
Optimierung der Trainingssteuerung im Schwimmsport mittels simulationsgestützter Trainingswirkungsanalyse mit dem Performance-Potential Modell (PerPot)

(AZ 071618/10-11)

Mark Pfeiffer¹ (Projektleiter), Andreas Hohmann² (Projektleiter)
& Stefan Fuhrmann³

¹Universität Mainz, Institut für Sportwissenschaft,

²Universität Bayreuth, Institut für Sportwissenschaft,

³Universität Bayreuth, Institut für Sportwissenschaft,
Olympiastützpunkt Hamburg / Schleswig Holstein

Problem

Als Grund für das schlechte Abschneiden deutscher Schwimmerinnen und Schwimmer bei internationalen Großereignissen werden Probleme bei der trainingsmethodischen Gestaltung angeführt (Graumnitz & Küchler, 2004; Rudolph, 2001; Rudolph, 2009). Hauptreserven für die zukünftige Trainingssteuerung werden u. a. gesehen in

1. der Entwicklung und Umsetzung langfristiger Konzepte für eine zielgerichtete Leistungsentwicklung,
2. der Möglichkeit einer zentralen Trainingsanalyse und
3. der stärkeren Ausrichtung der Belastungsformen auf die jeweilige Athletin bzw. den jeweiligen Athleten (Individualisierung) insbesondere in der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung (UWV).

In diesem Zusammenhang ergeben sich aus trainingswissenschaftlicher Sicht folgende Fragen: Welchen Verlauf nimmt die Leistung unter dem realisierten Training? Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem realisierten Training und der Leistungsveränderung? Welche Optimierungshinweise ergeben sich aus dem Belastungs-Leistungs-Zusammenhang für die Trainingsplanung? Mithilfe der *Trainingswirkungsanalyse*, d. h. der empirischen Überprüfung des Zusammenhangs von Training und Leistung, gibt die trainingswissenschaftliche Forschung Antworten auf diese Fragen (Hohmann, Lames & Letzelter, 2007). Mit dem *Fitness-Fatigue-Modell* (FF-Modell) (Banister et al., 1975; Banister, 1982) und dem *Performance-Potential-Modell* (PerPot) (Perl, 2000) stehen hierfür zwei Modelle zur Verfügung. Modellvergleichende Studien zeigten sowohl bei der Güte der Modellanpassung als auch der Prognosegenauigkeit z. T. deutliche Vorteile des PerPot gegenüber dem FF-Modell (Ganter, Witte & Edelmann-Nusser, 2006; Pfeiffer, 2008; Pfeiffer & Schrot, 2010a, 2010b; Pfeiffer, Fehr & Voigt, 2009). Folglich wurde im Projekt das PerPot-Instrument zur Unterstützung der Trainingssteuerung eingesetzt.

Methode

Grundstruktur des Performance-Potential-Modell (PerPot)

Ausgangspunkt für die Entwicklung des PerPot war – neben der Individualität von Anpassungsprozessen – das grundlegende Problem der Komplexität der Leistungsentwicklung, der Vielfalt der beteiligten Parameter sowie ihrer Wechselwirkungen. Mit dem PerPot-Modell wurde das Ziel verfolgt, die Dynamik von kurz- und mittelfristigen Wechselwirkungsphänomenen des Trainings kombiniert abbilden zu können (Mester & Perl, 2000; Perl & Mester, 2001). Die Grundstruktur des PerPot ergibt sich aus dem Strukturelement Leistungspotential $LP(t)$, durch welches die sportliche Leistung zum Ausdruck kommt. $LP(t)$ variiert in Abhängigkeit von der Trainingsbelastung $b(t)$, wobei die Wirkungen auf $LP(t)$ grundsätzlich von der Zeit abhängig sind. Die Trainingsbelastung $b(t)$ wird in einem Ermüdungspotential EP und einem Fitness-Potential FP zwischengespeichert, wobei EP abbauend (negativ) und FP aufbauend (positiv) auf das Leistungspotential $LP(t)$ wirkt. Der Fluss von EP und FP zu LP benötigt Zeit, d. h. Trainingsbelastungen wirken zeitverzögert (VE bzw. VF) auf die Leistung. Durch das Verhältnis der Verzögerungsparameter untereinander ergeben sich unterschiedliche Systemverhalten.

Um Leistungsrückgänge oder Leistungseinbrüche abbilden zu können, die auf eine zu hohe körperliche Beanspruchung, und damit überhöhte Trainingsbelastung zurückgeführt werden können, wurde in das Modell ein Überlauf (Overflow) integriert. Die Überlaufverzögerung (VUE) ist deutlich geringer als VE , so dass bei Aktivierung des Überlaufs die Leistungsminderung unmittelbar erfolgt.

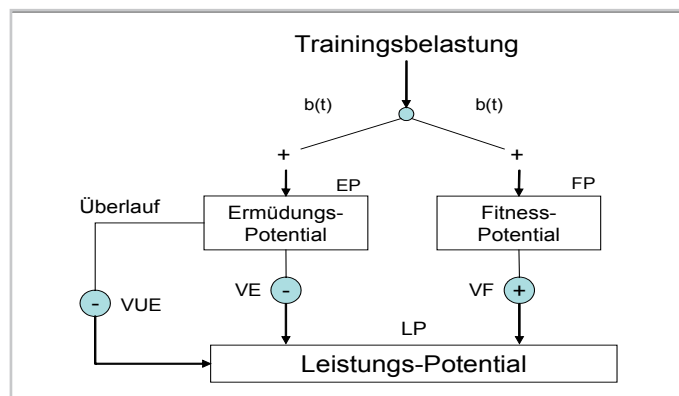


Abb. 1. Das Performance-Potential Metamodell (PerPot): Basisstruktur mit Überlauf (nach Perl, 2002, S. 108)

Das Performance-Potential-Modell ist nach erfolgreicher Kalibrierung in der Lage das „Verhalten“ der Athletin bzw. des Athleten möglichst genau widerzuspiegeln. Bei der Kalibrierung werden die Modellparameter (VF , VE , VUE , der Startwert von LP und die Obergrenze von EP) anhand der individuellen Charakteristik der Trainings- und Leistungsdaten mit Hilfe eines informatischen Algorithmus so bestimmt, dass das PerPot aus den Belastungen möglichst gut die Leistungen approximiert.

Auf Grundlage des dadurch ermittelten spezifischen Parametersatzes (individueller „Fingerabdruck“ der jeweiligen Sportlerin bzw. des jeweiligen Sportlers) kann bei gegebener Folge von geplanten Trainingsbelastungen eine *Leistungsprädiktion* erfolgen.

Untersuchte / Betreute Trainingsgruppe

An der Studie nahmen 7 Schwimmer (2 weiblich, 5 männlich) des DSV-Bundesstützpunkts Frankfurt, im Alter zwischen 17 und 27 Jahren teil. Bei der betreuten Trainingsgruppe handelt es sich um national (Endlaufteilnahme Deutsche Meisterschaften) und international (Teilnahme EM, WM, OS) erfolgreiche Athletinnen und Athleten.

Trainingsdiagnostik (Trainingsinput)

Grundlage für die individuelle Berechnung der *schwimmspezifischen Trainingsbelastung* sind die tageweise aufsummierten Umfänge (geschwommene Strecken in Kilometern) in acht Belastungszonen (BZ) (Rudolph, 2008). In Anlehnung an Mujika und andere (1996) wurden die pro Tag in der jeweiligen BZ geschwommenen Kilometer mit einem entsprechenden Gewichtungsfaktor multipliziert und so ein Belastungswert für das Schwimmtraining ermittelt. Das *Landtraining* wurde in zum Schwimmtraining äquivalente Einheiten quantifiziert (Mujika et al., 1996; Avalos, Hellard & Chatard, 2003). Die Gesamttrainingsbelastung wurde durch Summation der Teilbelastungen aus Wasser- und Landtraining ermittelt.

Leistungsdiagnostik (Leistungsoutput)

Die Ermittlung der schwimmspezifischen Leistungsfähigkeit (Leistungsoutput) erfolgte zweimal wöchentlich über einen Semi-Tethered-Schwimmtest (3 x 20 m fliegend mit zunehmendem Widerstand vom 1. zum 3. Durchgang; Start erfolgte alle 90 Sekunden). Den Widerstand erzeugt ein am Beckenrand fixiertes Bremsaggregat (elektromagnetisch), welches an der Universität Bayreuth entwickelt wurde.

Auswertung

Die Trainings- und Leistungsdaten von vier Monaten wurden verwendet, um die Modellanpassung zu prüfen. Hierfür wurde der Intraclass-Correlation-Coeffizient (ICC) zwischen realen und simulierten Leistungswerten ermittelt. Zur wissenschaftlichen Prüfung der Prognosegenauigkeit wurden für vier Athletinnen bzw. Athleten die so ermittelten individuellen Modellparameter verwendet, um basierend auf den realen Trainingsdaten die individuellen Leistungswerte für einen Monat zu prognostizieren.

Ergebnisse

Die Ergebnisse für den 1. Untersuchungszeitraum (vier Monate, 1. Vorbereitungsperiode) zeigen, dass gemessen am ICC bei sechs der sieben Testpersonen zufrieden stellende Anpassungen (ICC-Koeffizienten $>0,65$) an die realen Leistungsdaten erzielt werden konnten (Tab. 1). Lediglich bei S7 weichen die simulierten Leistungsdaten stärker von den real gemessenen Leistungskennwerten ab.

Tab. 1. *Modellanpassung für die 1. Vorbereitungsperiode (4 Monate) und Prognose für die 2. Vorbereitungsperiode (1 Monat) – Intra-Class-Korrelationskoeffizient (ICC) für die Güte der Modellanpassung und mittlere relative Abweichung [%] für die Güte der Leistungsprognose; Anzahl der zur Modellanpassung berücksichtigten Leistungswerte (N1); Anzahl der prognostizierten Leistungswerte (N2); arithmetischer Mittelwert (M); Standardabweichung (SD)*

Sportler/Sportlerin	Modellanpassung (4 Mon.)		Prognose (1 Mon.)	
	N1	ICC	N2	mittlere relative Abweichung [%]
S1	24	.77	6	1,80
S2	17	.68	6	7,50
S3	17	.65	7	2,86
S4	10	.76	6	3,84
S5	8	.86	-	-
S6	16	.65	-	-
S7	9	.55	-	-
M		.72		4,00
SD		.10		2,48

Basierend auf den Ergebnissen der Modellanpassung (1. Vorbereitungsperiode) wurden die Leistungswerte von vier Schwimmern (S1, S2, S3, S4) für die 2. Vorbereitungsperiode (ein Monat) allein aufgrund der Trainingsdaten prognostiziert. Gemessen an der mittleren relativen Abweichung gelingt bei S1 eine sehr gute und bei S3 und S4 eine zufrieden stellende Leistungsprädiktion. Die Prognose von S2 weicht jedoch deutlich von den realen Leistungskennwerten ab.

Diskussion

Die hier nur in Auszügen vorgestellten Projektergebnisse zeigen, dass über längere Zeiträume (vier Monate) mit dem PerPot in sechs von sieben Fällen gute bis sehr gute Modellanpassungen erreicht werden konnten. Die anschließende Prognose zukünftiger Leistungswerte für einen Zeitraum von einem Monat ergab für drei der vier untersuchten Personen eine zufrieden stellende Genauigkeit. Für den prozessbegleitenden Routineeinsatz im Spitzensport sollten jedoch kürzere Zeiträume für die Kalibrierung der Modellparameter gewählt werden, da von einer stetigen, trainingsbegleitenden Veränderung der individuellen Anpassungschronologie auszugehen ist. Das bedeutet, modellseitig müssen die Verzögerungsparameter (VE, VF,

VUE) an die veränderten Bedingungen angepasst werden, wodurch die Prognosegenauigkeit entsprechend verbessert werden kann.

Im Hinblick auf die Trainingspraxis kann das PerPot sinnvoll zur Unterstützung der Trainingssteuerung im Sportschwimmen eingesetzt werden, wenn die individuelle Anpassungschronologie über die Zeit stabil ist. Ansonsten sollten die Verzögerungsparameter an Veränderungen in der Anpassungschronologie angepasst werden. Zur prozessbegleitenden Anpassung der Modellparameter kann hier die „Sliding-Window-Technik“ angewendet werden, d. h. ein ca. 3-4 Wochen Zeitfenster wird schrittweise zur Neu-Kalibrierung des Modells verwendet.

Literatur

- Avalos, M., Hellard, P. & Chatard, J. C. (2003). Modeling the training-performance relationship using a mixed model in elite swimmers. *Medicine and science in sports and exercise*, 35 (5), 838-846.
- Banister, E. W., Calvert, I. W., Savage, M. V. & Bach, I. M. (1975). A system model of training for athletic performance. *Australian journal of sports medicine*, 7 (3), 57-61.
- Banister, E. W. (1982). Modeling Elite Athletic Performance. In J. D. MacDougall, H. W. Wenger & H.J. Green (Eds.), *Physiological Testing of Elite Athletes* (pp. 403-425). Champaign IL: Human Kinetics.
- Ganter, N., Witte, K. & Edelmann-Nusser, J. (2006). Performance Prediction in Cycling Using Antagonistic Models. *International journal of computer science in sport*, 5 (2), 56-59.
- Graumnitz, J. & Kuchler, J. (2004). Entwicklungstendenzen und Leistungsreserven im Schwimmen. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft*, 11 (2), 119-128.
- Hohmann, A., Lames, M. & Letzelter, M. (2007). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert.
- Mester, J. & Perl, J. (2000). Grenzen der Anpassungs- und Leistungsfähigkeit aus systematischer Sicht – Zeitreihenanalyse und ein informatisches Metamodell zur Untersuchung physiologischer Adaptationsprozesse. *Leistungssport*, 30 (1), 43-51.
- Mujika, I., Busso, T., Lacoste, L., Barale, F., Geysant, A. & Chatard, J. C. (1996). Modeled responses to training and taper in competitive swimmers. *Medicine and science in sports and exercise*, 28 (2), 251-258.
- 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. & Mester, J. (2001). Modellgestützte Analyse und Optimierung der Wechselwirkung zwischen Belastung und Leistung. *Leistungssport*, 31 (2), 54-62.
- 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.41-51). Hamburg: Czwalina.

- Pfeiffer, M. (2008). Modeling the Relationship between Training and Performance – A Comparison of Two Antagonistic Concepts. *International journal of computer science in sport*, 7 (2), 13-32.
- Pfeiffer, M., Fehr, U. & Voigt, L. (2009). Analysing training effects on performance in strength training by means of two different antagonistic models. *Book of Abstracts, 14th Annual Congress of the European College of Sport Science*, Oslo. 437.
- Pfeiffer, M. & Schrot, C. (2010a). Simulative Trainingswirkungsanalyse mit dem Performance-Potential-Modell (PerPot) am Beispiel des Radsports. In J. Wiemeyer, A. Baca & M. Lames (Hrsg.). *Sportinformatik gestern, heute, morgen*. (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 198, S. 143-154). Feldhaus: Hamburg.
- Pfeiffer, M. & Schrot, C. (2010b). Modelling and Prediction of Performance in Elite Cyclists. *Book of Abstracts, 15th Annual Congress of the European College of Sport Science*, Antalya. 281-282.
- Rudolph, K. (2001). Die Entwicklung des internationalen und nationalen Schwimmsports unter besonderer Berücksichtigung der Olympischen Spiele in Sydney 2000. *Leistungssport*, 1 (31), 48-55.
- Rudolph, K. (2008). Belastungszonen – Problemzonen. In DSTV / Leopold (Hrsg.), *Schwimmen. Lernen und Optimieren* (S. 34-40). Beucha.
- Rudolph, K. (2009). Die Entwicklung des Weltschwimmsports und der deutschen Schwimmerinnen und Schwimmer unter besonderer Berücksichtigung der Olympischen Spiele von 2008. *Leistungssport*, 1 (39), 25-29.