
Analyse und Ansteuerung biomechanischer Parameter der Kraulrollwende¹

Miriam Recht, Dietmar Schmidtbleicher (Projektleiter)

Universität Frankfurt am Main
Institut für Sportwissenschaften

1 Problem

Zum Einfluss des Wendenabschnitts auf die Gesamtzeit bei Schwimmwettkämpfen (vgl. z.B. Blanksby, Gathercole & Marshall, 1996, 43; Cossor, Blanksby & Elliott, 1999, 110) sowie zu defizitären Leistungen der deutschen Hochleistungsschwimmer im Wendenbereich (vgl. z.B. Kuchler & Leopold, 2000, 93; Kuchler & Leopold, 2002, 218) liegen eine Vielzahl von Untersuchungen vor. Gleichzeitig existieren nur wenige und zum Teil widersprüchliche Veröffentlichungen zu leistungsrelevanten Parametern der Wendenleistung und zur Planung des wendenspezifischen Krafttrainings. Komplexe biomechanische Analysen von Schwimmwenden finden sich bisher nur bei Nachwuchsschwimmern (vgl. z.B. Blanksby u.a., 1996) oder im Rahmen von Fallstudien (vgl. z.B. Lyttle & Mason, 1997). Veröffentlichungen zum Nachweis leistungsrelevanter konditioneller Parameter sowie zur Erprobung der Wirksamkeit eines wendenspezifischen Krafttrainings im Leistungs- bzw. Hochleistungsschwimmen liegen nicht vor.

Zielsetzung des Projektes war es daher, auf Basis der Analyse und Ansteuerung leistungsrelevanter Parameter der Kraulrollwende, insbesondere der Wendenabstoßphase, Erkenntnisse zur Gestaltung eines wendenspezifischen Krafttrainings im Leistungsschwimmsport zu gewinnen. Dabei wurden die folgenden Problemfelder betrachtet:

- Analyse leistungsrelevanter biomechanischer und konditioneller Parameter der Wendenleistung;
- Identifikation geeigneter Trainingsmethoden zur Leistungsverbesserung im Wendenabschnitt;
- Entwicklung von Trainingskonzeptionen zur Planung des wendenspezifischen Trainings.

¹ VF 0407/05/09/2001-2002 und VF 0407/07/07/2002

2 Methode

Der zentrale Bestandteil der Untersuchung lag in einer Wendenanalyse und der Erfassung von Kraftmerkmalen der Beinstreckmuskulatur vor und nach einem zwölfwöchigen Trainingsblocks zur Verbesserung der Schnellkraftfähigkeiten der Beinextensoren bei Leistungsschwimmern einer 1. Bundesligamannschaft. Zur Bestimmung leistungsrelevanter Parameter der Kraulrollwende und des Kraulrollwendenabstoßes wurde im Rahmen des Eingangstests eine Feldstudie durchgeführt. Die quasiexperimentelle Längsschnittstudie diente der Überprüfung von Auswirkungen eines reaktiven Sprungkrafttrainings auf die Leistungsfähigkeit der Beinstreckmuskulatur und auf die Wendenleistung.

Zur Analyse des Wendenabschnitts wurden von jedem Probanden mindestens acht gelungene Wendenversuche (Kraulrollwende) in Wettkampfgeschwindigkeit an einem auf kinematographischen (Videoaufnahmen mit bis zu 125 Bildern/s) und dynamometrischen Messmethoden (Unterwasser-Kraftmessplatte) basierenden Wendenmessplatz (vgl. Kaiser, 2002) aufgenommen. Zusätzlich absolvierten die Schwimmer einen Standardsprungkrafttest, bestehend aus Squat Jumps, Counter Movement Jumps und Drop Jumps aus verschiedenen Fallhöhen. Zur Bestimmung der Kraftvoraussetzungen der Beinstreckmuskulatur wurde eine isometrische Maximalkraftmessung (Kniegelenkwinkel 100°) durchgeführt. Als weitere Erhebungsverfahren dienten die Messung relevanter anthropometrischer Merkmale sowie die Ermittlung persönlicher Kenndaten. Zusätzlich wurde ein Trainingstagebuch angelegt, welches Aufschluss über trainingsquantitative Merkmale erlaubte.

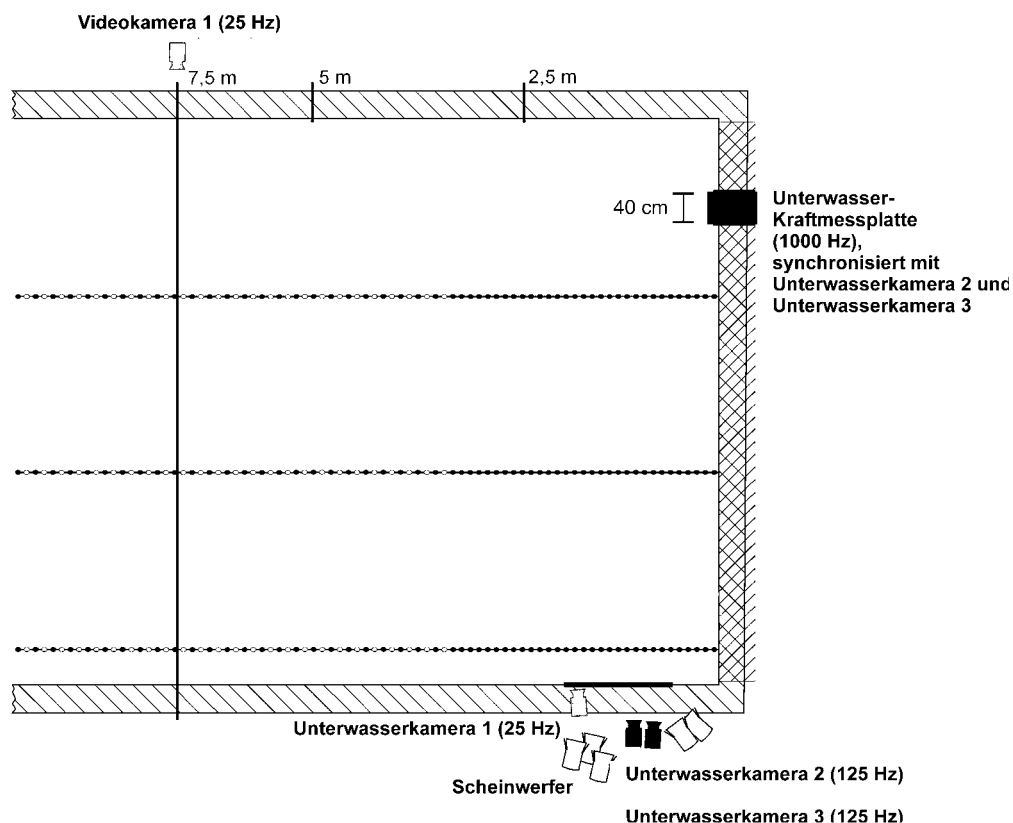


Abb. 1: Skizze des Frankfurter Wendenmessplatzes (modifiziert nach Kaiser, 2002, 45)

Der zwölfwöchige Trainingsblock beinhaltete ein vierwöchiges Tiefsprungtraining (4 x 12 Wdh., maximale Intensität, Pause zwischen den Wdh. ≥ 6 s, Serienpause ≥ 10 min), welches 2 x pro Woche von der individuell optimalen Fallhöhe² durchgeführt wurde, ein vierwöchiges Krafttraining zur Steigerung der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit an der Beinpresse (2 x pro Woche 3 x 3 Wdh., Belastungsintensität > 90 % bei explosiver Bewegungsgeschwindigkeit, Serienpause ≥ 6 min) sowie einen zweiten vierwöchigen Tiefsprungtrainingsblock.

Die kinematographische Datenauswertung erfolgte mittels der Software WINalyze© (Mikromak) und MotionScope® (Redlake). Zur Aufbereitung der dynamometrischen Daten wurde die Software DASyLab® (measX) verwendet. Für die Datenverarbeitung wurden als weitere Programme Excel® (Microsoft) und SPSS® (SPSS) eingesetzt. Die statistische Verarbeitung der Daten der Feldstudie basierte auf korrelationsanalytischen (bivariate und multiple Korrelationen) und varianzanalytischen (t-Test, Diskriminanzanalyse)

² Die individuell optimale Fallhöhe orientierte sich an den Ergebnissen der Sprungkraftanalyse im Eingangs- und Zwischentest und ist definiert als die Höhe, bei welcher der höchste Reaktivitätsindex (Flughöhe/Stützzeit) erreicht wurde.

Verfahren. Die Auswertung des Trainingsexperimentes erfolgte per einfaktorieller Varianzanalyse mit Messwiederholung. Die kritischen Differenzen wurden nach Scheffé berechnet. Die statistische Signifikanz wurde auf dem Niveau $p < 0,05$ festgelegt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Feldstudie bestätigen die Relevanz der Wendenabstoßleistung für die Höhe der Wendenzeit. Kurze 5-m-Wendenzeiten wurden im Zusammenhang mit geringen Kontaktzeiten und hohen Abstoßgeschwindigkeiten beobachtet. Die Fähigkeit, in kürzester Kontaktzeit möglichst hohe Abstoßgeschwindigkeiten zu erzeugen, hängt von biokinetischen, biodynamischen und konditionellen Parametern ab. Herauszustellen ist in diesem Zusammenhang der leistungsbestimmende Einfluss der reaktiven Kraftfähigkeit der Beinextensoren im kurzen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) für die Bremszeit und der Zusammenhang zwischen Abstoßgeschwindigkeit und Maximalkraftfähigkeit der Beinstrecker sowie der Leistungsfähigkeit im langen DVZ. Zudem ist sowohl die Kontaktzeit als auch der für die Abstoßgeschwindigkeit grundlegende Kraftstoß in erheblichem Maße von der Größe des Kniegelenkwinkels zu Beginn der konzentrischen Abstoßaktion determiniert. Da aus biomechanischer und physiologischer Sicht unterschiedlich große Kniegelenkwinkel in Verbindung mit differierenden Beschleunigungswegen und Hebelverhältnissen zu Veränderungen der Kraftentwicklung führen, gilt für die Parameter Kniegelenkwinkel und Kontaktzeit ein individuelles Optimum. Die Analyse unterschiedlicher Abstoßvarianten deutet darauf hin, dass es für das Erzielen geringer Wendenzeiten vorteilhaft ist, die Abdruckzeit und den Adaptationsweg durch Vergrößerung der Kniegelenkwinkel zu verkürzen. Abbildung 2 zeigt zur Veranschaulichung einen intraindividuellen Vergleich von zwei unterschiedlichen Wendenversuchen eines Probanden.

Als interessante Beobachtung in Bezug auf strömungsmechanische Beschreibungsgrößen der Abstoßgeschwindigkeit ist auf das Auftreten von Sogkräften nach dem Abstoß von der Beckenwand hinzuweisen, welche möglicherweise die Abstoßgeschwindigkeit positiv beeinflussen können.

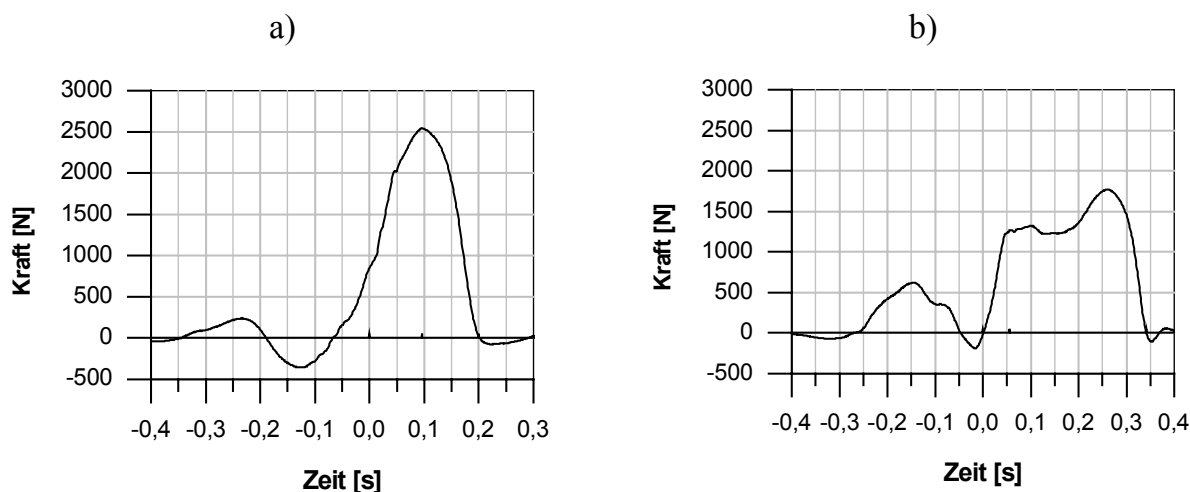


Abb. 2: Intraindividuellem Vergleich zweier Kraft-Zeit-Verläufe bei unterschiedlichen Beschleunigungswegen und -zeiten mit folgenden zugehörigen kinematischen und dynamischen Merkmalen (die durchgezogene Linie markiert den Beginn der Kontaktzeit, die gestrichelte Linie den Beginn der konzentrischen Abstoßphase und die gepunktete Linie das Ende der Kontaktzeit):

Variable	Versuch a)	Versuch b)
5 m-Wendenzzeit [s]	2,14	2,24
Adaptationsgeschwindigkeit [m/s]	1,93	1,90
Drehzeit [s]	1,04	1,04
Kniegelenkwinkel zu Beginn der Abstoßaktion [°]	99	69
Kontaktzeit [ms]	200	352
Abdruckzeit [ms]	104	296
Kraftmaximum während des Abstoßes [N]	2611	1790
konzentrischer Kraftstoß [Ns]	172	378
Abstoßgeschwindigkeit [ms]	2,19	2,50

Als ein wesentliches Ergebnis des Trainingsexperimentes ist herauszustellen, dass die Gruppe der Schwimmer, welche einen monatlichen Trainingsumfang von im Mittel mehr als 30 km/Woche im Wasser zu absolvieren hatten, durch den zwölfwöchigen Krafttrainingsblock zur Verbesserung von Maximal- und Reaktivkrafteigenschaften der Beinstreckmuskulatur keine signifikanten Leistungssteigerungen erfuhren. Da die angewandten Trainingsmethoden neben morphologischen Veränderungen der Muskel- und Sehnenelastizität vorwiegend neuronale Einflussgrößen des Kraftverhaltens ansteuern, ist eine optimale Anpassung nur durch ein Training im ermüdungsfreien Zustand möglich (vgl. z.B. Schmidbleicher, 2003, 35). Aus der Notwendigkeit, im Verlauf einer Wettkampfvorbereitungsperiode im Sportschwimmen hohe Trainingsumfänge im Wasser zu

absolvieren, ergeben sich bei der Umsetzung dieser Anforderung erhebliche Schwierigkeiten. Es ist anzunehmen, dass ein neuronal orientiertes Training der Beinextensoren als permanenter Trainingsbestandteil im schwimmerischen Leistungs- und Hochleistungstraining eine wenig effektive Trainingsbelastung darstellt, da sie aufgrund überlagernder Effekte ohne adäquate physiologische Wirkung bleibt. Da die Gruppe der Sprintschwimmer mit geringerem Wassertrainingsumfang von durchschnittlich weniger als 25 km/Woche nach der Interventionsphase signifikante Leistungsverbesserungen in der Sprungkraft erzielte, ist zu vermuten, dass ein Schnellkrafttraining in Phasen des geringeren Trainingsumfangs (z.B. in der Vorwettkampfphase, im Nachwuchstraining) oder des deutlich reduzierten aeroben Ausdauertrainings im Rahmen einer Blockbildung der Trainingsinhalte bessere Wirkungen erzielen kann.

Die Ergebnisse des Trainingsexperimentes zur Wirksamkeit eines Schnellkrafttrainings auf die Wenden- und Wendenabstoßleistung weisen auf einen relativ geringen Einfluss der Reaktivkraftfähigkeit an Land auf die Wendenleistungen bei der untersuchten Personenstichprobe hin. Zwar scheint ein Tiefsprungtraining eine geeignete Maßnahme zur Reduktion des exzentrischen Anteils der Kontaktphase darzustellen, dennoch wurden bei den Probanden durch eine Verbesserung der reaktiven Sprungkraftfähigkeiten keine adäquaten Anpassungen der Wenden- und Wendenabstoßleistung erzielt.

Aus trainingspraktischer Sicht erscheint eine Ausrichtung des Wendentechniktrainings im Leistungsschwimmsport auf die Bewegungsmerkmale Kniegelenkwinkel bzw. Abstand der Hüfte von der Beckenwand zu Beginn der Drehbewegung und auf die dynamische Gestaltung der Kontaktphase zweckmäßig. Vor dem Hintergrund des anzunehmenden Optimaltrends verschiedener Bewegungsmerkmale bei der Kraulrollwende (Kniegelenkwinkel, Kontaktzeit, Kraftstoß, Beschleunigungsverlauf usw.) sowie der in der Koordinationsforschung herausgestellten Annahme der Individualität komplexer Bewegungsmuster (vgl. z.B. Schöllhorn, 1999) und den damit verbundenen Forderungen an das Technik-anwendungstraining kann die Ausrichtung auf ein Technikvariationstraining empfohlen werden.

Die trainingspraktischen Folgerungen zum wendenspezifischen Krafttraining müssen vor dem Hintergrund individueller Defizite differenziert werden: Für Schwimmer, welche nicht in der Lage sind, adäquate Bremskräfte bei Bewegungen gegen feste Widerstände zu realisieren, kann ein Tiefsprungtraining empfohlen werden. Für Schwimmer, deren konditionellen Einflussgrößen der Abstoßgeschwindigkeit optimiert werden sollen, wird ein Training der Maximalkraftfähigkeiten der Beinextensoren nahe gelegt.

Um die im Rahmen der Längsschnittstudie beobachteten negativen Wechselwirkungen bei gleichzeitiger Ansteuerung schwimmerspezifischer Ausdauer- und Kraftfähigkeiten zu ver-

meiden, erscheint für die Planung des wendenspezifischen Krafttrainings die Nutzung des Konzeptes der Blockstruktur empfehlenswert.

Forschungsperspektiven im Problemfeld der Analyse und Ansteuerung leistungsrelevanter Parameter von Schwimmwenden ergeben sich insbesondere im Bereich strömungsmechanischer und physiologischer Aspekte und der dafür notwendigen Entwicklungen auf dem Gebiet der Unterwasser-Messtechnik. Zudem erscheint eine weitere Abklärung trainingsmethodischer Maßnahmen unter Berücksichtigung der individuellen Unterschiede beim Zustandekommen von sportlichen Höchstleistungen erstrebenswert.

4 Literatur

- Blanksby, B., Gathercole, D. & Marshall, R. (1996). Force plate and video analysis of the tumble turn by age-group swimmers. *Journal of Swimming Research*, 11, 40-45.
- Cossor, J., Blanksby, B. & Elliott, B. (1999). The influence of plyometric training on freestyle tumble turn. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2 (2), 106-116.
- Kaiser, I. (2002). *Konstruktion und Verifikation eines Messplatzes für eine biomechanische Bewegungsanalyse bei Schwimmwenden*. Dissertation, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Sportwissenschaften.
- Küchler, J. & Leopold, H. (2000). Ergebnisse aus einer Wettkampfbeobachtung bei den XXIV. Schwimm-Europameisterschaften. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft*, 7 (1), 87-104.
- Küchler, J. & Leopold, H. (2002). Ein Beitrag zur Analyse des Olympiazklus 1996-2000 im Sportschwimmen. In W. Freitag (Hrsg.), *Schwimmen. Lernen und Optimieren*. Band 20 (S. 202-223). Rüsselsheim.
- Lyttle, A. & Mason, B. (1997). A kinematic and kinetic analysis of the freestyle and butterfly turns. *Journal of Swimming Research*, 12, 7-11.
- Schmidtbleicher, D. (2003). Motorische Eigenschaft Kraft: Struktur, Komponenten, Anpassungserscheinungen, Trainingsmethoden und Periodisierung. In W. Fritsch (Hrsg.), *Rudern – erfahren, erkunden, erforschen* (S. 15-40). Gießen.
- Schöllhorn, W. (1999). Individualität – ein vernachlässigter Parameter? *Leistungssport*, 29 (2), 5-12.

