

Der Sprint : eine Zusammenfassung der wichtigsten Untersuchungen am Labor für Biomechanik der ETH Zürich

Autor(en): **Kunz, Hansruedi**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Maggingen : Monatszeitschrift der Eidgenössischen Sportschule Maggingen mit Jugend + Sport**

Band (Jahr): **41 (1984)**

Heft 10

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-993668>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



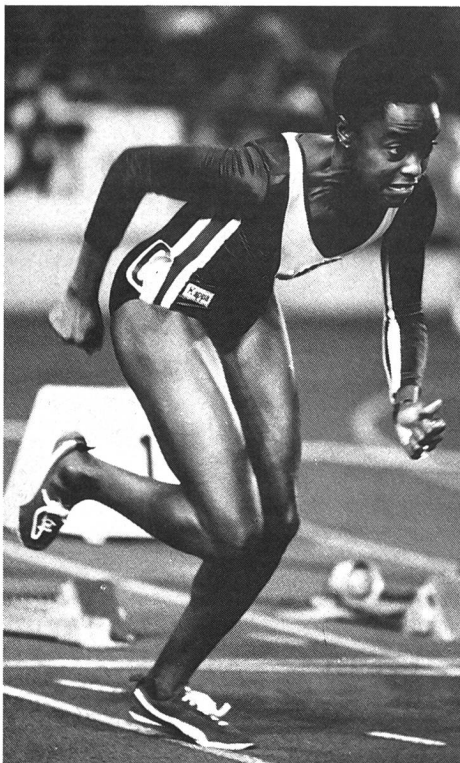
Der Sprint

Eine Zusammenfassung der wichtigsten Untersuchungen am Labor für Biomechanik der ETH Zürich

Hansruedi Kunz

Seit 1975 wurden am Labor für Biomechanik der ETH Zürich diverse Sprintuntersuchungen durchgeführt. Dabei wurden mit Hilfe von Filmanalysen immer wieder neue Aspekte des Bewegungsablaufes untersucht. Die grosse Zahl von Versuchspersonen und die in bezug auf die Leistung breite Streuung der analysierten Bewegungsabläufe ermöglichten es, für die Trainingspraxis allgemeingültige Schlüsse zu ziehen.

Die Fähigkeit schnell laufen zu können, ist einerseits abhängig von der Lauftechnik und andererseits von den konditionellen Voraussetzungen der Athleten. Bei den diversen Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass der schnelle Vortrieb weniger durch die Beinstreckung, sondern vielmehr durch die Hüftstreckung und -beugung geleistet wird. Diese teilweise neue Erkenntnis hat insofern gewisse Auswirkungen auf die Trainingspraxis, als neue Trainingsübungen ins Programm aufgenommen werden und bestehende Trainingsmassnahmen überdacht werden müssen.



Evelyn Ashford (USA), schnellste Frau der Welt.
(Bild + News)

Einleitung

Seit 1975 wurden am Labor für Biomechanik der ETH Zürich Untersuchungen über den 100-m-Lauf durchgeführt. Da es sich bei einigen dieser Untersuchungen um Di-

plomarbeiten von Turnlehrerstudenten handelte, blieben die Ergebnisse nur wenigen Insidern vorbehalten. Es ist deshalb angebracht, die an der Leichtathletik interessierten Trainer, Athleten und auch Wissenschaftler darüber zu informieren.

Die Frage, wie man am schnellsten laufen kann, hat die Fachleute schon immer interessiert. In der folgenden Arbeit wird versucht, diese Frage zu beantworten, indem die wichtigsten Ergebnisse verschiedener biomechanischer Untersuchungen in die Beschreibung der idealen Sprintbewegung miteinbezogen werden. Darüber hinaus sollen diese objektiven Informationen Anhaltspunkte für die Gestaltung des Trainings im technischen und konditionellen Bereich geben.

Methode

Weil die Filmanalyse die einfachste biomechanische Messmethode ist, um Bewegungsabläufe im Wettkampf zu analysieren, wurden alle Ergebnisse mit Hilfe von Filmaufnahmen gewonnen. Die Filmaufnahmen wurden bei verschiedensten Wettkämpfen gemacht, unter anderem bei verschiedenen Zehnkampfmeisterschaften und beim internationalen Meeting in Zürich. Der Kamerastandort war immer senk-

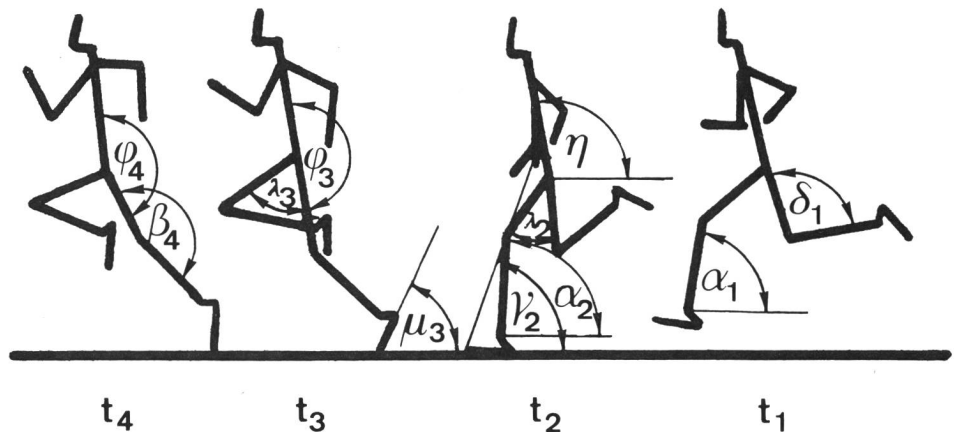


Abb. 1: Kinegramm des 100-m-Laufes zur Erläuterung der Symbole und Begriffe.

- t₁: 1/100 Sek. vor dem ersten Bodenkontakt
- t₂: Moment des ersten Bodenkontaktes des Standbeines
- t₃: 1/100 Sek. nach dem ersten Bodenkontakt
- t₄: letzter Bodenkontakt des Standbeines

recht zur Bewegungsebene bei einer Laufdistanz von 70 m. Dieser Standort bot einigermassen Gewähr dafür, dass sich die Läufer nicht gegenseitig verdeckten. Die Filmfrequenz lag bei den gefilmten Wettkämpfen zwischen 100 und 150 Bildern pro Sekunde.

Die untersuchten Athleten waren Weltklasesprinter und Mitglieder der Schweizer Sprint- und Zehnkampfkader. Die bei den Untersuchungen gelaufenen 100-m-Zeiten lagen zwischen 10,20 und 12,01 Sekunden.

Die Filmaufnahmen wurden mit Hilfe eines Filmanalyser-Computer-Systems ausgewertet. Die daraus gewonnenen Messwerte wurden mit verschiedenen statistischen Verfahren weiterverarbeitet.

In der Abbildung 1 sind die in dieser Arbeit verwendeten Messgrössen des 100-m-Laufes eingezeichnet und in der Tabelle 1 kommentiert.

Der Bewegungsablauf beim Sprint

Da bei den erfolgten Filmanalysen der Bewegungsablauf bei 70 m Laufdistanz gefilmt wurde, können in dieser Arbeit auch nur über diesen Laufabschnitt objektive Aussagen gemacht werden. Wie die Abbildung 2 zeigt, hat die Laufgeschwindigkeit bei 70 m Laufdistanz zur Endzeit über 100 m aber einen so deutlichen Zusammenhang, dass sie als für den 100-m-Lauf entscheidende Messgrösse betrachtet werden kann. Wer bei 70 m eine hohe Laufgeschwindigkeit erreicht, wird mit grosser Wahrscheinlichkeit eine gute 100-m-Zeit erzielen.

Auf die Beschreibung der Start- und Beschleunigungsphase wird deshalb verzichtet, zumal diese beiden Phasen auf ähnlichen Bewegungsmerkmalen basieren.

Symbol	Begriff	Zeitpunkt t	Einheit	Definition
T ₁₀₀	Laufzeit	-	Sek.	im Wettkampf gemessene Zeit
T _K	Kontaktzeit	2-4	Sek.	Zeit, während der das Standbein den Boden berührt
S	Schrittlänge	-	cm	Strecke zwischen den Fussspitzen der Standbeine
F	Schrittfrequenz	-	Schr./Sek.	Anzahl Schritte pro Sekunde
V ₇₀	Geschwindigkeit bei 70 m	-	m/Sek.	Durchschnittliche horizontale Geschwindigkeit des KSP während zwei Schritten
α ₁	Unterschenkelwinkel	1	Grad	Winkel zwischen dem Unterschenkel des Standbeines und der Horizontalen
α ₂	Unterschenkelwinkel	2	Grad	Winkel zwischen dem Unterschenkel des Standbeines und der Horizontalen
λ ₂	Beinöffnungswinkel	2	Grad	Winkel zwischen den Oberschenkeln
λ ₃	Beinöffnungswinkel	3	Grad	Winkel zwischen den Oberschenkeln
β _{min}	Kniewinkel Standbein	2-3	Grad	Kleinster Winkel zwischen Ober- und Unterschenkel des Standbeines
β ₄	Kniewinkel Standbein	4	Grad	Winkel zwischen Ober- und Unterschenkel des Standbeines
∅ ₃	Hüftwinkel Standbein	3	Grad	Winkel zwischen der Geraden Hüftgelenk-Halsmitte und der Geraden Hüftgelenk-Kniegelenk des Standbeines
∅ ₄	Hüftwinkel Standbein	4	Grad	Winkel zwischen der Geraden Hüftgelenk-Halsmitte und der Geraden Hüftgelenk-Kniegelenk des Standbeines
η	Oberkörperwinkel	∅ 1-4	Grad	Winkel zwischen der Geraden Hüftgelenk-Halsmitte und der Horizontalen
μ ₃	Fusswinkel Standbein	3	Grad	Winkel zwischen der Geraden Fussspitze-Ferse und der Horizontalen
δ ₁	Kniewinkel Schwungbein	1	Grad	Winkel zwischen Ober- und Unterschenkel des Schwungbeines
γ ₂	Auftreffwinkel	2	Grad	Winkel zwischen KSP-Fussspitze und der Horizontalen

Tab. 1: Symbole, Begriffe und Erläuterungen für den Bewegungsablauf beim Sprint.

Die Laufgeschwindigkeit wird bestimmt durch die beiden Komponenten: Schrittlänge und Schrittfrequenz. Weltklasesprinter laufen sowohl mit langen Schritten als auch mit einer hohen Schrittfre-

quenz. Um individuell bestmögliche Geschwindigkeitswerte zu erreichen, müssen Schrittlänge und Schrittfrequenz in einem optimalen Verhältnis zueinander stehen. Optimal deshalb, weil sich die beiden Faktoren gegenseitig negativ beeinflussen. Versucht man beispielsweise im Training mit längeren Schritten zu laufen, so wird man feststellen können, dass die Schrittfrequenz darunter leidet und dass möglicherweise auch die Laufgeschwindigkeit geringer wird, weil das Verhältnis der beiden Messgrössen nicht mehr optimal ist. Aus den bisherigen Untersuchungen kann keine allgemeine Dominanz der einen Messgrösse über die andere abgeleitet werden. Vielmehr ist es so, dass aufgrund unterschiedlicher Voraussetzungen (Kraft, Hebelverhältnisse, Bewegungsschnelligkeit, Veranlagung usw.) der Einfluss von Schrittlänge und Schrittfrequenz auf die Laufgeschwindigkeit individuell ganz unterschiedlich sein kann.

Schrittfrequenz und Schrittlänge bestimmen die Laufgeschwindigkeit zu 100 Prozent. Alle übrigen Technikmerkmale wirken sich über diese 2 Hauptkomponenten auf die Laufgeschwindigkeit aus. Wie muss demnach der ideale Bewegungsablauf beim Sprint aussehen?

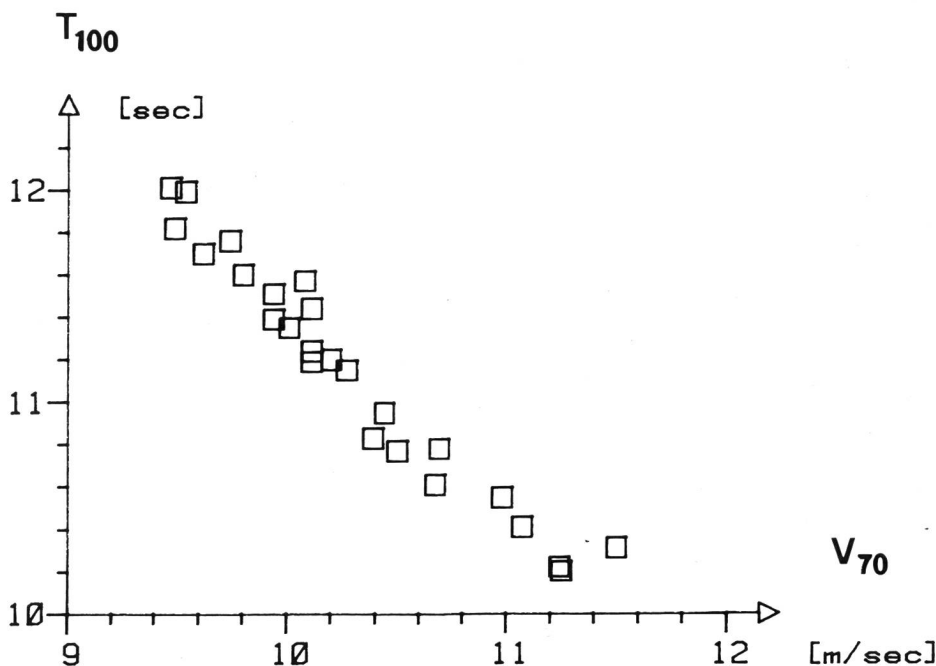


Abb. 2: Der Zusammenhang zwischen der Laufgeschwindigkeit bei 70 m und der 100-m-Zeit.

Im folgenden wird versucht, die wichtigsten Komponenten der Technik anhand des zeitlichen Ablaufes eines Schrittes darzustellen.

Beim Auftreffen des Standbeines auf dem Boden (Schwungbein wird zum Standbein) muss die horizontale Bremskraft möglichst klein gehalten werden. Dies ist möglich, indem das Bein «aktiv» und fast gestreckt aufgesetzt wird. «Aktiv aufsetzen» heisst, das Standbein, vom Athleten aus gesehen, vor dem Aufsetzen aktiv zurückziehen. Diese Bewegung äussert sich in einer grossen Winkeldifferenz des Unterschenkels ($\alpha_2 - \alpha_1$) und einem steileren Auftreffen des Standbeinfusses (Abbildungen 3 und 4).

Durch das «aktive Aufsetzen» wird das Standbein unter den Körper zurückgezogen (grosser Auftreffwinkel γ_2) und die beim Auftreffen resultierende Reaktionskraft F ist weniger rückwärts gerichtet (weniger Bremswirkung). Der durch das Auftreffen bedingte horizontale Tempoverlust ist gering. Ein ideales Aufsetzen des Standbeines hat aber auch zur Folge, dass die für die Vorwärtsbewegung massgebende Muskulatur beim Auftreffen vorgespannt ist und schneller reagieren kann. Als Folge davon bleibt das Standbein während dem Bodenkontakt gestreckter (hohes Laufen = grosser minimaler Kniewinkel β_{min} , Abbildung 4), was die Voraussetzung ist, dass die Fussstreckung schnell eingeleitet werden kann. Ein intensives Strecken des Fusses ist nämlich aufgrund der Zweigelenkigkeit des schnellkräftigen Wadenmuskels nur bei eher gestrecktem Kniewinkel möglich. So ist der Fusswinkel des Standbeines μ_3 bei schnellen Läufern fast doppelt so gross wie bei schlechten Sprintern ($\approx 30^\circ$ gegenüber $\approx 18^\circ$).

Der Vortrieb des Körpers ist nur während der Kontaktphase des Standbeines mit dem Boden möglich. Bei jedem Bodenkontakt treten Brems- und Beschleunigungskräfte auf. Die Bremskraft kann durch das «aktive Aufsetzen» gering gehalten werden. Die Beschleunigungskraft muss durch den Einsatz des Stand- aber auch des Schwungbeines geleistet werden. Wie aus Abbildung 4 ersichtlich ist, erfolgt die Arbeit des Standbeines nicht durch eine intensive Kniestreckung (Kniewinkel β).

Gute Athleten demonstrieren nämlich, dass das Standbein während der Bodenkontaktphase weniger einknickt und anschliessend auch weniger schnell und extrem gestreckt wird. Die langsamere Kniestreckung des guten gegenüber jener des schlechten Sprinters kann an der flacheren Tangente T beim Kniewinkelverlauf abgeleitet werden. Daraus kann gefolgert werden, dass die Vortriebskraft nicht primär durch die Kniestreckmuskulatur geleistet wird (vierköpfiger Oberschenkelmuskel). Vielmehr sind es die Hüftstreckermuskeln, die den Körper nach vorne beschleunigen (Gesässmuskulatur). Gute Sprinter unterscheiden sich denn auch von schlechten Läufern durch einen kleineren Hüftwinkel

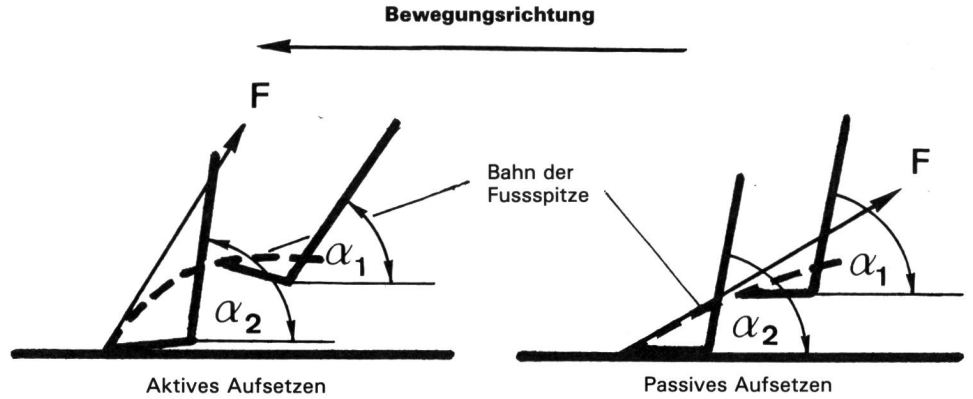


Abb. 3: Aktives und passives Aufsetzen des Standbeines.

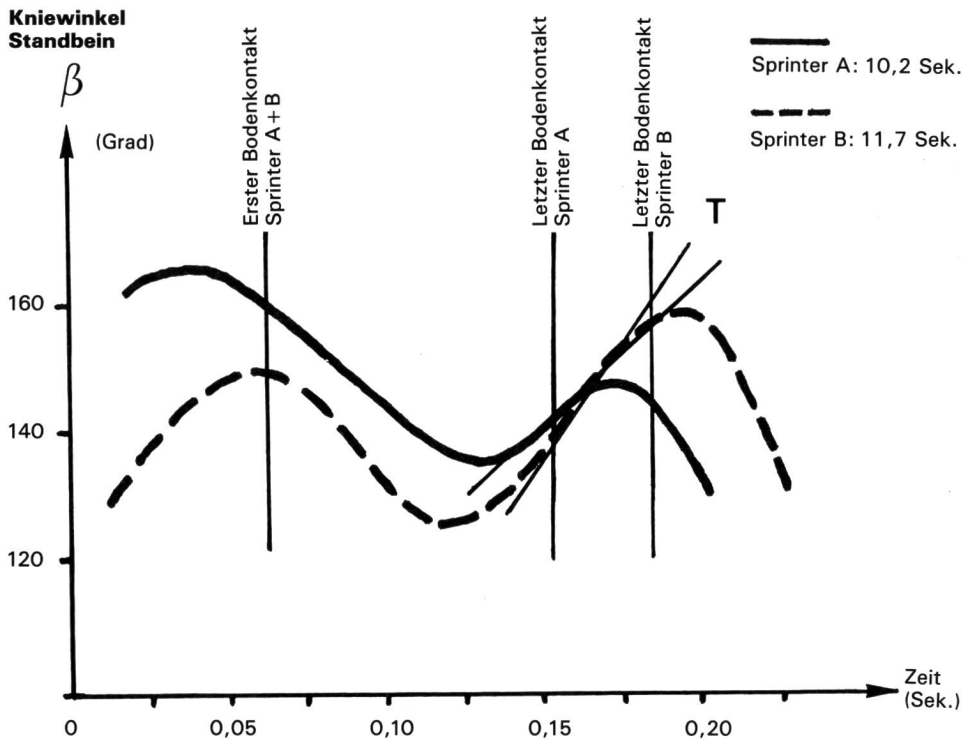


Abb. 4: Der Kniewinkelverlauf des Standbeines (β)

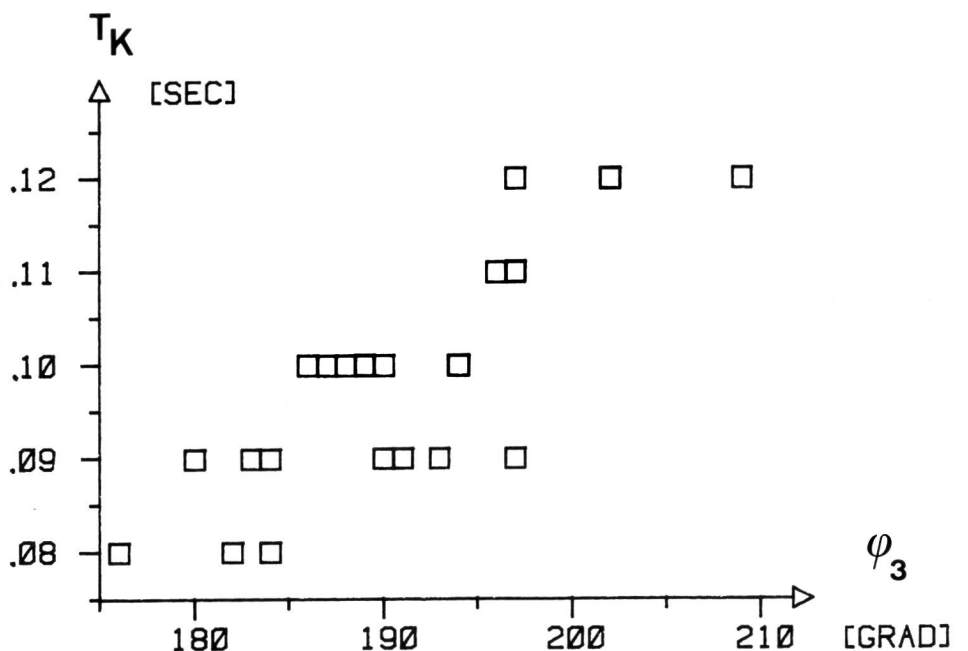


Abb. 5: Der Zusammenhang zwischen der Hüftstreckung (ϕ_3) und der Kontaktzeit T_K .

ϕ_3 zum Zeitpunkt t_3 (ϕ 186° gegenüber ϕ 194°). Als Folge der schnellen Hüftstreckung wird bei den schnellen Sprintern auch die Kontaktzeit deutlich kürzer (Abbildung 5).

Die bereits beim «aktiven Aufsetzen» eingeleitete rückwärtsgerichtete Bewegung des Standbeines wird somit auch während der Standphase weitergeführt. Man kann somit die Vortriebsbewegung eher als Zugbewegung (Hüftstreckung) und weniger als Stossbewegung (Kniestreckung) bezeichnen.

Die sogenannte Zugbewegung mit dem Drehpunkt im Hüftgelenk bedeutet auch, dass die Antriebskraft mehr oder weniger horizontal gerichtet ist. Da die schnellen Sprinter das Standbein beim letzten Bodenkontakt auch weniger durchstrecken (Abbildung 4), heisst dies, dass sich der Körperschwerpunkt während der Laufbewegung nur wenig auf- und abwärts bewegt. Die für den Vortrieb unwirksamen Vertikalkräfte können auf diese Art klein gehalten werden. Damit die Zugbewegung wirksam sein kann, muss der Oberkörper während der Standphase in deutlicher Vorlage gehalten werden. Eine zu aufrechte Oberkörperhaltung würde die Arbeit der Hüftmuskulatur blockieren (Stoss- anstatt Zugbewegung). Eine deutliche Überstreckung der Hüfte bringt nur noch wenig Vortrieb, weil die Gesässmuskulatur dabei bei ungünstiger Muskellänge arbeiten muss und weil der Bewegungsumfang durch die Hüftbeugermuskeln eingeschränkt ist. Auch aus diesem Grund wird verständlich, dass es nicht sinnvoll ist, das Standbein extrem durchzustrecken und dadurch eine Überstreckung der Hüfte zu verursachen (Abbildungen 4 und 6).

Spitzensprinter mit hohen Laufgeschwindigkeiten zeigen deutlich, dass ein Überstrecken der Hüfte durch intensives und extremes Durchstrecken des Standbeines nicht sinnvoll ist.

Ein frühes Abbrechen der Streckbewegung des Standbeines (kleiner Winkel β_4) ist auch eine Voraussetzung dafür, dass das Bein rechtzeitig zum nächsten Schritt vor den Körper gebracht werden kann. Ein kleiner Kniewinkel β_4 ermöglicht ein schnelleres Anfersen (kleiner Winkel δ_1) und hat zur Folge, dass der Beinöffnungswinkel λ_2 beim ersten Bodenkontakt des Standbeines klein wird (Abbildung 7).

Ein schnelles und hohes Anfersen (kleiner Kniewinkel δ_1) bewirkt ein kleineres Trägheitsmoment des Schwungbeines und ermöglicht dadurch ein schnelleres Vorschwingen des Schwungbeines. Gute Sprinter haben denn auch zum Zeitpunkt t_3 einen viel grösseren Beinöffnungswinkel λ_3 als langsame Läufer (ϕ 61° gegenüber ϕ 48°). Die schnelle Schwungbeinbewegung vorwärts bewirkt über das Standbein eine Reaktionskraft rückwärts und stellt dadurch eine zusätzliche Antriebskraft dar. Diese explosive Bewegung ist auch eine Voraussetzung für die Erhal-

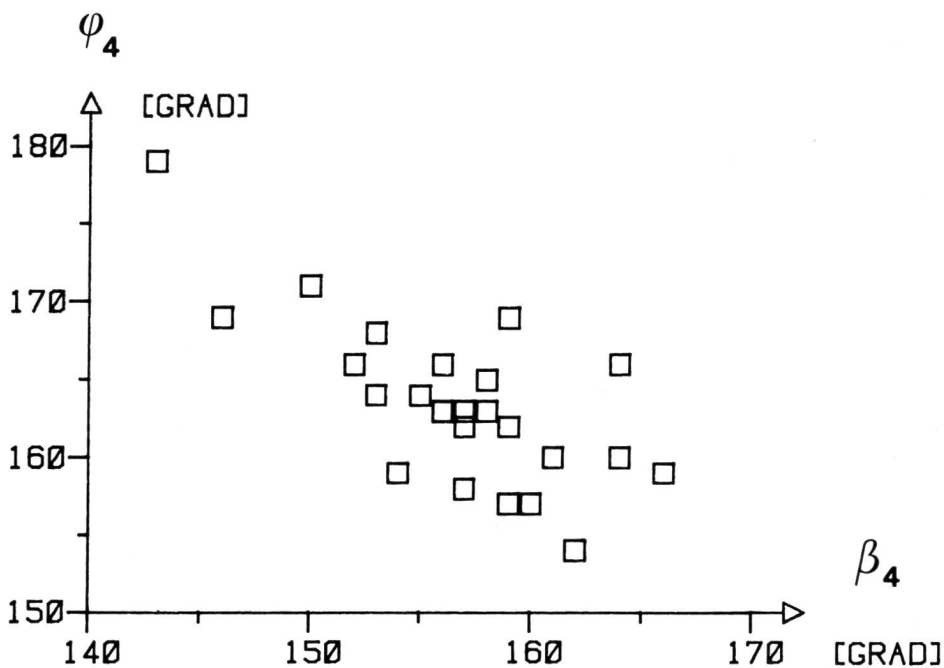


Abb. 6: Der Zusammenhang zwischen dem Kniewinkel β_4 und dem Hüftwinkel ϕ_4 .

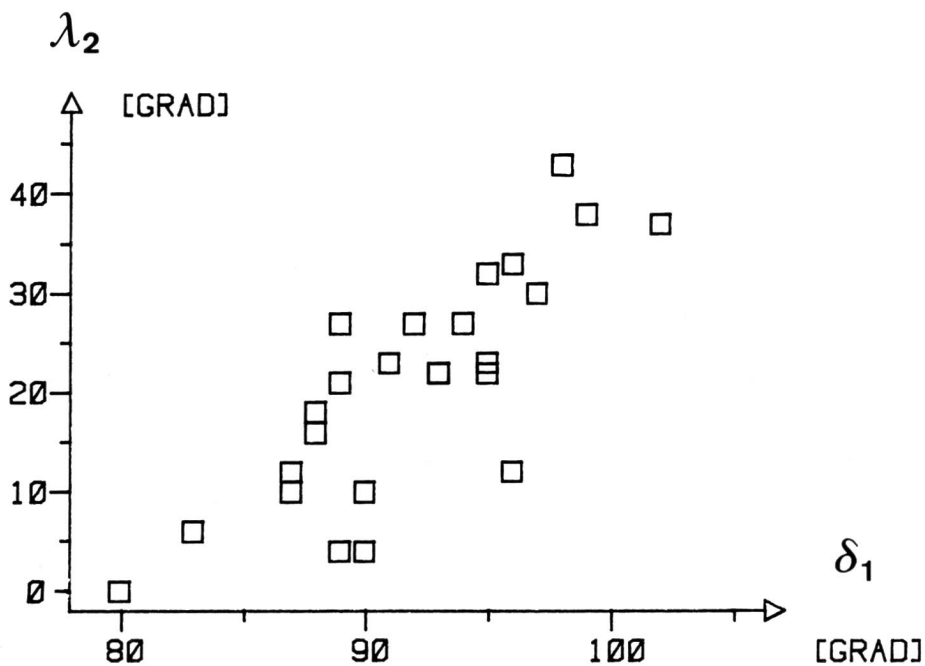


Abb. 7: Der Zusammenhang zwischen dem Kniewinkel des Schwungbeines δ_1 und dem Beinöffnungswinkel λ_2 .

tung der Oberkörpervorlage. Langsame Sprinter müssen sich stärker aufrichten, weil sie sonst wegen der zu spät und zu langsam erfolgenden Schwungbeinbewegung vornüber fallen würden.

Die schnelle Bewegung des Schwungbeines ist auch eine Voraussetzung dafür, dass beim nächsten Schritt wieder «aktiv» aufgesetzt werden kann. Es ist nicht entscheidend, wie hoch das Schwungbeinknie gehoben wird (t_4), weil die Betonung jeder Vertikalkomponente für den Vortrieb nichts bringt. Wichtig ist nur, dass der Unterschenkel des Schwungbeines nach dem schnellen Kniehub nach vorne geführt wird, so dass anschliessend mit fast gestrecktem Bein zum nächsten Schritt auf-

gesetzt werden kann. Abbildung 8 zeigt, dass ein aktives Aufsetzen eher möglich ist, wenn das Schwungbein schnell nach vorne gebracht wird (λ_3).

Zusammenfassend sollen anhand einer Gegenüberstellung eines Kinogramms eines schnellen und eines langsamen Läufers nochmals die wichtigsten Kriterien der Sprintbewegung veranschaulicht werden (Abbildung 9).

Wissenschaften entfernen sich im Ganzen immer vom Leben und kehren nur durch einen Umweg wieder dahin zurück.
Goethe

Folgerungen für das Training

Beim Training zur Verbesserung der Sprintleistung muss unterschieden werden in: Training der Technik und Training der konditionellen Voraussetzungen. Diese beiden Trainingsarten müssen sich ergänzen und dürfen nicht isoliert voneinander durchgeführt werden, weil eine Änderung der Technik meistens auch eine Veränderung der «speziellen Kondition» voraussetzt. Damit das Training individuell ideal gestaltet werden kann, müssen Bewegungsanalysen und sinnvolle Konditionstests durchgeführt werden. Sinnvolle Konditionstests sind solche, die ähnliche Bewegungsmerkmale aufweisen wie die Sprintbewegung und die deshalb auch einen hohen Zusammenhang zur Sprintleistung haben. Aufgrund solcher Bewegungsanalysen und Konditionstests können Stärken und Schwächen jedes Athleten bestimmt und daraus die entsprechenden Trainingsmassnahmen abgeleitet werden. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass vor allem an den Schwachstellen gearbeitet werden muss. Im Kapitel 3 wurde erwähnt, dass die Schrittlänge und die Schrittfrequenz die Hauptkomponenten des 100-m-Laufes sind. Aus dieser Arbeit geht unter anderem hervor, wie diese beiden Faktoren verbessert werden können.

Schrittlänge:

Beim Techniktraining zur Steigerung der Schrittlänge muss vor allem auf das hohe Knieheben mit gleichzeitiger Oberkörpervorlage und auf das aktive Aufsetzen geachtet werden. Im konditionellen Bereich kann die Schrittlänge durch Kraft- und spezielle Sprungkraftübungen verbessert werden. Beim Krafttraining sind insbesondere Übungen zur Kräftigung der Hüftbeuger- und Hüftstreckermuskeln ins Trainingsprogramm aufzunehmen. Als spezielles Sprungkrafttraining eignet sich zum Beispiel «Froschhüpfen auf Zeit» (20 m Froschhüpfen mit Zeitmessung).

Schrittfrequenz:

Bei den Trainingsübungen (Technik) zur Verbesserung der Schrittfrequenz ist das Hauptaugenmerk auf das rechtzeitige Abbrechen der Beinstreckbewegung und besonders auf das schnelle Nachziehen des Schwungbeines zu richten. Ein entscheidender Punkt ist somit die richtige Koordination. Im Bereich Kondition muss vor allem die Schnellkraft der Wadenmuskulatur gesteigert werden (kurze Kontaktzeit). Als Trainingsformen sind verschiedene Sprungkraft-Trainingsübungen geeignet (zum Beispiel 30 m Einbeinsprünge auf den Fussballen mit Zeitmessung).

Genaue Informationen zum Thema Sprinttraining können dem Trainerbulletin Nr. 1 des SLV (siehe Literatur) entnommen werden. ■

α_{2-1}

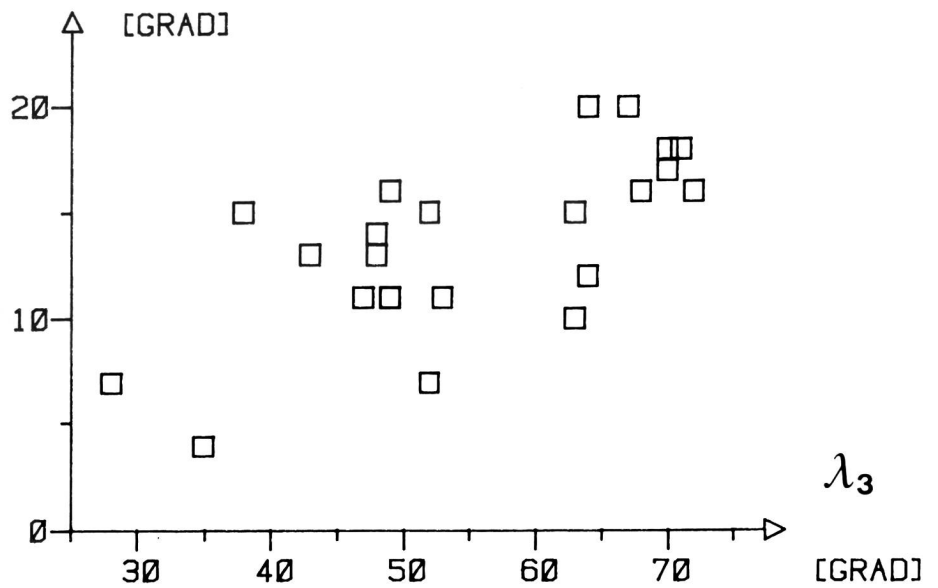


Abb. 8: Der Zusammenhang zwischen dem Beinöffnungswinkel λ_3 und der Aufsetzbewegung des Schwungbeines (α_{2-1}).

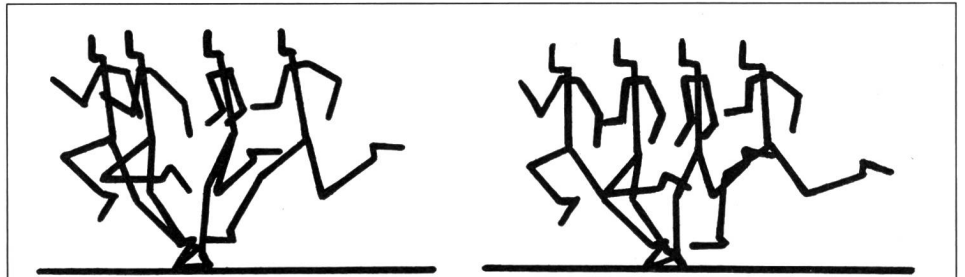


Abb. 9: Gegenüberstellung eines idealen und eines schlechten Bewegungsablaufes beim Sprint.

Schneller Sprinter	Bewegungskriterium	Langsamer Sprinter
gross	Schrittlänge S	klein
gross	Schrittfrequenz F	klein
gross	Geschwindigkeit bei 70 m V_{70}	klein
klein	Kontaktzeit T_K	gross
gross	Differenz des Unterschenkelwinkels (α_{2-1}) (aktives Aufsetzen)	klein
gross	Auftreffwinkel γ_2	klein
gross	Fusswinkel μ_3	klein
gross	minimaler Kniewinkel des Standbeines β	klein
klein	Kniewinkel des Standbeines beim letzten Bodenkontakt β_4	gross
klein	Hüftwinkel ϕ_3	gross
gross	Hüftwinkel ϕ_4	klein
gross	Oberkörperwinkel η	klein
klein	Kniewinkel des Schwungbeines δ_1	gross
klein	Beinöffnungswinkel λ_2	gross
gross	Beinöffnungswinkel λ_3	klein

Literatur

Kurath J.: Sprint, Diplomarbeit Turnen + Sport ETH Zürich, 1977
 Huber B.: Sprint, Diplomarbeit Turnen + Sport ETH Zürich, 1981
 Diverse Autoren: Zehnkampf I-X, Diplomarbeiten Turnen + Sport ETH Zürich, 1975-1981
 Kunz HR., Kaufmann D.: Biomechanical Analy-

sis of Sprinting: Decathletes versus champions. Brit. J. of Sports Med. 3/1981
 Kunz HR.: Biomechanische Analysen als Mittel der Trainingsplanung, Limpert Verlag Bad Homburg, 1983
 Kunz HR.: Überlegungen zum Zusammenspiel zwischen Technik- und Konditionstraining, Trainerbulletin SLV Nr. 1, 1983