

# Moderne Leistungsdiagnostik

Einsatz der Spiroergometrie in  
Sport und universitärer Ausbildung

Irina Kalentjeva – Mountainbikerin  
(Bronze in Peking 2009, 1. WM 2007,  
3. WM 2008, 2. WM 2010)

Prof. Dr. Kuno Hottenrott,  
Institut für Leistungsdiagnostik und Gesundheitsförderung (ILUG®)  
an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

**Die Spiroergometrie ist ein unverzichtbares Assessment-Tool der modernen Leistungsdiagnostik in Sportmedizin und Trainingswissenschaft. Mit der Spiroergometrie lassen sich qualitativ und quantitativ die Reaktionen von Herz, Kreislauf, Atmung und Stoffwechsel in Ruhe und während muskulärer Arbeit beurteilen.**

Über die kontinuierliche Messung des Volumens sowie der Sauerstoff- und Kohlendioxidfraktion der ein- und ausgeatmeten Luft lassen sich differenzierte Aussagen zur Funktionskapazität des Atemsystems, Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit des Sportlers ableiten.

Die Anwendungsfelder der Spiroergometrie sind vielfältig und reichen vom Hochleistungssport, Breiten- und Fitnesssport über Gesundheits- und Rehabilitationssport bis hin zu speziellen Indikationen. Interessant und bedeutsam ist die Spiroergometrie auch in der studentischen Ausbildung, um Theorie und Praxis eng miteinander zu verzahnen und den Studierenden ein besseres Gefühl und Verständnis im Umgang mit dynamisch erhobenen biologischen Messwerten zu vermitteln. Mit leistungs- und ernährungsphysiologischem Grundlagenwissen in Verbindung mit trainings- und bewegungswissenschaftlichen Kompetenzen können Studierende vom breiten Spektrum der Spirometrie profitieren. Nachfolgend wird aufgezeigt, welche Möglichkeiten die Spiroergometrie zur Beratung von Sportlern bzw. im Einsatz bei studentischen Projektveranstaltungen bietet.

**Energieumsatzmessung in Ruhe und unter Belastung**

Die Bestimmung des Ruheumsatzes über die Atemgasanalyse ist ein valides Verfahren. Abweichend von den Standardvorgaben aus der Physiologie wird der Ruheumsatz bei der Spiroergometrie im Sitzen oder halbliegend über eine Dauer von 5 min gemessen, in der sich die ventilationsbezogenen Größen Sauerstoffaufnahme, Kohlendioxidabgabe und respiratorischer Quotient in einem stabilen Zustand befinden. Der Test sollte nach einer Nahrungskarenz von mehreren Stunden ohne körperliche Vorbelastung bei Indifferenztemperatur durchgeführt werden (Abb. 1).

Aus den gewonnenen Daten können Aussagen über den Fett- und Kohlenhydratstoffwechsel getroffen sowie Empfehlungen für eine Optimierung von Training und Nahrungsaufnahme für Sportler und chronisch kranke Menschen abgeleitet werden.

Der Energieumsatz kann auch während der Belastung beispielsweise im Rahmen eines Stufentests auf dem Fahrrad, Laufband oder anderen Ergometern bestimmt werden.

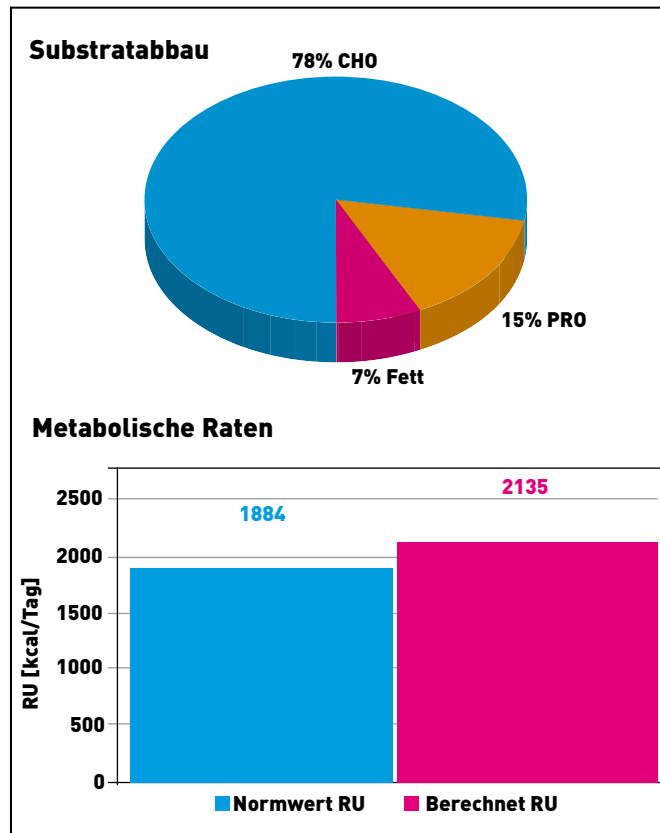


Abb. 1: Substratabbau und Ruheumsatz bei einem 23-jährigen Sportsportler (68,5 kg) im Sitzen. Im Vergleich zum Normalwert ist der Ruheumsatz um ca. 13% erhöht. In Ruhe dominiert der Kohlenhydratstoffwechsel, der durch ein Ausdauertraining und einer veränderten Ernährung zu Gunsten des Fettstoffwechsel beeinflusst werden kann.

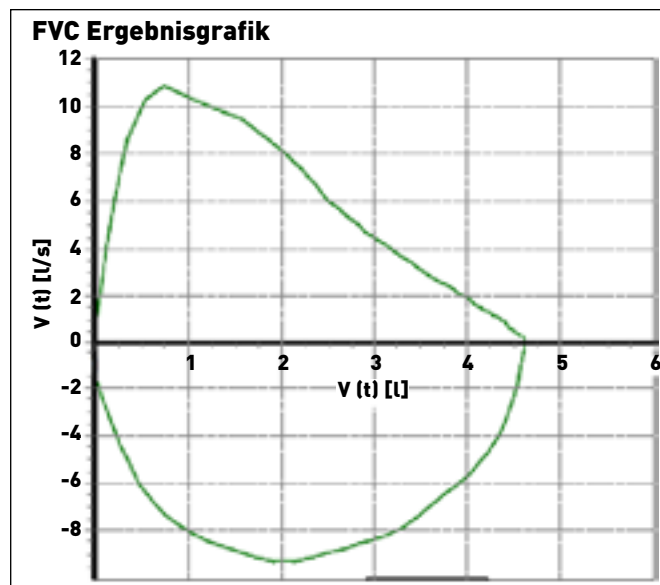


Abb. 2: Fluss-Volumen-Kurve eines gesunden 30-jährigen Kampfsportlers (KH 172 cm) vor dem Belastungstest. Aus dem Verlauf der Fluss-Volumen-Kurve lassen sich Rückschlüsse auf spezifische Einschränkungen und Erkrankungen der Lungenfunktion ziehen (z.B. Asthma bronchiale, Lungenemphysem, Restriktion). Sportler erfahren aus dem Test, ob die Lungenfunktion ein leistungslimitierendes Kriterium bildet und die Atemmechanik durch spezielle Trainingsformen Leistungsreserven bietet.



## Kuno Hottenrott

- Professor für Trainingswissenschaft an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- Direktor des Department Sportwissenschaft und Leiter des Instituts für Leistungsdiagnostik und Gesundheitsförderung ([www.ilug.de](http://www.ilug.de))

### network

- Umfassende Monografien zum Ausdauersport; aktuell erschienen ist beim Meyer & Meyer Verlag das Buch „Trainingswissenschaft- Ein Lehrbuch in 14 Lektionen“
- Vizepräsident der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft (dvs)

### Lungenfunktionstest

Die dynamische Lungenfunktionsprüfung über die Expiration liefert differenzierte Aussagen zur Leistungsfähigkeit und Funktionalität des Atemsystems. Der Test ist leicht erlernbar. Die Beurteilung der Ergebnisse setzt physiologische Kenntnisse und Erfahrungen voraus (Abb. 2).

Testablauf: Der Sportler führt vor Testbeginn 3 ruhige Atemzüge durch. Beim dritten Atemzug atmet er langsam und mit maximaler Expirationstiefe aus. Im Anschluss erfolgt eine schnelle maximale Inspiration, gefolgt von einer forcierten maximalen Expiration. Für die dynamische Lungenfunktionsmessung liegen größen-, geschlechts- und altersabhängige Normwerte vor.

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

Die relative maximale Sauerstoffaufnahme ist ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit bei Sportlern, Nicht-Sportlern und chronisch kranken Menschen.

Die Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>max) setzt ein adäquates Testprotokoll und spezielle

Ergometer voraus. Bislang wurde für die Bestimmung der VO<sub>2</sub>max ein Rampentest über eine Dauer von 8–12 min bis zur Ausbelastung zugrunde gelegt. Nach aktueller Studienlage ist die VO<sub>2</sub>max auch mittels stufenförmiger Ausbelastungstests im Zeitfenster von 5 min (Laufband) bzw. 7 min (Fahrradergometer) bis 26 min Dauer valide bestimmbar. Voraussetzung für die Durchführung eines Ausbelastungstest ist ein sehr guter gesundheitlicher Zustand, motorische Fitness, ein Sicherheitsgurt beim Laufband und die körperliche Aufwärmung vor dem Test (Abb. 3).

### Bestimmung der ventilatorischen Schwellen (VT<sub>1</sub> und VT<sub>2</sub>)

Kommt bei stufenförmigen Belastungstests die Spiroergometrie zum Einsatz, dann lassen sich aus den Ventilationswerten zwei für die Belastungssteuerung wichtige Schwellen ableiten: die ventilatorische aerobe Schwelle, als VT oder VT<sub>1</sub> bezeichnet und die ventilatorische anaerobe Schwelle als VT<sub>2</sub> oder RCP (Respiratorischer Kompensationspunkt) bezeichnet. Für die Festlegung der Schwellen können



Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der Sauerstoffaufnahme einer 18-jährigen Leichtathletin (54 kg) beim Laufband-Rampentest

die Atemäquivalente für  $O_2$  und  $CO_2$ , das Atemminutenvolumen (VE), die  $CO_2$ -Abatmung und der Respiratorische Quotient (RQ) herangezogen werden. Für softwaregestützte Schwellenbestimmung eignet sich die 9-Feldergrafik nach Wassermann (Abb. 4). Die grafische Analyse ermöglicht eine Einbeziehung verschiedener Kriterien und Methoden für die Ermittlung der aeroben und anaeroben Schwelle, mit ihr lassen sich auch Messfehler leicht detektieren. Die exakte Schwellenfestlegung erfordert umfangreiche praktische Erfahrung. Für die aerobe Schwellenbestimmung ist kein Ausbelastungstest erforderlich (Abb. 4).

Zeitlicher Verlauf von Atemminutenvolumen ( $V'E$ ), Atemreserve (BR), Herzfrequenz (HF), Sauerstoffaufnahme ( $V'O_2$ ), Kohlendioxidabgabe ( $V'CO_2$ ), Atemäquivalente, Atemzugvolumen (VT), Respiratorischer Quotient (R), Endexpiratorischer Partialdruck (PET) beim Fahrradergometer-Stufentest (100W, +20W alle 3 min) eines U23-Radsportlers sowie die Festlegung der ventilatorischen Schwellen (9-Felder-Grafik nach Wassermann).

### Fazit

Mit der Spiroergometrie lässt sich der Wirkungsgrad für bestimmte Sportarten einfach bestimmen und damit Aussagen zur Qualität der Bewegungstechnik treffen. Veränderungen in der Bewegungstechnik lassen sich über submaximale Belastungsuntersuchungen anhand der Sauerstoffaufnahme unmittelbar nachweisen. Sinkt die Sauerstoffaufnahme bei gleicher Leistung oder Geschwindigkeit, dann deutet dies auf eine ökonomischere Bewegungstechnik hin.

*Quellenangabe: Die Analysen für die jeweiligen Abbildungen erfolgten mit Metasoft 3.80 Cortex GmbH.*

*Literatur beim Autor*

■ kuno.hottenrott@sport.uni-halle.de

# 1/3 Frei

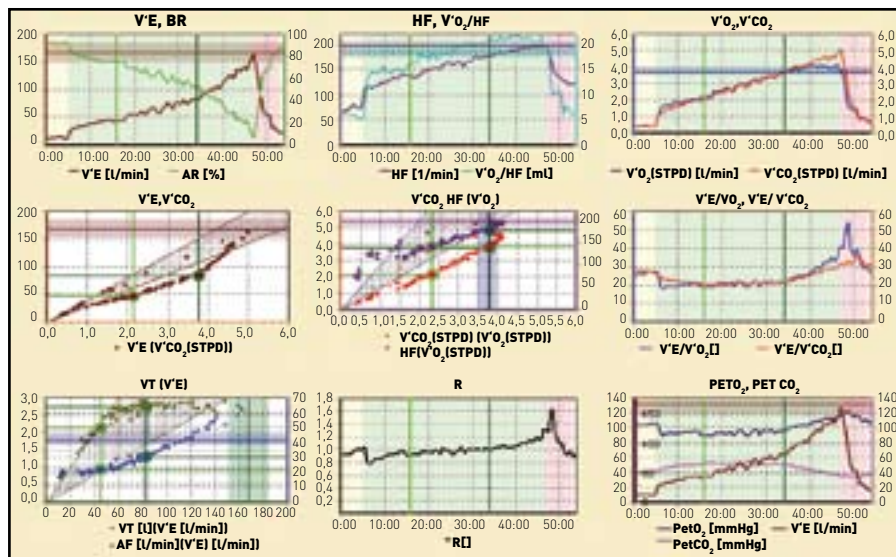


Abb. 4: 9-Felder-Grafik nach Wassermann mit zeitlichem Verlauf von Ventilation, Gasaustausch, metaboler und kardialer Beanspruchung beim Fahrradergometer-Stufentest (100W, +20W alle 3 min) eines U23-Radsportlers sowie eingezeichneten ventilatorischen Schwellen