

Aus dem  
Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin, Abteilung I an der  
Deutschen Sporthochschule Köln

Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. med. Hans-Georg Predel

**Untersuchungen zur Validität und Reliabilität  
eines neuen Testverfahrens zur Bestimmung der  
anaeroben Leistungsfähigkeit**

von der Deutschen Sporthochschule Köln  
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Sportwissenschaft  
(Dr. sportwiss.)

genehmigte Dissertation  
vorgelegt von  
Corinna Wawer

Köln 2018

Erster Referent: Univ.-Prof. Dr. med. Hans-Georg Predel

Zweiter Referent: Apl.-Prof. Dr. Christine Graf

Vorsitzender des Promotionsausschusses: Univ.-Prof. Dr. Mario Thevis

Tag der mündlichen Prüfung: 11.09.2018

Hierdurch versichere ich:

Ich habe diese Arbeit selbstständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen und technischen Hilfen angefertigt; sie hat noch keiner anderen Stelle zur Prüfung vorgelegen. Wörtlich übernommene Textstellen, auch Einzelsätze oder Teile davon, sind als Zitate kenntlich gemacht worden.

Hierdurch erkläre ich, dass ich die „Leitlinien guter wissenschaftlicher Praxis“ der Deutschen Sporthochschule Köln eingehalten habe.

Köln, den 27.03.2018

---

Corinna Wawer



## Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b> .....	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Aktueller Forschungsstand zur Erfassung der Leistungsfähigkeit</b> .....	<b>11</b>
2.1.1 Diagnostik der alaktaziden Leistungsfähigkeit .....	11
2.1.2 Diagnostik der alaktaziden Kapazität .....	12
2.1.3 Diagnostik der laktaziden Leistungsfähigkeit .....	12
2.1.4 Diagnostik der laktaziden Kapazität .....	12
2.1.5 Diagnostik der gesamt anaeroben Kapazität .....	13
2.1.6 Untersuchungsdesigns auf dem unmotorisierten Laufband .....	14
<b>2.2 Komplexe Leistungsdiagnostik</b> .....	<b>17</b>
2.2.1 Die Erfassung der anaeroben Kapazität und Leistungsfähigkeit .....	17
2.2.2 Untersuchungsdesigns zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit .....	20
<b>2.3 Ziel der Arbeit</b> .....	<b>23</b>
<b>3 Allgemeine Methodik</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1 Untersuchungsgang</b> .....	<b>25</b>
3.1.1 Feldstufentest .....	25
3.1.2 Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme .....	25
3.1.3 Bestimmung der maximalen Laktatbildungsrate .....	26
<b>3.2 Material</b> .....	<b>28</b>
3.2.1 Anthropometrie .....	28
3.2.2 Spiroergometrie .....	28
3.2.3 Blutlaktatkonzentration .....	29
3.2.4 Herzfrequenz .....	30
3.2.5 Laufband .....	30
3.2.6 Kraftaufnehmer .....	30

---

3.2.7	Laser-Distanzmessmodul / Lichtschranken .....	30
<b>3.3</b>	<b>Statistik .....</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>Vorstellung der Studien.....</b>	<b>32</b>
4.1	<b>Studie 1: Vergleich verschiedener Belastungszeiten bei der     Durchführung eines Sprinttests zur Bestimmung der anaeroben     Leistungsfähigkeit.....</b>	<b>32</b>
4.1.1	Methodik .....	32
4.1.2	Ergebnisse .....	36
4.1.3	Diskussion .....	42
4.2	<b>Studie 2: Determination der anaeroben Leistungsfähigkeit – der     Vergleich von Sprintern und Ausdauerathleten .....</b>	<b>45</b>
4.2.1	Methodik .....	45
4.2.2	Ergebnisse .....	48
4.2.3	Diskussion .....	51
4.3	<b>Studie 3: Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit bei     Sportspielen mit Richtungswechseln – am Beispiel Fußball.....</b>	<b>54</b>
4.3.1	Methodik .....	54
4.3.2	Ergebnisse .....	57
4.3.3	Diskussion .....	61
<b>5</b>	<b>Studienübergreifende Diskussion und Methodendiskussion.....</b>	<b>63</b>
5.1	Gütekriterien .....	63
5.2	Bestimmungsmethoden des alaktaziden Zeitintervalls .....	65
5.3	Klassifizierung von Sportlertypen .....	69
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerung .....</b>	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>72</b>
<b>8</b>	<b>Abstract.....</b>	<b>76</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>79</b>

## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, **Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Hans-Georg Predel** für die Überlassung des Themas, die ausgezeichnete wissenschaftliche Unterstützung, die enormen Freiheiten und die hilfreichen Diskussionen.

Des Weiteren möchte ich **Frau Prof. Dr. Christine Graf** für ihre fachliche und wissenschaftliche Unterstützung danken. Den Mitarbeitern des Instituts für Kreislaufforschung und Sportmedizin (Abtl.1) der Deutschen Sporthochschule Köln danke ich für die ausgezeichnete Zusammenarbeit während meiner Promotion.

Ein besonderer Dank gilt ebenfalls allen Mitarbeitern des Olympiastützpunkt Rheinlands. Insbesondere **Dr. Oliver Heine** schätze für die langjährige einmalige Zusammenarbeit und die großartige Unterstützung. Ohne seine Hilfe wäre die Promotion nicht möglich gewesen. Er und alle anderen haben mich im besonderen Maße bei meinem Promotionsvorhaben fachlich und freundschaftlich unterstützt und haben die nötige Ablenkung geboten.

Ich hätte mir keine bessere Unterstützung vorstellen können.

Zu großem Dank bin ich der Paul + Maria Kremer-Stiftung verpflichtet, die mich als ihre Stipendiatin finanziell unterstützt hat.

Zuletzt möchte ich meinen Freunden und besonders meiner Familie für ihre Geduld und Unterstützung danken. Ich danke ihnen für ihr Vertrauen, Ratschläge und Verständnis.

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Anaerobe Glykolyse (aus de Marées, 2003, © H. Heck).....	6
<b>Abbildung 2:</b> Aktivität der Glykolyse ( $V_{La_{ss}}$ ), der maximalen Eliminationsrate von Laktat ( $V_{La_{oxmax}}$ ), der Netto-Laktatbildungsrate ( $V_{La_{ssnet}}$ ), Pyruvat-Defizit, das maximale Laktat-steady-state (MLSS) und die freie ADP-Konzentration (ADP) in Abhängigkeit der Atmung ( $VO_2$ ) unter steady-state Bedingungen (Hauser, 2012; modifiziert nach Mader & Heck, 1994). .....	10
<b>Abbildung 3:</b> Schematische Darstellung des Laufbands für den Sprint (Lakomy, 1987) .....	15
<b>Abbildung 4:</b> Simulation des Energiestoffwechsels während maximaler Belastung von ca. 10 s (oben) und 60 s (unten). Die schraffierte Fläche zeigt eine Veränderung der $V_{La_{max}}$ um $\pm 15\%$ . Die Pfeile kennzeichnen das jeweilige Belastungsende (Heck & Schulz, 2002, S. 205). .....	19
<b>Abbildung 5:</b> Zeitlicher Ablauf eines Sprinttages .....	35
<b>Abbildung 6:</b> Studiendesign der 1. Teilstudie .....	35
<b>Abbildung 7:</b> Korrelation der maximalen Laktatbildungsrate in Part I (A). Korrelation der alaktaziden Zeit in Part I (B). .....	37
<b>Abbildung 8:</b> Korrelation der maximalen Laktatbildungsrate, des maximalen Nachbelastungslaktat und der alaktaziden Zeit zwischen zwei Messzeitpunkten in Part II für die Sprintzeit von 10 Sekunden (A) und 12 Sekunden (B). .....	38
<b>Abbildung 9:</b> Bland-Altman-Plots für die Differenz und Mittelwerte zwischen Feld- und Labormessung für die maximalen Laktatbildungsrate (A), maximales Nachbelastungslaktat (B) und die alaktazide Zeit (C). .....	40
<b>Abbildung 10:</b> Studiendesign der 2. Teilstudie .....	47
<b>Abbildung 11:</b> Korrelationen der Parameter maximale Laktatbildungsrate, alaktazide Zeit und maximales Nachbelastungslaktat für je zwei Messzeitpunkte im Feld (A) und Labor (B). .....	48
<b>Abbildung 12:</b> Korrelationen zwischen Feld- und Labormessung für die Parameter maximale Laktatbildungsrate (A), alaktazide Zeit (B) und maximales Nachbelastungslaktat (C). .....	50
<b>Abbildung 13:</b> Studiendesign der 3. Teilstudie .....	55

---

<b>Abbildung 14:</b> Aufbau- und Ablaufskizze des Sprints mit Richtungswechsel im Feld .....	56
<b>Abbildung 15:</b> Korrelation der maximalen Laktatbildungsrate, der alaktaziden Zeit und des maximalen Nachbelastungslaktat zwischen je zwei Messzeitpunkten im Feld (A) und Labor (B).....	58
<b>Abbildung 16:</b> Korrelation zwischen Feld- und Labormessung für die maximale Laktatbildungsrate (A), die alaktazide Zeit (B) und das maximale Nachbelastungslaktat (C).....	59
<b>Abbildung 17:</b> Darstellung der Leistung der verschiedenen Sportlergruppen .	66
<b>Abbildung 18:</b> Darstellung des Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverlauf des Sprints eines Athleten.....	68
<b>Abbildung 19:</b> Darstellung der Leistung des Sprints eines Athleten.....	68

---

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> ATP-Äquivalente der Leistungsfähigkeit und Kapazität der alaktaziden, laktaziden und aeroben Energiebereitstellung [in Anlehnung an Greenhaff et al., 1994].....	7
<b>Tabelle 2:</b> Abhängigkeit der mittleren maximalen Laktatbildungsrate von der Laufstrecke und damit von der Belastungszeit (Heck und Schulz, 2002, S. 207). .....	23
<b>Tabelle 3:</b> Technische Spezifikation des Oxycon Mobile Systems (CareFusion Germany GmbH, 2009) .....	29
<b>Tabelle 4:</b> Vergleich der verschiedenen Messzeiten (8s, 10s, 12s und 14s) und Vergleich dieser unter unterschiedlichen Bedingungen (Laufbahn und Laufband) von Part I, II und III (1. Teilstudie) .....	41
<b>Tabelle 5:</b> Vergleich von Feld 1 vs. Feld 2, Labor 1 vs. 2, Feld vs. Labor und Sprinter vs. Ausdauerathleten .....	49
<b>Tabelle 6:</b> Vergleich von Feld 1 vs. Feld 2, Labor 1 vs. Labor 2, Feld vs. Labor und Deskriptive Statistik der $VO_{2max}$ aller Fußballspieler .....	60
<b>Tabelle 7:</b> Vergleich leistungsdagnostischer Parameter zweier Athleten. ....	70

## Abkürzungsverzeichnis

et al.	et alii (und andere)
AMV	Atemminutenvolumen
ADP	Adenosindiphosphat
ATP	Adenosintriphosphat
BF	Atemfrequenz
BR	Atemreserve
CrP	Kreatinphosphat
F	Force (Kraft)
H	Hypothese
HF	Herzfrequenz
HR	Heartrate = HF
ICC	Intraklassen-Korrelationskoeffizient
kPa	Kilopascal
L	Liter
I	siehe L
La	Laktat
La <sub>max</sub>	maximales Nachbelastungslaktat
La <sub>Ruhe</sub>	Ruhelaktatwert
Laktat <sub>Ruhe</sub>	siehe La <sub>Ruhe</sub>
Leistung <sub>max</sub>	maximal erreichte Leistung (=Leistungs-Peak)
m (physikal.)	Masse
m	Meter
Max <sub>NBLK</sub>	siehe La <sub>max</sub>
Max <sub>AELA</sub>	siehe Max <sub>NBLK</sub>
ml	Milliliter
mmol	Millimol
m/s	Meter/Sekunde
s	Sekunde
s (physikal.)	Strecke
MCT	Monocarboxylat Transporter

---

MW	Mittelwert
MZP 1	Messzeitpunkt 1 = 1. Sprint im Labor
MZP 2	Messzeitpunkt 2 = 2. Sprint im Labor
P	Power (Leistung)
p	Signifikanzwert
Peak	Spitze
$P_{ETCO_2}$	End-Atemzug-Kohlendioxidverbrauch
$P_{ETO_2}$	End-Atemzug-Sauerstoffdruck
PFK	Phosphofruktokinase
PMR	protonenmagnetische Resonanz
r	Radius
R (statistisch)	Korrelationskoeffizient
$R^2$ (statistisch)	Bestimmtheitsmaß
RER	Respiratory Exchange Ratio (=Respiratorisches Austauschverhältnis)
$R_{La}$	siehe $La_{Ruhe}$
RQ	Respiratorischer Quotient
$RQ_{max}$	maximaler Respiratorischer Quotient
SD	Standardabweichung
$SpO_2$	arterielle Sauerstoffsättigung
v	Velocity (Geschwindigkeit)
$VCO_2$	Kohlendioxidabgabe
$V_E$	Atemminutenvolumen (AMV)
$V_{ECO_2}$	ventilatorisches Äquivalent für Kohlendioxid
$V_{EO_2}$	Atemäquivalent
$VLa_{max}$	maximale Laktatbildungsrate
$VO_2$	Sauerstoffaufnahme
$VO_{2max}$	maximale Sauerstoffaufnahme
$VO_{2peak}$	$VO_2$ bei maximal erreichter Belastung
VT	ventilatorische Schwelle
t	Zeit
$t_{alac}$	alactacid time (= $t_{alak}$ )

$t_{\text{alak}}$	alaktazide Zeit
$t_{\text{Bel}}$	Belastungszeit
$t_e$	time of exercise (= $t_{\text{Bel}}$ )
W	Watt

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Doktorarbeit die gewohnte männliche Sprachform bei personenbezogenen Substantiven und Pronomen verwendet. Dies impliziert jedoch keine Benachteiligung des weiblichen Geschlechts, sondern soll im Sinne der sprachlichen Vereinfachung als geschlechtsneutral zu verstehen sein.

## 1 Einleitung

Die Erfassung des aktuellen Leistungsstands spielt insbesondere im Hochleistungssport eine zentrale Rolle und wird daher zu definierten Zeitpunkten regelmäßig durchgeführt. Neben medizinischen Untersuchungen zählt dazu unter anderem eine physiologische Leistungsdiagnostik. Dabei kann die aerobe Leistungsfähigkeit eines Athleten durch Laktatleistungs- und Herzfrequenzkurven determiniert werden. Der Stufentest ist hierbei ein etabliertes Untersuchungsverfahren, der diese Parameter zur Leistungsfeststellung nutzt (Coen et al., 1998; Franke, 2011; Hauser, 2012; Heck et al., 2003; Hermsdorf et al., 2011; Hofmann, 2009; Lang & Lang, 2007; Meckel et al. 2009; Stangier et al., 2016; Stapelfeldt, 2001). Die maximale Sauerstoffaufnahme ist ein weiterer Parameter, der die aerobe Leistungsfähigkeit determiniert. Diese wird mittels Spiroergometrie per Rampen- oder Stufenprotokoll ermittelt (Gibson et al., 1999; Mayhew & Gross, 1975; Meyer et al., 2013; Pokan et al., 1995; Taylor et al., 1955).

Bislang gibt es allerdings noch kein etabliertes Verfahren, um verlässlich und vergleichbar die anaerobe Leistungsfähigkeit abzubilden (Hauser, 2012; Weber, 2003). Eine Darstellung des aktuellen Forschungsstandes diesbezüglich wird an anderer Stelle in dieser Arbeit ausführlich folgen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher die Entwicklung und Durchführung von sportartspezifischen Testverfahren im Feld und Labor. Diese sollen zur Erfassung der anaeroben Leistungsfähigkeit bei Feld- und Labormessungen eingesetzt werden. Hierbei wird der Fokus auf den Laufsport und ausgewählte Mannschaftssportarten gelegt. Auf Basis dessen soll es möglich sein, die anaerobe Leistungsfähigkeit eines Athleten zu beurteilen und darauf aufbauend eine Leistungsoptimierung zu unterstützen.

Konkret werden folgende Fragestellungen bezüglich eines anaeroben Leistungstests bearbeitet:

- i. Überprüfung der Reliabilität (innerhalb eines Tages, Tag-zu-Tag) ausgewählter Testverfahren zur Determination der maximalen Laktatbildungsrate.
- ii. Überprüfung der Validität der Testverfahren zur Bestimmung der maximalen Laktatbildungsrate.
- iii. Analyse des Einflusses verschiedener Belastungszeiten auf die maximale Laktatbildungsrate.
- iv. Analyse des Einflusses der jeweiligen Sportart auf die maximale Laktatbildungsrate.
- v. Beurteilung der Relevanz der Bestimmung der maximalen Laktatbildungsrate in der Trainingskonzeption.

Zu diesem Zweck werden drei Teilstudien durchgeführt.

**Studie 1:** Vergleich verschiedener Belastungszeiten bei der Durchführung eines Sprinttests zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit

Die maximale Laktatbildungsrate ist ein Parameter, der auf grundlegende wissenschaftliche Arbeiten von Mader zurückgeht (1984). Die maximale Laktatbildungsrate setzt sich aus verschiedenen Parametern zusammen. Heck und Schulz (2002) können nachweisen, dass die Belastungszeit einen Einfluss auf diese hat. Hauser (2012) untersucht dies empirisch für den Radsport. Die vorliegende Studie soll zunächst den Einfluss verschiedener Belastungszeiten auf die maximale Laktatbildungsrate in einem supramaximalen Sprint im Feld analysieren. Insbesondere die Reliabilität innerhalb eines Tages und Tag-zu-Tag

wird hierbei überprüft. In einem weiteren Schritt wird untersucht, inwieweit die Bestimmung der maximalen Laktatbildungsrate bei einer supramaximalen Belastung unter Laborbedingungen reliabel durchführbar ist. Im letzten Teil dieser Studie soll die Vergleichbarkeit beider Untersuchungsdesigns, Feld vs. Labor, überprüft werden.

### **Studie 2:** Determination der anaeroben Leistungsfähigkeit – der Vergleich von Sprintern und Ausdauerathleten

Die maximale Laktatbildungsrate soll neben anderen Parametern eine Klassifizierung von Sportlertypen hinsichtlich ihrer metabolischen Reaktion auf Belastung bzw. Unterschiede differenter Athletengruppen ermöglichen. Der Vergleich identischer Parameter bei verschiedenen Athletengruppen kann Unterschiede und Gemeinsamkeiten bei gleichen Testdesigns übersichtlicher darstellen. Hieraus können Konsequenzen für die Trainingskonzeption gezogen werden, die auf Basis der Ergebnisse anschließend diskutiert werden.

### **Studie 3:** Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit bei Sportspielen am Beispiel Fußball

Das Anforderungsprofil von Sportspielarten ist komplex und unterscheidet sich deutlich von dem der Ausdauerathleten und Sprintern (Haas, 2016). Charakterisierend für ein Sportspiel wie Fußball sind wechselnde Phasen von kurzer, hoher und niedriger Aktivität. Neben den Geschwindigkeitswechseln stellt die Richtungsänderung in Laufwegen ein weiteres Merkmal dar. Die hohe muskuläre exzentrische Beanspruchung beim Richtungswechsel soll daher bei physiologischen Testverfahren bedacht werden. Die vorliegende Studie wird mit Fußballspielern durchgeführt. Dazu wird ein fußballspezifisches Testverfahren

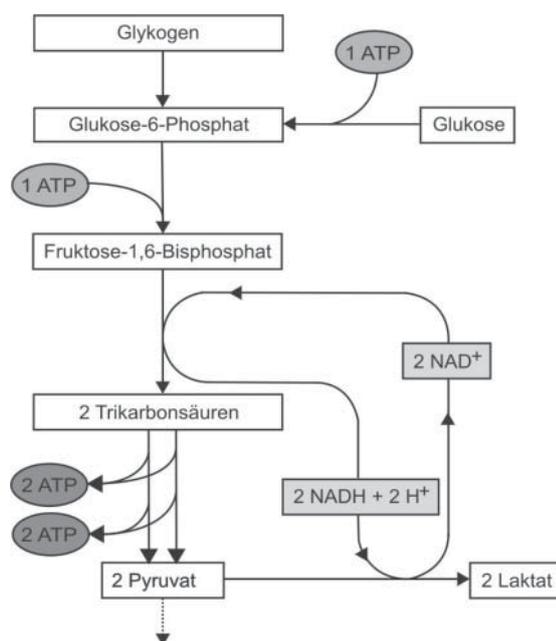
angewendet. Dieses Verfahren dient der Bestimmung der maximalen Laktatbildungsrate und wird auf seine Reliabilität und Validität überprüft.

## 2 Theoretische Grundlagen

Bei der Durchführung leistungsphysiologischer Diagnostik wird die Leistungsfähigkeit und Kapazität des Energiestoffwechsels betrachtet, um eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit bzw. Kapazität vornehmen zu können. Hierbei wird zwischen der aeroben und anaeroben Energiebereitstellung unterschieden.

### Energiegewinnung

Die für den Energiestoffwechselprozess benötigten Substrate halten die Adenosintriphosphat- (ATP) und Kreatinphosphatkonzentration (PCr) aufrecht. Bei der Muskelkontraktion zerfällt das ATP in ADP (Adenosindiphosphat) und einen Phosphatrest. Um die Energiebereitstellung aufrecht zu erhalten, wird Kreatinphosphat benötigt. Durch die Abspaltung des Phosphatrestes des Kreatinphosphats, welcher auf ADP übertragen wird, kann ATP resynthetisiert werden. Die ATP-Resynthese verhält sich proportional zur Flussrate der Atmung (Heck, 1991). Sie erfolgt während der Muskelkontraktion so effektiv, dass bei dynamischer Arbeit über einen längeren Zeitraum die ATP-Konzentration im Muskel annähernd konstant bleibt (Heck, 2006). Mit zunehmender Belastungsdauer fällt bei hohen körperlichen Belastungen die PCr-Konzentration stark ab. Das Kreatin wird mit ATP nach der Belastung in der Erholungsphase wieder zu Kreatinphosphat resynthetisiert. Der Weg der anaeroben-alkalotischen Energiegewinnung kann nur wenige Sekunden genutzt werden, sodass noch vor Verbrauch aller Phosphate Glukose bzw. Glykogen unter Bildung von Milchsäure abgebaut wird (Gastin, 2001; Heck, 1991; Mader, 2003). Diese Form der Energiegewinnung wird als anaerob-laktatid oder anaerobe Glykolyse bezeichnet. Die anaerobe Glykolyse beschreibt den Prozess, der in 10 Schritten die Glukose enzymatisch zu Pyruvat abbaut. **Abbildung 1** zeigt im letzten Schritt, dass Pyruvat entweder weiter zu Acetyl-CoA abgebaut wird oder durch die Anlagerung von zwei Wasserstoffatomen in Laktat (Milchsäure) transformiert wird (Heck, 2006).



**Abbildung 1:** Anaerobe Glykolyse (aus de Marées, 2003, © H. Heck)

Die Oxidation von Kohlenhydraten, Fetten und Eiweißen in Anwesenheit von Sauerstoff charakterisieren die aerobe Energiebereitstellung. Der Wasserstoff der Nährstoffe und seine Elektronen werden auf den Sauerstoff übertragen. Dabei entstehen die energiearmen Verbindungen H<sub>2</sub>O (Wasser) und CO<sub>2</sub> (Kohlenstoffdioxid) (Heck, 2006).

Bei der Betrachtung der Energiegewinnung muss daher in anaerob-alkalisch, anaerob-laktisch und aerob differenziert werden. Dabei wird zwischen der Kapazität und der Leistungsfähigkeit des jeweiligen Systems unterschieden (**Tabelle 1**).

**Tabelle 1:** ATP-Äquivalente der Leistungsfähigkeit und Kapazität der alaktaziden, laktaziden und aeroben Energiebereitstellung [in Anlehnung an Greenhaff et al., 1994].

<b>Energielieferndes System</b>	<b>Substrate</b>	<b>Leistungsfähigkeit</b> (mmol · kg <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup> Feuchtmuskel)	<b>Kapazität</b> (mmol · kg <sup>-1</sup> Feuchtmuskel)
alaktazid	ATP, PCr → ADP, CrR	3 - 6	20 - 25
laktazid	Glykogen → Laktat	1,5 - 3	50
aerob	Glykogen → CO <sub>2</sub> Fettsäuren → CO <sub>2</sub>	0,50 - 0,75 0,24 - 0,40	begrenzt durch Substrate

Die Angaben beziehen sich auf einen Muskel mit gemischtem Fasertyp.

### Kapazität

Nach Heck und Schulz (2002) wird die Summe aller Energie- bzw. Arbeitsbeiträge, die aus chemisch gespeicherter Energie gewonnen werden können, als Kapazität bezeichnet. Berücksichtigung finden hierbei die bereits genannten Energieträger wie Adenosintriphosphat, Kreatinphosphat, Glukose bzw. Glykogen, Fette und Eiweiß.

Heck (2006) definiert in Bezug auf Mader (2002) die alaktazide Kapazität über den ATP- und PCr-Gehalt in der Muskulatur: es sind von insgesamt 25 mmol Phosphagen pro kg Muskulatur (ATP und Kreatinphosphat) nur ca. 22 mmol/kg nutzbar, da ein Kontraktionsunvermögen der Muskulatur schon bei einem Abfall des ATP um ca. ein Drittel eintritt (Heck, 2006).

Die laktazide Kapazität wird durch die maximal tolerierbare Azidose limitiert. Wenn der pH-Wert auf unter 6,4 sinkt, führt dies zur Hemmung der Energiebildung, weil das Schlüsselenzym der Glykolyse, die Phosphofruktotkinase (PFK) gehemmt wird (Hottenrott & Neumann, 2013). Die Höhe der maximalen Muskellaktatwerte bzw. das entsprechende Phosphagen-Äquivalent lässt darauf schließen, dass die laktazide Kapazität um ein ca. 2-2,5-faches größer ist als die alaktazide Kapazität (Heck, 2006).

Die Substrate Glykogen und Fettsäuren sind limitierende Faktoren im Hinblick auf die Kapazität des aeroben Energiestoffwechsels (Heck & Schulz, 2002).

### **Leistungsfähigkeit**

Als Leistungsfähigkeit lässt sich die Summe der maximalen Umsatzraten (Arbeitsbeträge/Zeit) der einzelnen energieliefernden Systeme definieren (Heck & Schulz, 2002).

Bei maximaler Belastung von einer zeitlichen Dauer von etwa 0,5 s wird eine alaktazide Leistungsfähigkeit von  $6 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  gemessen (Heck & Schulz, 2002). Dies spiegelt den ungefähren Wert der Umsatzrate der Kreatinkinase wider (Heck, 2006).

Die laktazide Leistungsfähigkeit kann über die Glykolyserate definiert werden. Der Gehalt an Glykolyseenzymen, insbesondere an Phosphofruktokinase stellen wesentliche limitierende Faktoren dar.

Die Bestimmung der aeroben Leistungsfähigkeit erfolgt über die Oxidationsrate von Wasserstoff in der Atmungskette. Die aerobe Leistungsfähigkeit ist folglich mit der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) gleichzusetzen.

### **Das hydrodynamische Regulationsmodell des Energiestoffwechsels**

Mader (1994) schlägt für ein Regulationsmodell des Energiestoffwechsels ein hydrodynamisches System mit den beiden Quellen Atmung und Glykolyse vor. Dieses Modell soll das Verhalten energiereicher Phosphate und die Regulation des Bestandes in Abhängigkeit vom Verbrauch in der Zelle darstellen. Atmung und Glykolyse sind bei verschiedenen Füllungsständen und einer somit freien ADP-Konzentration des Energiespeichers unterschiedlich aktiviert (Mader & Heck, 1986; Mader, 1994).

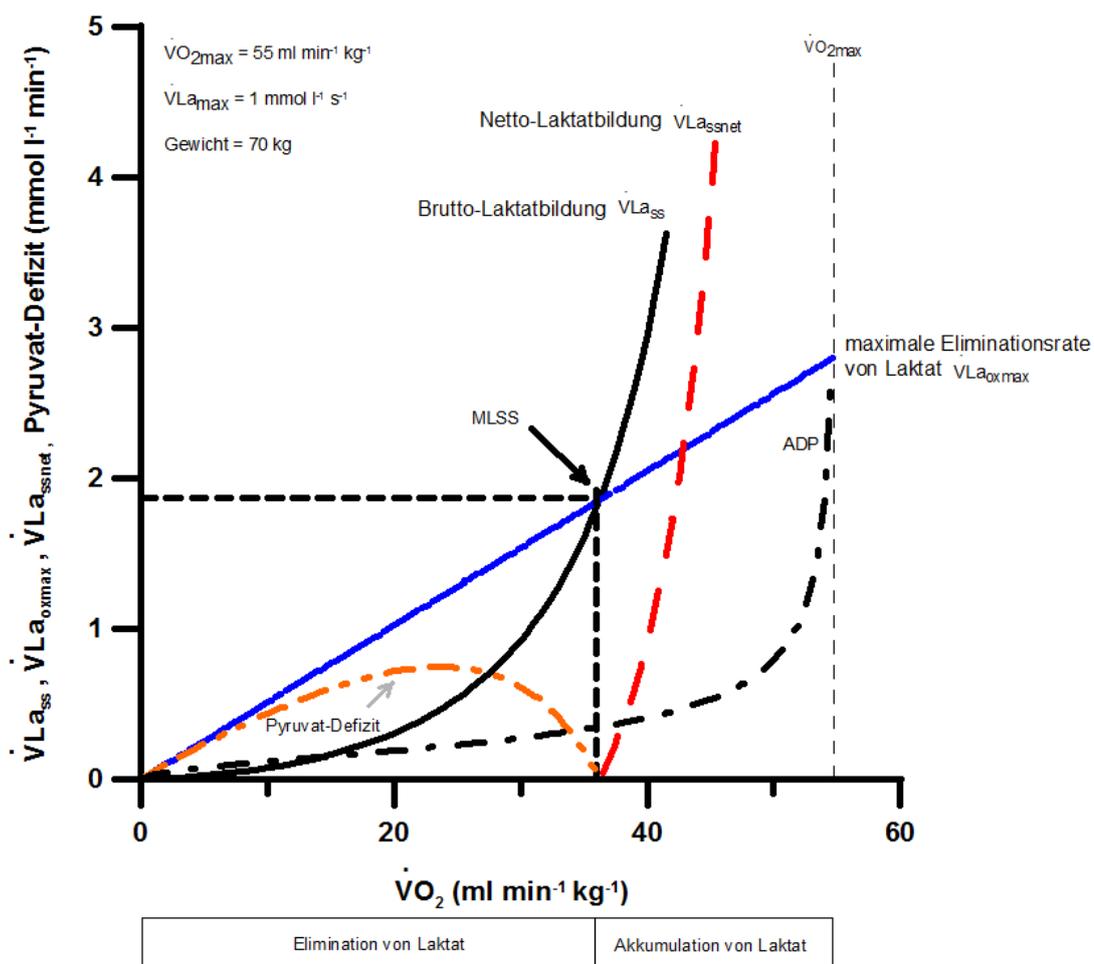
Das Enzym Phosphofruktokinase wird als das Schlüsselenzym der Glykolyse bezeichnet und reguliert deren Aktivität (Mader, 1984). Änderungen des Phosphorylierungszustandes haben einen geringeren Einfluss auf die Glykolyse als auf die Atmung, die bei hoher Phosphorylierung gehemmt wird. Die PFK wird durch die Orthophosphat-, Adenosinmonophosphat- (AMP) und die ADP-Konzentration aktiviert. Wird eine multiplizierte Wirkung verschiedener aktivierender Effekte auf die PFK-Aktivität und andere Enzyme der Glykolyse angenommen, sind die großen Änderungen der Glykolyse zwischen Ruhe und maximaler Aktivität nachvollziehbar. Neben der Erhöhung der Orthophosphat-,

---

AMP- sowie ADP-Konzentration ist auch der ATP-Abfall hier zu nennen. Die Glykolyse wird bei geringem Füllungsdefizit des ATP-Speichers und hohem Phosphorylierungszustand gehemmt. Nach Mader (1984) kann dieses Verhalten durch sigmoidale Kennlinien der PFK-Aktivität als Funktion mehrerer Aktivatoren begründet werden (Hauser, 2012). Wenn das Phosphorylierungspotential des Adenylsäure-Kreatinphosphat-Systems an einem kritischen Punkt angereicht ist und somit kurz vor dem Zusammenbruch steht und daher eine Kontraktionsunfähigkeit eintreten würde, wird die maximale ATP-Resynthese erreicht (Mader, 1984). Diese ATP-Resynthese resultiert dabei aus der Aktivität der Glykolyse, die eine hohe Belastung über eine kurze Zeit aufrechterhalten kann. Aus diesem Grund sind kurze Belastungszeiten in der Praxis nötig, um diese zu erfassen.

Beim Abbau von Pyruvat kann dieses durch die Anlagerung von zwei Wasserstoffatomen in Laktat transformiert werden (Heck, 2006). Laktat ist dementsprechend ein Stoffwechselzwischenprodukt. Primär wird Laktat in den Mitochondrien der aktiven Muskulatur verstoffwechselt (Brooks, 1985; 2000; Gladden, 2004; Mader & Heck, 1986). Pyruvat, das im Zellplasma durch die Glykolyse gebildet wurde, fungiert als Brennstoff, der sich in der oxidativen Phosphorylierung mit Sauerstoff verbindet (Mader & Heck, 1986). Dabei spielt folglich die Aktivität der Atmung eine Rolle. Die maximale Oxidationsrate ist somit von der Atmung, dem Laktatverteilungsraum und dem Laktat-Äquivalent abhängig (Mader & Heck, 1986). Es wird kein Laktat angehäuft, wenn die Laktatproduktion geringer als die maximale Aufnahmekapazität von Pyruvat in der oxidativen Phosphorylierung ist. Es wird jedoch Laktat in der Zelle angehäuft, sobald eine erhöhte Laktatbildung im Vergleich zur maximal oxidierenden Kapazität vorliegt. Den zeitlichen Schnittpunkt, an dem die Laktatbildungsrate der maximalen Eliminierungsrate entspricht, bezeichnen Mader und Heck (1986) als „crossing point“. Dieser Zeitpunkt entspricht zudem dem maximalen Laktat-steady-state. Wie **Abbildung 2** zeigt, sind Laktatbildung und -verbrennung im Gleichgewicht, wenn Pyruvat der alleinige Brennstoff in der oxidativen Phosphorylierung im  $VO_2$ -steady-state bei konstanter Leistung ist. Unterhalb dieses „crossing points“ werden aufgrund des Pyruvat-Defizits Fettsäuren verbrannt

oder Laktat durch Verstoffwechslung eliminiert. Das Pyruvat-Defizit bezeichnet die Differenz zwischen Laktatproduktion und der maximalen Pyruvat-Aufnahmekapazität (Mader und Heck, 1986).



**Abbildung 2:** Aktivität der Glykolyse ( $VLa_{ss}$ ), der maximalen Eliminationsrate von Laktat ( $VLa_{oxmax}$ ), der Netto-Laktatbildungsrate ( $VLa_{ssnet}$ ), Pyruvat-Defizit, das maximale Laktat-steady-state (MLSS) und die freie ADP-Konzentration (ADP) in Abhängigkeit der Atmung ( $VO_2$ ) unter steady-state Bedingungen (Hauser, 2012; modifiziert nach Mader & Heck, 1994).

Beim Pyruvat-Abbau kann dieses zu Laktat umgewandelt werden. Der Vorgang der Laktat-Resynthese zu Glykogen kann über den Stoffwechselweg der Glukoneogenese geschehen.

## **2.1 Aktueller Forschungsstand zur Erfassung der Leistungsfähigkeit**

Die Betrachtung des aktuellen Forschungsstands zeigt, dass in der Leistungsdiagnostik unterschiedliche Untersuchungsverfahren zur Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit genutzt werden. Der Stufentest wird beispielsweise sowohl auf dem Ergometer (Rad, Rudern, Armkurbel) als auch auf dem Laufband oder als Feldstufentest, meist auf einer 400m-Rundbahn, angewandt (Coen et al., 1998; Franke, 2011; Hauser, 2012; Heck et al., 2003; Hermsdorf et al., 2011; Hofmann, 2009; Lang & Lang, 2007; Meckel et al. 2009; Stangier et al., 2016; Stapelfeldt, 2001). Während vor allem bei länger dauernden Belastungen überwiegend das aerobe Stoffwechselsystem von Bedeutung ist, spielt bei kürzeren Belastungsdauern das anaerobe Stoffwechselsystem eine übergeordnete Rolle. Das Ziel einer komplexen Leistungsdiagnostik sollte daher die Analyse aller Komponenten des Energiestoffwechsels sein. Bei Betrachtung der Literatur fällt auf, dass sich bisher kein Testverfahren etablieren konnte, das die anaerobe Leistungsfähigkeit bestimmt.

### *2.1.1 Diagnostik der alaktaziden Leistungsfähigkeit*

Ein Verfahren zur Erfassung der alaktaziden Leistungsfähigkeit ist der Wingate Anaerobic Test. Dieser umfasst eine Dauer von 30 Sekunden, wobei die Peak Power als Zeitpunkt für das Ende der alaktaziden Zeit herangezogen wird (de Mareés, 2003).

Für Sportarten mit läuferischen Anteilen und Disziplinen kann der Treppentest von Margaria et al. (1966) zur Diagnostik der alaktaziden Leistungsfähigkeit angewandt werden. Hierbei wird nach einem kurzen Antrittsweg eine Treppe mit maximaler Geschwindigkeit hochgelaufen. Mithilfe von Lichtschranken soll die Geschwindigkeit erfasst werden. Die Leistung kann letztendlich über die Vertikalgeschwindigkeit und die Gewichtskraft, die von der Körpermasse abhängt, in Watt berechnet werden (Heck et al., 2003).

### 2.1.2 Diagnostik der alaktaziden Kapazität

Ein weiterer Test ist der 3x60m Sprinttest nach Hellwig et al. (1988), der die alaktazide Kapazität bestimmen soll. Hierbei führen die Studienteilnehmer jeweils drei Sprints über 60m aus. Der erste Sprint soll bei maximaler Geschwindigkeit erfolgen, die zwei weiteren bei einer um 0,5 Sekunden langsameren Geschwindigkeit. Nach den Sprints werden kapillare Blutabnahmen vorgenommen, die zur Analyse der maximalen Nachbelastungslaktatkonzentration dienen. Durch den Übertrag in ein Geschwindigkeitsdiagramm wird die Geschwindigkeit bei einem Laktatwert von 6 mmol/l als anaerobe Kapazität angenommen. Hellwig et al. (1988) begründen dies mit dem Vorliegen der maximalen Laktatbildungsrate. Der Laktatwert von 6 mmol/l wurde in einer empirischen Arbeit von di Prampero (1981) als Durchschnittswert ermittelt.

### 2.1.3 Diagnostik der laktaziden Leistungsfähigkeit

Für die Bestimmung der laktaziden Leistungsfähigkeit wird die maximale Laktatbildungsrate vorgeschlagen (Hauser, 2012; Heck & Schulz, 2002). Da diese jedoch nicht mit einfachen Verfahren ermittelt werden kann, findet hier eine Formel nach Mader (1994) zur Schätzung der laktaziden Leistungsfähigkeit ihre Anwendung.

$$VLa_{max} = \frac{Max_{NBLK} - R_{La}}{t_{Bel} - t_{alak}} \quad (\text{Mader, 1994})$$

Gleichung 1

$VLa_{max}$  = maximale Laktatbildungsrate

$Max_{NBLK}$  = maximales Nachbelastungslaktat

$R_{La}$  = Ruhelaktatwert

$t_{Bel}$  = Belastungszeit

$t_{alak}$  = alaktazide Zeit

### 2.1.4 Diagnostik der laktaziden Kapazität

Zur Bestimmung der laktaziden Kapazität werden unter anderem ein Verfahren zur Messung der O<sub>2</sub>-Schuld oder ein Ausbelastungstest auf dem Laufband

in der Literatur vorgeschlagen (Heck & Schulz, 2002). Bei dem Test zur Messung der O<sub>2</sub>-Schuld wird angenommen, dass nach supramaximalen Belastungen eine schnelle und eine langsame Komponente der O<sub>2</sub>-Schuld vorliegen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die laktazide Kapazität mit der langsamen Komponente der O<sub>2</sub>-Schuld übereinstimmt. Da die Betrachtung der Komponenten aber praktisch unmöglich ist und verschiedene Messungen gezeigt haben, dass die O<sub>2</sub>-Schuld häufig höher als die Summe aus theoretisch möglicher laktazider und alaktazider Kapazität liegt, erscheint ein solcher Test keine zuverlässigen Daten zu liefern (Heck & Schulz, 2002). Ebenso wird der Ausbelastungstest nach Schnabel und Kindermann (1983), der ebenfalls zur Bestimmung der laktaziden Kapazität eingesetzt werden kann, kritisch hinterfragt und abgelehnt, weil die hier erwartete Ausbelastungsdauer bei supramaximaler Belastung auch von der aeroben Leistungsfähigkeit beeinflusst wird (Heck & Schulz, 2002).

#### *2.1.5 Diagnostik der gesamt anaeroben Kapazität*

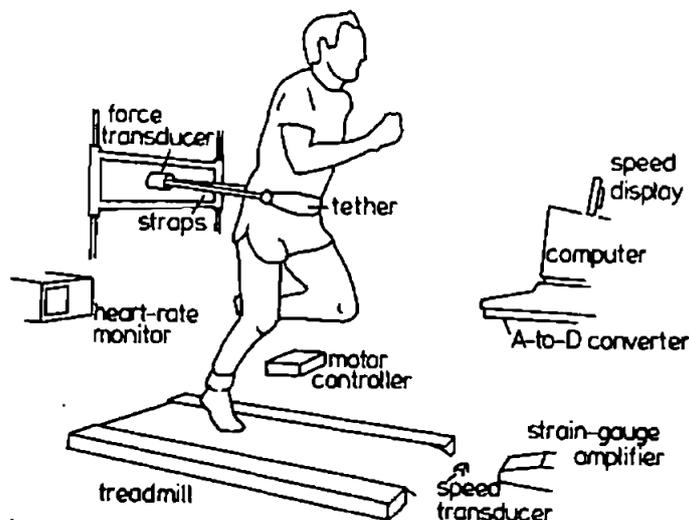
Zur Bestimmung der gesamten anaeroben Kapazität werden verschiedene Methoden vorgeschlagen. Monod und Scherrer (1965) zeigen, dass eine hyperbole Beziehung zwischen der Leistung und der Belastungszeit besteht. Die sogenannte Critical Power Methode analysiert die maximale Leistung über verschiedene Zeiträume. „Critical Power“ bezeichnet hierbei die höchste Leistung, die über einen langen Zeitraum aufrechterhalten wird. Dahinter steckt die Annahme, dass eine hohe Leistung nur über eine kurze Zeitdauer erbracht werden kann und über lange Belastungszeit niedrige Belastungsintensitäten nötig sind. Der Übertrag der erbrachten Leistung in ein Arbeit-Zeit-Diagramm und die folgende Regression ergeben eine Gerade, deren Schnittpunkt mit der Y-Achse der anaeroben Kapazität entspricht. Die Steigung der Geraden ist hierbei mit der aeroben Leistungsfähigkeit gleichzusetzen (Green, 1996; Jenkins, 1991; Heck & Schulz, 2002). Der Zeitaufwand dieser Methode ist durch die große Anzahl an Tests hoch. Dies und die Nichtberücksichtigung der Beschleunigungsarbeit, die bis zum Erreichen der Zielgeschwindigkeit verrichtet wird, beschränken den Einsatz dieser Testmethode.

Ein weiteres vorgeschlagenes Testverfahren stellt die Messung des maximal akkumulierten O<sub>2</sub>-Defizits (MAOD) dar. Krogh und Lindhard (1920) beschreiben das O<sub>2</sub>-Defizit als die Differenz zwischen dem Sauerstoff-Steady-State und der aktuellen Sauerstoffaufnahme zu Beginn einer muskulären Belastung. Medbø et al. (1988) entwickeln ein Verfahren, demnach das O<sub>2</sub>-Defizit als Maß für die gesamt anaerobe Kapazität gelten soll. Dabei wird angenommen, dass die anaerobe Energiefreisetzung die Differenz zwischen Gesamtenergiefreisetzung und anaeroben Anteil ist, bestimmt durch die akkumulierte O<sub>2</sub>-Aufnahme. Weiterhin wird vorausgesetzt, dass der O<sub>2</sub>-Bedarf linear zu der Belastung steigt und während der gesamten Belastungsdauer konstant ist.

Der verbrauchte Sauerstoff, der im Blut und Muskel gespeichert ist, der Verbrauch an Kreatinphosphat und ATP und der Energiebeitrag aus der Glykolyse, verantwortlich für die Laktatbildung, bestimmen das O<sub>2</sub>-Defizit. Bei der Bewertung dieses Verfahrens ist ein hoher Zeitaufwand nötig, da zehn Voruntersuchungen zur Bestimmung des O<sub>2</sub>-Bedarfs durchgeführt werden müssen. Diese Tests werden in unterschiedlichen Intensitäten mindestens zehn Minuten ausgeführt. Der mittlere O<sub>2</sub>-Bedarf, der in den letzten zwei Minuten der Belastung ermittelt wird, entspricht dem O<sub>2</sub>-Bedarf für die vorgegebene Belastung. Die Leistungs-O<sub>2</sub>-Aufnahme-Funktion wird mittels linearer Regression bestimmt. Die MAOD gilt trotz erfolgreich umsetzbarer Anwendbarkeit nicht als valides Messverfahren zur Ermittlung der anaeroben Kapazität (Heck & Schulz, 2002).

#### *2.1.6 Untersuchungsdesigns auf dem unmotorisierten Laufband*

Lakomy (1987) nutzt ein Verfahren für Läufe maximaler Intensität auf einem unmotorisierten Laufband. Dieses Testverfahren dient jedoch weniger der physiologischen Untersuchung, sondern hat das Ziel, die maximale Leistung auf dem Laufband zu erfassen. Er nutzt hierbei einen Kraftaufnehmer, der über ein Seil plus Gürtel mit dem Athleten verbunden ist (**Abbildung 3**).



**Abbildung 3:** Schematische Darstellung des Laufbands für den Sprint (Lakomy, 1987)

Lakomy kann zeigen, dass die Peak-Geschwindigkeit, die auf dem Laufband erreicht wird, circa 80% des Sprintgeschwindigkeits-Peaks auf der Laufbahn entspricht. Weiterhin zeigen seine Ergebnisse, dass der höchste Kraftwert vor der höchsten Leistung und diese wiederum vor der Peak-Geschwindigkeit erreicht wird. Zudem kann eine Korrelation zwischen dem Körpergewicht des Athleten und der Kraft sowie der Leistung, das Laufband bei einer konstanten Geschwindigkeit anzutreiben, dargestellt werden. Ebenso kann abgebildet werden, dass die Leistung, das Laufband anzutreiben, mit steigender Geschwindigkeit zunimmt (Lakomy, 1987).

Weitere Studien machen von vergleichbaren Verfahren mit unmotorisierten Laufbändern Gebrauch (Brooks et al., 1990; Brughelli et al., 2011; Cronin & Rumpf, 2014; De Witt et al., 2009; Goods et al., 2014; Greenhaff et al., 1994; Hamilton et al., 1991; Highton et al., 2012; Hoffman et al., 2009; Holmyard et al., 1988, 1994; Lim & Chia, 2007; Manganine et al., 2014; Manson et al., 2014; McLain et al., 2015; Nevill et al., 1989, 1993; Oliver et al., 2007; Ratel et al., 2006; ; Rumpf et al., 2011; Rumpf et al., 2015; Siegler et al., 2012; Sirotic et al., 2007, 2008; Tong et al., 2001).

Bei einer Gegenüberstellung von Ausdauerathleten und Spielsportlern, die eine Serie von zehn 6-Sekunden-Sprints mit einer 30-sekündigen Erholungsphase durchführen, kann gezeigt werden, dass Spielsportler dazu tendieren, höhere Leistungs- und Geschwindigkeitspeaks zu erreichen. Korrelationen zwischen Blutlaktatwerten und Geschwindigkeitspeaks sowie zwischen Blutlaktatwerten und Leistungsermüdungen können ebenfalls dargestellt werden. Hiermit lassen sich auch die höheren Laktatwerte sowie der größere Leistungsabfall der Sportspielathleten erklären (Hamilton et al., 1991).

Tong et al. (2001) untersuchen mit ihrer Studie ebenfalls die Erfassung der Sprintleistung auf dem unmotorisierten Laufband. Hierfür überprüfen sie eine Serie von drei 6-Sekunden-Sprints mit einer zweiminütigen Erholungspause auf ihre Reliabilität. 27 Rugbyspieler führen diese Sprintserie zweimal mit einem Abstand von einer Woche durch. Dieser Test wird abschließend als reliable Messmethode zur Erfassung der Sprintleistung bei Rugbyspielern vorgestellt.

Ebenso untersuchen auch Sirotic et al. (2008) auf dem unmotorisierten Laufband Tests hinsichtlich ihrer Reliabilität. Sie führen mit Athleten aus dem Sport neben Sprints eine 30-minütige Spielsimulation durch. Sie geben nach Abschluss ihrer Studie die Empfehlung, die Athleten mit dem unmotorisierten Laufband vertraut zu machen. Zwei Trainingseinheiten sollen vor dem eigentlichen Diagnostiktest durchgeführt werden, weil vermutet wird, dass dies die Reliabilität ebenfalls erhöht. Außerdem sind sie der Auffassung, dass ein 6-Sekunden-Sprint auf dem unmotorisierten Laufband am besten die Sprintperformance im Teamsport erfassen könne.

In weiteren Studien kann die Reliabilität für verschiedene Variablen des Sprints auf dem Laufband nachgewiesen werden (Highton et al., 2012). Die Athleten müssen dafür 10m, 20m und 30m auf dem Laufband sprinten. Neben Schrittlänge und -frequenz werden die Sprintzeiten und die durchschnittlichen sowie Peak-Geschwindigkeiten erfasst. Zusätzlich zur bewiesenen Reliabilität kann die schnellsten 30m-Sprinter auch via unmotorisierten Laufband identifiziert werden.

## 2.2 Komplexe Leistungsdiagnostik

### 2.2.1 Die Erfassung der anaeroben Kapazität und Leistungsfähigkeit

Die anaerobe Energiebereitstellung ist neben den Kreatinphosphat- und Glykogenspeicher und der anaeroben Enzymaktivität, von der Anzahl der Typ-II-Muskelfasern (fast-twitch-Fasern) abhängig (Schmidt & Lang, 2007).

Ausschließlich durch direkte, invasive Verfahren wie die Muskelbiopsie und der PMR (protonenmagnetische Resonanz) Spektroskopie lassen sich all diese Substrate, die in der Muskelzelle vorliegen, genau erfassen (Heck & Schulz, 2002).

In der Praxis der Leistungsdiagnostik werden invasive Verfahren aufgrund erschwerter Durchführbarkeit und Praktikabilität vermieden. Die Erfassung der anaeroben Leistungsfähigkeit erfolgt daher über indirekte Verfahren und deren Parameter.

Zur Beurteilung der anaeroben Leistungsfähigkeit wird die Blutlaktatkonzentration nach maximaler Belastung herangezogen. Dabei wird nach Belastungsende in der Erholungsphase kontinuierlich Blut zur Laktatbestimmung entnommen. Die ermittelten Werte werden zur Errechnung der maximalen Laktatbildungsrate ( $VLa_{max}$ ) benutzt (Hauser, 2012; Heck & Schulz, 2002).

Die  $VLa_{max}$  gilt als Indikator der anaerob-laktaziden Leistungsfähigkeit und ist von der Dauer der Glykolyse sowie der Glykogenolyse abhängig (de Marées, 2003; Heck & Schulz, 2002; Mader, 1994; Zeppenfeld, 2001).

In Anlehnung an das Kompartimentmodell von Mader et al. (1976) gibt es zur gleichen Zeit unterschiedliche Laktatkonzentrationen im Muskel und im Blut (Röcker & Dickhuth, 2001). Diese zeitliche Verschiebung erfordert mehrere kapillare Blutabnahmen nach Belastung, um das maximale Nachbelastungslaktat zu ermitteln. Neben der Laktatkonzentration des maximalen Nachbelastungslaktats ( $Max_{NBLK}$ ) und des Ruhelaktatwertes ( $R_{La}$ ) sind die Belastungszeit ( $t_{Bei}$ ) und die alaktazide Zeit ( $t_{alakt}$ ) für die Berechnung der  $VLa_{max}$  wichtig:

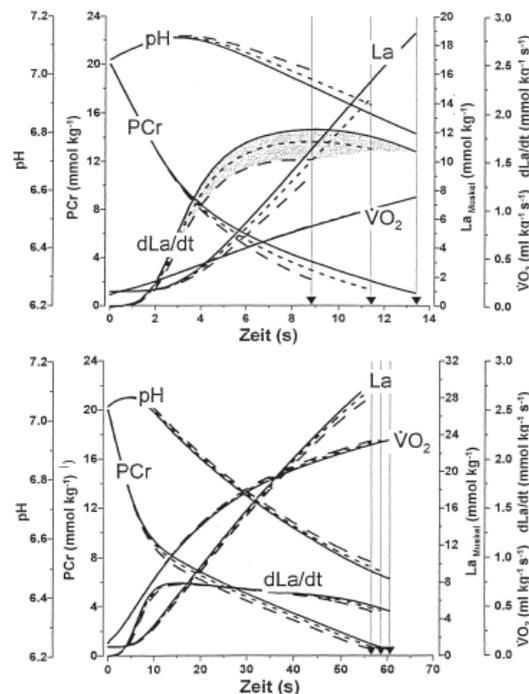
---

$$VLa_{max} = \frac{Max_{NBLK} - R_{La}}{t_{Bel} - t_{alak}} \quad (\text{Mader, 1994})$$

Gleichung 1

Diese Berechnung zeigt, dass neben  $Max_{NBLK}$  die alaktazide Zeit einen Einfluss auf die Laktatbildungsrate hat. Ausdauertrainierte Sportler haben im Vergleich zu Sprintern ein verlängertes Zeitintervall, in dem keine deutlichen Bildung von Laktat verzeichnet wird (Hauser, 2012).

In der Literatur finden sich verschiedene Möglichkeiten zur Bestimmung des alaktaziden Zeitintervalls. Zum einen wurde  $t_{alak}$  anhand von Computersimulationen für eine Belastungszeit von ca. zehn Sekunden auf drei Sekunden festgelegt (Heck & Schulz, 2002). Dabei weist Zeppenfeld (2001) darauf hin, dass  $t_{alak}$  von 2,5 Sekunden bei Sprintern bis zu 5,5 Sekunden bei Untrainierten variiert. Darüber hinaus empfiehlt Hauser (2012) bei Sprintern eine Belastungszeit von neun Sekunden und bei Ausdauerathleten eine von elf Sekunden. Weiterhin lässt sich der Zeitraum von Beginn der Belastung bis zu dem Zeitpunkt des Leistungs-Peaks als alaktazides Zeitintervall bezeichnen (Hauser, 2012). Aus physiologischer Sicht liegt die optimale Belastungszeit für einen Sprint im Zehn-Sekunden-Bereich, da bei längerer Belastungszeit die Laktatbildungsrate wieder abnimmt (Mader, 1984; Heck & Schulz, 2002; Hauser, 2012).



**Abbildung 4:** Simulation des Energiestoffwechsels während maximaler Belastung von ca. 10 s (oben) und 60 s (unten). Die schraffierte Fläche zeigt eine Veränderung der  $VLa_{\max}$  um  $\pm 15\%$ . Die Pfeile kennzeichnen das jeweilige Belastungsende (Heck & Schulz, 2002, S. 205).

**Abbildung 4** zeigt, dass eine Änderung der maximalen Glykolyserate die Belastungszeit beeinflusst. Nach wenigen Sekunden erfolgt bereits ein erheblicher Beitrag an der Gesamtleistung über die Glykolyse (Heck & Schulz, 2002). Bei einer längeren Belastungszeit von 60 Sekunden ist der Effekt unterschiedlicher maximaler Laktatbildungsraten nicht mehr so klar erkennbar. Ursächlich ist hierbei, dass sich mit ansteigender Wasserstoffionenkonzentration die Aktivität der Phosphofruktokinase reduziert, so dass bei starker Entleerung des Adenylsäuresystems keine hohen Laktatbildungsraten mehr möglich sind (Heck & Schulz, 2002; Mader, 1984).

Ein weiteres indirektes Verfahren zur Bestimmung der ATP- und Kreatinphosphatkonzentration bietet die Ermittlung eines Leistungs-Peaks (Margaria, 1982; Mader, 1984). Ein Leistungs-Peak soll zudem auf die maximale alaktazide Leistungsfähigkeit schließen lassen (Heck & Schulz, 2002). Aus

diesem Grund wird eine Leistungskurve des Sprints erstellt, um den Zeitpunkt des Peaks festzustellen. Die Leistung (P) setzt sich aus den Parametern Masse (m in Kilogramm kg), Weg (s in Meter m) und Zeit (t in Sekunden s) zusammen und ist wie folgt definiert:

$$P = \frac{m * s^2}{t^3}$$

Gleichung 2

Bei der Erstellung der Leistungskurve eines Athleten für das Laufband wird folgende Formel genutzt:

$$P = F * v$$

Gleichung 3

P = Power (Leistung)

F = Force (Kraft)

v = Velocity (Geschwindigkeit)

### 2.2.2 *Untersuchungsdesigns zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit*

In der Leistungsdiagnostik existieren sowohl für das Radergometer als auch für das Laufband Testprotokolle, die der Erfassung der aeroben Leistungsfähigkeit dienen. Verschiedene Stufentests finden hier ihre Anwendung (Franke, 2011; Hauser, 2012; Heck et al., 2003; Hermsdorf et al., 2011; Kindermann, 1985; Meckel et al., 2009; Schurr, 2003; Stangier et al., 2016; Weil, 2003; Wolfarth et al., 1987).

Bei Betrachtung der Möglichkeiten zur Erfassung der anaeroben Leistungsfähigkeit fällt auf, dass sich noch kein Testverfahren etabliert hat. Es existieren sportartspezifische Tests, wie ein radspezifischer Sprinttest auf dem Radergometer (Hauser, 2012) und ein Kicktest im Taekwondo, entwickelt von der Nordrhein-Westfälischen Taekwondo-Union und dem Olympiastützpunkt Rheinland (Yang, 2014).

Zudem gibt es ein praktikables Untersuchungsdesign zur Ermittlung der anaeroben Kapazität im Radsport, entwickelt von Weber (2003), auf Grundlage von Mader (1984). Dieses wird vereinzelt im Radsport angewandt. Hierbei führen die Athleten einen 15sekündigen Sprinttest auf dem Radergometer durch. Die alaktazide Zeit wird anhand des 3,5%igen Abfalls der Peak Power bestimmt (Hauser, 2012). Franke (2011) lässt im Rahmen ihrer Untersuchungen, Athleten aus verschiedenen Spielsportarten einen Maximalsprint über 15 Sekunden auf einer 400m-Rundbahn absolvieren. Die drei genannten Autoren (Franke, 2011; Hauser, 2012; Yang, 2014) nutzen ihre Testverfahren bzw. die Betrachtung der Laktatkinetik, um die anaerobe Leistungsfähigkeit mittels der maximalen Laktatbildungsrate zu erfassen. Dennoch hat sich noch kein Testverfahren durchsetzen können, das spezifisch für Sportarten mit läuferischen Anteilen die anaerobe Leistungsfähigkeit misst. Ein Sprinttest im Feld ist praktikabel, wird aber trotz seines breiten Anwendungsfelds selten mit dem Ziel der Erfassung der maximalen Laktatbildungsrate durchgeführt. Der Sprint wird nicht nur in den leichtathletischen Sprintdisziplinen angewandt, sondern erfährt auch in der Trainingskonzeption in vielen Spielsportarten und eingeschränkt in Ausdauerdisziplinen an besonderer Betrachtung (Kindermann, 2006; Weineck, 2004). Der maximale Sprint (bis zu  $> 12$  m/s) (Krzysztof & Mero, 2013) findet unter anaeroben Bedingungen statt und kann daher nur kurzzeitig ausgeführt werden (Frische & Maassen, 2004). Der Sprint lässt sich in folgende Phasen einteilen, denen jeweils bestimmte Schnelligkeitsfähigkeiten zugeordnet werden können: 1. Startphase (Reaktionsschnelligkeit), 2. Beschleunigungsphase (Beschleunigungsfähigkeit), 3. Phase der maximalen Geschwindigkeit (lokomotorische Schnelligkeit), 4. Phase des Geschwindigkeitsabfalls (Schnabel et al., 2011). Die unterschiedlichen möglichen Ausprägungen der jeweiligen Phase können die maximale Laktatbildungsrate beeinflussen. Je schneller die Beschleunigungsphase abgeschlossen ist, desto kürzer ist die alaktazide Zeit. Je kürzer die alaktazide Zeit, desto länger die laktazide Zeit und daraus folgt eine höhere Laktatkonzentration. Ist die Phase

des Geschwindigkeitsabfalls dabei nur kurz, bzw. die Fähigkeit, die Geschwindigkeit lange aufrecht zu halten, stark ausgeprägt, resultiert dies in einer ebenfalls höheren Laktatkonzentration.

Die Computersimulationen von Mader (1994) lassen eine Betrachtung von verschiedenen Laufdistanzen zu. **Tabelle 2** unterscheidet hierbei zwischen Kurz- und Langsprint. Mit ansteigender Laufstrecke bzw. Belastungszeit steigt zwar die alaktazide Zeit und das maximale Nachbelastungslaktat, jedoch sinkt die maximale Laktatbildungsrate. Bei einem 100m-Lauf (Kurzsprint) wird zu Beginn ein deutlicher Abfall des Kreatinphosphats beobachtet. Die nachfolgende Abflachung des Kreatinphosphatsabfalls wird durch die steil ansteigende Glykolyserate und die damit verbundene Laktatbildungsrate verursacht. Es wird davon ausgegangen, dass die Energie des 100m-Laufs zu ca. 50% anaerob laktazid abgedeckt wird (Heck, 2006). Mit zunehmender Laufstrecke und Belastungszeit nimmt infolge der aziodsebedingten Hemmung der PFK-Aktivität die Laktatbildungsrate ab (Langsprint). Heck (2006) weist darauf hin, dass im Vergleich zu kurzen Sprintstrecken bei einem 800m-Lauf der alaktazide Anteil zu Beginn der Leistung überwiegt, jedoch der laktazide Anteil nach wenigen Sekunden dominiert. Durch die Reduktion der PFK-Aktivität fällt der steile alaktazide Anstieg nach etwa 25 Sekunden wieder ab. Daraus lässt sich schließen, dass mit zunehmender Belastungszeit (Laufdistanz) der Anteil des aeroben Energiestoffwechsels zunimmt (Heck, 2006). Heck und Schulz (2002) empfehlen mit Verweis auf Maders Computersimulation des Energiestoffwechsels (1984) daher eine Belastungsdauer von circa zehn Sekunden. Sie geben aufgrund der genannten Gründe an, dass bei dieser Zeit die maximale Laktatbildungsrate erreicht ist.

**Tabelle 2:** Abhängigkeit der mittleren maximalen Laktatbildungsrate von der Laufstrecke und damit von der Belastungszeit (Heck und Schulz, 2002, S. 207).

<b>Laufstrecke (m)</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>400</b>
$t_{\text{Bel}}$ (s)	10,5	21,5	45,0
alaktazide Zeit (s)	3	4	8
$\text{Max}_{\text{NBLK}}$ (mmol · l <sup>-1</sup> )	13	18	22
$R_{\text{La}}$ (mmol · l <sup>-1</sup> )	1,9	1,9	1,9
$\text{VLa}_{\text{max}}$ (mmol · l <sup>-1</sup> · s <sup>-1</sup> )	1,48	0,92	0,54

$\text{VLa}_{\text{max}}$  = maximale Laktatbildungsrate

$\text{Max}_{\text{NBLK}}$  = maximales Nachbelastungslaktat

$R_{\text{La}}$  = Ruhelaktatwert

$t_{\text{Bel}}$  = Belastungszeit / Laufzeit

$t_{\text{alak}}$  = alaktazide Zeit

### 2.3 Ziel der Arbeit

Die aktuelle Studienlage zeigt, dass seit vielen Jahren Untersuchungsverfahren existieren, die maximale Belastungen zur Leistungsbeurteilung nutzen. Derzeit ist nach aktuellem Kenntnisstand noch keine Studie erschienen, die die Parameter Kraft, Geschwindigkeit, Leistung und Laktatbildungsrate im Sinne der anaeroben Leistungsdiagnostik bei Laufbelastungen vereint (Stand 03/2018). Ziel der vorliegenden Arbeit ist somit die Entwicklung eines Testverfahrens zur Erfassung der anaeroben Leistungsfähigkeit. Hierfür führen Athleten verschiedener Sportarten jeweils einen Sprinttest im Feld (auf der Leichtathletiklaufbahn oder einem Spielfeld) und im Labor (auf dem unmotorisierten Laufband) durch.

In dieser Studie werden Athleten aus verschiedenen Sportarten untersucht. Die Athleten aus Ausdauer, Sprint und Spilsport stellen unterschiedliche Belastungsprofile dar, so dass neben verschiedenen Belastungszeiten auch unterschiedliche Testdesigns angewendet werden.

Ziel dieser Untersuchungen ist es, neben der Dokumentation des Ist-Zustandes der Leistungsfähigkeit Konsequenzen für die Trainingspraxis abzuleiten.

Somit werden a) die Reliabilität und  
b) die Validität

der Testverfahren zur Determination der maximalen Laktatbildungsrate überprüft. Dies beinhaltet die Überprüfung des Einflusses

c) verschiedener Belastungszeiten und

d) der jeweiligen Sportart auf die maximale Laktatbildungsrate.

Abschließend soll e) die Relevanz der Bestimmung der maximalen Laktatbildungsrate für die Trainingskonzeption

beurteilt werden.

### **3 Allgemeine Methodik**

Alle Teilstudien wurden durch die Ethikkommission der Deutschen Sporthochschule Köln genehmigt und entsprechen somit der Deklaration von Helsinki. Die Studienteilnehmer wurden im Vorfeld der Untersuchungen über die konkreten Studienziele informiert und gaben jeweils ihr schriftliches Einverständnis, von dem sie jederzeit ohne Angaben von Gründen zurücktreten konnten.

#### **3.1 Untersuchungsgang**

##### *3.1.1 Feldstufentest*

Zu Erstellung eines individuell angepassten standardisierten Aufwärmprogramms und zur Bestimmung der Geschwindigkeiten für den Rampentest, der der Erfassung der maximalen Sauerstoffaufnahme dient, wurde zu Beginn ein Feldstufentest auf einer 400m-Leichtathletikrundbahn durchgeführt.

Der Test beginnt bei einer Laufgeschwindigkeit von 2,0 m/s und wird um 0,5 m/s nach jeweils 1200m erhöht bzw. ab dem Erreichen einer Geschwindigkeit von 4,5 m/s nach 1600m. Nach dem Test laufen die Athleten 800m zur aktiven Erholung bei einer Geschwindigkeit von 2,5 m/s. Kapillare Blutabnahmen zur Bestimmung der Laktatkonzentration wurden am Ohrläppchen unmittelbar vor dem Test sowie nach jeder absolvierten Stufe genommen. Die Herzfrequenz wurde via Sensor aufgezeichnet (Polar Electro GmbH, Büttelborn, Deutschland). Die Analyse der kapillaren Blutproben fand im Rahmen dieser Studienreihe stets mittels eines enzymatisch-amperometrischen Sensor Chip Systems (Biosen S-line, EKF-diagnostic GmbH, Barleben, Deutschland) statt.

##### *3.1.2 Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme*

Die Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme wurde durch einen Rampentest mittels Spiroergometrie durchgeführt. Bei diesem Testverfahren startet der Athlet bei einer Steigung von 2% und einer Laufgeschwindigkeit von 75-80% der Geschwindigkeit an der anaeroben Schwelle, die durch den Feld-

stufentest ermittelt wurde. Nach den ersten zwei Minuten, die in diesen Einstellungen absolviert werden, steigert sich die Laufbandsteigung auf 5% und wird anschließend alle 30 Sekunden um 1% erhöht. Die Laufgeschwindigkeit bleibt konstant. Die Belastungszeit variiert aufgrund der maximal erreichten Steigungshöhen interindividuell und dauert ca. sechs bis acht Minuten. Der Athlet erhält die Anweisung sich maximal auszulasten, wobei der Diagnostiker den Test vorzeitig nach Erreichen des „levelling-offs“ abbrechen kann.

### *3.1.3 Bestimmung der maximalen Laktatbildungsrate*

Um den Einfluss von Umgebungsfaktoren wie Wetter und Wind zu minimieren, wurde der Feldtest zur Bestimmung der maximalen Laktatbildungsrate in einer Leichtathletikhalle lokalisiert. Der Labortest fand auf einem unmotorisierten Laufband statt.

Zur Erwärmung absolvierten die Athleten zunächst ein standardisiertes Aufwärmprogramm: zehnmütiges moderates Laufen (70% der 4 mmol-Schwelle; die 4 mmol-Laktatschwelle wurde durch die Leistung im Feldstufentest ermittelt). Danach erfolgt ein individuelles Stretching-Programm sowie drei Steigerungsläufe, die bei einer Intensität von 80-90% der maximalen Sprintgeschwindigkeit durchgeführt werden sollten. Nach der Erwärmung wurde am Ohrläppchen kapillares Blut entnommen, um die Ruhelaktatkonzentration zu bestimmen. Um Effekte des Aufwärmprogramms auf das maximale Nachbelastungslaktat zu verhindern, sollte das Ruhelaktatlevel möglichst tief sein ( $\leq 2,0$  mmol). Es ist allgemein bekannt, dass sowohl eine negative Korrelation zwischen Laktatkonzentration und PCr-Konzentration als auch zur  $VO_{2max}$  am Ende einer physischen Aktivität besteht. Aus diesem Grund sollte ein möglichst leichtes Aufwärmprogramm absolviert werden. Nach der Analyse der ersten Blutprobe, wurde eine weitere unmittelbar vor dem Sprint entnommen; vorausgesetzt die Blutlaktatkonzentration entsprach den Vorgaben. Nach dem Sprint begaben sich die Athleten umgehend in eine sitzende Position, in der ihnen in einmütigen Intervallen für zehn bzw. zwölf Minuten erneut Blut entnommen wurde. Diese Sitzposition ist nötig, um den Umsatz der  $VO_2$  niedrig zu halten und so jeden möglichen Laktatabbau durch körperliche Bewegung

und deren Energiemetabolismus vorzubeugen. Da die Laktatkonzentration einer kapillaren Blutabnahme ungleich der Laktatkonzentration im Muskel ist, sind mehrere Blutabnahmen nötig, um das maximale Nachbelastungslaktat zu ermitteln. Dies rechtfertigt die zehn bzw. zwölf Blutabnahmen, die minütlich nach der Belastung zur Laktatanalyse entnommen werden.

Zur Ermittlung der alaktaziden Zeit wird die Zeit vom Start bis zum Erreichen des Power Peak in der Leistungskurve herangezogen. Bei der vorliegenden Studie wird folgende Formel für die Erstellung der Leistungskurve eines Athleten für die Laufbahn (Gleichung 2) und für das Laufband (Gleichung 3) genutzt:

$$P = \frac{m * s^2}{t^3}$$

Gleichung 2

P = Power (Leistung)

m = Masse

s = Strecke

t = time (Zeit)

$$P = F * v$$

Gleichung 3

P = Power (Leistung)

F = Force (Kraft)

v = Velocity (Geschwindigkeit)

Bei Anwendung dieser Leistungs-Formeln ist zu beachten, dass diese die horizontale Leistung berechnen. Die Leistung, die in vertikale Richtung aufgebracht wird, dient zur Überwindung der Gravitationskräfte. Die Erdanziehungskraft ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) wirkt zu jedem Zeitpunkt des Sprints gleichermaßen auf den Athleten und wird daher zur Bestimmung des Leistungs-Peaks nicht berücksichtigt.

## 3.2 Material

### 3.2.1 Anthropometrie

Das Körpergewicht wurde mittels einer elektronischen Waage der Firma seca (seca GmbH & Co KG, Hamburg, Deutschland) ermittelt. Die Auflösung betrug hierbei 0,1 kg. Die Körpergröße wurde per Längenmesssystem (seca GmbH & Co KG, Hamburg, Deutschland) gemessen. Da die Körpergröße keinen Einfluss auf das in der vorliegenden Studie genutzte Testverfahren hat, wurde sie als relevante Größe nicht berücksichtigt.

### 3.2.2 Spiroergometrie

Für die Studie sollen die Atemgase näher betrachtet werden, so dass eine Atemgasanalyse (=Spirometrie) benötigt wurde. Die Ergospirometrie gilt als sichere diagnostische Methode zur Bestimmung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit eines Sportlers unter Belastung (Barmeyer, 1998).

Für diese Analyse wurde das Oxycon Mobile (CareFusion Germany GmbH, Höchberg, Deutschland) genutzt. Dieses mobile System ist vielerorts einsetzbar. Es zeichnet verschiedene Parameter auf: Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_2$ ),  $\dot{V}CO_2$ , RER,  $\dot{V}_{EO_2}$ ,  $\dot{V}_{ECO_2}$ ,  $P_{ETO_2}$ ,  $P_{ETCO_2}$ ,  $V_E$ , VT, BF, BR,  $SpO_2$ , um nur einige zu nennen. Die Daten werden über die Breath-by-Breath Methode erfasst. Außerdem wird mithilfe eines Herzfrequenzgurtes zusätzlich die Herzfrequenz verzeichnet.

Das Oxycon Mobile System verfügt über ein Interpretationsprogramm nach dem Wassermann-Entscheidungsbaumverfahren sowie über Telemetrie, die eine Echtzeitübertragung erlaubt.

Die technische Spezifikation des Oxycon Mobile Systems soll in Tabellenform kurz erwähnt werden:

**Tabelle 3:** Technische Spezifikation des Oxycon Mobile Systems (CareFusion Germany GmbH, 2009)

<b>Volumen-/Gasmessung</b>		
	<b>Messbereich</b>	<b>Genauigkeit</b>
<b>Ventilation</b>	0 bis 300 L/min	2% oder 0.05 L/min
<b>O<sub>2</sub>-Aufnahme (VO<sub>2</sub>)</b>	0 bis 7 L/min	3% oder 0.05 L/min
<b>CO<sub>2</sub>-Abgabe (VCO<sub>2</sub>)</b>	0 bis 7 L/min	3% oder 0.05 L/min
<b>RER</b>	0.6 bis 2.0	4%
<b>Volumensensor (Typ: TripleV - Flachfahnsystem)</b>		
	<b>Messbereich</b>	<b>Genauigkeit</b>
<b>Volumen</b>	0 bis 10 L	50 ml oder 2%
<b>Auflösung</b>	3 ml	
<b>Fluss</b>	0 bis 15 L/s	70ml/s oder 3%
<b>Widerstand</b>	<0.1 kPa/L/s bei 15 L/s	
	<b>O<sub>2</sub>-Analyser</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Analyser</b>
<b>Prinzip</b>	elektrochemisch	Wärmeleitfähigkeit
<b>Bereich</b>	0-25% (0-100% optional)	0 bis 10%
<b>t<sub>90</sub></b>	80 ms (nach Filterung)	80 ms (nach Filterung)
<b>Genauigkeit</b>	0.05 vol%	0.05 vol%

### 3.2.3 Blutlaktatkonzentration

Zur Bestimmung der Blutlaktatkonzentration wurden 20 µl Blut in eine end-to-end Kapillare (EKF Diagnostic, Barleben, Deutschland) am Ohrläppchen entnommen. Nachdem die Kapillare mit einer Glukose/ Laktat-HämolyseLösung vermischt wurde, wird dieses Gemisch mittels eines enzymatisch-amperometrischen Sensor Chip Systems (Biosen S-line, EKF-diagnostic GmbH, Barleben, Deutschland) analysiert. Die automatische Gerätekalibration erfolgte stets nach 60 Minuten.

#### 3.2.4 Herzfrequenz

Die Herzfrequenz wurde mit einem Polar Sender mittels Sendergurt des Polar Team Systems (Polar Electro GmbH, Büttelborn, Deutschland) beat to beat aufgezeichnet.

#### 3.2.5 Laufband

Für die Tests im Labor wurde ein Laufband der Firma Woodway verwendet. Es handelte sich um ein Laufband der Pro Serie (WOODWAY Pro XL). Dieses verfügt über die Lamellentechnologie und lässt Geschwindigkeiten von bis zu 25 km/h zu. Sowohl am Laufband selbst als auch über die dazugehörige Software können die Geschwindigkeit und die Steigung (bis zu 25%) des Laufbandes gesteuert werden (WOODWAY GmbH, 2014). Dieses Laufband verfügt über einen *Dynamischen Modus*. Dies bedeutet, dass die Lauffläche nicht mehr vom Motor betrieben bzw. gebremst wird, sondern in beide Laufrichtungen freilaufend ist.

#### 3.2.6 Kraftaufnehmer

Für den Sprinttest auf dem Laufband, auf den zum späteren Zeitpunkt eingegangen wird, wurde zur Datenerhebung ein Kraftaufnehmer verwendet. Dieser war an einer Eisenstange befestigt, die sich zwischen Decke und Fußboden befand. Er kann Kräfte bis zu 1000 Newton erfassen. Die dazugehörige Software, die von der Firma Schlagmesser GmbH (Koblenz, Deutschland) speziell für dieses Testverfahren entwickelt wurde, erfasst die Zeit (Sekunden), die Kraft (Kilogramm) und die Geschwindigkeit (m/s).

#### 3.2.7 Laser-Distanzmessmodul / Lichtschranken

Die Zeit- bzw. Distanzerfassung erfolgte mittels Doppel-Lichtschranken System (Sportronic, Winnenden-Hertmannsweiler, Deutschland) und Laser-Distanzmessmodul (LMC-J-300-Sport, Kempf GmbH, Walldorf, Deutschland). Weiterhin wurde ein Signalgeber genutzt, um Start und Ende der vorgegebenen Sprintzeiten zu signalisieren.

### 3.3 Statistik

Die deskriptive Statistik wird über den arithmetischen Mittelwert (MW) und die Standardabweichung (SD) angegeben und wurde mit Microsoft Excel (Microsoft Excel 2011, Microsoft Corporation, Redmond, USA) ermittelt.

Zur Darlegung der Daten wurden Intra-Klassen-Korrelationen (ICC; two-way Modell, Konsistenz Modell, Single Score), Konfidenzintervalle (95 % CI) und Variationskoeffizienten (CV %) berechnet. Die statistische Analyse erfolgte durch Anwendung der IBM SPSS Statistik Software Version 20 (GmbH Software, Armonk, USA). Es wurden neben dem Korrelationskoeffizienten (R), der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) und der Cronbachs Alpha angegeben.

Die Normalverteilung der Daten wurde durch den Shapiro-Wilk Test überprüft. Weiterhin wurden der parametrische und nicht-parametrische Test (abhängiger t-Test und Wilcoxon) genutzt, um Vergleiche zwischen Feld- und Laborsprinttest und Studienteilnehmern zu ziehen. Es wurde festgelegt, dass statistische Differenzen von  $p < 0,05$  und  $p < 0,01$  als signifikant gelten.

## 4 Vorstellung der Studien

Im nachfolgenden Kapitel wird auf die drei durchgeführten Studien eingegangen. Dabei werden jeweils die Methodik sowie Ergebnisse dargestellt und diskutiert. Im Anschluss daran wird eine Gesamt-Diskussion aller Teilstudien dargestellt.

### 4.1 Studie 1: Vergleich verschiedener Belastungszeiten bei der Durchführung eines Sprinttests zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit

Für die Disziplin Lauf-Sprint existiert bis dato noch kein Goldstandard, um die anaerobe Leistungsfähigkeit zu bestimmen. Heck et al. (2003) empfehlen, auf Grundlage von Mader (1994), eine zehnssekündige, maximale Belastung zur Bestimmung der Laktatbildungsrate. Diese Studie soll daher zunächst die Reliabilität des Sprinttests im Feld (Part I) und im Labor (Part II) hinsichtlich der Laktatbildungsrate überprüfen. Des Weiteren sollen hierzu verschiedene Zeitintervalle eingesetzt werden. Zusätzlich sollen beide Untersuchungsdesigns, Feld vs. Labor, miteinander verglichen werden (Part III).

#### 4.1.1 Methodik

##### 4.1.1.1 Probanden

In Part I wurden die Daten von 25 weiblichen und männlichen Sportstudenten ( $25 \pm 5$  Jahre,  $175 \pm 0.1$  cm,  $69.8 \pm 10.9$  kg) erhoben. Die Studienteilnehmer absolvierten drei Sprints pro Tag an acht Tagen. Die Sprintdauer variierte zwischen acht, zehn, zwölf oder vierzehn Sekunden. Jede Zeitperiode wurde an zwei aufeinanderfolgenden Tagen gelaufen. Die Reihenfolge der Zeitintervalle wurde randomisiert durchgeführt.

An Part II der Studie nahmen 25 männliche Sportstudenten ( $24 \pm 3$  Jahre,  $180.7 \pm 6.7$  cm,  $84.6 \pm 8.8$  kg) teil. Jeder Teilnehmer absolvierte entweder einen zehn- oder zwölfsekündigen Sprint an zwei aufeinanderfolgenden Tagen auf einem unmotorisierten Laufband.

Bei Part III liefen 23 männliche Sportstudenten ( $24 \pm 2$  Jahre,  $181.4 \pm 5.8$  cm,  $74.5 \pm 7.4$  kg) einen Zehn-Sekunden Sprint auf der Laufbahn und auf dem unmotorisierten Laufband an aufeinanderfolgenden Tagen.

Alle Studienteilnehmer waren Bachelor-Studenten der Deutschen Sporthochschule Köln.

Zu Beginn der Studie stellten die Probanden über einen Anamnesebogen Informationen zu ihrer Person bereit. Dieser Bogen beinhaltete Informationen über ihre Namen, Geburtsdaten, Größe, Gewicht, Sportarten und Trainingspensum.

Die Versuchspersonen liefen die Leistungstests mit ihren eigenen Sportschuhen und wurden angehalten, diese an allen Testtagen zu tragen.

Der Zeitpunkt für die Testung wurde von den Probanden festgesetzt und konnte somit an jedem Tag, zu jeder Uhrzeit stattfinden. Es wurde dabei jedoch darauf geachtet, dass alle Tests innerhalb von zehn Tagen zu gleichen Zeiten erfolgten, um eine Vergleichbarkeit zu gewähren. Die Vorbelastung sollte ähnlich der des ersten Testes sein. Es wurde davon ausgegangen, dass die Probanden alle Diagnostiken mit der gleichen Motivation ausüben.

Die Studienteilnehmer wurden gebeten, am Tag vor der Diagnostik keine sportliche Ausbelastung vorzunehmen, wenn dennoch nötig, sollte diese möglichst reduziert vorgenommen werden. Außerdem erhielten alle Probanden einen Bogen zur Dokumentation der Ernährung und der Trainingseinheiten. Sie wurden dazu aufgefordert, diesen für den gesamten Verlauf der Studie auszufüllen. Zusätzlich wurden sie dazu angehalten, keine volle Mahlzeit unmittelbar vor den Tests einzunehmen.

Weiterhin wurden die Versuchspersonen vor Beginn der Studie über den Ablauf und das Ziel dieser Studie aufgeklärt. Hier wurden die möglichen Risiken beschrieben. Bei den Studienteilnehmern lagen weder akute noch chronische Krankheiten oder Verletzungen vor. Außerdem wurde bei keinem eine Einnahme von Medikamenten, Drogen oder Nahrungsergänzungsmitteln, die die körperliche Leistungsfähigkeit beeinflussen, festgestellt. Eine Einverständniserklärung lag von jedem einzelnen Probanden unterschrieben vor.

#### 4.1.1.2 Studiendurchführung

Zunächst liefen alle Studienteilnehmer einen Feldstufentest (3.1.1), dessen Ergebnisse zur Erstellung eines individuellen Aufwärmprogramms (3.1.3) genutzt wurden. Dieses wurde in Vorbereitung auf den Test zur Bestimmung der Laktatbildungsrate eingesetzt (3.1.3). Wie bereits unter 4.1.1.1 beschrieben, wurde die Studie in drei Teile (Part I-III) unterteilt, so dass die Studienteilnehmer, die an Part I teilnahmen, den Test zur Determination der  $VLa_{max}$  ausschließlich auf der Laufbahn durchführten. Jene, die an Part II teilnahmen, absolvierten diesen Test auf dem unmotorisierten Laufband und Teilnehmer von Part III sowohl auf der Laufbahn als auch auf dem unmotorisierten Laufband. Die Dauer des Sprinttests wurde über einen Signalgeber gesteuert. Dieser bestimmte über einen Signalton Start und Ende der Laufzeit. Sowohl vor dem Start als auch nach Beendigung des Sprints wurden Blutabnahmen am Ohrläppchen zur Bestimmung der Blutlaktatkonzentration entnommen (3.1.3).

In Part I der Studie liefen alle Sportstudenten jeweils an zwei aufeinanderfolgenden Tagen 8, 10, 12 oder 14 Sekunden. An jedem Tag wurde die vorgegebene Zeit dreimal gelaufen. Nach dem ersten und zweiten Sprint erfolgte nach der zehnmütigen passiven Pause, in der die kapillaren Blutabnahmen stattfanden, eine aktive Erholung beziehungsweise erneute Aufwärmung. Vor jedem Sprint musste die Ruhelaktatkonzentration im Blut, aus bereits genannten Gründen, erneut  $\leq 2,0$  mmol entsprechen (3.1.3) (**Abbildung 5**). Es wurde randomisiert festgelegt, in welcher Reihenfolge die Sprintzeiten absolviert wurden. Alle Sprinttage fanden innerhalb von 10 Tagen statt. Die Sprints wurden mittels Laser-Distanzmessmodul (LMC-J-300-Sport, Kempf GmbH, Walldorf, Deutschland) aufgezeichnet.

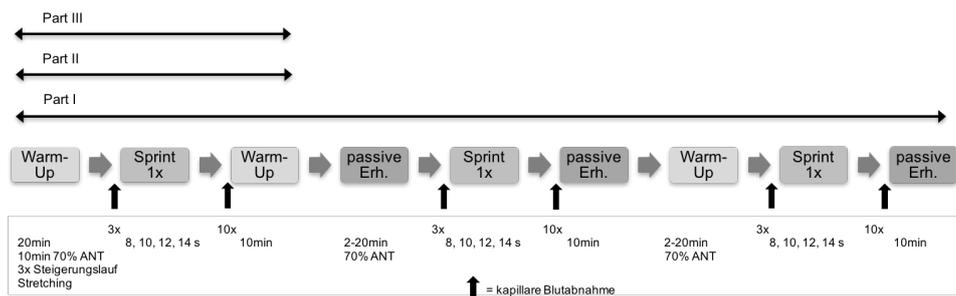


Abbildung 5: Zeitlicher Ablauf eines Sprinttages

Die Studienteilnehmer an Part II der Studie absolvierten an jeweils zwei aufeinanderfolgenden Tagen einen Zehn- oder Zwölf-Sekunden Sprint auf dem unmotorisierten Laufband. Das Laufband wurde hierbei von dem Athleten aus eigener Kraft angetrieben. Der Proband war durch einen Gurt und über ein Seil an einer festmontierten Halterung befestigt. Ein Kraftaufnehmer wurde zwischen Halterung und Seil positioniert, so dass die horizontale Kraft, die der Sportler verrichtete, aufgezeichnet wurde. Die Determination der Leistung erfolgte über die Ermittlung der Kraft und dem Geschwindigkeitsverlauf. Part III stellt eine partielle Kombination von Part I und II dar. Die Probanden liefen hierbei an zwei aufeinanderfolgenden Tagen einen Sprint über zehn Sekunden, sowohl auf der Laufbahn als auch auf dem unmotorisierten Laufband. Der Sprint auf der Laufbahn wurde wie in Part I ausgeführt, jener auf dem Laufband entsprach der Durchführung in Part II. (Abbildung 6)

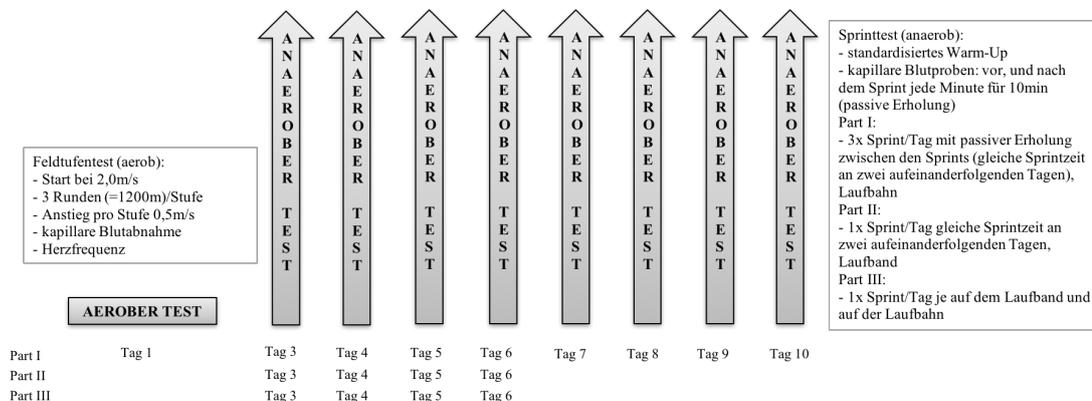


Abbildung 6: Studiendesign der 1. Teilstudie

Alle Probanden, die an Part II und/oder III teilnahmen, mussten an einem zusätzlichen Tag vor dem ersten Sprinttag im Labor an einer ausgiebigen Familiarisierung teilnehmen, um sich an das Laufen beziehungsweise Sprints auf dem unmotorisierten Laufband zu gewöhnen. Außerdem konnte so eine bessere Anpassung an das Laufband zwischen dem ersten und zweiten Sprint ausgeschlossen werden.

#### 4.1.1.3 Statistik

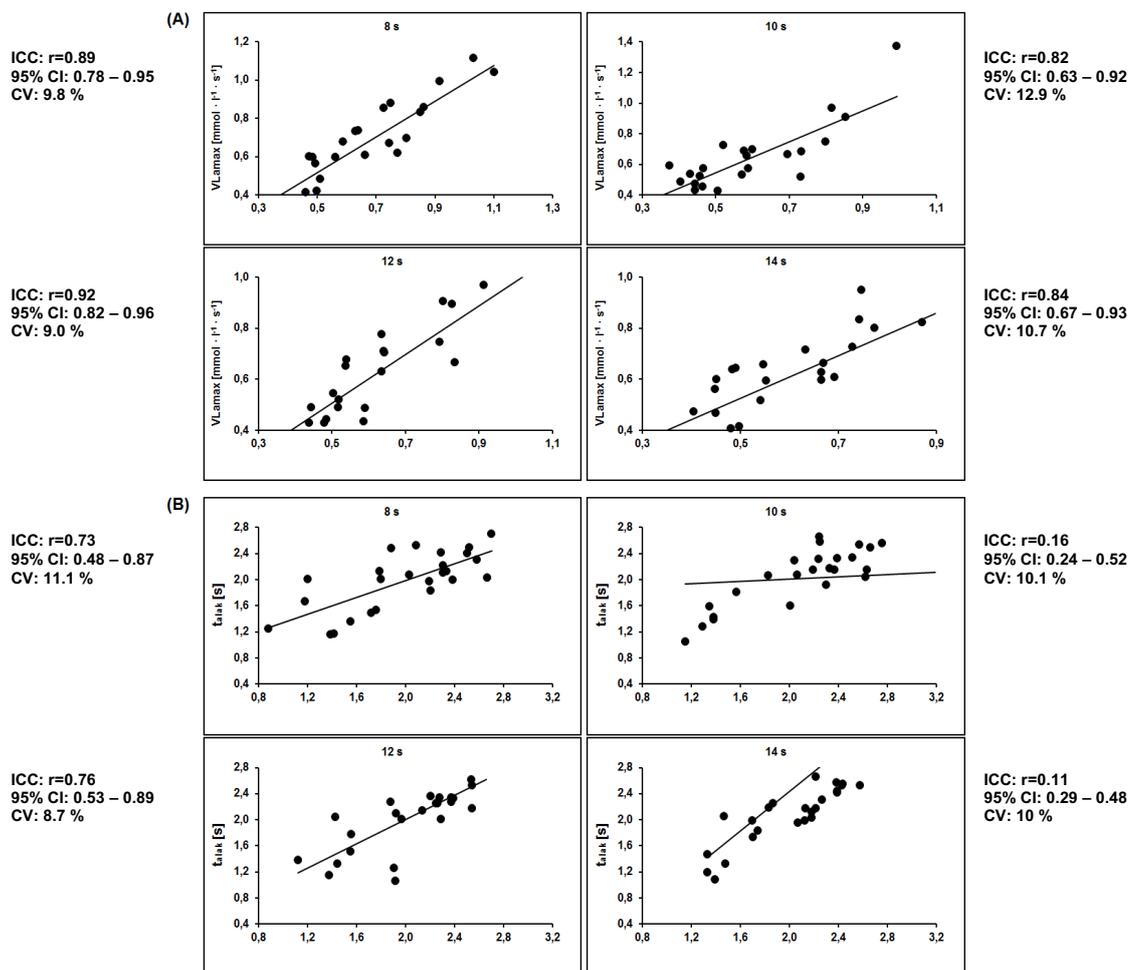
Beziehungen zwischen Variablen wurden mit Korrelationen berechnet und auch als solche dargestellt (Part I und II) (ICC, CI, CV).

Für den Vergleich beider Messmethoden (Part III) wurden Bland-Altman-Plots erstellt. In dieser Diagrammform werden die Differenzen zweier Messverfahren den Mittelwerten beider Messmethoden gegenübergestellt. Es können somit Aussagen über die mittlere Übereinstimmung der beiden Methoden getroffen werden. Zusätzlich lässt sich über die Limits of Agreements ( $\pm 1,96 * SD$  der Differenz) die Schwankungsbreite der Differenzen bestimmen.

### 4.1.2 Ergebnisse

#### 4.1.2.1 Part I

Die maximale Laktatbildungsrate der verschiedenen Sprintzeiten an je zwei aufeinanderfolgenden Tagen zeigt eine hohe Reliabilität ( $VLa_{max}$  8s: ICC:  $r=0.89$ ,  $CI=0.78-0.95$ ,  $CV=9.8\%$ ; 10s: ICC:  $r=0.82$ ,  $CI=0.63-0.92$ ,  $CV=12.9\%$ ; 12s: ICC:  $r=0.92$ ,  $CI=0.82-0.96$ ,  $CV=9.0\%$ ; 14s:  $r=0.84$ ,  $CI=0.67-0.93$ ,  $CV=10.7\%$ ) (**Abbildung 7A**). Eine hohe Reliabilität der alaktaziden Zeit bei unterschiedlichen Sprintzeiten kann nur für die Sprintdauer von 8 und 12 Sekunden nachgewiesen werden ( $t_{alakt}$  8s: ICC:  $r=0.73$ ,  $CI=0.48-0.87$ ,  $CV=11.1\%$ ; 10s: ICC:  $r=0.16$ ,  $CI=-0.24-0.52$ ,  $CV=10.1\%$ ; 12s: ICC:  $r=0.76$ ,  $CI=0.53-0.89$ ,  $CV=8.7\%$ ; 14s: ICC:  $r=0.11$ ,  $CI=-0.29-0.48$ ,  $CV=10\%$ ) (**Abbildung 7B**).

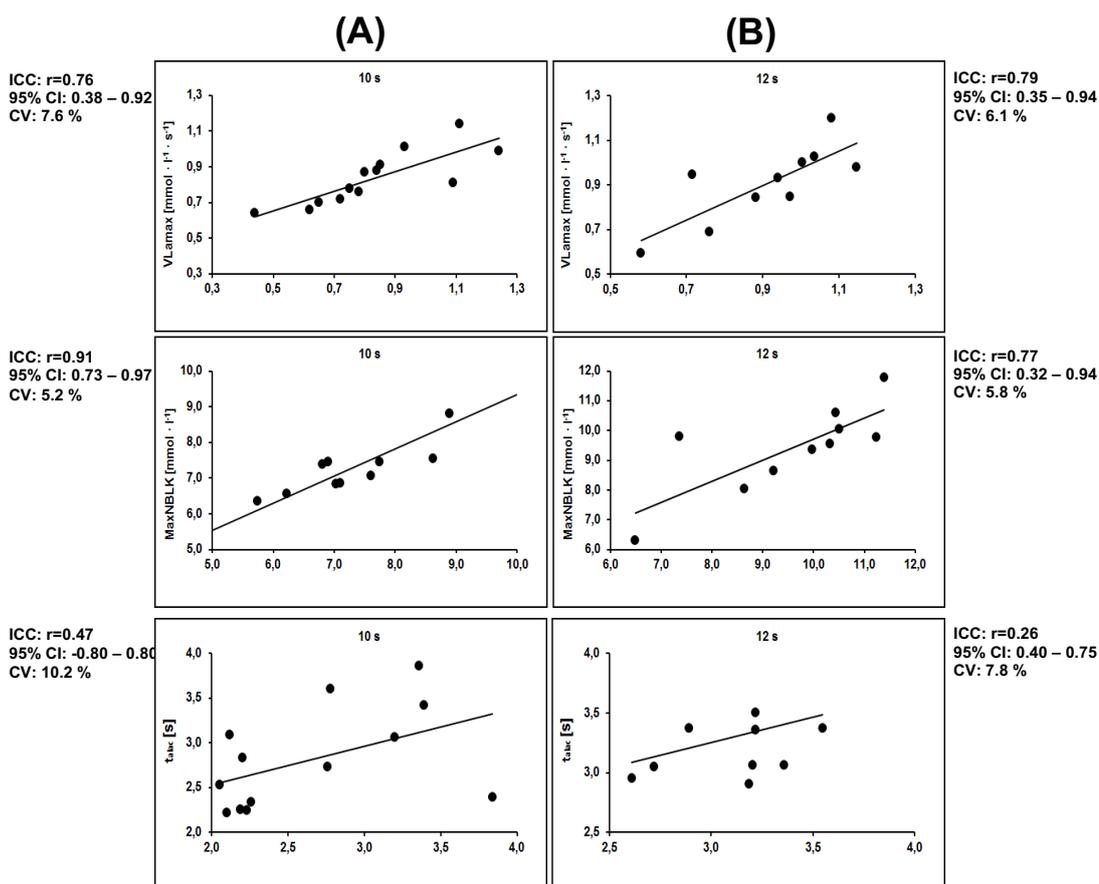


**Abbildung 7:** Korrelation der maximalen Laktatbildungsrate in Part I (A). Korrelation der alaktaziden Zeit in Part I (B).

Der Friedman U-Test mit Wilcoxon post-hoc Test zeigt einen signifikanten Unterschied nur für die maximale Laktatbildungsrate, die bei dem zehn Sekunden Sprint ermittelt wird ( $P=0.048$ ). Darüber hinaus kann keine signifikanten Differenzen für  $t_{\text{alakt}}$  zwischen den verschiedenen Sprintzeiten nachgewiesen werden (Tabelle 4).

## 4.1.2.2 Part II

Für den 10 Sekunden Sprint zwischen zwei Messungen kann mittelmäßige bis hohe Korrelationen für  $VLa_{max}$ ,  $Max_{NBLK}$  und  $t_{alاک}$  gezeigt werden ( $VLa_{max}$ : ICC:  $r=0.76$ ,  $CI=0.38-0.92$ ,  $CV=7.6\%$ ;  $Max_{NBLK}$ : ICC:  $r=0.91$ ,  $CI=0.73-0.97$ ,  $CV=5.2\%$ ;  $t_{alاک}$ : ICC:  $r=0.47$ ,  $CI=-0.80-0.80$ ,  $CV=10.2\%$ ) (**Abbildung 8A**). Die Überprüfung des 12 Sekunden Sprints zeigt ebenfalls eine hohe Reliabilität für die Parameter ( $VLa_{max}$ : ICC:  $r=0.79$ ,  $CI=0.35-0.94$ ,  $CV=6.1\%$ ;  $Max_{NBLK}$ : ICC:  $r=0.77$ ,  $CI=0.32-0.94$ ,  $CV=5.8\%$ ), ausgenommen ist hierbei die alaktaziden Zeit (ICC:  $r=0.26$ ,  $CI=-0.40-0.75$ ,  $CV=7.8\%$ ) (**Abbildung 8B**). Der Wilcoxon Test zeigt für alle Parameter beider Sprintdauern keine Signifikanzen (**Tabelle 4**).

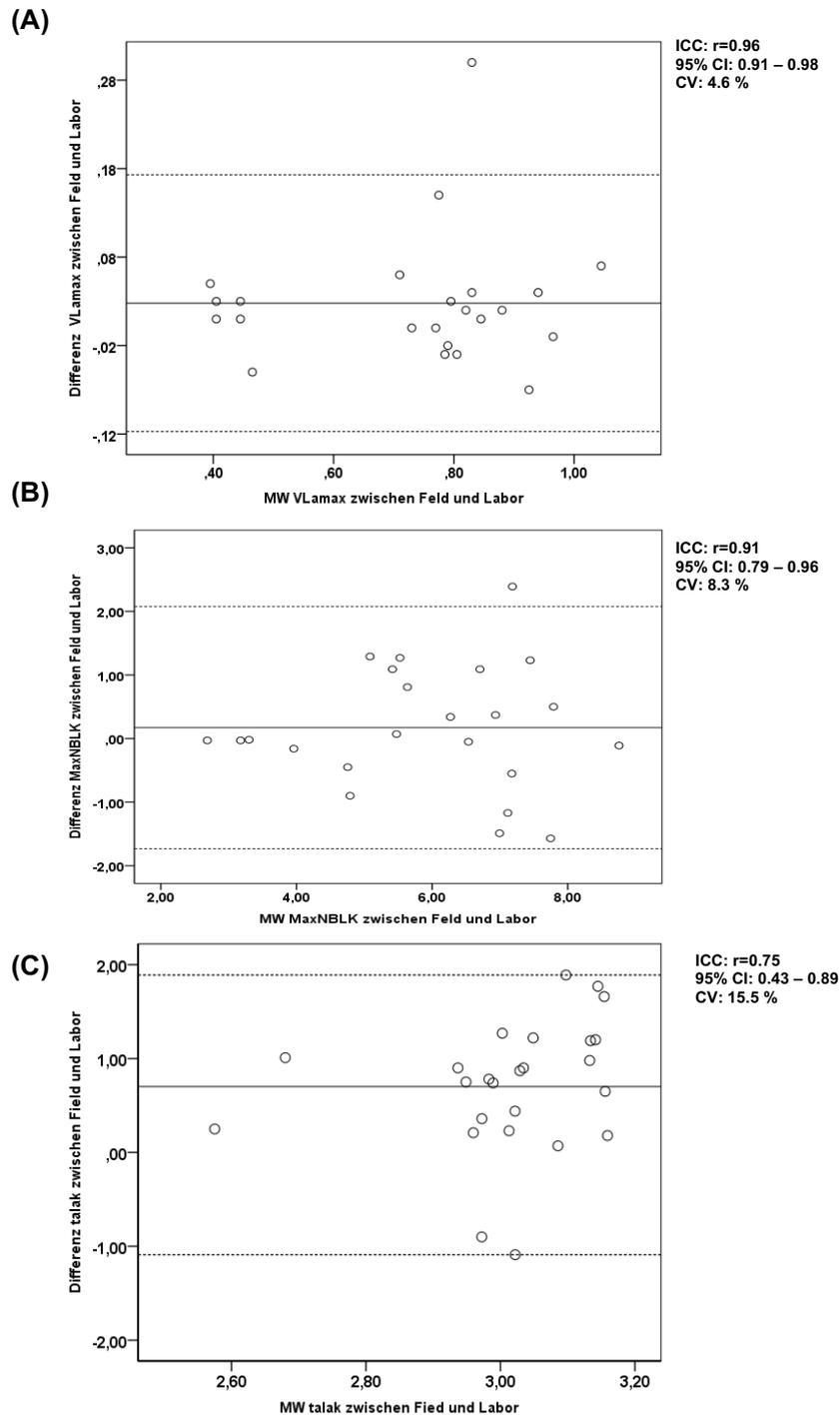


**Abbildung 8:** Korrelation der maximalen Laktatbildungsrate, des maximalen Nachbelastungslaktat und der alaktaziden Zeit zwischen zwei Messzeitpunkten in Part II für die Sprintzeit von 10 Sekunden (A) und 12 Sekunden (B).

#### 4.1.2.3 Part III

Das Bland-Altman Plot für die maximale Laktatbildungsrate zeigt eine hohe Korrelation zwischen dem Sprint auf der Laufbahn und dem auf dem Laufband (ICC:  $r=0.96$ ,  $CI=0.91-0.98$ ,  $CV=4.6\%$ ) (**Abbildung 9A**).

Für den Parameter  $Max_{NBLK}$  kann ebenfalls eine hohe Korrelation zwischen beiden Messverfahren gezeigt werden (ICC:  $r=0.91$ ,  $CI=0.79-0.96$ ,  $CV=8.3\%$ ) (**Abbildung 9B**). Im Gegensatz hierzu deutet **Abbildung 9C** darauf hin, dass für  $t_{alak}$  beide Messmethoden weniger stark ausgeprägt miteinander korrelieren (ICC:  $r=0.75$ ,  $CI=-0.43-0.89$ ,  $CV=15.5\%$ ). Der Wilcoxon Test zeigte keine signifikanten Unterschiede für  $VLa_{max}$  ( $P=0.074$ ) und  $t_{alak}$  ( $P=0.151$ ). Weiterhin weist der abhängige t-Test auf keine Signifikanzen für das maximale Nachbelastungslaktat hin ( $P=0.409$ ) (**Tabelle 4**).



**Abbildung 9:** Bland-Altman-Plots für die Differenz und Mittelwerte zwischen Feld- und Labormessung für die maximale Laktatbildungsrate (A), maximales Nachbelastungslaktat (B) und die alaktazide Zeit (C).

**Tabelle 4:** Vergleich der verschiedenen Messzeiten (8s, 10s, 12s und 14s) und Vergleich dieser unter unterschiedlichen Bedingungen (Laufbahn und Laufband) von Part I, II und III (1. Teilstudie)

Parameter	Part	8.1	8.2	10.1	10.2	12.1	12.2	14.1	14.2
<b>VLa<sub>max</sub></b> [mmol·L·s <sup>-1</sup> ]	I	0.65 ± 0.23	0.64 ± 0.22	0.61 ± 0.23	0.56 ± 0.19*	0.60 ± 0.22	0.60 ± 0.21	0.60 ± 0.19	0.59 ± 0.19
<b>t<sub>alak</sub></b> [s]		1.98 ± 0.44	1.99 ± 0.51	2.04 ± 0.44	2.36 ± 1.41	2.05 ± 0.52	2.05 ± 0.43	2.44 ± 1.96	2.00 ± 0.39
<b>VLa<sub>max</sub></b> [mmol·s <sup>-1</sup> ]	II			0.84 ± 0.15	0.83 ± 0.22	0.91 ± 0.17	0.91 ± 0.18		
<b>Max<sub>NBLK</sub></b> [mmol·L <sup>-1</sup> ]				7.45 ± 1.40	7.51 ± 1.71	9.31 ± 1.48	9.56 ± 1.63		
<b>t<sub>alak</sub></b> [s]				2.81 ± 0.55	2.65 ± 0.61	3.30 ± 0.44	3.12 ± 0.29		
				<b>Laufbahn Laufband</b>					
<b>VLa<sub>max</sub></b> [mmol·L·s <sup>-1</sup> ]				0.74 ± 0.21	0.71 ± 0.20				
<b>Max<sub>NBLK</sub></b> [mmol·L <sup>-1</sup> ]	III			6.02 ± 1.70	5.85 ± 1.70				
<b>t<sub>alak</sub></b> [s]				4.05 ± 0.85	3.75 ± 1.21				

\*Signifikante Differenz (\*P<0.05 und \*\*P<0.01), alle Werte sind Mittelwerte ± SD von allen Probanden.

### 4.1.3 Diskussion

Das Ziel der ersten Teilstudie war es, einen Sprinttest zu verwenden, um die maximale Laktatbildungsrate zu messen und somit die anaerobe Leistungsfähigkeit innerhalb einer physiologischen Leistungsdiagnostik zu determinieren. Bei der Überprüfung der Reliabilität und Validität wurde der Gebrauch der maximalen Laktatbildungsrate als Schlüsselkomponente fokussiert und beurteilt. Der lineare Sprinttest, der in dem ersten Part der Studie angewandt wurde, kann für alle analysierten Parameter als reliabel eingestuft werden. Ebenfalls kann in Part II nachgewiesen werden, dass eine Reliabilität für alle getesteten Zeiten auf dem unmotorisierten Laufband gegeben ist. Der dritte Teil der ersten Teilstudie soll die Validität für die Tests und genutzten Parameter aufdecken. Es kann eine hohe Korrelation zwischen dem Sprint auf der Laufbahn und dem Laufband nachgewiesen werden. Außerdem gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Messmethoden hinsichtlich aller Parameter.

Obwohl Studien existieren, die den Beitrag des Energiesystems während des Sprints auf dem Rad untersuchen, so ist die Dauer eines Sprintlaufs meist kürzer. Es ist nachgewiesen, dass die anaerobe ATP Produktion durch die Mitwirkung der anaeroben Glykolyse unterstützt wird. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass diese durch den PCr Abbau beeinflusst wird. Es konnte bewiesen werden, dass als ein Ergebnis der Aufrechterhaltung der ATP-Muskelkonzentration die PCr Vorräte abnehmen. Ein Anstieg der Laktatkonzentration führt zu dem Schluss, dass die anaerobe Glykolyse durch maximale Sprints aktiviert wird und die Glykolyse wichtig ist, da die PCr Vorräte nur teilweise während maximalen Sprints aufgebraucht werden (Spencer et al., 2005). Zudem ist bekannt, dass der anaerob-alaktazide Weg der Energiegenerierung nur einige Sekunden genutzt werden kann. Danach wird Glukose verbraucht. Dabei steigt die Laktatkonzentration infolge der Protonenakkumulation ( $H^+$ ) in der gestressten Muskulatur. Dies resultiert in eine metabolische Azidose, die die Muskelkontraktion aufgrund der enzymatischen Suspension im sauren Milieu hemmt (Moosburger, 2006). Die maximale Laktatbildungsrate

wird als der Indikator für die anaerob-laktazide Kapazität erachtet und ist von der Dauer der Glykolyse abhängig (Zeppenfeld, 2001). Dieser Parameter und seine Komponenten sind daher die wichtigsten in Bezug auf die Beurteilung der Reliabilität und Validität der Testprotokolle.

Die Ergebnisse des Sprints auf der Laufbahn zeigen eine hohe Korrelation für die  $VLa_{max}$  als Parameter zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit. Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Sprintzeiten für die alaktazide Zeit. Dieses Ergebnis deutet daraufhin, dass die alaktazide Zeit nicht von der Sprintzeit, sondern der Muskelfaserverteilung beeinflusst wird (Costill et al., 1976; Gollnick et al., 1972; Hauser, 2012). Weiterhin spielen möglicherweise Laktattransportmechanismen in der Laktatdistribution eine entscheidende Rolle. Hier sind die Monocarboxylat Transporter (MCT) zu nennen. MCT1 und MCT4 sind im Skelettmuskel vorhanden, und beide Isoformen haben eine faserspezifische Verteilung. MCT1 sind für die Laktataufnahme verantwortlich und kommen vorwiegend in den oxidativen Fasern vor, während MCT4 hauptsächlich in den glykolytischen Fasern zu finden sind und für den Laktatabbau relevant sind (Bonen, 2000).

Es kann eine starke Korrelation für das maximale Nachbelastungslaktat, das zur Berechnung der  $VLa_{max}$  für den 10-Sekunden Sprint im zweiten Part der Teilstudie ermittelt wurde, aufgezeigt werden. Die mittelmäßig starke Korrelation für die alaktazide Zeit kann vernachlässigt werden. Obwohl die alaktazide Zeit die  $VLa_{max}$  beeinflusst, scheint ihr Einfluss aufgrund der hohen Korrelation zwischen dieser und  $Max_{NBLK}$  und  $R_{La}$  weniger bedeutend zu sein. Für den 12-Sekunden Sprint sind die Ergebnisse ähnlich. Die fehlende Korrelation für die alaktazide Zeit deutet daraufhin, dass die Studienteilnehmer unterschiedliche Zeiten benötigen, um ihr Power-Maximum zu erreichen.

Bei Part III dieser Studie konnte für  $VLa_{max}$  sowohl ein hoher Korrelationsscore als auch ein niedriger Variationskoeffizient nachgewiesen werden. Da  $VLa_{max}$  als wichtigster Parameter bei der Beurteilung der anaeroben Leistungsfähigkeit beim Sprintlauf definiert ist, ist es gerechtfertigt, die Messmethoden valide zu nennen. Frühere Studien nutzen andere Testdesigns für den Sprintlauf oder

für die Bestimmung der  $VLa_{max}$ . Beliebt sind hierbei kürzere Sprints, die mehrfach wiederholt werden, wie zum Beispiel 6x30m oder 3x60m (Andrade et al., 2015; Heck & Bartmus, 2003; Keir et al., 2013; Morcillo et al., 2015; Spencer et al., 2005). Auch Tests mit einer Dauer von 15 Sekunden oder einer festgelegten Sprintdistanz werden angewandt, um die maximale Laktatbildungsrate zu bestimmen (Franke, 2011; Hauser, 2012; Hermsdorf et al., 2011). Allerdings wird in anderen vorliegenden Studien eine fixe alaktazide Zeit zur Berechnung der  $VLa_{max}$  angewendet (Franke, 2011; Yang et al., 2014). Weitere Studien berechnen die  $VLa_{max}$ , jedoch für den Radsport (Hauser, 2012; Weber, 2003).

## **4.2 Studie 2: Determination der anaeroben Leistungsfähigkeit – der Vergleich von Sprintern und Ausdauerathleten**

Nachdem in Studie I der Einsatz des linearen Sprinttests zur Ermittlung der maximalen Laktatbildungsrate überprüft wurde, soll in Studie II darauf aufbauend ein Vergleich zwischen den beiden unterschiedlichsten Laufgruppen durchgeführt werden: sprintaffinen Läufern und Ausdauerathleten. Hierbei soll neben dem Vergleich dieser Athleten die Reliabilität der Testverfahren erneut überprüft werden. Da in dieser Teilstudie die Vergleichbarkeit zwischen den beiden Gruppen ebenfalls eine Rolle spielt, wurde auf unterschiedliche Sprintzeiten, wie Hauser (2012) sie empfiehlt, verzichtet.

### *4.2.1 Methodik*

#### 4.2.1.1 Probanden

Am ersten Teil der Studie (Part I) nahmen insgesamt einundzwanzig männliche und weibliche Sprinter und Ausdauerathleten ( $23 \pm 4$  Jahre,  $179 \pm 9$  cm,  $69,9 \pm 11,1$  kg) teil. Sie absolvierten je einen zehnssekündigen Sprint an zwei aufeinanderfolgenden Tagen auf der Laufbahn. Das gleiche Vorgehen wurde bei einem zehnssekündigen Sprint auf dem unmotorisierten Laufband genutzt. Insgesamt sechzehn weibliche und männliche Sprinter (SR) ( $22 \pm 4$  Jahre,  $179,1 \pm 7,2$  cm,  $71,9 \pm 10,2$  kg) und vierzehn weibliche und männliche Ausdauerathleten (AA) ( $24 \pm 3$  Jahre,  $178,2 \pm 10,4$  cm,  $66,9 \pm 12,2$  kg) nahmen am zweiten Teil der Studie teil (Part II). Jeder Athlet lief einen Zehn-Sekunden Sprint sowohl auf der Laufbahn als auch auf dem Laufband.

Alle Studienteilnehmer absolvierten einen Test zur Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme sowie einen Feldstufentest. Sie wurden gebeten, zu jedem Zeitpunkt das gleiche Schuhwerk zu tragen. Weiterhin wurde darauf geachtet, dass die Sprinttests zu gleicher Uhrzeit und alle Tests innerhalb von acht (Part I) beziehungsweise fünf Tagen (Part II) stattfanden. Es wird angenommen, dass die Probanden zu jeder Zeit der Studie die Tests gleich hoch motiviert absolvierten.

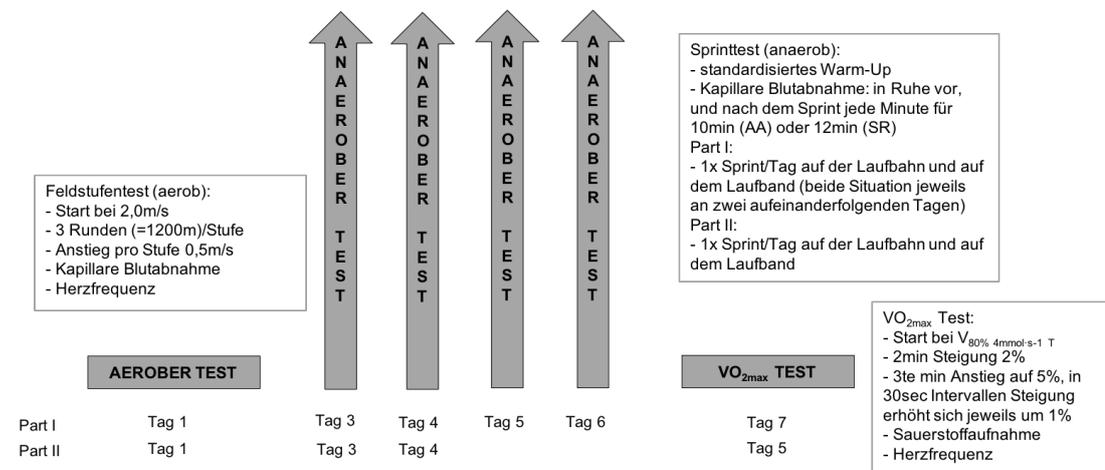
Die Auswahl der Athleten erfolgte über Leistungsmerkmale. Hierbei wurde für männliche Sprinter eine Sprintzeit von maximal 12 Sekunden und für weibliche Sprinter von maximal 13 Sekunden auf 100m vorgegeben. Für Ausdauerathleten beliefen sich die Zeitvorgaben für einen 10km-Lauf auf maximal 40 Minuten für männliche beziehungsweise 45 Minuten für weibliche Athleten. Alle Athleten wurden über Vorteile und mögliche Risiken der Tests aufgeklärt. Keiner der Teilnehmer vermeldete akute oder chronische Krankheiten oder Verletzungen. Außerdem wurde die Einnahme von Medikamenten, Drogen oder Nahrungsergänzungsmitteln, die die körperliche Leistungsfähigkeit beeinflussen, bei keinem Teilnehmer dokumentiert. Alle Probanden wurden gebeten, das Training während der Zeit der Studie schriftlich festzuhalten.

Alle Athleten gaben vor dem ersten Test ihr schriftliches Einverständnis zur Studienteilnahme.

(siehe 4.1.1.1)

#### 4.2.1.2 Studiendurchführung

Alle Athleten liefen zu Beginn der Studie einen Feldstufentest (3.1.1), dessen Ergebnisse zur Erstellung eines individuellen Aufwärmprogramms vor den Sprinttests (3.1.3) genutzt wurden. Außerdem mussten alle Probanden an einer ausgiebigen Familiarisierung teilnehmen. Diese beinhaltete das Laufen beziehungsweise Sprinten auf dem unmotorisierten Laufband (4.1.1.2). Weiterhin erfolgte für alle Athleten ein Test zur Erfassung der  $VO_{2max}$ . Dieser wurde über die stetige Neigung des Laufbands gesteigert. Die Laufgeschwindigkeit wurde individuell anhand der Ergebnisse des Feldstufentests festgelegt und blieb während des Tests zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme konstant (3.1.2). (**Abbildung 10**)



**Abbildung 10:** Studiendesign der 2. Teilstudie

Die Studienteilnehmer des ersten Studienteils führten jeweils einen Zehn-Sekunden Sprint auf der Laufbahn und auf dem unmotorisierten Laufband an jeweils zwei aufeinanderfolgenden Tagen durch. Der Feldstufentest, VO<sub>2max</sub>-Test und die vier Sprints wurden innerhalb von fünf-sieben Tagen (Part II bzw. Part I) durchgeführt.

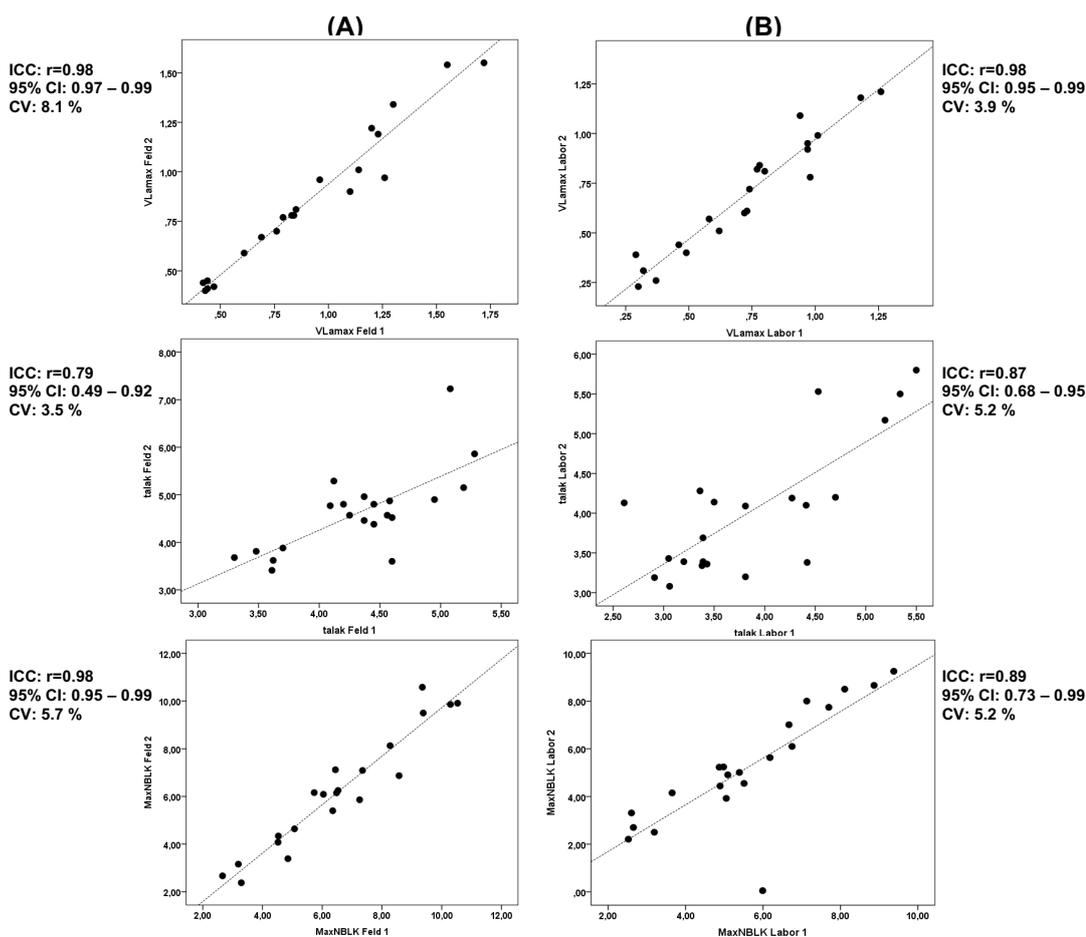
Bei Part II wurden der Sprint auf dem Laufband und der auf der Laufbahn jeweils an nur einem Tag einmal ausgeführt. Hier wurde jedoch für die spätere Auswertung der Daten eine Gegenüberstellung von Sprintern und Ausdauerathleten vorgenommen.

#### 4.2.1.3 Statistik

Die deskriptive Statistik wird über den Mittelwert und die Standardabweichung angegeben. Beziehungen zwischen den Variablen wurden über die Intra-Klassen Korrelation (ICC), dem Konfidenzintervall (CI) und dem Variationskoeffizienten (CV) bestimmt. Da der Datensatz für beide Gruppen normalverteilt war (Shapiro-Wilk Test), konnte der abhängige t-Test berechnet werden. Dieser wurde für alle Vergleiche zwischen den Messmethoden und den Gruppen angewandt.

## 4.2.2 Ergebnisse

Abbildungen 11A und B stellen für die Parameter  $VLa_{max}$ ,  $t_{alak}$  und  $Max_{NBLK}$  hohe Korrelationen dar ( $VLa_{max}$  Sprint<sub>Feld</sub>: ICC:  $r=0.98$ , CI=0.97-0.99, CV=8.1%;  $VLa_{max}$  Sprint<sub>Labor</sub>: ICC:  $r=0.98$ , CI=0.95-0.99, CV=3.9%;  $t_{alak}$  Sprint<sub>Feld</sub>: ICC:  $r=0.79$ , CI=0.49-0.92, CV=3.5%;  $t_{alak}$  Sprint<sub>Labor</sub>:  $r=0.87$ , CI=0.68-0.95, CV=5.2%;  $Max_{NBLK}$  Sprint<sub>Feld</sub>: ICC:  $r=0.98$ , CI=0.95-0.99, CV=5.7%;  $Max_{NBLK}$  Sprint<sub>Labor</sub>: ICC:  $r=0.89$ , CI=0.73-0.96, CV=5.2%). Der abhängige t-Test zeigt nur für die Variablen  $VLa_{max}$ ,  $t_{alak}$  und  $Max_{NBLK}$  des Feldtests signifikante Unterschiede ( $P=0.006$ , CI=0.017-0.091;  $P=0.034$ , CI=-0.573--0.024;  $P=0.04$ , CI=0.017-0.653) (Tabelle 5).



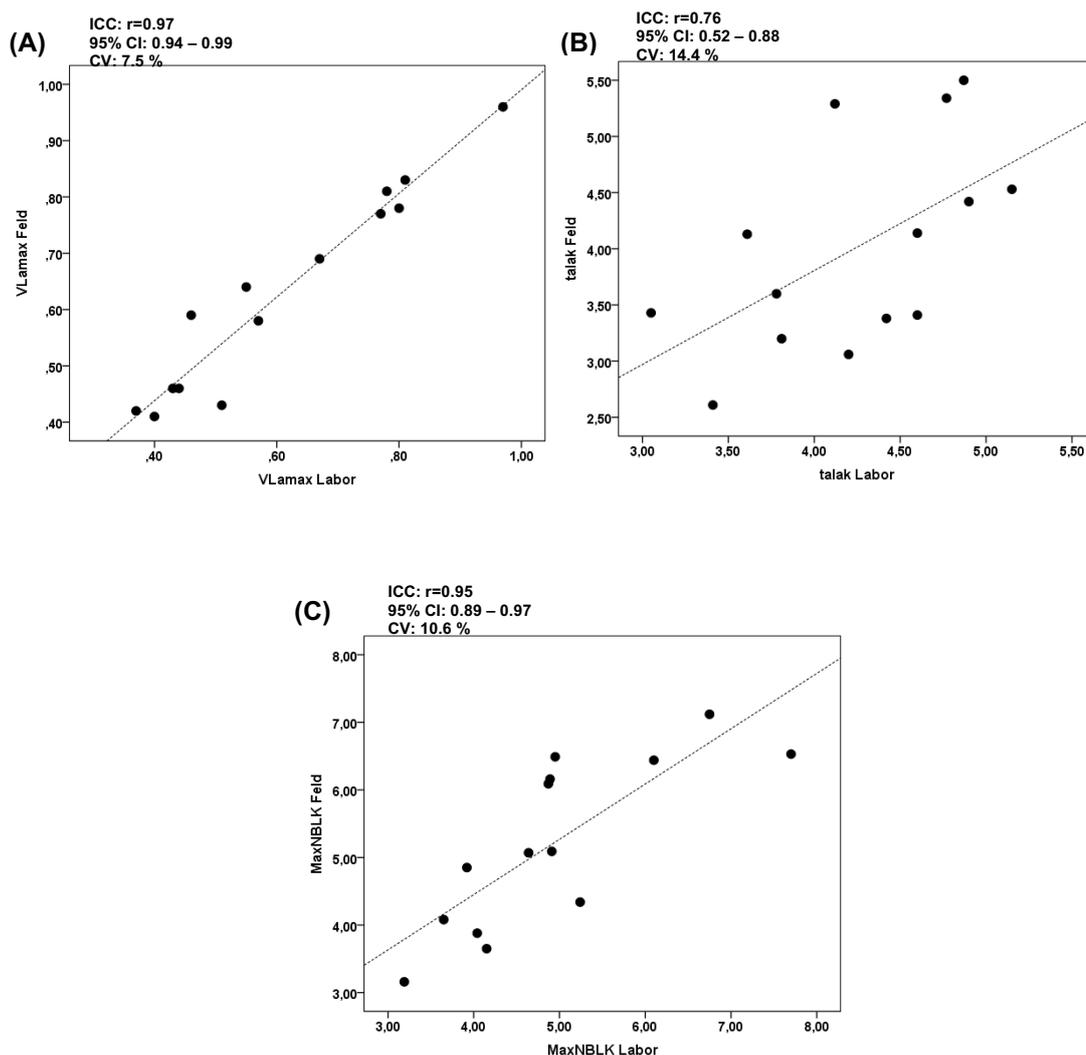
**Abbildung 11:** Korrelationen der Parameter maximale Laktatbildungsrate, alaktazide Zeit und maximales Nachbelastungs-laktat für je zwei Messzeitpunkte im Feld (A) und Labor (B).

**Tabelle 5:** Vergleich von Feld 1 vs. Feld 2, Labor 1 vs. 2, Feld vs. Labor und Sprinter vs. Ausdauerathleten

Parameter	Feld 1	Feld 2	Labor 1	Labor 2	Feld	Labor	Sprinter	Ausdauer
<b>VL<sub>max</sub></b> [mmol·L <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	0.91 ± 0.38	0.85 ± 0.36 <sup>††</sup>	0.73 ± 0.29	0.70 ± 0.30	0.85 ± 0.35	0.85 ± 0.35 <sup>**</sup>		
<b>t<sub>alac</sub></b> [s]	4.33 ± 0.56	4.62 ± 0.87 <sup>†</sup>	3.87 ± 0.84	4.03 ± 0.83	4.03 ± 0.79	3.62 ± 0.93 <sup>**</sup>		
<b>Max<sub>NBLK</sub></b> [mmol·L <sup>-1</sup> ]	6.51 ± 2.29	6.17 ± 2.43 <sup>†</sup>	5.58 ± 2.00	5.20 ± 2.39	6.97 ± 2.57	6.14 ± 2.04 <sup>**</sup>		
<b>VO<sub>2max</sub></b> [mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ]							55.29 ± 2.97	60.82 ± 7.27 <sup>#</sup>

<sup>†</sup>Signifikante Differenzen bei Reliabilitätsüberprüfung (<sup>†</sup>P<0.05 und <sup>††</sup>P<0.01) vs. Feld 1, \*Signifikante Differenzen bei Validitätsüberprüfung (\*\*P<0.01) vs. Feld, #Signifikante Differenzen (#P<0.05) vs. Sprinter. Alle Werte sind Mittelwerte ± SD von allen Probanden.

Bezüglich der Validitätsüberprüfung zeigen **Abbildung 12A, B und C** hohe Intra-Korrelationskoeffizienten für die maximale Laktatbildungsrate, die alaktazide Zeit und das maximale Nachbelastungslaktat zwischen Feld- und Labortest ( $VL_{a_{max}}$ : ICC:  $r=0.97$ ,  $CI=0.94-0.99$ ,  $CV=7.5\%$ ;  $t_{alak}$ : ICC:  $r=0.76$ ,  $CI=0.52-0.88$ ,  $CV=14.4\%$ ;  $Max_{NBLK}$ : ICC:  $r=0.95$ ,  $CI=0.89-0.97$ ,  $CV=10.6\%$ ). Signifikante Differenzen können für alle Parameter zwischen Feld- und Labortest nachgewiesen werden ( $VL_{a_{max}}$ :  $P<0.001$ ,  $CI=0.062-0.138$ ;  $t_{alak}$ :  $P=0.004$ ,  $CI=-0.144-0.675$ ;  $Max_{NBLK}$ :  $P<0.001$ ,  $CI=0.464-1.206$ ) (**Tabelle 5**). Zusätzlich kann beim Vergleich der  $VO_{2max}$  zwischen Sprintern und Ausdauerathleten ein signifikanter Unterschied aufgezeigt werden ( $P=0.012$ ,  $CI=1.433-9.637$ ) (**Tabelle 5**).



**Abbildung 12:** Korrelationen zwischen Feld- und Labormessung für die Parameter maximale Laktatbildungsrate (A), alaktazide Zeit (B) und maximales Nachbelastungslaktat (C).

### 4.2.3 Diskussion

Die zweite Teilstudie wurde durchgeführt, um ein Studiendesign zu testen, dass die maximale Laktatbildungsrate zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit bei einer physiologischen Leistungsdiagnostik von Sprintern und Ausdauerathleten nutzt. Dabei wurde die Reliabilität und Validität der verschiedenen Parameter und Messverfahren geprüft. Hierbei wurde die maximale Laktatbildungsrate in den Fokus gerückt.

Primär kann für den ersten Teil der zweiten Teilstudie gezeigt werden, dass der lineare Sprint über zehn Sekunden auf der Laufbahn in Bezug auf die analysierten Parameter reliabel ist. Dies kann ebenso für den Sprint auf dem unmotorisierten Laufband nachgewiesen werden. Part I dieser Teilstudie dient zugleich der Überprüfung der Validität von Messverfahren und Parametern. Eine hohe Korrelation für das Sprinten auf der Laufbahn und dem Laufband kann gezeigt werden, obgleich für alle Parameter signifikante Unterschiede zwischen beiden Messmethoden vorliegen.

Die Ergebnisse des Sprints auf der Laufbahn zeigen eine hohe Korrelation für die  $VLa_{max}$ . Es treten signifikante Unterschiede zwischen beiden Sprints für die  $VLa_{max}$ , das  $Max_{NBLK}$  und die  $t_{alak}$  auf. Dies ist aufgrund des niedrigen CV und der hohen ICC und CI überraschend. Ähnliche Ergebnisse zeigen sich ebenfalls bei der statistischen Überprüfung der Sprints auf dem unmotorisierten Laufband, obwohl hier ein signifikanter Unterschied nur für die alaktazide Zeit nachgewiesen ist. Dennoch lässt sich festhalten, dass die Reliabilität für den 10-Sekunden Sprint sowohl auf der Laufbahn als auch auf dem Laufband bewiesen ist.

Für Part II können ähnliche Ergebnisse wie bereits in Part I festgestellt werden. Diverse Forschungsarbeiten nutzen andere Testdesigns bezüglich des Sprintlaufs oder der Bestimmung der  $VLa_{max}$  (4.1.3).

Der zweite Teil dieser Teilstudie soll außerdem dazu dienen, den Unterschied zwischen Ausdauerathleten und sprintaffinen Läufern aufzudecken. Es ist keine Überraschung, dass Sprinter ein höheres  $Max_{NBLK}$  erreichen, eine kürzere alaktazide Zeit haben und daraus resultierend eine höhere  $VLa_{max}$  aufweisen. Der Grund dafür ist, dass die Zeit, in der keiner deutliche Bildung von

Laktat verzeichnet wird, von den Muskelfasern beeinflusst wird (4.1.3). In Bezug hierzu kann gezeigt werden, dass Sprinter verglichen mit Ausdauersportlern eine höhere Quantität an schnell zuckenden Muskelfasern haben. Außerdem sind diese Verteilung und ihre Charakteristik auch Grund dafür, dass Sprinter ihre maximale Leistung früher erreichen. Dadurch ist im Fall von Sprintern die Zeit der Laktatproduktion länger und infolgedessen ist die  $VLa_{max}$  höher (Costill et al., 1976; Gollnick et al., 1972; Hauser, 2012; Mader & Heck, 1991; Zeppenfeld, 2001).

Weiterhin gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen für die  $VO_{2max}$ . Ausdauerathleten haben eine höhere maximale Sauerstoffaufnahme als Sprinter (de Aguiar, 2015; Draper, 2005). Eine nichtsignifikante Differenz für den respiratorischen Quotienten (RQ) weist darauf hin, dass alle Athleten den  $VO_{2max}$  Test bis zur Ermüdung gelaufen sind. Die Höhe des RQ gilt neben dem möglichen Erreichen des „levelling off“ der Sauerstoffaufnahme und einem erhöhten Atemäquivalent als Indikator für eine Ausbelastung.

Der Sprinttest zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit stellt für die Leistungsdiagnostik ein zusätzliches Tool dar, um das Leistungslevel des Athleten zu beurteilen. Die Höhe der  $VLa_{max}$  und der  $VO_{2max}$  können verschiedene Athletentypen aufdecken. Diese Erkenntnisse können wiederum bei der detaillierten Trainingsplanung nützlich eingesetzt werden. Während bei einem 100m-Sprint die Energie zu etwa 50% anaerob laktazid abgedeckt wird, so ist bei einem Marathon „neben der aerobe Stoffwechselleistung die Kapazität der Glykogenspeicher limitierend“ (Heck, 2006, S. 27). Im Allgemeinen wird eine hohe aerobe Leistungsfähigkeit mit einer niedrigen Sprintperformanz assoziiert (Stangier et al., 2016). Daraus resultiert, dass das Ziel für Ausdauerathleten eine im Vergleich zu Sprintern oder Spielsportlern geringere  $VLa_{max}$  ist. Ebenso ist der signifikante Unterschied der  $VO_{2max}$  zwischen den Athletengruppen nicht überraschend. Sprinter erreichen eine hohe  $VLa_{max}$ , erzielen jedoch im Vergleich eine geringere maximale Sauerstoffaufnahme. Hauser (2012) berichtet, basierend Studien von Mader und Heck (1986), über einen Einfluss der Höhe der  $VO_{2max}$  und der  $VLa_{max}$  auf die aerobe Leistungsfähig-

keit. Er zeigt für den Radsprint, dass eine gleich hohe maximale Sauerstoffaufnahme bei ungleicher  $VLa_{max}$  auftreten kann. Grund hierfür sind unterschiedliche Leistungslevel am maximalen Laktat-steady-state. Aber auch Athleten, die sich in ihren maximalen Laktatbildungsraten und maximalen Sauerstoffaufnahmen unterscheiden, können gleiche Leistungen am maximalen Laktat-steady-state erbringen. Der Athlet mit einer hohen  $VLa_{max}$  kann diese höhere Laktatproduktion mit einer höheren Laktat-Eliminierungsrate als Konsequenz einer hohen  $VO_{2max}$  ausgleichen, wohingegen ein Athlet eine geringe  $VO_{2max}$  mit einer niedrigen  $VLa_{max}$  ausgleicht (Hauser, 2012).

### **4.3 Studie 3: Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit bei Sportspielen mit Richtungswechseln – am Beispiel Fußball**

Sportspiele wie beispielsweise Fußball, Hockey, Basketball oder Handball weisen neben Geschwindigkeitswechseln Richtungsänderungen in Laufwegen auf. In Studie 3 soll für die Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung solcher Merkmale ein Test für Fußballspieler entwickelt werden.

Ein Fußballspiel weist wechselnde Perioden von kurzer, intensiver Aktivität sowie von niedriger Aktivität auf. Zusätzlich treten beide Aktivitätsperioden gekoppelt mit Einbezug des Spielballs und/oder Gegenspielern auf (Weineck, 2004; Kindermann, 2006). Die Überprüfung des Leistungslevels im Spitzensport Fußball ist schwierig, da Diagnostiktests in den meisten Fällen nicht die Leistungsfähigkeit der Spieler in einem Fußballspiel reflektieren oder vorhersagen können. Dennoch werden leistungsdiagnostische Tests zu bestimmten, saisonalen Zeiten durchgeführt (Faude et al., 2010). Das Ziel der dritten Studie war somit, einen sportartspezifischen Test zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit im Sportspiel zu entwickeln. Dieser soll auf seine Gütekriterien überprüft werden und eine Klassifizierung unter Berücksichtigung anderer physiologischer Parameter der Spieler zulassen.

#### *4.3.1 Methodik*

##### 4.3.1.1 Probanden

Zwanzig, männliche Fußballspieler ( $24 \pm 3$  Jahre,  $180 \pm 6$  cm,  $78,2 \pm 10,1$  kg) nahmen am ersten Teil dieser Studie teil (Part I). Sie liefen einen linearen Sprint, der zwei Richtungswechsel beinhaltete, auf dem Fußballfeld und einen 12-Sekunden Sprint auf dem unmotorisierten Laufband. Beide Sprintarten wurden einmal täglich an zwei aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt.

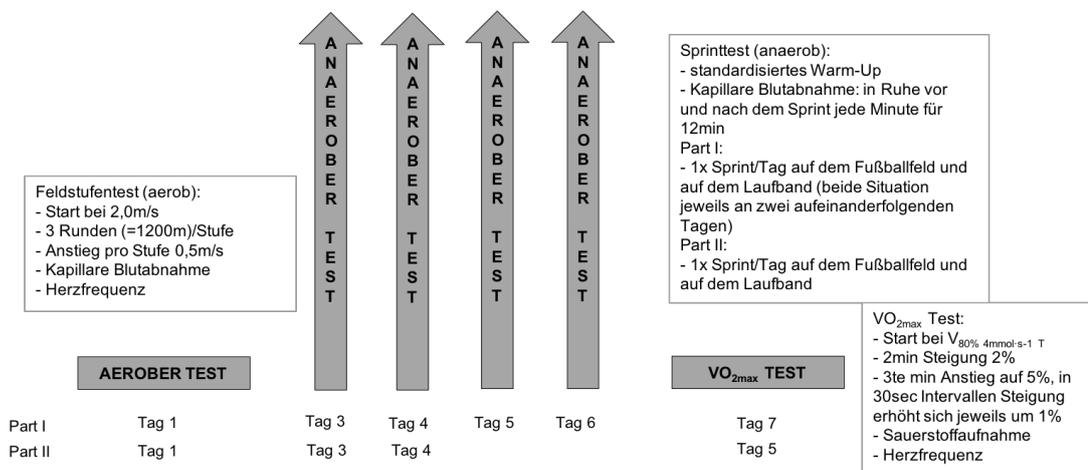
Den zweiten Teil der Studie III (Part II) führten 45 männliche Fußballspieler ( $24 \pm 3$  Jahre,  $182 \pm 6$  cm,  $79 \pm 8,4$  kg) durch. Jeder Athlet absolvierte einen 12-Sekunden Sprint auf dem Laufband und einen Sprint auf dem Fußballfeld. Der Sprint auf dem Feld inkludierte zwei Richtungswechsel.

Der Test zur Erfassung der maximalen Sauerstoffaufnahme wurde von allen Teilnehmern durchgeführt.

Alle Athleten sind Mannschaften zugehörig, die in der dritten oder vierten Fußballliga in Deutschland spielen. Die Spieler trugen zu jedem Zeitpunkt der Sprinttests das gleiche Schuhwerk. Es wurde darauf geachtet, dass die Tests immer zu gleichen Uhrzeiten stattfanden und dass alle Tests innerhalb von acht (Part I) beziehungsweise fünf Tagen (Part II) durchgeführt wurden. Es wurde davon ausgegangen, dass die Motivation der Spieler zu jeder Zeit gleich hoch war.

Nicht alle Spieler nahmen an beiden Teilen der Studie teil. Die Ausschlusskriterien und alle weiteren Vorgaben entsprechen denen der vorangegangenen Studien (siehe 4.1.1.1 und 4.2.1.1).

#### 4.3.1.2 Studiendurchführung

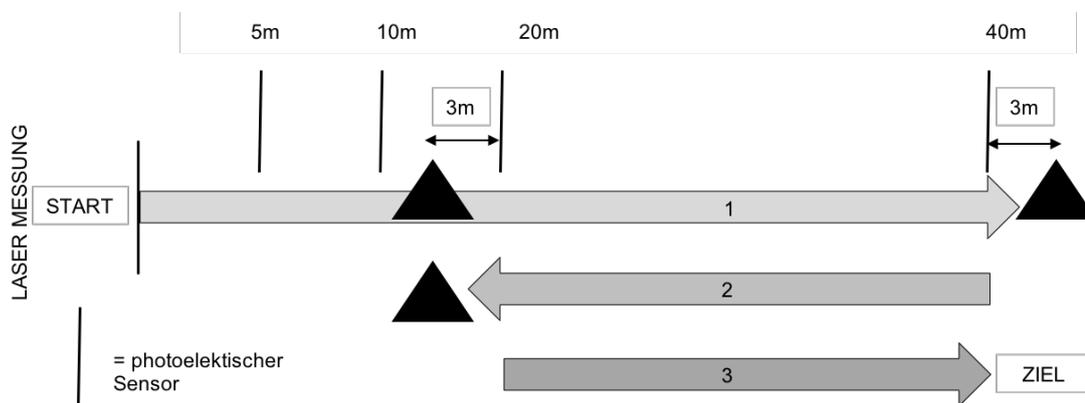


**Abbildung 13:** Studiendesign der 3. Teilstudie

Alle Teilnehmer der Studie III absolvierten einen Feldstufentest (3.1.1) und den VO<sub>2max</sub> Test (3.1.2). Zusätzlich nahm jeder Teilnehmer an der Familiarisierung zum Sprinten auf dem unmotorisierten Laufband teil (4.1.1.2).

Die Athleten führten den Sprint auf dem Laufband, wie bereits in 4.1.1.2 beschrieben, durch. Probanden an Part I liefen diesen einmal an zwei aufeinanderfolgenden Tagen. In Part II wurde dieser nur einmal von allen Teilnehmern ausgeführt. (Abbildung 13)

Der Sprinttest auf dem Fußballfeld wurde mit dem gleichen Vorgehen absolviert. Dieser wurde linear mit zwei Richtungswechseln durchgeführt (Abbildung 14). Es erfolgte nach 40 und 60 Metern eine Änderung in der Laufrichtung. Es wurde keine Zeit festgelegt. Die Zeit, die der Spieler benötigte, um diese Distanz zurückzulegen, charakterisierte die Sprintzeit. Folglich war diese interindividuell unterschiedlich. Die Zeiterfassung erfolgte hierbei über das Doppellichtschranken System (Sportronic, Winnenden-Hertmannsweiler, Deutschland). Zusätzlich wurde Laser-Distanzmessmodul (LMC-J-300-Sport, Kempf GmbH, Walldorf, Deutschland) eingesetzt.



**Abbildung 14:** Aufbau- und Ablaufskizze des Sprints mit Richtungswechsel im Feld

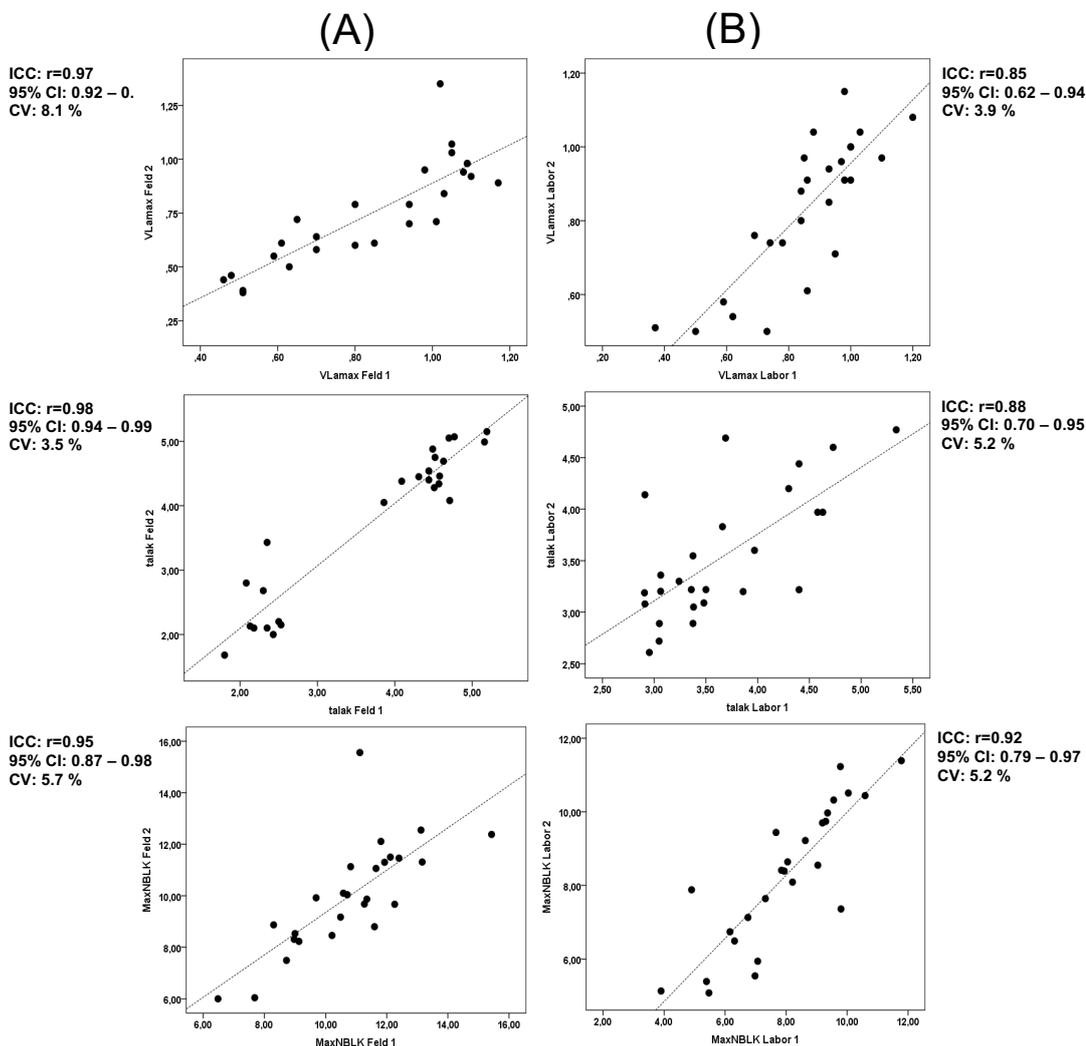
#### 4.3.1.3 Statistik

Die deskriptive Statistik wurde ermittelt und in Mittelwerten und Standardabweichungen dargestellt. Die Einschätzung der Beziehungen zwischen den Variablen wurde ebenfalls durch Intra-Klassen-Korrelationen, Konfidenzintervallen und Variationskoeffizienten bestimmt.

Nach der Überprüfung der Normalverteilung der Daten musste zum Vergleich von Feld- versus Labortest und Probanden ein abhängiger t-Test (parametrisch) und der Wilcoxon Test (nichtparametrisch) eingesetzt werden.

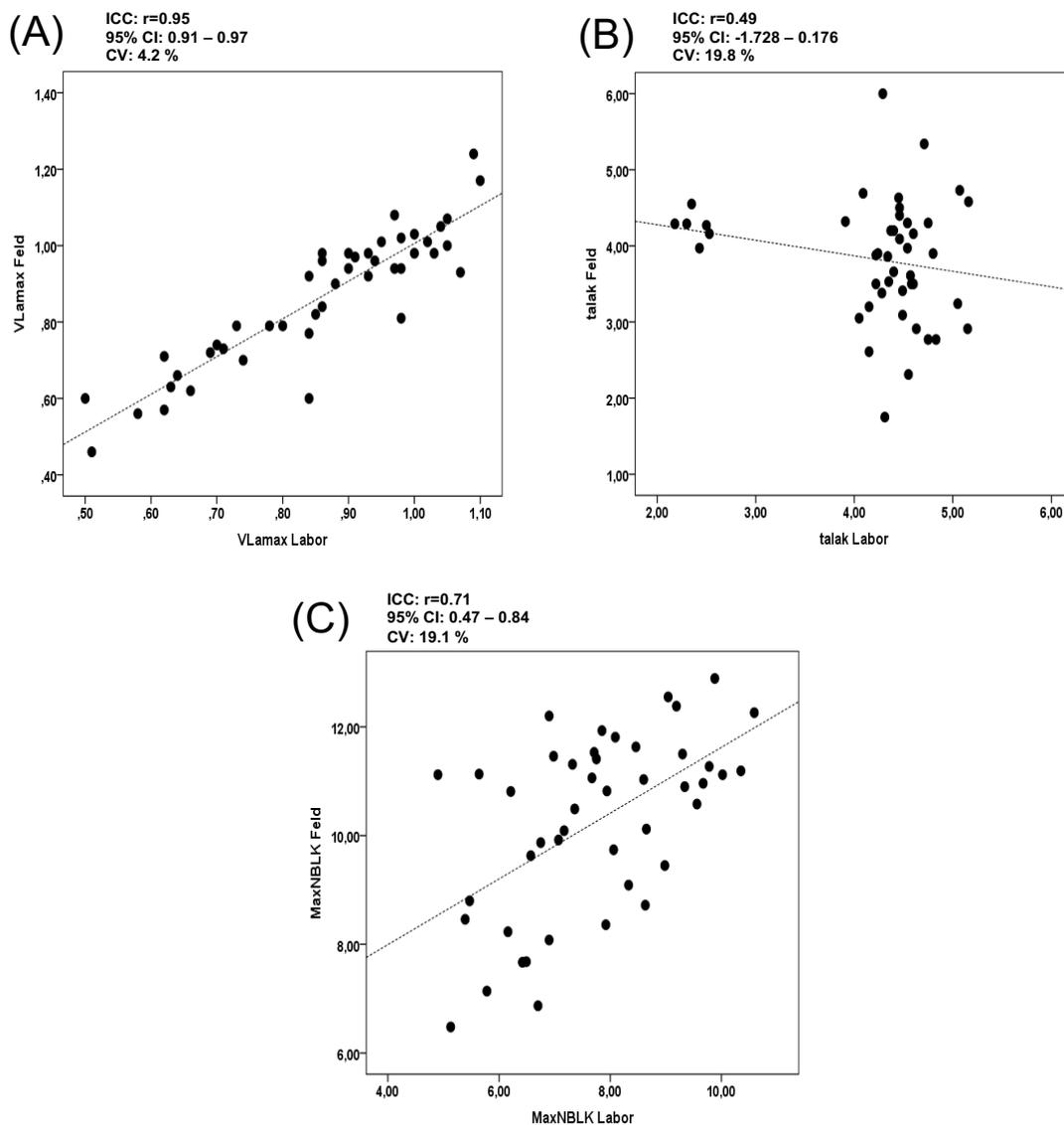
### 4.3.2 Ergebnisse

Für die Parameter  $VLa_{max}$ ,  $t_{alak}$  und  $Max_{NBLK}$  kann eine hohe Reliabilität nachgewiesen werden ( $VLa_{max}$  Sprint<sub>Feld</sub>: ICC:  $r=0.97$ ,  $CI=0.92-0.99$ ,  $CV=8.1\%$ ;  $VLa_{max}$  Sprint<sub>Labor</sub>: ICC:  $r=0.85$ ,  $CI=0.62-0.94$ ,  $CV=3.9\%$ ;  $t_{alak}$  Sprint<sub>Feld</sub>: ICC:  $r=0.98$ ,  $CI=0.94-0.99$ ,  $CV=3.5\%$ ;  $t_{alak}$  Sprint<sub>Labor</sub>:  $r=0.88$ ,  $CI=0.70-0.95$ ,  $CV=5.2\%$ ;  $Max_{NBLK}$  Sprint<sub>Feld</sub>: ICC:  $r=0.95$ ,  $CI=0.87-0.98$ ,  $CV=5.7\%$ ;  $Max_{NBLK}$  Sprint<sub>Labor</sub>: ICC:  $r=0.92$ ,  $CI=0.79-0.97$ ,  $CV=5.2\%$ ) (**Abbildung 15A** und **B**). Der abhängigen t-Test und den Wilcoxon Test decken signifikante Unterschiede für die  $VLa_{max}$  und  $Max_{NBLK}$  im Feldtest auf ( $P<0.001$ ,  $CI=0.042-0.118$ ;  $P<0.001$ ,  $CI=-0.379-1.170$ ) (**Tabelle 6**).



**Abbildung 15:** Korrelation der maximalen Laktatbildungsrate, der alaktaziden Zeit und des maximalen Nachbelastungslaktat zwischen je zwei Messzeitpunkten im Feld (A) und Labor (B).

In Bezug auf die Validitätsprüfung kann ein hoher Korrelationskoeffizient in Klassen für VL<sub>max</sub> und MaxNBLK zwischen Feld- und Laborsprinttest aufgezeigt (VL<sub>max</sub>: ICC:  $r=0.95$ , CI=0.91-0.97, CV=4.2%; MaxNBLK: ICC:  $r=0.71$ , CI=0.47-0.84, CV=19.1%ICC) (Abbildungen 16A und C). **Abbildung 16B** bildet eine negative Korrelation zwischen Sprint<sub>Feld</sub> und Sprint<sub>Labor</sub> für den Parameter t<sub>alak</sub> ab (t<sub>alak</sub>: ICC:  $r=-0.49$ , CI=-1.728-0.176, CV=19.8%).



**Abbildung 16:** Korrelation zwischen Feld- und Labormessung für die maximale Laktatbildungsrate (A), die alaktazide Zeit (B) und das maximale Nachbelastungslaktat (C).

Der nichtparametrische Wilcoxon Test zeigt signifikante Differenzen für  $t_{\text{alak}}$  und  $\text{Max}_{\text{NBLK}}$  zwischen Feld- und Labortest auf ( $t_{\text{alak}}$ :  $P=0.02$ ;  $\text{Max}_{\text{NBLK}}$ :  $P<0.001$ ). In **Tabelle 6** ist außerdem die deskriptive Statistik der maximalen Sauerstoffaufnahme der Fußballspieler dargestellt.

**Tabelle 6:** Vergleich von Feld 1 vs. Feld 2, Labor 1 vs. Labor 2, Feld vs. Labor und Deskriptive Statistik der  $VO_{2max}$  aller Fußballspieler

Parameter	Feld 1	Feld 2	Labor 1	Labor 2	Feld	Labor
<b>VL</b> <sub>max</sub> [mmol·L <sup>-1</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	0.82 ± 0.23	0.74 ± 0.22 <sup>††</sup>	0.87 ± 0.17	0.85 ± 0.18	0.86 ± 0.18	0.86 ± 0.16
<b>t</b> <sub>alac</sub> [s]	3.60 ± 1.19	3.70 ± 1.20	3.61 ± 0.60	3.50 ± 0.62	4.22 ± 0.78	3.83 ± 0.79*
<b>Max</b> <sub>NBLK</sub> [mmol·L <sup>-1</sup> ]	10.76 ± 2.04	9.99 ± 1.74 <sup>††</sup>	8.33 ± 1.71	8.53 ± 1.83	10.27 ± 1.64	7.75 ± 1.49**
<b>VO</b> <sub>2max</sub> [mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> ]						57.94 ± 5.09

<sup>†</sup>Signifikante Differenzen bei Reliabilitätsüberprüfung (<sup>††</sup>P<0.01) vs. Feld 1, \*Signifikante Differenzen bei Validitätsüberprüfung (\*P<0.05 und \*\*P<0.01) vs. Feld. Alle Werte sind Mittelwerte ± SD aller Probanden.

### 4.3.3 Diskussion

Die dritte Teilstudie wurde durchgeführt, um ein fußballspezifisches Testdesign zu entwickeln, das die maximale Laktatbildungsrate zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit nutzt. Hierfür wurden die Reliabilität und Validität der Testverfahren und der Parameter beurteilt. Der Fokus wird hierbei auf die  $VLa_{max}$  gelegt.

Für Part I kann die Reliabilität für den Sprint mit Richtungswechseln für alle analysierte Parameter bewiesen werden. Das gleiche Ergebnis zeigt sich auch für den Sprint auf dem unmotorisierten Laufband. Der zweite Teil der Teilstudie wurde durchgeführt, um die Testverfahren und Parameter hinsichtlich ihrer Validität einzuschätzen. Eine hohe Korrelation zwischen dem fußballspezifischen Sprinttest auf dem Fußballfeld und dem Sprinttest auf dem Laufband kann dokumentiert werden. Es können keine signifikanten Unterschiede für alle Parameter zwischen den beiden Testmethoden festgestellt werden.

Die Ergebnisse der Sprints auf dem Fußballfeld zeigen eine hohe ICC und einen niedrigen CV für  $VLa_{max}$ . Das gleiche Beziehungsverhalten kann sowohl für das maximale Nachbelastungslaktat als auch für die alaktazide Zeit nachgewiesen werden, obwohl die totale Sprintdauer sich unterscheidet. Dass diese Feststellung bezüglich der alaktaziden Zeit keine Überraschung darstellt, wurde bereits in 4.1.3 erläutert.

Die primären Ergebnisse des Sprints auf dem unmotorisierten Laufband unterscheiden sich nicht von denen auf dem Fußballfeld. Die Zeit für die Sprintdauer wurde auf 12 Sekunden festgesetzt. Wie die Ergebnisse von Part I dieser Studie zeigen, scheinen das Antreiben des Laufbands beim Start und das permanente Antreiben während des Sprints eine ähnliche Belastung wie beim Sprint mit zwei Richtungswechseln darzustellen.

In Part II dieser Teilstudie kann eine hohe Korrelation und ein niedriger Variationskoeffizient für die  $VLa_{max}$  gezeigt werden. Die Testmethoden können somit als valide bezeichnet werden.

Kürzere Sprints mit mehrfacher Wiederholung sind populäre Testdesigns. Für zukünftige Forschungen erscheint der Einbezug von einem Sprintdesign, das

mehrfach wiederholte Sprints oder einen kürzeren Sprint mit Richtungswechseln hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit überprüft, sinnvoll und desiderat. Der Richtungswechsel ist ein unverwechselbarer Aspekt von Sportarten wie Fußball, Hockey, Rugby oder Basketball. Aus diesem Grund ist der Fokus auf diesen relevant, jedoch scheint eine totale Laufdistanz von 80-90m zu lang. Frühere Studien zeigen, dass die Spieler meist kürzere Distanzen zurücklegen, insbesondere in Sportarten mit kleineren Spielfeldgrößen, wie sie im Basketball oder Handball vorzufinden sind (Meckel et al., 2009; Michalsik et al., 2015; Morcillo et al., 2015; Nikolaidis et al., 2016). Es soll berücksichtigt werden, dass bei der Determination der anaeroben Leistungsfähigkeit weniger die Laufdistanz von Bedeutung ist, sondern die Sprintdauer, wobei diese sich unvermeidlich bedingen.

Bei der Klassifizierung von Athleten anhand der  $VLa_{max}$  und  $VO_{2max}$  wurde bereits auf die Ergebnisse hingewiesen, die Hauser (2012) diesbezüglich erzielt (4.2.3). Aus diesem Grund ist der Einbezug der  $VLa_{max}$  bei der Trainingsplanung sinnvoll.

## 5 Studienübergreifende Diskussion und Methodendiskussion

### 5.1 Gütekriterien

Zu den wichtigsten Gütekriterien zählen neben der Objektivität die Reliabilität sowie die Validität eines Tests. Die Objektivität der durchgeführten Messverfahren ist gegeben, da die Messungen weitestgehend unabhängig vom Testleiter durchgeführt werden können. Es wird davon ausgegangen, dass die extrinsische Motivation, die für den Sportler durch den Testleiter vorliegen kann, wenig Einfluss hat bzw. bei der vorliegenden Arbeit jederzeit im gleichen Maß vorhanden war. Lediglich die intrinsische Motivation des Athleten kann Einfluss auf den Test nehmen. Es wird allerdings angenommen, dass bei den beteiligten Personen die Motivation an allen Testtagen gleich stark ausgeprägt war, da die Teilnahme an der Studie freiwillig war.

Die Korrelationen und Reliabilitätsanalysen der verschiedenen Parameter zeigen, dass der lineare Sprint auf der Laufbahn, auf dem unmotorisierten Laufband und der lineare Sprint mit Richtungswechseln reliabel sind (**Abbildung 7A, 8A, 8B, 11A, 11B, 15A, 15B**). Der bedeutendste Parameter dieser Studie ist die maximale Laktatbildungsrate. Diese lässt Aussagen über die anaerobe Leistungsfähigkeit zu. Da die Laktatkonzentrationen, die zur Berechnung der  $VLa_{max}$  herangezogen werden, ebenfalls eine hohe Korrelation aufweisen, kann die niedrige Reliabilität, die teilweise hinsichtlich des Parameters der alaktaziden Zeit auftritt, vernachlässigt werden. Das bedeutet, dass die Athleten unterschiedliche Zeiten benötigen, um ihr Leistungsmaximum zu erreichen. Dies verdeutlicht für den Sprint auf dem Laufband, dass eine Familiarisierung mit dem Test auf dem Laufband vorauszusetzen ist. Das Testverfahren mit dem unmotorisierte Laufband stellt im Vergleich zum Feldtest andere Anforderungen an den Athleten. Der Sportler muss das Laufband aus eigener Kraft in Bewegung setzen. Dadurch ähnelt die Bewegung einem Zug-Widerstands-Lauf und entspricht nicht dem typischen Bewegungsmuster eines Laufes. Vor allem der Start verlangt eine andere Laufbewegung, um das Laufband

anzutreiben. Die alaktazide Zeit nimmt zwar ebenfalls Einfluss auf die Bildungsrate, kann jedoch in der Berechnung durch z.B. im Mittel geringere Ruhelaktatkonzentrationen kompensiert werden.

Zur Überprüfung der Validität werden Korrelationen mit einem bereits anerkannten Kriterium durchgeführt, das (etwa) zur gleichen Zeit gemessen wird (Scherbaum, 2014).

In der vorliegenden Studie wurden daher Korrelationen und Reliabilitätsanalysen zwischen dem Labor- und dem Feldtest herangezogen. Die Ergebnisse dieser Analysen zeigen, dass vergleichbare Laktatbildungsraten ermittelt werden können (**Abbildung 9A, 12A, 16A**). Die Bestimmung des Leistungsmaximums unterscheidet die beiden Testverfahren. Bei der Berechnung für die Leistung im Labor werden Kraft, Zeit und Geschwindigkeit berücksichtigt. Wohingegen im Feld die Parameter Zeit, Strecke und Körpergewicht des Athleten als Berechnungsbasis dienen. Dieser Unterschied ist dem Einsatz verschiedener Messsysteme geschuldet. Im Labor kann über einen Kraftaufnehmer die horizontale Kraft und über das Laufband die Geschwindigkeit gemessen werden. Die Messung im Feld mittels Lasermodul ist hingegen nicht in der Lage, die Kraft anzugeben, so dass hierbei Aussagen über die Parameter Geschwindigkeit, Strecke und Zeit getroffen werden können und müssen. Zudem soll nochmals erwähnt sein, dass nur die horizontalen Kräfte aufgezeichnet werden. Für eine valide Aussage über die maximal erreichte Leistung in Watt sollen die vertikalen Kräfte ebenfalls berücksichtigt werden. Für das vorliegende Testverfahren können sie vernachlässigt werden, da die vertikalen Kräfte zur Überwindung der Gravitationskraft dienen und diese zu jedem Zeitpunkt gleichermaßen auf den Athleten wirkt. Ebenso wird die unterschiedliche Bestimmung der Leistung aus dem Grund gerechtfertigt, dass der Leistungs-Peak, nicht aber seine Höhe, für die Festlegung der alaktaziden Zeit wichtig ist.

Mit der Laktatbildungsrate als wichtigstem Kriterium dieser Studie, kann die Validität für das Testverfahren auf dem Laufband zur Ermittlung der anaeroben Leistungsfähigkeit angenommen werden. Mader (1985) empfiehlt zur Bestimmung der Laktatbildungsrate eine anaerobe Belastung von zehn Sekunden.

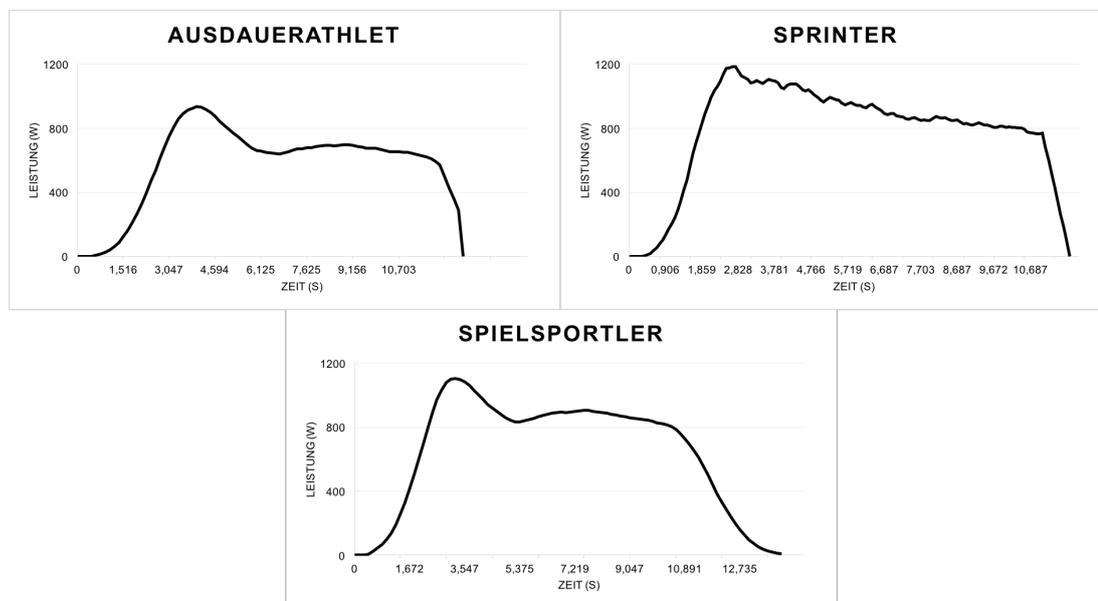
Diese Aussage wird von anderen Autoren untermauert (Heck & Schulz, 2002; Hauser, 2012). Die Praxis zeigt jedoch, dass andere Testverfahren angewendet werden. Beliebte sind kürzere Tests, die mehrfach hintereinander wiederholt werden, wie 3 x 60m nach Hellwig et al. (1988) oder auch 6 x 30m beziehungsweise 6 x 60m (Impellizzeri et al., 2008; Mühling, 2013; Spencer et al., 2006). Aber auch längere Tests, die 15 Sekunden andauern oder die eine Strecke vorgeben, werden zur Ermittlung der Laktatbildungsrate genutzt (Bleicher, 1997; Franke & Platen, 2008; Franke, 2011; Hermsdorf, 2011; Hauser 2012). Da diese Arbeit sich auf die Aussagen von Mader (1984; 1985), Heck und Schulz (2002) und Hauser (2012) stützt, sind zehn Sekunden als Belastungszeit für den anaeroben Test gewählt worden. Um die Validität für das Testverfahren auf dem Laufband genauer zu beurteilen, müsste ein bereits valides Testverfahren genutzt werden. Dies ist aufgrund der dargestellten Studienlage schwierig. Es werden häufig die bereits genannten Tests angewandt, die wiederholte Sprints mit kürzeren Strecken einsetzen. Es wurde sich bewusst gegen ein solches Testverfahren entschieden, da das Diagnostiktool für den anaeroben Test auf dem Laufband die Messung der Strecke derzeit nicht zulässt. Daher wurde der lineare Sprint im Feld mehrfach und mit unterschiedlicher Laufzeit durchgeführt. Damit ist das Testverfahren als valide zu bezeichnen.

## **5.2 Bestimmungsmethoden des alaktaziden Zeitintervalls**

Bei der Bestimmung der Laktatbildungsrate spielt die alaktazide Zeit neben den Laktatkonzentrationen eine essentielle Rolle. Sie bildet gemeinsam mit der Belastungszeit den Nenner der Formel für die Berechnung der  $VLa_{max}$ . Aus diesem Grund ist auch die Art der Bestimmung dieses Parameters von Bedeutung. In der Literatur finden sich verschiedene Ansätze hierfür. Hauser (2012) nutzt für den anaeroben Test auf dem Radergometer den 3,5%igen Leistungsabfall nach dem Peak zur Bestimmung des alaktaziden Zeitintervalls. Heck und Schulz (2002) geben in Anlehnung an Mader (1994) einen Schätzwert von circa drei Sekunden für die alaktazide Zeit bei einer zehnssekündigen Belastung an. Außerdem erläutern Heck und Schulz die Festlegung der alaktaziden

Zeit über den Zeitraum vom Start bis zum Zeitpunkt des Leistungs-Peaks (Heck & Schulz, 2002).

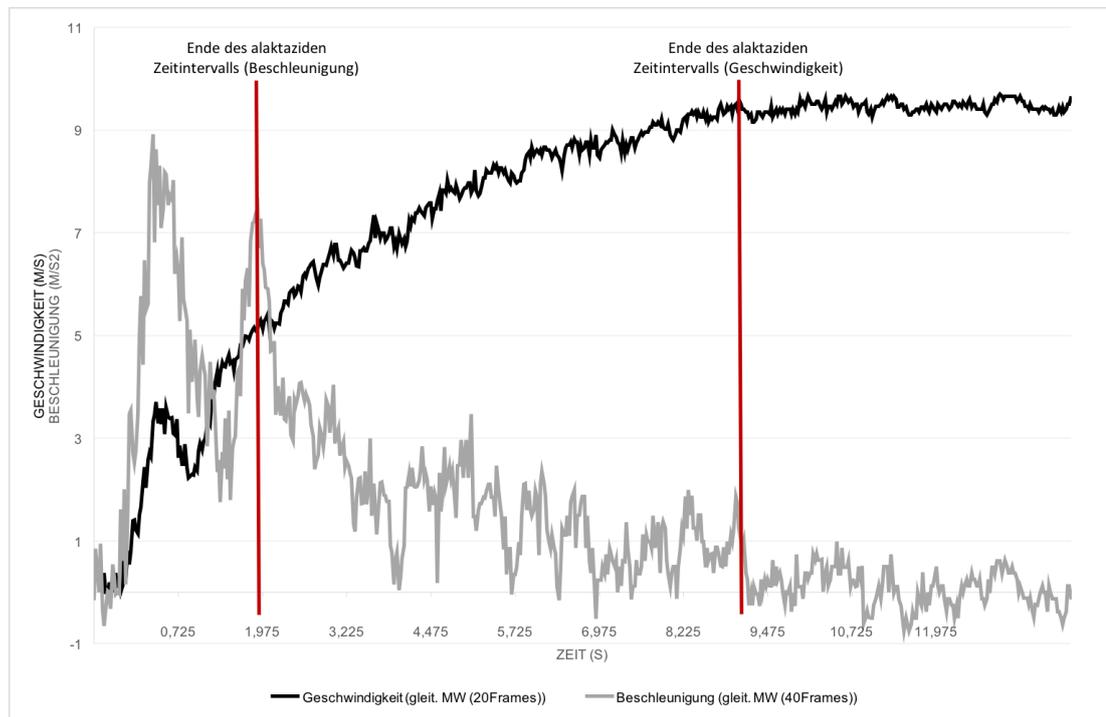
Aufgrund der Annahme, dass Sportlertypen unterschiedliche Laktatbildungsraten und daher unterschiedliche alaktazide Zeitintervalle aufweisen, wird die Berechnung der alaktaziden Zeit über ein festgelegtes Zeitintervall abgelehnt (Hauser, 2012; Zeppenfeld, 2001). Diese Methode ist fragwürdig, wenn davon ausgegangen wird, dass ein Sprinter aufgrund der muskulären Faserverteilung und deren Mechanismen deutlich früher sein Leistungsmaximum erreicht (Costill et al., 1976; Gollnick et al., 1972). Typenunterschiede können dann nur noch anhand der Laktatkonzentrationen deutlich werden. Die folgende **Abbildung 17** zeigt einer Gegenüberstellung der drei verschiedenen Athletengruppen, die in dieser Studie untersucht wurden. Es wird dabei visualisiert, dass der Leistungs-Peak zu unterschiedlichen Zeiten stattfindet. Außerdem wird gezeigt, dass bei Spielsportlern (hier: Fußballspieler) und Ausdauerathleten nach Erreichen des Leistungsmaximums ein schnellerer Abfall als bei Sprintern vorliegt, die die Leistung über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten können.



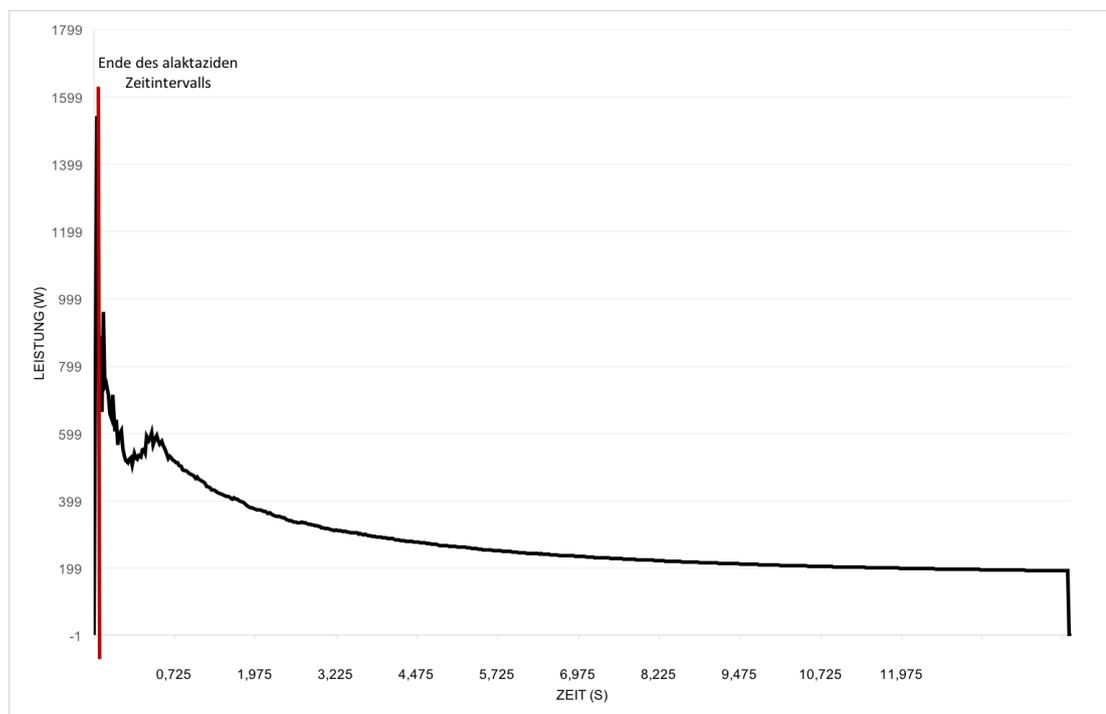
**Abbildung 17:** Darstellung der Leistung der verschiedenen Sportlergruppen

Bei der Beurteilung der Bestimmungsmethode der alaktaziden Zeit über den Zeitraum vom Start bis zum 3,5%igen Leistungsabfall nach Erreichen des Maximums konnte bereits in einer früheren Studie von Wawer (2014) festgestellt werden, dass diese Methode für die Feldmessung nicht praktikabel ist. Die Athleten können diese Leistung nach Erreichen des Leistungsmaximums bei einem zehnhundertstel Sprint auf der Laufbahn über einige Sekunden aufrechterhalten. Es können somit keine Veränderungen in dem Vergleich Zeit und zurückgelegte Strecke verzeichnet werden. Da die Berechnung der Leistung unter anderem über diese beiden Parameter erfolgt, ist eine konstante Leistung die Folge. Aus diesem Grund wurde diese Methode ebenfalls nicht gewählt. In der vorliegenden Arbeit ist deshalb die alaktazide Zeit als Zeitraum zwischen Start und Erreichen des Leistungs-Peaks definiert (Heck & Schulz, 2002).

Die Erstellung der Leistungskurve und die daraus folgende Bestimmung des Leistungs-Peaks zeigt außerdem, dass bei einigen Sportlern der Leistungs-Peak erst sehr spät erreicht wird. Die Zeitspanne stimmt dann mit den ungefähren Zeitangaben für das alaktaziden Zeitintervall, die in der Literatur gegeben werden bzw. untersucht sind, nicht überein. Die alaktazide Zeit ist somit für den Sprint auf der Laufbahn bzw. im Feld über den Leistungs-Peak nicht immer realistisch beurteilbar. Als Lösungsmöglichkeit kann gezeigt werden, dass die Bestimmung der Beschleunigungs-Peaks hierbei verlässlichere Zeiten liefert. Da sie mit denen in der Literatur übereinstimmen, wird der Beschleunigungs-Peak zur Bestimmung der alaktaziden Zeit ebenfalls angewendet. Die folgenden **Abbildungen 18** und **19** zeigen die Leistungs-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungskurve eines Athleten im Vergleich. Die alaktaziden Zeit ist eingezeichnet. Dabei wird deutlich, dass eine Determination der alaktaziden Zeit über die Leistung und über die Geschwindigkeit kein realistisches Zeitintervall bestimmt.



**Abbildung 18:** Darstellung des Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverlauf des Sprints eines Athleten



**Abbildung 19:** Darstellung der Leistung des Sprints eines Athleten

### 5.3 Klassifizierung von Sportlertypen

Der Test zur Erfassung der anaeroben Leistungsfähigkeit soll ein weiteres Testverfahren in der Leistungsdiagnostik darstellen. Neben den bereits vorhandenen Tests zur Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit soll dieser Unterschied zwischen Sportlertypen aufdecken. Wie verschiedene Studien zeigen, unterscheiden sich sprintbetonte Sportler und Spilsportler von ausdauerorientierten Athleten (Hamilton et al., 1991; Hauser, 2012).

Zu dem Vergleich zwischen verschiedenen Ausdauerathleten und Sprintern, wie ihn diese Studie vornimmt, liegen keine Studien durch andere Arbeitsgruppen vor. Die Arbeitsgruppe um Hamilton (1991) vergleicht Spilsportler und Ausdauerathleten miteinander (siehe 2.2). Dies verdeutlicht, dass ein anaerobes Testverfahren für läuferische Disziplinen derzeit noch nicht etabliert ist bzw. vor allem nicht diskutiert ist. Im Fokus der anaeroben Diagnostik liegt bei der vorliegenden Literatur die Gruppe der Spilsportler (Franke, 2004, 2011; Franke & Platen, 2008; Hermsdorf et al., 2011; Impellizzeri et al., 2008; Spencer et al., 2006). Ein Vergleich verschiedener Sportlertypen scheint aus wissenschaftlicher Sicht interessant. Während bei einem 100m-Sprint die Energie zu etwa 50% anaerob laktazid abgedeckt wird, sind bei einem Marathon die aerobe Stoffwechsellitung und die Kapazität der Glykogenspeicher von größerer Bedeutung (Heck, 2006). Diese unterschiedlichen Anforderungsprofile spiegeln sich in den unterschiedlichen Laktatbildungsraten und auch in der maximalen Sauerstoffaufnahme wider. Dies kann die zweite Teilstudie dieser Studie verdeutlichen (**Tabelle 5**).

Bei der nachfolgenden Gegenüberstellung (**Tabelle 7**) von zwei unterschiedlichen Athleten wird deutlich, dass differente Leistungen bei  $v_4$  (Geschwindigkeit bei der 4 mmol/l-Schwelle), nicht unbedingt zu einer Differenz bei der Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme führen müssen. Die maximale Sauerstoffaufnahme allein kann folglich nicht als Erklärungsgrundlage für den Geschwindigkeitsunterschied bei  $v_4$  herangezogen werden. Bei Betrachtung der maximalen Laktatbildungsrate fällt jedoch ein deutlicher Unterschied auf. Athlet 2 produziert mehr Laktat als Athlet 1 und hat daher eine deutlich höhere

Laktatbildungsrate. Als Kompensation dieser höheren Laktatproduktion pro Zeiteinheit können eine höhere Eliminationsrate von Laktat und somit eine höhere Sauerstoffaufnahme dienen. Eine Erhöhung der  $v_4$  kann umgekehrt zu einer verbesserten maximalen Sauerstoffaufnahme und einer niedrigeren  $VLa_{max}$  führen. Infolge dessen kann festgehalten werden, dass bei der Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit, anhand der  $v_4$ , bei nahezu übereinstimmender  $VO_{2max}$  die  $VLa_{max}$  berücksichtigt werden soll (Hauser, 2012).

**Tabelle 7:** Vergleich leistungsdiagnostischer Parameter zweier Athleten.

<b>Athlet</b>	<b><math>VO_{2max}</math></b>	<b><math>VLa_{max}</math> Feld</b>	<b><math>VLa_{max}</math> Labor</b>	<b><math>Max_{NBLK}</math> Feld</b>	<b><math>Max_{NBLK}</math> Labor</b>	<b><math>v_4</math></b>
1	60,5	0,46	0,43	3,88	4,04	4,55
2	62	0,96	0,97	6,53	7,70	4,06

Maximale Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ ); maximale Laktatbildungsrate im Feld ( $VLa_{max}$  Feld); maximale Laktatbildungsrate im Labor ( $VLa_{max}$  Labor); maximales Nachbelastungslaktat im Feld ( $Max_{NBLK}$  Feld); maximales Nachbelastungslaktat im Labor ( $Max_{NBLK}$  Labor); Geschwindigkeitsleistung bei 4 mmol/l in m/s ( $v_4$ ).

## 6 Schlussfolgerung

Die anaerobe Leistungsfähigkeit stellt im Bereich der physiologischen Leistungsdiagnostik einen Bereich dar, dem bisher nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde.

Die Berechnung der maximalen Laktatbildungsrate als Maß für die laktazide Leistungsfähigkeit findet vor allem im deutschsprachigen Raum Beachtung. Die Formel nach Mader (1994) stellt lediglich eine Gleichung zur Schätzung der glykolytischen Rate dar. Besonders beim Sprinttest auf dem unmotorisierten Laufband wird Koordinationsvermögen in der Durchführung vorausgesetzt, um eine gute Leistung erbringen zu können. Weiterhin ist die Bestimmungsmethode des „laktatfreien“ (keine deutliche Bildung von Laktat) Zeitintervalls noch nicht endgültig geklärt bzw. führen unterschiedliche Methoden zu unterschiedlichen Zeitintervallen. Dies ist problematisch, weil es erheblichen Einfluss auf die Laktatbildungsrate nimmt. In Bezug auf die Belastungszeit werden zehn Sekunden empfohlen, variierend je nach Sportart und Durchführungsmethode. Es sollte jedoch beachtet werden, dass die Belastungszeit ausreichend lang entfernt von der alaktaziden Zeit gewählt ist, aber dennoch vor Einsetzen der azidosebedingten Hemmung der Glykolyse abgeschlossen ist.

Die Durchführung verschieden langer Sprinttests und unterschiedlicher Laufrichtungen (linearer Sprint mit Richtungswechsel) zeigt eine hohe Tag-zu-Tag-Reliabilität. Die ermittelten Laktatbildungsraten sind in ihrer Höhe zwischen Feld- und Labormessungen ebenfalls konsistent.

Die Laktatbildungsrate ist ein weiterer Parameter, der unter anderem neben der maximalen Sauerstoffaufnahme und der anaeroben Schwelle eine Einschätzung über die Leistung eines Athleten geben kann. Sie stellt eine Einflussgröße dar, die Hinweise zur Leistungsoptimierung liefern kann.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Leistungssport stellt die physiologische Leistungsdiagnostik eine wichtige Untersuchung dar. Diese dient neben der Erfassung des Ist-Zustands auch der Trainingskontrolle und -steuerung. Zur Erfassung der aeroben Leistungsfähigkeit werden valide Testverfahren eingesetzt. Um die anaerobe Leistungsfähigkeit zu erfassen, werden Testverfahren im Radsport oder im Taekwondo angewandt (Hauser, 2012; Weber, 2003; Yang, 2014). Bei läuferischen Disziplinen konnte sich bisweilen noch kein anaerober Test auf der Laufbahn oder auf dem Laufband durchsetzen.

Die Studienlage zeigt, dass Margaria et al. (1966) einen Treppentest zur Erfassung der alaktaziden Leistungsfähigkeit, und Lakomy (1987) ein Testverfahren auf dem Laufband nutzt, das dem dieser Studie ähnelt. Während Lakomy (1987) dieses Verfahren vorwiegend für biomechanische Analysen anwendet, nutzen Hamilton et al. (1991) dieses auch unter Einbeziehung von physiologischen Parametern. Die Anwendung des unmotorisierten Laufbandes in Testdesigns ist etabliert, wie die aktuelle Studienlage zeigt (Bracken et al., 2012; Brooks et al., 1990; Brughelli et al., 2010, 2011; Cronin & Rumpf, 2014; De Witt et al., 2009; Greenhaff et al., 1994; Goods et al., 2014; Hamilton et al., 1991; Highton et al., 2012; Hoffman et al., 2009; Holmyard et al., 1988, 1994; Lim & Chia, 2007; Mangine et al., 2014; Manson et al., 2014; McLain et al., 2015; Nevill et al., 1989, 1993; Oliver et al., 2007; Ratel et al., 2006; Rumpf et al., 2011, 2015; Sear et al., 2010; Siegler et al., 2012; Sirotic et al., 2007, 2008; Tong et al., 2001). Dennoch werden die Studiendesigns auf dem Laufband nicht genutzt, um die anaerobe Leistungsfähigkeit zu erfassen. Ähnliches gilt auch für den Sprint im Feld, der ebenfalls seine Anwendung in der Forschung findet, jedoch nur selten zum Einsatz kommt, um die anaerobe Leistungsfähigkeit bzw. maximale Laktatbildungsrate zu determinieren (Assuncao et al., 2017; Bidaurrazaga-Letona, 2017; Krings, 2016; Nikolaidis et al., 2016; Pantoja et al., 2016).

Ziel dieser Studie war es, ein Testverfahren für Laufbahn/ Spielfeld und Laufband zu entwickeln, das die anaerobe Leistungsfähigkeit erfasst. Hierfür

wurden sowohl maximale Läufe mit verschiedenen Belastungszeiten als auch der lineare Sprint mit Richtungswechseln durchgeführt. Als Parameter der anaeroben Leistungsfähigkeit wurde die maximale Laktatbildungsrate nach Mader (1994) bestimmt.

$$V_{La_{max}} = \frac{Max_{NBLK} - R_{La}}{t_{Bel} - t_{alak}} \quad (\text{Mader, 1994})$$

Gleichung 1

$V_{La_{max}}$  = maximale Laktatbildungsrate

$Max_{NBLK}$  = maximales Nachbelastungslaktat

$R_{La}$  = Ruhelaktatwert

$t_{Bel}$  = Belastungszeit

$t_{alak}$  = alaktazide Zeit

### Studie 1:

Die Teilstudie 1 war in drei Teile (Part I-III) aufgeteilt und gliederte sich wie folgt. An Part I nahmen 25 weibliche und männliche Sportstudenten teil, die an acht Tagen jeweils drei Sprints über 8, 10, 12 oder 14 Sekunden absolvierten. Jedes Zeitintervall wurde an zwei aufeinanderfolgenden Tagen auf einer Laufbahn gelaufen. Es konnte gezeigt werden, dass das Verfahren für die Bestimmung der maximalen Laktatbildungsrate reliabel eingestuft werden kann.

Ähnlich lassen sich die Ergebnisse für Part II einstufen. Hier absolvierten 25 männliche Sportstudenten einen Zehn- oder Zwölf-Sekunden Sprint auf dem unmotorisierten Laufband an zwei aufeinanderfolgenden Tagen.

In Part III der ersten Teilstudie nahmen 23 männliche Sportstudenten teil, die je einen Zehn-Sekunden Sprint auf der Laufbahn und einen auf dem unmotorisierten Laufband durchführten. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Tests für die maximale Laktatbildungsrate aufgedeckt werden. Dies lässt darauf schließen, dass beide Tests nahezu identische Ergebnisse liefern und somit als valide gelten können.

Aufgrund der Ergebnisse der ersten Teilstudie konnten die Reliabilität und Validität für das Testverfahren zur Ermittlung der  $V_{La_{max}}$  nachgewiesen werden.

**Studie 2:**

Nachdem, aufgrund der Ergebnisse aus Teilstudie 1, das Messverfahren zur Determination der maximalen Laktatbildungsrate als reliabel und valide eingestuft werden konnte, sollte in Studie 2 dieses Verfahren bei der Leistungsbeurteilung von bestimmten Athletengruppen eingesetzt werden bzw. überprüft werden.

Am ersten Teil dieser Studie absolvierten 21 männliche und weibliche Sprinter und Ausdauerathleten an zwei aufeinanderfolgenden Tagen je einen Zehn-Sekunden Sprint auf einem unmotorisierten Laufband und nach gleicher Vorgehensweise auf der Laufbahn. Weiterhin wurde in einem weiteren Test die maximale Sauerstoffaufnahme ermittelt. Bei der Ergebnisanalyse konnte eine hohe Reliabilität festgestellt werden.

In Part II liefen 16 weibliche und männliche Sprinter und 14 weibliche und männliche Ausdauerathleten einen Sprint mit einer Dauer von 10 Sekunden auf der Laufbahn sowie auf dem Laufband. Die  $VO_{2max}$  wurde in einem weiteren Test auf dem Laufband festgestellt. Ein hoher Inter-Korrelationskoeffizient erlaubt es, das Testverfahren trotz signifikanter Differenzen als valide einzustufen. Die Gegenüberstellung von Sprintern und Ausdauerathleten unter Einbezug der maximalen Sauerstoffaufnahme verdeutlicht Unterschiede und lässt die Annahme zu, dass eine Klassifizierung von Athletentypen mithilfe der Laktatbildungsrate möglich ist.

**Studie 3:**

Am ersten Teil der dritten Teilstudie nahmen 20 männliche Fußballspieler teil, die einen linearen Sprint mit Richtungswechseln auf dem Fußballfeld und einen 12-Sekunden Sprint auf dem unmotorisierten Laufband durchführten (Part I). Beide Sprintarten wurden jeweils einmal täglich an zwei aufeinanderfolgenden Tagen ausgeführt. Eine hohe Reliabilität konnte auf Grund der Ergebnisse nachgewiesen werden.

45 männliche Fußballspieler absolvierten einen 12-Sekunden Sprint auf dem Laufband und einen linearen Sprint mit Richtungswechseln auf dem Fußballfeld (Part II). Ein hoher Korrelationskoeffizient lässt die Annahme zu, dass das Testverfahren valide ist.

Beide Teile der dritten Teilstudie inkludierten einen Test zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme. Diese Werte in Verbindung mit anderen Parametern sollten eine Leistungsbeurteilung von Athleten zulassen und unter anderem der Leistungsoptimierung dienen.

Abschließend kann festgehalten werden, dass sich das untersuchte Design zur Erfassung der anaeroben Leistungsfähigkeit sowohl als reliabel als auch - eingeschränkt - als valide charakterisieren lässt. Es kann als ein weiteres Diagnostiktool bei der Leistungsbestimmung und -optimierung eingesetzt werden. Die Entwicklung von sportartspezifischen Sprinttests zur Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit sollte dennoch weiterführend untersucht werden. Unterschiedliche Sprintzeiten für verschiedene Athletengruppen sollten dabei ebenso fokussiert werden. Hauser (2012) empfahl dies bereits auf Grundlage seiner Ergebnisse, so dass er für Sprinter eine kürzere Sprintzeit als für Marathonläufer vorschlägt. Die vorliegende Arbeit berücksichtigte dies allerdings nicht, da eine Reliabilitäts- und Validitätsüberprüfung sowie ein Gruppenvergleich auf Basis gleicher Testvoraussetzungen im Vordergrund standen. Weiterhin gilt es auch, für zukünftige Forschungsvorhaben, die Validität solcher Tests zu überprüfen, damit sie methodisch sicher im Leistungssport eingesetzt werden können.

## 8 Abstract

Physiological performance diagnostics are essential to evaluate proficiency level and provide future training direction. Reliable and valid aerobic test procedures have been developed but tests assessing the anaerobic capacity are less common. While the bicycle ergometer has been used to evaluate anaerobic capacity (Hauser 2012; Weber, 2003), the development of such tests for the treadmill is still in its infancy.

Margaria et al. (1966) introduced a “stair-test” to determine alactic capability in individuals. Lakomy (1987) developed an alternate test procedure utilising predominantly biomechanical analysis and Hamilton et al. (1991) developed this further to include other physiological parameters. This test design has been widely employed (Bracken et al., 2012; Brooks et al., 1990; Brughelli et al., 2010, 2011; De Witt et al., 2009; Greenhaff et al., 1994; Hamilton et al., 1991; Highton et al., 2012; Hoffman et al., 2009; Holmyard et al., 1988, 1994; Lim & Chia, 2007; Manson et al., 2014; Nevill et al., 1989, 1993; Oliver et al., 2007; Ratel et al., 2006; Rumpf et al., 2011; Sear et al., 2010; Siegler et al., 2012; Sirotic et al., 2007, 2008; Tong et al., 2001). In contrast, tests to determine anaerobic ability have not been widely employed (Assuncao et al., 2017; Bidaurrazaga-Letona, 2017; Krings, 2016; Nikolaidis et al., 2016; Pantoja et al., 2016).

This study aims to design a field test capable of measuring anaerobic capacity by utilising a running track, playing field or treadmill. Sprints of various time durations were conducted over a linear, and change in direction course. Maximal lactate accumulation ( $VLa_{max}$ ) was used to determine anaerobic capacity (Mader, 1994):

$$VLa_{max} = \frac{Max_{AELA} - R_{La}}{t_e - t_{alac}}$$

equation 1

$Max_{AELA}$  = maximal lactate concentration after exercise (=  $Max_{La}$ )

$R_{La}$  = resting lactate

$t_e$  = time of exercise

$t_{alac}$  = alactacid time

## Study 1

The study 1 was conducted in three parts. Part 1 involved 25 participants performing an incremental step test on a running track followed by several linear sprints with different time durations (8, 10, 12, 14 seconds) on different days. Part 2 involved participants performing a 10 or 12 second sprint run on a nonmotorized treadmill. Part 3 involved 23 athletes performing a 10 second sprint on a running track and nonmotorized treadmill on consecutive days. For all parts of study reliability for  $VLa_{max}$  was proven. There were no significant differences between both sprint tests for the  $VLa_{max}$ . These results demonstrate that both tests are reliable tools with which to assess anaerobic capacity.

## Study 2

Study 2 was divided into two parts with 21 athletes completing Part 1 and 30 Part 2. All subjects were endurance runners or sprinters. They performed an aerobic step test and an 10 second linear sprint on the running track and an additional 10 second sprint run on nonmotorized treadmill.  $VO_{2max}$  was also assessed in all athletes by expired gas analysis. In Part 1 of the study participants performed sprints once daily on two consecutive days. In Part 2 participants ran a 10 second linear sprint on both running track and nonmotorized treadmill. Results showed good reliability and validity for  $VLa_{max}$  in both Part 1 and 2 of

the study. Results from the anaerobic sprint tests and  $VO_{2max}$  were used to compare sprinters and endurance athletes. Findings suggest that maximal lactate production rate can be used to distinguish between these two types of athletes.

### **Study 3**

Study 3 was divided into two parts with 20 male soccer players participating in Part 1 and 45 players in Part 2. All subjects performed aerobic step test on a running track, a linear sprint with change in direction on a soccer playing field and a 12 second sprint run on nonmotorized treadmill and a test to determine  $VO_{2max}$  ( $VO_{2max}$  test). In Part I, participants performed both sprint tests (linear field test and treadmill test) on two consecutive days. In Part 2, participants performed the change in direction field sprint and the 12 second treadmill test. Results showed high reliability for  $LPR_{max}$  with both tests. The high correlation coefficients identified also support the validity of testing procedures.

Assessment of  $VO_{2max}$  in combination with other parameters like  $VLa_{max}$  allows coaches and other professionals to assess the performance capacity of individual athletes which in turn directs future training. The field tests developed in this study to assess anaerobic capacity were proven reliable but further research is required to determine their true validity.

---

## Literaturverzeichnis

- Andrade, V.L., Zarate, A., Kalva-Filho, C.A., Mendes, O.C., Gobatto, C.A., Campos, E.Z. & Papoti, M. (2015). Running-based anaerobic sprint test as a procedure to evaluate anaerobic power. *International Journal of Sports Medicine* 36, 1156-1162.
- Assunção, A.R., Bottaro, M., Cardoso, E.A., Ferraz, M., Vieira, C.A., & Gentil, P. (2017). Effects of a low-volume plyometric training in anaerobic performance of adolescent athletes. *The Journal of sports medicine and physical fitness*.
- Barmeyer, J. (1998). *Das kardiologische Gutachten. Anleitung zur differenzierten Begutachtung bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Bidaurrazaga-Letona, I., Lekue, J. A., Amado, M., & Gil, S. M. (2017). Progression in youth soccer: selection and identification in youth soccer players aged 13-15 years. *The Journal of Strength & Conditioning Research*.
- Bleicher, A. (1997). *Ein mehrfaktorieller Interpretationsansatz zur Entwicklung und Trainierbarkeit der Dauerleistungsfähigkeit bei 10-bis 16jährigen Jungen*. Deutsche Sporthochschule Köln, unveröfftl. Dissertation.
- Bonen, A. (2000). Lactate transporters (MCT proteins) in heart and skeletal muscles. *Medicine and Science in Sports Exercise* 32, 778-789.
- Bracken, R.M., Page, R., Gray, B., Kilduff, L.P., West, D.J., Stephens, J.W., & Bain, S.C. (2012). Isomaltulose improves glycemia and maintains run performance in type 1 diabetes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44, 800-808.
- Brooks, G.A. (1985). Anaerobic threshold: Review of the concept and directions for future research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17, 22-34.
- Brooks, G.A. (2000). Intra- and extra-cellular lactate shuttles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 790-799.
- Brooks, S., Nevill, M.E., Meleagros, L., Lakomy, H.K.A., Hall, G.M., Bloom, S.R., & Williams, C. (1990). The hormonal responses to repetitive brief maximal exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60(2), 144-148.
- Brughelli, M., Cronin, J., Mendiguchia, J., Kinsella, D. & Nosaka, K. (2010). Contralateral leg deficits in kinetic and kinematic variables during running in Australian rules football players with previous hamstring injuries. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24, 2539-2544.

- 
- Brughelli, M., Cronin, J., & Chaouachi, A. (2011). Effects of running velocity on running kinetics and kinematics. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25, 933-939.
- Care Fusion (2009). *Leistungsumfang Oxycon Mobile. Technische Spezifikation*. Zugriff am 23. Juni 2012 unter [http://www.carefusion.com/pdf/Respiratory/CPET\\_-\\_Metabolic\\_Carts/Oxycon\\_Mobile\\_Specifications\\_DE.pdf](http://www.carefusion.com/pdf/Respiratory/CPET_-_Metabolic_Carts/Oxycon_Mobile_Specifications_DE.pdf)
- Coen, B., Urhausen, A., Coen, G. & Kindermann, W. (1998). Der Fußball-Score: Bewertung der körperlichen Fitness. *gut*, 140, 120.
- Costill, D.L., Daniels, J., Evans, W., Fink, W., Krahenbuhl, G., & Saltin, B. (1976). Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *Journal of Applied Physiology*, 40(2), 149-154.
- Cronin, J.B., & Rumpf, M.C. (2014). Effect of four different step detection thresholds on nonmotorized treadmill sprint measurement. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(10), 2996-3000.
- de Aguiar, R.A., Lisbôa, F.D., Turnes, T., de Oliveira Cruz, R.S. & Caputo, F. (2015). The effects of different training backgrounds on VO<sub>2</sub> responses to all-out and supramaximal constant-velocity running bouts. *PloS one*, 10(8), e0133785.
- De Marées, H. (2003). *Sportphysiologie* (9. Aufl.). Köln: Sportverlag Strauß.
- De Witt, J.K., Lee, S.M., Wilson, C.A. & Hagan, R.D. (2009). Determinants of time to fatigue during nonmotorized treadmill exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23, 883-890.
- Draper, S.B., & Wood, D.M. (2005). The oxygen uptake response of sprint-vs. endurance-trained runners to severe intensity running. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 8(2), 233-243.
- Faude, O., Schlumberger, A., Fritsche, T., Treff, G. & Meyer, T. (2010). Leistungsdiagnostische Testverfahren im Fußball—methodische Standards. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 61(6), 129-133.
- Franke, J. (2004). *Experimentelle Ermittlung und computergestützte Berechnung des maximalen Laktat-Steady-State, der maximalen Sauerstoffaufnahme und der maximalen Laktatbildungsrate im Laufen*. Deutsche Sporthochschule Köln, Diplomarbeit.
- Franke, J. & Platen, P. (2008). *Ausdauertraining in Spielsportarten: Entwicklung und Evaluation von sportartspezifischen, intensiven Ausdauertrainingsprogrammen* (S. 51-55). Bonn: BISp-Jahrbuch – Forschungsförderung 2007/08.

- 
- Franke, J. (2011). *Ausdauertraining in ausgewählten Sportspielen*. Ruhr-Universität Bochum, Dissertation.
- Frische, M., & Maassen, N. (2004). *Die Wirkung eines hochintensiven, intervallartigen Trainings auf die Leistungsfähigkeit bei Sprint-Dauerbelastung und auf die Regenerationfähigkeit* (S. 141-148). Bonn: BISp-Jahrbuch – Forschungsförderung 2004.
- Gastin P.B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine* 31, 725-741.
- Gibson, A.S.C., Lambert, M.I., Hawley, J.A., Broomhead, S.A. & Noakes, T.D. (1999). Measurement of maximal oxygen uptake from two different laboratory protocols in runners and squash players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(8), 1226-1229.
- Glassen, L.B. (2004). Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *The Journal of Physiology*, 558, 5-30.
- Gollnick, P.D., Armstrong, R.B., Saubert, C.W., Piehl, K. & Saltin, B. (1972). Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *Enzyme*.
- Goods, P. S., Dawson, B. T., Landers, G. J., Gore, C. J., & Peeling, P. (2014). Effect of different simulated altitudes on repeat-sprint performance in team-sport athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(5), 857-862.
- Green, S., Dawson, B. T., Goodman, C., & Carey, M. F. (1996). Anaerobic ATP production and accumulated O<sub>2</sub> deficit in cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(3), 315-321.
- Greenhaff, P.L., Nevill, M.E., Soderlund, K., Bodin, K., Boobis, L.H., Williams, C. & Hultman, E. (1994). The metabolic responses of human type I and II muscle fibres during maximal treadmill sprinting. *The Journal of Physiology*, 478, 149-155.
- Haas, H.J. (2016). Schnittstelle zum Leistungssport. *Sportphysio*, 4(04), 151-158.
- Hamilton, A.L., Nevill, M.E., Brooks, S. & Williams, C. (1991) Physiological responses to maximal intermittent exercise: differences between endurance-trained runners and games players. *Journal of Sports Sciences*, 9, 371-382.
- Hauser, T. (2012). *Untersuchungen zur Validität und Praktikabilität des mathematisch bestimmten maximalen Laktat-steady-states bei radergometrischen Belastungen*. Technische Universität Chemnitz, Dissertation.
- Heck, H. (1991). *Laktat in der Leistungsdiagnostik*. Schorndorf: Hofmann.

- 
- Heck, H. & Schulz, H. (2002). Methoden der anaeroben Leistungsdiagnostik. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53(7-8), 202-212.
- Heck H., Schulz, H., & Bartmus, U. (2003). Diagnostics of anaerobic power and capacity. *European Journal of Sport Science* 3, 1-23.
- Heck, H. (2006). Muskuläre Energiestoffwechsel und sportliche Aktivität. *Blickpunkt der Mann*, 4(4), 23-28.
- Hellwig, T., Liesen, H., Mader, A. & Hollmann, W. (1988). Möglichkeiten einer sprint-spezifischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung mit Hilfe der Blutlaktatkonzentration. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 39, 392-406.
- Hermsdorf, M., Spiegel, S., Knoll, K., Ehrig, A., & Hartmann, U. (2011) *Entwicklung eines energetisch orientierten Anforderungsprofils im Eiskunstlaufen*. Bonn: BISp-Jahrbuch – Forschungsförderung 2010/11.
- Highton, J.M., Lamb, K.L., Twist, C., & Nicholas, C. (2012). The reliability and validity of short-distance sprint performance assessed on a nonmotorized treadmill. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26, 458-465.
- Hoffman, J.R., Ratamess, N.A., Neese, K.L., Ross, R.E., Kang, J., Magrelli, J.F., & Faigenbaum, A.D. (2009). Physical performance characteristics in National Collegiate Athletic Association Division III champion female lacrosse athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23, 1524-1529.
- Hofmann, P. (2009). Belastungsuntersuchungen und Protokolle. In R. Pokan, W. Benzer, H. Gabriel, P. Hofmann, E. Kunschitz, K. Mayr, G. Samitz, K. Schindler, M. Wonisch (Hrsg.). *Kompendium der kardiologischen Prävention und Rehabilitation*. Wien: Springer, 191-195.
- Holmyard, D.J., Cheetham, M.E., Lakomy, H.K.A. & Williams, C. (1988). Effect of recovery duration on performance during multiple treadmill sprints. In T. Reilly, A. Lees, K. Davids & W.J. Murphy (Hrsg.). *Science and Football*. London: E & FN Spon, 134-142.
- Holmyard, D.J., Nevill, M.E., Lakomy, H.K.A. & Santana Pereira, J. (1994). Recovery of power output after maximal treadmill sprinting. *Journal of Sports Sciences*, 12, 140.
- Hottenrott, K. & Neumann, G. (2013). *Trainingswissenschaft: ein Lehrbuch in 14 Lektionen* (Vol. 7). Meyer & Meyer Verlag.
- Impellizzeri, F.M., Rampinini, E., Castagna, C., Bishop, D., Ferrari Bravo, D., Tibaudi, A., & Wisloff, U. (2008). Validity of a repeated-sprint test for football. *International Journal of Sports Medicine*, 29(11), 899.

- 
- Jenkins, D.G., & Quigley, B.M. (1991). The y-intercept of the critical power function as a measure of anaerobic work capacity. *Ergonomics*, 34(1), 13-22.
- Keir, D.A., Thériault, F. & Serresse, O. (2013). Evaluation of the running-based anaerobic sprint test as a measure of repeated sprint ability in collegiate-level soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27, 1671-1678.
- Krings, B.M., Rountree, J.A., McAllister, M.J., Cummings, P.M., Peterson, T.J., Fountain, B.J., & Smith, J.W. (2016). Effects of acute carbohydrate ingestion on anaerobic exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 13(1), 40.
- Krogh, A., & Lindhard, J. (1920). The changes in respiration at the transition from work to rest. *The Journal of Physiology*, 53(6), 431-439.
- Kindermann, W. (1985). Laufbandergometrie zur Leistungsdiagnostik im Spitzensport. In I.-W. Franz, H. Mellerowicz & W. Noack (Hrsg.), *Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt/Training and Sport for Prevention and Rehabilitation in the Technicized Environment* (S. 68-80). Berlin: Springer.
- Kindermann, W. (2006). Gesundheit und Leistung im Profifußball. *Deutsches Ärzteblatt*, 103, 1605-1610.
- Krzysztof, M. & Mero, A. (2013). A kinematics analysis of three best 100 m performances ever. *Journal of Human Kinetics*, 36(1), 149-160.
- Lakomy, H.K.A. (1987). The use of a non-motorized treadmill for analysing sprint performance. *Ergonomics*, 30(4), 627-637.
- Lang, F., & Lang, P. (2007). Arbeits- und Leistungsphysiologie. *Basiswissen Physiologie*, 139-148.
- Lim, J.M., & Chia, M.Y. (2007). Reliability of power output derived from the nonmotorized treadmill test. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21, 993-996.
- Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Philippi, H., Rost, R., & Schürch, P. & Hollmann, W.(1976). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt und Sportmedizin*, 27, 80-112.
- Mader, A. (1984). *Eine Theorie zur Berechnung der Dynamik und des steady state von Phosphorylierungszustand und Stoffwechselaktivität der Muskelzelle als Folge des Energiebedarfs*. Deutsche Sporthochschule, Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin, Habilitationsschrift.

- 
- Mader, A. (1994). Energiestoffwechselregulation, Erweiterungen des theoretischen Konzepts und seiner Begründungen - Nachweis der praktischen Nützlichkeit der Simulation des Energiestoffwechsels. In A. Mader & H. Allmer (Hrsg.), *Computer-simulation. Möglichkeiten zur Theoriebildung und Ergebnisinterpretation. Brennpunkte der Sportwissenschaft*, 8, 124-162.
- Mader A. (2003). Glycolysis and oxidative phosphorylation as a function of cytosolic phosphorylation state and power output of the muscle cell. *European Journal of Applied Physiology* 88, 317-338.
- Mader, A., & Heck, H. (1986). A theory of the metabolic origin of "anaerobic threshold". *International Journal of Sports Medicine*, 7, S45-S65.
- Mader, A. & Heck, H. (1991). Möglichkeiten und Aufgaben in der Forschung und Praxis der Humanleistungsphysiologie. *Spectrum der Wissenschaft*, 3, 25-54.
- Mangine, G. T., Hoffman, J. R., Gonzalez, A. M., Wells, A. J., Townsend, J. R., Jajtner, A. R., ... & Stout, J. R. (2014). Speed, force, and power values produced from nonmotorized treadmill test are related to sprinting performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28, 1812-1819.
- Manson, S.A., Brughelli, M., & Harris, N.K. (2014). Physiological characteristics of international female soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28, 308-318.
- Margaria, R., Aghemo, P. & Rovelli, E. (1966). Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *Journal of Applied Physiology*, 21, 1662-1664.
- Margaria, R. (1982). *Energiequellen der Muskelarbeit, Biomechanik der menschlichen Bewegung*. G. Gerber (Ed.). Barth.
- Mayhew, J.L. & Gross, P.M. (1975). Comparison of grade-incremented versus speed-incremented maximal exercise tests in trained men. *British Journal of Sports Medicine*, 9(4), 191.
- McLain, T. A., Wright, G. A., Camic, C. L., Kovacs, A. J., Hegge, J. M., & Brice, G. A. (2015). Development of an Anaerobic Sprint Running Test Using a Nonmotorized Treadmill. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29, 2197-2204.
- Meckel, Y., Gottlieb, R., & Eliakim, A. (2009). Repeated sprint tests in young basketball players at different game stages. *European Journal of Applied Physiology* 107, 273-279.
- Medbø, J. I., Mohn, A. C., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O., & Sejersted, O. M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *Journal of Applied Physiology*, 64(1), 50-60.

- 
- Meyer, F.J., Borst, M.M., Buschmann, H.C., Ewert, R., Friedmann-Bette, B., Ochmann, U., et al. (2013). Belastungsuntersuchung in der Pneumologie. Empfehlungen der deutschen Gessellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V.. *Thieme Verlagsgruppe*, 67, 16-34.
- Michalsik, L.B., Madsen, K., & Aagaard, P. (2015). Physiological capacity and physical testing in male elite team handball. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 55(5), 415-29.
- Monod, H. & Scherrer, J. (1965). Work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*, 8, 329-338.
- Moosburger, K.A. (2006). Die muskuläre Energiebereitstellung im Sport. *SPORTMAGAZIN* 11: 95-103.
- Morcillo, J.A., Jiménez-Reyes, P., Cuadrado-Peñañiel, V., Lozano, E., Ortega-Becerra, M., & Párraga, J. (2015). Relationships Between Repeated Sprint Ability, Mechanical Parameters, and Blood Metabolites in Professional Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 29, 1673-1682.
- Mühling, M. (2013). *Dynamik der Blutlaktatkonzentration, metabolische und mechanische Leistung beim Wingate Anaerobic Test*. Medizinische Fakultät Charité-Universitätsmedizin Berlin, Dissertation.
- Nevill, M.E., Boobis, L.H., Brooks, S. & Williams, C. (1989). Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *Journal of Applied Physiology*, 67, 2376-2382.
- Nevill, M.E., Williams, C., Roper, D., Slater, C., & Nevill, A.M. (1993). Effect of diet on performance during recovery from intermittent sprint exercise. *Journal of Sports Sciences*, 11(2), 119-126.
- Nikolaidis, P.T., Meletakos, P., Tasiopoulos, I., Kostoulas, I., & Ganavias, P. (2016). Acute Responses to 10× 15 m Repeated Sprint Ability Exercise in Adolescent Athletes: the Role of Change of Direction and Sport Specialization. *Asian journal of sports medicine*, 7(2).
- Oliver, J.L., Armstrong, N. & Williams, C.A. (2009). Relationship between brief and prolonged repeated sprint ability. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 238-243.
- Pantoja, P.D., De Villarreal, E.S., Brisswalter, J., Peyré-Tartaruga, L.A., & Morin, J.B. (2016). Sprint acceleration mechanics in master athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48, 2469-2476.

- 
- Pokan, R., Schwaberg, G., Hofmann, P., Eber, B., Toplak, H., Gasser, R., et al. (1995). Effects of treadmill exercise protocol with constant and ascending grade on levelling-off O<sub>2</sub> uptake and VO<sub>2</sub>max. *International Journal of Sports Medicine*, 16(04), 238-242.
- Prampero, P. (1981). Energetics of muscular exercise. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, 89, 143-222.
- Ratel, S., Williams, C.A., Oliver, J. & Armstrong, N. (2006). Effects of age and recovery duration on performance during multiple treadmill sprints. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 1-8.
- Röcker, K. & Dickhuth, H.H. (2001). Praxis der Laktatmessung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 52, 33-34.
- Rumpf, M.C., Cronin, J.B., Oliver, J.L. & Hughes, M. (2011). Assessing youth sprint ability-methodological issues, reliability and performance data. *Pediatric Exercise Science*, 23, 442-67.
- Rumpf, M.C., Cronin, J.B., Oliver, J., & Hughes, M. (2015). Kinematics and kinetics of maximum running speed in youth across maturity. *Pediatric Exercise Science*, 27(2), 277-284.
- Scherbaum, S. & Rudolf, M. (2014). Kriteriumvalidität. Zugriff am 12. September 2014 unter <http://elearning.tu-dresden.de/versuchsplanung/e35/e234/e249/>.
- Schmidt, R. F. & Lang, F. (2007). *Physiologie des Menschen*. 30. Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Schnabel, G., Harre, D., & Krug, J. (2011). *Trainingslehre–Trainingswissenschaft* (2. aktualisierte Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Schnabel, A. & Kindermann, W. (1983). Assessment of anaerobic capacity in runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 52(1), 42-46.
- Schurr, S. (2003). *Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Ausdauersport*. Norderstedt: Books on Demand.
- Sear, J.A., Hoare, T.K., Scanlan, A.T., Abt, G.A. & Dascombe, B.J. (2010). The effects of whole-body compression garments on prolonged high-intensity intermittent exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24, 1901-1910.
- Siegler, J.C., Marshall, P.W., Bray, J. & Towlson, C. (2012). Sodium bicarbonate supplementation and ingestion timing: does it matter?. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26, 1953-1958.

- 
- Sirotic, A.C., & Coutts, A.J. (2007). Physiological and performance test correlates of prolonged, high-intensity, intermittent running performance in moderately trained women team sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21, 138-144.
- Sirotic, A.C., & Coutts, A.J. (2008). The reliability of physiological and performance measures during simulated team-sport running on a non-motorised treadmill. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11, 500-509.
- Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B., & Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities. *Sports Medicine* 35, 1025-1044.
- Spencer, M., Fitzsimons, M., Dawson, B., Bishop, D. & Goodman, C. (2006). Reliability of a repeated-sprint test for field-hockey. *Journal of science and Medicine in Sport*, 9, 181-184.
- Spriet, L. (1995). Anaerobic Metabolism During High-Intensity Exercise. In: M. Hargreaves (Hrsg.): *Exercise Metabolism*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1-40.
- Stangier, C., Abel, T., Mierau, J., Hollmann, W., & Strüder, H.K. (2016). Effects of Cycling Versus Running Training on Sprint and Endurance Capacity in Inline Speed Skating. *Journal of Sports Science and Medicine* , 15, 41-49.
- Stapelfeldt, B. (2001). Muskuläre Koordination von Eliteradfahrern im Stufentest auf dem SRM-Ergometer. *Wettbewerb zur Förderung von Nachwuchswissenschaftlern–Ergebnisband der prämierten Arbeiten*. Köln: Sport und Buch Strauß.
- Svennson, M. & Drust, B (2005). Testing soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 23, 601-618.
- Tong, R.J., Bell, W., Ball, G. & Winter, E.M. (2001). Reliability of power output measurements during repeated treadmill sprinting in rugby players. *Journal of Sports Sciences*, 19, 289-297.
- Taylor, H.L., Buskirk, E. & Henschel, A. (1955). Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *Journal of Applied Physiology*, 8(1), 73-80.
- Wawer, C. (2014). *Untersuchungen zur Validität und Reliabilität eines neuen Testverfahrens zur Bestimmung der anaeroben Kapazität mittels kraftsensorischer Leistungserfassung auf dem Laufband*. Deutsche Sporthochschule Köln, Masterarbeit.
- Weber, S. (2003). *Berechnung leistungsbestimmender Parameter der metabolischen Aktivität auf zellulärer Ebene mittels fahrradergometrischer Untersuchungen*. Deutsche Sporthochschule Köln, Diplomarbeit.

- 
- Weil, M. (2003). *Trainingsplanung, Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung beim Marathonlauf. Ein Fallbeispiel*. Zugriff am 22. August 2014 unter <http://www.grin.com/de/e-book/30400/trainingsplanung-leistungsdiagnostik-und-trainingssteuerung-beim-marathonlauf>.
- Weineck, J. (2004). *Optimales Fußballtraining. Das Konditionstraining des Fußballspielers*. Balingen: Spitta.
- Wolfarth, B., Hildebrand, D., Dickhuth, H. H., & Keul, J. (1987). Zur Bedeutung der langfristigen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Mittelstreckenbereich. In H. Rieckert (Hrsg.) *Sportmedizin—Kursbestimmung* (S. 991-994). Berlin: Springer.
- WOODWAY GmbH (2014). *Leistungssport. Pro Serie*. Zugriff am 20. August 2014 unter <http://www.woodway.de/performancetreadmills/proseries.html>.
- Yang, W.H., Grau, M., Kim, P., Schmitz, A., Heine, O., Bloch, W. & Mester, J. (2014). Physiological and psychological performance of taekwondo athletes is more affected by rapid than by gradual weight reduction. *Archives of Budo*, 10, 169-177.
- Zeppenfeld, O. (2001). *Einfluß der maximalen Laktatbildungsrate auf die Sprint- und Ausdauerleistungsfähigkeit in Sportspielen*. Deutsche Sporthochschule Köln, Diplomarbeit.

## LEBENS LAUF VON CORINNA WAWER

### Persönliche Daten

Geburtstag: 05.08.1987  
Geburtsort: Siegburg  
Staatsangehörigkeit: deutsch

### Ausbildung

03/2015- 09/2018

#### **Promotionsstudium zur Erlangung des Doktors der Sportwissenschaft an der Deutschen Sporthochschule Köln**

- Arbeitstitel: Untersuchungen zur Validität und Reliabilität sportartspezifischer Testverfahren zur Bestimmung der anaeroben Kapazität

10/2012- 02/2015

#### **Master- Studium an der Deutschen Sporthochschule Köln**

- Studium „Exercise Science and Coaching“ (Abschlussnote: 1,8)
- Master Arbeit: Untersuchungen zur Validität und Reliabilität eines neuen Testverfahrens zur Bestimmung der anaeroben Kapazität mittels kraftsensorischer Leistungserfassung auf dem Laufband (inkl. Studie) (Note: 1,8)

### Praxiserfahrung

seit 04/2018

#### **Mitarbeiterin am Olympiastützpunkt Hamburg/ Schleswig Holstein, Hamburg**

- Trainingswissenschaftlerin/ physiologische Leistungsdiagnostik

10/2016-03/2017

#### **Mitarbeiterin an der ACT Academy of Sport (ACTAS), Australien**

- Unterstützung des Teams im Bereich der physiologischen und biomechanischen Leistungsdiagnostik, speziell im Rudern
- Betreuung und Unterstützung des Ruderteams im Training und bei Wettkämpfen

seit 03/2012

#### **Freie Mitarbeiterin am Olympiastützpunkt Rheinland, Köln**

- Mitarbeit im Bereich der physiologischen Leistungsdiagnostik
- Laktatkonzentrationsanalysen, Spiroergometrie, Fettmessberechnung, Sprinttests, Feldstufentests
- Auswertung der Tests bzw. Analysen; Trainingsplanung
- Durchführung kleiner Forschungsprojekte

## Publikationen

2017

Kongress des European College of Sport Science

DETERMINATION OF ANAEROBIC CAPACITY - Reliability and Validity of Sprint Running Tests (E-Poster Präsentation)  
Corinna Wawer, Woo-Hwi Yang, Oliver Heine, Hans-Georg Predel

## Engagement

2008- 2009

### **Jugendtrainerin beim Braunschweiger Tennis- und Hockey Club e.V**

- Vorbereitung und Durchführung der Trainingseinheiten zweier Jugendmannschaften (Mädchen B und Weibliche Jugend B)
- Betreuung der Mannschaften bei den Meisterschaftsspielen
- Schiedsrichter bei Meisterschaftsspielen anderer Mannschaften

2003- 2008

### **Jugendtrainerin beim Hockey Club Bad Honnef e.V.**

- Vorbereitung und Durchführung der Trainingseinheiten zweier Jugendmannschaften (Mädchen A und Weibliche Jugend B)
- Organisation der Meisterschaftsspiele
- Betreuung der Mannschaften bei den Meisterschaftsspielen
- Schiedsrichter bei Meisterschaftsspielen anderer Mannschaften

## Auslandsaufenthalte

10/2016- 04/2017

**Canberra, Australien (Praktikum/Mitarbeiterfunktion)**

## Sonstige Kompetenzen

Sprachkenntnisse

**Englisch**, fließend in Wort & Schrift  
**Latein (Latinum)**

Lizenzen

**C-Lizenz im Leistungssport Hockey, 2006-2014 (Deutscher Hockey Bund)**

Köln, den 12.09.2018