

---

## **Prädiktiver Wert physiologischer und biomechanischer Testverfahren zur Differenzierung leistungsbestimmender Faktoren im Radsport**

Björn Stapelfeldt<sup>1</sup>, David Lohmüller<sup>1</sup>, Andreas Schmid<sup>2</sup>, Kai Röcker<sup>2</sup>,  
Olaf Schumacher<sup>2</sup> & Albert Gollhofer<sup>1</sup> (Projektleiter)

<sup>1</sup> Universität Freiburg, Institut für Sport und Sportwissenschaft

<sup>2</sup> Universitätsklinik Freiburg, Abteilung für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin

### **1 Problemstellung**

Das wichtigste Ziel der Leistungsdiagnostik im Spitzensport ist die quantitative Beurteilung der motorischen Leistungsfähigkeit. Trainer und Athleten benötigen auf wissenschaftlicher Basis gründende Hilfestellungen, um Training gezielt gestalten und Prognosen über Wettkampfcancen erstellen zu können. Hierzu sind Testverfahren notwendig, die auch das messen, was sie vorgeben zu messen und dabei im Idealfall die leistungsbestimmenden Faktoren einer Sportart erfassen. Speziell die Laboruntersuchungen im Radsport bieten optimale Voraussetzungen im Hinblick auf die Erfüllung der Gütekriterien von Messverfahren.

Die Fragestellung dieser Studie beschäftigt sich direkt mit dem Anwendungsfeld der Leistungsdiagnostik im Radsport, genauer gesagt mit der Problematik der externen Validierung von leistungsdiagnostischen Testverfahren. Es wurde untersucht, inwieweit die Ergebnisse aus Laboruntersuchungen in Zusammenhang mit erbrachten Wettkampfleistungen stehen, oder stichhaltiger formuliert, welchen prädiktiven Wert leistungsdiagnostische Testverfahren im Radsport in Bezug auf die Wettkampfleistung haben. Es geht also nicht um die Frage, welche konditionellen Fähigkeiten durch die Tests genau gemessen werden und welche physiologischen Korrelate sich zum Zweck der Trainingssteuerung daraus ergeben, sondern um die Frage, welche Zeiten und Platzierungen anhand der Testreihen vorhergesagt werden können. Ziel ist es, hierdurch Hilfestellung bei der Wettkampfvorbereitung und bei Auswahlentscheidungen anbieten zu können.

### **2 Methoden**

Es wurden sechs Labortests und drei Feldtests innerhalb von zwei Wochen durchgeführt. Die Labortests wurden ebenso wie die Feldtests an zwei aufeinander folgenden Tagen absolviert.

### *Labortests*

Folgende Tests kamen im Labor zum Einsatz:

#### *Stufentest*

Der Stufentest (ST) wird auf dem SRM-Ergometer im belastungsabhängigen Betrieb bei einer Belastungserhöhung von 20W und einer Stufendauer von drei Minuten gefahren. Der Beginn erfolgt für die Männer bei 100W. Dieses Verfahren hat sich in Kombination mit der Schwellenbestimmung nach Berg et al. (1990) für Elitefahrer als hinreichend genau und ökonomisch erwiesen (Stockhausen et al., 1994).

#### *VO<sub>2</sub>max-Test*

Der VO<sub>2</sub>max-Test zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme wird ebenfalls auf dem SRM-Ergometer im belastungsabhängigen Betrieb durchgeführt. Nach einer sechsminütigen Einfahrphase beginnt der Test als Rampentest mit 150 Watt mit einer Steigerung von 10 Watt nach jeweils 10 Sekunden. Es wird eine Belastungszeit zwischen 3 und 10 Minuten angestrebt.

#### *Drehmomenttest*

Der Drehmomenttest (DT) ermittelt im isokinetischen Modus des SRM-Ergometers in fünf Versuchen mit verschiedenen Trittfrequenzen (50, 70, 90, 110, 130 U/min) die maximale Leistung (P) in Watt (Mittelwert über 6 sec.). Die Abstände zwischen den Trittfrequenzen sind mit 20 U/min konstant. Es wird jeweils 10 Sekunden belastet, während derer der Proband maximal treten soll. Während der Pausen von 3,5 Minuten pedaliert der Proband frei im Leerlauf.

#### *Plateau-Leistungs-Test*

Der wiederum im isokinetischen Modus durchgeführte Test dauert 75 s bei einer Trittfrequenz von 90 U/min. Aufgabe des Athleten ist es, gegen den Widerstand des Ergometers von Beginn an mit maximaler Leistung zu fahren und diese bis zum Ende so hoch wie möglich zu halten.

#### *Schnelligkeitstest (Frequenztest)*

Der Frequenztest bestimmt die zyklische Schnelligkeit auf dem Fahrrad. Der Test findet ebenfalls auf dem SRM-Ergometer statt. Um eine Versuchsbedingung mit geringen äußeren Widerständen auf dem Ergometer zu schaffen, muss die Bremsleistung auf Null gesetzt werden – das Ergometer arbeitet im „Leerlauf“. Ebenso muss die Schwungmasse möglichst gering gehalten werden. Der Test wird daher auf einem Ergometer ohne

Schwungmasse durchgeführt. Der Athlet soll in mehreren Versuchen maximal schnell treten.

### *Isometrischer Maximalkrattest*

Das Freiburger Beinstreckkraft-Messgerät ist einer so genannten Bein-Pressen ähnlich. Hinsichtlich der radsportspezifischen Muskelaktionsformen wurde für die Studie lediglich die unilaterale, isometrische Komponente erfasst. Der Versuch wurde liegend durchgeführt. Dabei sind das Knie- und Hüftgelenk des zu messenden Beines abgewinkelt, während das ruhende Bein gerade ausgestreckt bleibt. Bei der Studie wurde ein radsporttypischer Kniewinkel von 90° gewählt.

### *Feldtests*

Um die Wettkampfleistung disziplinnah zu standardisieren, sollte ein Feldtestverfahren gewählt werden, welches die entscheidenden Anforderungen in Straßenrennen berücksichtigt. Es wurden daher sowohl ein Zeitfahren in der Ebene als auch am Berg durchgeführt.

Bei den Feldtests benutzten die Probanden ihre eigenen Rennräder. Diese wurden im Vorfeld zum einen mit einem mobilen SRM-System und zum anderen mit standardisierten Aero-Laufrädern (Citec) ausgestattet. Die Leistung des SRM Systems wurde im Sekundenintervall erfasst. Für das Zeitfahren in der Ebene wurden die Räder zusätzlich mit Zeitfahraufsätzen (Syntace) ausgerüstet.

Folgende Tests kamen im Feld zum Einsatz:

#### *Zeitfahren in der Ebene*

Das Zeitfahren in der Ebene wurde auf einem 14,7 km langen Streckenabschnitt einer öffentlichen Straße ausgetragen. Die Strecke zeichnet sich durch einen extrem flachen und geraden Verlauf aus. Die Probanden hatten die Aufgabe, die Zeitfahrstrecke mit maximal möglicher Leistung gleichmäßig zu durchfahren. Die Übersetzungswahl war dabei freigestellt.

#### *Bergzeitfahren*

Das Bergzeitfahren wurde auf einer 5,19 km langen Steigung durchgeführt. Die Steigung war nicht gleichmäßig sondern wies steilere und flachere Streckenabschnitte auf. Im Schnitt betrug sie 7,19% auf 372 Höhenmetern. Auf den letzten Kilometern war sie zudem sehr kurvenreich und mit mehreren Spitzkehren versehen. Aufgabe der Probanden war es, mit maximal möglicher Leistung die Bergzeitfahrstrecke zu bestreiten. Die Übersetzungswahl war dabei freigestellt.

*Probanden*

N = 17 Freizeitfahrer: keine Wettkämpfe in den vorausgehenden zwei Jahren, Trainingsvolumen < 5.000 km/Jahr, eigenes Straßenrad

N = 10 Amateurfahrer: A-C-Lizenz, Trainingsvolumen > 10.000 km/Jahr

N = 7 Elite- und Profifahrer: A-C-Kader, GSI-GSII-Lizenz.

*Messgeräte, Parameter & Statistik*

Folgende Messgeräte und (Rohdaten-)Parameter wurden verwendet: SRM-System [Leistung (W), Herzfrequenz (S/min), Geschwindigkeit (km/h), Strecke (m), Trittfrequenz (U/min)]; METAMAX II [Atemgase]; EKF Biosen [Laktat (mmol/l)]; BKM [Beinstreckkraft (N)]; Kistler [Körpergewicht (N)]. Aus den Rohdaten wurden durch Mittelwert- und Quotientenbildung verschiedene herkömmliche, aber auch neue Parameter berechnet, die in der Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Athleten bedeutsam sein könnten. Diese wurden einer schrittweisen multiplen Regressionsanalyse mit den Laborparametern als unabhängigen Variablen und den (jeweils singulären) Feldtestparametern als abhängiger Variable zugeführt.

**3 Ergebnisse**

Zur Vorhersage der Durchschnittsgeschwindigkeit im Bergzeitfahren (BZF\_km/h) eignet sich die  $VO_2$ \_kj\_rel (gewichtsbezogene, geleistete Arbeit bis zum Abbruch des  $VO_2$ max-Tests) am besten. Sie erklärt bereits 82,39 % der Varianz des Zielparameters. Die **DT\_110\_5s\_abs** (Durchschnittliche Leistung über 5sek bei 110 U/min im Drehmomenttest) erhöht diese Varianz auf einen Vorhersagewert von 88,18%, und die **ST\_PiaS%max** (Proz. Verhältnis der Leistung an der iaS zur max. Leistung im Stufentest) auf 93,62% (N = 26 ohne Profis, messtechnisch bedingt). Die verbleibenden Parameter, die in die folgende Regressionsgleichung aufgenommen wurden, können diese nur noch geringfügig steigern:

$$\mathbf{BZF\_km/h} = 19,71 + 4,53 * \mathbf{VO_2\_kj\_rel} - 0,006 * \mathbf{DT\_110\_5s\_abs} - 0,11 * \mathbf{ST\_PiaS\%max\_abs} + 0,015 * \mathbf{ST\_P\_iaS\_abs} + 0,003 * \mathbf{DT\_50\_5s\_abs}.$$

Bei der Betrachtung der Durchschnittsgeschwindigkeit des **Einzelzeitfahrens** (EZF\_km/h) aller Probanden (inkl. Profis) wird ebenfalls die relative Leistung an der iaS (**ST\_P\_iaS\_rel**) für die Vorhersage in die Regression aufgenommen. Sie erklärt hier jedoch nur noch 33% der Varianz des Zielparameters. Die Hinzunahme der absoluten

maximalen Sauerstoffaufnahme ( $VO_2\text{max\_abs}$ ) erhöht die Vorhersage nochmals auf 42 %. Es ergibt sich folgende Regressionsgerade:

$$EZF\text{ km/h} = 29,67 + 1,75 * ST\_PiaS\_rel - 0,0009 * VO_2\text{max\_abs}.$$

#### 4 Diskussion

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass trotz der geringen Probandenanzahl dennoch inhaltlich gut begründbare und nachvollziehbare Ergebnisse vorhanden sind. So stellen die entscheidenden Einflussgrößen für die Vorhersagbarkeit der Wettkampfleistung anhand von Laboruntersuchungen zum großen Teil die typischen Kennwerte der klassischen Leistungsdiagnostik.

Dies sind allen voran Parameter aus dem Test zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme, die auch bekannt ist als das Bruttokriterium der aeroben Ausdauerfähigkeit. In diesem Rampentest sind aber neben der aeroben Ausdauerfähigkeit auch laktazide Anteile der Energierbereitstellung relevant, was damit auch die dominante Rolle dieses Tests im Hinblick auf die Vorhersagbarkeit von Zeitfahren erklärt. Schließlich kommt es im Wettkampf neben einer guten Grundlagenausdauer auch auf eine gute Laktatmobilisierungsfähigkeit und -pufferung an. Die Leistung an der individuellen anaeroben Schwelle aus dem Stufentest ist eine weitere klassische Kenngröße, der eine Bedeutung zukommt.

Der  $VO_2\text{max}$ -Test und der Stufentest werden maßgeblich durch Kennwerte des Drehmomenttests und somit durch Komponenten wie Maximalkraft und radspezifische Koordination ergänzt.

Die Kenngrößen der folgenden Labortests sind demzufolge besonders aussagekräftig:

- $VO_2\text{max}$ -Test
- Stufentest
- Drehmomenttest

Besonders hervorzuheben ist hierbei der Parameter  $VO_2\text{kj}$  (geleistete Arbeit bis zum Abbruch des  $VO_2\text{max}$ -Tests), der in fast allen Analysen die zentrale Größe darstellt. Das Bemerkenswerte an diesem Parameter ist die Tatsache, dass er relativ unaufwendig erhoben werden kann, zumal es eine rein mechanische Kenngröße ist. Man braucht für dessen Erhebung also weder einen invasiven Eingriff, noch aufwendige medizinische Geräte, lediglich ein bremsbares Ergometer mit entsprechendem Rampenprotokoll.

Trotz  $n = 33$  ist als größtes Defizit für die Auswertung der Daten in dieser Arbeit jedoch immer noch die zu geringe Probandenzahl zu nennen, weshalb die vorliegenden Regressionsanalysen auch am ehesten als erste Tendenzen anzusehen sind, wie man Wettkampf-

leistung vorhersagen könnte. Durch eine Erhöhung der Probandenzahl könnten einerseits die Erkenntnisse aus dem statistischen Verfahren der multiplen Regressionsanalyse besser generalisierbar und stichhaltiger gemacht werden, andererseits könnte über einen Vergleich der Korrelation innerhalb größerer Einzelgruppen mit der Korrelation der Gesamtgruppe der Einfluss des Probandenniveaus auf den Zusammenhang zwischen den Labor- und den Feldtests überprüft werden.

Zudem sollten in Folgestudien Test- und Retest-Anordnungen sowie eine Kreuzvalidierung durchgeführt werden, um die Absicherung der Erkenntnisse hinsichtlich der Gütekriterien der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik zu gewährleisten.

## 5 Literatur

- Berg, A., Jakob, E., Lehmann, M., Dickhuth, H. H., Huber, G. & Keul, J. (1990). Aktuelle Aspekte der modernen Ergometrie. *Pneumologie*, 44, 2-13.
- Stockhausen, W., Maier, J., Tinsel, J., Deus, U., Lychatz, S. & Keul, J. (1994). [Lactate kinetic and performance testing in cycling]. In D. Clasing, H. Weicker & D. Böning (Hrsg.), *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik* (S. 71-79). Stuttgart; Jena; New York: Gustav Fischer.