichkeit zur Leistungssteigerung und Trainingsoptimierung dar. Beachten Sie, dass Sie nicht neben der Verbesserung Ihrer Schwächen Ihre Stärken im Training vernachlässigen sollten. Zudem wurde der Einfluss von Trainingsinterventionen auf die Verbesserung der Leistungsfähigkeit im MTB-Sport bisher noch nicht umfassend untersucht.

Die Trainingsempfehlungen sind in Anlehnung an folgendes Buch verfasst:
Allen, H. and A. Coggan (2012). Wattmessung im Radsport und Triathlon. Hamburg, Spomedis

Liegen Ihre Schwächen im aeroben Leistungsbereich (IAS/5-min Trial)?
 Dann könnte folgendes Training von Nutzen sein:

IAS/5-min Trial	Zeit	Beschreibung	Watt %IAS	HF %IAS
Aufwärmen	15 min	Lockerer fahren	56-75	69-83
Hauptteil (2:30 -2:45 h)	1 h	Gleichmäßiges fahren mit Intervallen:	80-95	90-98
	- 5 x 1 min - 2 x 3 min	Schnelles Treten 100+ U/min Kräftige Anstiege	<80 >115	- >105
	2 x 20 min (10 min Erholung)	Schwellentraining	90-95	98-102
	10 x 2 min	Anstiege	>130	>105
	30-45 min	IAS	88-93	92-98
Cool down	10 min	Lockerer fahren	56-75	69-83

IAS (ca. 2 h)	Zeit	Beschreibung	Watt %IAS	HF %IAS
Aufwärmen	15 min	Lockerer fahren	56-75	69-83
Hauptteil	1,5 - 2 h	Ausdauer	60-70	75-80
Cool down	10 min	Lockerer fahren	56-75	69-83

IAS (ca. 1,5 h)	Zeit	Beschreibung	Watt %IAS	HF %IAS
Aufwärmen	15 min	Lockerer fahren	56-75	69-83
Hauptteil	2 x 5 min (5 min Erholung)	IAS/5-min Trial	105	>105
	2 x 15 min (5min Erholung)	Schwellenleistung	95	95-98
Cool down	15 min	Lockerer fahren	56-75	69-83

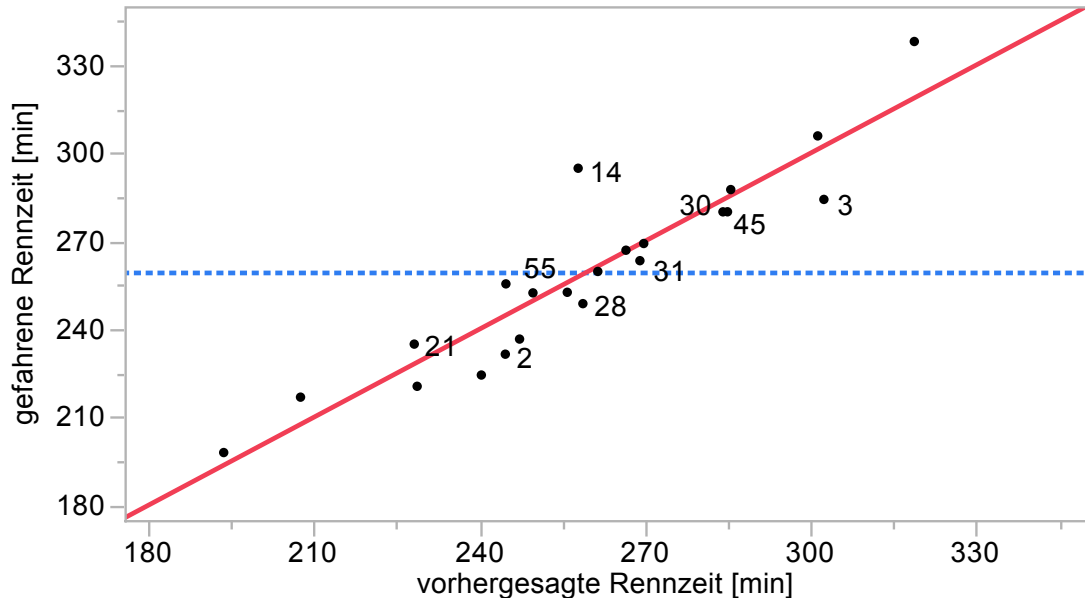
Schwächen in hochintensiven Bereichen? In der anaeroben Leistungsfähigkeit?
Dann probieren Sie doch Nachstehendes aus:

1-min Trial (ca. 1 h)	Zeit	Beschreibung	Watt %IAS	HF %IAS
Aufwärmen	15 min	Lockerer fahren	56-75	69-83
Hauptteil	3 x 2 min (1 min Erholung)	anaerobe Kapazität	135	105
	5 min	Lockerer fahren	<75	<83
	3 x 1 min (1 min Erholung)	anaerobe Kapazität/1-min Trial	150	>105
	5 min	Lockerer fahren	<75	<83
	3 x 30 s (1 min Erholung)	Alles geben	200	
Cool down	15 min	Lockerer fahren	56-75	69-83

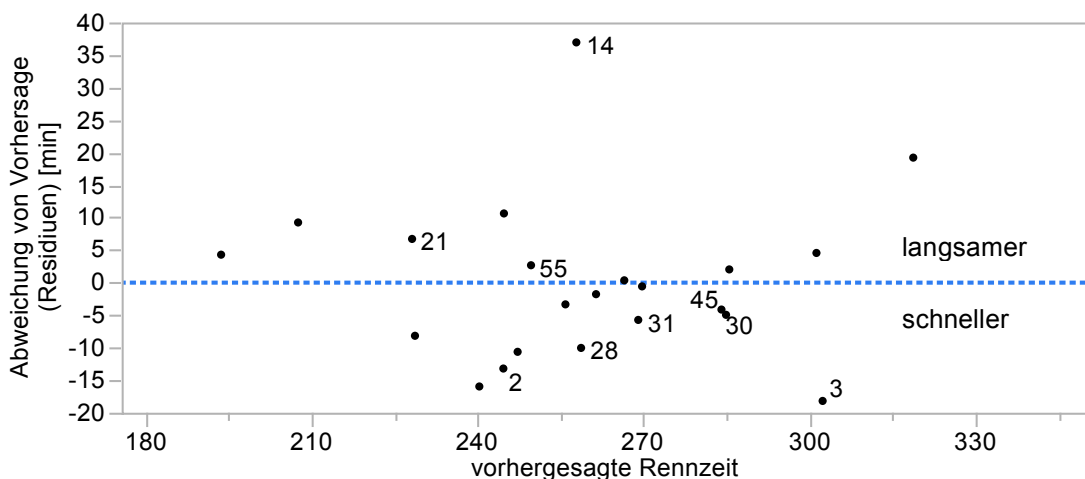
1-min + 5-min Trial (ca. 2 h)	Zeit	Beschreibung	Watt %IAS	HF %IAS
Aufwärmen	20 min	Lockerer fahren	56-75	69-83
Hauptteil	5 x 5 min (3 min Erholung)	Schwellenleistung	90	<90
	6 x 2 min (3 min Erholung)	Alles geben	>135	>105
	4 x 1 min (3 min Erholung)	Alles geben	150	>105
	15 min	zügiger fahren	70-80	75-90
Cool down	10 min	Lockerer fahren	56-75	69-83

Ihre Rennvorhersage durch Ihre Leistungsdiagnostik

Auswertung 4: Für Probanden die am Schwarzwald-Bike-Marathon (Rennen 1) teilnahmen.

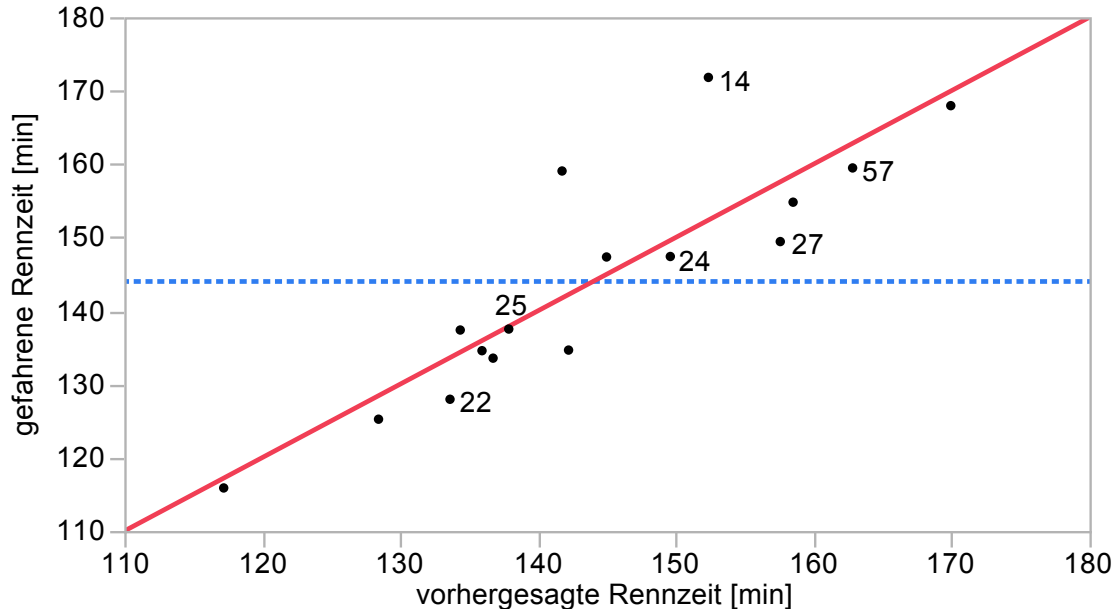


Die obere Abbildung zeigt, wie Ihre Leistungsdiagnostik im berechneten Modell Ihre Rennleistung hätte vorhersagen können. Die Punkte sind Probanden. Ihre Nummer finden Sie im Anhang 1. Auf der y-Achse sind die im Rennen gefahrenen Rennzeiten in Minuten. Auf der x-Achse wurde, die berechnete Rennzeit auf Grundlage der leistungsdiagnostischen Ergebnisse dargestellt. Die blaue Linie ist die durchschnittlich benötigte Rennzeit im Rennen. Umso näher die Punkte an der durchgezogenen roten Linie liegen, umso exakter entspricht das Ergebnis in der Leistungsdiagnostik auch dem Rennergebnis. Liegt Ihr Punkt oberhalb dieser Linie, waren Sie im Rennen langsamer, als es Ihre Leistungsdiagnostik hätte vermuten lassen. Unterhalb der durchgezogenen Linie waren Sie besser im Rennen als in der Leistungsdiagnostik. Wie genau das berechnete Modell der Leistungsdiagnostik (vorhergesagte Rennzeit) Ihr Rennergebnis vorhersagt, ist nachfolgender Abbildung zu entnehmen. Die Abbildung zeigt die Abweichung in Minuten von der vorhergesagten Rennzeit.

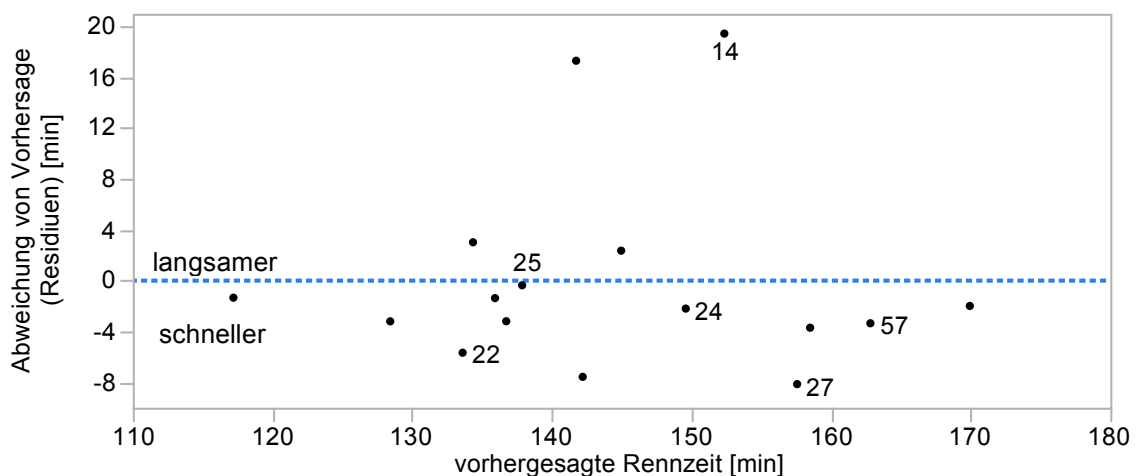


Ihre Rennvorhersage durch Ihre Leistungsdiagnostik

Auswertung 5: Für Probanden die an der Trans Zollernalb (Rennen 2) teilnahmen.

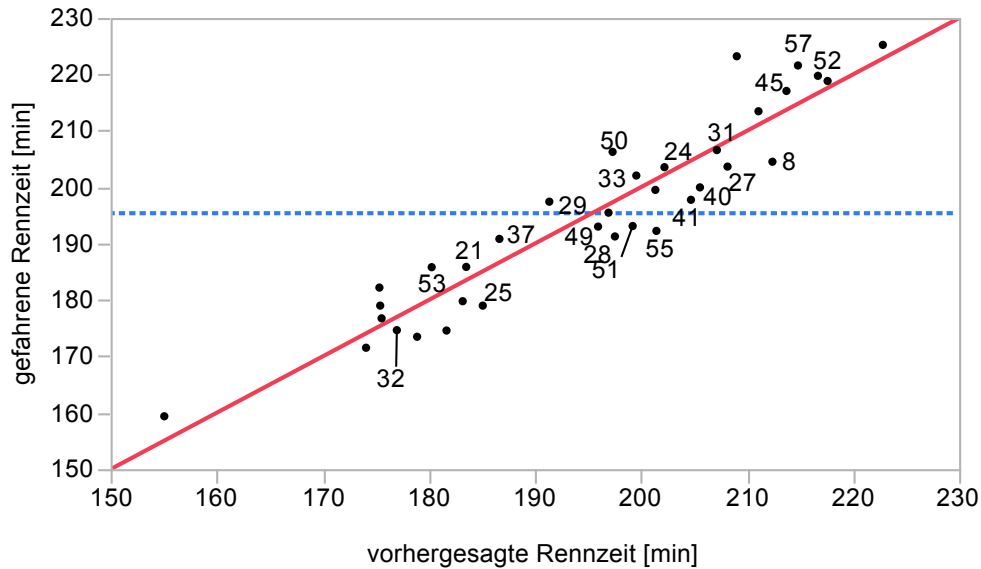


Die obere Abbildung zeigt, wie Ihre Leistungsdiagnostik im berechneten Modell Ihre Rennleistung hätte vorhersagen können. Die Punkte sind Probanden. Ihre Nummer finden Sie im Anhang 1. Auf der y-Achse sind die im Rennen gefahrenen Rennzeiten in Minuten. Auf der x-Achse wurde, die berechnete Rennzeit auf Grundlage der leistungsdiagnostischen Ergebnisse dargestellt. Die blaue Linie ist die durchschnittlich benötigte Rennzeit im Rennen. Umso näher die Punkte an der durchgezogenen roten Linie liegen, umso exakter entspricht das Ergebnis in der Leistungsdiagnostik auch dem Rennergebnis. Liegt Ihr Punkt oberhalb dieser Linie, waren Sie im Rennen langsamer, als es Ihre Leistungsdiagnostik hätte vermuten lassen. Unterhalb der durchgezogenen Linie waren Sie besser im Rennen als in der Leistungsdiagnostik. Wie genau das berechnete Modell der Leistungsdiagnostik (vorhergesagte Rennzeit) Ihr Rennergebnis vorhersagt, ist nachfolgender Abbildung zu entnehmen. Die Abbildung zeigt die Abweichung in Minuten von der vorhergesagten Rennzeit.

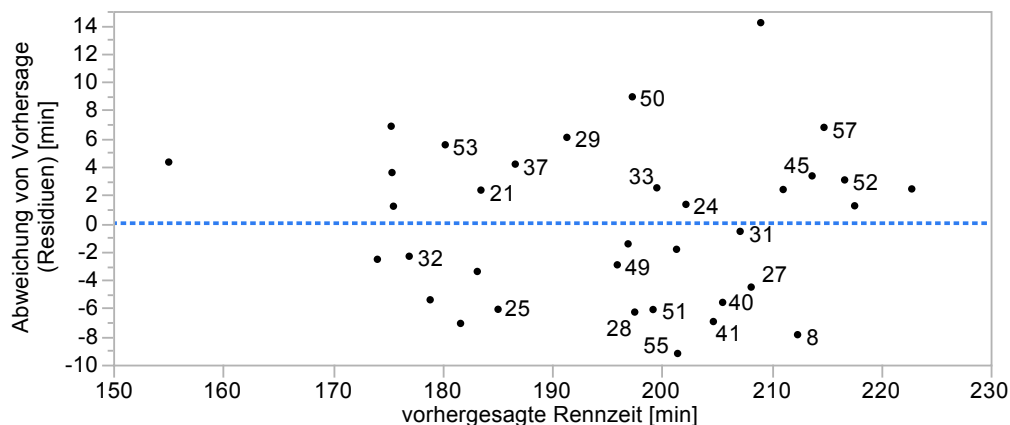


Ihre Rennvorhersage durch Ihre Leistungsdiagnostik

Auswertung 6: Für Probanden die am Alb-Gold Trophy (Rennen 3) teilnahmen.



Die obere Abbildung zeigt, wie Ihre Leistungsdiagnostik im berechneten Modell Ihre Rennleistung hätte vorhersagen können. Die Punkte sind Probanden. Ihre Nummer finden Sie im Anhang 1. Auf der y-Achse sind die im Rennen gefahrenen Rennzeiten in Minuten. Auf der x-Achse wurde, die berechnete Rennzeit auf Grundlage der leistungsdiagnostischen Ergebnisse dargestellt. Die blaue Linie ist die durchschnittlich benötigte Rennzeit im Rennen. Umso näher die Punkte an der durchgezogenen roten Linie liegen, umso exakter entspricht das Ergebnis in der Leistungsdiagnostik auch dem Rennergebnis. Liegt Ihr Punkt oberhalb dieser Linie, waren Sie im Rennen langsamer, als es Ihre Leistungsdiagnostik hätte vermuten lassen. Unterhalb der durchgezogenen Linie waren Sie besser im Rennen als in der Leistungsdiagnostik. Wie genau das berechnete Modell der Leistungsdiagnostik (vorhergesagte Rennzeit) Ihr Rennergebnis vorhersagt, ist nachfolgender Abbildung zu entnehmen. Die Abbildung zeigt die Abweichung in Minuten von der vorhergesagten Rennzeit.



Anhang 5: Veröffentlichungen und Poster-Präsentationen

- Ahrend M, Schneeweiss P, Theobald U, Niess AM, Krauss I (2016). Comparison of laboratory parameters of a mountain bike specific performance test and a simulated race performance in the field. Journal of Science and Cycling; 5(1):3-9.
- Ahrend M, Schneeweiß P, Theobald U, Niess A, Krauß I (2015). Published Abstract: Lactate dynamics of mountain bikers in a laboratory performance test. Journal of Science and Cycling; 4(2).
Zusätzlich Kongressposter des World Congress of Science and Cycling 2015.
- Ahrend M, Schneeweiss P, Niess AM, Martus P, Krauss I (2015). Abstract: Prediction of Mountain Bike Race Performance in Female Cyclists. Journal of Science and Cycling; 4(2).
Zusätzlich Kongressposter des World Congress of Science and Cycling 2015.
- Ahrend M, Schneeweiss P, Martus P, Niess AM, Krauss I (2015). Published Abstract: Validierung einer mountainbike-spezifischen Leistungsdiagnostik. Dtsch Z Sportmed; 66(7-8):211.
- Ahrend M, Schneeweiß P, Theobald U, Nieß A, Krauß I (2014). Published Abstract: Validierung aerober und anaerober Leistungsparameter im Mountainbike-Sport: eine Pilotstudie. Dtsch Z Sportmed; 7-8:197.
Zusätzlich Kongressposter des 45. Deutschen Sportärztekongresses 2014.
- *P. Schneeweiss, S. Haerlen, M. Ahrend, A. M. Niess, I. Krauss. Abstract Agreement between the Stages Cycling and the PowerTap Powermeter. 21. Annual Congress of the European College of Sport Science 2016.*

Comparison of laboratory parameters of a mountain bike specific performance test and a simulated race performance in the field

Marc Ahrend¹✉, Patrick Schneeweiss¹, Ulrich Theobald¹, Andreas M. Niess¹ and Inga Krauss¹

Abstract

Previous studies have described the need for a tailored performance test to predict mountain bike performance. This test should improve characterisation of intensive and intermittent physiological demands of mountain biking. Therefore, the aim of the study was to identify mountain bike related parameters that can more accurately explain the variance of mountain bike performance. Ten competitive mountain bike riders (age: 34 ± 8.7 years; $\dot{V}O_{2peak}$: 69 ± 11.1 ml·min⁻¹·kg⁻¹) participated in the following tests: (a) an incremental bicycle ergometer test to determine their individual anaerobic threshold (IAT) and maximal oxygen consumption ($\dot{V}O_{2peak}$), (b) an isometric strength test, (c) a second bicycle ergometer test consisting of time trials with maximal effort during 10-s, 1-min and 5-min trials and (d) a simulated race in the field. The laboratory parameters were scaled by body weight and subsequently compared with the mean power scaled by body weight and the race time using univariate correlations (*r*_{power}; *r*_{time}). The incremental test parameters of individual anaerobic threshold (*r*_{power} = 0.70; *r*_{time} = -0.74) and $\dot{V}O_{2peak}$ (*r*_{power} = 0.85; *r*_{time} = -0.86) showed strong correlations with the mean power output during the race and the race time. This result also applies for PO of the laboratory time trials during 1 min (*r*_{power} = 0.69; *r*_{time} = -0.68) and 5 min (*r*_{power} = 0.63; *r*_{time} = -0.82). PO of the 10-s time trial (*r*_{power} = 0.20; *r*_{time} = -0.44), as well as maximal muscle strength (*r*_{power} = -0.13; *r*_{time} = -0.24), were weakly correlated. In conclusion, power outputs of the 1- and 5-min time trials showed similar correlations with race performance compared with traditional aerobic parameters. These findings underline that traditional aerobic parameters of an incremental test, as well as power output during short high intensive intervals, should be considered when analysing mountain bike performance.

Keywords: anaerobic, aerobic, laboratory-simulated time trials, performance test

✉ Contact email: marc@ahrend.de (M. Ahrend)

¹ University of Tuebingen, Department of Sports Medicine, Medical Clinic, Germany

Received: 15 April 2015. Accepted: 16 March 2016.

Introduction

Mountain biking includes three main disciplines: downhill (DHI), cross country (XCO) and mountain bike marathon (XCM). The Olympic discipline XCO, which has an approximate duration of 2 h, and the even longer XCM races have become increasingly popular over the last years as a recreational and competitive sport (Impellizzeri et al. 2005a). Despite the growing popularity of XCM and XCO, only a few studies have analysed methods to predict race performance and examined the physiological demands of these two disciplines (Impellizzeri et al. 2008; Impellizzeri and Marcora 2007; Impellizzeri et al. 2005a; Impellizzeri et al. 2005b; Impellizzeri et al. 2002a; Lee et al. 2002; Novak and Dascombe 2014; Stapelfeldt et al. 2004). XCO mountain bike races are characterised by differing terrain conditions with a multitude of climbs and downhill sections, as well as by the difficulty to perform overtaking manoeuvres on the narrow tracks.

Apart from the requirement for high aerobic fitness, research suggests anaerobic capacity is also important for XCO performance (Impellizzeri et al. 2005a; Impellizzeri et al. 2005b; Stapelfeldt et al. 2004). A high power output (PO) at the beginning of a mountain bike race is important to get into front positions (Impellizzeri et al. 2002b). Moreover, the isometric contraction of the athlete's upper and lower body during downhill passages is crucial to balance the terrain forces (Abbiss et al. 2013; Impellizzeri et al. 2002a; Stapelfeldt et al. 2004).

The majority of existing studies have attempted to predict race performance using physiological parameters measured during a graded exercise test. This traditional approach mainly analyses aerobic parameters such as PO at the lactate threshold. Previous studies have indicated that incremental tests might predict mountain bike performance but have also outlined the need of designing a laboratory test that is better tailored to these needs. This design should consider the specific demands of mountain biking (Inoue et al. 2012; Miller et al. 2014; Prins et al. 2007). Thus, a sport-specific test may benefit from analysing anaerobic and high intensive parameters in addition to the standard incremental test procedure in order to increase the amount of explainable variance of race



performance by the use of laboratory performance testing.

Therefore, the aim of this study was to explore laboratory parameters with a multivariate performance test. This test was specifically designed in accordance to the physiological demands of mountain biking. The informative value of its laboratory parameters was quantified by correlating the results of the laboratory tests with race performance variables in a simulated mountain bike race under real-life conditions on a permanent track of a nationally ranked mountain bike race.

Materials and methods

Participants

The study was approved by the local ethics committee of the university hospital and is in agreement with the ethical standard of the journal (Harriss and Atkinson 2009). All participants provided written informed consent to engage in the study. The study sample consisted of 10 participants (gender: 9 male, 1 female; age: 34 ± 8.7 years; BMI 22 ± 1.4 [kg/m²]; $\dot{V}O_{2peak}$: 69 ± 11.1 ml·min⁻¹·kg⁻¹) who participated regularly in official mountain bike races during the current season. The study was conducted during the participants' competitive phase of their biking seasons. The participants were tested during 2 days of laboratory testing and one simulated race within a maximal period of 4 weeks (16 ± 5.8 days). The participants were asked not to perform intense exercises 24 h prior to each test day.

Test protocols

a) Incremental tests

The first day of the tests started with a medical examination. After the anthropometric measurements were recorded, the participants performed an incremental exercise test on a calibrated SRM Ergometer (SRM GmbH, Schoberer Rad Messtechnik, Jülich, Germany) starting at 80 watt (W). The resistance was increased by 40 W every 3 min until exhaustion. The ergometer settings were individually adjusted and the participants were advised to hold a cadence between 80 and 100 revolutions per minute (revs.min⁻¹). The test ended when the participants could not keep the cadence higher than 80 revs.min⁻¹ or when they finished the test voluntarily. The heart rate was continuously

monitored (Custo Cardio 100, Custo med GmbH, Ottobrunn, Germany). Expired gases were analysed breath-by-breath using an online automated gas analysis system (MetaLyzer® 3B-R2; Cortex Biophysik GmbH, Leipzig, Germany) and accompanying software (MetaSoft® 3). Peak oxygen uptake ($\dot{V}O_{2peak}$) was defined as the highest 15-s average oxygen uptake. Lactate was measured and analysed (Biosen S-Line, EKF, Cardiff, UK) by collecting capillary blood samples (20 µl) during the last 20 s of each stage. The individual anaerobic threshold (IAT [W]) was calculated using the method described by Dickhuth et al. (1999).

b) Strength testing

The isometric maximal strength test was performed on a separate day and included bilateral knee extensors (KE), bilateral knee flexors (KF), back extensors (BE) and abdominal flexors (AF) using strength training devices with resistance strain gauges to quantify peak torque (Future Line DMS-EVE series, DAVID Health Solutions Ltd.). Isometric measurements were tested in 60° knee flexion for KE, 30° knee flexion for KF, 30° trunk flexion for BE and 0° trunk flexion for AF. The participants were allowed to get familiarised with the testing procedure for each muscle group and subsequently instructed to push twice with maximal effort against the fixed lever of the device. All the tests were conducted in a seated position. The mean value of both attempts for each muscle group was calculated and used for further analysis. The results of each muscle group were scaled by body weight. Moreover, the strength values of all tested muscle groups were summarized in the variable 'maximal strength index,' which was also scaled by body weight [Nm·kg⁻¹].

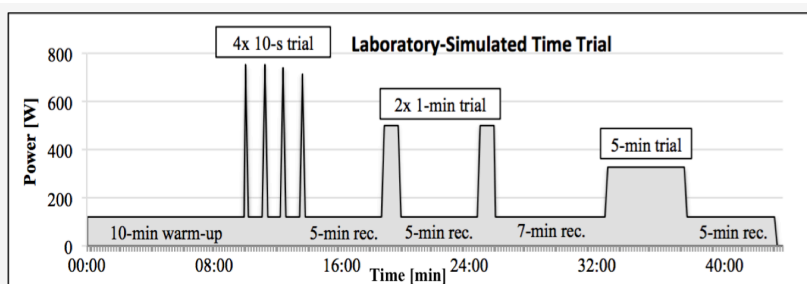


Figure 1. Overview of the laboratory-simulated time trial (rec. = recovery at 1.5 W·kg⁻¹ body weight)

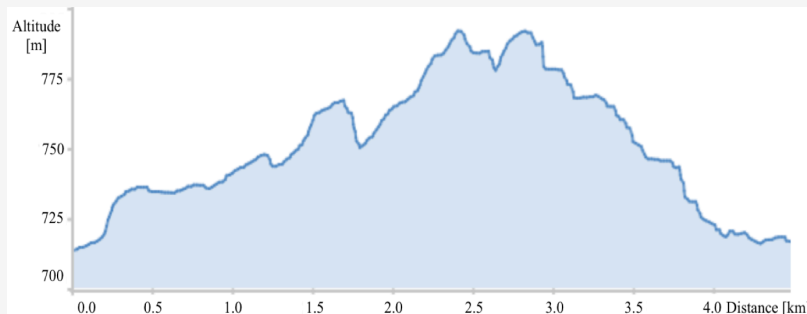


Figure 1: Elevation profile of one lap

c) Laboratory-simulated time trial

The laboratory-simulated time trial was undertaken on the same day on the SRM ergometer, after strength testing in order to ascertain the anaerobic and intermittent power characteristics of the participants. An isokinetic approach was selected because it has proven to be valid and reliable for investigating the maximal PO in similar studies (Bar-Or 1987; Baron et al., 1999; Hachana et al., 2012). The test consisted of trials with different durations (4× 10 s, 2× 1 min, 1× 5 min), according to Stapelfeldt et al. (2004), and preliminary internal testing. The participants were asked to perform with maximal effort throughout all time trials. The default power was defined by 1.5 W·kg⁻¹ body weight for the 10 min of warm-up and during all recovery periods between time trials. This is similar to the intensity of the recovery periods in Quod et al. (2010).

Following the warm-up, four 10-s time trials were conducted with resting periods of 1 min between each trial. After the fourth 10-s trial and a recovery period of 5 min, the participants performed two 1-min trials with a resting period of 5 min between. Following another 7 min recovery period, the test ended with a 5-min time trial followed by a 5-min recovery period.

Cycling PO was recorded every 0.5 s. The mean PO of all 10-s trials, both 1-min trials and the single 5-min trial was calculated. Moreover, the PO of the best 1-min trial was analysed.

According to the results of the study by Baron (2001), the 10-s trials were performed with a cadence of 100 revs.min⁻¹. The 1- and 5-min trials were conducted with a cadence of 90 revs.min⁻¹. This seems to be an appropriate cadence for the slightly longer trials and thus, a lower cycling PO. The duration of the recovery periods between trials were determined on the basis of the preliminary results of several test runs. The participants remained seated in the saddle throughout the test and kept pedalling during recovery and warm-up in-between 70 and 100 revs.min⁻¹. The entire laboratory-simulated time trial, including recovery and warm-up periods, is shown in Figure 1.

d) Simulated race

The participants' race performances were examined with a simulated mountain bike race under real life conditions (hereafter referred to as 'race'). The race was conducted on a slightly modified regular XCO course for national bike races over 6 laps. Each lap had a length of 4.42 km and an elevation gain of 119 m (total distance: 26.5 ± 1.67 km, total elevation gain in metres: 711 ± 70 m). The track profile was measured with a GPS receiver (Edge 510, Garmin International, Olathe, KS, USA). Figure 2 shows the elevation profile of one lap.

All participants practiced the racetrack once at an easy pace, followed by an individual warm-up according to their own personal preferences. Then, the participants were instructed to prepare for the simulated race similar to how they would normally do for a real competition. They were further instructed to complete the race as fast as possible. Two to three participants with

comparable cycling performance started simultaneously the race to enhance the spirit of competition. The mean PO scaled by body weight [W·kg⁻¹] during the race and the race time were used to quantify the participants race performances. The PO was monitored with PowerTap PRO MTB power meters (CycleOps, Madison, WI, USA), which have shown to be valid to measure the cycling PO in the field (Bertucci et al. 2005).

Statistical analysis

Because the relative parameters are better predictors of race performance, all the laboratory parameters were scaled by body weight (Gregory et al. 2007; Impellizzeri and Marcora 2007; Swain 1994). According to the Shapiro–Wilk test, the assumption of normally distributed data could be sustained for all data. Pearson's correlation coefficient (r) was used as quantitative measurement for correlations between the power output during the race (PO_r) and race time (dependent variables) and each laboratory parameter. The coefficients were analysed using a scale proposed by Hopkins (1997) that was successfully used in a previous mountain bike study (Inoue et al. 2012): correlation coefficient < 0.1, trivial relationship; 0.1–0.3, low; 0.3–0.5 moderate; 0.5–0.7, strong; 0.7–0.9, very strong; > 0.9, nearly perfect. JMP® was used for statistical analysis (SAS Institute Inc., JMP®, Version 10.2.2, Cary, NC, USA).

Results

Correlations between laboratory parameters and race performance are shown in Figure 3 and 4 and Table 1. Despite the small sample size, some laboratory parameters demonstrated practical and relevant correlations with race performance (r_{mean power}; r_{race time}). IAT [W·kg⁻¹] (r = 0.70; r = -0.74) and $\dot{V}O_2^{\text{peak}}$ [ml·min⁻¹·kg⁻¹] (r = 0.85; r = -0.86) showed very strong correlations with race performance. The parameters of the laboratory-simulated time trial were also correlated. The mean PO of both the 1-min trials (r = 0.69; r = -0.68) and PO of the 5-min trials (r = 0.63; r = -0.82) showed strong to very strong correlations. Low to moderate correlations were found between the mean PO of the 10-s trials and race performance (r = 0.20; r = -0.44). The maximal strength of each muscle group and the maximal strength index (r = -0.13; r = -0.24) only correlated weakly with race performance.

Discussion

Despite the strong correlations between incremental test parameters and race performance in previous studies, authors claimed the need of designing a less traditional and more sport-specific laboratory test to predict race performance in mountain biking (Miller et al. 2014; Prins et al. 2007). In particular, anaerobic power may have implications for testing off-road cyclists (Impellizzeri and Marcora 2007). Therefore, in this study, we examined the informative value of various laboratory parameters of a novel mountain bike specific test. We aimed to verify whether these

additional variables should be considered in future performance tests aside from the traditional ones to allow a more sophisticated insight into relevant components of race performance. The results show that traditional aerobic parameters measured in an incremental test, as well as PO during short high intensive intervals of 1- and 5-min should be considered when analysing the performance of mountain bike riders.

Incremental test

Previous studies have used incremental tests to predict race performance in mountain biking by analysing aerobic performance. Aerobic power and capacity are correlated with cross-country off-road performance (Costa and De-Oliveira 2008; Impellizzeri et al. 2005a; Impellizzeri et al. 2005b; Prins et al. 2007). In this regard, correlation coefficients for $\dot{V}O_{2peak}$, as an important determinant of endurance, ranged from $r = 0.30$ to $r = 0.80$ (Costa and De-Oliveira 2008; Gregory et al. 2007; Impellizzeri et al. 2005a; Impellizzeri et al. 2005b; Prins et al. 2007). These values are slightly lower compared with the results of the present study ($r_{power} = 0.85$; $r_{time} = -0.86$). Correlation coefficients values for lactate threshold and total race time are similar between previous studies ($r = 0.64$ to 0.86) and our results ($r_{time} = -0.74$), indicating moderate to strong correlation between these two variables (Gregory et al. 2007; Impellizzeri et al. 2005b). Irrespective of methodological differences among studies related to the determination of the lactate threshold and its validation in the context of a (simulated) race, PO at the lactate threshold has constantly shown to be correlated with race performance. Therefore, this parameter seems to be a stable measurement to predict race performance and should be retained in laboratory mountain bike performance tests.

Strength testing

Maximal strength of back muscles, abdominal muscles, knee flexors and knee extensors showed no relevant relationships with POr or race time ($r_{power} = -0.13$; $r_{time} = -0.24$). We therefore concluded that isometric

maximal strength tests of the lower limb do not sufficiently predict mountain bike race performance and thus there is no justification for their regular use in mountain bike specific performance tests. At this point, it has to be mentioned that this study limited its conclusions to lower limb and core strength testing only. However, upper body strength is important to manoeuvre the bike during downhill riding (Hurst et al. 2012) and should be analysed in future studies to explore its influence on mountain bike race performance, especially in technically demanding race courses.

Laboratory simulated test trial

This test was designed to explore additional laboratory parameters with relevant explorative power aside from the well-established outcomes of the incremental test to determine mountain bike performance. The mean PO of 10-s laboratory-simulated time trials was weakly correlated with POr ($r_{power} = 0.20$; $r_{time} = -0.44$). Baron (2001) used similar laboratory 10-s simulated time trials to investigate optimal cadence for maximal PO. Correlation coefficients of mean PO during the 1-min ($r_{power} = 0.69$; $r_{time} = -0.68$) and 5-min trials ($r_{power} = 0.63$; $r_{time} = -0.82$) and race performance were similar to PO at lactate threshold and race performance. This finding indicates that our test design with physiological measurements of anaerobic components is more promising to predict mountain bike performance than using mainly aerobic measurement alone.

Previous studies have examined anaerobic PO in mountain biking by using a 30 s Wingate-Test. Costa and De-Oliveira (2008) analysed six mountain bike riders and found weak correlations between mean PO scaled by body weight over 30 s and total time when analysing two mountain bike races ($r = -0.12$; $r = -0.29$). In Inoue et al. (2012), the Wingate test of ten mountain bike riders did not significantly correlate with race time ($r = -0.33$). However, a stronger correlation ($r = 0.63$) was found between race time and relative mean PO of five repeated Wingate tests with 30 s rests between trials. In our study, the best PO over a single 1-min trial correlated less with race performance when

compared with the mean power of both 1-min trials ($r_{meanpower} = 0.59$; $r_{time} = -0.53$ vs. $r_{meanpower} = 0.69$; $r_{time} = -0.68$). Our results corroborate Inoue et al. (2012) findings, indicating that the PO of repeated trials with maximal efforts correlates stronger than the PO of a single trial. Therefore, it can be suggested that the intermittent and highly intense characteristic of

Table 1. Physiological parameters of laboratory testing and its relationships with race performance

	Values of the parameters (mean ± SD)	Race performance	
		Mean power [W·kg ⁻¹]	Time [min:s]
Incremental test			
Individual anaerobic threshold [W·kg ⁻¹]	3.55 ± 0.30	$r = 0.70$	$r = -0.74$
$\dot{V}O_{2peak}$ [ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹]	68.60 ± 11.12	$r = 0.85$	$r = -0.86$
Laboratory-simulated time trial			
Mean PO 10-s trials [W·kg ⁻¹]	11.58 ± 1.20	$r = 0.20$	$r = -0.44$
PO Best 1-min trial [W·kg ⁻¹]	7.52 ± 0.59	$r = 0.59$	$r = -0.53$
Mean PO 1-min trials [W·kg ⁻¹]	7.20 ± 0.48	$r = 0.69$	$r = -0.68$
PO 5-min trials [W·kg ⁻¹]	4.53 ± 0.48	$r = 0.63$	$r = -0.82$
Strength testing			
Maximal strength index [N·m·kg ⁻¹]	16.8 ± 2.09	$r = -0.13$	$r = -0.24$

mountain biking can be tested through repeated high intensive intervals rather than a single anaerobic interval. This should be considered when define a test that is better tailored to evaluate mountain bike performance

Study sample

Impellizzeri et al. (2005a) described diverging results for different performance levels of the participating athletes: In a heterogeneous group of twelve mountain bike riders ($\dot{V}O_{2peak} = 72.1 \pm 7.4 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$), who compete in regional, national or international events, it could be shown that about 80% of variance in performance was explained by aerobic fitness normalised to body mass (Impellizzeri et al. 2005b). In contrast, correlation coefficients of the same parameters of a homogenous group of thirteen high level, internationally competitive mountain bike riders ($\dot{V}O_{2peak} = 76.9 \pm 5.3 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) were smaller ($r = 0.46$). Other physiological factors, including anaerobic parameters or technical abilities, may play a more important role compared with heterogeneous groups (Impellizzeri et al. 2005a). According to the variation in mountain bike experience and to the $\dot{V}O_{2peak}$ within the sample of our study, this population group should be classified as heterogeneous as well. If the previous mentioned authors' conclusion can be extended to the results of our investigation, the laboratory-simulated time trials even seem more important for a more homogenous sample to predict race performance.

Aside from this more likely theoretical assumption,

results of the present study are valid to complement the existing knowledge on mountain bike specific performance, which is mainly based on studies with only few participants. However, generalising study results with small sample sizes can be limited and the use of multivariate statistics is not appropriate. Therefore, further studies with larger sample sizes are needed to use multivariate regression analysis including traditional aerobic and high intensive parameters. Traditional aerobic parameters include PO at the individual anaerobic threshold and high intensive parameters include PO of a 1-min as well as 5-min time trial with maximal effort to enhance the explorative power of laboratory tests to predict race performance.

Simulated race

Another potential variation source of results from different studies may relate to the (simulated) type of mountain bike races that are used to define race performance. Their physiological demands may vary as indicated by Costa and De-Oliveira (2008). Official national or international mountain bike races were frequently used to validate laboratory parameters. In these studies, race performance was measured by analysing the participants' race time (Costa and De-Oliveira 2008; Impellizzeri et al. 2005a; Impellizzeri et al. 2005b; Inoue et al. 2012). Prins et al. (2007) demonstrated a significant correlation ($r = 0.79$; $P < 0.05$) between an outdoor test trial and an official mountain bike race. In contrast, our study compared results from laboratory bicycle ergometer tests as well as strength tests with the results of a simulated

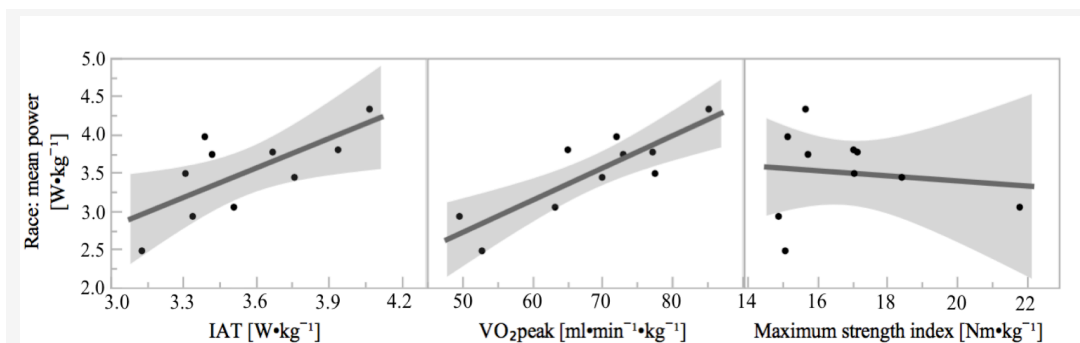


Figure 3: Relationships between mean race PO_r and parameters of the incremental test and strength testing (IAT: individual anaerobic threshold).

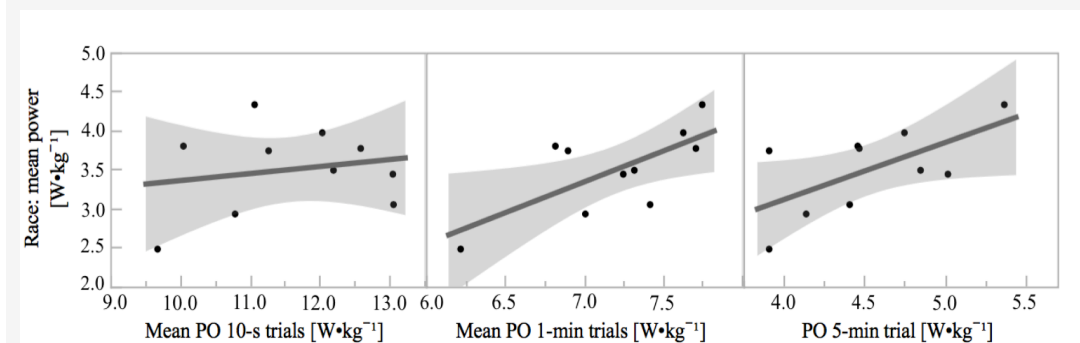


Figure 4: Relationships between PO during the laboratory trials and mean race PO_r (PO: power output).

mountain bike race. This approach has advantages and disadvantages. Despite the fact that all participants were asked to perform with maximal effort during the race, competition was simulated by stimulating a race atmosphere with competitive riders starting at the same time, delivery of maximal performance may only be possible during a real mountain bike race. However, several advantages counteract this limitation of the methodological design. In this study, PowerTap power meters were used to determine cycling PO. Therefore, PO could be measured independently from external factors, such as weather and surface conditions that influence race time. This is an advantage of the simulated race because the use of such instruments in official races is not feasible as they add weight to the system and could lead to conflicts with the athletes' sponsor. Race performance is further dependent on the start position and overtaking may be difficult in a peloton in narrow track trials as well (Impellizzeri and Marcora 2007; Macdermid and Morton 2012). The design of our simulated race was controlled for the aforementioned confounding covariates as the test trials were conducted with two to three participants only. However, changing weather and terrain conditions in the different races could have influenced the total race time. Therefore, race time and PO were used to validate laboratory parameters. In this study, the afforded power and race time were strongly correlated ($r = 0.88$).

Practical Applications

In accordance with previous findings, results of this study underline the importance of two incremental test variables: 'PO at lactate threshold' and 'peak oxygen uptake' for the determination of race performance in mountain biking. Aside from these measurements, which are mainly related to athletes' aerobic capacity, mean PO in high intensive intervals with durations of 1 and 5 min are significant variables for predicting race performance. Therefore, we conclude that traditional aerobic parameters measured in an incremental test, as well as PO during short high intensive intervals, should be considered when analysing the performance of mountain bike riders. On the other hand, maximal strength testing of the lower limb can be neglected to predict race performance.

Future prospects

Further studies with larger sample sizes are warranted to underline these findings and to explore a multivariate model of parameters for the prediction of mountain bike race performance in laboratory. The finally proposed test method may be additionally improved by the addition of maximal strength tests for the upper body.

Acknowledgement

Special thanks to Haider Knall and his racing team HAICO Racing for the technical support and advice during the study. There were no conflicts of interest

relevant to this study. The manuscript was edited by a professional language editing provider (Enago).

Conflict of interest

No potential conflicts of interest exist.

References

1. Abbiss CR, Ross MLR, Garvican LA, Ross N, Pottgiesser T, Gregory J, Martin DT (2013) The distribution of pace adopted by cyclists during a cross-country mountain bike World Championships. *Journal of Sports Sciences* 31: 787-794
2. Baron R (2001) Aerobic and anaerobic power characteristics of off-road cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 33: 1387-1393
3. Bertucci W, Duc S, Villerius V, Pernin J-N, Grappe F (2005) Validity and reliability of the PowerTap mobile cycling powermeter when compared with the SRM device. *International Journal of Sports Medicine* 26: 868-873
4. Costa V, De-Oliveira F (2008) Physiological variables to predict performance in cross-country mountain bike races. *J Exerc Physiol Online* 11: 14-24
5. Dickhuth HH, Yin L, Niess A, Rocker K, Mayer F, Heitkamp HC, Horstmann T (1999) Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. *Int J Sports Med* 20: 122-127
6. Gregory J, Johns DP, Walls JT (2007) Relative vs. absolute physiological measures as predictors of mountain bike cross-country race performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 21: 17-22
7. Harriss D, Atkinson G (2009) International Journal of Sports Medicine-ethical standards in sport and exercise science research. *International Journal of Sports Medicine* 30: 701-702
8. Hopkins WG (1997) A new view of statistics. Will G. Hopkins, <http://sportssci.org/resource/stats/>
9. Hurst HT, Swarén M, Hébert-Losier K, Ericsson F, Sinclair J, Atkins S, Holmberg H-C (2012) Influence of course type on upper body muscle activity in elite Cross-Country and Downhill mountain bikers during off Road Downhill Cycling. *Journal of Science and Cycling* 1: 2-9
10. Impellizzeri FM, Ebert T, Sassi A, Menaspá P, Rampinini E, Martin DT (2008) Level ground and uphill cycling ability in elite female mountain bikers and road cyclists. *Eur J Appl Physiol* 102: 335-341
11. Impellizzeri FM, Marcora SM (2007) The physiology of mountain biking. *Sports Med* 37: 59-71
12. Impellizzeri FM, Marcora SM, Rampinini E, Moggi P, Sassi A (2005a) Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *Br J Sports Med* 39: 747-751
13. Impellizzeri FM, Rampinini E, Sassi A, Moggi P, Marcora SM (2005b) Physiological correlates to off-road cycling performance. *J Sports Sci* 23: 41-47
14. Impellizzeri FM, Sassi A, Rodriguez-Alonso M, Moggi P, Marcora SM (2002a) Exercise intensity during off-road cycling competitions. *Med Sci Sports Exerc* 34: 1808-1813
15. Impellizzeri FM, Sassi A, Rodriguez-Alonso M, Moggi P, Marcora SM (2002b) Exercise intensity during off-road cycling competitions. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34: 1808-1813
16. Inoue A, Sa AS, Mello FCM, Santos TM (2012) Relationship between Anaerobic Cycling Tests and Mountain Bike Cross-Country Performance. *J Strength Cond Res* 26: 1589-1593
17. Lee H, Martin DT, Anson JM, Grundy D, Hahn AG (2002) Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. *J Sports Sci* 20: 1001-1008
18. Macdermid PW, Morton RH (2012) A longitudinal analysis of start position and the outcome of World Cup cross-country mountain bike racing. *J Sports Sci* 30: 175-182
19. Miller MC, Moir GL, Stannard SR (2014) Validity of using functional threshold power and intermittent power to predict cross-country mountain bike race outcome. *Journal of Science and Cycling* 3: 16-20
20. Novak AR, Dascombe BJ (2014) Physiological and performance characteristics of road, mountain bike and BMX cyclists. *Journal of Science and Cycling* 3: 9-16

21. Prins L, Terblanche E, Myburgh KH (2007) Field and laboratory correlates of performance in competitive cross-country mountain bikers. *J Sports Sci* 25: 927-935
22. Quod MJ, Martin DT, Martin JC, Laursen PB (2010) The power profile predicts road cycling MMP. *Int J Sports Med* 31: 397-401
23. Stapelfeldt B, Schwirtz A, Schumacher YO, Hillebrecht M (2004) Workload demands in mountain bike racing. *Int J Sports Med* 25: 294-300
24. Swain DP (1994) The influence of body mass in endurance bicycling. *Med Sci Sports Exerc* 26: 58-63

Journal of Science and Cycling

Breakthroughs in Cycling and Triathlon Sciences



Special number: World Congress of Cycling Science 2015, 1/2 July 2015, Utrecht

Editors: Mikel Zabala (PhD)
Greg Atkinson (PhD)



Science & Cycling
1 & 2 July 2015, Utrecht



OPEN ACCESS

www.jsc-journal.com

Lactate dynamics of mountain bikers in a laboratory performance diagnostic

Marc Ahrend¹✉, Patrick Schneeweiss¹, Ulrich Theobald², Andreas M. Niess¹, Inga Krauss¹

Abstract

Background: Caused by a multitude of climbs and downhill sections, as well as overtaking manoeuvres, intense intermitted physiological demands are characteristic for mountain bike marathon and cross country competitions. Consequently, aerobic and anaerobic parameters are of importance for the individual's race performance (Impellizzeri and Marcora, 2007: Sports medicine 37(1), 59---71). Considering that only 40% of the variance in performance are explained by aerobic fitness in high---level mountain bikers, anaerobic parameters are rarely analysed (Impellizzeri and Marcora, 2007) and athletes have high blood lactate concentrations during a mountain bike race (Prins et al., 2007: J Sports Sci., 25(8), 927---35), tolerance of high lactate accumulation and faster lactate elimination could be an important factor of performance.

Purpose: to analyse lactate dynamics during repeated recuperative and intense intervals using a specific test that was designed to simulate the physiological anaerobic demands of mountain bike competitions.

Methods: 10 ambitious mountain bike cyclists (age 34 ± 8.7 years; VO_{2peak} : 66 ± 11.3 ml/min/kg) rode an all-out-time-trial which consisted of different all---out interval (AO) durations (4x 10 s, 2x 1 min and 1x 5 min) which are based on findings of Stapelfeldt et al. (2004: Int J Sports Med. 25(4), 294---300). Cyclists were instructed to ride each AO with maximum effort. Between AO, cyclists could recover at an individual power output of 1.5 W/kg bodyweight. After the 10s---AO and between 1min---AOs the recovery period was 5 min, respectively; after the second 1min---AO 7 min. Before and after the AO, blood lactate concentrations were analyzed. The entire all---out---time---trial, including time---durations and lactate analysis, is shown in figure 1. For external validation of laboratory parameters cyclists performed an outdoor race simulation test trial (laps: 6, total distance: 26.8 km) within a maximum period of 4 weeks. The average afforded power output during the race was monitored by CycleOps---powermeters(PowerTab PRO MTB Disc Hub, CycleOps, Madison, USA) and scaled by body mass. It was used to validate laboratory parameters. Correlations between lactate accumulation and power output of AO scaled by body mass and correlations between lactate change during recovery and power output during the outdoor test trial were calculated.

Results: The blood lactate dynamic (figure 1) shows large between-subject ariation and rises during the all-out-time trial in average over all athletes to a maximum of 14.5 ± 3.1 mmol/l. Blood lactate accumulation and power output during the all---outs show moderate to large correlation: 10s---AO ($r=0.58$), 1min---AO ($r=0.65$) and 5min---AO ($r=0.47$). Lactate change during the 5---minute recovery periods after the 10s---AO ($r=0.20$) and after the first 1min---AO ($r=0.41$) correlation is only small with race performance. However, blood lactate elimination after the second 1min---AO (7 min regeneration period) shows very large correlation ($r=0.80$) (figure 2).

Discussion: This is the first study which shows that cyclists with a better race performance have a higher lactate elimination during regeneration periods. However, the strength of correlation is dependent on the duration of the regeneration. Moreover our results support the findings of Zarzeczny et al. (2013: Biol Sport, 30(3), 189---94), that mountain bike cyclists who can afford larger power output in high intense intervals have also higher blood lactate accumulation. It indicates that cyclists with higher power outputs might have a better tolerance of lactate concentration. Further research is needed to analyse the regeneration process on enzymatic level. Our findings could be used for an optimized prediction of race performance and are therefore considered in a follow---up study with a larger sample size.

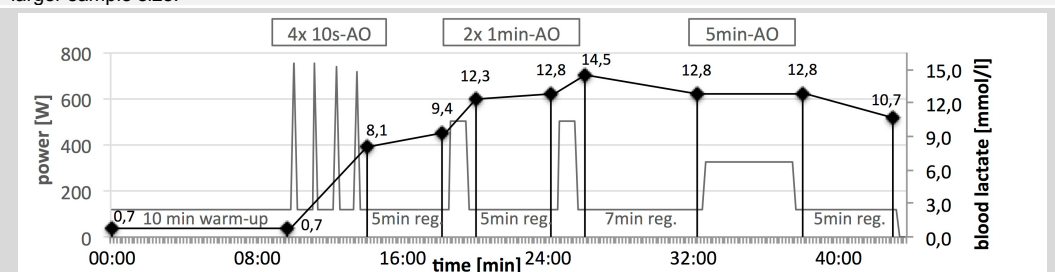


Figure 1. All-out-time-trial with average lactate dynamic over all ten cyclists



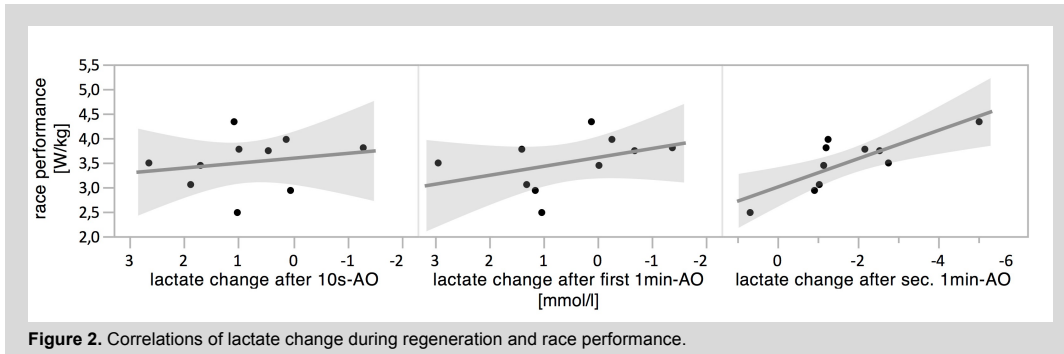


Figure 2. Correlations of lactate change during regeneration and race performance.

✉ Contact email: marc@ahrend.de (M. Ahrend)

¹Department of Sports Medicine, Medical Clinic, University of Tuebingen, Germany

²Institute of Education, University of Tuebingen, Germany

Lactate dynamics of mountain bikers in a laboratory performance diagnostic



M. Ahrend¹, P. Schneeweiss¹, U. Theobald², A. M. Niess¹, I. Krauss¹

¹Department of Sports Medicine, Medical Clinic, University of Tuebingen, Germany
²Institute of Education, University of Tuebingen, Germany



Introduction:

Caused by a multitude of climbs and downhill sections, as well as overtaking manoeuvres, intense intermittent physiological demands are characteristic for mountain bike marathon and cross country competitions. Consequently, aerobic and anaerobic parameters are of importance for the individual's race performance (1). Considering that only 40% of the variance in performance are explained by aerobic fitness in high-level mountain bikers, anaerobic parameters are rarely analysed (1) and athletes have high blood lactate concentrations during a mountain bike race (2), tolerance of high lactate accumulation and faster lactate elimination could be an important factor of performance. Therefore, the aim of the study was to analyse lactate dynamics during repeated recuperative and intense intervals using a specific test that was designed to simulate the physiological anaerobic demands of mountain bike competitions.

Methods:

Table 1: Subjects' characteristics (Mean ± SD)

n	age [years]	weight [kg]	height [cm]	VO _{2peak} [ml/min/kg]	MTB-experience [years]
10	34 ± 8.7	73 ± 6.6	180 ± 4.5	66 ± 11.3	10.2 ± 6.1

10 ambitious mountain bike cyclists rode beside an incremental test an all-out-time-trial which consisted of different all-out interval (AO) durations (4x 10 s, 2x 1 min and 1x 5 min) which are based on findings of Stapelfeldt et al. (3). Cyclists were instructed to ride each AO with maximum effort. Between AO, cyclists could recover at an individual power output of 1.5 W/kg bodyweight. After the 10s-AO and between 1min-AOs the recovery period was 5 min, respectively; after the second 1min-AO 7 min. Before and after the AO, blood lactate concentrations were analyzed.

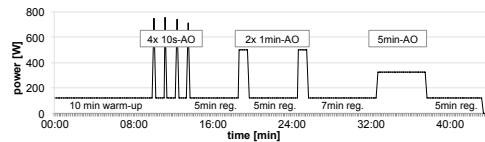


Figure 1: Test protocol of the all-out-time-trial

For external validation of laboratory parameters cyclists performed an outdoor race simulation test trial (laps: 6, total distance: 26.8 km) within a maximum period of 4 weeks. The average afforded power output during the race was monitored by CycleOps-powermeters (PowerTab PRO MTB Disc Hub, CycleOps, Madison, USA) and scaled by body mass. It was used to validate laboratory parameters. Correlations between lactate accumulation and power output of AO scaled by body mass and correlations between lactate change during recovery and power output during the outdoor test trial were calculated.

Results:

The following table show the relative parameters and figure 2 presents the blood lactate dynamic of the laboratory test.

Table 2: Relative parameters of the laboratory test (Mean ± SD)

All-Out-Interval	10s-AO [W/kg]	1min-AO [W/kg]	5min-AO [W/kg]
power [w/kg]	11.58 ± 1.20	7.20 ± 0.48	4.53 ± 0.48
Δ lactate [mmol/l]	7.4 ± 1.9 (6.0 – 8.7)	xx	0.1 ± 2.0 (-1.3 ± 1.5)

The blood lactate dynamic shows large between-subject variation and rises during the all-out-time trial in average over all athletes to a maximum of 14.5 ± 3.1 mmol/l. Blood lactate accumulation and power output during the all-outs show moderate to large correlation: 10s-AO (r=0.58), 1min-AO (r=0.65) and 5min-AO (r=0.47). Lactate change during the 5-minute recovery periods after the 10s-AO (r=0.20) and after the first 1min-AO (r=0.41) correlation is only small with race performance. However, blood lactate elimination after the second 1min-AO (7 min regeneration period) shows very large correlation (r=0.80) (figure 3).

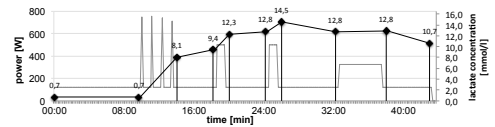


Figure 2: Blood lactate dynamic

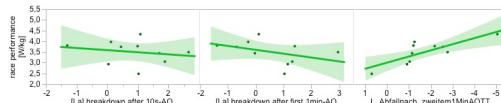


Figure 3: Linear regression models of lactate breakdown and race performance

Conclusion:

This is the first study which shows that cyclists with a better race performance have a higher lactate elimination during regeneration periods. However, the strength of correlation is dependent on the duration of the regeneration. Moreover our results support the findings of Zarzeczny et al. (4), that mountain bike cyclists who can afford larger power output in high intense intervals have also higher blood lactate accumulation. It indicates that cyclists with higher power outputs might have a better tolerance of lactate concentration. Further research is needed to analyse the regeneration process on enzymatic level. Our findings could be used for an optimized prediction of race performance and are therefore considered in a follow-up study with a larger sample size.

Literatur

1. Impellizzeri FM, Marcora SM (2007) The physiology of mountain biking. Sports medicine (Auckland, NZ) 37: 59-71
2. Prins L, Terblanche E, Myburgh KH (2007) Field and laboratory correlates of performance in competitive cross-country mountain bikers. J Sports Sci 25: 927-935
3. Stapelfeldt B, Schwirtz A, Schumacher YO, Hillebrecht M (2004) Workload demands in mountain bike racing. Int J Sports Med 25: 294-300
4. Zarzeczny R, Podlesny M, Polak A (2013) Anaerobic capacity of amateur mountain bikers during the first half of the competition season. Biol Sport 30: 189-194



Journal of Science and Cycling

Breakthroughs in Cycling and Triathlon Sciences



Special number: World Congress of Cycling Science 2015, 1/2 July 2015, Utrecht

Editors: Mikel Zabala (PhD)
Greg Atkinson (PhD)



OPEN ACCESS

www.jsc-journal.com

Prediction of Mountain Bike Race Performance in Female Cyclists

Marc Ahrend¹, Patrick Schneeweiss¹, Andreas M. Niess¹, Peter Martus², Inga Krauss¹

¹Department of Sports Medicine, Medical Clinic, University of Tuebingen, Germany

²Institute for Clinical Epidemiology and Applied Biometry, University of Tuebingen, Germany

Keywords: performance test, mountain bike, gender differences, all-out, incremental test

Abstract

The physiological demands in mountain bike marathons consist of intensive intermitted intervals. While aerobic and anaerobic parameters were found to be of importance when predicting race performance (Inoue et al., 2012: J Strength Cond Res, 26(6), 1589-1593), gender associated differences may be possible and have been ignored in the previous male-only studies. Therefore, the aim of this study was to analyse laboratory aerobic and anaerobic parameters for race performance prediction of female cyclists and compare our results with previous published studies of male mountain bikers.

Nine ambitious female mountain bikers (age: 38.3 ± 6.1 y; weight: 62.2 ± 6.6 kg; 169.1 ± 8.9 cm) performed a mountain bike specific test trial (see figure 1) on a SRM-Ergometer. The test trial was designed to examine aerobic and anaerobic parameters and started with an incremental test. Beginning at 80 W the resistance was increased by 40 W every 3 minutes until exhaustion (peak power output: PPO). Lactate concentration was measured taking capillary blood samples at the end of each stage to determine the individual anaerobic threshold (IAT) according to Dickhuth et al. (1999: Int J Sports Med, 20(02), 122-127). After the incremental test, cyclists kept pedalling during regeneration periods and three all-out intervals (AO) lasting 10 s, 1 min and 5 min, each with maximum effort. The afforded power output of each AO was measured and all laboratory parameters were scaled by body weight. After the incremental test and between all-outs, cyclists regenerated at a power of 100 W. After performing the laboratory test, within one month (13.3 ± 9.6 days) all athletes participated in the same official national mountain bike competition (83 km distance). Pearson's r was used to calculate the correlation of race performance (official racing time) and laboratory parameters.

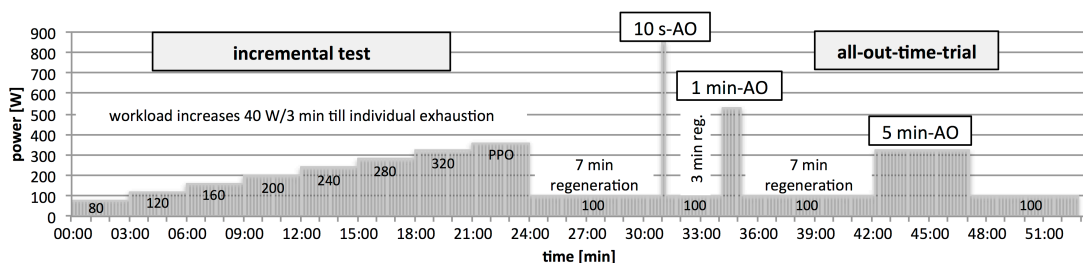


Figure 1: Laboratory test protocol consisting of an incremental test and all-out intervals

The race time correlates nearly perfect with the power output of the 1 min-AO ($r=-0.90$, $p=0.001$). Moreover, significant correlation was found between IAT and race time ($r=-0.80$, $p=0.010$) and PPO ($r=-0.79$, $p=0.011$) respectively. Due to the small sample size no significance but large correlation was found between race time and afforded power in the 10 s-AO ($r=-0.55$, $p=0.123$) and 5 min-AO ($r=-0.61$, $p=0.078$) respectively (see figure 2).

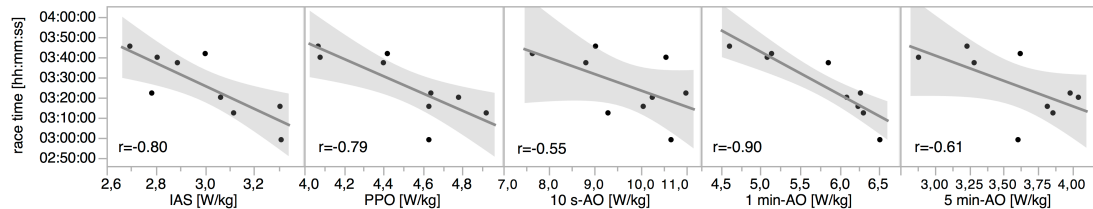


Figure 2: Correlations between laboratory parameters and race time

To the best of our knowledge, this is the first study which analysed the prediction of race performance of female mountain bikers. Despite the small sample size, the strong correlations of race performance and power output in the 1 min-AO and IAT respectively, particularly demonstrate the importance of analysing besides aerobic also anaerobic parameters. Power output at the IAT correlates similarly to the results of male mountain bikers in Impellizzeri et al. (2005: *J Sports Sci*, 23(1), 41-47) and slightly stronger than in Müller et al. (2014: *Journal of Science and Cycling*, 3(2), 85). The anaerobic parameters of male mountain bikers analysed in Inoue et al. (2012) with repeated 30 s Wingate tests, showed a slightly weaker correlation ($r=-0,79$). Assuming that in our study anaerobic intervals were driven after performing an incremental test, it can be concluded, that parameters to predict race performance in male and female athletes are similar.

Due to the facts that all laboratory parameters correlate at least largely with race time and the laboratory test measures aerobic and anaerobic parameters within approximately one hour, we suggest to use this performance test to predict race performance for ambitious amateur mountain bikers in daily clinical routine. Further research is needed to give training advice based on the power output for each AO duration and to confirm our results in a larger sample size.

Prediction of Mountain Bike Race Performance in Female Cyclists (1/2)



M.-D. Ahrend¹, P. Schneeweiss¹, A. M. Niess¹, P. Martus², I. Krauss¹

¹Department of Sports Medicine, Medical Clinic, University of Tuebingen, Germany
²Institute for Clinical Epidemiology and Applied Biometry, University of Tuebingen, Germany



Introduction:

The physiological demands in mountain bike marathons (XCM) consist of intensive intermitted intervals. While aerobic and anaerobic parameters were found to be of importance when predicting race performance (1), gender associated differences may be possible and have been ignored in the previous male-only studies. Therefore, the aim of this study was to analyse laboratory aerobic and anaerobic parameters for race performance prediction of female cyclists and to compare our results with previous published studies of male mountain bikers.

Methods:

Table 1: Subjects' characteristics (Mean ± SD (min.-max.))

n	age [years]	weight [kg]	height [cm]	BMI [kg/m ²]	XCM-experience [years]
9	38.3 ± 6.1 (29.5 – 46.2)	62.2 ± 6.6 (55.8 – 75.2)	169.1 ± 8.9 (161 – 183)	21.7 ± 1.2 (23.2 – 19.4)	8.8 ± 5.7 (1 – 18)

Study design: data collection within 1 month (13.3 ± 9.6 d.)

Athletes recruiting:	Laboratory diagnostic:	Official XCM race:
<ul style="list-style-type: none"> ≥ 18 years-old female ≥ 2 races in the current season best 50% of the race participants no acute infects no chronic internistic or orthopaedic diseases 	<ul style="list-style-type: none"> medical examination performance analysis sport and training questionnaire 	<ul style="list-style-type: none"> distance: 83 km altitude: 1700 m 85% forest, 10% tarmac trails, 5% others

Figure 1: Study design

The study was conducted during the competition period of the season. After medical examination, nine ambitious female amateur mountain bikers (see table 1) performed a mountain bike specific test trial (2) on a calibrated SRM Ergometer (see figure 1 + 2). The ergometer settings were individually adjustable and the participants were advised to hold a cadence between 80 and 100 rpm. The test trial was designed to examine aerobic and anaerobic parameters and started

with an incremental test. Beginning at 80 W, the resistance was increased by 40 W every 3 minutes until exhaustion (peak power output: PPO). Lactate concentration was measured taking capillary blood samples at the end of each stage to determine the individual anaerobic threshold (IAT) according to Dickhuth et al. (3).

After the incremental test, cyclists kept pedalling during regeneration periods and the three all-out intervals (AO) lasting 10 s, 1 min and 5 min, each with maximum effort. The afforded power output of each AO was measured. After the incremental test and between all-outs, cyclists regenerated at a power of 100 W. All athletes participated in the same official national mountain bike competition (83 km distance, altitude 1700 m) within one month (13.3 ± 9.6 days) after performing the laboratory test. Moreover, training parameters were recorded in a survey over a period of four weeks before the laboratory test until the date of the mountain bike competition. Pearson's *r* or Spearman's *r_s* was used to calculate the correlation of race performance (official racing time) and anthropometric, training and laboratory (absolute and scaled by body weight) parameters. Significance level *α* was set at 0.05.

Results:

The following tables show the absolute and relative parameters of the laboratory test.

Table 2: Absolute parameters of the laboratory test (Mean ± SD)

IAS [W]	PPO [W]	10 s-AO [W]	1 min-AO [W]	5 min-AO [W]
186.8 ± 27.7	279.1 ± 34.4	606.8 ± 117.7	356.9 ± 72.6	223.7 ± 35.7

Table 3: Relative parameters of the laboratory test (Mean ± SD)

IAS [W/kg]	PPO [W/kg]	10 s-AO [W/kg]	1 min-AO [W/kg]	5 min-AO [W/kg]
3.00 ± 0.22	4.51 ± 0.29	9.70 ± 1.09	5.79 ± 0.67	3.59 ± 0.39

Training parameters

As shown in figure 3 and 4, the race time (3:25:49 ± 0:14:55) do not correlate considerably with training hours per week (*r*=-0,10), training kilometres per week (*r*=-0,10) and XCM-experience (*r*=-0,17. However, training frequency per week shows moderate correlation (*r_s*=-0,60).

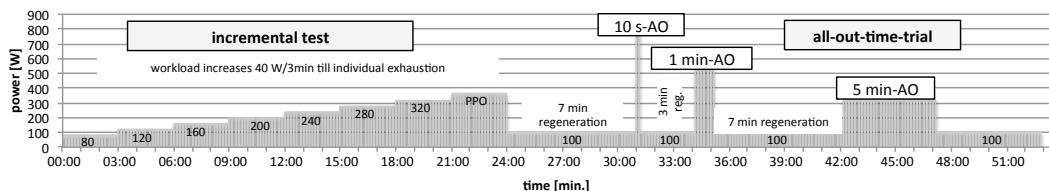


Figure 2: Test protocol of the performance analysis

Prediction of Mountain Bike Race Performance in Female Cyclists (2/2)



UNIVERSITÄTS
KLINIKUM
TÜBINGEN

M.-D. Ahrend¹, P. Schneeweiss¹, A. M. Niess¹, P. Martus², I. Krauss¹

¹Department of Sports Medicine, Medical Clinic, University of Tuebingen, Germany
²Institute for Clinical Epidemiology and Applied Biometry, University of Tuebingen, Germany



EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN



Absolute laboratory parameters

Very large, significant correlations were found between race time and the absolute values of IAT ($r=-0.83$, $p=0.006$), PPO ($r=-0.81$, $p=0.008$), 1 min-AO ($r=-0.88$, $p=0.002$) and 5 min-AO ($r=-0.78$, $p=0.013$), respectively. No significant, but large correlation was observed between race time and absolute afforded power in the 10 s-AO ($r=-0.64$, $p=0.062$). Linear regression models of these absolute parameters are shown in figure 3.

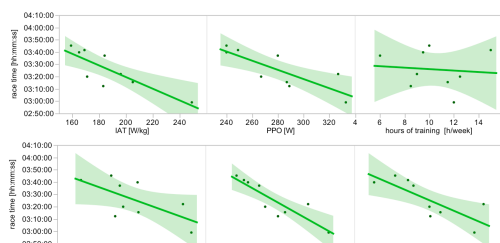


Figure 3: Linear regression models of race time and absolute performance parameters

Laboratory parameters scaled by body weight

The race time ($3:25:49 \pm 0:14:55$) correlates nearly perfect with the power output of the 1 min-AO ($r=-0.90$, $p=0.001$). Moreover, very large, significant correlation was found between IAT and race time ($r=-0.80$, $p=0.010$) and PPO ($r=-0.79$, $p=0.011$) respectively. Due to the small sample size no significance but large correlation was found between race time and afforded power in the 10 s-AO ($r=-0.55$, $p=0.123$) and 5 min-AO ($r=-0.61$, $p=0.078$) respectively (see figure 4).

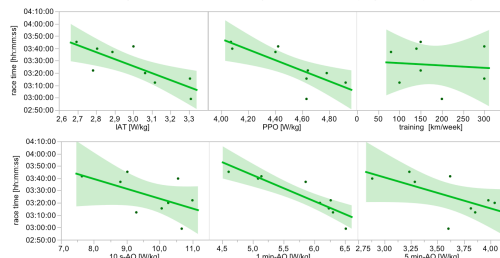


Figure 4: Linear regression models of race time and relative performance parameters

Discussion:

Despite the small sample size, strong correlations of race performance and laboratory parameters were found. Especially, power output in the 1 min-AO, IAT and PPO demonstrate the importance of analysing besides aerobic also anaerobic parameters in female athletes. No relevant differences were found, whether laboratory parameters are scaled by body weight or absolute values were used. This stands in contrast to former studies with male XCO-athletes,

which have shown that relative variables are better predictors for race performance (e.g. Impellizzeri et al. (4)). Training and anthropometric data do not sufficiently predict race performance.

The correlation of relative power output at the IAT in our study is similar to the correlation found of male mountain bikers in Impellizzeri et al. (5) and slightly stronger than in Müller et al. (6). The relative anaerobic parameters of male mountain bikers analysed in Inoue et al. (1) with repeated 30 s Wingate tests, showed a slightly weaker correlation ($r=-0.79$). Assuming that in our study anaerobic intervals were driven after performing an incremental test, it can be concluded that parameters to predict race performance in male and female athletes are similar. Moreover, parameters of alternative cross-country-specific test trials ($r=0.83$), as suggested by Müller et al. (5), showed slightly weaker correlation than predictors in this study. Miller et al. (7), who used a field-based test to predict XCO-MTB performance, found correlations between race time and intermitted power of 20 intervals of 45 s ($r=0.88$), which is comparable to the power of the 1 min-AO in our study.

Conclusion:

To the best of our knowledge, this is the first study which analysed the prediction of race performance of female mountain bikers. The results indicate that parameters to predict race performance in male and female athletes are similar. Due to the facts that all laboratory parameters correlate at least largely with race time and the laboratory test measures aerobic and anaerobic parameters of female athletes within approximately one hour, we suggest to look at this performance test to predict race performance for ambitious amateur mountain bikers in daily clinical routines. Further research is needed to give training advice based on the power output for each AO duration, to confirm our results in a larger sample size and to validate this performance diagnostic also for male athletes. In a follow-up study, the authors' currently examine the ability to predict seasonal MTB performance of professional cyclists.

Literatur

- Inoue A, Sa AS, Mello FCM, Santos TM (2012) Relationship between Anaerobic Cycling Tests and Mountain Bike Cross-Country Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26: 1589-1593
- Ahrend M-D, Schneeweiss P, Theobald U, Niess AM, Krauß I (2014) Validierung aerober und anaerober Leistungsparameter im Mountainbike-Sport: eine Pilotstudie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 65: 197
- Diekhuth HH, Yin L, Niess A, Rucker K, Mayer F, Heitkamp HC, Horstmann T (1999) Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. *Int J Sports Med* 20: 122-127
- Impellizzeri FM, Marcora S, Rampinini E, Mognoni P, Sassi A (2005) Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *British journal of sports medicine* 39: 747-751
- Impellizzeri FM, Rampinini E, Sassi A, Mognoni P, Marcora S (2005) Physiological correlates to off-road cycling performance. *J Sports Sci* 23: 41-47
- Müller B, Steiner T, Maier T, Wehrli J (2014) Treadmill-based cycling time trial better predicts seasonal cross-country mountain bike performance than traditional parameters in laboratory. *Journal of Science and Cycling* 3: 85
- Miller MC, Moir GL, Stannard SR (2014) Validity of using functional threshold power and intermitted power to predict cross-country mountain bike race outcome. *Journal of Science and Cycling* 3: 16-20



NR. 149 SITZUNG KU-08 12.09.2015; 10:15-11:45 UHR

Ahrend M¹, Schneeweiß P¹, Martus P², Nieß A¹, Krauß F¹

Validierung einer mountainbike-spezifischen Leistungsdiagnostik

1. UNIVERSITÄTSKLINIK TÜBINGEN, Abteilung Sportmedizin, Tübingen
 2. UNIVERSITÄTSKLINIK TÜBINGEN, Institut für Klin. Epidemiologie und angewandte Biometrie, Tübingen

- Einleitung / Problemstellung:** Im Mountainbike-Marathon (MTB) sind aerobe und anaerobe Beanspruchungen charakteristisch. Durch eine Pilotstudie wurde eine spezifische Leistungsdiagnostik (LD) entwickelt, die dieses Anforderungsprofil abbilden soll. Ziel der vorliegenden Studie war die Validierung der erhobenen Laborparameter mit der Wettkampfleistung verschiedener Rennen.
- Methodik:** 49 Athleten (Alter: 38,8±9,1 J.; BMI: 23,2±2,2 kg/cm²; IAS: 3,1±0,4 W/kg) absolvierten innerhalb von 2 Wochen eine LD auf einem SRM-Ergometer, und eines von drei offiziellen, nationalen MTB-Rennen (R1: n=15, 90 km, 2100 Hm; R2: n=9, 56 km, 950 Hm; R3: n=25, 83 km, 1700 Hm). Mittels Laktat-Stufentest (80/40/3) wurde die individuelle anaerobe Schwelle (IAS) und in All-out-Intervallen (AO) die maximal möglichen Wattleistungen über 10s, 1min und 5min erfasst. Die Parameter IAS, Abbruchleistung des Stufentests (PPO) und AO-Leistungen wurden zum Körpergewicht relativiert und mit einer der drei Validierungsrennenzeit auf univariate Korrelationen überprüft ($\alpha < 0,05$). Ergänzend wurden die Rennzeiten des jeweiligen Rennens z-transformiert und hiermit eine multiple Regression über alle Rennen berechnet.
- Ergebnisse:** Bis auf den 10s-AO ($r = -0,59$) in Rennen 2 zeigten alle untersuchten Messgrößen signifikante Korrelationen mit Rennzeit 1, 2 und 3: 1min-AO ($r = -0,85^*$; $-0,84^*$; $-0,82^*$), PPO ($r = -0,77^*$; $-0,73^*$; $-0,76^*$), 10s-AO ($r = -0,72^*$; $-0,59$; $-0,61^*$), IAS ($r = -0,71^*$; $-0,67^*$; $-0,68^*$) und 5min-AO ($r = -0,57^*$; $-0,85^*$; $-0,76^*$). Mit 1min-AO (Std-B= $-0,78^*$), IAS (Std-B= $-0,46^*$) und Gewicht (Std-B= $-0,58^*$) lassen sich 77,3 % der Varianz der z-transformierten Rennzeiten ($p < 0,0001$) erklären.
- Diskussion / Schlussfolgerung:** Die aufgezeigten Zusammenhänge aerober und anaerober Leistungsparameter mit der Wettkampfleistung verdeutlichen die Relevanz einer erweiterten LD, in der neben der standardmäßigen Beurteilung der aeroben Leistungskapazität (IAS) auch hoch intensive Belastungsbereiche analysiert werden. Insbesondere der 1min-AO zeigt einen sehr starken und über alle Rennen hinweg stabilen Zusammenhang. Die Ergebnisse verdeutlichen den Mehrwert einer MTB-spezifischen LD und erlauben damit eine umfassendere Charakterisierung des Leistungs-niveaus und zuverlässigere Rennprognose ambitionierter MTB-Fahrer.

NR. 151 SITZUNG KU-08 12.09.2015; 10:15-11:45 UHR

Beneke R¹, Leithäuser R²

Eine Theorie zur Kadenzabhängigkeit des Maximalen Laktat Steady States

1. PHILIPPS-UNIVERSITÄT MARBURG, Institut für Sportwissenschaft und Motologie, Marburg
 2. PHILIPPS UNIVERSITÄT MARBURG, Marburg

- Einleitung / Problemstellung:** Das maximale Laktat Steady State (MLSS), die höchste Blutlaktatkonzentration (BLK), die bei konstanter Dauerleistung ein Gleichgewicht von Glykolyserate (Gly) und Pyruvat/Laktat-Oxidationsrate (Ox) anzeigt, war im intraindividuellen Vergleich bei einer Kurbelfrequenz (KF) von 105 RPM höher als bei 60 RPM, während die MLSS-Leistung KF-unabhängig war. Eine höhere KF reflektiert die vermehrte Rekrutierung von schnellen Muskelfasern (FTF). In FTF ist die Pyruvatdehydrogenase (PDH) weniger sensitiv auf die Verfügbarkeit von Pyruvat als Substrat des mitochondrialen Stoffwechsels als in langsamen Fasern (Kilerich et al. 2007). Dieses konnte kürzlich als Erhöhung der Konstanten der halbmaximalen Aktivierung der relativen Kohlenhydratoxidation (k) in Stufentests beschrieben werden (Beneke, Alkhatib 2015). Ob die KF-abhängigen Unterschiede des MLSS bei unveränderter MLSS-Leistung durch entsprechende k-Effekte erklärt werden können, wurde durch Simulationsberechnungen auf Grundlage der o.g. MLSS-Experimente überprüft.
- Methodik:** Die Simulationsrechnungen basierten auf folgende Befunden und Annahmen. KF-unabhängig: maximale Leistung (4,6 W/kg); MLSS-Leistung (3,0 W/kg); 95% Sättigung der PDH entsprechend einem respiratorischen Quotienten von 0,985; Pyruvat-Sauerstoffäquivalent: 0,04 mmol/ml/kg; KF-abhängig: MLSS und MLSS-Sauerstoffaufnahme (60 RPM: 3,4 mmol/l, 39 ml/kg/min; 105 RPM: 4,5 mmol/l, 43 ml/kg/min). KF-abhängige k-Werte wurden als Funktion von MLSS, Gly und Ox berechnet ($k = \text{MLSS} \cdot (\text{Ox} \cdot \text{Gly})$).
- Ergebnisse:** Die Berechnungen ergaben, dass die Erhöhung der KF von 60 auf 105 RPM den k-Wert von 2,2 (mmol/l)² um 127 % auf 5,0 (mmol/l)² steigerte.
- Diskussion / Schlussfolgerung:** Der berechnete KF-Effekt auf k ist vergleichbar zu jüngsten Stufentestuntersuchungen (Beneke, Alkhatib 2015). Die berechneten k-Werte unterstützen die Theorie, dass eine höhere KF durch vermehrte Rekrutierung von FTF die Sensitivität des mitochondrialen Stoffwechsels auf die Verfügbarkeit von Pyruvat als Substrat herabsetzt und für eine gegebene relative Kohlenhydratoxidation eine höhere BLK verlangt.

NR. 150 SITZUNG KU-08 12.09.2015; 10:15-11:45 UHR

Thumm P¹, Sharma N¹, Gruber M¹, Saupe D¹

Ein Algorithmus zur Bestimmung der zweiten ventilatorischen Schwelle verglichen mit Experten-Ratings

1. UNIVERSITÄT KONSTANZ, Konstanz

- Einleitung / Problemstellung:** Die Messung der Sauerstoffaufnahme (VO₂) in Abhängigkeit von der Leistung gehört zu den Standards der heutigen Leistungsdiagnostik. Als zentrale Variablen werden u.a. die ventilatorischen Schwellen und die VO₂max bestimmt (Hansen & Sue, 2012). Während es für die VO₂max klare Richtlinien gibt, müssen für die Bestimmung der ventilatorischen Schwellen eine Vielzahl von verschiedenen Anhaltspunkten mit einbezogen werden (Binder et al., 2008). Dies kann folglich sowohl zwischen subjektiven Expertenbewertungen, als auch zwischen extra dafür entwickelten mathematischen Algorithmen unterschiedliche und teils unrealistische Werte ergeben (Ekkedakis et al., 2008).
- Methodik:** Das Ziel der vorliegenden Studie war es deshalb einen neu entwickelten Algorithmus zu validieren, der unabhängig vom Kurvenverlauf einen zuverlässigen Schwellenwert für die VT₂ liefern soll. Der entwickelte Algorithmus überprüft das fünfte Wassermann-Panel (VO₂ - VO₂) nach vier aufeinanderfolgenden Messpunkten oberhalb einer Gerade mit einer dem Datensatz angepassten Steigung. Der Mittelwert der VO₂-Werte solcher vier Punkte, welche auf der VO₂-Achse am weitesten rechts liegen, wird als VT₂ ausgegeben. Zur Validierung des Algorithmus, führten wir eine Online-Umfrage durch. Dabei bestimmten zehn Experten die VT₂ für 20 ausgewählte Datensätze. Die Datensätze waren ohne das Wissen der Experten, je nach Eindeutigkeit der Kurvenverläufe, in drei Kategorien unterteilt.
- Ergebnisse:** Die Ergebnisse des Algorithmus und die gemittelten Experten-Ratings waren nicht signifikant unterschiedlich ($p = 0,92$). Eine Abhängigkeit vom Schwierigkeitsgrad war erkennbar: Bei den leichten (n=6) und mittelschweren (n=10) Datensätzen lag die Abweichung bei 1,4% ($p = 0,86$) bzw. 2,3% ($p = 0,86$), bei schweren Tests (n=4) bei 10% ($p = 0,38$). Die Streuung (SD) der Experten-Ratings war dabei vom Schwierigkeitsgrad unabhängig ($p = 0,68$).
- Diskussion / Schlussfolgerung:** Aufgrund der vorgestellten Ergebnisse kann der entwickelte Algorithmus als objektive Analysemöglichkeit anerkannt werden, welche nur bei Tests mit sehr sprunghaften Kurvenverläufen eine zu den leichten und mittelschweren Tests vergleichsweise hohe, aber nicht signifikante Abweichung ($p = 0,38$) zu den Experten-Ratings aufweist.

NR. 152 SITZUNG KU-08 12.09.2015; 10:15-11:45 UHR

Leithäuser R¹, Beneke R¹

Einfluss der Kurbelfrequenz auf das Maximale Laktat Steady State (MLSS) bei Fahrradergometrie

1. INST. SPORTWISSENSCHAFT U. MOTOLOGIE, Philipps-Universität, Marburg

- Einleitung / Problemstellung:** Allgemein anerkannt erzeugt Fahrradergometrie mit hoher Kurbelfrequenz (KF) bei gegebenen Leistungen im Stufentest eine höhere Blutlaktatkonzentration (BLK) als eine niedrigere KF. Das MLSS kennzeichnet die höchste BLK, die bei konstanter Dauerleistung (DL) ein Steady State zeigt. Denadai et al. 2006 beschrieben im intraindividuellen Vergleich bei KF von 50 und 100/min gleiche MLSS-Werte und niedrigere MLSS-Intensität relativ zur höchsten Leistung im Stufentest bei höherer KF. Befunde von Heck (1990) und Beneke (2003) deuten hingegen bei verschiedenen Gruppen auf KF-abhängige MLSS-Werte hin. Somit ist nicht geklärt und damit Ziel dieser Studie zu klären, ob das MLSS KF-abhängig ist, oder aber KF-unabhängige MLSS-Werte vergleichbar zu gegebenen BLK-Werten der Laktatleistungskurve bei höherer KF geringere Intensitäten kennzeichnen.
- Methodik:** Da intraindividuelle Vergleiche des MLSS unter zwei Testbedingungen bis zu 12 Tests pro Person bei bis zu zehn 30-min DL bedeuten können, wurde zunächst in Studie I das MLSS für KF von 60 und 105/min mit zwei Gruppen (n=16; MW (SD) 25,1 (1,9) J.; 178,4 (6,5) cm; 70,3 (6,5) kg vs. n=16; 23,6 (3,0) J.; 181,4 (5,6) cm; 72,5 (6,2) kg) verglichen. Bei Nachweis eines Gruppenunterschieds folgte in Studie II ein intraindividuell MLSS-Vergleich (n=12; 25,3 (2,1) J.; 175,9 (7,7) cm; 67,8 (8,9) kg).
- Ergebnisse:** In Studie I war das MLSS in der KF60 Gruppe niedriger (4,3 (0,7) vs. 5,4 (1,0) mmol/l; $p < 0,01$) als in der KF105 Gruppe während keine Unterschiede der MLSS-Intensität (68,7 (5,3) vs. 71,8 (5,9) % n.s.) gefunden wurden. Die KF-abhängigen Effekte (60 vs. 105/min) wurden im intraindividuellen Vergleich der Studie II bestätigt (MLSS: 3,4 (0,8) vs. 4,5 (1,0) mmol/l; $p < 0,001$ und MLSS-Intensität: 65,0 (6,8) vs. 63,5 (6,3) % n.s.).
- Diskussion / Schlussfolgerung:** Die Ergebnisse zeigen einen KF-Effekt auf das MLSS mit höheren Werten bei höherer KF wohingegen die relative Intensität bei der sich das MLSS einstellt KF-unabhängig war. Die KF-Abhängigkeit des MLSS kann als eine KF-abhängige kombinierte Modulation von glykolytischer Laktatbildung und aerober Oxidationsrate bei aerober DL mit gegebener Intensität und vergleichbarer relativer Kohlenhydratoxidation interpretiert werden.

Nr. 53, Sitzung PO-02 (12.09.2014; 10:30-12:00 Uhr)

Validierung aerober und anaerober Leistungsparameter im Mountainbike-Sport: eine PilotstudieAhrend M¹, Schneeweiß P¹, Theobald U², Nieß A¹, Krauß I¹¹ Universitätsklinik Tübingen, Abteilung Sportmedizin, Tübingen² Universität Tübingen, Institut für Erziehungswissenschaft, Tübingen

Einleitung / Problemstellung: Die Leistungsdiagnostik im Mountainbike-Sport (MTB) besteht aus einem Stufentest mit dem insbesondere die aerobe Leistungsfähigkeit erfasst werden. Durch den intervallartigen Rennerlauf mit Anstiegen bzw. Abfahrten und den wiederkehrenden, submaximalen Belastungen, ist neben der aeroben jedoch auch die anaerobe Leistungsfähigkeit relevant. Zielsetzung der vorliegenden Studie war es, unterschiedliche Messgrößen mittels einer MTB-spezifischen Testbatterie zu erfassen und anschließend im Wettkampf zu validieren.

Methodik: 10 Fahrer (Alter 34,3±8,7 J; VO2max/kg 66,5±11,3 ml/min/kg) absolvierten einen Stufentest (80/40/3) mit Laktatanalyse (IAS/kg) und Spiroergometrie (VO2max/kg). Zusätzlich wurden eine isometrische Maximalkraftdiagnostik der Bein- und Rumpfmuskulatur (Kraft/kg) und ein All-Out-Time-Trial im Labor durchgeführt. Hierbei mussten die Fahrer in MTB-typischen anaeroben Intervallen (10s, 1min, 5min) ihre maximale Leistung erbringen. Erfasst wurden Durchschnittsleistungen in Relation zum Körpergewicht (ø10s/kg, ø1min/kg, ø5min/kg). Zur externen Validierung der Laborparameter wurde unter wettkampfhohen Bedingungen ein Feldtest auf einer offiziellen MTB-Wettkampfstrecke durchgeführt. Dabei wurde über eine CycleOps-Hinterradnabe die getretene Wattleistung (W/kg) erfasst. Es wurden paarweise Korrelationen zwischen den Laborparametern und der Wettkampfleistung berechnet.

Ergebnisse: Am stärksten korrelierte VO2max/kg mit der Wettkampfleistung ($r=0,85$), gefolgt von der individuellen anaeroben Schwelle (IAS/kg, $r=0,70$). Von den Leistungen im All-Out-Time-Trial korrelierte ø1min/kg ($r=0,69$) und ø5min/kg ($r=0,63$). Kein Zusammenhang bestand bei Kraft/kg ($r=-0,14$) und ø10s/kg ($r=0,20$) mit der Wettkampfleistung.

Diskussion / Schlussfolgerung: Die Ergebnisse zeigen, dass neben der aeroben Kapazität (VO2max/kg) auch anaerobe Parameter im MTB relevant sind. Sie korrelieren mit der Wettkampfleistung und weisen vergleichbare Zusammenhänge wie IAS/kg auf. Somit erscheint es sinnvoll, dass zukünftig die Leistungsdiagnostik im MTB neben einem Stufenprotokoll auch anaerobe Leistungen erfasst, um das gesamte Belastungsprofil abzubilden. Weitere Studien sollten die Ergebnisse an einem größeren Probandenkollektiv überprüfen.

Nr. 55, Sitzung PO-02 (12.09.2014; 10:30-12:00 Uhr)

Objektive Ausbelastungskriterien für spirometrische Rampentests bei Leistungssportlern

Haslbauer R, Scherr J, Preßler A, Wolfarth B, Halle M

Klinikum rechts der Isar, Lst. Prävention und Sportmedizin, München

Einleitung / Problemstellung: Die spirometrische Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO2max) hängt maßgeblich von der Ausbelastung des Patienten ab. Die Definition eindeutiger objektiver Ausbelastungskriterien zur möglichst exakten Erkennung der tatsächlichen VO2max wird allerdings immer noch kontrovers diskutiert. Ziel der Studie war, bei Ausdauer-Leistungssportlern gängige objektive Ausbelastungskriterien hinsichtlich des jeweils erreichten VO2-Höchstwertes (VO2peak) zu evaluieren.

Methodik: Bei $n=100$ gesunden Kadersportlern aus dem Ausdauerbereich (weiblich: 43%, Alter 21,0±1,7 Jahre) wurde ein spirometrischer Rampentest auf dem Laufband (Beginn 12km/h, 8% Steigung (weiblich: 5%), +1% Steigung/30s) bis zur subjektiven Erschöpfung durchgeführt und hinsichtlich VO2peak, RERmax (jeweils Mittel der 3 höchsten Messwerte), Laktatmax, Laktatpost (1 min nach Belastung) sowie der Ausbildung eines Levelling-offs der VO2-Kurve ausgewertet.

Ergebnisse: Im Mittel wurden eine VO2peak von 62,3±10,0 ml/min/kg, ein RERmax von 1,11±0,07, ein Laktatmax von 8,7±2,0 sowie Laktatpost von 10,1±2,1 mmol/l erreicht. 59% der Athleten erreichten ein Levelling-off, 26% einen RER > 1,15, 63% ein Laktatmax > 8 mmol/l und 88% ein Laktatpost > 8 mmol/l. Im intraindividuellen Vergleich dieser Gruppen mit den jeweils unterhalb der Kriterien liegenden (bzw. kein Levelling-off aufweisenden) Athleten zeigten sich allerdings durchgehend keine signifikanten Unterschiede in der VO2peak (alle $p>0,05$). Im interindividuellen Gruppenvergleich wurden die höchsten Mittelwerte für VO2peak in der Laktatmax-Gruppe (63,5±10,3 ml/min/kg), die niedrigsten in der Levelling-off-Gruppe (62,0±10,2 ml/min/kg) beobachtet.

Diskussion / Schlussfolgerung: Bei hochtrainierten Ausdauerleistungssportlern wurden zwischen verschiedenen gängigen objektiven spirometrischen Ausbelastungskriterien keine signifikanten Unterschiede in der VO2peak beobachtet. Die bestmögliche Annäherung an eine tatsächliche VO2max wird durch Überschreiten eines Laktatmax > 8 mmol/l erzielt.

Nr. 54, Sitzung PO-02 (12.09.2014; 10:30-12:00 Uhr)

Validierung der Nachatmungsmethode im semispezifischen Judotest: eine PilotstudieRüdrieh P¹, Wüstenfeld J¹, Heinisch D¹, Blume K², Wolfarth B¹¹ Inst. f. Angw. Trainingswissenschaft, Leipzig² Zentrum für Prävention und Sportmedizin, München

Einleitung / Problemstellung: Leistungsdiagnostiken in taktisch/technischen Sportarten wie Judo werden häufig in Form von semispezifischen Wettkampftests (sWKT) durchgeführt. Die Erfassung von kardiozirkulatorischen, metabolischen und respiratorischen Leistungskenngrößen ist dabei auf die Herzfrequenz (HF) beschränkt. Respiratorische und metabolische Messgrößen (z.B. O2, CO2, Laktat) können erst nach Testende gemessen werden. Ziel der vorliegenden Studie ist daher die Überprüfung der Reliabilität der Nachatmungsmethode (EPOC) zur VO2peak Bestimmung im semispezifischen Test im Vergleich zur Bestimmung der VO2max im Laufband-Rampentest (RT).

Methodik: Bestimmung von HF, Laktat(Lac) und resp. Parameter bei Judoka ($n=8$, dt. Nationalmannschaft) direkt nach einem sWKT und HF während und nach dem Test. Anschließend Bestimmung der VO2max und EPOC im Laufbandrampentest (12 km/h, 5% Startneigung, Inkrement 1%-Steigerung pro 30sec, Abbruch: max. Erschöpfung). EPOC Messung beim RT wurde für eine Minute erfasst. Die EPOC Messung nach sWKT erfolgte eine Minute über ein Mundstück. In der Auswertung wurde der lineare O2-Abfall bis 1min nach Testende berücksichtigt.

Ergebnisse: Die mittels EPOC ermittelten VO2peak Werte (VO2:51,0 ± 7,79 kg/KW) wiesen eine sehr hohe Korrelation mit den VO2max Werten im Rampentest auf (VO2:54,5 ± 7,14, $r=0,82$, Rangkor:0,85). Die HFmax (HF/sWKT:181 ± 7,5/min; HF/RT:183 ± 7,0/min; $r=0,84$, Rangkor:0,87) zeigt die kardiozirkulatorische Ausbelastung in beiden Tests passend zur metabolischen Ausbelastung (Lac max/EPOC:15,7 ± 2,53 mmol/L; Lac max/RT:14,3 ± 1,63 mmol/L). Im Vergleich EPOC-VO2peak Werte/RT und VO2max/RT desselben Tests (EPOC:54,2 ± 7,3; VO2p:54,5 ± 7,1) zeigt sich eine sehr hohe Korrelation ($r=0,95$, Rangkor:0,9). Im Vergleich EPOC/Rampe mit EPOC/sWKT zeigt sich ebenfalls eine hervorragende Korrelation ($r=0,92$; Rangkor:0,97).

Diskussion / Schlussfolgerung: Anhand der vorliegenden Daten lässt sich postulieren, dass die Nachatmungsmethode beim semispezifischen Judotest ein zuverlässiges Werkzeug zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme darstellt.

Nr. 56, Sitzung PO-02 (12.09.2014; 10:30-12:00 Uhr)

Interrater-Reliabilität verschiedener ventilatorischer Schwellenmodelle

Hoppe M, Baumgart C, Laghusemann F, Freiwald J

Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal

Einleitung / Problemstellung: Einen Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der ventilatorischen Schwellen 1 (VT1) und 2 (VT2) haben neben biologischen Variabilitäten der Probanden und technischen Messfehlern der Atemgasanalytoren bzw. der Ergometer auch die Untersucher, da eine manuelle Plausibilitätsprüfung der durch eine Software bestimmten Schwellen unabdingbar ist. Ziel der Studie war es demnach, die Interrater-Reliabilität als ein Maß der Objektivität verschiedener ventilatorischer Schwellenmodelle zu überprüfen.

Methodik: Drei Rater bestimmten in der Software LF 8 (Ganshorn, Niederlauer, Deutschland) die VT1 und die VT2 bei 24 fahradergispirometrischen Datensätzen, die einheitlich mit einem rampenähnlichen Belastungsprotokoll (20 Watt/min) erhoben wurden. Die Bestimmung der VT1 und der VT2 erfolgte jeweils anhand vier verschiedener Schwellenmodelle. Für die statistische Auswertung wurde die VO2, in Prozent der VO2peak, an den ventilatorischen Schwellen herangezogen. Die Berechnung der Interrater-Reliabilität erfolgte mit dem Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC; Modell 2.1) sowie mit einer Varianzanalyse (ANOVA) für die auch das Effektstärkemaß Eta2 berechnet wurde.

Ergebnisse: Mit Ausnahme der "V-Slope Methode" für die Bestimmung der VT1 (ICC=0,86 und ANOVA: $p=0,44$; Eta2=0,03) ist keine zu akzeptierende Interrater-Reliabilität bei den übrigen ventilatorischen Schwellenmodellen gegeben (ICC=0,06-0,74 und ANOVA: $p=0,00-0,01$; Eta2=0,12-0,59).

Diskussion / Schlussfolgerung: Die Ergebnisse der Untersuchung belegen, dass nur die "V-Slope Methode" für die Bestimmung der VT1 eine zu akzeptierende Interrater-Reliabilität bzw. Objektivität aufweist. Dieses Ergebnis ist mutmaßlich auf die "Eindeutigkeit" der "V-Slope Methode" zurückzuführen: Während bei der "V-Slope Methode" lediglich ein Schnittpunkt von zwei Regressionsgeraden (VO2 vs. VCO2) bestimmt werden muss, erfordern die anderen Schwellenmodellen eine Interpretation des gesamten Verlaufes verschiedener Parameter (z.B. der Atemäquivalente). Wie auch von Meyer et al. (2005) aus einer physiologischen Perspektive begründet, sollte demnach die "V-Slope Methode" für die Bestimmung der VT1 präferiert bei kardiopulmonalen Belastungsuntersuchungen herangezogen werden.

Validierung aerober und anaerober Leistungsparameter im Mountainbike-Sport: eine Pilotstudie



Ahrend M, Schneeweiß P, Theobald U, Nieß A, Krauß I

Universität Tübingen, Medizinische Universitätsklinik Tübingen, Abteilung Sportmedizin



Einleitung

Der Rennverlauf im Mountainbike-Sport (MTB) hat durch zahlreiche Anstiege und Abfahrten einen intervallartigen Charakter (1). Neben der isometrischen Kraftbeanspruchung bei steilen Abfahrtspassagen, um Bodennebenheiten auszugleichen und das Gleichgewicht zu halten (2), sind wiederkehrende Belastungsspitzen charakteristisch (3). Somit scheinen sowohl aerobe als auch anaerobe Leistungsfähigkeiten von Relevanz zu sein (4, 5). Die Leistungen werden hierbei in Relation zum Körpergewicht beurteilt (5, 6, 7).

Die herkömmliche Leistungsdiagnostik im MTB deckt in erster Linie die aerobe Leistungsfähigkeit mittels Stufentest ab. Eine Diagnostik, die auch die anaerobe, intervallartige Belastung im MTB erfasst, ist derzeit nur unzureichend erprobt und weitere Studien sollten dazu durchgeführt werden (1, 5). Des Weiteren ist durch den Einzug von Wattmessgeräten nun eine exakte Trainingssteuerung bei Maximalbelastungen möglich (8). Somit sollten auch diese Belastungsbereiche in einer Leistungsdiagnostik abgebildet werden.

Die Studie verfolgte das Ziel, leistungsrelevante Messgrößen sowohl in aeroben als auch in den anaeroben Belastungsbereichen in einer speziell für die Sportart zusammengestellten Testbatterie zu erfassen und diese auf Relevanz für die Wettkampfleistung zu überprüfen.

Methoden

Studienübersicht

Messtag	Test	Diagnostik	Variable	Einheit
1	intern. Untersuchung			
	Stufentest (80/40/3)	Laktatdiagnostik	IAS	[W/kg]
		Spiroergometrie	VO ₂ max	[ml/min/kg]
2	Max.-Kraftdiagnostik	isometrisch	Kraft	[N/kg]
	All-Out-Time-Trial	4 x 10s-AO	Ø10s	[W/kg]
		2 x 1min-AO	Ø1min	[W/kg]
1 x 5min-AO		Ø5min	[W/kg]	
3	Feldtest	CycleOps-Nabe	ØFeld	[W/kg]

Probanden

n	Geschlecht m ; w	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m ²]	VO ₂ max [ml/min/kg]	MTB-Erfahrung [Jahre]
10	9 ; 1	34 ± 8,7	180 ± 4,5	73 ± 4,6	22 ± 1,4	66 ± 11,3	10 ± 6,1

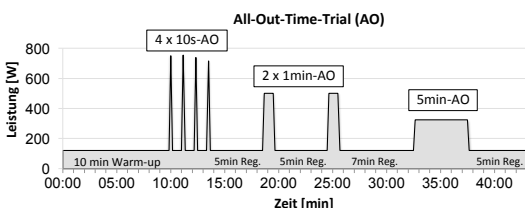
Labormessungen



Nach einer Eingangsuntersuchung absolvierten die Probanden einen **Stufentest** (80 W Einstiegsleistung, 40 W Steigerung/Stufe, 3 min Stufendauer) mit Laktatdiagnostik und Spiroergometrie zur Erfassung der aeroben Leistungsfähigkeit.

Im Abstand von 2 bis 7 Tagen fand der zweite Messtag statt. Es wurde eine isometrische **Maximalkraftdiagnostik** der Knieflexoren und -extensoren, sowie der Rumpfmuskulatur an David-Geräten durchgeführt. Die Werte sind in der Variablen „Kraft“ zusammengefasst.

Es folgte der sog. **All-Out-Time-Trial** (AO). Dieser besteht aus MTB-typischen Intervallbelastungen (4 x 10s-AO, 2 x 1min-AO, 1 x 5min-AO). Zwischen den Intervallen fand eine aktive Erholung bei 1,5 Watt/kg Körpergewicht statt. Die Fahrer waren dazu angehalten, ihre höchstmögliche Wattleistung bei festgeschriebener Trittfrequenz über das entsprechende Intervall zu erzielen. Die relativ zum Körpergewicht durchschnittlichen Leistungen der jeweiligen Intervalldauer wurden als Variablen verwendet und stehen für unterschiedliche Ausdauerbereiche.



Validierung: Feldtest

Zur Validierung der Laborvariablen führen die Probanden im Abstand von 1-3 Wochen zur Laboruntersuchung unter wettkampfnahen Bedingungen (Rennsituation mit 2-3 konkurrierenden Fahrern) einen **Feldtest** (26,8 km). Dabei wurde die getretene Leistung am Hinterrad durch CycleOps-Wattnaben gemessen, um die durchschnittliche Leistung pro kg Körpergewicht (ØFeld) zu bestimmen.

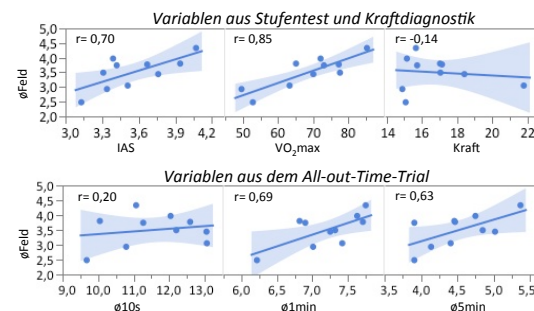


Datenanalyse

Die Laborvariablen wurden mit der Zielgröße ØFeld auf Korrelationen geprüft, um die Relevanz der Messgrößen für den MTB-Sport festzustellen.

Ergebnisse

Die linearen Regressionen zeigen die Zusammenhänge zwischen den Laborvariablen und der durchschnittlichen zum Körpergewicht relativierten Wettkampfleistung (ØFeld). Die stellvertretend für die aerobe Leistungsfähigkeit erhobenen Messgrößen IAS ($r=0,70$) und VO₂max ($r=0,85$) korrelieren stark mit ØFeld. Die maximale Bein- und Rumpfkraft hängt nicht mit der Wettkampfleistung ($r=-0,14$) zusammen. Die anaerobe Wattleistung über 10 Sekunden ($r=0,20$) korreliert nur leicht. Die Leistungen über 1 Minute ($r=0,69$) und 5 Minuten ($r=0,60$) zeigen einen mittleren Zusammenhang mit ØFeld.



Diskussion/Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass neben aeroben Leistungsparametern (VO₂max u. IAS) auch längere Intervallabschnitte über 1 Minute und 5 Minuten mit der Wettkampfleistung zusammenhängen. Die 10-Sekunden-Intervalle korrelieren, ebenso wie die Maximalkraft, nur geringfügig mit der Zielgröße.

Bisherige Studien zu aeroben Leistungseigenschaften der MTB-Fahrer zeigen ähnliche Korrelationen zwischen IAS und den Rennzeiten (1). VO₂max korreliert hingegen weniger ($r=0,30$ bis $0,62$) (6, 7, 9). Die einzige Studie, die die anaerobe Leistung ähnlich wie die vorliegende Studie durch intervallartige Belastungen testete, zeigt bei mehrmaligen 30s-Wingate-Tests vergleichbare Ergebnisse ($r=0,63$). Die Leistung in einem alleinigen Wingate-Test korreliert hingegen mit der Rennzeit deutlich geringer ($r=0,3$) (5, 7).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen, dass neben einer guten aeroben Leistungsfähigkeit auch anaerobe Leistungsparameter mit der Wettkampfleistung der Fahrer zusammenhängen. Eine Leistungsdiagnostik muss daher beide Belastungsbereiche abdecken, um das Anforderungsprofil des MTB-Sports vollständig zu erfassen. Vor allem die wiederkehrenden Belastungsintervalle erfassen die anaerobe Belastung im MTB-Sport besser als herkömmliche Studien. Eine Maximalkraftdiagnostik kann zur Wettkampfpredgnose vernachlässigt werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Pilotstudie werden derzeit in einer Folgestudie an einem größeren Probandenkollektiv überprüft.

Literatur

- Prins L, Terblanche E, Myburgh KH. Field and laboratory correlates of performance in competitive cross-country mountain bikers. *Journal of sports sciences*. 2007;25(8):927-35.
- Impellizzeri F, Sassi A, Rodriguez-Alonso M, Mognoni P, Marcora S. Exercise intensity during off-road cycling competitions. *Medicine and science in sports and exercise*. 2002;34(11):1808-13.
- Stapelfeldt B, Schwitz A, Schumacher Y, Hillebrecht M. Workload demands in mountain bike racing. *International journal of sports medicine*. 2004;25(04):294-300.
- Impellizzeri FM, Marcora SM. The physiology of mountain biking. *Sports Medicine*. 2007;37(1):59-71.
- Inoue A, Sã Filho AS, Mello F, Santos TM. Relationship Between Anaerobic Cycling Tests and Mountain Bike Cross-Country Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2012;26(6):1389.
- Impellizzeri F, Marcora S, Rampinini E, Mognoni P, Sassi A. Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *British journal of sports medicine*. 2005; 39(10):747-51.
- Costa V, De-Oliveira F. Physiological variables to predict performance in cross-country mountain bike races. *J Exerc Physiol Online*. 2008;11:14-24.
- Allen H, Coggan A. *Wattmessung im Radsport und Triathlon*. Hamburg: Spomedis; 2012.
- Impellizzeri FM, Rampinini E, Sassi A, Mognoni P, Marcora S. Physiological correlates to off-road cycling performance. *Journal of Sports Sciences*. 2005;23(01):2311-41-7.



**21st annual Congress of the
EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE
CROSSING BORDERS THROUGH SPORT SCIENCE**
6th - 9th July 2016, Vienna - Austria



Hosted by the Centre for Sport Science and University Sports, University of Vienna

ECSS 2016

- Welcome to Vienna
- Institution and Venue
- Committees and Chairs
- Programme and Satellites**
- Registration and Fees
- Abstract Submission
- Awards and Grants
- Hotels and Travel
- Tours and Activities
- Exhibition and Sponsoring
- Office Media & FAQ
- Key dates

Scientific Programme

Abstract details	
Abstract-ID:	523
Session:	[OP-PM49] EXERCISE TESTING / ,
Lecture room:	N1
Date & time:	08.07.2016 / -
Title of the paper:	AGREEMENT BETWEEN THE STAGES CYCLING AND POWERTAP POWERMETER
Authors:	SCHNEEWEISS, P, HAERLEN, S, AHREND, M.D., NIESS, A.M., KRAUSS, I. - [Contact]
Institution:	UNIVERSITY HOSPITAL OF TUEBINGEN
Department:	DEPARTMENT OF SPORTS MEDICINE
Country:	GERMANY
Abstract text	<p>Introduction Training at high intensities can only be controlled inadequately by heart rate because it is considerably affected by internal and external factors and responding delayed to exercise intensity modifications. In contrast, mobile powermeters allow the assessment and control of cyclist's training intensities more accurately. Today, several powermeters are available and are now getting affordable for amateur athletes as well. The well-established PowerTap (PT; CycleOps) quantifies cycling power output (PO) via strain gauges in the rear wheel hub and has already been validated in previous studies. The Stages Cycling Powermeter (SCP; Stages Cycling) is a cheaper device that is more flexible for usage as PO is quantified in the left crank arm via integrated strain gauges. The aim of this study was to determine the agreement between these two devices.</p> <p>Methods An ordinary road bike was equipped with SCP and PT and mounted on a stationary cycle trainer (Flow T2200, Tacx). 38 participants performed a sub-maximal incremental test (100-400 W; 120s per level) and a sprint test (600 W; 30s). The levels were separated by recovery periods at 70 Watt. The PO was defined according to the cycle trainer. PO and cadence of PT and SCP were recorded simultaneously once per second. Differences in PO and cadence were determined and normalized to corresponding PT values and given in percentage. Agreement between methods was quantified by use of mean differences and limits of agreement (LoA).</p> <p>Results Compared to the PT, SCP underestimates PO across all intensities by a mean difference of $-1.88 \pm 3.97\%$, while LoA range from 5.9% to -9.7%. Considering cadence, SCP calculates 0.94 ± 0.16 revolutions per minute more than the PT (LoA: 0.63 to 1.25). Differences are almost consistent across all intensities.</p> <p>Discussion Confirming previous studies, SCP significantly underestimates PO though it is reliable. This may in part be due to differences in strain gauge configuration, the algorithms used to calculate PO and the potential influence that bilateral imbalances may have on these calculations. Although mean difference between SCP and PT is in an acceptable range, 95% of the individual PO differences account for up to 10 per cent. This means practical relevant PO differences up to 50 W between PT and SCP when cycling at higher intensities of 500 W or more. Precise training at high intensities can therefore only be warranted if precedent performance tests are carried out with the same powermeter. To determine the cadence, SCP uses an accelerometer while PT uses the repetitive PO peaks. Despite different measurement procedures, results show small differences that should be negligible for training control.</p> <p>Contact Patrick.Schneeweiss@med.uni-tuebingen.de</p>
Topic:	TRAINING AND TESTING
Keyword I:	POWMETER
Keyword II:	ACCURACY
Keyword III:	AGREEMENT

ECSS partners



Congress Sponsors



Follow us



Supported by

