

# Real-Time-Steuerung des Gruppentrainings bei Nachwuchsradsportlern auf der Basis nicht-linearer Belastung-Beanspruchungs-Modelle

(AZ 070603/12)

*Claas H. Kuhlmann (Projektleiter) & Thomas Jaitner*

Technische Universität Dortmund

## 1 Problem

Im Leistungs- und im Hochleistungssport ist eine effektive Trainingssteuerung als eine zentrale Herausforderung anzusehen. Dies gilt insbesondere für Ausdauerdisziplinen wie den Radsport. Die individuelle Trainingsbeanspruchung muss mittels der geeigneten Festlegung der Belastung so gesteuert werden, dass ein Übertraining verhindert wird und gezielt funktionale Adaptationsprozesse ausgelöst werden können. Das sich über mittlere bis lange Zeiträume (Wochen und Monate) erstreckende Wechselspiel zwischen Belastung und Beanspruchung lässt sich mit Hilfe von Ansätzen modellieren, die in der Vergangenheit veröffentlicht wurden (u. a. Brückner & Wilhelm, 2008; Perl, 2000). Wird jedoch eine direkte Trainingssteuerung in einzelnen Trainingseinheiten intendiert, mangelt es an Modellen, die den zeitlichen Versatz zwischen Belastungsvariation und physiologischer Beanspruchung angemessen berücksichtigen. Auch sind diese Modelle für die Sportler nur sehr eingeschränkt zugänglich.

Das Wechselspiel zwischen Belastung und Beanspruchung ist vor allem beim Gruppentraining von übergeordneter Wichtigkeit. Konträr zum Einzeltraining, steht die beim Gruppentraining von der einzelnen Fahrerein bzw. vom einzelnen Fahrer zu erbringende Leistung in Abhängigkeit zu ihrer bzw. seiner Position innerhalb der Gruppe. So kann bei konstanter Geschwindigkeit die aufzubringende Leistung beim Fahren im Windschatten um bis zu 36 % reduziert und damit einhergehend eine Verringerung der kardiovaskulären und metabolischen Beanspruchung verbunden sein (Neumann, 2000). Dies macht deutlich, dass es zur Realisierung eines individuell optimalen Trainings in der Gruppe einer Anpassung der Geschwindigkeit und Formation der Gruppe, der Position und der Tretfrequenz der Fahrer sowie besonders der Wechselreihenfolge an die jeweiligen Trainingsziele und individuellen Leistungsstände der Sportlerinnen und Sportler bedarf (Schmidt, 2001; Lindner, 2005).

Zur direkten Steuerung des Gruppentrainings wurde ein Mess- und Informationssystem entwickelt, das Leistungsparameter in Echtzeit direkt während der Trainingseinheit aufzeichnet und unter Berücksichtigung der Intensität und Dauer der Belastung sowie des momentanen Grades der physiologischen Beanspruchung das Training einer Gruppe von Radsportlerinnen bzw. -sportlern optimiert (Jaitner & Trapp, 2008a, b). Das Trainingssteuerungssystem (TSS) wurde durch einen Trainingsalgorithmus erweitert, der basierend auf dem Performance-Potential-Modell (PerPot) während des Trainings das aktuelle individuelle Leistungsvermögen der Sportlerinnen und Sportler abschätzt und die Trainingsvorgaben laufend anpasst. Bislang wurde dieser Algorithmus nur im Laufbereich eingesetzt (Perl & Endler, 2006). Zielstellung des Projekts war daher die Evaluierung dieses nicht-linearen Trainingsalgorithmus im Gruppentraining des Radsports im Vergleich zu einer schwellenbasierten Steuerungsstrategie.

## 2 Methode

Das Trainingsexperiment setzte sich aus einem Prätest, einer vierwöchigen Interventionsphase sowie einem Posttest zusammen. Acht radsporttrainierte Freizeitsportler wurden zufällig in zwei gleichgroße Gruppen aufgeteilt. Die Experimentalgruppe ( $44,5 \pm 7,0$  Jahre;  $71,9 \pm 12,6$  kg,  $174,8 \pm 6,0$  cm) trainierte mit dem TSS in Verbindung mit dem PerPot-Modell zur Trainingssteuerung, während die Kontrollgruppe ( $52,5 \pm 12,9$  Jahre;  $82,4 \pm 22,1$  kg,  $176,0 \pm 7,1$  cm) mit dem TSS ohne PerPot-Anbindung und festen Trainingsvorgaben trainierte.

Für diese Untersuchung wurden für jede Gruppe je 4 baugleiche Rennräder der Firma „Quantec“ verwendet, die mit einem SRM® Leistungsmesssystem (Modell „Professional“) ausgestattet waren. Die SRM®-Systeme wurden über das kabelgebundene „PowerControl V“ gesteuert. Die SRM®-Kurbeln wurden ca. 2 Wochen vor Untersuchungsbeginn von der Firma SRM® selbst kalibriert.

Auf dem Vorbau der Räder wurde je ein Tablet-PC montiert. Die SRM®-Kurbeln übertrugen über einen USB-Anschluß im Abstand von 1 Sekunde die Daten für Herzfrequenz, Tretfrequenz, Wattleistung und Geschwindigkeit auf den PC. Diese Daten wurden vom TSS ausgelesen und gespeichert sowie - bei der Variante mit PerPot-Steuerung - an eine PerPot-Softwarekomponente zur Weiterverarbeitung weitergeleitet. Auf der Grundlage dieser Daten errechnete das PerPot-System die Vorgabe für die Tretleistung, legte die Tretfrequenz und die Position für jeden Fahrer in der Experimentalgruppe fest. Weiterhin regelte es die Führungslängen und bestimmte den Zeitpunkt für die Führungswechsel in dieser Gruppe. In der Kontrollgruppe erfolgte die gleiche Steuerung nur ohne die fortlaufende Neuberechnung der Trainingsvorgaben. Die Testpersonen nutzten ihr eigenes Pedalsystem, die eigenen Schuhe und konnten auf Wunsch ihren eigenen, gewohnten Sattel auf dem Rad verwenden. Die Sitzposition wurde an die gewohnte Position angepasst.

Die Prä- und Posttests bestanden aus einem Stufentest (Startleistung 100 W, Inkrement 20 W; Stufenlänge 3 Minuten) mit Laktatentnahme und Spirometrie sowie aus einem Test der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2max}$ -Test) nach Craig et al. (2000), der 24 h nach dem Stufentest durchgeführt wurde. Aus diesen Daten wurde die Trainingsintensität abgeleitet. Hierfür wurde das Auswerteprogramm ergonizer® mit einer Laktatkonstante von 1,5 mmol/l verwendet.

Die Trainingsintervention umfasste in der Experimentalgruppe 12 grundlagenausdauerorientierte Trainingseinheiten mit einer Gesamtfahrleistung von 553,2 km und in der Kontrollgruppe 11 Trainingseinheiten mit einer Gesamtfahrleistung von 495,0 km. Die 12. Trainingseinheit der Kontrollgruppe musste aufgrund der Wetterverhältnisse mit Starkregen und Gewitter entfallen. Die Gesamtfahrzeit betrug bei der Experimentalgruppe 17:50 Stunden, während die Kontrollgruppe eine Gesamtfahrleistung von 17:26 Stunden absolvierte. In diesen Daten sind auch die Zeiten für Erwärmung und Ausfahren enthalten.

### 3 Ergebnisse

In Tab. 1 und Tab. 2 sind die Abweichungen der real erreichten Herzfrequenz ( $HF_{\text{real}}$ ) von der durch den Laktat-Stufentest ermittelten Trainingsherzfrequenz ( $HF_{\text{LST}}$ ) für die Experimental- und Kontrollgruppe dargestellt.

Tab. 1: Abweichung der real erreichten Herzfrequenz in der Kontrollgruppe von der Vorgabe durch den Stufentest

Abweichung $HF_{\text{real}}$	Anteil Trainingszeit	Mittlere Abweichung
Unterschätzt	20,10 %	-7,0 ± 3,8 bpm
Gleich	63,30 %	
Überschätzt	16,60 %	3,4 ± 2,1 bpm

Tab. 2: Abweichung der real erreichten Trainingsherzfrequenz in der Experimentalgruppe von der Vorgabe durch den Stufentest

Abweichung $HF_{\text{real}}$	Anteil Trainingszeit	Mittlere Abweichung
Unterschätzt	8,40 %	-22,5 ± 6,7 bpm
Gleich	44,10 %	
Überschätzt	47,50 %	13,4 ± 3,3 bpm

### 4 Diskussion

In der Kontrollgruppe ohne PerPot-Anbindung wurde über 63,3 % der Trainingszeit im vorgegeben Trainingsbereich gefahren. Über etwa ein Fünftel der Trainingsdauer (20,1 %) war die  $HF_{\text{real}}$  niedriger als die Vorgabe aus dem vorangegangenen Stufentest ( $HF_{\text{LST}}$ ) und in der restlichen Zeit (16,6 %) lag die  $HF_{\text{real}}$  oberhalb der Trainingsvorgabe. Die jeweiligen Abweichungen lagen mit -7,0 ± 3,8 bzw. +3,4 ± 2,1 Schlägen pro Minute im Rahmen der biologischen Schwankungen. Die Trainingsintensität entsprach damit im Wesentlichen den Trainingsvorgaben. Die dargestellten Schwankungen lassen sich hauptsächlich auf die unterschiedlichen Leistungsanforderungen im Windschatten der Gruppe bzw. in der Führung zurückführen. Da das TSS alle Gruppenteilnehmer gleichzeitig steuert und versucht die Abweichungen für die gesamte Gruppe zu minimieren, lässt sich ein Über- oder Unterschreiten der Vorgaben für einzelne oder alle Testpersonen nicht vermeiden. Hinzu kommt, dass die Gruppe in Bezug auf die Leistungsfähigkeit sehr heterogen gemischt war und die individuellen Trainingsvorgaben stark variierten. Es ist daher zu erwarten, dass die Differenz bei einer homogeneren Gruppenzusammensetzung noch geringer ausfallen würde. Dies zeigt sich auch in früheren Untersuchungen mit dem TSS mit Gruppen homogenerer Leistungsfähigkeit (Jaitner & Trapp, 2008).

Insgesamt ermöglicht der schwellenbasierte Trainingsalgorithmus, das Radsporttraining auch in einer heterogenen Gruppe so zu steuern, dass für alle Testpersonen nur geringe Differenzen zu den individuellen Trainingsvorgaben auftreten.

Die Ergebnisse in der Experimentalgruppe weichen im Vergleich dazu stärker ab. Für lediglich 44,1 % der Gesamttrainingszeit stimmt die  $HF_{\text{real}}$  der Testpersonen mit den Vergleichswerten durch die Ableitung aus dem Stufentest überein. Für 8,4 % der Trainingsdauer liegt die  $HF_{\text{real}}$  unterhalb des abgeleiteten

ten Trainingsbereiches, während fast die Hälfte des Gesamtumfangs (47,5 %) eine  $HF_{\text{real}}$  oberhalb des abgeleiteten Trainingsbereiches gefahren wird. Die Differenzen betragen  $-22,5 \pm 6,7$  bzw.  $+13,4 \pm 3,3$  Schläge pro Minute.

Die Trainingszeit mit geringeren  $HF_{\text{real}}$ -Werten im Vergleich zur Vorgabe lassen sich hierbei teilweise auf die Fahrten im Windschatten sowie auf notwendigen langsameren Fahrten zurückführen, die zur Kalibration des PerPot-Modells benötigt werden. Die erhöhten Werte können auf die Berechnungen und Trainingsvorgaben des PerPot-Modells zurückgeführt werden. Allerdings ist hier die mittlere Abweichung nicht so stark ausgeprägt, wie bei den reinen berechneten Werten. Diese geringere Abweichung wird damit erklärt, dass die Testpersonen teilweise körperlich nicht in der Lage waren, die hohe Belastung, die durch das PerPot-Modell gefordert wurde, über längere Zeit zu erbringen. Bereits die Abweichung von ca. +13 Schlägen pro Minute über einen längeren Zeitraum stellt eine erhebliche körperliche Belastung der Testpersonen dar. Die von PerPot geforderten +27,3 Schl/min sind in der Praxis kaum über einen längeren Zeitraum zu erreichen, so dass die tatsächlich erbrachte Intensität geringer ist, als die von PerPot vorgegebene. Hierdurch lässt sich auch die längere Führungszeit in der Experimentalgruppe erklären. Da die Testpersonen häufig physisch nicht in der Lage sind, die von PerPot geforderte Intensität zu erbringen, bleibt die  $HF_{\text{real}}$  unterhalb der Vorgabe von PerPot. Folglich wird die Führung nicht vorzeitig beendet.

Die zu intensiven Trainingsvorgaben lassen sich möglicherweise dadurch erklären, dass das in PerPot verwendete Modell zur Schwellenschätzung sich an einem Modell zur Berechnung der Laktatschwelle orientiert, dass für den Radsport weniger geeignet erscheint als für den Mittel- und Langstreckenlauf. Eine Anpassung des PerPot-Biking-Modells an die Bedürfnisse der Radsportpraxis in Form einer extensiveren Schwellenberechnung ist daher Voraussetzung bevor eine Trainingssteuerung während des Trainings in Echtzeit für den Trainingsbetrieb im Radsport empfohlen werden kann. Gelingt jedoch diese Anpassung, ist zu erwarten, dass mit dem TSS zusammen mit der Echtzeitberechnung der IAS durch PerPot sehr exakte Trainingsvorgaben erreicht werden können und das Training in der Gruppe somit für jeden Einzelnen individuell sehr genau gesteuert werden kann. Für die Optimierung dieses Trainingssystems sind daher weitere Experimente mit einem angepassten PerPot-Modell notwendig.

## 5 Literatur

- Brückner, J. & Wilhelm, A. (2008). Modellierung und Simulation von Adaptationsprozessen. *E-Journal Bewegung und Training*, 2, 51-65.
- Craig, N., Walsh, C., Martin, D. T., Woolford, P., Bourdon, P., Stanef, T., Barnes, P. & Savage, B. (2000). Protocols for the Physiological Assessment of High-Performance Track, Road, and Mountain Bike Cyclists. In CJK Gore (Ed.), *Physiological test for elite athletes*. Australian Sports Commission: Champaign.
- Jaitner, T. & Trapp, M. (2008a). An Ambient Intelligence System to support Team Training in Cycling. *E-Journal Bewegung und Training*, 2, S. 66-72.
- Jaitner, T. & Trapp, M. (2008b). Application of Service Oriented Software Architectures in Sports: Team Training Optimization in Cycling. *International journal of computer science in sport*, 7 (2), S. 34-45.
- Lindner, W. (2005). *Radspporttraining: Methodische Erkenntnisse, Trainingsgestaltung, Leistungsdiagnostik* (5. überarb. Auflage). München:BLV.
- Neumann, G. (2000). Physiologische Grundlagen des Radsports. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51 (5), S. 169-175.
- Perl, J. (2000). Antagonistic Adaptation Systems: *An Example of How to Improve Understanding and Simulating Complex System Behaviour by Use of Meta-Models and On Line-Simulation*. Conference Report at IMACS 2000, Lausanne.
- Perl, J. & Endler, S. (2006). Training- and Contest-scheduling in Endurance Sports by Means of Course Profiles and PerPot-based analysis. *International journal of computer science in sport*, 5, 2, 42-46.
- Schmidt, A. (2001). *Handbuch für Radsport* (4. ed.). Aachen: Meyer & Meyer.

### **Danksagung:**

Wir danken der Betriebssportgruppe (Radsport) von Olympus Europa, Hamburg für die großzügige Unterstützung durch die Bereitstellung von Räumlichkeiten und Testpersonen.