

Kinematische Analyse des Sprintschrittes der Schwung-Zug-Technik und korrelative Beziehungen von Sprintleistung und vertikalen Sprüngen in verschiedenen Leistungsklassen

(AZ 072001/18)

Klaus Mattes (Projektleitung), Stefanie Wolff & Martin Reischmann

Universität Hamburg, Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft

1 Problem

Die maximale Sprintgeschwindigkeit und deren kinematischen Schrittmerkmale wurden im Serviceprojekt 2017 auf der Grundlage eines eigens entwickelten Technikmodells zum ziehenden Sprinten in verschiedenen Stichproben von weiblichen und männlichen Nachwuchs- und Topsprintern untersucht (Mattes, Manzer & Buckwitz, 2016). Für Sprinter konnten Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen der Sprintgeschwindigkeit im Bereich von $>10,0$ bis $11,3$ m/s und den kinematischen Merkmalen der Sprinttechnik ermittelt werden (Mattes & Manzer, 2017). Auf diesem Leistungsniveau stellten sich eine große Schrittlänge und kurze Bodenkontaktzeit (< 100 ms) als sprintentscheidende Faktoren heraus und bestätigten frühere Befunde (Cunha, Alves & Veloso, 2002; Mackala, 2007). Beide Einflussgrößen und damit auch die maximale Sprintgeschwindigkeit können durch verschiedene kinematische Merkmale der Schwung-Zug-Technik angesteuert werden.

Die vertikale Stiffness und die Reaktivkraft im kurzen und langen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ, Counter Movement Jump (CMJ) und Drop Jump (DJ)) beeinflussen die maxi-

male Sprintgeschwindigkeit und deren kinematischen Schrittmerkmale. Jedoch liegen inkonsistente Befunde zum Zusammenhang von vertikaler Stiffness, CMJ und DJ sowie der Sprintgeschwindigkeit vor (Loturco et al., 2015; Markström & Olsson, 2013; Bissas & Havenetidis, 2008; Mero 1985; Bret et al., 2002).

Im Serviceprojekt 2018 wurden die kinematischen Analysen zur Sprinttechnik weitergeführt (Mattes & Wolff, 2018). Dabei lag ein Schwerpunkt in der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den kinematischen Schrittmerkmalen und den verschiedenen Merkmalen der vertikalen Sprünge.

2 Methode

Die Felduntersuchungen erfolgten mit Sprinterinnen und Sprintern des DLV und des Hamburger Leichtathletik Verbandes (D-Kaderathleten) in der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung im Sommer (Juli 2018) sowie in der Vorbereitungsperiode im Frühjahr und Herbst/Winter. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer wurden durch die verantwortlichen Bundestrainer bzw. Landestrainer benannt (Tab. 1).

Tab. 1 Untersuchungsstichproben 2018

Kaderstatus	Messtermin	Anzahl	Alter [Jahre]	Körpermasse [kg]	Körperhöhe [m]
Hamburger D-Kader männlich	Jan. 2018	13	16,3 ± 1,3	70,7 ± 6,3	1,82 ± 0,07
Hamburger D-Kader weiblich	Jan. 2018	13	16,2 ± 1,6	57,1 ± 7,4	1,7 ± 0,07
Hamburger D-Kader männlich	April 2018	6	17,4 ± 1,6	71,6 ± 8,8	1,84 ± 0,06
Hamburger D-Kader weiblich	April 2018	6	16,0 ± 0,8	58,5 ± 4,6	1,69 ± 0,06
C Kader Junioren Kurz-/Langsprint	Juli 2018	12	18,5 ± 0,8	75,7 ± 9,1	1,87 ± 0,05
C Kader Junioren Kurz-/Langsprint	Jan. 2018	13	17,5 ± 1,1	72,8 ± 8,7	1,84 ± 0,08

Nach Erhebung der anthropometrischen Daten (Körperhöhe, -masse, Beinlänge) und einer allgemeinen Erwärmung mit Laufschuhen erfolgten die spezifische Sprinterwärmung mit Spikes und der Sprinttest als fliegender Sprint über die Distanz von 30 m.

Die Hamburger D-Kaderathletinnen und -athleten absolvierten ebenfalls einen fliegenden Sprint über die Distanz von 30 m innerhalb einer fest installierten 50-m-OptojumpNext-Anlage in der Hamburger Leichtathletikhalle (Abb. 1).



Abb. 1. OptojumpNext Messgerät mit einer Länge von 50 m

Nach dem Sprinttest absolvierten die Athleten einen Hopping-Test zur Bestimmung der vertikalen Stiffness. Im Test führten die Probanden vertikale Rebound Sprünge über 12 s mit einer Sprungfrequenz von 2,2 Hz (Metronom) durch. Bei Einhaltung der Sprungfrequenz mussten eine minimale Bodenkontaktzeit und eine maximale Sprunghöhe ohne Durchschlagen der Ferse aus dem Sprunggelenk heraus realisiert werden. Die Hände befanden sich an der Hüfte, um eine Schwungbewegung der Arme zu verhindern. Die Sprünge wurden barfuß auf

Tartanbelag absolviert, um den dämpfenden Einfluss des Schuhwerks und der Oberfläche zu kontrollieren. Zur Gewöhnung führten alle Athleten ein bis zwei Probeversuche aus. Zwischen dem ersten und zweiten Test lag eine Pause von mindestens 5 min. In die Auswertung gingen jeweils 20 Sprünge ein. Der Test war gültig, wenn der Mittelwert der Hoppingfrequenz im Bereich von $2,2 \pm 0,044$ Hz (2,156 bis 2,244 Hz) lag.

Im Anschluss erfolgten jeweils drei CMJs und drei DJs mit einer Pause von jeweils 1 min. Die Arme durften bei der Durchführung des CMJ als Schwungelement eingesetzt werden. Das Ziel des CMJ war eine maximale Sprunghöhe. Aus den drei Sprüngen wurde der Beste anhand der Sprunghöhe ausgewählt. Der DJ wurde aus einer Höhe von 30 cm mit den Händen in der Hüfte durchgeführt. Dabei sollte eine möglichst kurze Bodenkontaktzeit und eine große Sprunghöhe erzielt werden. In die Auswertung ging wiederum der beste Sprung ein. Die Auswahl erfolgte anhand eines großen Reactive Strength Index ($RSI = h/tk$).

Eine Videokamera (Photonfocus AG, Schweiz) zeichnete die Sprints mit 200 Hz und einer Bildauflösung von 1760 x 448 Pixel auf. Aus dem Video wurden die kinematischen Schrittmerkmale (Schrittfrequenz, Schrittlänge, Bodenkontaktzeit, Flugzeit) ermittelt. Eine Dreifach-Lichtschranke (Wilhelm Köster, Ditzingen) registrierte die Zeit für das 30-m-Sprintintervall. Die kinematische Auswertung erfolgte mit Vicon motus (10.1, Vicon Motion Systems, UK/USA).

Die Erfassung und Auswertung der kinematischen Kennwerte der Hamburger D-Kaderathletinnen und -athleten erfolgten mit OptojumpNext (Microgate, Italien). Die Infrarotlichtschranken befanden sich ca. 5 mm über dem Boden. Die räumliche Auflösung des Messgerät-

tes betrug 1 cm und die Messfrequenz 1000 Hz. Die Sprunghöhe der vertikalen Sprünge wurde aus der Flugzeit berechnet (Tab. 2). Für den Hopping-Test wurden nach dem Feder-Masse-Modell (Taylor, 2012) aus den Messwerten (Flugzeit und Kontaktzeit) sowie der individuellen Körpermasse die vertikale Stiffness und weitere Kennwerte berechnet. Die Zusammenhangsanalyse erfolgte mittels Pearson-Korrelation, wobei ein Korrelationskoeffizient von $> 0,39$ als signifikant eingestuft wurde.

3 Ergebnisse

Die Korrelationsanalyse inkludierte die Daten der männlichen Stichproben (JKB und HHDm, $N = 26$, Januar 2018) (Tab. 2).

Tab. 3 (siehe Seite 4) zeigt die Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen den kinematischen Daten und den Ergebnissen der vertikalen Sprungtests.

4 Diskussion

Mittels Korrelationsanalyse wurden die Beziehungen zwischen den kinematischen Schrittmerkmalen (Schrittfrequenz, Schrittlänge, Bodenkontaktzeit, Flugzeit), der Schwung-Zug-Technik und den Kennwerten der Sprungtests

bestimmt. Die Analyse umfasste eine Stichprobe von Juniorenkaderathleten (Junioren Bundeskaderathleten und Hamburger D-Kaderathleten, $N = 26$), um einerseits eine homogene Stichprobe und andererseits ein hohes Leistungsniveau abzudecken. Die Sprintgeschwindigkeit über die fliegenden 30 m der Stichprobe variierte von 8,49 bis 10,50 m/s. Zudem ist für die Interpretation der Korrelationsergebnisse zu berücksichtigen, dass die Testdaten zum gleichen Messzeitpunkt im Trainingsjahr (Januar 2018) erhoben wurden. Die Analyseergebnisse gelten zunächst nur für diesen Zeitraum in Trainingsjahr. Die Ergebnisse bestätigen drei Kernaussagen:

- › Sprinter mit hohem Reaktivkraft-Index aus dem DJ erreichen eine höhere maximale Sprintgeschwindigkeit und eine kürzere Bodenkontaktzeit.
- › Sprinter mit hoher vertikalen Stiffness erzielen bei maximaler Sprintgeschwindigkeit eine kürzere Bodenkontaktzeit.
- › Sprinter mit großer Sprunghöhe im CMJ realisieren bei maximaler Sprintgeschwindigkeit eine größere Schrittlänge (Mattes et al., 2018).

Tab. 2. Mittelwert \pm Standardabweichung, Minimum und Maximum der Kennwerte der Sprung- und Sprinttests, $N = 26$

Test	Kennwert	MW \pm SD	Minimum	Maximum
Sprint	Sprintgeschwindigkeit [m/s]	9,76 \pm 0,5	8,49	10,50
	Bodenkontaktzeit [ms]	107 \pm 12	85	128
	Flugzeit [ms]	124 \pm 8	108	143
	Schrittlänge [m]	2,25 \pm 0,09	2,12	2,42
	Schrittfrequenz [Hz]	4,36 \pm 0,26	3,95	4,88
Hopping	vertikale Stiffness [kN/m]	19,56 \pm 6,01	7,36	30,81
	Bodenkontaktzeit [ms]	174 \pm 31	137	253
	Flugzeit [ms]	281 \pm 30	201	312
	Sprunghöhe [cm]	9,8 \pm 1,9	5	12
	Reactive Strength Index [m/s]	0,6 \pm 0,19	0,20	0,87
DJ	Reactive Strength Index [m/s]	2,3 \pm 0,7	1,1	3,9
	Bodenkontaktzeit [ms]	160 \pm 14	132	179
	Sprunghöhe [cm]	36,3 \pm 9,9	18,3	53,6
CMJ	Sprunghöhe [cm]	53,2 \pm 7,2	39,5	70,1

Tab. 3: Korrelationskoeffizienten (r) zwischen der Sprintgeschwindigkeit (v), den kinematischen Schrittmerkmalen Schrittlänge (s_L), Schrittfrequenz (f), Bodenkontaktzeit (t_K), Flugzeit (t_F) sowie der vertikalen Stiffness (K_{vert}) aus dem Hopping-Test, dem Reactive Strength Index (RSI) und der Sprunghöhe (h) aus dem DJ und CMJ, $N = 26$

N = 26		Sprint					Hopping			DJ		
		v	s_L	f	t_K	t_F	K_{vert}	RSI	t_K	RSI	t_K	h
Sprint	v	1,00										
	s_L	0,28	1,00									
	f	0,61	-0,26	1,00								
	t_K	-0,79	0,10	-0,81	1,00							
	t_F	0,11	0,31	-0,51	-0,09	1,00						
Hopping	K_{vert}	0,63	-0,03	0,56	-0,72	0,09	1,00					
	RSI	0,53	-0,15	0,49	-0,66	0,13	0,93	1,00				
	t_K	-0,49	0,14	-0,47	0,62	-0,09	-0,93	-0,98	1,00			
DJ	RSI	0,68	0,19	0,51	-0,60	0,01	0,63	0,63	-0,61	1,00		
	t_K	-0,30	-0,05	-0,22	0,27	0,00	-0,47	-0,51	0,52	-0,60	1,00	
	h	0,72	0,20	0,54	-0,65	0,03	0,60	0,58	-0,57	0,95	-0,35	1,00
CMJ	h	0,73	0,43	0,46	-0,46	-0,13	0,41	0,37	-0,36	0,75	-0,40	0,72

Die korrelativen Beziehungen der Sprungdaten zur maximalen Sprintgeschwindigkeit und zur kurzen Bodenkontaktzeit beim Sprinten unterstreichen die Leistungsbedeutsamkeit der konditionellen Leistungsvoraussetzungen (vertikale Stiffness, Reaktivkraft im kurzen und langen DVZ). Da jedoch die Sprungdaten auch untereinander korrelierten, wird die Frage nach der Unabhängigkeit der einzelnen Tests und der geprüften konditionellen Fähigkeit akut. Dabei muss zunächst festgestellt werden, dass die sprintschnellen Athleten sowohl über eine hohe Reaktivkraft im langen und kurzen DVZ als auch eine hohe vertikale Stiffness als sprintspezifische konditionelle Leistungsvoraussetzungen

verfügen sollten. Um auf eine hohe maximale Sprintgeschwindigkeit zu schließen, können die Sprunghöhe aus dem DJ oder CMJ fungieren. Zur Prognose einer kurzen Bodenkontaktzeit im Sprinttest sollte demgegenüber die vertikale Stiffness aus dem Hopping-Test verwendet werden. Nur die Sprunghöhe aus dem CMJ stand in signifikanter Beziehung mit der Schrittlänge. Für eine detaillierte Analyse der Reaktivkraft von Sprintern scheinen beim gegenwärtigen Kenntnisstand alle drei Sprungtests unverzichtbar und sollten regelmäßig durchgeführt werden. Im Training müssen diese Leistungsvoraussetzungen angesteuert werden.

5 Literatur

- Bissas, A. I. & Havenetidis, K. (2008). The use of various strength-power tests as predictors of sprint running performance. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 48 (1), 49-54.
- Bret, C. R. A., Dufour, A., Messonnier, L. & Lacour, J. (2002). Leg strength and stiffness as ability factors in 100m sprint running. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 42 (3), 274-281.
- Cunha, L., Alves, F. & Veloso, A. (2002). The touch-down and take-off angles in different phases of 100 m sprint run. In *ISBS-Conference proceedings archive* (Vol. 1, No. 1 S. 527-530).
- Loturco, I., Pereira, L. A., Abad, C. C. C., D'angelo, R. A., Fernandes, V., Kitamura, K., ... & Nakamura, F. Y. (2015). Vertical and horizontal jump tests are strongly associated with competitive performance in 100-m dash events. *The journal of strength & conditioning research*, 29 (7), 1966-1971.
- Mackala, K. (2007). Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres. *New studies in athletics*, 22 (2), 7-16.
- Markström, J. L. & Olsson, C. J. (2013). Counter-movement jump peak force relative to body weight and jump height as predictors for sprint running performances: (in) homogeneity of track and field athletes? *The journal of strength & conditioning research*, 27 (4), 944-953.
- Mattes, K. & Manzer, S. (2017). Was zeichnet schnelle Sprinter aus? *Leichtathletiktraining*, 12 (28), 18-24.
- Mattes, K. & Wolff, S. (2018). Vergleich der Sprinttechnik von schnellen Sprinterinnen? *Leichtathletiktraining*, 9 (18), 20-25.
- Mattes, K., Manzer, S. & Buckwitz, R. (2018). Überprüfung eines Modells zur „Schwung-Zug-Technik“ mit maximaler Sprintgeschwindigkeit. In K. Isermann, & P. Wastl (Hrsg.) *Leichtathletik in Training, Wettkampf und Ausbildung*, 12. Tagung der dvs-Kommission Leichtathletik (17.-18.06.16, Kassel, Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft), Czwalina.
- Mattes, K., Manzer, S., Ritthaler, V., Reischmann, M. & Buckwitz, R. (2018). Vertical stiffness jumps and sprint kinematic of well-trained youth female and male sprinters. *Biology of exercise*, 14 (2), 1-13.
- Mero, A. (1985). Relationships between the muscle fiber characteristics, sprinting and jumping of sprinters. *Biology of sport*, 2 (3), 155-162.
- Taylor, M. J. D. (2012). Spring Mass Characteristics of the Fastest Men on Earth. *International journal of sports medicine*, 33 (8), 667-670.