

## Modellierung von Trainingsprozessen im Schwimmsport

### 1 Einleitung

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Olympischen Spiele 2000, 2004 und 2008 wird von verschiedenen Seiten das unbefriedigende Abschneiden der Deutschen Beckenschwimmer beklagt (Rudolph, 2009). Auch bei der WM 2011 in Shanghai konnten die meisten DSV-Schwimmer dem Vergleich mit der internationalen Konkurrenz nicht standhalten. Nur die wenigsten Athleten waren in der Lage, ihre Nominierungsleistungen der Deutschen Meisterschaften zu unterbieten bzw. wenigstens zu wiederholen. Somit ist es dem DSV wieder einmal nicht gelungen, einen zielgerichteten Leistungsaufbau zu realisieren. Als Grund für das schlechte Abschneiden bei internationalen Großereignissen werden Probleme bei der trainingsmethodischen Gestaltung, vor allem in der Unmittelbaren Wettkampfvorbereitung (UWV) angeführt (Graumnitz & Küchler, 2004; Rudolph, 2001; Rudolph, 2009). 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 Trainings- und Leistungsdaten gibt die trainingswissenschaftliche Forschung Antworten auf diese Fragen (Hohmann, Lames & Letzelter, 2007). Versuche die komplexen Anpassungsphänomene beim Trainingsprozess abzubilden, haben gezeigt, dass nur mit Modellen zufriedenstellende Modellierungen erzielt werden können, die den prinzipiellen Antagonismus von Ermüdung und Fitness bei der Trainingsadaptation berücksichtigen. Mit dem *Fitness-Fatigue-Modell* (Banister et al., 1975; Banister, 1982) und dem *Performance-Potential-Modell* (Perl, 2000) stehen der Sportwissenschaft zwei weiterführende Ansätze zur Verfügung, bei denen der Antagonismus des Anpassungsprozesses Beachtung findet. Modellvergleichende Studien zeigen zum Teil deutliche Vorteile des PerPot gegenüber dem FF-Modell sowohl bei der Güte der Anpassung als auch der Genauigkeit, zukünftige Leistungen zu prognostizieren (Ganter, Witte & Edelmann-Nusser, 2006; Pfeiffer, 2008; Pfeiffer & Schrot, 2010; Pfeiffer, Fehr & Voigt, 2009). In einer Studie mit Radsportlern konnten Pfeiffer et al. (2010) eindrucksvoll dokumentieren, wie der Überlauf des PerPot bei trainingsinduziertem Leistungseinbruch die Entwicklungsdynamik im Vergleich zum FF-Modell wesentlich genauer abbildet. Folglich wurde in der hier vorgestellten Studie das PerPot als Instrument zur Modellierung von Trainingsprozessen verwandt.

## Grundstruktur des Performance-Potential-Modell

Ende der 90er Jahre wurde der antagonistische Grundgedanke des Fitness-Fatigue-Modells (FF) aufgegriffen und mit dem Performance-Potential-Modell (PerPot) ein *informatisches Metamodell* zur Untersuchung physiologischer Adaptationsprozesse entwickelt (vgl. Abb. 1). Ausgangspunkte für die Entwicklung des PerPot waren – neben der Individualität von Anpassungsprozessen – die grundlegenden Probleme der Komplexität der Leistungsentwicklung, sowie der Vielfalt der beteiligten Parameter mit deren Wechselwirkungen. Mit dem PerPot wurde das Ziel verfolgt, die Dynamik von kurz- und mittelfristigen Wechselwirkungsphänomenen des Trainings kombiniert abbilden zu können (Mester & Perl, 2000; Perl & Mester, 2001). Das Modell geht explizit von der zeitlichen Dynamik eines Prozesses aus und sucht eine dazu passende Lösung. So kann auch auf kurzfristig veränderte Kontextbedingungen, wie sie biologischen Systemen eigen sind, angemessen reagiert werden. Die Grundstruktur des PerPot-Modells 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, demzufolge wirken Trainingsbelastungen zeitverzögert auf die Leistung. Aus diesem Grund wurden Verzögerungsparameter für die Potentiale „Ermüdung“ ( $VE$ ) und „Fitness“ ( $VF$ ) integriert, welche Hinweise über die Dauer des positiven und negativen Einflusses geben (Pfeiffer & Perl, 2009; Mester & Perl, 2000). Durch das Verhältnis der Verzögerungsparameter untereinander ergeben sich unterschiedliche Systemverhalten. Ist die Ermüdungsverzögerung geringer ausgeprägt als die Erholungsverzögerung zeigt das Modell den sog. Superkompensationseffekt. Die geringe Ermüdungsverzögerung führt zunächst zu einem Abfall des Leistungsoutputs, bevor die größere Erholungsverzögerung ein Ansteigen der Leistung mit sich bringt. Bei umgekehrtem Verhältnis von Ermüdungs- und Verzögerungsparameter kommt es erst zu einem Anstieg des Leistungsoutputs, bevor dieser dann nachfolgend reduziert bzw. stabilisiert wird (Perl & Mester, 2001; Perl, 2010; Perl, 2006). Ganter et al. (2006) zu Folge lassen sich aus dem Verhältnis der Verzögerungsparameter ( $VE/VF$ ) Rückschlüsse auf die sportliche Form des Athleten ziehen. Bei gut trainierten Sportlern zeigt sich eine im Verhältnis größere Verzögerung des Flusses vom  $EP$ , d.h. der negativen Wirkung auf die Leistung ( $LP$ ).

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. Mit der Implementierung des Überlaufs wird verhindert, dass das Er-

müdigungspotential über die Kapazitätsgrenze hinaus angefüllt werden kann. Der Überlauf wirkt über einen Überlauf-Fluss (VUE) direkt, d.h. mit kürzerer Verzögerung negativ auf das LP (Pfeiffer & Perl, 2009; Mester & Perl, 2000). Die Überlaufverzögerung ist deutlich geringer als VE, so dass bei Aktivierung des Überlaufs die Leistungsminderung unmittelbar erfolgt (Pfeiffer & Schrot, 2010).

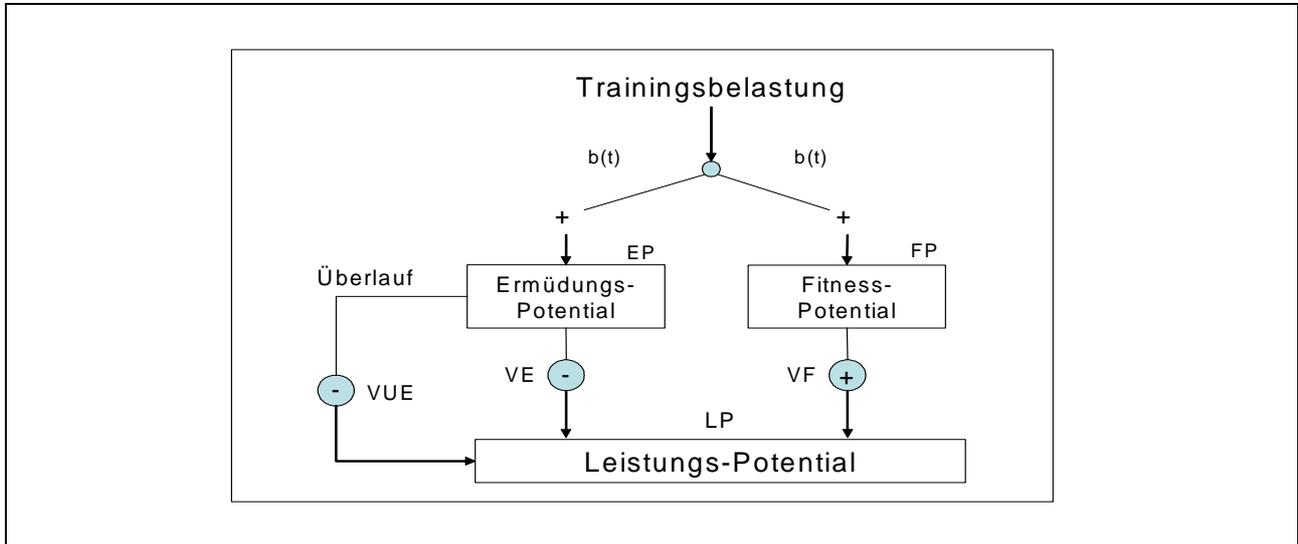


Abb. 1. Das Performance-Potential Metamodell (PerPot): Basisstruktur mit Überlauf (nach Perl, 2002, S. 108)

### Kalibrierung des Performance-Potential-Modells und Leistungsprädiktion

Das Performance-Potential-Modell ist nach erfolgreicher *Kalibrierung* in der Lage, das „Verhalten“ des Athleten möglichst genau widerzuspiegeln. Bei der Kalibrierung werden die Modellparameter anhand der individuellen Charakteristik der Trainings- und Leistungsdaten errechnet. Mit Hilfe eines genetischen Algorithmus werden  $VF$ ,  $VE$ ,  $VUE$ , der Startwert von  $LP$  und die Obergrenze von  $EP$  so bestimmt, dass das PerPot aus den Belastungen möglichst gut die Leistungen approximiert. Auf Grundlage des dadurch ermittelten spezifischen Parametersatzes (individueller „Fingerabdruck“ des jeweiligen Sportlers) kann bei gegebener Folge von geplanten Trainingsbelastungen eine *Leistungsprädiktion* erfolgen (Mester & Perl, 2000; Pfeiffer & Schrot, 2010).

Zur detaillierten Beschreibung der Modellfunktionen und -gleichungen siehe Perl (2000), Mester und Perl (2000) sowie Pfeiffer (2008).

## Zielsetzung

Ausgehend von der Problematik der Trainingssteuerung im Schwimmsport wird im hier vorgestellten Betreuungsprojekt das PerPot-Instrumentarium im Sinne einer Trainingswirkungsanalyse zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Training (Input) und sportlicher Leistung (Output) genutzt. Wie nachfolgend dargestellt, erfolgt in einem ersten Schritt die Prüfung der *Modellgüte* (Genauigkeit der Modellanpassung) und die Qualität der *Modellprognose* (Vorhersagegenauigkeit). Im weiteren Verlauf des Projektes werden nun die Modellierung und Simulation der Wechselbeziehung zwischen Kenngrößen des Trainings und der Schwimmleistung dazu genutzt, die individuelle Trainingsplanung zu optimieren. Die anhand des Modells ersichtlichen Zusammenhänge zwischen Training und Leistung werden den am Trainingsprozess beteiligten Personen zurückgemeldet. Zusätzlich werden trainingsmethodische Ableitungen diskutiert.

## 2 Methode

### 2.1 Untersuchte / Betreute Trainingsgruppe

An der Studie nahmen 7 Schwimmer (2w, 5m) des DSV-Bundesstützpunkts Frankfurt, im Alter zwischen 17 und 27 Jahren teil (vgl. Tab. 1). Bei der betreuten Trainingsgruppe handelt es sich um national (Endlaufteilnahme Deutsche Meisterschaften) und international (Teilnahme EM, WM, OS) erfolgreiche Athleten.

### 2.2 Erfassung von Trainings- und Leistungsdaten

Für die prozessorientierte Modellierung der Trainingswirkung ist es erforderlich, sowohl die Trainingsdaten (Input) als auch die Kennwerte der sportlichen Leistung bzw. der Leistungsfähigkeit (Output) in möglichst kleinen Zeitschritten zu erfassen. Ziel ist deshalb eine ökonomische, trainingsbegleitende Erfassung der Kenngrößen.

#### 2.2.1 Trainingsdiagnostik (Trainingsinput)

Das Schwimm- und Landtraining der sieben untersuchten Athleten und Athletinnen wurde tageweise anhand der vom DSV vorgegeben Trainingsdatendokumentation (TDD) erfasst. Somit konnte für jeden Sportler die individuelle Trainingsbelastung (Trainingsinput) quantifiziert werden.

Tab. 1. Betreute Trainingsgruppe

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Streckenlänge	Sprint	Sprint	Mittel- strecke	Mittel- strecke	Lang- strecke	Mittel- strecke	Lang- strecke
Schwimmart	Freistil, Rücken	Freistil	Freistil	Rücken	Freistil	Delphin, Lagen	Freistil
Alter	25	21	18	23	23	27	17
Geschlecht (m/w)	m	m	m	m	m	w	w
Untersuchungs- zeitraum	5 Monate	5 Monate	5 Monate	5 Monate	2 Monate	4 Monate	4 Monate

### *Schwimm-/Wassertraining*

Grundlage für die individuelle Berechnung der schwimmspezifischen Trainingsbelastung sind die tageweise aufsummierten Umfänge (geschwommene Strecken in Kilometern) in den acht Belastungszonen (BZ) (Rudolph, 2008). In Anlehnung an Mujika et al. (1996) werden die pro Tag in der jeweiligen BZ geschwommenen Kilometer wie folgt mit einem entsprechenden Gewichtungsfaktor multipliziert:

$$\text{Gesamtbelastung Wasser} = 1 \times \text{km BZ1} + 2 \times \text{km BZ2} + 3 \times \text{km BZ3} + 5 \times \text{km BZ4} + 8 \times \text{km BZ5} + 9 \times \text{km BZ6, 7, 8} \quad (1)$$

### *Landtraining*

Bei der Dokumentation des Landtrainings wurden die Minuten festgehalten, welche die Sportler/innen in einer bestimmten Trainingsaufgabe absolvierten. Mujika et al. (1996) haben vorgeschlagen, aus der Dauer des Landtrainings sog. äquivalente Einheiten zu berechnen, die analog zum Schwimmtraining in Kilometern ausgedrückt werden und durch Multiplikation mit den Intensitätsbereichen / Belastungszonen die Gesamtbelastung des Landtrainings ergeben. Dabei wurde nach Absprache mit den Trainern und Athleten für 1 Std. Landtraining ein Äquivalent von 2 Kilometern Schwimmen festgelegt. Dementsprechend entspricht eine Minute Landtraining einer Schwimmstrecke von 33,33 Metern. Im vorgestellten Betreuungsprojekt wurden die unterschiedlichen Landtrainingsformen nach Rücksprache mit der Sportpraxis mit folgenden Gewichtungsfaktoren versehen: Ausdauer, Spiel / Er-

ganzungstraining = 2; Allgemeine Athletik = 4; Maximalkraft, Kraftausdauer, Schnellkraft = 5; Dehnung, Koordination/Stabilisation = 1; Somit ergibt sich in Anlehnung am Mujika et al. (1996) folgende Berechnung des Landtrainings:

Gesamtbelastung Land = (2 x (33,33 x Minuten Ausdauer, Spiel / Erganzungstraining) + 4 x (33,33 x Minuten Allg. Athletik) + 5 x (33,33 x Minuten Maximalkraft, Kraftausdauer, Schnellkraft) + 1 x (33,33 x Minuten Dehnung, Koordination / Stabilisation)) / 1000 (2)

### *Quantifizierung der Gesamttrainingsbelastung*

Die Gesamttrainingsbelastung wird durch Summation der Teilbelastungen aus Wasser- und Landtraining ermittelt.

Gesamttrainingsbelastung = Gesamtbelastung Wasser + Gesamtbelastung Land (siehe oben) (3)

Somit wird für jeden Tag ein Gesamtbetrag des Trainings berechnet, durch dessen Höhe die individuell absolvierte Belastung zum Ausdruck kommt.

### *2.2.2 Leistungsdiagnostik (Leistungsoutput)*

Die Ermittlung der schwimmspezifischen Leistungsfähigkeit (Leistungsoutput) erfolgte zweimal wöchentlich über einen Semi-Tethered-Schwimmtest (halbangebundenes Schwimmen). Dieser wurde gewählt, weil der Vergrößerung der Antriebsleistung im Spitzenbereich des Sportschwimmens (großer Krafteinsatz pro Einzelzyklus) eine immer größere Bedeutung zukommt (Hilgner-Recht & Wirth, 2010). Der Schwimmer/in wurde über einen am Hüftgurt befestigten Kunststoffzahnriemen gebremst. Den Widerstand erzeugte ein am Beckenrand fixiertes Bremsaggregat (elektromagnetisch), welches an der Universität Bayreuth entwickelt wurde (Abb. 2). Nach Absto vom Beckenrand war eine Strecke von 20m fliegend in der Hauptschwimmart dreimal zu absolvieren - der Start erfolgte alle 90 Sekunden. über das Bremsaggregat wurden der Auszugweg und die Geschwindigkeit des Auszuges gemessen, worüber dann die mittlere Geschwindigkeit der 3 x 20m bestimmt wurde (Leistungsoutput). Die Testabnahme erfolgte jeweils zur gleichen Tageszeit, um den Einfluss des circadianen Zyklus möglichst gering zu halten.

Für die PerPot-Analyse ist eine einheitliche Zeitskala über den gesamten Untersuchungszeitraum notwendig. Diese wurde in der vorliegenden Studie - orientiert an dem Turnus der Leistungserfassung - auf sieben Input-Output-Datenpaare pro Woche festgelegt, unabhängig davon, ob tatsächlich eine Leistungsüberprüfung vorlag.



Abb. 2. Bremsaggregat (Eigenbau Universität Bayreuth)

### 2.3 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. Für vier Schwimmer wurden die so ermittelten individuellen Modellparameter verwendet, um basierend auf den realen Trainingsdaten die individuellen Leistungswerte für einen Monat zu prognostizieren. Zur Quantifizierung der Prognosegüte wurde die mittlere relative Abweichung zwischen realen und simulierten Leistungswerten ermittelt.

Zur Prüfung der Modellanpassung und der Prognose wurden sowohl der Total-Training-Load (TTL) als auch der Swim-Training-Load (STL) herangezogen.

## 3 Ergebnisse

### *Modellanpassung*

Die Ergebnisse für den Untersuchungszeitraum VP1 zeigen, dass gemessen am ICC bei sechs der sieben Schwimmer zufriedenstellende Anpassungen (ICC-Koeffizienten  $> 0,65$ ) an die realen Leistungsdaten erzielt werden (S1, S2, S3, S4, S5, S6). Bei der Modellierung des Trainingsprozesses von S7 weichen die simulierten Leistungsdaten stärker von den realen Leistungsdaten ab (ICC-Koeffizient  $< 0,65$ ). Während bei S2 und S4 präzisere Modellanpassungen auf Grundlage des Swim-Training-Loads (STL) zu beobachten sind, gelingt dies bei S1, S3, S6 und S7 hingegen besser mit Hilfe des Total-Training-Loads (TTL). S5 weist keine Unterschiede in der Wahl des Inputparameters (TTL oder STL) auf (Tab. 2.).

## Prognose

Das Modell wurde mit den realen Trainings- und Leistungsdaten der VP1 (4 Monate) kalibriert, um basierend auf den so ermittelten Modellparametern die Leistungswerte von vier Schwimmern (S1, S2, S3, S4) für die VP1 (1 Monat) allein aufgrund der Trainingsdaten zu prognostizieren. Gemessen an der mittleren relativen Abweichung gelingt bei S1 eine sehr gute und bei S2 eine zufriedenstellende Leistungsprädiktion. Die Prognosen von S2 und S3 weichen deutlich stärker von den realen Leistungsdaten ab.

Tab. 2. 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 (mittl. Abw. [%]) für die Güte der Leistungsprädiktion; Anzahl der zur Modellanpassung berücksichtigten Leistungswerte (N1); Anzahl der prognostizierten Leistungswerte (N2); Total-Training-Load (TTL); Schwimm-Training-Load (STL); arithmetischer Mittelwert (M); Standardabweichung (SD)

	Modellanpassung (VP1: 4 Monate)			Prognose (VP2: 1 Monat)		
	N1	ICC		N2	mittl. rel. Abw. [%]	
		TTL	STL		TTL	STL
S1	24	0,77	0,7	6	1,80	1,85
S2	17	0,68	0,72	6	7,50	4,00
S3	17	0,65	0,59	7	2,86	2,80
S4	10	0,76	0,87	6	3,84	7,53
S5	8	0,86	0,86	/	/	/
S6	16	0,65	0,63	/	/	/
S7	9	0,55	0,54	/	/	/
<b>M</b>	<b>101</b>	<b>0,72</b>	<b>0,72</b>	<b>25</b>	<b>4,00</b>	<b>4,05</b>
<b>SD</b>		<b>0,10</b>	<b>0,13</b>		<b>2,48</b>	<b>2,48</b>

## 4 Diskussion

Betrachtet man die Ergebnisse der hier vorgestellten Studie, sind in 10 von 14 Fällen (S1, S2, S3, S4, S5) gute Modellanpassungen der simulierten an die realen Leistungsdaten auszumachen. Weniger gute Modellanpassungen werden bei den Schwimmern S5 und S6 erreicht. Ein möglicher Erklärungsansatz hierfür könnte in den Schwankungen bei der Anpassungschronologie und einem damit verbundenen Wechsel der Verzögerungsparameter (VE, VF) durch trainingsmethodische Veränderungen liegen. Mit Hilfe der PerPot-Software („Delay-Analysis“) werden die Parameter des leistungsmindernden Flusses (VE) und des leistungsaufbauenden Flusses (VF) nicht global festgelegt, sondern lokal optimiert. Es gilt zu prüfen ob auf diesem Wege eine bessere Modellanpassung erreicht werden kann.

Bei den Ergebnissen der Prognose ist die Vorhersagegenauigkeit in 6 von 8 Fällen als „gut“ zu bezeichnen (S1, S3). Auch hier müssen als mögliche Begründung die sich ändernden Verzögerungsparameter (VE, VF) innerhalb einer Trainingsperiode angeführt werden.

Im Hinblick auf die Trainingspraxis kann das PerPot also nur unterstützend in der Trainingsplanung von Sportschwimmern eingesetzt werden, wenn die individuelle Anpassungschronologie über die Zeit stabil ist oder die Verzögerungsparameter an die Wechsel der Anpassungschronologie angepasst werden können. Somit muss in Zukunft der Frage nachgegangen werden, wie die Verzögerungsparameter im Laufe einer Trainingsphase / eines Makrozyklus angepasst werden können.

## Literatur

- 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* (S. 403-425). Champaign IL: Human Kinetics.
- Ganter, N., Witte, K. & Edlmann-Nusser, J. (2006). Performance Prediction in Cycling Using Antagonistic Models. *Int J CompSci Sport*, 5 (2), 56-59.
- Graumnitz, J. & Kuchler, J. (2004). Entwicklungstendenzen und Leistungsreserven im Schwimmen. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft*, 11 (2), 119-128.
- Hilgner-Recht, M. & Wirth, K. (2010). Krafttraining im Sportschwimmen. Teil 1: Leistungsrelevante Kraftfähigkeiten im Schwimmen sowie deren Ansteuerung im Wasser- und Landtraining. *Leistungssport*, 6 (40), 21-27.
- 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 (S. 41-51). Hamburg: Czwalina.
- Perl, J. (2006). Modellierung dynamischer Systeme: Grundlagen und Anwendungen in der Leistungsanalyse. In K. Witte, J. Edlmann-Nusser, A. Sabo & E.F. Moritz (Hrsg.), *Sporttechnologie zwischen Theorie und Praxis IV*, (S. 29-38). Shaker: Aachen.
- Perl, L. (2010). Trainingswirkungsanalyse: Planung und Optimierung mit Hilfe des antagonistischen Metamodells PerPot. *Zeitschrift für angewandte Trainingswissenschaft*, 2 (09), 117-127.
- Pfeiffer, M. (2008). Modeling the Relationship between Training and Performance - A Comparison of Two Antagonistic Concepts. *Int J CompSci 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. & Perl, J. (2009). Simulative Trainingswirkungsanalyse bei einem Fahrradergometertraining mittels antagonistischer Modelle. In Lames, Auguste, Cordes, Dreckmann, Görsdorf & Siegle (Hrsg.), *Gegenstand und Anwendungsfelder der Sportinformatik* (S. 41-51). Hamburg: Czwalina.
- Pfeiffer, M. & Schrot, C. (2010). 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.