

---

## Modellierung und Prognose von Wettkampfleistungen auf der Grundlage Neuronaler Netze

Lutz Schega (Projektleiter), Jan Pabst & Jürgen Edelmann-Nusser

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Sportwissenschaft

### Problem

Auf der Grundlage von Trainingsdaten und Wettkampfleistungen aus den Jahren 2006 und 2007 wurden weitere Daten in 2008 erfasst und die Einsatzmöglichkeit Neuronaler Netze für die Analyse des Zusammenhangs von Trainingsinput und Leistungoutput (Wettkampfleistungen) für das Schwimmen von Menschen mit Behinderung geprüft. Dabei zeigten die Modellrechnungen in Orientierung auf die Paralympics 2008 in China individuell abweichende Prognose- und Realleistungen. Diese heben auf die bisherige Datenlage und die damit in Verbindung stehenden differenziellen Voraussetzungen der Kaderathleten in den verschiedenen Startklassen ab. Mit dieser fortführenden Analyse wurde das Ziel verfolgt, auf der Basis ergänzender Trainingsdaten und Wettkampfleistungen den Prozess der Modellierung Neuronaler Netze für das Schwimmen von Menschen mit Behinderung weiter zu optimieren. Darauf abgestellt können detaillierte Hinweise für die Belastungsphasen (Taper- und Hochbelastungsphase), die der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung dienen und als wesentlicher Bestandteil für die Wettkampfleistung gelten, analysiert und abgeleitet werden. Ausgehend von diesem modellorientierten Datentransfer in die Praxis und den trainingsmethodischen Kenntnissen bzgl. individuell zu entwickelnder Belastungsumfänge und Belastungsintensitäten, werden Grundlagen für die Trainingsplanung und perspektivisch notwendige Leistungsentwicklungen bereitgestellt.

### Methode

Grundlage zur Modellierung der Wettkampfleistung stellen künstliche Neuronale Netze dar. Diese werden anhand der protokollierten Trainingsinhalte trainiert und errechnen, auf der Basis der dokumentierten Trainingsbelastungen der letzten vier Wochen vor dem Wettkampf, die Wettkampfleistung. Das Training über die Datenblöcke erfolgt zunächst über eine Zuordnung aus den Eingangsmerkmalen bzw. unabhängigen Variablen (vgl. Datenerfassung) sowie dem Ausgangsmerkmal bzw. der abhängigen Variable Wettkampfleistung.

**Datenerfassung:** Im Hinblick auf die Paralympics 2008 in Peking wurden 12 A- und B-Kader im Schwimmen auf der Basis von Wettkampfhöhepunkten mit den dazugehörigen Trainingsprotokollierungen analysiert. Für die gewonnenen Ergebnisse wurde anschließend eine Prognose der Wettkampfleistung auf Grundlage der optimierten Trainingsinhalte der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung für die Paralympics 2008 berechnet. Die Protokollierung der Trainingsinhalte erfolgte für jede Trainingswoche jeweils in den Kategorien Grundlagenausdauer I (GAI in km), Grundlagenausdauer II (GAII in km), Schnelligkeits-/Schnelligkeitsausdauertraining (GAIII in km), Technik- und Koordinationstrainings (Te/Ko in km und Te/Ko in min),

Krafttraining an Land (Kraft in min) und allgemeines Konditionstraining an Land (Kood in min). In Erweiterung der vorliegenden Datenbasis (vgl. Schega, Edelmann-Nusser & Pabst, 2009) wird am Beispiel eines Brustschwimmers (25 Jahre; 86 kg, 175 cm) mit einer Peromelie der unteren Extremitäten sowie einer Unterarm-Aplasia rechts (Startklasse S6) das analytische Vorgehen erläutert und werden ausgewählte Ergebnisse dargestellt. Die Prognoseabschätzung geht insgesamt auf 52 Trainingsdatensätze und 16 Wettkämpfe auf der vom Athleten bevorzugten Wettkampfstrecke über 100-m-Freistil zurück. Die Wettkampfleistung des Athleten über 100-m-Freistil wurde nach dem LEN-Punktesystem der Ligue Européenne de Natation (Zeitraum 2004 - 2008) bewertet, wonach der aktuelle Weltrekord zugrunde gelegt wurde.

**Datenauswertung:** Als Neuronales Netz wurde ein Multilayer-Perceptron verwendet, da dieser Netzwerk-Typ einen universellen Approximator darstellt. Das Neuronale Netz ist in der Lage, Zuordnungen analoger und intervall- bzw. proportionalskalierter Eingabe- und Ausgabemuster überwacht zu erlernen und über die Generalisierungsfähigkeit auf unbekannte Eingabemuster mit einem adäquaten Ausgabemuster zu antworten. Die nachfolgenden drei Neuronalen Netze (Modell H, Modell T & Modell H+T) stellen die Grundlage für die Modellierung der Wettkampfleistung dar (Edelman-Nusser, Hohmann & Henneberg, 2006). In Annahme der Kausalität der Trainingsdaten zur Wettkampfleistung werden die beschriebenen Trainingsparameter in Orientierung auf die individuell anzustrebende Wettkampfleistung optimiert.

## Ergebnisse und Diskussion

Die mittels Neuronaler Netze modellierten Wettkampfleistungen (Gesamtmodell H+T), die realen Wettkampfleistungen sowie der sich daraus ergebende Modellfehler werden in Abb. 1 dargestellt.

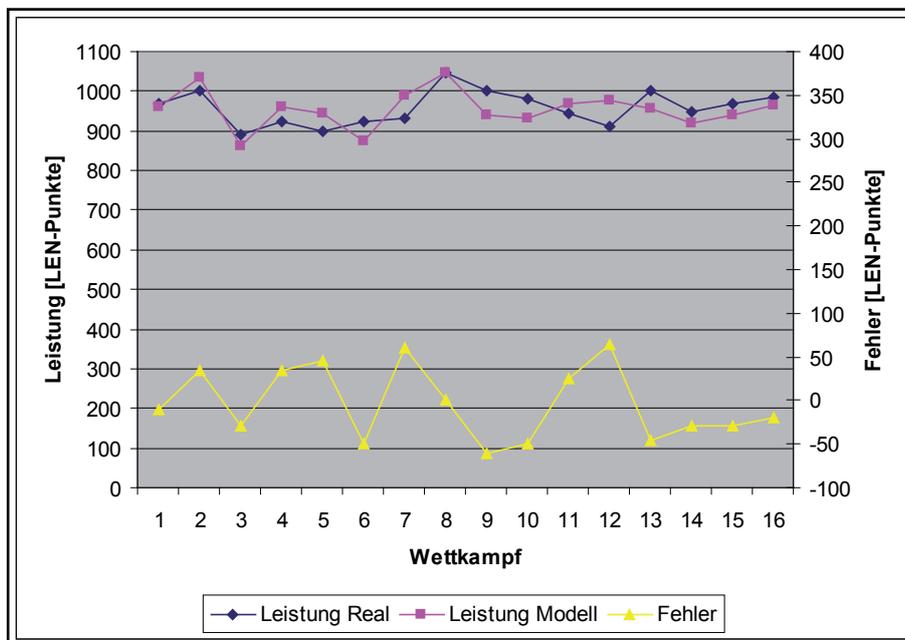


Abb. 1: Darstellung der mittels Neuronaler Netze modellierten (Gesamtmodell H+T) und realen Wettkampfleistungen (100-m-Freistil), sowie des Modellfehlers.

Die Ergebnisse der Kreuzvalidierung zeigen einen mittleren Modellfehler von 65,4 Punkten (Standardabweichung 40,3 Punkte) für das Modell H (Hochbelastungsphase) und 39,8 Punkten (Standardabweichung 36,4 Punkte) für das Modell T (Taperphase). Für das Gesamtmodell ergibt sich daraus ein mittlerer Fehler von 41 Punkten (Standardabweichung 18,5 Punkte). Damit liegt der mittlere Modellfehler etwas unterhalb der Standardabweichung der erreichten Leistungspunkte in den 16 Wettkämpfen (Mittelwert 961 Punkte; Standardabweichung 44,2 Punkte). Über die Wettkampfstrecke 100-m-Freistil der Männer (Startklasse S6) entspricht ein mittlerer Fehler von 41 Punkten einer Abweichung von ca. 0,9 Sekunden bei einer mittleren Wettkampfleistung von 961 Punkten (gleichzusetzen einer Wettkampfzeit von 1 : 12,48 min). Da das Modell T einen deutlich geringeren Fehler liefert als das Modell H, scheint die erreichte Leistung für diesen Athleten stärker von den Trainingsinhalten der letzten beiden Wochen (Taperphase) als von den Trainingsinhalten der Wochen 3 und 4 vor dem Wettkampfhöhepunkt Paralympics (Hochbelastungsphase) bestimmt worden zu sein. Die Schwerpunkte in der Trainingsgestaltung sind in den Tab. 1 und 2 zusammengefasst.

Tab. 1: *Überblick zu Trainingsbelastungen in der Hochbelastungsphase 1 und 2*

Inhalt	Wettk.	Hochbelastungsphase 1				Hochbelastungsphase 2			
		4. Woche vor dem Wettkampf				3. Woche vor dem Wettkampf			
		Min.	Max.	MW	SD	Min.	Max.	MW	SD
GA1 [km]	16	0	29,90	10,33	9,96	0	17,00	5,88	4,77
GA2 [km]	16	0	4,00	0,97	1,43	0	3,40	0,68	1,25
GA3 [km]	16	0	3,60	0,82	1,09	0	2,50	0,95	0,90
Te/Ko [km]	16	0	17,20	6,35	5,85	0	15,40	4,84	4,80
Te/Ko [h]	16	0	3,50	0,89	1,21	0	1,50	0,46	0,56
Kraft [h]	16	0	0,50	0,05	0,16	0	0,50	0,15	0,24
Koord [h]	16	0	8,00	2,34	2,66	0	9,20	2,20	2,70
Befindlichkeit	16	0	3,00	1,14	1,48	0	3,50	0,98	1,59

Anmerkung: MW – Mittelwert, SD – Standardabweichung, Max. – Maximum, Min. – Minimum, Wettk. - Wettkampf

Tab. 2: Überblick zu Trainingsbelastungen in der Taperphase 1 und 2

Inhalt	Wettk.	Taperphase 1				Taperphase 2			
		2. Woche vor dem Wettkampf				1. Woche vor dem Wettkampf			
		Min.	Max.	MW	SD	Min.	Max.	MW	SD
GA1 [km]	16	0	14,80	7,62	5,79	0	12,90	4,60	4,09
GA2 [km]	16	0	4,10	0,71	1,27	0	1,80	0,36	0,59
GA3 [km]	16	0	3,40	1,40	1,10	0	2,30	1,16	0,82
Te/Ko [km]	16	0	21,30	7,80	6,73	0	16,80	7,35	5,90
Te/Ko [h]	16	0	1,50	0,45	0,60	0	0,50	0,10	0,21
Kraft [h]	16	0	0,50	0,10	0,21	0	0,00	0,00	0,00
Koord [h]	16	0	9,20	2,36	2,80	0	5,20	1,70	1,98
Befindlichkeit	16	0	3,00	0,87	1,40	0	3,00	0,99	1,32

Anmerkung: MW – Mittelwert, SD – Standardabweichung, Max. – Maximum, Min. - Minimum

Insbesondere für das Schwimmen als eine konditionell determinierte Sportart kann davon ausgegangen werden, dass sich sportliche Höchstleistungen als Resultat komplexer biologischer Anpassungsprozesse entwickeln. Die angestrebten Adaptationen hängen im Allgemeinen eng mit den Trainingsinhalten und dem Trainingsumfang zusammen. Da der Zusammenhang von Trainingsinput und Wettkampfleistung als sehr komplex, nichtlinear und vor allem im Schwimmen von Menschen mit Behinderungen als individuell betrachtet werden muss, kann insgesamt geschlossen werden, dass die eingesetzten Neuronalen Netze für die Modellierung der Trainingswirkung und die Prognose der Wettkampfleistung eine geeignete Methode darstellen. Im Sinne einer hinreichend gesicherten Generalisierbarkeit und damit auch für eine bessere Vorhersagbarkeit des Modells sollte zukünftig gewährleistet sein, dass eine Erhöhung der zu analysierenden Wettkampfhöhepunkte vorgehalten wird.

Im Vergleich zu den Faktoren, die im Schwimmen bei nichtbehinderten Athleten eine Höchstleistung beschreiben (z. B. Mujika, Padilla & Pyne, 2002), muss festgestellt werden, dass ausgehend von den umgesetzten Trainingsbelastungen in den Hochbelastungs- und Taperphasen am dargestellten Beispiel deutlich Unterschiede in den Trainingsschwerpunkten bestehen. Diese Situation ist bekannt und beschreibt die Notwendigkeit einer für Menschen mit Behinderungen vergleichbaren sowie nachhaltigen Umsetzung von Förderkonzeptionen wie sie im Bereich von nichtbehinderten Hochleistungssportlern gegeben sind. Grundständig wird damit die Frage nach einer verstärkten Professionalisierung aufgeworfen.

## Literatur

- Edelmann-Nusser, J., Hohmann, A. & Henneberg, B. (2006). Modellierung von Wettkampfleistung im Schwimmen bei den olympischen Spielen 2000 und 2004 mittels Neuronaler Netze. *Leistungssport* 36 (2), 45-50.
- Mujika, J., Padilla, S. & Pyne, D. (2002). Swimming performance changes during the final 3 weeks of training leading to the Sydney 2000 Olympic Games. *International journal of sports medicine*, 23 (8), 582-587.
- Schega, L., Edelmann-Nusser, J. & Pabst, J. (2009). Prognose von Wettkampfleistungen im Schwimmen von Menschen mit Behinderungen – Einsatz Neuronaler Netze. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2007/08* (S.187-189). Bonn.

