

---

## **Trainingsbegleitende Analyse und Steuerung von Schrittmerkmalen bei Sprints und Sprungläufen im Nachwuchstraining**

Klaus Mattes, Nele Habermann, Matthias Korn<sup>1</sup> & Thomas Mühlbach<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universität Hamburg, Fachbereich Bewegungswissenschaft,

<sup>2</sup>Berliner Leichtathletikverband

### **Einleitung und Problemstellung**

Im Projekt wurden kinematische Merkmale von Sprints und Sprungläufen in verschiedenen Trainingsperioden (TP) einer Doppelperiodisierung (DP), sowie Sprungläufe in Abhängigkeit von der Anlaufgeschwindigkeit untersucht.

Ausgangspunkt bildete die zentrale These: „Im Sprint und Sprung hat der-/diejenige das größere Entwicklungspotenzial, der/die bei gleicher Laufschnelligkeit bzw. Mehrfachsprungweite die kürzeren Stützzeiten aufweist“ (Killing, Stahl & Mattes, 2005, S. 35). Für diese These sprechen Evidenzen aus der Trainings- und Wettkampfpraxis sowie Befunde von wissenschaftlichen Studien. Bei maximalen Sprintgeschwindigkeiten (10 - 11m/s) werden Bodenkontaktzeiten von unter 100 ms gemessen (Bosco & Vittori, 1986; Coh, Milanovic & Dolenc, 1999). Des Weiteren zeigen kurze Bodenkontaktzeiten die Realisierung explosiv-reaktiv-ballistischer Krafteinsätze unter Zeitlimit an, was mit erhöhten Reaktivkraftfähigkeiten im kurzen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) und hohem Anteil an schnellen Muskelfasern (Typ IIx) in Verbindung gebracht wird (Tidow & Wiemann, 1996).

In den schnellkraftorientierten leichathletischen Sprint- und Sprungdisziplinen hat sich eine Doppelperiodisierung mit zwei Wettkampfhöhepunkten zur Hallen- und Freiluftsaison bewährt (Joch, 1992; Killing et al., 2008). Steuerungsmittel ist die Trainingsbelastung, deren Umfang, Intensität und Spezifität. Im Trainingsjahr wird die Formausprägung der Athletinnen und Athleten über ein umfangsbetontes Training in der allgemeinen Vorbereitungsperiode (aVP) über ein intensitäts- und spezifitätsbetontes Training in der speziellen Vorbereitungsperiode (sVP) zu sinkenden Umfängen und Intensitäten in der Wettkampfperiode (WP) angestrebt (Killing, 2009).

Aufgrund der Trainingsperiodisierung war eine Steigerung der Sprintgeschwindigkeiten bei gleichzeitiger Verkürzung der Bodenkontaktzeiten sowie beim Sprunglauf eine erhöhte Sprunggeschwindigkeit und/ oder Sprungschrittlänge von der aVP über die sVP zur WP zu erwarten. Dieser Zyklus wird bei einer Doppelperiodisierung zweimal durchlaufen und sollte sich, individuell geprägt, in den kinematischen Kennwerten widerspiegeln.

Bei Sprungläufen vollzieht sich mit Erhöhung der Anlaufgeschwindigkeit eine Annäherung an Wettkampfabsprünge, die sich in veränderten Sprungschrittgeschwindigkeiten, -längen und Bodenkontaktzeiten abbilden lassen sollte.

## Methodik

Anhand von vier Berliner Trainingsgruppen (Sprint- und Sprungdisziplinen, AK Schüler A bis AK Frauen/Männer,  $N = 40$ , weiblich  $N = 13$ ; männlich  $N = 17$ ), darunter waren B- und C-Kaderathletinnen und -athleten, wurden fliegende Sprints aus mindestens 20-m-Anlauf und Sprungläufe mit und ohne Anlauf über eine Strecke von 30 m mittels des Optojump-Messsystems (Microgate, Italien) gemessen (Tab. 1).

Tab. 1. Übersicht über die kinematischen Kennwerte

Kennwert	Kürzel [Maßeinheit]	Definition	Messgenauigkeit
Bodenkontaktzeit	$t_K$ [s]		$\pm 0.001$ s
Flugzeit	$t_F$ [s]		$\pm 0.001$ s
Schritt- bzw. Sprungschrittweite	$s$ [cm]		$\pm 3$ cm
Sprint- bzw. Sprungschrittgeschwindigkeit	$v$ [m/s]	$\frac{S_L}{t_{Kon} + t_{Flug}}$	$\pm 3$ %
Schritt- bzw. Sprungschrittfrequenz	$f$ [Hz]	$\frac{t_{Kon} + t_{Flug}}{1}$	$\pm 0,002$ s
Rhythmusverhältnis	$t_F/t_K$	$\frac{Flugzeit}{Kontaktzeit}$	$\pm 2$ %
Abflugwinkel	$W_{Abf}$ [°]	$\tan a = \left( g \cdot \left( \frac{t_{Flug}}{2} \right) / v \right)$	$\pm 4$ %

Zusätzlich wurden Sprungläufe mit drei verschiedenen Anlaufgeschwindigkeiten (ohne, langsam und mittel) mit einer Stichprobe von zehn Hamburger Nachwuchsathleten (weiblich  $N = 6$ ; männlich  $N = 4$ ) durchgeführt, um den Einfluss der Anlaufgeschwindigkeit auf die kinematischen Merkmale zu untersuchen. Die Messdaten wurden einer Varianzanalyse mit Messwiederholung unterzogen.

## Ergebnisse

### Vergleich kinematischer Kennwerte von Sprints und Sprungläufen in verschiedenen Trainingsperioden

Für den Zeitraum von Oktober 2007 bis Juni 2008 wurde in Abhängigkeit der TP (1.aVP, 1.sVP, 1.WP, 2.aVP, 2.sVP, 2.WP) eine zyklische Erhöhung der Sprintgeschwindigkeit mit nachvollziehbarer DP festgestellt (Abb. 1). Die signifikante Steigerung der Sprintgeschwindigkeit von der 1.aVP zur 2.WP betrug im Mittel  $0,42 \pm 0,08$  m/s, dabei nahmen die Schrittlängen ( $4,4 \pm 3,7$  cm) und Schrittfrequenzen ( $0, \pm 0,05$  Hz) zu sowie die Bodenkontaktzeiten ( $-3 \pm 1$  ms) und Flugzeiten ( $-2 \pm 3$  ms) nicht signifikant ab. Zur Schätzung der kinematischen Kennwerte bei gegebener Sprintgeschwindigkeit wurden multiple Regressionsfunktionen mit hohem Bestimmtheitsmaß ( $r^2 > 0,99$ ) ermittelt.

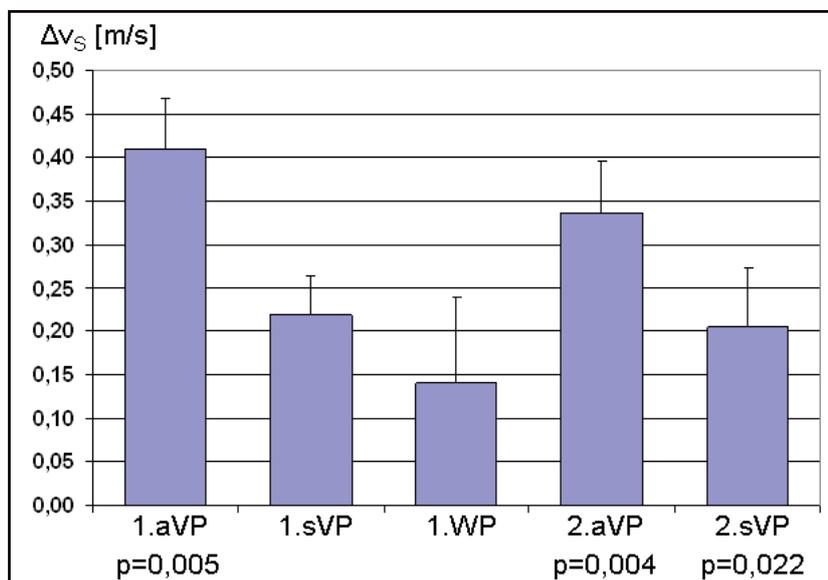


Abb. 1. Vergleich der mittleren Abweichungen der Sprintgeschwindigkeiten der einzelnen TP mit der Referenzperiode (2.WP), mittlere Differenzen und Standardfehler,  $p$  = Signifikanzniveau,  $N = 10$ . Die Werte geben die Geschwindigkeitsdifferenz zur 2.WP an, z. B. waren die Sprintgeschwindigkeiten der 2.WP um  $0,42$  m/s höher als die der 1.aVP.

Die Sprungläufe wurden im Vergleich 2.WP zur 1.aVP mit signifikant höheren Schrittgeschwindigkeiten ( $0,22 \pm 0,08$  m/s) und -frequenzen ( $0,08 \pm 0,03$  Hz), aber kürzeren Flugzeiten ( $-19 \pm 5$  ms), flacheren Abflugwinkeln ( $-1,4 \pm 0,33^\circ$ ) und nicht signifikant kürzeren Bodenkontaktzeiten ( $-3 \pm 4$  ms) absolviert (Abb. 2). Bei Sprunglaufvarianten nahmen signifikant mit der Anlaufgeschwindigkeit die Schrittgeschwindigkeiten, Schrittweiten zu und die Bodenkontaktzeiten ab.

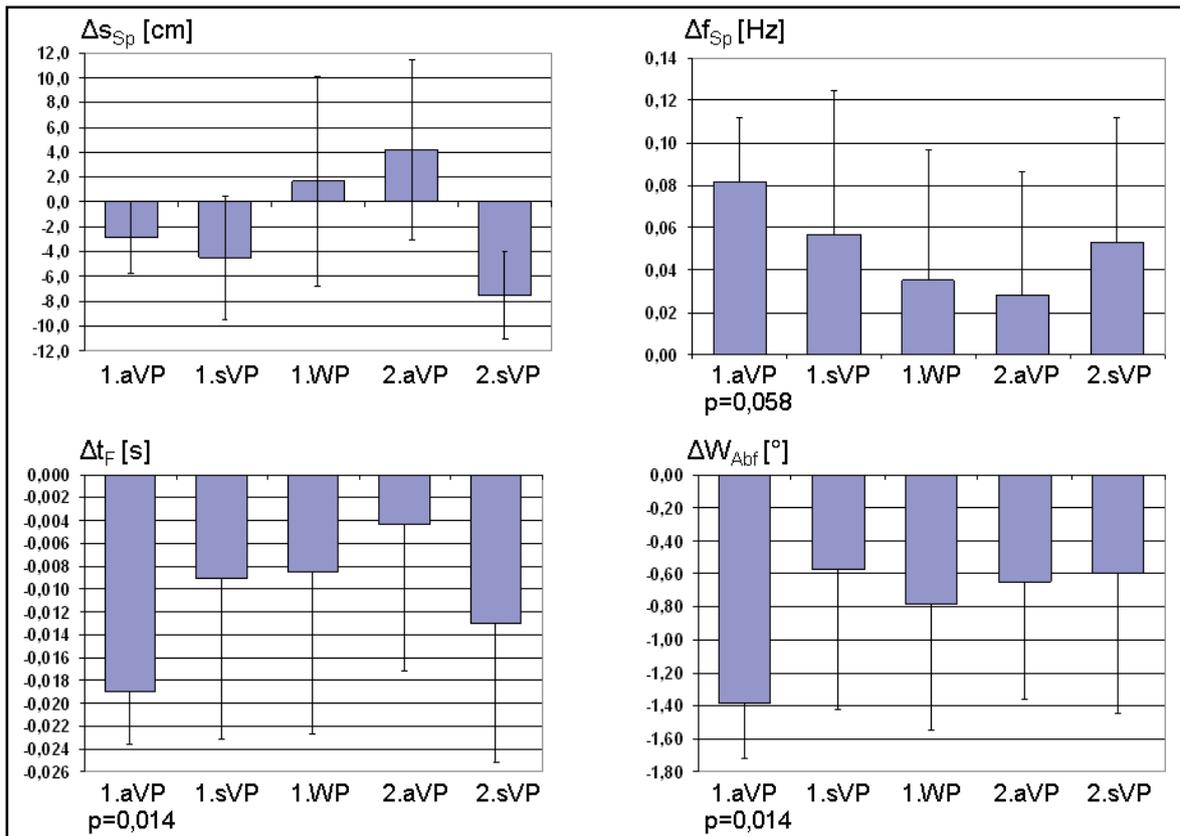


Abb. 2. Vergleich der mittleren Abweichungen der Sprungschrittlängen ( $\Delta s_{Sp}$ ), Sprungschrittfrequenzen ( $\Delta f_{Sp}$ ), Abflugwinkel ( $\Delta W_{Abf}$ ) und Flugzeiten ( $\Delta t_F$ ) der TP mit der Referenzperiode (2.WP),  $p$  = Signifikanzniveau,  $N = 3$ .

### Vergleich kinematischer Kennwerte von Sprungläufen in Abhängigkeit von der Anlaufgeschwindigkeit

Die kinematischen Kennwerte der Sprungläufe wurden bei drei Anlaufgeschwindigkeiten getestet: Sprunglauf ohne Anlauf ( $v_{Anl} = 0$  m/s), Sprunglauf mit 10-m-Anlauf und langsamer Anlaufgeschwindigkeit ( $v_{Anl} = 5,45$  m/s) sowie mittlerer Anlaufgeschwindigkeit ( $v_{Anl} = 6,75$  m/s).

Mit Steigerung der Anlaufgeschwindigkeit nahmen signifikant die Sprungschrittgeschwindigkeiten, Sprungschrittweiten zu und die Bodenkontaktzeiten ab. Die Sprungschrittfrequenzen, das Rhythmusverhältnis und die Abflugwinkel wurden durch die Anlaufgeschwindigkeit nicht signifikant beeinflusst (Abb. 3).

Die Verläufe der Sprunglaufvarianten mit unterschiedlichen Anlaufgeschwindigkeiten (ohne, langsam und mittel) zeigten eine Annäherung der kinematischen Schrittmerkmale in den Einzelsprüngen. Ab dem fünften Sprung innerhalb einer Serie waren keine signifikanten Unterschiede mehr festzustellen. Auffällig war des Weiteren die Verkürzung der Schrittlänge beim zweiten Sprung beim Sprunglauf mit Anlauf. Beim Sprunglauf ohne Anlauf wurden im Durchschnitt erst im dritten Sprung Bodenkontaktzeiten von unter 200 ms realisiert.

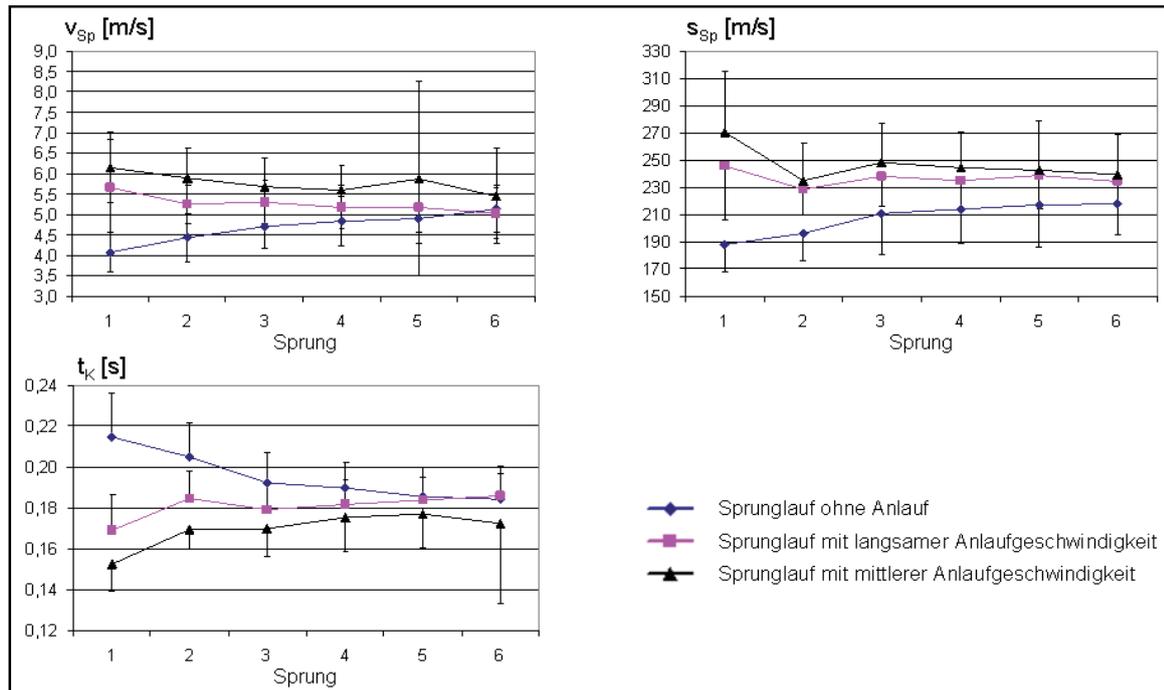


Abb. 3. Vergleich kinematischer Kennwerte von Sprungläufen mit unterschiedlicher Anlaufgeschwindigkeit Sprungschrittgeschwindigkeit ( $v_{Sp}$ ), Sprungschrittlänge ( $s_{Sp}$ ) und Bodenkontaktzeit ( $t_K$ ) über die ersten sechs Sprünge,  $N = 10$

## Diskussion

Die Laufzeiten der fliegenden 30-m-Sprints der männlichen Altersklassen reichten von 3,07 bis 2,81 s. Im Vergleich gibt der RTP Aufbautraining Sprint 2,88 s als Zubringerleistung für 10,9 s über 100 m und für 21,95 s über 200 m an (Joch, 1992, S. 44). Diese Sprintzeiten wurden zum anschließenden Wettkampfhöhepunkt von einigen Probanden unterboten. Die gemessenen Berliner Nachwuchsathletinnen bzw. -athleten lagen bei den Schrittfrequenzen im Bereich und bei den Schrittlängen im bzw. unterhalb der Werte von Spitzenathletinnen bzw. -athleten (Brüggemann et al., 1999).

Die für die DP geplante progressiv zyklische Leistungsentwicklung konnte anhand der Ergebnisse zur Sprintgeschwindigkeit gut widerspiegelt werden. Die Jahresdynamik verlief mit Progression von der 1.aVP zur 2.WP, aber interindividuell mit unterschiedlichen Steigerungen der Sprintgeschwindigkeit von weniger als 0,2 m/s bis mehr als 0,8 m/s und verschiedenen Konstellation der kinematischen Kennwerte. Für diese interindividuellen Abweichungen können der Trainingsaufbau selbst (zeitlich unterschiedliche Wettkampfhöhepunkte) sowie der individuelle Verlauf der motorischen Vervollkommnungsprozesse im Rahmen der Techniks Schulung sowie der biologischen Adaptation ursächlich sein. Die Ergebnisse bestätigen somit auch für die Jahresdynamik eine beträchtliche Individualität im Zustandekommen der Sprintgeschwindigkeit aus den kinematischen Kennwerten, die sich wie ein roter Faden durch die einschlägige Fachliteratur zum leichtathletischen Sprintlauf zieht (Letzelter & Letzelter, 2005).

Für die kinematischen Merkmale der Sprungläufe wurden keine signifikanten Haupteffekte des Faktors Trainingsperioden gefunden, der Verlauf zeigte sich individuell stark verschieden ausgeprägt. Dieses Ergebnis scheint im Widerspruch mit den Absichten und Inhalten der Periodisierung des Sprungkrafttrainings zu stehen. Demnach müssten sich wenigstens die Sprunggeschwindigkeiten und die Sprungweiten im Jahresverlauf entwickeln. Im Durchschnitt der Stichproben wurde u. a. auch aufgrund der geringen Anzahl an Personen, die beide Sprungläufe in allen sechs TP absolvierten, diese DP nicht gefunden. Jedoch korrespondierte die Leistungsentwicklung einzelner Athletinnen und Athleten durchaus mit der Periodisierung. Der individuell unterschiedliche Beherrschungsgrad des Sprunglaufes bzw. die disziplinspezifischen Ausrichtung im Training (Sprungweite versus Sprunggeschwindigkeit) hat eine hohe Variabilität der Bewegungsausführung zur Folge und überdeckt eine durchschnittliche Jahresdynamik. Eine höhere Variabilität des Sprunglaufes im Vergleich zum Sprintlauf resultiert auch daraus, dass

- Sprungläufe weniger häufig ausgeführt werden als Sprints,
- sich die Sprunggeschwindigkeit von Sprung zu Sprung verändert, während beim Sprint eine konstante maximale Geschwindigkeit gefordert wird,
- ein Wechsel von Anlauf zum Sprunglauf koordinativ bewältigt werden muss.

Im ersten Makrozyklus wurden im Durchschnitt signifikante kürzere Sprungschritte, höhere Sprungschrittfrequenzen, kürzere Flugzeiten, ein kleineres Rhythmusverhältnis mit relativ kürzeren Flugzeiten und ein flacherer Abflugwinkel als im Vergleich zum zweiten Makrozyklus gemessen. Diese Ergebnisse stimmen mit der beabsichtigten Trainingswirkung und der zunehmenden Spezifikation der Sprungläufe im Verlaufe des Trainingsjahres überein.

Mit Erhöhung der Anlaufgeschwindigkeit bei Sprungläufen (von 0 über 5,45 auf ca. 6,75 m/s) nahmen die Sprungschrittschwindigkeiten, Sprungschrittlängen und Flugzeiten zu, aber die Bodenkontaktzeiten ab. Beim Sprunglauf ohne Anlauf lagen dabei die Bodenkontaktzeiten im Mittel im Grenzbereich des kurzen DVZ erst ab dem dritten Sprung werden Bodenkontaktzeiten von kürzer als 200 ms gemessen. Diese Ergebnisse bestätigen gängige Empfehlungen aus der Trainingspraxis und unterlegen sie mit empirischen Daten. Einschlägige Literaturquellen zum leichtathletischen Sprint- und Sprungtraining (Gundlach et al., 1991; Jonath et al., 1995; Killing et al., 2008) geben die Anlaufänge und konkreter die Anlaufgeschwindigkeit als eine entscheidende Variationsmöglichkeit von Sprungläufen an, um diese bewegungsstrukturell an Wettkampfabsprünge anzunähern. Horizontale Mehrfachsprünge aus dem Stand führen zu relativ geringen Anforderungen in der Bremsphase und langen Absprungetzeiten, weil die horizontale Geschwindigkeit erst in der Sprungreihe aufgebaut werden muss. Die Steigerung der sprungspezifischen Belastung wird im Wesentlichen nicht durch die Verwendung oder Erhöhung von Zusatzlasten, sondern durch Erhöhung der Bewegungsgeschwindigkeit und dem Wechsel der Trainingsmittel erreicht (Adamczewski, 1991).

Die Verläufe der kinematischen Kennwerte zeigten unterschiedliche Tendenzen in Abhängigkeit von der Anlaufgeschwindigkeit, wobei sich die kinematischen Kennwerte zu Beginn (erster und zweiter Sprung) der Sprungläufe signifikant unterschieden und im weiteren Verlauf annäherten. Ab dem fünften Sprung traten keine

nennenswerten Differenzen mehr auf. Auch diese Ergebnisse decken sich gut mit Aussagen von Adamczewski (1991) und Prause (1991), die darauf hinweisen, dass beim Sprunglauf ohne Anlauf die Spezifikation von Absprung zu Absprung zunimmt und im Gegensatz dazu bei den Mehrfachsprüngen mit Anlauf abnimmt.

## Schlussfolgerung

Die kinematischen Kennwerte besitzen einen hohen Stellenwert für die Talentdiagnostik sowie die Planung und Steuerung des Trainings in den Sprint- und Sprungdisziplinen, wobei neben den Sprint- und Sprungschrittgeschwindigkeiten besonders die Bodenkontaktzeiten herauszuheben sind. Die Dauer der Bodenkontaktphase informiert indirekt über das Vermögen der Athletinnen und Athleten explosiv-reaktiv-ballistische Krafteinsätze unter Zeitlimit zu realisieren. Dieses Vermögen scheint sowohl anlagebedingt (Muskelfaserspektrum), wird aber zudem durch das Training beeinflusst. Veränderungen der Bodenkontaktzeiten sowie der anderen kinematischen Kennwerte im Verlaufe einer Doppelperiodisierung bilden somit die erreichte Trainingswirkung präzisierend zu den Sprintgeschwindigkeiten und Sprungschrittweiten ab.

Entscheidend für die Trainingswirkung sind die Planung und klare Festlegung der Trainingsziele sowie deren systematische Ansteuerung unter Berücksichtigung der Periodisierung und die Möglichkeit der Feinsteuerung dieses Optimierungsprozesses durch Messen der kinematischen Kennwerte. Für die Trainingsplanung und Kontrolle bieten sich die ermittelten multiplen Regressionsfunktionen als ein Hilfsmittel an, wobei für prognostizierte Geschwindigkeiten ein mögliches Spektrum an Schrittlängen und Schrittfrequenzen sowie Bodenkontakt- und Flugzeiten geschätzt wird.

Bei Sprungläufen ohne Anlauf sollte stärker auf kurze Bodenkontaktzeiten, aber ohne Vernachlässigung der Sprungschrittlänge und der Sprungschrittgeschwindigkeit orientiert werden, da im Durchschnitt die Bodenkontaktzeiten an der Grenze des kurzen DVZ (um 200 ms) liegen. Sprungläufe mit mittlerer Anlaufgeschwindigkeit sollten offensiver im Training eingesetzt werden, weil es mit der Steigerung der Anlaufgeschwindigkeit zu einer Annäherung an Wettkampfabsprünge mit reduzierten Bodenkontaktzeiten kommt. Dabei ist jedoch zu beachten, dass nicht mehr als fünf Einzelsprünge innerhalb einer Sprungreihe absolviert werden. Die hohe Ausführungsvariabilität von Sprungläufen, sollte durch die Orientierung auf Sprunggeschwindigkeit, Sprungweite und/oder kurze Bodenkontaktzeiten zur Veränderung der Trainingswirkung gezielt genutzt werden.

Das Messen der kinematischen Kennwerte unterstützt sowohl beim Sprintlauf als auch bei horizontalen Mehrfachsprungreihen die Bewegungsbeobachtung und -bewertung, weil mit ihnen ein resultatsorientierter Bewertungs- und Optimierungsrahmen für die Analyse der Technikmerkmale gegeben wird.

Die zentrale These des Projektes lässt sich anhand der Ergebnisse weiter ergänzen. Die systematische Talentförderung und Wirksamkeit des Trainings wird zunehmend besser, desto mehr es gelingt, die Zusammenhänge zwischen Sprintgeschwindigkeit bzw. Mehrfachsprungweite und kinematischen Schritt- bzw. Sprungmerkmalen variabel, aber zugleich zielorientiert für die individuelle Planung und Steuerung nutzbar zu machen.

## Literatur

- Adamczewski, H. (1991). 7. Krafttraining für die leichtathletischen Sprünge. In H. Dickwach & H. Gundlach (Hrsg.), *Leichtathletik – Sprung: Analysen und Empfehlungen für die Disziplinen Hochsprung, Stabhochsprung, Weitsprung und Dreisprung*. Band 1. Technik der Top Athleten (S. 114-120). Berlin: Sportverlag.
- Brüggemann, G.-P., Koszewski, D. & Müller, H. (1999). *Biomechanical Research Project Athens 1997*. Final Report. Oxford: Meyer und Meyer.
- Bosco, C. & Vittori, C. (1986). Biomechanical characteristics of sprint running during maximal and supra-maximal speed. *International Association of Athletic Federations*, 1, 39-45.
- Coh, M., Milanovic, D. & Dolenc A. (1999). Biomechanische Merkmale des Sprintschritts von Sprinterinnen der Spitzenklasse. *Leistungssport*, 29 (5), 41-46.
- Joch, W. (1992). *Rahmentrainingsplan für das Aufbautraining Sprint*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Killing, W., Stahl, E. & Mattes, K. (2005). Pilotprojekt Horizontale Sprünge. *Leichtathletiktraining*, 7, 32-37.
- Killing, W. (2009). Zusammenfassung – Empfehlungen für das Krafttraining in den Schnellkraftsportarten/-disziplinen. In W. Killing & H. Hommel (Hrsg.), *Bundestrainerforum „DLV- Kraftkonferenz“ 15./16.11.2008 in Potsdam* (S. 158). Bonn: Sportverlag Strauß.
- Letzelter, S. & Letzelter, M. (2005). *Der Sprint. Eine Bewegungs- und Trainingslehre*. Niedernhausen: Schors-Verlag.
- Prause, K. D. (1990). *Zur Bewegungsstruktur des Absprungs im Hoch-, Weit und Dreisprung sowie zur Bewegungsstruktur und zur Wirkungsrichtung von Trainingsübungen des speziellen und Schnellkrafttrainings*. Diss. B, Deutsche Hochschule für Körperkultur, Leipzig.
- Tidow, G. & Wiemann, K. (1993). Zur Interpretation und Veränderbarkeit von Kraft-Zeit-Kurven bei explosiv-ballistischen Krafteinsätzen. Teil I Physiologische Grundlagen und Teil II. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 44 (3), 92-103 und 44 (4), 136-150.