

---

## **Frequenzverhalten von Oberflächen-EMG-Signalen, leistungsdiagnostische Tests, Modellbildung und Adaptation**

Nico Ganter, Kerstin Witte (Projektleiterin) & Jürgen Edelmann-Nusser

Universität Magdeburg  
Institut für Sportwissenschaft

### **1 Problem**

Ein Hauptanliegen der angewandten Trainingswissenschaft liegt in der Analyse von Trainingsprozessen. Dabei steht der Wirkungszusammenhang von Training und Leistung im Mittelpunkt des Interesses. Im Hochleistungssport mit seiner komplizierten Zeitstruktur und dem komplexen inhaltlichen Zusammenspiel der vielfältigen Trainingsinterventionen bietet sich der Einsatz von simulativen Trainings-Wirkungs-Modellen zur Analyse des Trainings und von individuellen Adaptationsreaktionen an (Hohmann, 2005, S. 58). Zur simulationsbasierten Modellierung des Leistungsverlaufs insbesondere in Sportarten, die in engem Zusammenhang mit physiologischen Adaptationsprozessen liegen (z. B. Schwimmen, Radfahren, Laufen, etc.), werden in jüngerer Vergangenheit so genannte antagonistische Modelle eingesetzt. Diese basieren auf der „Annahme“ von gleichzeitig wirkenden positiven als auch negativen Effekten auf die aktuelle Leistungsfähigkeit, verursacht durch das tägliche Training.

Das Ziel des Forschungsprojektes war eine Modellierung der sportlichen Leistungsfähigkeit im Verlauf des Trainingsprozesses auf der Basis von Testdaten (mittlere mechanische Leistung und mittlere Medianfrequenz im EMG) und Trainingsdaten (Umfänge und Intensitäten). Die Datenerhebungen wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „Frequenzverhalten von Oberflächen-EMG-Signalen im Verlauf von Adaptation“ (Witte, Edelmann-Nusser & Ganter, 2005) im Schwimmen (Kaderbereich) und Radfahren (leistungssportorientierte Sportstudenten) vorgenommen, wobei intraindividuell Zusammenhänge zwischen den Testleistungen und dem Frequenzverhalten der EMG-Signale gezeigt werden konnten.

### **2 Methode**

#### *Schwimmen*

Vier Schwimmerinnen des SC Magdeburg (zwei Olympiakader, ein DSV-Kader, ein JEM-Kader) absolvierten während eines Trainingszeitraums von 27 Wochen (2004) regelmäßige Tests (n = 12...16) auf der isokinetischen Schwimmbank (Fa. Fahnenmann). Die Testaufgabe bestand für die Athletinnen darin, über 30 Sekunden eine größtmögliche mechani-

sche Gesamtarbeit mit dem doppelseitigen Armzug bei frei gewählter Zugfrequenz zu erbringen. Dabei wurden die Oberflächen-EMGs von vortriebsrelevanten Muskeln (m. triceps brachii caput laterale et longum und m. latissimus dorsi) während des Tests erfasst (System: Biovision, 1000Hz) und mittels zeitvarianter Spektralanalyse basierend auf einem AR-Modell ausgewertet (Details siehe Witte et al., 2005). Die mittlere mechanische Leistung während des Tests diente als Indikator für die aktuelle Leistungsausprägung der spezifischen Kraftfähigkeiten. Über eine quantitativ kategoriale Trainingsprotokollierung wurde die Trainingsbelastung der Schwimmerinnen im Untersuchungszeitraum erfasst.

### *Radfahren*

Zehn Sportstudierende (neun männlich, eine weiblich) absolvierten ein achtwöchiges Radtraining. Das individuelle Trainingsprogramm beinhaltete Phasen mit unterschiedlichen Belastungsschwerpunkten (Hochbelastungs-, Taperphase). Protokolliert wurden die Trainingsumfänge (Dauer der Trainingseinheit) und Belastungsintensitäten (mittlere Herzfrequenz während der Trainingseinheit). Als Indikator für die Ausprägung der aktuellen Leistungsfähigkeit wurde die mittlere Tretleistung in einem 30-Sekunden-Maximalbelastungstest dreimal wöchentlich auf dem Cycclus2-Radergometer (Fa. RBM elektronik-automation) erfasst. Während des Tests wurde das Oberflächen-EMG des m. rectus femoris aufgezeichnet und mittels zeitvarianter Spektralanalyse ausgewertet (s. oben). Für die Probanden ergab sich eine Gesamtzahl von 15 bis 21 Leistungstests.

Zur Modellierung des sportlichen Leistungsverlaufs kamen für die dargestellten Untersuchungskomplexe zwei antagonistische Modelle zur Anwendung, das Fitness-Fatigue-Modell (u. a. Banister, 1982) und das PerPot Metamodell (Perl, 2001). Modellierungsanpassungen wurden von Ganter et al. (2005, 2006) durchgeführt.

Die Datenbasis für die Modellierung bildeten die Zeitreihen der Trainingsbelastungen und der mittleren mechanischen Testleistungen sowie die zugehörigen Medianfrequenzen der EMG-Signale im Untersuchungszeitraum. Im Schwimmen wurde die Trainingsbelastung über einen wöchentlichen Score (Summe der gewichteten Umfänge in verschiedenen Intensitätsbereichen) und im Radfahren über den TRIMP Score (Umfang und Intensität, vgl. Banister, 1982) quantifiziert. Als Gütekriterium für die Modellanpassungen wurde der Determinationskoeffizient  $R^2$  zwischen modellierten und realen Leistungsdaten berechnet.

### 3 Ergebnisse

Wie die Ergebnisse in Tabelle 1 und Abbildung 1 zeigen, liefern die beiden antagonistischen Modelle Anpassungen der Leistungsdaten (Testleistungen) mit unterschiedlicher Qualität. So bewegen sich die Determinationskoeffizienten zwischen 0.00 (keine Anpassung) und 0.91 (hohe Anpassung). Hinsichtlich der Zeitkonstanten für das Fitness-Fatigue-Modell ist anzumerken, dass diese in bestimmten physiologisch sinnvollen Bereichen bestimmt wurden ( $t_1$ : 30-60 Tage,  $t_2$ : 1-20 Tage; vgl. u. a. Busso et al., 1997, S. 1689) und für die untersuchten Radfahrer für jeweils einen Parameter am oberen bzw. unteren Limit liegen. Eine Interpretation der Modellparameter bleibt damit fragwürdig. Für das Schwimmen (Zeiteinheit Wochen) ergeben sich bis auf Athletin O1 plausible Zeitkonstanten, die auf ein schnelleres Abfallen der Ermüdungskomponente hindeuten ( $t_2 > t_1$ ). Ein Amplitudenverhältnis von  $k_1 < k_2$  deutet auf eine Dominanz der Ermüdungskomponente bei der Leistungsentwicklung hin (z. B. Schwimmerin O2). Das PerPot-Modell erlaubt für die untersuchten Athleten klarere Rückschlüsse auf das Adaptationsverhalten. So ist das Verhältnis von DS/DR für alle Athleten (Radfahren und Schwimmen) größer als 1 (außer M2). Dies spricht für einen austrainierten Zustand der Athleten, wobei sich die Belastung erst verzögert auf die Leistung auswirkt. Im interindividuellen Vergleich der Schwimmerinnen spricht der geringste Wert von DR (= 1.5) für Athletin O1 für die beste (schnellste) Erholungsfähigkeit.

Tab. 1: Individuelle Modellparameter (Modellierung der Testleistungen im Schwimmen und Radfahren) mit Angabe des Determinationskoeffizienten R2 (Abk. s. Text)

Radfahren								Schwimmen											
Fitness-Fatigue Modell								PerPot Modell				Fitness-Fatigue Modell							
Prob	n	t1	t2	k1	k2	k1/k2	R2	DS	DR	DS/DR	R2	n	t1	t2	k1	k2	k1/k2	R2	
M1	19	32	1	0.018	0.024	0.76	0.842	6.0	3.6	1.7	0.754	O1	15	39	40	1.235	1.222	1.01	0.224
M2	16	33	20	0.000	0.002	0.00	0.000	1.5	1.5	1.0	0.305	O2	15	3	2	0.126	0.159	0.79	0.445
M3	16	60	20	0.011	0.010	1.11	0.677	4.4	2.5	1.8	0.532	D1	13	5	4	0.133	0.137	0.97	0.045
M4	15	60	4	0.002	0.005	0.34	0.548	3.5	2.7	1.3	0.227	J1	12	4	3	0.099	0.098	1.01	0.485
M5	18	60	20	0.009	0.008	1.16	0.588	2.5	2.0	1.3	0.743	PerPot Modell							
M6	21	60	20	0.022	0.024	0.92	0.478	2.9	2.5	1.2	0.309	n	DS	DR	DS/DR	R2			
M7	20	30	12	0.018	0.017	1.06	0.819	4.1	2.0	2.1	0.911	O1	15	2.0	1.5	1.33	0.486		
M8	18	30	1	0.009	0.000	>>1	0.605	3.5	2.5	1.4	0.819	O2	15	2.6	2.0	1.30	0.414		
M9	19	30	5	0.009	0.010	0.92	0.432	3.3	2.8	1.2	0.120	D1	13	3.1	2.3	1.35	0.743		
W1	19	60	1	0.006	0.006	0.93	0.520	3.0	2.5	1.2	0.267	J1	12	2.9	2.3	1.26	0.573		

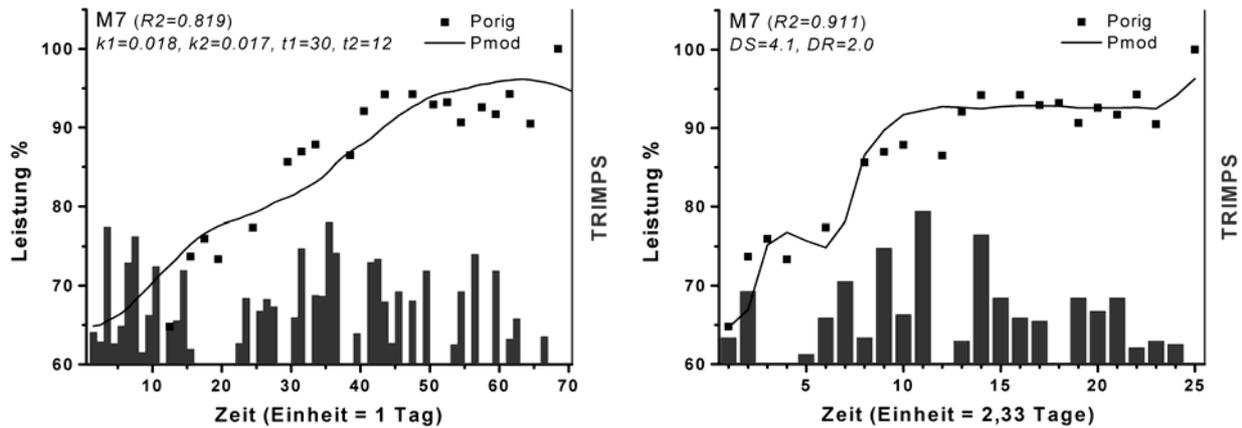


Abb. 1: Darstellung der Anpassung von modellierten ( $P_{mod}$ ) an reale Leistungsdaten ( $P_{orig}$ ) von einem Radfahrer (M7) mit dem Fitness-Fatigue-Modell (links) und dem PerPot-Modell (rechts)

Die Modellierungen bzgl. der Medianfrequenzen der EMG-Signale als Leistungsoutput zeigen individuelle Besonderheiten. Auch hier ergeben sich spezifische Verzögerungsparameter, die hinsichtlich ihrer Stabilität über den Untersuchungszeitraum analysiert werden konnten. So zeigt z. B. Athletin O1 eine leichte Erhöhung des Verzögerungsverhältnisses ( $DS/DR$ ) im zweiten Teil des Untersuchungszeitraums, was womöglich durch ein verändertes Adaptationsverhalten in den verschiedenen Trainings- (Wettkampf-) Phasen zu interpretieren ist.

#### 4 Diskussion

Die Anwendung beider Modelle sowohl auf das Schwimmen als auch auf das Radfahren weist darauf hin, dass für die Interpretation der Modellparameter hinsichtlich ihrer zeitlichen Konstanz bzw. Veränderung die Beachtung individualspezifischer Besonderheiten notwendig ist. Dabei lassen sich mit dem PerPot-Modell bessere Rückschlüsse auf das Adaptationsverhalten ziehen. So können Veränderungen der Modellparameter auf ein verändertes Adaptationsverhalten z. B. in verschiedenen Trainingsphasen hindeuten. Innerhalb eines „stabilen“ Adaptationszustandes des Athleten lässt sich das Modell sehr gut zur Prädiktion zukünftiger Leistungen auf der Basis bekannter Trainingsbelastungen einsetzen. Mit einer ausreichend breiten Datenbasis wird in jedem Fall eine individuelle Analyse des Trainingsprozesses ermöglicht. Die Berücksichtigung der Medianfrequenzen von EMG-Signalen bewegungsrelevanter Muskeln bei der Modellierung bietet zusätzliche Informationen über den individuellen Adaptationszustand innerhalb des Trainingsprozesses.

## 5 Literaturverzeichnis

- Banister, E. W. (1982). Modeling Elite Athletic Performance. In J. D. MacDougall, H.W. Wenger & H. J. Green (Hrsg.), *Physiological Testing of Elite Athletes* (S. 403-425). Champaign, Il.: Human Kinetics Publishers.
- Busso, T., Denis, C., Bonnefroy, 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.
- Ganter, N., Edelmann-Nusser, J. & Witte, K. (2006). *Trainingswirkungsanalyse mit antagonistischen Modellen im Radfahren. Prävention und Rehabilitation* (7. Gemeinsames Symposium der dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft, Bad Sassendorf, Feb. 2006).
- Ganter, N., Heller, M., Witte, K., Edelmann-Nusser, J. & Schwab, K. (2005). *Leistungsfähigkeit und Spektralparameter von Oberflächen-EMG's während des Trainingsprozesses im Schwimmen* (17. Sportwissenschaftlicher Hochschultag der dvs, Leipzig).
- Hohmann, A. (2005). Steuerung sportlicher Spitzenleistungen aus trainingswissenschaftlicher Perspektive. *Leistungssport*, 35 (6), 56-62.
- Perl, J. (2001). PerPot : A Metamodel for Simulation of Load Performance Interaction. *Electronic Journal of Sport Science*, 1, No. 2.
- Witte, K., Edelmann-Nusser, J. & Ganter, N. (2005). *Frequenzverhalten von Oberflächen-EMG-Signalen im Verlauf von Adaptation*. Abschlussbericht BISp-Forschungsprojekt (VF 07/05/72/2004).

