



THEMENSCHWERPUNKT

EIN MODELL ZUR ANALYSE DER ZYKLUSSTRUKTUR IN DEN AUSDAUERSPORTARTEN

MAREN WITT

INSTITUT FÜR ANGEWANDTE TRAININGSWISSENSCHAFT, IAT LEIPZIG

Hay (2002) stellte in seinen Untersuchungen fest, dass die Bedeutung des Zyklusweges bei vielen Lokomotionsformen in niedrigen Geschwindigkeiten überwiegt, während bei höheren Geschwindigkeiten die Zyklusfrequenz dominiert. Um verschiedene Bewegungen in unterschiedlichen Sportarten vergleichen zu können, haben wir ein Modell entwickelt, welches das Verhältnis von Zyklusfrequenz und Zyklusweg auf unterschiedlichem Geschwindigkeitsniveau vergleichbar macht (Zyklusparameter). In die Untersuchungen wurden Wettkampfanalysen der Ausdauersportarten Biathlon/Skilanglauf, Eisschnelllauf, Kanurennsport, Rudern, Radsport, leichtathletischer Lauf/Sprint sowie Schwimmen einbezogen. Beim Vergleich der Bewegungsmuster konnte festgestellt werden, dass Bewegungen mit kontinuierlichem Antrieb (bspw. Freistilschwimmen) stark vom Zyklusweg und Bewegungen mit synchronem Antrieb der Extremitäten (bspw. Brustschwimmen) eher von der Zyklusfrequenz bestimmt werden. Beim Vergleich individueller Lösungsstrategien für die Geschwindigkeitssteigerung konnte gezeigt werden, dass einige Varianten in eine so genannte Frequenzfalle führen, so dass im Bereich der Zielgeschwindigkeit unrealistische Frequenzerhöhungen notwendig werden. Andere Lösungsvarianten führen zu einer Veränderung der Anteiligkeit des Antriebes von oberen und unteren Extremitäten. Die Wahl der Bewegungsfrequenzen im GA-Training sollte von der prognoseorientierten Zyklusstruktur für die Wettkampfgeschwindigkeit abgeleitet werden. Unsere Untersuchungen bestätigten, dass die Erhöhung der Zyklusfrequenz das zentrale Element der Geschwindigkeitserhöhung bildet, sich jedoch Unterschiede in verschiedenen Bewegungsklassen zeigen, und die Verkürzung der Zeit für die Rückführphasen das wesentliche Belastungselement darstellt. Aus biomechanischer Sicht sind Bewegungsprogramme zu erarbeiten, die auch im Grundlagenausdauertraining differenzierte Anforderungen an das innerzyklische Belastungs-/Pausen-Regime stellen.

Schlüsselwörter: Zyklusstruktur, Ausdauersportarten, Leistungsdiagnose, Wettkampfanalyse

In his investigations Hay (2002) has shown the importance of stroke length at low speeds in most locomotions, while at higher speeds the stroke rate dominates. In order to be able to compare different movements in different kinds of sport, we developed a model, which allows the comparison of the relationship between stroke rate and stroke length on different speed levels (cycle parameter). In this paper competition and performance analyses from running/sprinting as well as swimming are retrospectively analyzed. When comparing different movement patterns we found that movements with continuous drive (e. g. freestyle swimming) are determined strongly by the stroke length and movements with synchronous drive (e. g. breaststroke swimming) rather by the stroke rate. In some cases the individual relationship between stroke rate and stroke

length showed a tendency that within the range of maximum speed an unrealistic frequency becomes necessary. Other variants lead to a change of the relation between the drive of upper and lower limbs. Especially in endurance training the choice of movement frequencies should be derived from the prognostic cycle structure for the competition speed. Our investigations confirmed that the increase in cycle frequency becomes the central element to increase speed, however we also found differences in certain movement patterns. The decreased time for the reconducting phase is the crucial element of training load when aiming at an increase in speed. From biomechanical view movement patterns are to be created, representing differentiated demands on the intra-cyclic relation between activation and rest in endurance training too.

Keywords: endurance sports, competition and performance analysis, strength

Einleitung

Die Zyklusstruktur wird in den Ausdauersportarten im Wesentlichen durch die Parameter Zyklusweg und Zyklusfrequenz bestimmt. Dabei fällt auf, dass für die Frequenz sehr unterschiedliche Bezugssysteme verwendet werden. Diese umfassen sowohl die Ermittlung von Einzelaktionen (links/rechts-Arm/Bein) als auch von kompletten Bewegungszyklen auf der Zeitbasis von Minuten resp. Sekunden. Damit sind die Daten in verschiedenen Sportarten nicht direkt vergleichbar. Zur Sicherung der Vergleichbarkeit haben wir für unsere Untersuchungen die Zyklusfrequenz als die Anzahl kompletter Bewegungszyklen pro Minute definiert und alle anderen Größen in dieses Bezugssystem umgerechnet (vgl. Tab. 1).

1 Biomechanische und leistungsphysiologische Aspekte der Zyklusgestaltung

Aus der Sicht der Biomechanik haben sich Zatsiorsky, Aljeshinsky und Jakunin (1987) sowie Utkin (1984) grundlegend zu dem Verhältnis von Schrittlänge und Frequenz bei der Vortriebserzeugung geäußert. Zaziorsky et al. (1987) diskutierten aus biomechanischer Sicht als Optimierungskriterium einen minimalen Energieaufwand des Sportlers resultierend aus großen Antriebsleistungen im Ein-

Korrespondenzadresse:

Maren Witt (mwitt@iat.uni-leipzig.de)
Institut für Angewandte Trainingswissenschaft,
Marschnerstr. 29,
04109 Leipzig



E-Journal Bewegung und Training

Offizielles Organ der Sektionen Biomechanik,
Sportmotorik und Trainingswissenschaft in
der Deutschen Vereinigung für
Sportwissenschaft
ISSN 1612-5770

Tabelle 1. Verwendung von Zyklusfrequenz (f_z) und Aktionsfrequenz (f_a) in verschiedenen Sportarten bzw. Quellen sowie Möglichkeiten zur deren Umrechnung.

Verwendung	pro Minute	pro Sekunde
Aktionen	Kanu [Schläge pro Minute] und russische Quellen (z.B. Zatziorsky, Aleshinsky & Jakunin, 1987)	Lauf, Eisschnellauf [Schritte pro Sekunde]
Zyklen	Schwimmen, Rudern, Skilanglauf, Radsport [Zyklen bzw. Umdrehungen pro Minute]	englischsprachige Quellen (z.B. Hay, 2002)
Umrechnung	pro Minute	pro Sekunde
Aktionen	$f_z[\text{min}] = 2 \cdot f_a[\text{min}]$	$f_a[\text{s}] = \frac{f_z[\text{min}]}{30}$
Zyklen	$f_z[\text{min}]$	$f_z[\text{s}] = f_a[\text{min}] \cdot 60$

zel-zyklus. Dieser Optimalbereich wird jedoch bei Dauerbelastungen verlassen, weil der Energiebetrag in der Einzelwiederholung so groß ist, dass sich sehr schnell eine Ermüdung der beteiligten Muskulatur einstellt. Die Ursache dafür dürfte die notwendige Rekrutierung von motorischen Einheiten mit großer Energieabgabe pro Zeiteinheit sein. Diese motorischen Einheiten sind in der Regel weniger ermüdungsresistent als solche mit einem geringeren Energieumsatz. Deshalb weichen die Sportler in der Praxis auf geringere Energieumsätze im Einzelzyklus und eine damit verbundene höhere Bewegungsfrequenz aus. Sie nehmen dabei die sich aus der erhöhten Bewegungsfrequenz ergebende höhere Blindleistung in Kauf (Witt, Hildebrand & Knoll, 2004).

In seinen grundlegenden Betrachtungen zum Verhältnis von Zyklusfrequenz und Zyklusweg in der menschlichen Bewegung stellte Hay (2002) fest, dass die Bedeutung des Zykluswegs bei vielen Lokomotionsformen in niedrigen Geschwindigkeiten überwiegt, während bei höheren Geschwindigkeiten die Zyklusfrequenz dominiert. Es zeigen sich jedoch individuell differente Ergebnisse, die sowohl von den individuellen Anlagen als auch vom absolvierten Training abhängig sind. Tendenziell legen hoch trainierte Athleten einen größeren Weg pro Einzelzyklus zurück als leistungsschwächere Sportler (Poltorapavlov et al. zitiert nach Zatziorsky, Aljeshinsky & Jakunin, 1987) und Frauen realisieren in der Regel geringere Zykluswege als Männer.

Die größten Zykluswege (Schrittlängen) treten beim Lauf im Bereich der Mittelstrecke auf. Sowohl die Verlängerung der Laufstrecke als auch die Geschwindigkeitserhöhung führen zu einer Verkürzung der Schrittlänge. Die Abnahme der Schrittlänge bei längeren Läufen steht im Zusammenhang mit den o. g. muskelphysiologischen Gegebenheiten. Die deutliche Frequenzzunahme im Sprint weist auf die Auflösung des Optimierungsprinzips hin. Es wird auf den kurzen

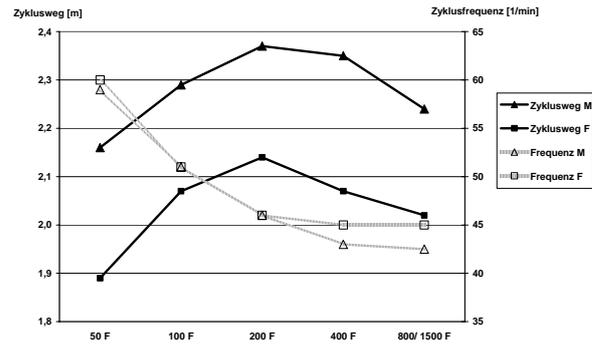


Abbildung 1. Veränderung des Zykluswegs und der Bewegungsfrequenz in Abhängigkeit von der Streckenlänge bei Männern (M) und Frauen (F); (Mittelwerte aller Finalisten der Schwimm-Europameisterschaften 2002; Leopold, 2002)

Sprintstrecken von dem Prinzip der Maximierung des Energieumsatzes abgelöst (Nigg, Stefanyszyn & Cole 2001). Dabei spielen Fragen der Bewegungsökonomie eine untergeordnete Rolle.

Bei der Betrachtung des Verhältnisses von Zyklusfrequenz und Zyklusweg spielen also sowohl biomechanische als auch leistungsphysiologische Optimierungskriterien eine Rolle. Die trainingsmethodische Aufgabe besteht zum einen in der Erarbeitung der energetischen Absicherung für hohe Vortriebswege unter dem Ausdaueraspekt und zum anderen in der Vergrößerung der Gesamtenergieabgabe unter Zeitzwang.

Verhältnis von Zyklusweg und Zyklusfrequenz

Sowohl die Zyklusfrequenz als auch der Zyklusweg verändern sich stark in Abhängigkeit von der Bewegungsgeschwindigkeit und damit von der Streckenlänge. In der Beziehung zwischen Lokomotionsgeschwindigkeit und Zyklusweg finden wir eine unterschiedliche Charakteristik. Im leichtathletischen Lauf (Abb. 1) und im Schwimmen zeigt sich ein Maximum im Zyklusweg im Belastungsbereich von zwei Minuten. Dies betrifft im Lauf die 800-m- und im Schwimmen die 200-m-Strecken. In anderen Sportarten vergrößert sich der Zyklusweg dagegen mit abnehmender Geschwindigkeit resp. zunehmender Streckenlänge im Bereich der Wettkampfdistanzen. Beispiele für eine solche Ge-

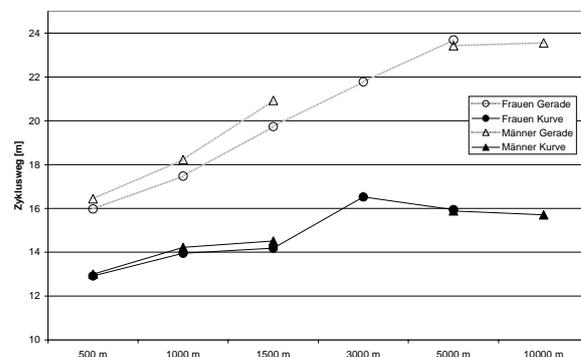


Abbildung 2. Veränderung des Zykluswegs in Abhängigkeit von der Streckenlänge bei Männern und Frauen; (Mittelwerte der Medaillengewinner der Weltmeisterschaften im Eisschnellauf 2003; Ehrig, persönliche Mitteilung).

staltung sind die Sportarten Eisschnelllauf (Abb. 2) und Kanurennsport. Beim Eisschnelllauf ist auf den längeren Strecken auch eine Abflachung des Zyklusweganstiegs zu erkennen.

Im Wettkampfsport können wir immer wieder feststellen, dass unterschiedliche Sportler gleiche Geschwindigkeiten mit unterschiedlichen Bewegungsfrequenzen realisieren. Aber auch ein und derselbe Sportler kann im Verlaufe seiner leistungssportlichen Entwicklung Veränderungen im Verhältnis von Zyklusweg und Zyklusfrequenz zeigen. Ein Beispiel dafür ist Jan Ullrich, der noch im Jahr 2001 zur Tour de France im Vergleich zu Lance Armstrong extrem hohe Übersetzungen fuhr, im Jahr 2003 jedoch deutlich höhere Frequenzen nutzte. Die Abbildung 3 zeigt die mögliche Verschiebung der Zyklusweg-Frequenz-Relation auf der Geschwindigkeitshyperbel.

Die Spanne der in unterschiedlichen Sportarten realisierten Zyklusfrequenzen und -wege ist sehr groß (vgl. Abb. 3). Die höchsten Zyklusfrequenzen der unteren Extremitäten werden im leichtathletischen Sprint mit 150 Zyklen/min bzw. 5 Schritten/s (Mann, 1999) und in der Freistil-Beinbewegung im Schwimmen mit 180 bis 200 Zyklen/min erreicht. Für die oberen Extremitäten liegen die Grenzwerte deutlich niedriger. Hier werden Spitzenfrequenzen im Kanurennsport von etwa 90 Zyklen/min (das entspricht 180 Schlägen/min) (Englert & Kießler, 2004) ebenso wie beim Doppelstockschießen im Skilanglauf (Bauer, Ostrowski & Wick, 2003) beobachtet. Die größten Zykluswege werden ebenfalls durch den Einsatz der unteren Extremitäten realisiert. Im Eisschnelllauf wurden auf den längeren Distanzen mittlerweile Zykluswege bis zu 20 m ermittelt (Ehrig & Müller, 2001). Dagegen können Ruderer mit dem vorrangigen Einsatz der oberen Extremitäten Zykluswege von etwa 8 m in Einzelwettbewerben und bis zu 9 m in Mannschaftsbooten realisieren (Kleshnev, 2004). In den von uns durchgeführten Untersuchungen gingen wir der Frage nach, inwieweit sich allge-

meingültige Regulationsmechanismen in der Zyklusstruktur der Ausdauersportarten unter besonderer Berücksichtigung der ständigen Erhöhung der Wettkampfgeschwindigkeiten finden lassen.

2. Untersuchungsmethoden

In diesem Beitrag werden Ergebnisse der Sportarten leichtathletischer Lauf und Schwimmen dargestellt. In die Ergebnisdarstellung fließen Ergebnisse der Wettkampfanalysen im Schwimmen von den Europameisterschaften 2002 (Leopold, 2002) und den Weltmeisterschaften 2003 (Witt & Schnabel, 2003) sowie für den leichtathletischen Lauf von Wettkampfhöhepunkten der Jahre 1994 bis 2004 (Gohlitz, persönliche Mitteilung) ein. Zusätzlich wurden folgende Stufentests dieser Sportarten, die im Rahmen der Leistungsdiagnose durchgeführt wurden, analysiert:

- 463 Stufentests über 8 x 100 m (Männer: 114 Tests im Freistil-, 68 Tests im Rücken-, 30 Tests im Schmetterlings- und 56 Tests im Brustschwimmen; Frauen: 63 Tests im Freistil-, 50 Tests im Rücken-, 45 Tests im Schmetterlings- und 37 Tests im Brustschwimmen),
- 398 Stufentests über 8 x 200 m (Männer: 140 Tests im Freistil-, 45 Tests im Rücken-, 12 Tests im Schmetterlings- und 23 Tests im Brustschwimmen; Frauen: 116 Tests im Freistil-, 27 Tests im Rücken-, 9 Tests im Schmetterlings- und 26 Tests im Brustschwimmen),
- 146 Stufentests über 4 x 400 m Freistilschwimmen (Männer: 82; Frauen: 64 Tests),
- 1316 Ausdauerstufenprogramme der Männer über 4 x 2000 m,
- 260 Tempolauftufenstests der Männer über 3 x 600 m.

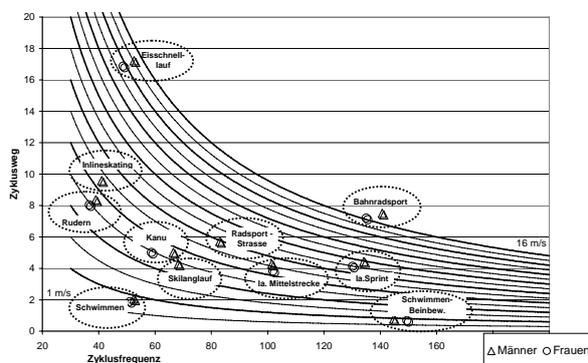


Abbildung 3. Relation von Zyklusweg und Zyklusfrequenz in verschiedenen Sportarten (Mittelwerte der entsprechenden Disziplinen).

Um die Relation von Zyklusfrequenz und Zyklusweg bei unterschiedlichen Lokomotionsgeschwindigkeiten beschreiben zu können, nutzten wir die erste Ableitung der Geschwindigkeitshyperbel. Sie beschreibt den Anstieg der Tangente mit den aktuellen Parametern von Zyklusweg und Zyklusfrequenz als Parameter der Zykluscharakteristik (Zyklusparameter). Es kann eine Verlängerung des Zykluswegs zwischen 2 und 80 cm durch eine Verringerung der Frequenz um einen Zyklus pro Minute erreicht werden. Der berechnete Anstieg beschreibt die Lage des aktuellen Verhältnisses zwischen Zyklusfrequenz und -weg auf der Geschwindigkeitshyperbel. Kleine Werte weisen auf eine Frequenzorientierung, große Werte auf eine Zykluswegorientierung hin. Verändert sich die Be-

wegungsgeschwindigkeit bei konstantem Anstieg der Hyperbel, so hat sich am Verhältnis von Zyklusweg und -frequenz nichts verändert. Vergrößert sich der Anstieg, kam es zu einer Betonung des Zykluswegs, während eine Verringerung für eine Betonung der Zyklusfrequenz spricht (Witt 2007).

Die statistische Aufbereitung der Daten erfolgte auf der Basis beschreibender Verfahren mit dem Statistikprogramm SPSS.

3 Ergebnisse

3.1 Veränderung der Zyklusfrequenzen und -wege auf verschiedenen Wettkampfdistanzen

Schwimmen

Der Zyklusweg vergrößert sich in allen vier Stilarten von der 50- bis zur 200-m-Strecke, d. h. mit Abnahme der Schwimgeschwindigkeit, mehr oder weniger stark (Abb. 4). Eine Ausnahme bildet nur das Rückenschwimmen der Frauen, hier fällt der Zyklusweg bereits auf der 200-m-Strecke wieder deutlich ab. Dies beobachten wir auch auf den längeren Freistilstrecken. Es fällt in diesem Zusammenhang auf, dass sich die Zyklusfrequenz bei Männern und Frauen kaum unterscheidet, die Unterschiede im Zyklusweg aber konstant 0,2 bis 0,25 m betragen, das entspricht etwa 10 %. Während die Unterschiede im Zyklusweg einen typischen Befund darstellen, wäre eine teilweise Kompensation durch höhere Bewegungsfrequenzen bei den Frauen zu erwarten gewesen. Dagegen finden wir über 50 und 100 m Brust sogar eine signifikant höhere Bewegungsfrequenz bei den Männern.

Im Schwimmen liegt der notwendige Weggewinn bei einer Frequenzreduzierung zwischen 2 und 5 cm. Wir finden im Schwimmen die höchsten Zyklusfrequenzen für die unteren Extremitäten. Es werden hier von den Finalisten auf den 50-m-Freistilstrecken im Mittel Zyklusfrequenzen für die oberen Extremitäten von 60 Zyklen/min realisiert. Da auf einen kompletten Armzyklus sechs Kickbewegungen der Beine (so genannter 6er-Beinschlag) ausgeführt werden, entspricht dies einer Kickfrequenz von 6 Kickbewegungen/s bzw. 180 Beinzyklen/min. Damit liegen die Frequenzen im Freistilsprint über denen der leichtathletischen

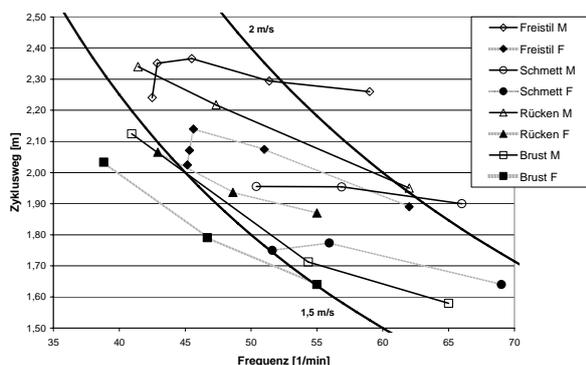


Abbildung 4. Relation von Zyklusweg und Zyklusfrequenz im Schwimmen (F-Frauen, M-Männer).

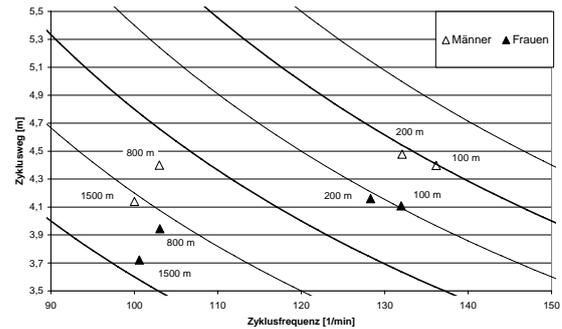


Abbildung 5. Relation von Zyklusweg und Zyklusfrequenz im leichtathletischen Lauf/Sprint.

Sprinter, die maximal 5,5 Schritte/s bzw. 165 Zyklen/min erreichen und denen der Radsprinter mit 150 Umdrehungen/min.

Leichtathletischer Lauf/Sprint

Im leichtathletischen Sprint werden Spitzenfrequenzen von 5 bis 5,5 Schritten pro Sekunde, das entspricht 150 bis 180 Zyklen/min, erreicht. Die Zykluswege erreichen Werte von bis zu 5 m. Die Erhöhung der Zyklusfrequenz führt zu einem Weggewinn von 3 bis 4 cm. Dieser ist aufgrund der sehr hohen Frequenz im Vergleich mit anderen Sportarten sehr gering (Abb. 5).

Die Bewegungsfrequenzen im Mittel- und Langstreckenbereich sind deutlich niedriger. Sie erreichen bei den Mittelstrecklern noch Werte von etwa 100 Zyklen/min (etwa 3,5 Schritte/s). Die Zykluswege liegen bei 4 bis 4,5 m. Wir finden also auch im leichtathletischen Lauf kein Maximum des Zykluswegs. Die Erhöhung des Zyklusweges setzt sich, wenn auch abgeflacht, bis zu den maximalen Geschwindigkeiten fort.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass zwischen der Zyklusfrequenz und dem Zyklusweg in fast allen Sportarten unter Wettkampfbedingungen eine reziproke Beziehung besteht, das heißt Frequenzerhöhungen gehen mit einer Zykluswegverringerung einher. Diese Beziehungen werden nicht in allen Wettkampfanalysen deutlich, da durch veränderte Arbeitsbedingungen (z. B. in Mannschaftsbooten im Rudern) zusätzliche Einflüsse wirksam werden. So beobachten wir im Rudern eine synchrone Erhöhung von Zyklusweg und Zyklusfrequenz, während im Radsport durch unterschiedliche Übersetzungsverhältnisse sehr ähnliche Zykluswege bei unterschiedlichen Frequenzen realisiert werden können. Noch deutlicher wird der Einfluss äußerer Arbeitsbedingungen bei Wettkämpfen mit unterschiedlichem Profil (Ski-langlauf, Straßenradsport).

Offensichtlich treten unter Wettkampfbedingungen nur sehr stark eingeschränkte Kombinationen von Weg und Frequenz auf, deshalb wird nur im Freistilschwimmen und im leichtathletischen Lauf das von Hay (2002) postulierte Wegmaximum in der Weg-Frequenz-Relation im Bereich der Wettkampfgeschwindigkeiten erreicht.

Eine Ausnahme bildet in diesem Zusammenhang in den von uns untersuchten Sportarten der

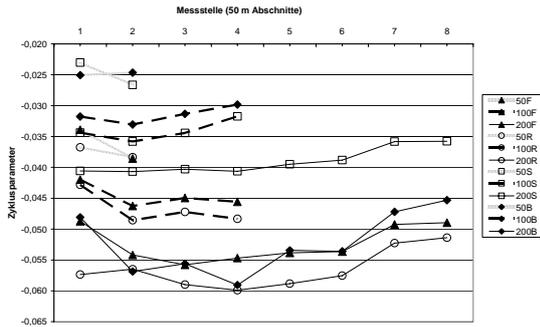


Abbildung 6. Veränderung des Zyklusparameters in Abhängigkeit von der Disziplin und der Ermüdung unter Wettkampfbedingungen (Mittelwert der Finalisten der EM 2002).

leichtathletische Lauf. Hier ist eine gleichzeitige Erhöhung von Zyklusfrequenz und Zyklusweg mit der Geschwindigkeitssteigerung zu beobachten. Im Radsport wird die Aussage durch die unterschiedlichen Übersetzungen eingeschränkt.

3.2 Veränderung der innerzyklischen Antriebsgestaltung unter renntaktischen Aspekten

In diesem Abschnitt sollen im Gegensatz zum vorangegangenen, in dem Mittelwerte des gesamten Wettkampfs berechnet wurden, Veränderungen der Zyklusstruktur innerhalb eines Wettkampfs verdeutlicht werden. Diese Darstellung erfolgt am Beispiel des Schwimmens und des leichtathletischen Laufs, die beide ähnliche Tendenzen aufweisen.

Schwimmen

Die Ausprägung der Zyklusweg- bzw. Zyklusfrequenzorientierung ist abhängig von der Schwimmart. Die Gleichschlagschwimmarten (Brust- und Schmetterlingsschwimmen) sind generell frequenzorientierter als die Wechselschlagschwimmarten (Freistil- und Rückenschwimmen). Die Zykluswegorientierung nimmt mit zunehmender Belastungsdauer in allen Schwimmarten zu. Die Renngestaltung weist am Start in den meisten Fällen eine Frequenzorientierung auf. Im weiteren Rennverlauf erfolgt eine stärkere Orientierung auf den Zyklusweg. Abhängig von der Belastungsdauer ist dann auf den längeren Strecken (ab 200 m) im letzten Viertel wiederum ein Wechsel zur Frequenzorientierung erkennbar (Abb. 6).

Vergleicht man die Renngestaltung bei der EM 2002 und der darauf folgenden WM im Jahre 2003 am Beispiel der Freistilstrecken, so wird eine stärkere Zykluswegorientierung des Finalfelds bei den Weltmeisterschaften deutlich. Dies gilt für die Strecken ab 100 m (Abb. 7).

Leichtathletischer Lauf/Sprint

Im leichtathletischen Sprint zeigt sich in der Beschleunigungsphase bedingt durch die deutliche Geschwindigkeitssteigerung aus der Ruhe eine deutliche Zykluswegorientierung. Im weiteren Rennen werden nur geringe Verschiebungen zwischen

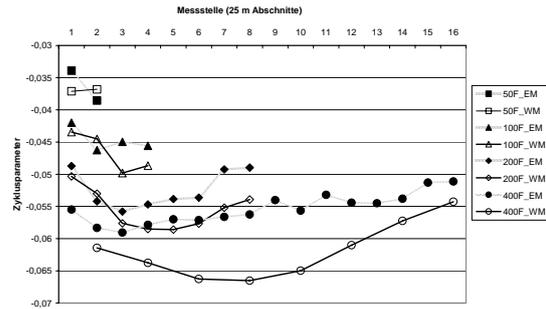


Abbildung 7. Vergleich des Zyklusparameters in den Freistilwettbewerben der EM 2002 und der WM 2003.

der Frequenz und dem Zyklusweg deutlich. Nachdem die Sprinter die Grenze von 11 m/s erreicht haben, kommt es zu einer leichten Verschiebung in Richtung Bewegungsfrequenz, am Ende des Rennens kehrt sich dies in eine leichte Dominanz der Schrittlänge um. Dies wird besonders durch die detaillierten Daten in 10-m-Segmenten von Shen (2000) deutlich (Abb. 8).

Auch die Mittelstreckler beginnen ihre Rennen mit einer Frequenzorientierung auf den ersten 100 m. Danach erfolgt eine Verschiebung zu einem längeren Zyklusweg, bevor am Ende des Wettkampfs, ausgelöst durch die Ermüdung, die Bewegungsfrequenz wiederum stärker dominiert. Am deutlichsten zeigt sich diese Frequenzorientierung auf der 800-m-Strecke der Männer. Die Verläufe der Mittelstreckler sind denen im Schwimmen sehr ähnlich. Auch im Lauf werden die Mittelstrecken im Vergleich mit dem Sprint mit einer deutlichen Betonung des Zykluswegs absolviert (Abb. 9).

Für beide Sportarten zeigt sich eine Anfangsdominanz der Bewegungsfrequenz, verbunden mit hohen Beschleunigungen bzw. Bewegungsgeschwindigkeiten und eine Zunahme der Bewegungsfrequenz unter Ermüdung, die jedoch bereits deutlich vor dem Erreichen des Ziels beendet ist. Detailuntersuchungen im Bereich der Mittelzeitdauer weisen auf einen optimalen Zeitpunkt für das Erreichen der maximalen Bewegungsfrequenz von 10 s vor dem Zieleinlauf hin (Witt, Hildebrand & Knoll, 2004).

3.3 Veränderung der innerzyklischen Antriebsgestaltung in Stufentests

Die Veränderungen in der innerzyklischen An-

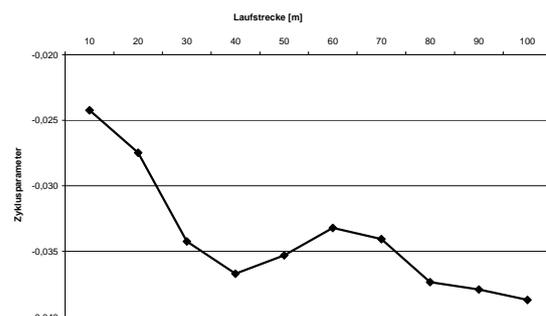


Abbildung 8. Veränderung des Zyklusparameters im 100-m-Sprint (Shen, 2000).

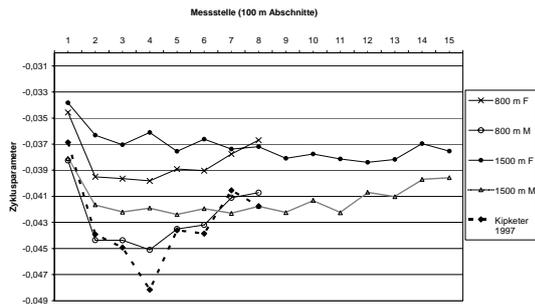


Abbildung 9. Veränderung des Zyklusparameters im Mittelstreckenlauf (F-Frauen, M-Männer).

triebsgestaltung sollen in diesem Abschnitt am Beispiel zweier Sportarten dargestellt werden, in denen unterschiedliche Regulationsmechanismen wirken: dem leichathletischen Lauf, in dem die Geschwindigkeitssteigerung zykluswegorientiert erfolgt und dem Schwimmen, in dem eine Frequenzregulation vorherrscht.

Schwimmen

Im Schwimmen wird die Geschwindigkeitserhöhung im Wesentlichen durch eine Frequenzerhöhung realisiert. Dies kommt in einer Zunahme des Zyklusparameters bei allen Stufentestarten (8 x 100 m; 8 x 200 m, 4 x 400 m) und in allen Stilarten zum Ausdruck. Dabei fällt eine hohe Variation des Zyklusparameters bei niedrigeren Geschwindigkeiten auf. Bei hohen Geschwindigkeiten engen sich die Kombinationsmöglichkeiten deutlich ein. Leistungsstarke Schwimmer und Schwimmerinnen zeichnen sich tendenziell durch eine deutliche Zykluswegorientierung aus (Abb. 10).

Die Zyklusparameter erreichen Grenzwerte zwischen -0,03 bis -0,04 unabhängig von der Schwimmart. Außer im Freistilschwimmen zeigen sich auch keine Abhängigkeiten von der Streckenlänge. Vergleichbare Geschwindigkeiten werden in ähnlichen Zyklusstrukturen absolviert. In den meisten Fällen sind die Sportler auch nicht auf eine Disziplin, sondern eher auf eine Schwimmart spezialisiert. In den Freistil-Stufentests wird bei Einbeziehung der längeren Strecken insbesondere

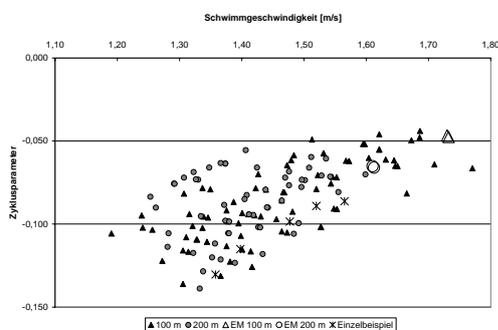


Abbildung 10. Veränderung des Zyklusparameters in Abhängigkeit von der Schwimmgeschwindigkeit bei Stufentests über 8 x 100 m bzw. 8 x 200 m Rücken der Männer (als Vergleichswerte sind die Mittelwerte aller Finalisten der EM 2002 und ein Stufentest eines leistungsstarken Schwimmers dargestellt).

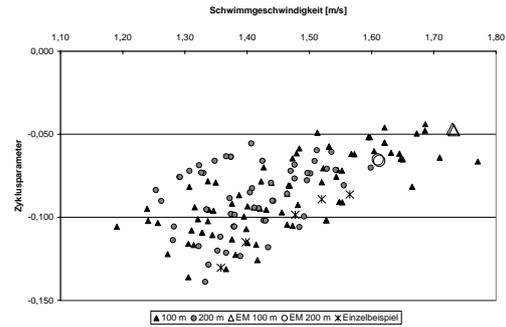


Abbildung 11. Veränderung des Zyklusparameters in Abhängigkeit von der Schwimmgeschwindigkeit beim Stufentest über 4 x 400 m Freistil der Frauen (als Vergleichswerte sind die Mittelwerte aller Finalisten der EM 2002 dargestellt).

bei den Frauen deutlich, dass sich die Schere für den Zyklusparameter bei den längeren Strecken nicht so weit öffnet wie im Sprint (Abb. 11), d. h. die Zykluswegorientierung spielt in den Trainingsgeschwindigkeiten der Langstrecklerinnen keine so große Rolle.

Eine Aussage über die Zielbezogenheit der realisierten Zyklusstruktur lässt sich erst bei der Einbeziehung der Rennverläufe von internationalen Top-Wettkämpfen treffen. In den beiden Abbildungen werden deshalb zum Vergleich die Mittelwerte der EM 2002 dargestellt. Das Ziel besteht darin, diese Ziel-Zyklusstruktur im Training entsprechend vorzubereiten. Dabei kann sowohl eine zu starke Zyklusweg- als auch Frequenzorientierung bei den niedrigeren Schwimmgeschwindigkeiten hinderlich sein.

Der Zyklusparameter eignet sich aber auch zur Beschreibung eines Leistungsfortschritts in Tests mit variabler Geschwindigkeit. Bei einer unveränderten Laktat-Leistungskurve lassen sich so trainingsbedingte Veränderungen in der Antriebsgestaltung darstellen. In unserem Beispiel (Abb. 12) zeigt eine Freistilsprinterin über mehrere Jahre keine Veränderungen in den leistungsphysiologischen Reaktionen. Trotzdem verändert sich ihre Antriebsgestaltung zuerst deutlich in Richtung Frequenzorientierung (von Test 1 zu Test 2). Durch eine veränderte Belastungsgestaltung im Olympiajahr gelingt die Umkehrung dieser Tendenz zu einer Erhöhung des Zykluswegs (Test 3). Durch die Einbeziehung dieses Zyklusparameters können insbesondere unter dem Aspekt der Maximierung der Antriebsleistung Trainingswirkungen diagnostiziert werden.

Lauf

Im Geschwindigkeitsbereich der Stufentests (ST) zeigt sich bis etwa 5,5 m/s eine eindeutige Zykluswegorientierung (Abb. 13). Ein höheres Leistungsniveau äußert sich auf vergleichbaren Geschwindigkeitsstufen in größeren Schrittlängen. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen entstehen bei einer entsprechenden Gruppengröße (in der Gruppe ST 3,50 m/s + befinden sich 5 und in der Gruppe ST 3,75 m/s + 15 Tests, in den anderen Gruppen mehr als 50 Tests). Wir finden

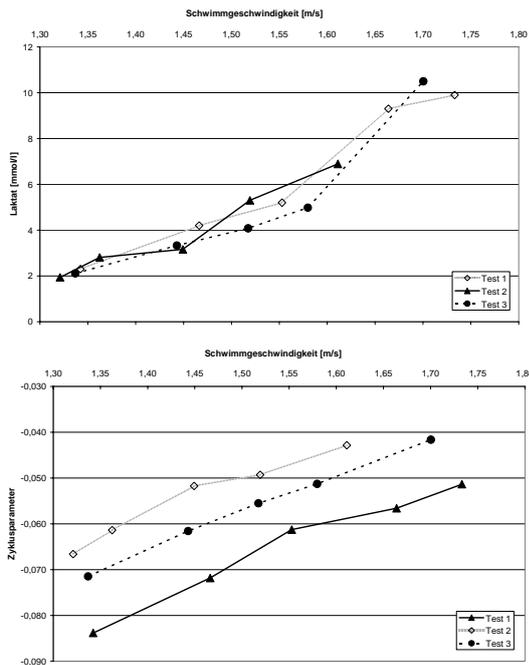


Abbildung 12. Veränderung der Laktat-Leistungs-Kurve (oben) und der Zyklusstruktur (unten) einer Sportlerin in Stufentests über 8 x 100 m Freistil.

einen signifikanten Unterschied in der Schrittlänge zwischen der Gruppe ST 4,00 m/s + und der Gruppe ST 4,25 m/s + ebenso wie zwischen den Gruppen ST 4,25 m/s + und ST 4,50 m/s + ($p < 0,05$). Kein Unterschied zeigt sich zwischen den Gruppen ST 4,50 m/s + und ST 4,75 m/s +. In der letzten Gruppe befinden sich vor allem Langstreckler, die in der Bewegungsstruktur ihrer Wettkampfbewegung geringere Zykluswege realisieren.

In den Tempolauftests zeigt sich ein stabiles Verhältnis von Zyklusweg und -frequenz im Bereich der Geschwindigkeiten von 5,5 bis 7,5 m/s. Erst bei höheren Geschwindigkeiten bzw. unter Ermüdung kommt es zu einer Dominanz der Bewegungsfrequenz. Dies zeigt das Beispiel eines Sprinters, der einen Stufentest im Geschwindigkeitsbereich zwischen 10,25 und 11,25 m/s absolvierte (Stufendauer ca. 10 s). Mit Zunahme der Geschwindigkeit steigerte der Sprinter seine Schrittfrequenz von 4,06 auf 4,65 Schritte/s (122 bis 140 Zyklen/min).

Auch in den Tempolauftests (TL) wird mit steigender Qualifikation eine Zunahme des Zykluswegs auf vergleichbaren Geschwindigkeitsstufen deutlich. Diese Unterschiede erreichen das Signifikanzniveau von $p < 0,01$ im Vergleich der Gruppen TL 5,50 m/s + und TL 5,75 m/s +, TL 6,50 m/s + und TL 6,75 m/s + sowie TL 6,75 m/s + und TL 7,00 m/s +. Es wird deutlich, dass die Unterschiede in der Schrittlänge im mittleren Leistungsbereich sehr gering sind. Dies resultiert aus der inhomogenen Zusammensetzung der Gruppen mit Vertretern unterschiedlicher Spezialdisziplinen

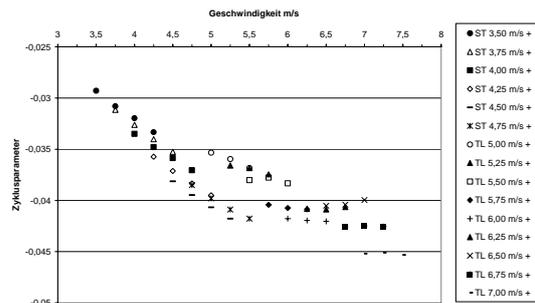


Abbildung 13. Vergleich des Zyklusparameters in Stufentests (ST) und Tempolauftests (TL); (in der Legende ist die jeweilige Geschwindigkeit der ersten Stufe dargestellt, die Steigerung betrug jeweils 0,25 m/s).

vor allem in den Randbereichen der Geschwindigkeit. In den drei Gruppen mit dem höchsten Leistungsniveau befinden sich so z. B. fast ausschließlich 800-m-Läufer.

Da in den Stufentestprogrammen definierte Geschwindigkeiten vorgegeben werden, können in diesem Fall Mittelwerte in den einzelnen Stufen berechnet werden. Bei der Vorgabe von definierten Bewegungsgeschwindigkeiten z. B. auf Laufbändern kann deshalb alternativ zum Zyklusparameter auch der Zyklusweg zur Interpretation herangezogen werden. Ein Vergleich mit der Zyklusstruktur unter Wettkampfbedingungen kann aber wiederum nur mit Hilfe des Zyklusparameters erfolgen, da hier die Geschwindigkeit ähnlich wie unter Trainingsbedingungen variiert.

Die Abbildung 14 zeigt die individuelle Variation der Zyklusparameter am Beispiel zweier 800-m-Läufer, von denen einer frequenzorientiert und der andere zykluswegorientiert läuft. Diese Grundcharakteristik spiegelt sich in allen Geschwindigkeitsbereichen und auch im Wettkampf wider. Die Unterschiede im Zyklusparameter zwischen Test und Wettkampf ergeben sich vor allem durch eine höhere Frequenz in der Start- und Endspurtphase des Wettkampfs. Wenn eine Veränderung in der Zyklusstruktur angestrebt werden soll, so muss sich diese über alle Geschwindigkeiten erstrecken.

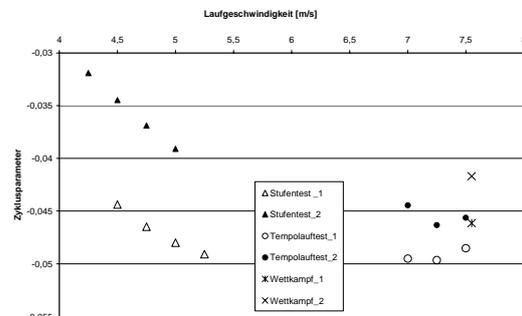


Abbildung 14. Veränderung des Zyklusparameters für zwei Sportler (1, 2) in Abhängigkeit von der Laufgeschwindigkeit beim Stufentest, Tempolauftest und im Wettkampf.

4. Zusammenfassung

Im Vergleich der Sportarten Lauf und Schwimmen zeigen sich unterschiedliche Regulationsstrukturen. Diese resultieren aus den unterschiedlichen äußeren Arbeitsbedingungen, die im Schwimmen im Gegensatz zum Lauf größere innerzyklische Ruhephasen in Form einer Gleitbewegung ermöglichen. Ähnliche Bedingungen finden wir auch in den Wasserfahrtsportarten (z. B. Rudern und Kanu) sowie in Sportarten mit gleitendem Widerlager (z. B. Skilanglauf). Im Gegensatz dazu führt die Wirkung der Schwerkraft im Lauf besonders bei niedrigen Laufgeschwindigkeiten zu einem schnell wiederkehrenden Bodenkontakt, da die Schrittlänge in unmittelbarem Zusammenhang mit der horizontalen Körperschwerpunktgeschwindigkeit steht. Lediglich die überproportionale Erhöhung der vertikalen Geschwindigkeit im Abdruck könnte dieses Missverhältnis etwas verbessern. Diesen federn den Lauf kann man oft bei Sprintern in der Erwärmung beobachten.

Die von uns beobachteten maximalen Bewegungsfrequenzen liegen deutlich unter den maximalen Frequenzen der unbelasteten Extremität, z. B. bei Tappingversuchen. Hier werden sowohl von der oberen als auch der unteren Extremität maximale Bewegungsfrequenzen von 15 bis 17 Hz erreicht (Voß, Witt & Werthner, 2007). In leistungsdiagnostischen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass diese hohen Tappingfrequenzen eine notwendige (wenn auch nicht hinreichende) Leistungsvoraussetzung für hohe Bewegungsfrequenzen in der spezifischen Bewegung sind (ebenda). Die erreichbaren maximalen Frequenzen können wesentliche Informationen für individuelle Optimierungsstrategien (Entwicklung der Zyklusfrequenz vs. des Zyklusweges) liefern.

Für alle untersuchten Bewegungen wurden Unterschiede im Zyklusparameter für einzelne Sportlergruppen deutlich. So realisierten die Langstreckler in vergleichbaren Geschwindigkeitsstufen geringere Zykluswege als Mittelstreckler. Dies gilt in vergleichbarer Weise auch für Langstreckenschwimmer im Vergleich mit Kurzstrecklern. Damit wird deutlich, dass die Realisierung höherer Wettkampfgeschwindigkeiten bereits bei niedrigen GA-Geschwindigkeiten eine andere Zyklusstruktur erfordert. Andererseits weisen unsere Untersuchungen auch darauf hin, dass eine Überbetonung dieser Zykluswegorientierung bei einer folgenden Geschwindigkeitserhöhung in eine Frequenzfalle führen kann. Der Zyklusparameter verändert sich mit der Geschwindigkeitserhöhung fast linear. Dies bedeutet, dass bei hohen Geschwindigkeiten die Zyklusfrequenz überproportional erhöht werden

müsste, was dann meist zu einer Leistungslimitierung in den zyklischen Sportarten führt. Mit Hilfe des entwickelten Zyklusmodells können Aussagen über

- prognoseorientierte Zyklusstrukturen in verschiedenen Sportarten
- über die Bewegungsqualität in Stufentests und
- individuelle Frequenzvorgaben für alle Geschwindigkeitsbereiche im Training erarbeitet werden.

Literatur

- Bauer, S., Ostrowski, C. & Wick, J. (2003). *Analyse der Nordischen Skiweltmeisterschaft - Skilanglauf -, Val di Fiemme 18.02.-01.03.2003*. Leipzig: IAT, Forschungsbericht.
- Ehrig, A. & Müller, J. (2001). *Wettkampfuntersuchungen (Teilgeschwindigkeit, Schrittfrequenz, Schrittvortrieb) anlässlich der WM-Einzelstrecken Damen und Herren 9.-11.03.2001 in Salt Lake City* (Forschungsbericht). Berlin: IAT Leipzig.
- Englert, M. & Kießler, R. (2004). *Olympiazyklusanalyse 2000/2004 Kanurennsport*. Leipzig: IAT, Forschungsergebnis.
- Graumnitz, J. & Küchler, J. (2004). Entwicklungstendenzen und Leistungsreserven im Schwimmen. *Zeitschrift für angewandte Trainingswissenschaft*, 11(2), 119-129.
- Hay, J. G. (2002). Cycle Rate, Length, and Speed of Progression in Human Locomotion. *Journal of applied Biomechanics*, 18, 257-270.
- Kleshnev, V. (2004). Racing strategy in Rowing During the Sydney Olympic Games. 04.05.2004, unter: www.coachesinfo.com/map
- Leopold, W. (2002). *Competition Analysis, XXVI. European Championships in Swimming, July, 29. - August, 04. 2002*. Berlin: DSV.
- Shen, W. (2000). *The Effect of stride length and frequency on speeds of elite sprinters in 100 meter dash*. Proceedings of the XVIII International Symposium on Biomechanics in Sports, Hong Kong, S. 333-336.
- Utkin, V. L. (1984). *Biomechaniceskie aspekty sportivnoj taktiki*. Moskva: Fizkul'tura i sport.
- Voß, G., Witt, M. & Werthner, R. (2007). *Herausforderung Schnelligkeitstraining*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Witt, M., Hildebrand, F. & Knoll, K. (2004). Leistungsreserven aus der Sicht der Biomechanik. *Zeitschrift für angewandte Trainingswissenschaft*, 11(2), 54-63.
- Witt, M. & Schnabel, U. (2003). Untersuchungen zur Antriebsgestaltung im Schwimmen. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft*, 10(1), 20-41.
- Witt, M. (2007). *Antriebsgestaltung bei zyklischen Bewegungen unter besonderer Beachtung der oberen Extremitäten*. Habilitationsschrift, Universität Leipzig, Fakultät für Sportwissenschaft.
- Zatsiorky, V. M., Aljeschinnski, S. J. & Jakunin, N. A. (1987). *Biomechanische Grundlagen der Ausdauer*. Berlin: Sportverlag.

Danksagung

Hiermit möchte ich mich ganz herzlich bei meinen Kollegen des IAT, Frau Dr. A. Berbalk und Herrn Dr. D. Gohlitz, für die Bereitstellung der leistungsdiagnostischen Daten aus den Sportarten Schwimmen und leichtathletischer Lauf bedanken.

Themenschwerpunkt erhalten: 10.03.2008
Überarbeiteten Themenschwerpunkt erhalten: 25.11.2008
Themenschwerpunkt akzeptiert: 25.11.2008
Themenschwerpunkt veröffentlicht: 22.12.2008