
Bewegungsanalyse der Starttechnik im Rückenschwimmen¹

Tom Krüger, Ditmar Wick, & Andreas Hohmann

Universität Potsdam
Institut für Sportwissenschaft

1 Problem

Die Sportart Schwimmen gehört zu den zyklischen (synchronen und alternierenden) Sportarten, deren vorrangiges Ziel in der Zeitminimierung beim Zurücklegen eines definierten Weges besteht. So können beim Schwimmen neben der Reduzierung des durch den Körperbau und die Wasserlage des Athleten determinierten Widerstandes Beziehungen zum Antriebspotenzial im Wasser, die Beherrschung der sportlichen Technik und zur Qualität von Start und Wende abgeleitet werden.

Die Bedeutung der Leistungen innerhalb des Startabschnitts steigt mit der Abnahme der Schwimmdistanzen. Gerade für den 50- und 100-m-Sprint im Schwimmen wird der Startabschnitt als eine wettkampfscheidende Größe angesehen (vgl. Rudolph, 1997, 2002; Küchler, 1998; Küchler & Leopold, 2000a; 2000b; Cossor & Mason, 2001).

Der Startabschnitt mit der resultierenden Startzeit setzt sich aus Wandzeit, Flugzeit und dem Unterwasserabschnitt (Gleitphase) zusammen. Beim Rückenschwimmen betrachten wir den Startabschnitt mit dem Erreichen der 15-m-Marke als beendet. Cossor & Mason (2001) wiesen nach, dass ein optimaler Start einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Position innerhalb des Starterfeldes nimmt und mit der Endzeit im 100-m-Rückenschwimmen bei den Olympischen Spielen in Sydney zu $r = .82$ (Unterwassergeschwindigkeit) bei den Männern und $r = .89$ bei den Frauen korreliert. Einen ähnlich hohen Stellenwert besitzen die Unterwasserdistanz und die Dauer der dabei verbrachten Unterwasserzeit. Beobachtungen auf nationalem und internationalem Niveau haben ergeben, dass sich die Starttechnik in den letzten Jahren verändert hat. So zeigen Analysen zum Zusammenhang von Block-, Flug- und Teilzeiten über 7,5, 10 und 15 m und den erzielten Gesamtzeiten im 100-m-Rückenschwimmen, dass geringere Startzeiten mit besseren Schwimmleistungen einhergehen (Cossor & Mason, 2001). Insbesondere die Dauer der Flugzeit hängt negativ mit der Gesamtschwimmzeit zusammen, so dass die Flugzeit und -weite eher optimiert und nicht maximiert werden sollte (vgl. Tabelle 1).

¹ VF 0407/07/41/2003-2004

Tab. 1: Richtwerte für ausgewählte Parameter des Rückenstarts beim 100-m-Rückenschwimmen auf internationalem Leistungsniveau (Küchler & Leopold, 2000a, S. 111).

	Wandzeit [s]	Flugzeit [s]	$t_{7,5\text{ m}}$ [s]	$t_{15\text{ m}}$ [s]	$v_{7,5-15,0\text{ m}}$ [m/s]	v_0 [m/s]
Männer	0,55-0,65	0,25-0,30	2,70-2,90	6,70-6,90	1,95-2,05	4,00
Frauen	0,55-0,65	0,25-0,30	3,30-3,50	7,90-8,10	1,75-1,85	3,70

Ferner wird vermutet, dass die Gestaltung des Startabschnitts entscheidend für die Vorbereitung des Überganges vom Eintauchen in die Gleitphase ist. Auf der 50-m-Bahn beträgt der Anteil des Rückenstarts an der Gesamtzeit beim 100-m-Rückenschwimmen immerhin zwischen 12,05 % bei den Männern und 12,72 % bei den Frauen (Rudolph, 2002).

Mit Hilfe von objektiven Messverfahren sollen Parameter ermittelt werden, die eine optimale Technikbeherrschung des Rückenstarts bei deutschen Spitzenschwimmern (vgl. Tabelle 2) charakterisieren und es dadurch ermöglichen, Reserven für eine individuelle Leistungssteigerung aufdecken.

Tab. 2: Sportler im Projekt Rückenstart.

	Sportler	Verein	Jahrgang	Bestzeiten (50-m-Bahn)		
				50 m (s)	100 m (s)	200 m (min.)
1	R.K.	Halle	79	25,08	53,97	1:59,47
2	T.E.	Halle	87	26,89		2:02,90
3	E.F.	Berlin	81	25,35	53,44	1:55,19
4	F.Z.	Berlin	85			2:06,47
5	D.S.	Berlin	86	26,74	57,61	2:04,87
6	T.H.	Potsdam	82	24,02	52,76	2:02,38
7	S.T.	Chemnitz	78	24,75	54,54	1:53,92
8	S. D.	Wup./Uerd.	81	24,56	53,46	1:54,13
9	T.R.	Hannover	77	23,44	50,58	
10	H.M.	Wiesbaden	84		54,24	1:58,52

2 Methoden

2.1 Kinematik

Die Startbewegungen werden mit drei Kameras (high speed Kamera (125 Hz), Redlake Imaging Corp., USA, VHS-Kamera (Panasonic Inc., Japan), CCD-Unterwasserfarbkamera mit speziell an das 2,5-mm-Weitwinkelobjektiv angepasste Vorsatzlinse für die optische Anpassung an die Unterwasserverhältnisse, (IAT-Service-Zentrum, Deutsch-

land)) über und unter Wasser aufgezeichnet. Der Startabschnitt wird zweidimensional kalibriert.

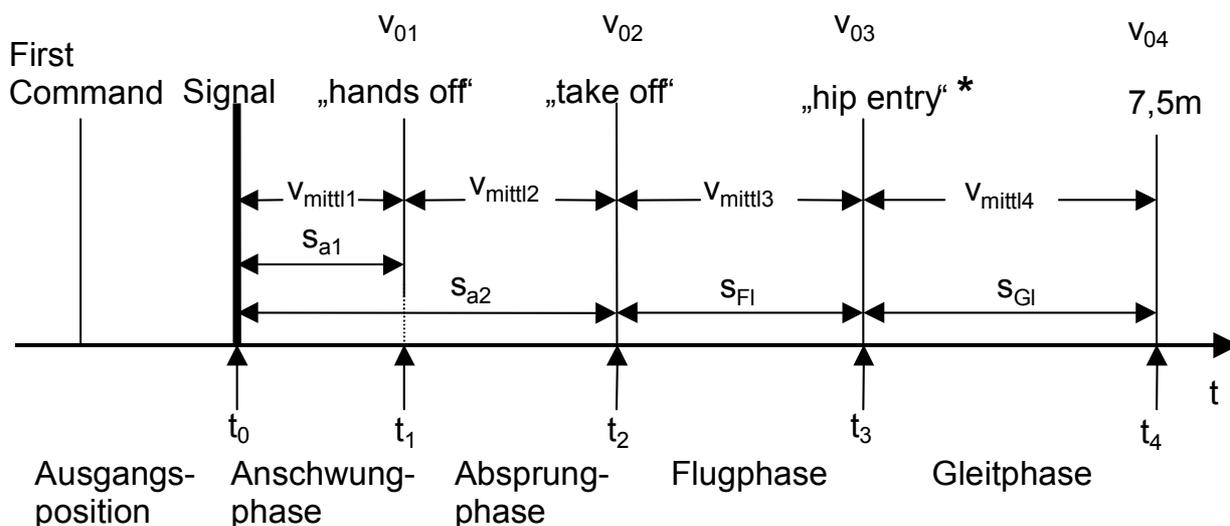


Abb. 1: Allgemeine Struktur der Startbewegung und kinematische Parameter (nach Wick et al., 2003).

Die Markierung der Gelenkpunkte der linken Körperseite erfolgte mit einer Reflexionsfolie (\varnothing ca. 4,5 cm). Mit einer Bewegungsanalysesoftware (SIMI-Motion 5.5) werden die Beschleunigungs- und Flugwege sowie die mittleren und momentanen Geschwindigkeiten für die Teilabschnitte des Hüftpunktes erfasst (vgl. Abbildung 1).

2.2 Dynamik

Die Objektivierung der dynamischen Startstruktur erfolgt durch eine mobile wasserdicht eingeschweißte Kraftmessplatte (Typ 9286 AA, KISTLER, Deutschland), die am Startblock vor der Beckenwand montiert wird. Aus den mit einer Frequenz von 1.000 Hz aufgezeichneten 3-dimensionalen Kraft-Zeitverläufen werden die Maximalkraftwerte, die Impulse, die resultierende Kraftwirkung und der Kraftwirkungswinkel berechnet.

2.3 Elektromyografie

Die Aufzeichnung der Muskelaktivität wird mit einem wasserdichten 8-Kanal-EMG (BioVision®, Deutschland) mit einer Samplingfrequenz von 1.000 Hz realisiert. Die acht Elektrodenkabel münden in ein 20 m langes Übertragungskabel zum Computer.

Damit ist eine Online-Übertragung der EMG-Signale ohne wesentliche Beeinflussung der Bewegungsfreiheit der Athletinnen vom Start über die Flugphase und Gleitphase bis

maximal 12 m möglich. Es werden die Aktivitäten von acht leistungsbestimmenden Muskeln erfasst (*m. deltoideus*, *m. biceps brachii*, *m. triceps brachii*, *m. erector spinae*, *m. quadriceps femoris*, *m. gluteus maximus*, *m. semitendinosus*, *m. gastrocnemius medialis*). Die Abbildung 2 zeigt beispielhaft amplitudennormierte EMG-Signalverläufe bei den unteren Extremitäten. Die EMG-Signale wurde zuvor gleichgerichtet und mit einem Tiefpass-Filter (Tschebyscheff 0.5 bei 50 Hz, 6. Ordnung) geglättet.

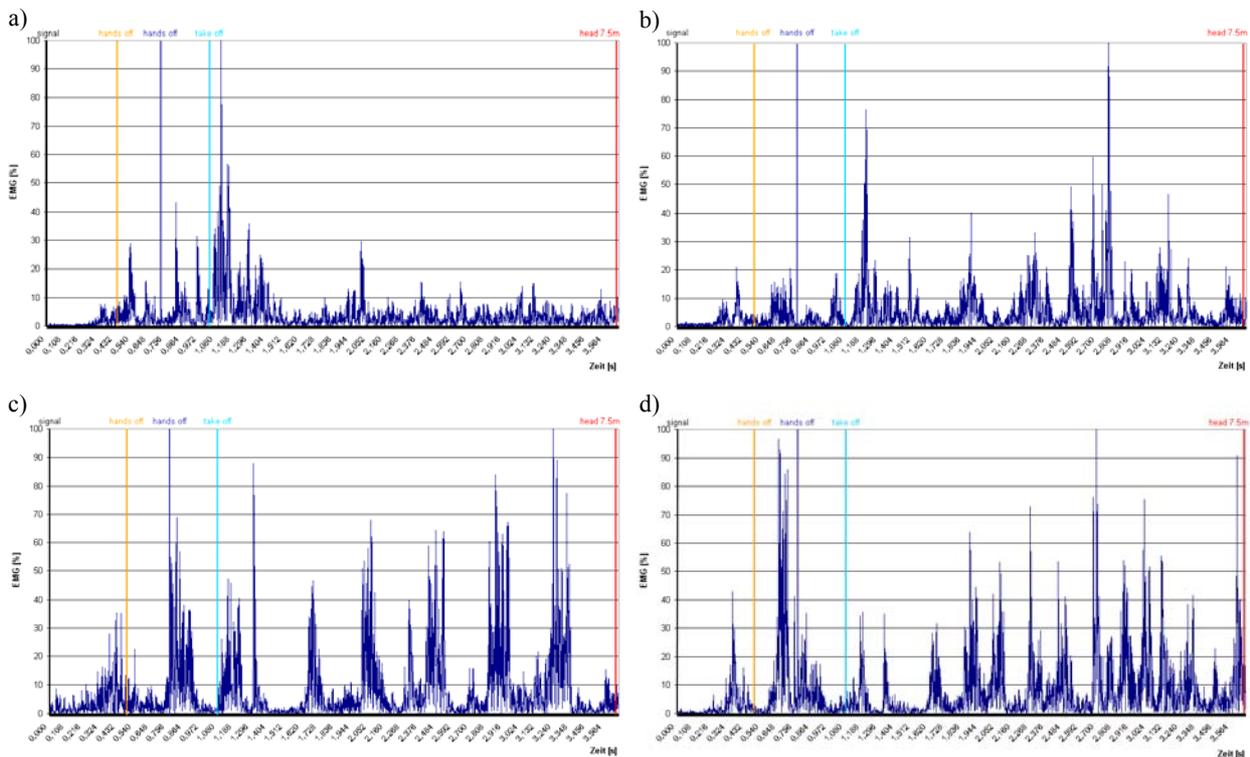


Abb. 2: Normierte EMG-Muster der unteren Extremitäten beim Rückenstart (Athlet T.E.) [a) *m. gluteus maximus*, b) *m. rectus femoris*, c) *m. semitendinosus*, d) *m. gastrocnemius*].

Alle drei Messsysteme wurden synchronisiert und getriggert, um eine korrekte Zuordnung der Daten zu sichern.

3 Ergebnisse

Die vorläufige Auswertung der kinematischen und dynamischen Messergebnisse verdeutlicht die leistungsabhängige Ausprägung der Starttechnik der einzelnen Sportler. So differieren die Absprunggeschwindigkeiten ($v_{\text{take off}}$) beispielsweise um 1 m/s^{-1} (vgl. Tabelle 2).

Tab. 2: Teilzeiten und Absprunggeschwindigkeiten der beiden individuell besten Versuche ausgewählter Probanden.

Proband	hands off (Δt_{0-1} in s)	take off (Δt_{0-2} in s)	hip entry (Δt_{0-3} in s)	$v_{\text{take off}}$ (v in $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
T.H.	0,432	0,776	1,072	4,53
T.H.	0,448	0,768	1,064	5,08
MW T.H.	0,440	0,772	1,068	4,80
R.K.	0,472	0,784	1,016	4,06
R.K.	0,288	0,640	0,824	4,46
MW R.K.	0,413	0,746	0,949	4,26
T.E.	0,464	0,736	1,000	3,27
T.E.	0,512	0,800	1,080	4,16
MW T.E.	0,528	0,808	1,075	3,72

Die Kraftwerte der horizontalen und resultierenden Komponente ($F_{z\text{Max}}$, $F_{r\text{Max}}$) differieren zwischen den beiden deutschen Spitzenathleten (T.H. und R.K.) und dem Nachwuchsathleten (T.E.) um ca. 400 N (vgl. Abbildung 3). In diesen Werten scheint sich die technische „Meisterschaft“ der Teilnehmer widerzuspiegeln.

Die elektromyografischen Ergebnisse zeigen starke Muskelaktivitäten der oberen Extremitäten (*m. deltoideus*, *m. biceps brachii*, *m. triceps brachii*) bis zum Zeitpunkt »take off«. Begründet ist diese Aktivität durch die Haltearbeit der Arme und Schultermuskeln bis zum Bewegungsbeginn (Startsignal) und die aktive Rückföhrbewegung zur Einleitung der Rumpfüberstreckung vor dem Absprung. Die nachfolgend hohen Aktivitäten der oberen Extremitäten resultieren aus der Vorspannung in Vorbereitung auf den Wassereintritt. Der Rückenstrecker (*m. erector spinae*) weist hohe Aktionspotentiale im Vorfeld des Lösens der Hände (»hands off«) auf, um beim Armabdruck kurzzeitig zu entspannen. Anschließend steigt zum Zeitpunkt »take off« und während der Flugphase seine Aktivität wieder an.

Die Muskelaktivität der unteren Extremitäten steigt zum Zeitpunkt »take off« an, wobei interessanterweise die höchsten Aktivitäten der Oberschenkelvorderseite (*m. rectus femoris*) und der -rückseite (*m. semitendinosus*) erst in der anschließenden Unterwasserphase bei der Delphinbewegung erreicht werden.

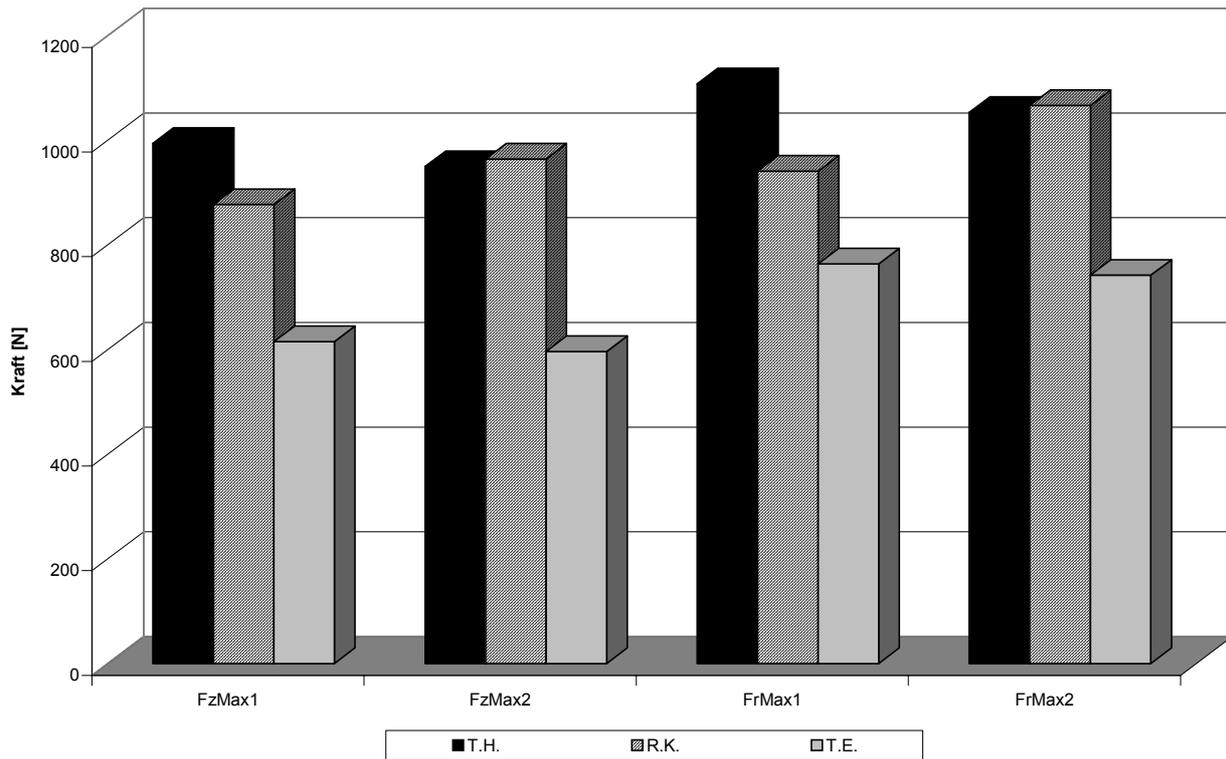


Abb. 3: Individuelle horizontale (F_z) und resultierende (F_r) Kraftmaxima während des Startvorgangs ($F_{z,rMax1}$ zeitnah zum Zeitpunkt »hands off«, $F_{z,rMax2}$ zum Zeitpunkt »take off«).

4 Diskussion

Die kinematischen Ergebnisse entsprechen weitgehend den in der Literatur publizierten Daten für internationales Niveau (Küchler & Leopold, 2000b), wobei jene des Schwimmers T.H. sogar deutlich besser ausfallen. Bei den dynamischen Werten während des Startvorgangs sticht hervor, dass schnelle Zeiten an der 7,5-m-Marke auf sehr hohe „Kraftimpulse“ beim Abstoß von der Wand und hohe Abfluggeschwindigkeiten basieren. Vom Zeitpunkt des Eintritts ins Wasser (»hip entry«) bis zur 7,5-m-Marke und stärker noch bis zur 15-m-Marke (Übergang von Unterwasserphase zur eigentlichen Schwimm-lage) ist die Güte der Delphinbewegung zur Vortriebserzeugung entscheidend (Küchler, 2001) (vgl. Tabelle 3).

Dies lässt sich anhand der vorliegenden elektromyografischen Befunde verdeutlichen. Anders scheint auch der Verlust von ca. 0,3 s von T.H. gegenüber R.K. bei fast identischen Kraftwerten (F_{zMax2} und F_{rMax2}) an der 7,5-m-Marke nicht erklärt werden zu können. Fest steht, dass es selbst unter den Eliteschwimmern gravierende Unterschiede zwischen den Start-Teilzeiten für die Abschnitte bis 7,5; 10 und 15 Meter gibt (Küchler & Leopold, 2000a; 2000b). Die Untersuchungen verweisen ferner auf den bedeutenden Einfluss der

Wand- und Flugphase auf die Eintauch- und Gleitphase bzw. auf die Schwimmleistung bei Sprintdisziplinen im Rückenschwimmen.

Tab. 3: Flugweite, resultierende Abstoßkräfte und Zeiten beim Kopfdurchgang bei 7,5 m.

Proband	S _{FL} [m]	F _{zMax2} [N]	F _{rMax2} [N]	head 7.5 m [s]
T.H.	2,27	950,01	1.053,91	3,340
R.K.	1,98	965,27	1.066,75	3,013
T.E.	2,15	596,46	742,33	3,693

Erklärt wurden die bislang vorliegenden Ergebnisse zur Bedeutung des Rückenstarts vor allem dadurch, dass bessere Starter weiter entfernt vom Block eintauchen und somit eine geringere Unterwasserdistanz bis zur Messmarke zurückzulegen haben und diese mit dem Delphinbeinschlag effektiver gestalten. Diese Ansicht kann bis auf die Flugweite, die in der vorliegenden Untersuchung beim schnelleren Starter (R.K.) kürzer als bei T.H. und T.E. ist (siehe Tabelle 4), unterstützt werden. Ein früheres Eintauchen bedingt einen frühzeitigeren Antriebseinsatz der unteren Extremitäten und kann bei exzellenter Delphintechnik letztlich deutlich positiver auf Teilzeiten und Schwimmleistungen wirken.

5 Literatur

- Cossor, J. & Mason, B. (2001). Swim start performances at the Sydney 2000 Olympic Games. In J. Blackwell & R. Sanders (Eds.), *Proceedings of XIX Symposium on Biomechanics in Sport* (pp. 70-74). San Francisco: University of California at San Francisco.
- Küchler, J. & Leopold, H. (2000a). 4.2 Start. In W. Freitag (Hrsg./Red.), *Schwimmen. Lernen und Optimieren* (Band 17, S. 106-116). Rüsselsheim: Deutsche Schwimmtrainer Vereinigung.
- Küchler, J. & Leopold, H. (2000b). Ergebnisse aus einer Wettkampfbeobachtung bei den 25. Schwimm Europameisterschaften vom 03. bis 09.07.2000 in Helsinki. In W. Freitag (Hrsg./Red.), *Schwimmen. Lernen und Optimieren* (Band 18, S. 145-159). Rüsselsheim: Deutsche Schwimmtrainer Vereinigung.
- Küchler, J. (1998). Zur Optimierung des Bewegungsablaufes bei Start und Wende im Sportschwimmen. In W. Freitag (Hrsg./Red.), *Schwimmen. Lernen und Optimieren* (Band 15, S. 78-91). Rüsselsheim: Deutsche Schwimmtrainer Vereinigung.
- Küchler, J. (2001). Ergebnisse aus einer Wettkampfbeobachtung bei den 9. FINA Schwimm-Weltmeisterschaften vom 22.-29.07.2001 in Fukuoka. *Der Schwimmtrainer*, 85, 13-38.
- Rudolph, K. (1997). Zur Rennstruktur im Schwimmen. In W. Freitag (Hrsg./Red.), *Schwimmen. Lernen und Optimieren* (Band 13, S. 182-212). Rüsselsheim: Deutsche Schwimmtrainer Vereinigung.

- Rudolph, K. (2002). Analyse der Entwicklung des internationalen und nationalen Schwimmsports bei besonderer Berücksichtigung der Olympischen Spiele in Sydney 2000. In W. Freitag (Hrsg./Red.), *Schwimmen. Lernen und Optimieren* (Band 20, S. 137-201). Rüsselsheim: Deutsche Schwimmtrainer Vereinigung.
- Wick, D, Krüger, T. & Hohmann, A. (2003). Biomechanische Prinzipien als Kriterien der Effektivität von Grab- und Trackstart im Schwimmen. *Leistungssport*, 33,3, 47-51.