



Kristian Sučec (Autor)

**Verhalten von Herzfrequenz, Laktatkonzentration  
und der subjektiven Belastungsempfindung beim  
vergleichenden Feldstufentest Tretroller vs. Tri-  
Scooter, Fahrrad vs. Swing- Bike und Laufen vs.  
Kangoo-Boots bei gesunden männlichen Probanden**

Würzburger Beiträge zur Sportwissenschaft  
Band 11

Kristian Sučec

Verhalten von Herzfrequenz, Laktatkonzentration  
und der subjektiven Belastungsempfindung beim  
vergleichenden Feldstufentest  
Tretroller vs. Tri-Scooter, Fahrrad vs. Swing-  
Bike und Laufen vs. Kangoo-Boots bei gesunden  
männlichen Probanden



Cuvillier Verlag Göttingen  
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7730>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# 1 Einleitung und Fragestellung

Die vorliegende Dissertation untersucht empirisch die Unterschiede zwischen konventionellen und dem „Fun“-Sport zuzuordnenden Fortbewegungsmethoden in den physiologischen Belastungsparametern, wie das Blutlaktat und die Herzfrequenz, und die Validität der Borg Skala insbesondere als Steuerungsmaß für die körperliche Belastung im Zusammenhang im Rahmen von Feldstufentests. Zudem werden potentielle Unterschiede der subjektiven Belastungsempfindung nach Borg (Borg, 2004, 1998, 1970; Borg & Noble, 1974), hinsichtlich der Möglichkeit einer Verzerrung im Rahmen der koordinativen Herausforderung nach Hotz (1992) untersucht. Dieser Dissertationsschrift liegen Daten eines vergleichenden Feldstufentests mit sechs Fortbewegungsmethoden bei 30 wiederkehrenden, männlichen und gesunden Probanden zugrunde.

Im direkten Vergleich stehen konventionelle Fortbewegungsmethoden, wie das Fahrradfahren, Laufen und Tretrollerfahren, den korrespondierenden dem „Fun“-Sport zuzuordnenden Fortbewegungsmethoden (Swing-Bike, Laufen in Kangoo-Boots, Tri-Scooter fahren) gegenüber. Innerhalb von sechs Monaten wurden die Messdaten im Rahmen mehrerer Feldstufentests für die einzelnen Fortbewegungsmethoden erhoben, welche durchgehend von allen 30 Probanden für jede Fortbewegungsmethode durchgeführt wurden. Die Probandengruppe war während der Messphasen durchgehend homogen bzw. mit den gleichen Probanden besetzt, so dass eine Vergleichbarkeit über alle Fortbewegungsmethoden gewährleistet wurde.

Im Mittelpunkt stehen Vergleichsanalysen der erhobenen physiologischen Mittelwerte der Belastungsparameter, sowie die der subjektiven Belastungsempfindung (nach Borg) pro Belastungsstufe. Die Analyse erfolgt im direkten Vergleich der artverwandten Fortbewegungsmethoden, im Sinne eines Vergleichs zwischen konventionellem Sport und „Fun“-Sport.

In einer statistischen Überprüfung werden potentielle Mittelwertabweichungen der Herzfrequenz-, Blutlaktatwerte und die der subjektiven Belastungsempfindung über die Vergleichspaare mittels einer ANOVA über alle Belastungsstufen hinweg statistisch überprüft. In der Zusammensetzung des Pools an Fortbewegungsmethoden konnte bereits in Vorfeld davon ausgegangen werden, dass die Belastungswerte wie beispielsweise Fahrradfahren und Laufen aufgrund der unterschiedlichen körperlichen Belastungsform und der unterschiedlichen Anzahl an Belastungsstufen auseinandergehen. Ein

Vergleichsschwerpunkt zwischen den verwandten Fortbewegungsmethoden liegt demnach sehr nahe.

Daraus ergibt sich die Fragestellung, ob **signifikante Unterschiede in den physiologischen Belastungsparametern zwischen dem konventionellen Sport und dem korrespondierenden „Fun“-Sport bestehen?**

Die zu prüfenden Nullhypothesen sehen folgendermaßen aus:

**ANOVA der Herzfrequenzwerte zwischen den korrespondierenden Fortbewegungsmethoden:**

$$\begin{aligned} H_0: \quad \mu_{HF\_Fahrrad} &= \mu_{HF\_Swing\ Bike} \\ \mu_{HF\_Tretroller} &= \mu_{HF\_TriScooter} \\ \mu_{HF\_Laufen} &= \mu_{HF\_Kangoo} \end{aligned}$$

**ANOVA der Laktatwerte zwischen den korrespondierenden Fortbewegungsmethoden:**

$$\begin{aligned} H_0: \quad \mu_{Laktat\_Fahrrad} &= \mu_{Laktat\_Swing\ Bike} \\ \mu_{Laktat\_Tretroller} &= \mu_{Laktat\_TriScooter} \\ \mu_{Laktat\_Laufen} &= \mu_{Laktat\_Kangoo} \end{aligned}$$

Im Zusammenhang mit der subjektiven Belastungsempfindung (Borg Skala) der individuellen Probanden stellt der Verfasser dieser Dissertationsschrift die Annahme, dass bei gleicher physiologischer Belastung (Laktatkonzentration und Herzfrequenz) das Anstrengungsempfinden der Probanden bei den Tests mit erhöhten Gleichgewichts- und auch Gleit- und Rollanforderungen im Vergleich geringer ausfällt und / oder die subjektive Belastungsempfindung sich signifikant konträr im Vergleich zu den korrespondierenden höheren physiologischen Belastungsparametern verhält. Der aus den erhöhten koordinativen Anforderungen resultierende Spaßfaktor u.a. durch Rollen und Gleiten während der Bewegung hat der Annahme nach eine verzerrende Auswirkung auf die subjektive Belastungsempfindung.

Die zweite Frage geht auf die Bedeutung der subjektiven Belastungsempfindung der Probanden und deren Wahrnehmung der Belastung ein: **Bestehen signifikante Unterschiede in der Wahrnehmung der Belastung zwischen dem konventionellen Sport und korrespondierenden „Fun“-Sport unter Berücksichtigung der koordinativen Herausforderungen im „Fun“-Sport?**

## **ANOVA der RPE-Werte der korrespondierenden Fortbewegungsmethode:**

$$\begin{aligned} H_0: \quad \mu_{RPE\_Fahrrad} &= \mu_{RPE\_Swing\ Bike} \\ \mu_{RPE\_Tretroller} &= \mu_{RPE\_TriScooter} \\ \mu_{RPE\_Laufen} &= \mu_{RPE\_Kangoo} \end{aligned}$$

In der Literatur besteht die Evidenz, dass die subjektive Belastungsempfindung ein valides Maß zur Steuerung von Belastungen ist (u.a. Dunbar et al, 1994; Dunbar et al, 1992; Whaley et al., 1990). Diese empirischen Feststellungen werden im Rahmen dieser Dissertation hinsichtlich ihrer Allgemeingültigkeit hinsichtlich für Feldstufentests und in dieser Arbeit zugrunde liegenden konventionellen und dem „Fun“-Sport zuzuordnenden Fortbewegungsmethoden überprüft. Hauptsächlich wird die Herzfrequenz als Referenzmaß zur Steuerung der Belastung mit Unterstützung der Borg Skala verwendet, um die Validität dieses Sachverhalts zu überprüfen (Löllgen, 2004). Die einfache Struktur der Borg Skala, mit der eine einfache Multiplikation des Skalenwerts mit 10 einen direkten Vergleich zur tatsächlichen Herzfrequenz herstellt (Borg, 2004), wird verwendet, um die Validität der Beziehung zwischen Herzfrequenz und der subjektiven Belastungsempfindung im Rahmen von Feldstufentests zu überprüfen. Die dritte Frage prüft, ob **signifikante Unterschiede zwischen den tatsächlichen Herzfrequenzen und den adjustierten subjektiven Belastungsempfindungen bestehen?**

Die  $H_0$ -Hypothesen lauten:

## **ANOVA der zwischen den Herzfrequenzwerten und den adjustierten Werten der subjektiven Belastungsempfindungen pro Fortbewegungsmethoden:**

$$\begin{aligned} H_0: \quad \mu_{HF\_Fahrrad} &= \mu_{RPE\_Fahrrad} \\ \mu_{HF\_Swing\ Bike} &= \mu_{RPE\_Swing\ Bike} \\ \mu_{HF\_Tretroller} &= \mu_{RPE\_Tretroller} \\ \mu_{HF\_TriScooter} &= \mu_{RPE\_TriScooter} \\ \mu_{HF\_Laufen} &= \mu_{RPE\_Laufen} \\ \mu_{HF\_Kangoo} &= \mu_{RPE\_Kangoo} \end{aligned}$$

## 2 Belastungsparameter

### 2.1 *Blutlaktat als Messparameter*

#### 2.1.1 Historie

Ende des 18. Jahrhunderts entdeckte der schwedische Chemiker Carl Wilhelm Scheele die Milchsäure als Bestandteil der Kuhmilch (Scheele, 1786/1966). Durch Tierversuche Anfang und Ende des 19. Jahrhunderts konnten in der Folge Zusammenhänge zwischen der Bildung von Laktat und der körperlichen Leistung u.a. durch Berzelius (Dunsch, 1986) und eine korrelierende Beziehung zwischen Sauerstoffgehalt und Laktatkonzentration (Akira, 1891) festgestellt werden. Hill et al. (1924) weisen in ihren Ergebnissen eine begrenzte Sauerstoffaufnahme bei zunehmender Belastung mit zunehmender Laktatkonzentration nach und dessen Abbau in den Erholungsphase, entsprechend der vorangegangenen Belastungsphase. Diese Erkenntnis, dass die begrenzte Sauerstoffaufnahme als limitierender Faktor für die Energiezufuhr des Muskelstoffwechsels dient, galt als Meilenstein und Basis für die weitere Erforschung des Muskelstoffwechsels. Zudem beschrieben Cori & Cori (1929) in ihren Ergebnissen, dass Laktat als wertvoller Intermediärstoff zur Bildung von Glykogen in der Leber verwendet wird. Margaria et al. (1933) prägten in ihren Ergebnissen die Begriffe des laktaziden und alaktaziden Stoffwechsels. Sie beschreiben, dass der aerobe Stoffwechsel ab einer bestimmten körperlichen Leistung nicht mehr ausreicht und durch einen anaeroben Stoffwechsel abgelöst wird, welcher sehr stark mit der Laktatbildung korreliert. In den Erholungsphasen wird zudem ein schnellerer Abbau von Laktat bei trainierten Probanden beobachtet.

Adenosintriphosphat (ATP) als unmittelbare Energiequelle für den Muskelstoffwechsel (Muskelkontraktion) und Kreatinphosphat als wesentlicher Teil der ATP-Synthese wurden durch Lohmann (1929, 1931 & 1934) bereits früh in der Geschichte beschrieben, welches entgegen der Annahme war, dass Laktat direkter Energielieferant für Muskelkontraktionen ist (Hill, 1913). Cain und Davies (1962) bewiesen durch Unterdrückung der ATP-Re-Synthese durch Kreatinphosphat, dass die ATP-Konzentration in der Muskulatur nach Muskelkontraktionen sich wesentlich reduziert.

In der Folge prägten Wassermann und McIlroy (1964) und Wassermann et al. (1973) mit ihren Ergebnissen den Begriff der anaeroben Schwelle, welches das Sauerstoffaufnahmeniveau beschreibt, kurz bevor es zu metabolischen Azidosen und

signifikanten Änderungen im Gasaustausch im Körper kommt. Dieses Verständnis unterscheidet sich von der durch Mader et al. (1976) definierten aeroben-anaeroben Schwelle, welches durch den Anstieg der Laktatkonzentration im peripheren Blut auf 4 mmol/l definiert:

„Der Bereich des Übergangs zwischen der rein aeroben zur partiell anaeroben, laktazid gedeckten muskulären Energiestoffwechselleistung wird als aerob-anaerobe Schwelle der Arbeitsmuskulatur unter den gegebenen Belastungsbedingungen bezeichnet. Dieser Bereich eignet sich zur Charakterisierung der Ausdauerleistungsfähigkeit, wenn man das Maximum der rein aerob abgedeckten energetischen Leistung mit dieser gleichsetzt. Die aerob-anaerobe Schwelle wird - wie bei allen biologischen Prozessen – nicht abrupt, sondern gleitend überschritten. Als Kriterium zur Erfassung der aerob-anaeroben Schwelle bei spiroergometrischen Untersuchungen kann der Anstieg des Laktats auf 4 mmol/l im peripheren Blut, zum Beispiel bei stufenweiser Belastungssteigerung, gewertet werden.“

Mader et al. (1976) erkennen in der Verwendung der Laktatschwelle einen Ansatz zur individuellen Trainingssteuerung, welcher in der Folge von weiteren Wissenschaftlern, wie Stegmann und Kindermann (1981), Keul et al. (1979) oder Simon et al. (1981) modifiziert angewendet wurde.

Neben der Bestimmung der individuellen Leistungsschwelle mit Hilfe des Blutlaktats entwickelten sich während dieser Zeit die Hypothese und die Annahme, dass Laktat nicht nur ein Produkt mangelnder Sauerstoffzufuhr im Muskelstoffwechsel ist, sondern auch durchgehend unter aeroben Begebenheiten produziert und auch zum Energieträger in der Skelettmuskulatur oxidiert wird. Brooks (1985) beschreibt erstmals die „lactate shuttle“ Hypothese, den Austausch des Laktats zunächst zwischen den Zellen (interzellulär) und in der Folge intrazellulär (Brooks et al., 1999a & 1999b), welches den Laktatmetabolismus begründet. Diese Annahme wird u.a. damit begründet, dass bei moderaten Belastungen die Laktatkonzentration sich umkehren kann und somit eine Reduktion der Laktatkonzentration zu beobachten ist (Gladden, 1996). Darüber hinaus zeigten Kreisberg et al. (1970), dass nach Verabreichung kohlenhydratreicher Nahrung nach Hungerphasen bei Probanden die Laktatkonzentration anstieg und Laktat demnach auch als Substratlieferant interpretiert werden kann.

### 2.1.2 Blutlaktat im Muskelstoffwechsel

Das Blutlaktat ist das Produkt der anaeroben Glykolyse, welches aufgrund der erhöhten Laktatkonzentrationen in Zellen, des Laktataustauschs zwischen Zellen und Geweben und der Laktatverwertung an den Blutkreislauf abgegeben wird. Energielieferant für die Mitochondrien in der Muskulatur ist das Adenosintriphosphat (ATP), welches nicht in der Größenordnung vorhanden ist, damit eine dauernde Kontraktion der Muskulatur möglich ist. Entsprechend der Stoffwechselbeanspruchung können die Muskeln auf vier verschiedene Stoffwechselprozesse der Energiegewinnung zurückgreifen, um ATP zu produzieren bzw. zu resynthetisieren:

- Oxidation von Fettsäuren
- Oxidation von Kohlenhydraten
- Anaerobe Glykolyse
- Hydrolyse von Kreatinphosphat

Zu den aeroben Stoffwechselprozessen gehören die Oxidation von Fettsäuren und die von Kohlenhydraten. Bei der Oxidation von Kohlenhydraten und Fettsäuren wird Sauerstoff ( $O_2$ ) benötigt, daher spricht man von einer aeroben Energiebereitstellung. In beiden Prozessen werden Kohlenhydrate bzw. Fettsäuren unter  $O_2$ -Zufuhr im Zitratzyklus zu Wasser ( $H_2O$ ) und Kohlendioxid ( $CO_2$ ) verstoffwechselt und liefern ATP, den Energielieferanten für Muskelkontraktionen.

Als anaerober Stoffwechselprozess ist die Hydrolyse von Kreatinphosphat (Kreatinkinase) einzuordnen. Der gesamte Prozess läuft gänzlich ohne  $O_2$ -Zufuhr ab und verwertet die kleinen Kreatinreserven zu einem weiteren Phosphat zur Ergänzung des Adenosindiphosphats (ADP) im Zytoplasma der Muskelzellen, so dass dann nach 20 Sekunden maximaler Intensität die Reserven aufgebraucht sind. Dadurch, dass während dieses Stoffwechsels kein Laktat produziert wird, spricht man von einer anaeroben alaktaziden Energiebereitstellung. Wenn der vorhandene Sauerstoff nicht für die Oxidation von Fettsäuren und Kohlenhydraten ausreicht und die Kreatinreserven unter anaeroben Bedingungen aufgebraucht sind, um den notwendigen Energiebedarf zu decken, stellt sich der Muskelstoffwechsel auf die anaerobe Glykolyse um (Boutellier & Ulmer, 2005).

Im Rahmen der aeroben und anaeroben Glykolyse wird Glucose zu Pyruvat abgebaut. Das Pyruvat ist wesentlicher Bestandteil des Zitratzyklus der Mitochondrien und somit der aeroben Oxidation. Es wird über die Phosphatdehydrogenase zur Essigsäure umgewandelt

und zu CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O oxidiert. Die Energieausbeute bei aeroben Verhältnissen aus dem Zitratzyklus und der Atmungskette beträgt 36 mol ATP / mol Glucose. In anaeroben Begebenheiten akkumuliert das Pyruvat aufgrund des Sauerstoffmangels im Zitratzyklus und kann ebenda nicht oxidiert werden. Das überschüssige Pyruvat wird zu Laktat und NAD<sup>+</sup> reduziert. Letzteres wird in der Glykolysekette verwendet, welches neben einer geringen Energieausbeute in Höhe von 2 mol ATP / mol Glucose wiederholt Pyruvat als Endprodukt hat (de Marées, 2003).

Das überschüssige Laktat kann zwischen Zellen und verschiedenen Geweben über den Blutkreislauf ausgetauscht werden und dient bei hohen Stoffwechselaktivitäten als primäres Substrat der mitochondrialen Energiegewinnung. In Erholungsphasen wird im Rahmen der Glukoneogenese hauptsächlich in der Leber, aber auch in den Nieren und der Herzmuskulatur Laktat in Glykogen zurückgeführt. Mit Hilfe dieses sogenannten Cori-Zyklus wird Glukose als Energielieferant dem Stoffwechsel zur Verfügung gestellt (Boutellier & Ulmer, 2005). Ein erhöhter Laktatwert dient als Indikator für eine Sauerstoffunterversorgung der Zellen (u.a. Kruse et al., 1990).

Die Mitochondrien sind der limitierende Faktor bei der Sauerstoffaufnahme in der Muskulatur. Je nach Trainingszustand gibt es signifikante Unterschiede im Volumen und der Anzahl der Mitochondrien zwischen trainierten und untrainierten Personen. Demnach besteht ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen der Mitochondriendichte und der Sauerstoffaufnahme (Hoppeler et al., 1973 & Howald, 1976).

Zusammengefasst entspricht die jeweilige Energiebereitstellung den nachfolgenden Kerngrößen (nach Boutellier & Spengler, 1999):

<b>Substrat</b>	<b>Endprodukt</b>	<b>Dauer</b>	<b>Distanz</b>
<b>Kreatinphosphat</b>	Kreatin + Phosphat	10 – 20 sec	100 m
<b>Glykogen</b>	Laktat	4 Min	1500 m
<b>Glykogen + O<sub>2</sub></b>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	100 Min	30 km
<b>Fett + O<sub>2</sub></b>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	Tage	> 100 km

**Tabelle 1 – Energiebilanz ausgewählter Substrate**

Neben der körperlichen Beanspruchungen könne unter anderem,

- Lebererkrankungen
- Alkohol-Zufuhr
- Hypoxie

eine erhöhte Laktatkonzentration im Blut bewirken, was mit einer Störung der Laktatverwertung einhergehen kann (Scherbaum & Martin, 2006).

Zudem hängt die Laktatkonzentration von Faktoren wie dem Geschlecht, Lebensalter, Tagesablauf, Leistungsfähigkeit sowie dem Entnahmeort ab (u.a. Biedler et al., 1999).

### **2.1.3 Laktatschwellenkonzepte**

Mader et al. (1976) legten mit ihrer Publikation wesentliche neue Standards in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik fest. Die Ergebnisse dieser Arbeit definierten eine aerobe-anaerobe Laktatschwelle bei 4 mmol/l, dem Übergangsbereich der aeroben zur partiell anaeroben Energiebereitstellung für den Muskelstoffwechsel, was aus einem stufenförmigen Belastungsschema auf dem Laufband bei einer Dauer von fünf Minuten hervorging. Aus den Beobachtungen dieser Tests geht hervor, dass die Belastungsintensität bei einem Laktatniveau von 4 mmol/l über einen längeren Zeitraum toleriert werden kann, ohne dass ein signifikanter Anstieg der Laktatkonzentration folgt.

Zudem verfassten Mader et al. (1976) anhand der definierten Laktatschwelle Empfehlungen für das Lauftraining. So sollten intensive Laufbelastungen oberhalb der Laktatschwelle erfolgen, extensives Ausdauertraining (Streckenlänge fünf bis acht Kilometer) und intensive Dauerlaufleistungen (Streckenlängen drei bis fünf Kilometer) unterhalb der Schwelle bzw. im Bereich der Schwelle.

Diese pauschale Vorgabe, unabhängig vom Trainingszustand des Individuums, konnte in der Folge nur von Individuen mit geringer Ausdauerleistungsfähigkeit umgesetzt und toleriert werden (Beneke et al., 2011). Dagegen waren Individuen mit hoher Ausdauerleistungsfähigkeit im Rahmen dieser Trainingssteuerung überlastet bzw. die vorgegebenen Belastungsintensitäten finden bei Hochleistungsathleten wenig Berücksichtigung in der Trainingssteuerung (Seiler & Kjerland, 2006; Seiler & Tonnessen, 2009). Die zugrundeliegende Vermutung, dass die aerobe-anaerobe-Laktatschwelle mit der individuellen Ausdauer kaum korreliert, wurde in vielen weiteren Schwellenkonzepten, im Rahmen von individuellen Schwellenkonzepten, berücksichtigt.

Keul et al. (1979) definierten daher eine individuelle anaerobe Schwelle anhand der Krümmung der Laktatbelastungskurve, da diese für jedes Individuum unterschiedlich gekrümmt und somit diese individuell zu bestimmen ist. Im Rahmen der Laktatleistungskurvenanalyse definierten Keul et al (1979) den Punkt als individuelle anaerobe Schwelle, welcher einer Tangentensteigung von 1,26 mmol/l pro km/h entspricht.

Dickhuth et al. (1988) definieren aus ihren Trainingsbeobachtungen eine individuelle anaerobe Schwelle, welche durch die Addition von 1,5 mmol / l Laktat auf das Basislaktat bestimmt wird. Diese Methode setzt an die individuelle anaerobe Laktatschwelle nach Simon (1986) an, der die individuelle anaerobe Schwelle um 1,5 mmol Laktat oberhalb des ersten Laktatanstiegs im moderaten Belastungsbereich sieht.

In einer Studie mit Athleten bestimmten Stegmann et al. (1981a) die individuelle anaerobe Schwelle als Gleichgewicht zwischen der maximalen Eliminations- und Diffusionsrate des Blutlaktats, wobei die Annahme besteht, dass die Eliminationsrate nach ihrem Maximum konstant bleibt.

Zusammengefasst lassen sich die Laktatschwellenkonzepte in drei Kategorien untergliedern (Heck & Beneke, 2008):

- Schwellen, die vermutlich im Rahmen von Trainingskontrollen bestimmt worden sind (u.a. Dickhuth et al., 1988)
- Konzepte, welche den ersten Laktatanstieg in der Belastungskurve kennzeichnen (u.a. Davis et al., 1983)
- Laktatschwellen, die den maximalen-Laktat-Steady-State (MLSS) bestimmen sollen (u.a. Keul et al., 1979)

Zunächst sind die einzelnen Herangehensweisen plausibel, eindeutig und auch leicht zu interpretieren, dennoch bestehen Kritiken an der Bestimmung der aerob-anaeroben Laktatschwellen. de Marées (2004) und Heck & Beneke (2008) kritisieren die mangelnden Standards bzw. Normierungen bei der Umsetzung der Tests zur Bestimmung der Schwellen. de Marées (2004) hebt die unterschiedlichen Stufendauern und Belastungsanstiege der Belastungsstufen hervor, wie auch bspw. die differierenden Steigungswinkel und Laufeigenschaften, die zu unterschiedlichen Werten führen können. Zudem kritisiert de Marées (2004) den fehlenden sportartspezifischen Bezug der Tests und die Schlussfolgerungen der Laborergebnisse auf die sportartspezifischen Feldsituationen, wobei neben den fehlenden Witterungsbedingungen (Luftfeuchtigkeit, Temperatur etc.) auch die unterschiedlichen Untergrundbelege wesentliche Auslöser dieser Diskussion sind. Eine sportartspezifische Durchführung der Tests zur Begründung der Laktatleistungsdiagnostik im Labor oder im Feld wird daher empfohlen (Raschka et al., 2016).

## ***2.2 Herzfrequenz als Messparameter***

### **2.2.1 Anatomische Grundstruktur und physiologische Eigenschaften des Herzens**

„Das Herz ist ein muskuläres Hohlorgan, das zur Blutförderung in den Kreislauf eingeschaltet ist“ (Schiebler et al., 2008). In der Regel entspricht das Herz ungefähr der Größe einer geschlossenen Faust. Bei einem Gewicht von 250 – 300 g, einem Schlagvolumen von 80 ml und einer Pulsfrequenz von 70 Schlägen pro Minute werden innerhalb von 24 Stunden ca. 7500 l Blut durch das Herz ausgeworfen und durch den Körper transportiert.

Im wesentlichen wird das Herz in zwei Hälften unterteilt: eine, die dem Körperkreislauf (linke Hälfte) und eine, die dem Lungenkreislauf (rechte Hälfte) zugeordnet ist. Eine Scheidewand, das Septum cordis, trennt die zwei Hälften. Jede Hälfte besteht jeweils aus zwei Hohlräumen:

- linker Vorhof (Atrium sinistrum)
- linke Kammer (Ventriculus sinister)
- rechter Vorhof (Atrium dextrum)
- rechte Kammer (Ventriculus dexter)

Die Scheidewand zwischen den beiden Vorhöfen und Kammern wird durch das Septum interatriale bzw. Septum interventriculare unterschieden. Aufgrund des Saug- und Druckmechanismus des Herzens gelangt das venöse Blut von den Organen in den rechten Vorhof über die rechte Kammer in die Lunge. In der Lunge wird das Blut mit Sauerstoff angereichert und gelangt zunächst über den linken Vorhof und anschließend über die linke Kammer in die Aorta und somit zu allen Organen. Die Kammern und Vorhöfe sind anatomisch so angeordnet, dass die Kammern unterhalb und die Vorhöfe entsprechend oberhalb der Atrio-Ventricular-Ebene liegen. Zwischen Vorhof und Kammer verhindern Herzklappen den Rückstrom des Blutes in die vorgelagerten Ebenen und geben somit die Flußrichtung des Blutes an. Neben den sogenannten Atrioventrikularklappen verhindern an den Ausgängen der linken und rechten Herzkammer die Aortenklappe bzw. die Pulmonalklappe den Rückstrom des Blutes aus der Aorta bzw. aus der Lunge.

Unter dem Begriff der Herzwand versteht man insgesamt vier Ebenen der anatomischen Struktur des Herzens. Die äußerste Ebene, das Pericard, umschließt das gesamte Herz in