
Stationäre und mobile Untersuchungen zu Muskelaktivitäten und zur Kinetik der Tretbewegung bei Hochleistungsradsportlern¹

Janine Strunz, Roland Wolff (Projektleiter)

Humboldt-Universität zu Berlin

Institut für Sportwissenschaft, Abteilung Sportmedizin

1 Problem

Mobile Untersuchungen der Muskelaktivität und der Pedalkinetik im Radsport wurden bisher nur eingeschränkt durchgeführt (Neptune & Herzog, 2000; Schoberer, 1995). Studien zur Validierung der Ergebnisse, die bei Tests auf dem Fahrradergometer (stationär) gewonnen werden, liegen nach einer Recherche der internationalen Fachliteratur nicht vor. Es ist also ungeklärt, ob die Ergebnisse, die aus den Untersuchungen auf dem Fahrradergometer (stationär) gewonnen werden, auf das reale Fahren mit dem Rennrad (mobil) übertragbar sind.

Studien zur Trettechnik beschreiben, dass bei einem kurzzeitigen Einsatz der Druck-Zug-Technik höhere, vortriebswirksame Kräfte im Antritt entstehen (Li & Caldwell, 1998). Bisher wurde in den Abhandlungen nicht eruiert, inwiefern eine Haltungsänderung (Stehen) im Antritt die Druck-Zug-Technik – und damit vortriebswirksame Kräfte – möglicherweise begünstigend beeinflusst. Zum anderen ist unklar, ob hierbei die Resultate, die auf einem stationären System (Radergometer) ermittelt wurden, auf das mobile Rennradfahren übertragbar sind.

Ziel des Projektes war der Vergleich der Muskelaktivitäten und der Pedalkinetik während des Fahrens auf dem Radergometer (stationär) und auf dem Rennrad (mobil) bei unterschiedlichen Belastungsformen und -intensitäten. Der Vergleich der Ergebnisse sollte zeigen, ob für die Trainingssteuerung des leistungsorientierten Radsports mobile Tests den stationären vorzuziehen sind. Zusätzlich wurde untersucht, ob sich bei sitzender bzw. stehender Haltung im kurzfristigen maximalen Antritt Unterschiede (bezüglich Muskelaktivität und Pedalkinetik) zeigen.

¹ VF 0407/06/18/2002-2003

2 Methode

Untersucht wurden acht Bahnradfahrer (Bundeskader). Die Laboruntersuchungen (stationäre Tests) erfolgten auf dem Schoberer-Ergometer (SRM). Die Felduntersuchungen (mobile Tests) wurden auf einem individuell einstellbaren Fahrrad des Instituts für Forschung und Entwicklung von Sportgeräten (FES) auf der Hallen-Radbahn durchgeführt. Untersuchungsparameter waren Muskelaktivität, Pedalkinetik und Atemgasanalyse. Die Messungen erfolgten mit einem mobilen EMG-Messgerät (BioVision 16-Kanal-System), dem mobilen FES-Kraftmesspedal sowie dem mobilen telemetrischen Spirometrie-Messsystem K4b2 (Kontrolle der Belastungsintensität für den interindividuellen Vergleich). Die Untersuchung setzte sich aus einem trittfrequenzgesteuerten Stufentest sowie zwei Antrittstests zusammen, die jeweils mobil und stationär durchgeführt wurden. Die mobilen Tests erfolgten jeweils zuerst, um die jeweilige mechanische Leistung entsprechend im stationären Test vorzugeben. Die mechanische Leistung, die bei der mobilen Messung ermittelt wurde, diente somit der jeweiligen Einstellung des mechanischen Widerstandes auf dem Ergometer. Der Stufentest wurde mobil mit einer festen, auf das individuelle Leistungsvermögen abgestimmten Übersetzung bis zur Ausbelastung gefahren. Die Trittfrequenz wurde hierbei alle drei Minuten in sechs Stufen um 10 U/min erhöht (von 70 U/min bis 120 U/min). Ebenfalls mit einer festen, aber für jeden Probanden gleichen Übersetzung, wurden mobil die Antrittstests realisiert. Der Proband fuhr hier zunächst jeweils 3 Minuten bei 80 U/min und führte anschließend einen maximalen Antritt (10 Sekunden) aus (mobil und anschließend stationär). Ein Antritt erfolgte im Sitzen, der andere im Stehen (Reihenfolge von Proband zu Proband im Wechsel, aber für jeden einzelnen Probanden mobil und stationär gleich). In allen Tests wurden acht Muskeln des linken Beines sowie zwei Muskeln des linken Oberarmes abgeleitet (*M. vastus lateralis*, *M. rectus femoris*, *M. vastus medialis*, *M. gluteus maximus*, *M. biceps femoris*, *M. tibialis anterior*, *M. gastrocnemius lateralis*, *M. gastrocnemius medialis*, *M. biceps brachii caput longum* und *triceps brachii caput laterale*). Die Tangentialkraft wurde synchron zur EMG-Messung aufgezeichnet. Folgende Parameter wurden in der Datenauswertung bestimmt:

- die muskuläre Aktivität während der Aktivitätsdauer sowie die Tangentialkraft (dargestellt durch die mittlere Amplitude und das Maxima);
- die muskuläre Beanspruchung insgesamt während der Aktivitätsdauer (dargestellt durch das IEMG) sowie das Kraftintegral;
- der Zeitpunkt der maximalen Amplitude im Kurbelkreis;
- der Aktivitätsbeginn sowie die Aktivitätsdauer der einzelnen Muskeln.

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden für den Stufentest in Abhängigkeit von der Testmethode (mobil vs. stationär) und der Trittfrequenz betrachtet. Zum anderen erfolgte die Auswertung für die Antritte bezogen auf die Haltungsform (sitzend vs. stehend) sowie auf die Testmethode (stationär vs. mobil). Im Vorversuch wurden die Reproduzierbarkeit der Testmethode überprüft und die Ergebnisse für die Beurteilung signifikanter Unterschiede berücksichtigt. Zeitlich wurden die einzelnen Umdrehungszyklen (Anzahl der gemittelten Zyklen entspricht jeweils genau einer Bahnrunde – 36-38 Zyklen – bzw. 10 s im Antritt) auf 100% (entspricht einer Kurbelumdrehung von 360°) normiert. Die EMG- und Kraftwerte werden in Prozent der maximalen Amplitude betrachtet und angegeben.

- Ergebnisse des Stufentests mobil vs. stationär

Im Stufentest zeigte sich für die Parameter mittlere Amplitude, maximale Amplitude und Integral ein Unterschied zwischen mobilem und stationärem Test für den *M. biceps femoris*, den *M. gastrocnemius lateralis* und *medialis*, den *M. triceps brachii* sowie für die Tangentialkraft: Bei den genannten Muskeln ist die Aktivität (mittlere und maximale Amplitude) und die Beanspruchung insgesamt (IEMG) im mobilen Test signifikant höher als im stationären Test. Auch bei allen anderen Muskeln ist diese Tendenz zu erkennen. Die mittlere und maximale Tangentialkraft sowie ihr Integral sind im mobilen Test niedriger als im stationären Test.

Die maximale Amplitude wird im Kurbelkreis beim *M. gastrocnemius medialis*, dem *M. biceps brachii* und bei der Tangentialkraft im mobilen Test später erreicht als im stationären Test. Bis auf den *M. rectus femoris* und den *M. gastrocnemius lateralis* lässt sich auch für alle anderen Muskeln diese Tendenz ablesen. Ein Unterschied im Zeitpunkt des Aktivitätsbeginns ist lediglich für den *M. vastus lateralis* nachzuweisen (mobil später als stationär). Die Aktivität des *M. vastus medialis*, des *M. gluteus maximus*, des *biceps femoris* sowie des *M. gastrocnemius lateralis* und *medialis* ist im mobilen Test signifikant länger als im stationären Test.

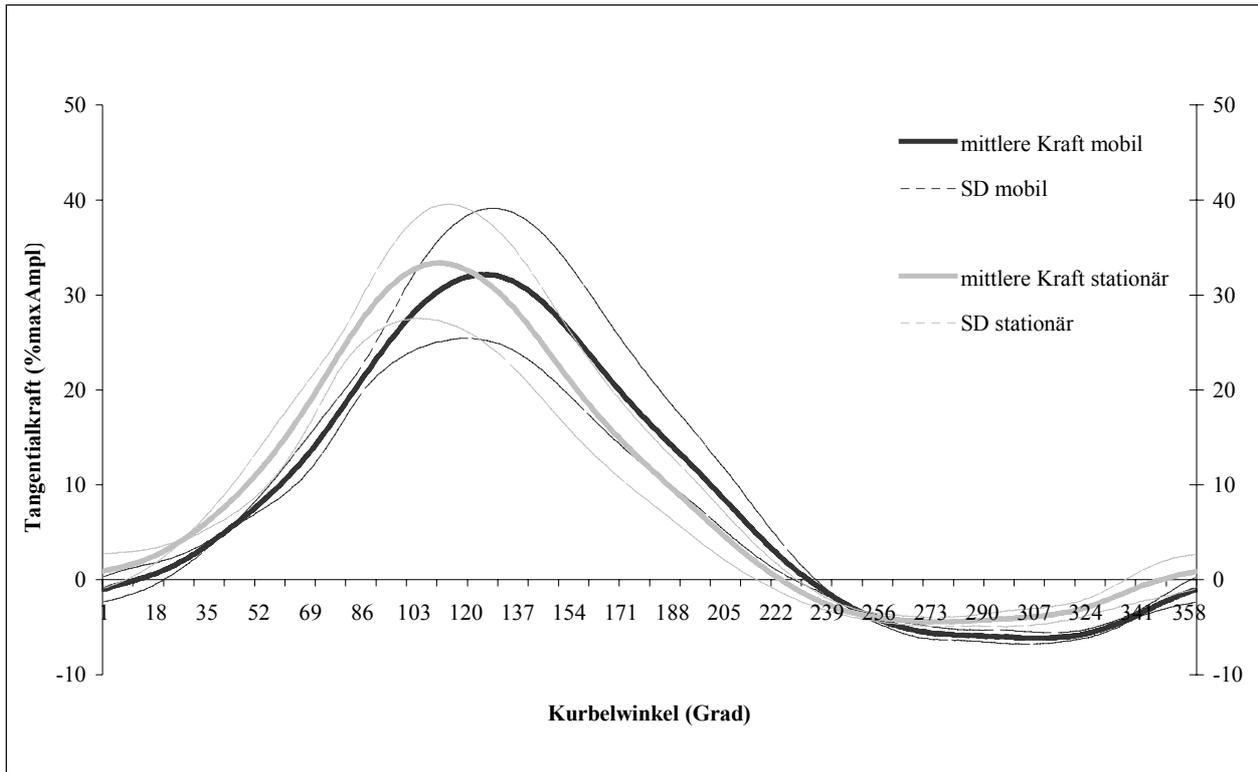


Abb. 1: Mittlere Tangentialkraft im Stufentest (gemittelt über die Stufen und Probanden) mobil vs. stationär (mit Standardabweichung zwischen den Stufen)

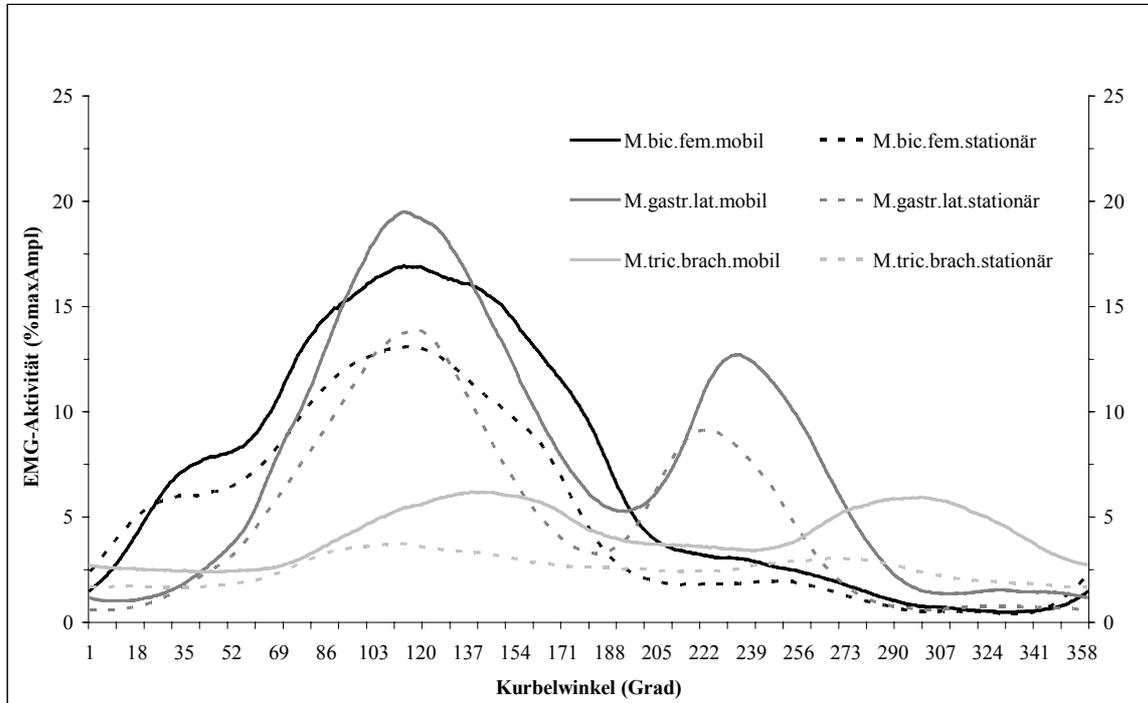


Abb. 2: Mittlere EMG-Aktivität am Beispiel des *M. biceps femoris*, des *M. gastrocnemius lateralis* und des *M. triceps brachii* im Stufentest (gemittelt über die Stufen und Probanden) mobil vs. stationär (Muskelaktivität mobil: durchgezogene Linien / Muskelaktivität stationär: gestrichelte Linien)

- Ergänzende Ergebnisse des Stufentests

Ein signifikanter Unterschied zeigte sich für die Herzfrequenz: stationär wurde im Vergleich zum mobilen Test eine höhere Herzfrequenz erreicht. Die Sauerstoffaufnahme ist stationär in der letzten Stufe höher als mobil. Kein signifikanter Unterschied besteht für die mechanische Leistung und die Trittfrequenz (mobil vs. stationär).

- Ergebnisse des Antrittstests mobil vs. stationär

Hinsichtlich der muskulären Aktivität zeigte sich für die beiden Antrittsformen (sitzend und stehend) lediglich für den *M. rectus femoris* ein signifikanter Unterschied: stationär wurde im Vergleich zum mobilen Test eine höhere Aktivität erreicht. Die Tangentialkraft (mittlere Amplitude, maximale Amplitude und Integral) ist beim stehenden Antritt im mobilen Test höher als im stationären Test.

Vergleicht man den Zeitpunkt der maximalen Aktivität, so lässt sich feststellen, dass in beiden Antrittstests der *M. biceps brachii* und die Kraft ihr Maximum mobil später erreichen. Eine im mobilen Test später beginnende Muskelaktivität zeigte sich im sitzenden Antritt für den *M. rectus femoris*, den *M. vastus medialis*, den *M. gluteus maximus* und den *M. biceps femoris*. Die Aktivitätsdauer ist im sitzenden Antritt im mobilen Test beim *M. gastrocnemius lateralis* und *medialis* länger als im stationären Test. Im stehenden Antritt ist der *M. vastus medialis* mobil länger aktiv als stationär.

- Ergebnisse des Antrittstests sitzend vs. stehend

In den mobilen Antrittstests wurde für die meisten Muskeln wie auch für die Kraft eine höhere Aktivität im stehenden Antritt festgestellt.

Die maximale Aktivität vom *M. vastus medialis* und das Maximum der Kraft wird mobil und stationär im stehenden Antritt später erreicht. Eine längere Aktivität im stehenden Antritt zeigte sich beim mobilen Test bei dem *M. vastus lateralis*, dem *M. vastus medialis* und dem *M. gluteus maximus*.

4 Diskussion

Die Ergebnisse des Vergleichs von mobilen und stationären Tests zeigen, dass eine Trainingssteuerung an Hand von Ergometertests nicht ohne weiteres auf das reale Fahren mit dem Rennrad übertragbar ist. Muskuläre Belastung sowie Pedalkinetik unterscheiden sich beim realen Radfahren vom Fahren auf dem Ergometer.

Im mobilen Stufentest zeigte sich eine deutliche Tendenz zu einer höheren und längeren muskulären Aktivität. Hier konnte außerdem eine geringere vortriebswirksame Kraft als

auf dem Ergometer nachgewiesen werden. Der Grund dafür ist das geringere Kraftmaximum und die geringere Entlastung des Pedals in der Zugphase (im mobilen Test). Das spätere Erreichen des Kraftmaximums in allen mobilen Tests (Stufentest und Antritt) könnte in kausalem Zusammenhang mit der veränderten muskulären Koordination auf dem Ergometer stehen. Die idealen Kraftkurven und Innervationsverläufe der Muskeln sind jedoch letztlich nicht bekannt. So ist zu hinterfragen, ob das Erreichen des Maximums um 90° (physikalisches Wirkoptimum) im Kurbelkreis (Henke, 1994; Hildebrand & Dittrich, 1985; Lindemann, 1984) wirklich das Optimum in der komplexen Betrachtung des Gesamtzyklus darstellt (in der vorliegenden Untersuchung wurde insbesondere von den erfolgreicherer Probanden (A-Kader) das Kraftmaximum v.a. mobil später erreicht). Zusammenfassend lässt sich für den Stufentest feststellen, dass die Muskulatur beim Fahren auf der Bahn zwar höher und länger beansprucht wird als auf dem Ergometer, die vortriebswirksame Kraft aber dennoch geringer ist. Möglicherweise spielen hier u.a. Faktoren wie Halten des Gleichgewichtes sowie Ausgleich der Rahmenneigung und Lenkerbewegung beim realen Radfahren eine Rolle. Eine Verbesserung der muskulären Koordination sowie die Optimierung der Pedalkinetik im Training sollten demzufolge nicht vorrangig auf dem Ergometer erfolgen.

Für den Antritt auf der Bahn kann abgeleitet werden, dass im stehenden Antritt zwar höhere und längere muskuläre Aktivitäten nachzuweisen sind, aber gleichzeitig auch eine vortriebswirksamere Kraft als beim sitzenden Antritt resultiert (im Stehen unterstützt das Körpergewicht die Abwärtsbewegung des Pedals). Trotz der höheren vortriebswirksamen Kraft im stehenden Antritt wird hier das Kraftmaximum später erreicht als im sitzenden Antritt. Schlussfolgernd kann also für den Antritt auf der Bahn ein stehender Antritt als vortriebswirksamer angesehen werden (obwohl das Kraftmaximum deutlich hinter 90° liegt). Dies konnte jedoch für die Antrittstests auf dem Ergometer nicht nachgewiesen werden.

Ein interindividueller Vergleich sowie die Auswertung der Bewegungsanalyse zur differenzierteren Beurteilung der EMG-Ergebnisse stehen noch aus.

5 Literatur

Ericson, M.O. (1988). Muscular function during ergometer cycling. *Scand J Rehabil Med*, 20, 35-41

Henke, T. (1994). *Zur biomechanischen Validierung von Komponenten der Fahrtechnik im Straßenradsport*. Dissertation, Universität Potsdam.

Hildebrand, F. & Dittrich, A. (1985). *Ergebnisbericht zur Frage der biomechanischen Kriterien einer optimierten Trettechnik im Radsport*. Unveröffentlichter Forschungsbericht, FKG Leipzig.

- Hull, M.L. & Jorge, M. (1985). A method for biomechanical analysis of bicycle pedalling. *J Biomech*, 18, 631-644
- Jorge, M. & Hull, M.L. (1986). Analysis of EMG measurements during bicycle pedalling. *J Biomech*, 19, 683-694
- Kautz, S.A. & Hull, M.L. (1993). A theoretical basis for interpreting the force applied to the pedal in cycling. *J Biomech*, Feb 26, 155-165
- Lindemann, H. (1984). *Zur Vervollkommnung der Trettechnik*. Dissertation, Leipzig.
- Macintosh, B.R., Neptune, R.R. & Horton J.F. (2000). Cadence, power, and muscle activation in cycle ergometry. *Med Sci Sports Exerc*, Jul 32, 1281-1287.
- Neptune R.R. & Hull M.L. (1999). A theoretical analysis of preferred pedaling rate selection in endurance cycling. *J Biomech*, 32, 409-415
- Prilutsky, B.I. & Gregory R.J. (2000). Analysis of muscle coordination strategies in cycling. *Trans Rehabil Eng*, Sep 8, 362-370.
- Schoberer, U. (1995). *Mobile Trainingssteuerung am Fahrrad*. BISp Projektvorstellung.
- Takaishi, T., Yamamoto, T., Ono, T., Ito, T. & Moritani, T. (1998). Neuromuscular, metabolic, and kinetic adaptations for skilled pedaling performance in cyclists. *Med Sci Sports Exerc*, Mar 30, 442-449.

