

# Kinematische Analyse der Schwung-Zug-Technik mit Akzentuierung der Schwungbeinbewegung in verschiedenen Leistungsklassen und in Sprintserien bei LangsprinterInnen

(AZ 071602/19)

Klaus Mattes (Projektleitung), Martin Reischmann, Stefanie Wolff & Björn Losekamm  
Universität Hamburg, Arbeitsbereich Bewegungs- und Trainingswissenschaft

## 1 Problemstellung

Die maximale Sprintgeschwindigkeit und deren kinematische Schrittmerkmale wurden in den letzten Serviceprojekten (2016-2018) auf der Grundlage eines eigens entwickelten Modells der Schwung-Zug-Technik in verschiedenen Stichproben von weiblichen und männlichen Nachwuchs- und Topsprinterinnen und -sprintern untersucht (Mattes, Manzer & Buckwitz, 2018; Mattes & Manzer, 2017). Innerhalb der Gruppen der untersuchten Sprinterinnen und Sprinter konnten zwei Schwungvarianten identifiziert werden, die sich durch die Differenzierung des Knie- und Oberschenkelwinkels zur Waagerechten zu Beginn des Kniehubschwungs ergeben. Das hohe Anfersen (AF) erfolgt hinter dem Körper mit dem Schwungbeinfuß nahe am Gesäß. Das Unterfersen (UF) wird mit hän-

gendem Fuß bei geringerem Hüftwinkel mehr unter dem Körper ausgeführt (Abb. 1a). Die Varianten der Schwungbewegung treten jedoch auch in unterschiedlichen Kombinationen von An- und Unterfersen auf und lassen sich mit den bisherigen Ergebnisdaten (Hüft- und Kniewinkel sowie Hüftwinkelgeschwindigkeit) nicht eindeutig bewerten. Dieses Manko kann durch eine vertiefende Auswertung behoben werden, die die Drehbewegung der Teilkörpermasse des Schwungbeines in Bezug zur Hüfte bestimmt. Dabei berücksichtigt das Massenträgheitsmoment des Beines die jeweilige Position von Ober-, Unterschenkel und Fuß inklusive Spikes und charakterisiert den resultierenden „Drehwiderstand“. Die Gesamtwirkung der Schwungbewegung kann über die Winkelgeschwindigkeit des Beines umfassender bewertet werden.

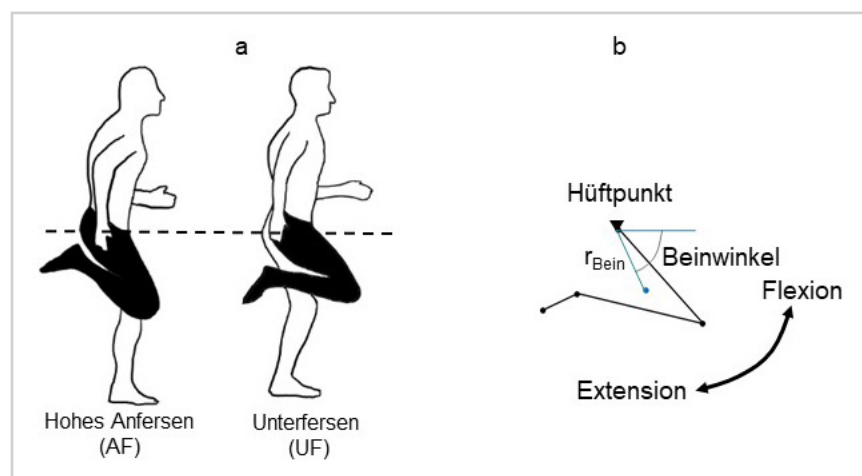


Abb. 1a: Zwei Varianten der Schwungbeinbewegung beim Sprinten. 1b. Markermodell zur Bestimmung von Winkel, Winkelgeschwindigkeit, Massenträgheitsmoment und Drehimpuls des Schwungbeines, der blaue Punkt markiert den Teilkörperschwerpunkt des Beines.

Die Schwungbeinbewegung gliedert sich in den Kniehubschwung und den Schwungzug. Der Kniehubschwung startet mit dem minimalen Kniewinkel während des Anfersens und endet bei maximalem Kniehub des Schwungbeines (Abb. 2). Der Kniehubschwung verläuft zeitgleich mit der Bodenkontaktphase des gegenseitigen Stützbeines und unterliegt somit einer zeitlichen Limitierung (kurze Bodenkontaktzeit des gegenseitigen Stützbeines). Zudem wirkt die Schwungbeschleunigung reaktiv auf das Stützbein, wobei zwischen Beschleunigung und Abbremsen des Schwungbeines zu Beginn und am Ende des Kniehubschwungs unterschieden werden muss. Die Schwungbeschleunigung erzeugt eine beugende Reaktivkraft im Stützbein, die durch die Kniestreckmuskulatur abgefangen werden muss, um die Knieflexion zu minimieren. Das Abbremsen des Schwungbeines am Ende des Kniehubschwungs verursacht eine entgegengesetzt gerichtete Wirkung, indem es das Stützbein von der darüber liegenden Körpermasse teilentlastet. Die reaktive Wirkung der Schwungbeinbewegung wird durch das Massenträgheitsmoment und die Winkelgeschwindigkeit des Teilssegmentes Bein und Spikes beeinflusst. Ein geringeres Massenträgheitsmoment verringert den Bewegungswiderstand für die Schwungbeschleunigung. Dagegen erleichtert ein großes Massenträgheitsmoment während der Schwungbeinverzögerung die Streckung des gegenseitigen Stützbeines.

Der Schwungzug startet mit dem maximalen Kniehub und endet mit dem Bodenkontakt des Schwungbeines (Abb. 2). Diese den Stützbein unmittelbar vorbereitende Phase wird durch eine schnelle Hüftextension charakterisiert und muss eine hohe Rückschwunggeschwindigkeit

des Fußes vor Bodenkontakt erzeugen. Das Massenträgheitsmoment des Beines beeinflusst diese Merkmale, da es den Drehwiderstand für die Hüftextension determiniert.

Es wurde erwartet, dass (1) Sprinterinnen und Sprinter, die Unterfersen während des Kniehubschwunges und des Schwungzuges ein geringeres Massenträgheitsmoment und eine höhere Winkelgeschwindigkeit des Schwungbeines realisieren, im Vergleich zu Sprinterinnen und Sprintern, die mit hohem Anfersen laufen sowie (2) dass die Sprintergruppen sich in der maximalen Sprintgeschwindigkeit und in der Bodenkontaktzeit unterscheiden.

## 2 Methoden

Für die Untersuchung zur Schwungbeinbewegung setzte sich die Stichprobe aus 30 Junioren-Bundeskaderathletinnen und -athleten ( $N = 30$ ) zusammen, deren Daten im Jahr 2018 und 2019 erhoben wurden. Zum Zeitpunkt der Messungen befanden sich die Athletinnen und Athleten in der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung auf die Hallensaison. Die Gesamtstichprobe wurde anhand des Beinwinkels zur Waagerechten des Schwungbeines zum Zeitpunkt des minimalen Kniewinkels während des Anfersens in zwei Gruppen von je 15 Athletinnen und Athleten unterteilt. Die Gruppe mit kleinem Beinwinkel zur Waagerechten ( $60$  bis  $74^\circ$ ) wird im Folgenden als „Unterfersen“ (UF) bezeichnet. Die Gruppe mit großem Beinwinkel zur Waagerechten realisierte einen Beinwinkel zwischen  $75$  und  $88^\circ$  und wird im Folgenden als „Anfersen“ (AF) bezeichnet. Tab. 1 zeigt die anthropometrischen Daten der Stichprobe.

Tab. 1: Stichprobe zur Untersuchung der Schwungbeinvarianten, Gruppeneinteilung nach dem Beinwinkel und anthropometrische Daten

Gruppe	Beinwinkel [°]	Anzahl	Alter [Jahre]	Körperhöhe [m]	Körpermasse [kg]	Beinlänge [cm]*
Unterfersen (N = 15)	69,0	15	17,8	1,85	72,2	95,3
Anfersen (N = 15)	80,	15	18,1	1,83	75,4	95,3

\* Abstand des Trochanter Majors zum Boden

Nach Erhebung der anthropometrischen Daten (Körperhöhe, Körpermasse und Beinlänge (von Trochanter Major bis Boden)) und einer allgemeinen Erwärmung wurden die Athletinnen und Athleten mit gut sichtbaren Markern beklebt (Abb. 1b). Danach erfolgte die spezifische Sprinterwärmung. Die Sprinttests wurden als fliegender Sprint über 30 m durchgeführt. Alle Sprints erfolgten auf Trainings- bzw. Wettkampfbahnen mit Tartanbelag. Jeweils ein Doppelschritt wurde aus sagittaler Position gefilmt. Die Videoaufnahmen der Sprinttechnik wurden mit einer Videokamera (Photonfocus AG, Schweiz) mit einer Bildauflösung von 1760x448 Pixel und 200 bzw. 250 Hz Bildwechselfrequenz angefertigt. Die mittlere Laufgeschwindigkeit wurde mit einer Dreifach-Lichtschanke (Wilhelm Köster, Ditzingen) gemessen. Die kinematische Auswertung (Punktverfolgung und Rohdatenerstellung) erfolgte mit Peak Motus 10.1 (Vicon). Die Rohdaten wurden mit einem Butterworth Filter (Cutoff Frequency 10 Hz) geglättet und die Winkel vor Eventdetektion auf 1° gerundet.

Die Bestimmung des Schwerpunktes des Schwungbeines erfolgte Mithilfe der von Hochmuth (1982) beschriebenen analytischen Schwerpunkt berechnung. Für die Teilsegmente wurden folgende relative Gewichtsanteile für das Gesamtgewicht eines Beines (1,0) festgelegt (Oberschenkel (0,66), Unterschenkel (0,25), Fuß

mit Spikes (0,09). Dabei wurde die Masse des Beines mit 19 % der Gesamtkörpermasse angenommen. Der Beinwinkel war als Winkel zwischen einer Waagerechten durch den Hüftpunkt und dem Schwerpunkt des Beines definiert (Abb. 1b). Anhand der Werte wurden das Massenträgheitsmoment, die Winkelgeschwindigkeit und der Drehimpuls des Schwungbeines berechnet. Die weitere Datenanalyse umfasste eine beschreibende Statistik der Stichprobendaten (arithmetischer Mittelwert und Standardabweichung). Für die Gruppenvergleiche wurden eine einfaktorische Varianzanalyse (Querschnittsvergleiche) herangezogen.

### 3 Ergebnisse

Zwischen den Zeitpunkten t2 und t5 konnten signifikante Unterschiede in der Stellung des Schwungbeines zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Das Bein der Gruppe UF pendelte beim Event t2 weniger hoch nach hinten aus. Das Knie war bei t3 bereits weiter unter dem Körper und bei t4 höher angehoben. Bei t5 war das Bein der Gruppe UF weniger gestreckt, als das der Gruppe AF. Die Beinwinkel waren bei Gruppe UF im Event t2, t3, t4 und t5 geringer. Zum Zeitpunkt t6 setzten beide Gruppen das Beine gleichermaßen gestreckt auf dem Boden auf. In diesem Event war keine Differenz mehr zu beobachten (Abb. 2).

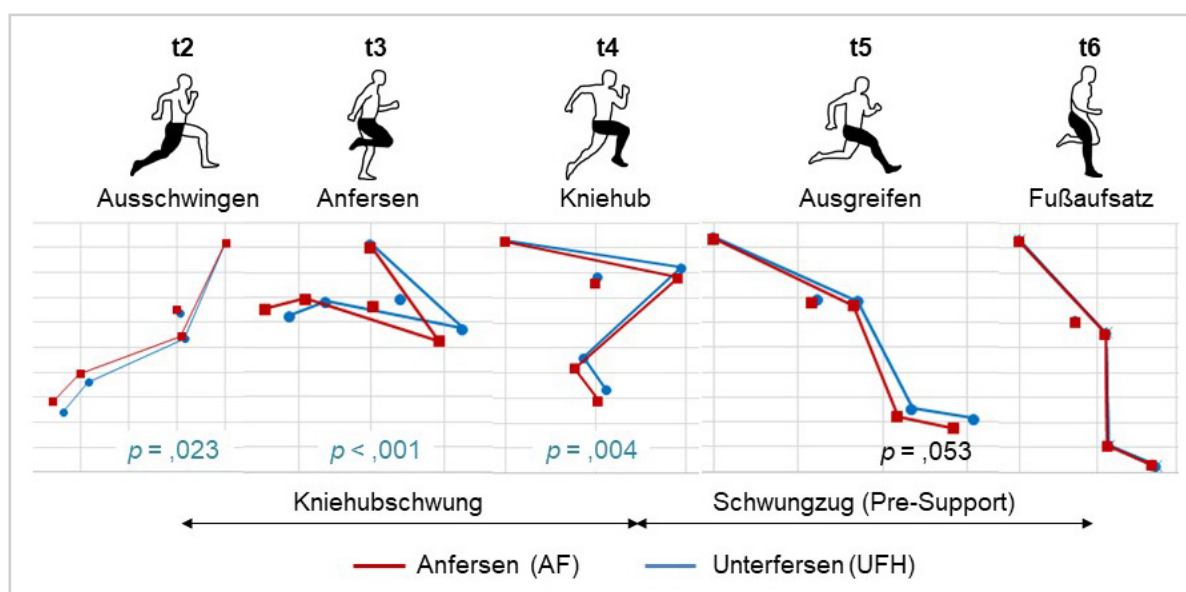


Abb. 2: Vergleich der Stellung des Schwungbeines und der Lage des Teilkörperschwerpunktes des Schwungbeines bezogen auf den Hüftpunkt in den Events t2 - t6. Die p-Werte zeigen Unterschiede im Beinwinkel.

Die mittlere Winkelgeschwindigkeit des Beines differierte in den verschiedenen Teilphasen der Schwungbeinbewegung beider Gruppen. Die Gruppe UF realisierte während des Anfersens und Pre-supports eine größere Winkelgeschwindigkeit, aber geringere Werte während des Kniehubs als die Gruppe AF (Tab. 2).

gen Kniewinkel in die Ausgangsposition vor dem Körper zurückzubringen (Strüder, Jonath & Scholz, 2017). Diese Anforderungen können widersprüchlich für die Schwungbeinbewegung gedeutet werden. Die Schwungbeinbewegung ist sowohl Teil der Back-side als auch der Front-side Mechanics und verbindet die beiden Pha-

Tab. 2: Vergleich der Winkelgeschwindigkeit des Schwungbeines beider Gruppen in den Phasen der Schwungbeinbewegung, negative Werte der Winkelgeschwindigkeit = Flexion, positive Werte der Winkelgeschwindigkeit = Extension.

Phase	Winkelgeschwindigkeit des Schwungbeines [°/s]		p-Wert	Cohens d
	Unterfersen (N = 15)	Anfersen (N = 15)		
Anfersen (t2 - t3)	-463 ± 42	-430 ± 37	,032	-0,770
Kniehub (t3 - t4)	-432 ± 36	-464 ± 39	,030	0,780
Pre-Support (t4 - t6)	264 ± 32	241 ± 24	,039	0,750

Für das Massenträgheitsmoment sowie den Drehimpuls wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Schwungbeinvarianten gefunden.

Im Vergleich der Sprintgeschwindigkeit unterschieden sich beide Gruppen knapp nicht signifikant ( $p = 0,051$ ), wobei die Gruppe AF höhere Werte ( $10,23 \pm 0,24$  vs.  $10,03 \pm 0,3$  m/s) erreichte. Weder bei der Schrittlänge und Schrittfrequenz, noch bei der Bodenkontakt- und Flugzeit bestanden Gruppenunterschiede.

Die im Durchschnitt geringere Sprintgeschwindigkeit der Gruppe UF musste insofern relativiert werden, weil die sechs schnellsten Athletinnen und Athleten sich auf beide Gruppen (UF und AF) mit je drei Personen gleichermaßen verteilten. In der Gruppe UF waren jedoch mehr Athletinnen und Athleten mit „geringer“ Sprintgeschwindigkeit enthalten, sodass die mittlere Geschwindigkeit insgesamt geringer war.

## 4 Diskussion

In der Literatur wird mehrfach die Leistungswirksamkeit der Maximierung der Front-side Mechanics und der Minimierung der Back-side Mechanics betont (Mann & Murphy, 2018). Der Schwungbeinbewegung wird ebenfalls ein hohes Maß an Bedeutung zugewiesen, da es vorteilhaft ist, das Bein möglichst schnell mit einem gerin-

gen Kniewinkel in die Ausgangsposition vor dem Körper zurückzubringen (Strüder, Jonath & Scholz, 2017). Diese Anforderungen können widersprüchlich für die Schwungbeinbewegung gedeutet werden. Die Schwungbeinbewegung ist sowohl Teil der Back-side als auch der Front-side Mechanics und verbindet die beiden Pha-

sen miteinander. Dabei stellt sich die Frage nach dem Zusammenhang zwischen einer Minimierung der Back-side Mechanics und Optimierung der Front-side Mechanics. Die Hypothese 1 zu den Varianten der Schwungbeinbewegung konnte nur zum Teil verifiziert werden. Wie erwartet, führte das Unterfersen zu einem geringeren Beinwinkel während der Schwungbeinbewegung und war mit einer höheren Flexionsgeschwindigkeit während des Anfersens assoziiert. Jedoch realisierte die Gruppe AF trotz größerem Beinwinkel eine höhere Flexionsgeschwindigkeit des Beines während des Kniehubschwunges. Diese höhere Flexionsgeschwindigkeit wurde so nicht erwartet. Die Gruppe AF kompensierte den größeren Drehwiderstand, indem sie die Amplitude der Beinbewegung verringerte und einen tendenziell größeren Drehimpuls erzeugte. Dabei wurde der Oberschenkel am Ende des Kniehubschwunges nicht soweit noch oben geführt wie bei der Gruppe UF.

Im Pre-Support erreichte, wie hypothetisch angenommen, die Gruppe UF die höhere Beinextensionsgeschwindigkeit mit tendenziell höherem Drehimpuls und damit günstigere Bedingungen für die Erzeugung einer hohen Rückschwunggeschwindigkeit des Fußes vor dem Bodenkontakt. Hier wirkte sich die größere

Bewegungsamplitude des Schwungbeines auf die Beinextension aus, sodass über den längeren Winkelweg höhere Winkelgeschwindigkeiten realisiert werden, ohne die Zeitdauer für den Pre-Support zu verlängern.

Die Hypothese 2 wurde nicht bestätigt, denn es bestanden keine signifikanten Unterschiede in der Sprintgeschwindigkeit und der Bodenkontaktzeit zwischen den beiden Gruppen. Die sechs schnellsten Sprinterinnen und Sprinter teilten sich gleichermaßen auf die beiden Gruppen (jeweils drei Athletinnen und Athleten) auf. Die tendenziell geringere mittlere Sprintgeschwindigkeit der Gruppe UF erklärte sich aus der höheren Anzahl an Sprinterinnen und Sprintern mit einer „geringen“ Geschwindigkeit. Für die „Spitzengeschwindigkeit“ der Juniorensprinterinnen und -sprinter konnte somit kein klarer Vorteil einer Schwungbeinvariante gezeigt werden.

Mit dem Betreuungsprojekt 2018/19 wurde das Modell der Schwung-Zug-Technik mit der Analyse des Schwungbeines erweitert. Obwohl das Unterfernen aus biomechanischer Sicht Vorteile gegenüber dem Anfernen zeigt, treten beide Varianten bei den schnellsten Nachwuchssprinterinnen und -sprintern auf. Ein wesentlicher Ansatz zur Veränderung der Schwungbeinbewegung liegt in der Minimierung des Ausschwings des Schwungbeines hinter dem Körper (Back side) zugunsten der Schwungbeinbewegung vor dem Körper (Front side) mit einem schnellen Vorhoch-Schwingen des Schwungbeines.

Handlungsbedarf zur Veränderung der Schwungbeinbewegung besteht bei Vorliegen einer Kombination von hohem Anfernen mit großem Massenträgheitsmoment, geringer Winkelgeschwindigkeit (Flexion und Extension) des Schwungbeines und geringer Fußaufsatzgeschwindigkeit im Schwungzug.

Bei Ausführen des Unterfersens ist darauf zu achten, dass die Bewegungsumkehr vom Kniehub in den Schwungzug ohne Pause erfolgt. Das Schwungbeinknie darf nicht am Ende des Kniehubs verharren. Die Unterschiede zwischen beiden Schwungbeinvarianten lassen sich im Video gut beobachten und dadurch eine Zuordnung der einzelnen Athletinnen und Athleten zur jeweiligen Gruppe hohes Anfernen oder Unterfernen vornehmen.

## 5 Literatur

- Hochmuth, G. (1982). *Biomechanik sportlicher Bewegungen*. (5. Aufl.). Sportverlag.
- Mann, R., & Murphy, A. (2018). *The mechanics of sprinting and hurdling*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Mattes, K., Winnicker, C., & Wolff, S. (2019). Hohes An- oder Unterfernen? Vergleich der Schwungbeinbewegung bei Nachwuchssprintern. *Leichtathletiktraining*, 1(19).
- 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. (2017). Was zeichnet schnelle Sprinter aus? *Leichtathletiktraining*, 12(18).
- Strüder, H. K., Jonath, U., & Scholz, K. (2017). *Leichtathletik: Trainings- und Bewegungswissenschaft – Theorie und Praxis aller Disziplinen*. Sportverlag Strauß.