
Optimierung der Trainingssteuerung im Radsport mittels simulationsgestützter Trainingswirkungsanalyse

Andreas Hohmann (Projektleiter) & Mark Pfeiffer

Universität Bayreuth, Arbeitsbereich Trainings- und Bewegungswissenschaft,

Einleitung

Fasst man die Strassen-, Bahn- und Mountainbikedisziplinen zusammen, dann hat sich der Radsport zu einer medaillenintensiven olympischen Sportart entwickelt. Gleichzeitig ist zum Thema Radsport eine rege internationale Forschungstätigkeit zu beobachten. Dabei dokumentiert die Literatur einen deutlichen Untersuchungsschwerpunkt auf dem Gebiet der sportmedizinischen und/oder biomechanischen Leistungsdiagnostik, wogegen Publikationen zu trainingswissenschaftlichen Fragestellungen unterrepräsentiert sind. Speziell im Radsport, welcher von hohen Trainingsumfängen, Belastungsspitzen und einem saisonalen Wettkampfsystem geprägt ist (Lucia et al., 2003), spielt die gezielte, auf den einzelnen Fahrer individuell abgestimmte Trainingssteuerung eine entscheidende Rolle. Zur optimalen Trainingssteuerung bei mehreren aufeinander folgenden Belastungsreizen stellt sich die Frage nach den bei dem Sportler resultierenden Trainingseffekten (Lindner, 2000). Ergänzend zu den sportpraktischen Erfahrungen, die in Verbindung mit den leistungsdiagnostischen Befunden zur Trainingssteuerung von besonderer Bedeutung sind, können Simulationsmodelle für eine höhere Prognosesicherheit eingesetzt werden. Ein viel versprechender Ansatz auf dem Gebiet der informatischen Modellierung von Trainingsanpassungen wurde von Perl (2002) mit dem Performance-Potential-Modell (PerPot-Modell) entwickelt.

Im beantragten Betreuungsprojekt wurde das PerPot-Instrumentarium zur praktischen Unterstützung des Trainingsprozesses bei Radsportlern des nationalen Spitzenniveaus eingesetzt. Die Modellierung und Simulation der Wechselbeziehung zwischen der Trainingsbelastung und der Radfahrleistung soll – flankiert von physiologischen Kenngrößen – dazu beitragen, im Rahmen der Trainingssteuerung die individuelle Trainingsplanung zu optimieren. Zur Bearbeitung der Zielstellung wurde das *PerPot-Softwaremodul* (Version 10-5-3) genutzt. Das PerPot ist ein dynamisches Zustands-Ereignis-Modell mit adaptiven Wirkungs-Verzögerungen, wobei globale oder lokale Verzögerungsparameter (VP) eingestellt werden können.

Forschungsmethodisches Vorgehen

Untersuchte Radfahrer

An der 6-monatigen Studie nahmen vier Straßenfahrer und zwei Mountainbiker teil (Tab. 1).

Tab. 1: *Angaben zu den untersuchten Radfahrer*

	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	Pb5	Pb6
Disziplin	Straße	Straße	Straße	Straße	MTB	MTB
Alter	23	23	19	26	17	21
Körpergröße [cm]	184	172	176	179	187	185
Körpergewicht [kg]	78,1 ± 2,5	66,2 ± 1,1	76,4 ± 0,7	75,7 ± 0,8	80,5 ± 1,8	71,5 ± 0,7
Trainingsumfang	30.000 (km/Jahr)	22.000 (km/Jahr)	25.000 (km/Jahr)	20.000 (km/Jahr)	13 Std./ Woche	18 Std./ Woche
Untersuchungs- zeitraum	12/2007- 07/2008	12/2007- 07/2008	12/2007- 01/2008	02/2008- 07/2008	12/2007- 04/2008	12/2007- 02/2008

Von den anfänglichen einbezogenen fünf Fahrern musste einer aufgrund gesundheitlicher Probleme (Pb 6) und ein zweiter infolge trainingsorganisatorischer Veränderungen (Pb 3) aus der Studie ausscheiden.

Die Fahrer wurden während des gesamten Untersuchungszeitraums von ihren jeweiligen Trainern betreut und haben basierend auf deren Trainingsvorgaben trainiert. Die individuellen Trainingspläne orientierten sich dabei am Saisonverlauf und den sportlichen Höhepunkten der einzelnen Radsportler. Aufgrund der allgemeinen saisonalen Wettkampfstruktur im Straßenradsport wurde ein in vier Phasen gegliederter zyklischer Trainingsaufbau gewählt. Aufgrund des unterschiedlichen Wettkampfprogramms unterschieden sich die Trainingspläne der Probanden bezüglich des zeitlichen Aufbaus, der absolvierten Umfänge und der inhaltlichen Trainingsgestaltung.

Quantifizierung der Trainingsbelastung (Input) und der Leistungsfähigkeit (Output)

Die Auswahl der Parameter richtete sich nach dem Untersuchungsziel, der prozessorientierten Modellierung und Simulation des Zusammenhangs zwischen Leistungsinput und Leistungsoutput mit dem PerPot-Modell. Hierfür ist eine verlaufsorientierte Abbildung des Trainingsprozesses mit einer hohen Anzahl an Messungen erforderlich, weshalb die Trainings- und Leistungsdaten ökonomisch und vor allem trainingsbegleitend erfasst werden mussten.

Trainingsinput

Innerhalb des Untersuchungszeitraums wurde die gesamte Trainingsbelastung auf dem Rad über die Tretkurbel mittels des SRM-Systems (Fa. Schoberer Rad Messtechnik, Jülich, Deutschland, Wissenschaftsversion) aufgezeichnet. Die verwendeten SRM-Leistungsmess-Systeme wurden bereits im Rahmen zahlreicher wissenschaftlicher Studien validiert, demzufolge sie repräsentative und wissenschaftlich verwertbare Messwerte liefern (Paton & Hopkins, 2001; Faiss et al., 2007; Vogt et al., 2007). Für die Analyse mit dem PerPot-Modell wurde die in einem definierten Zeitraum erbrachte Arbeit in der Größe Energieverbrauch in Kilojoule (kJ-Training) skaliert und als Trainingsinput eingesetzt.

Als weiterer Parameter des Trainingsinputs wurde die während jeder Trainingseinheit erfasste Herzfrequenz herangezogen. Anhand der bei einem VO_{2max} -Stufentest erhobenen individuellen physiologischen Leistungskenngrößen lassen sich über die Herzfrequenzen individuelle Trainingsintensitätsbereiche ermitteln sowie so genannte arbiträre Trainingseinheiten (TRIMP) berechnen (Millet et al., 2002).

Leistungsoutput

Um den Leistungsoutput fortlaufend zu dokumentieren, sind ökonomisch vertretbare, minimal invasive und nur geringfügig in das Training intervenierende Testverfahren zu wählen. Ausgehend von der Belastungsstruktur im Straßenradsport und Mountainbike (MTB, Cross-Country), den einschränkenden Anforderungen, die sich aus der trainingsbegleitenden Durchführung (dreimal wöchentlich) ergeben sowie leistungsdiagnostischen Befunden (u. a. Williams et al., 1988; Mendez-Villanueva et al., 2006; Stapelfeldt et al., 2006) wurden im Rahmen der Studie folgende Tests auf dem Fahrradergometer eingesetzt.

10sec-All-Out-Test: Aus standardisierter Startposition (sitzend und mit einer Trittfrequenz von 40 U/min.) werden die Proband instruiert, auf ein akustisches Signal hin gegen einen anhand des Körpergewichts ermittelten Tretwiderstand in kürzester Zeit die maximale Geschwindigkeit zu erreichen und 10 Sekunden zu halten („All-Out“). Zur Quantifizierung der Leistungsfähigkeit wurde die maximale mechanische Leistung (beste Sekunde - „Peak Power“) und die mittlere mechanische Leistung (Mittelwert über die Testdauer - „Mean Power“) berechnet. Beide Leistungskenngrößen wurden darüber hinaus am Körpergewicht relativiert.

Belastungstest (Stufentest): Der stufenförmige Belastungstest wurde in Anlehnung an die Ausführungen von Stapelfeldt et al. (2006) ohne Spirometrie durchgeführt. Die Widerstandserhöhung pro Stufe lag bei 10 Watt, die Stufendauer betrug jeweils 10 Sekunden. Der Anfangswert wurde individuell aufgrund der beim Eingangstest erreichten Leistungen errechnet. Als Maß für die sportliche Leistungsfähigkeit wurde die am Körpergewicht relativierte mechanische Arbeit (kJ-Belastungstest) definiert.

Die beiden Leistungstests wurden dreimal wöchentlich (Montag, Mittwoch, Freitag) auf dem eigenen Fahrrad mit einem Cyclus II Bremsaggregat (Fa. RBM elektronikautomation GmbH, Leipzig, Deutschland) absolviert. Die Testabnahme erfolgte immer zur gleichen Tageszeit. Nach einer standardisierten Einfahrphase von 7 Minuten bei 100 Watt, unterbrochen durch drei 5-Sekunden-Sprints, wurde zunächst der

10sec-All-Out-Test absolviert. Im Anschluss an eine 5-minütige Regenerationsphase bei 50 Watt wurde der stufenförmige Belastungstest bis zum Abbruch (Ausbelastung) gefahren. Den Abschluss des Testprogramms bildet eine 5-Minuten-Einheit bei regenerativen 50 Watt.

Zur Prüfung der Modellgüte wurde der Intraclass Correlation Coefficient (ICC) sowie die mittlere relative Abweichung zwischen simulierten und empirischen Leistungen ermittelt.

Ergebnisse

Nachfolgend werden lediglich die Simulationsergebnisse für drei Fahrer (Pb1, Pb2 und Pb5) vorgestellt. Die durchschnittliche Güte der Modellanpassung für die drei Fahrer wurde über die Fischer-Z transformierten ICC berechnet. Mit globalen Verzögerungsparametern (VP) konnte lediglich für die Datenpaare TRIMP (Input) und Belastungstest-kJ (Output) eine zufrieden stellende Modellgüte von 0,72 erreicht werden (Tab. 2, oberer Teil), die jedoch auf eine sehr gute Modellanpassung bei Pb1 zurückzuführen ist.

Tab. 2: *Simulationsergebnisse (ICC)*

globale VP	Belastungstest-kJ	Peak Power
TRIMP	0,72	0,48
kJ-Training	0,67	0,39
phasenweise VP		
TRIMP	0,90	0,80
kJ-Training	0,89	0,78

Durch die Verwendung lokaler VP ließen sich je nach Fahrer 3 bis 5 Phasen unterschiedlicher Adaptationschronologie, d. h. verschiedener VP für das Belastungs- und Entwicklungspotential (VB und VE), identifizieren. Anschließend wurde für diese Phasen getrennt die Kalibrierung wiederum mit globalen VP durchgeführt, womit sehr gute Modellanpassungen erzielt werden konnten (Tab. 2, unterer Teil).

Abb. 1 zeigt beispielhaft, wie sich durch die Verwendung lokaler VP differenziertere Erkenntnisse generieren lassen. Die negative Trainingswirkung war bei Pb1 zu Beginn des Trainingsprozesses größer verzögert, als in der Wettkampfphase, wo sich die Trainingsbelastungen zeitlich unmittelbarer auf die Leistungsfähigkeit ausgewirkt haben.

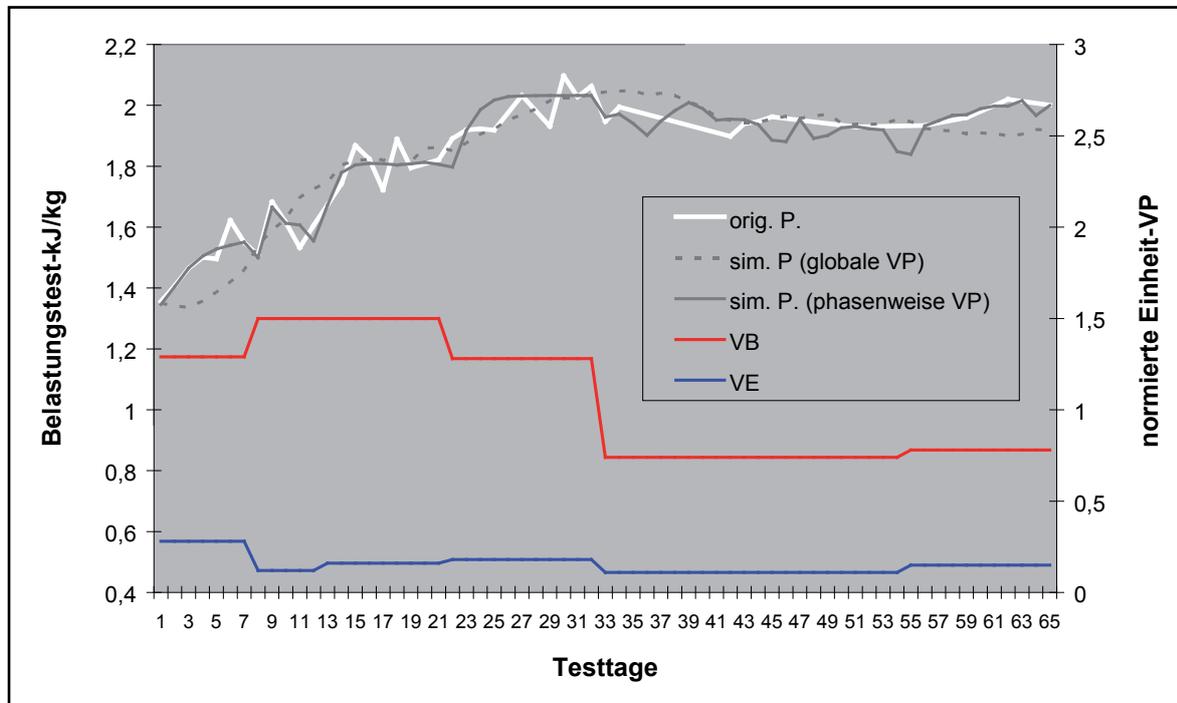


Abb. 1: Vergleich der Simulationsergebnisse mit globalen und phasenweise berechneten Verzögerungsparametern (VP) am Beispiel des Pb1

Die Ergebnisse zeigen, dass lang- und mittelfristige Adaptationsprozesse durch Phasen unterschiedlicher zeitlicher Verzögerung geprägt sind. Für die Analyse des Zusammenhangs von Belastung und Leistung sind Modelle mit variablen Zeitparametern erforderlich (Busso et al., 1997).

Literatur

- Busso, T., Denis, C., Bonnefoy, R., Geysant, A. & Lacour, J.R. (1997). Modeling of adaptations to physical training by using a recursive least squares algorithm. *Journal of applied physiology*, 82 (5), 1685-1693.
- Faiss, R., Praz, M., Meichtry, A., Gobelet, C. & Deriaz, O. (2007). The effect of mountain bike suspensions on vibrations and off-road uphill performance. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 47 (2), 151-158.
- Lindner, W. (2000). *Radsporttraining: Methodische Erkenntnisse, Trainingsgestaltung, Leistungsdiagnostik*. München: BLV.
- Lucia, A., Hoyos, J. & Chicharro, J.L. (2003). Physiology of Professional Road Cycling. In E.R. Burke (Hrsg.), *High-tech cycling – The science of riding faster* (S. 265-288). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Mendez-Villanueva, A., Bishop, D. & Hamer, P. (2006). Reproducibility of a 6-s maximal cycling sprint test. *Journal of science and medicine in sport*, 10 (5), 323-326.
- Millet, G.P., Candau, R.B., Barbier, B., Busso, T., Rouillon, J.D. & Chatard, J.C. (2002). Modelling the transfers of training effects on performance in elite triathletes. *International journal of sports medicine*, 23 (1), 55-63.
- Paton, C.D. & Hopkins, W.G. (2001). Tests of cycling performance. *Sports medicine*, 31 (7), 489-496.
- Perl, J. (2002). Adaptation, Antagonism and System Dynamics. In G. Ghent, D. Kluka & D. Jones (Eds.), *Perspectives - The Multidisciplinary Series of Physical Education and Sport Science*, 4 (pp. 105-125). Oxford: Meyer & Meyer Sport.
- Stapelfeldt, B., Lohmüller, D., Schmid, A., Röcker, K., Schumacher, Y.O. & Gollhofer, A. (2006). Prädiktiver Wert physiologischer und biomechanischer Testverfahren zur Differenzierung leistungsbestimmender Faktoren im Radsport. In *BISp-Jahrbuch : Forschungsförderung 2005/06* (S. 179-184). Bonn.
- Vogt, S., Schumacher, Y.O., Blum, A., Roecker, K., Dickhuth, H.H., Schmid, A., et al. (2007). Cycling power output produced during flat and mountain stages in the Giro d'Italia: a case study. *Journal of sports sciences*, 25 (12), 1299-1305.
- Williams, J.H., Barnes, W.S. & Signorile, J.F. (1988). A constant-load ergometer for measuring peak power output and fatigue. *Journal of applied physiology*, 65 (5), 2343-2348.