

Biomechanische Effizienzuntersuchungen an Trainings- und Sportgeräten sowie zu ihrer Nutzung für die Entwicklung der Leistungsfaktoren Kondition und Technikrealisierung beim Skaten (im DSV/Biathlon)

H. Herrmann, M. Clauß, D. Carius, Th. Pietsch, D. Reyer

Universität Leipzig

Institut ABTW, Fachgebiet Sportbiomechanik/-informatik

1 Problemstellung (zu einem ausgewählten Teilproblem des Forschungsvorhabens)

Die individuelle Wahl der Skistocklängen richtete sich bisher vorrangig nach so bezeichneten Faustregeln („Stocklänge = Nasenspitzenhöhe“ bzw. „Stocklänge = 10% kleiner als die Körperhöhe“). Jedoch werden je nach Streckenprofil und den individuellen Kraftfähigkeiten der Athleten bzw. Athletinnen Längenvariationen empfohlen (vgl. u.a. WENGER/WÖLLZENMÜLLER 1995; NITZSCHE 1998). Obwohl sich eine Reihe empirischer Untersuchungen mit dem Problemfeld „Stocklängenwahl“ auseinandersetzen und letztendlich diese Faustregeln stützten (vgl. u.a. SILETTA 1987; SMITH et al. 1996; GIBBONS et al. 1992; SCHWIRTZ 1993; SMITH 2000), konnten in der gesichteten Literatur keine hinreichenden wissenschaftlichen Begründungen zur ihrer Gültigkeit gefunden werden. Aus biomechanischer Sicht problembehaftet erschienen den Projektarbeitern auch die mit den gewählten Stocklängen im Zusammenhang zu sehenden, u.a. durch WENGER/WÖLLZENMÜLLER (1995), GATTERMANN et al. (1996) erarbeiteten Lehrpositionen bzw. praktischen Handlungsorientierungen für das Technik-Erwerbs-training im Skilanglauf. Durchgängig werden hier „raumgreifende“ Stockzug- und Stockschubphasenausführungen gefordert. In der Sportpraxis vollzogene Trends zu höheren Schrittfrequenzen und Laufgeschwindigkeiten und damit wiederum im Zusammenhang stehende Empfehlungen, Körperpositionen auf den Ski mit geringen Luftwiderstandswerten einzunehmen, führten in den zurückliegenden Jahren außerdem zur Nutzung kürzerer Skistöcke. Spezielle Ziele des Projektes bestanden folglich

- in einer hinreichenden biomechanisch-theoretischen Durchdringung des Zusammenhangs zwischen Skistocklängenvariation, Armbewegungsführung und erzielbarem Stockkraftimpulswert unter konstanten Rahmenbedingungen;
- in der Überprüfung aktueller Technik-Realisierungsstände mit dem Hauptaugenmerk auf die Ausprägung erkannter unabhängiger Variabler (Bewegungsmerkmale mit kausalem Einfluss auf Skistock-Kraftkenngrößen);
- in experimentellen Überprüfungen am Sportler, welchen Einfluss die innerhalb einer längerzeitigen Trainingsetappe realistisch vorgenommene Variation der unab-

hängigen Variablen (einschließlich Stocklänge) auf die Skistock-Kraftkenngrößen hat.

Biomechanisch-theoretische Ausgangsposition

Prinzipiell gilt, dass die Wirkung der individuell entwickelbaren und mit Auswirkungen auf die Erzeugung eines resultierenden Stockkraftimpulses beteiligten inneren Muskel-

kraftmomente $\sum_{n+1}^m M_{/n}(t)$ entscheidend durch die Größe der ihnen entgegengesetzt

gerichtet wirkenden äußeren Momente $M_A(t) = F_{\text{Stock}}(t) r_A(t)$ beeinflusst wird. Soll jedoch für den Faktor Stockkraft (F_{Stock}) der äußeren Momente ein großer Wert entstehen, sind folglich die kürzesten Abstände zwischen der Wirkungslinie der Stockkraft und der jeweiligen momentenbezogenen Gelenkachsen (r_A) – sie liegen im rechten Winkel zur Stockkraftwirkungslinie – zu minimieren. Die gesetzliche Grundlage für das Entstehen äußerer Kräfte bzw. Momente im gebundenen System bildet u.a. das III. NEWTON'sche Axiom. Durch Teilbewegungen der Gliederkette Sportler-Skistock-Widerlager, d.h. im gebundenen System, ist es prinzipiell möglich, ein resultierendes inneres Drehmoment zu erzeugen. Die Größe dieses Drehmomentes ist wiederum entscheidend von dem am Anfangsglied wirkenden Muskelkraftmoment abhängig (KNAUF 1980). Außerdem wird die entwickelbare Kraft auch von der Ausgangsstellung der Gliederkette, d.h. der Winkelstellung in den Gelenken und deren Anfangsgeschwindigkeiten sowie den daraus resultierenden Muskellängen beeinflusst. Dies kennzeichnete bereits BERNSTEIN (1975) mit seiner Hauptgleichung menschlicher Bewegung. Die Systemantriebswirkung, d.h. die Bewegungsziel gerichtete Wirkung des entwickelten Stockkraftimpulses wird darüber hinaus von der Lage des Stockes im Raum und vordergründig durch den Abstand der Stockkraftwirkungsrichtung zur KSP-Bahn des Systems Sportler-Sportgeräte beeinflusst.

2 Methoden

Zunächst erfolgte eine analytische Untersuchung der drei Ebenen bezogenen Stockwinkel-Zeit-Verläufe sowie Radienwerte (r_A) der äußeren Stockkraftmomente, bezogen auf die Schulter- und Ellenbogengelenke innerhalb der Stockabdruckphasen. Diese wurde im Rahmen einer speziellen Weltstandanalyse durchgeführt. Die Analysen konzentrierten sich auf die Ausführungen der 1-2-Skatingtechnik mit Führungsarm am Anstieg. Eine Zulässigkeit des Transfers der hierbei erzielten Ergebnisse/Erkenntnisse auf andere Skatingtechniken ist hinreichend begründbar. Die erforderlichen Weg-Zeit-kalibrierten Bewegungskonserven entstanden im Rahmen der Biathlon-Weltcuprennen in Ruhpolding 2001 unter Verwendung von zwei synchronisierten DV-Kameras. Für die Auswertung überwiegend bis zu drei Bewegungszyklen pro Sportler wurde neben einem Bewegungsanalysesystem PEAK Motus das Softwarepaket PANNING und DLTOPT von DRENK eingesetzt. Im Biathlonsport werden zur Zeit Schrittfrequenzen von 48min^{-1} bis

62min⁻¹ am Anstieg von 5° bis 8° erreicht. D.h. es mussten bis zu 200 Bilder aus zwei Kamera-Ansichten digitalisiert werden. Dabei wurde ein 27 Systempunktmodell verwendet. In die Untersuchungen wurden acht männliche und fünf weibliche nationale bzw. internationale Weltspitzenathleten und -athletinnen des Biathlonsports einbezogen. Als Bezugs-Event diente durchgängig der Stockeinsatzbeginn (Skistockteller berührt die Schneeunterlage) der Nichtführarmseite.

Anhand der erzielten Analyseergebnisse wurde unter Berücksichtigung der biomechanisch-theoretischen Ausgangsposition eingeschätzt, dass u.a. die im Wettkampffahr 2001 in der Sportpraxis (speziell im DSV/Biathlonkader) genutzten Skistocklängen für das Skaten überwiegend zu kurz gewählt waren. Der für die Sportpraktiker und Sportler überzeugende Nachweis lässt sich jedoch nicht derart erbringen (wie konzeptionell vorgesehen und praktisch versucht, vgl. hierzu auch SCHWIRTZ 1993), indem man zu einem Untersuchungstermin den jeweiligen Probanden/Sportler z.B. mit verschiedenen Stocklängen Skaten lässt. Folglich wurde hypothetisch weiterführend davon ausgegangen, dass ein vollständiges Ausschöpfen der Vorteile längerer Skistöcke beim Skaten nur im Ergebnis eines längerfristig gezielt durchgeführten Technik-Umlernttrainings gelingt. Hierbei waren Stockbewegungsführungen zu trainieren, bei denen „kleine“ r_A -Werte die Grundorientierung darstellten. Die individuell festgelegten Wertevorgaben für beide experimentellen Faktoren orientierten sich an den Ergebnissen der Wettkampfuntersuchung. Für die Teilnahme an diesem Quasi-Experiment konnten nur drei Sportler aus dem erweiterten Biathlon-Auswahlkader gewonnen werden. Eine Kontrollgruppe stand nicht zur Verfügung. Zwischen Prä- und Posttesttermin lagen 13 Monate. Das hierbei eingesetzte komplexe Untersuchungsverfahren ist bei u.a. HERRMANN & CLAUB (2000) beschrieben.

3 Ergebnisse

Eine statistische Bearbeitung der Analyseergebnisse musste sich aufgrund der relativ geringen Stichprobenzahl auf die Berechnung der untersuchungsgruppenspezifischen Medianwerte und der zugehörigen Variationsbreiten beschränken. Diese Ergebnisse (exemplarisch siehe Abbildungen 1 und 2) weisen u.a. aus, dass die Biathlonweltspitzenathleten und -athletinnen deutlich unterschiedliche Armpositionen zum Event „Stocheinsatzphasenbeginn“ einnehmen.

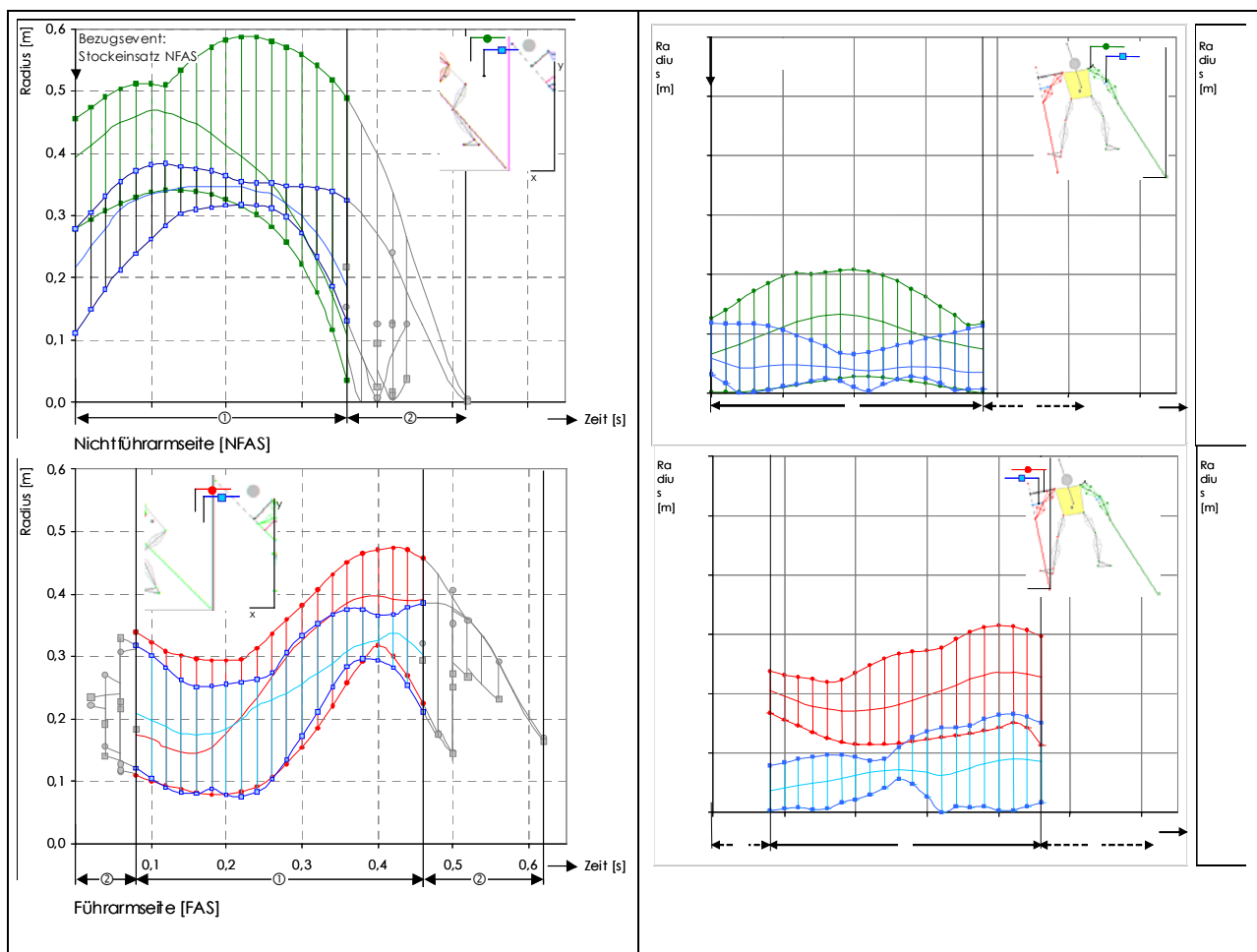


Abb. 1: (linke Abb.) Median und Variationsbreite der Schulter- und Ellenbogengelenkradien [XY-Ebene] innerhalb der Stockeinsatzphase; Weltspitze-Biathlon Männer [WC-Ruhpolding 2001; n=8]; 1-2-Skatingtechnik mit Führungsarm am Anstieg 8°; ①–Wertebereich [n=8] ②–Wertebereich [n<8]

Abb. 2: (rechte Abb.) Median und Variationsbreite der Schulter- und Ellenbogengelenkradien [ZY-Ebene] innerhalb der Stockeinsatzphase; Weltspitze-Biathlon Männer [WC-Ruhpolding 2001; n=8]; 1-2-Skatingtechnik mit Führungsarm am Anstieg 8°; ①–Wertebereich [n=8] ②–Wertebereich [n<8]

Für die zur absoluten Weltspitze im Biathlon und Laufbereich der Männer zählenden Norweger F. Andresen und O.E. Bjoerndalen wurden auf der Führarmseite mit 0,19 m für r_{Ares} -Ellenbogen die gruppenspezifischen Minimalwerte analysiert. Den mit Abstand kleinsten Wert für r_{Ares} -Schulter der Führarmseite realisierte gleichfalls der Sportler O.E. Bjoerndalen. Für das Event Stockeinsatz-Nichtführarmseite (NFAS) wurde ein r_{Ares} -Schultergelenk-Medianwert von 0,45 m analysiert. Die Variationsbreite betrug 0,15 m und der Minimalwert 0,33 m. Der entsprechende r_{Ares} -Ellenbogengelenk-Medianwert ergab sich mit 0,22 m bei einer Variationsbreite von 0,13 m und einem Minimalwert von 0,17 m. Die eventbezogenen Median- und Spannweitenwerte für die Führarmseite (FAS) waren

erwartungsgemäß geringer. So wurde hier für r_{Ares} -Schultergelenk ein Median von 0,25 m mit einer Variationsbreite von 0,19 m und einem Minimalwert von 0,22 m bestimmt. Die zugehörigen r_{Ares} -Ellenbogen-Werteberechnungen ergaben für den Median 0,22 m bei einer Variationsbreite von 0,13 m und einem Minimalwert von 0,2 m. Unberücksichtigt blieben in den Fallbetrachtungen auf der Führarmseite die individuell analysierten Werte bei $n < 8$.

Ausgewählte Ergebnisse der quasiexperimentellen „Fallstudie“ ($n=3$) sind mit der Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Entwicklung des Stockkraftniveaus nach einem Trainings-/Wettkampffahr (Skating 1-2-Technik am Anstieg/Führarmseite); Interventionsmaßnahmen: r_A -Wertereduzierungen, Stockverlängerungen

Sportler	Prätest (Sept. 2001)		Posttest (Okt. 2002)	
	Stockkraftniveau	Stocklänge	Stockkraftniveau	Stocklänge
R.G.	201N	160cm	291N / +31 %	164cm
H.S.	210N	166cm	242N / +15 %	172cm
K.M.	177N	160cm	237N / +25 %	164cm

4 Diskussion

Die Ergebnisse sowohl der Wettkampfanalyse als auch der quasiexperimentellen Fallstudie stützen die voran stehenden biomechanisch-theoretischen Ausgangspositionen. Der auf der Grundlage individuell antrainierter spezifischer Kraftfähigkeiten entwickelbare resultierende Stockkraft-Impulswert wird sicherlich maßgeblich durch eine zweckmäßige (kleine r_A -Werte) bzw. unzureichende (große r_A -Werte) Skistockführung in Relation zu Ellenbogen- und Schultergelenklagen innerhalb der Stockabdruckphasen beeinflusst. Nach den bisher nur stichprobenartig vorliegenden experimentellen Resultaten erscheint es den Autoren jedoch aufgrund der theoretischen Begründungen sinnvoll, umgehend in der Sportpraxis, insbesondere zum Event „Skistockeinsatz“, auf ein Einhalten kleiner Abstände zwischen Skistocklängsachse und Ellenbogengelenk aber auch Schultergelenk zu achten. Dies gilt sowohl für die Seiten- als auch die Hinteransicht des skatenden Sportlers. Ihre Realisierung steht in enger Wechselbeziehung mit den individuell genutzten Skistocklängen. Des Weiteren lassen sich aus den Ergebnissen neue Strategien hinsichtlich der Einleitung von Kräften auf den Skistock und damit auch für neuartige Skistockkonstruktionen ableiten. Ihr Verfolgen führte bereits zu ersten Ergebnissen.

5 Literatur (Auszug)

- BERNSTEIN, N.A.: Bewegungsphysiologie – Sportmedizinische Schriftenreihe der DHfK Leipzig, Bd. 9. Leipzig 1975.
- GATTERMANN, E. (Hrsg.): Skilehrplan, Bd. 2. München 1996.
- HERMANN, H.; CLAUB, M.: Technikmerkmale des Skaten im Biathlon und deren Objektivierung im Trainingsprozess. Leipziger sportwissenschaftliche Beiträge 41 (2000) 1.
- KNAUF, M.: Ein Verfahren zur Modellierung des menschlichen Gliedersystems und Rechnersimulation von Bewegungsabläufen zur Analyse und Synthese sportlicher Bewegungen. DHfK Leipzig 1980, Diss. A.
- NITZSCHE, K. (Hrsg.): Biathlon – Leistungs-Training-Wettkampf. Wiesbaden 1998.
- SCHWIRTZ, A.: Der Stockeinsatz im Skilanglauf – biomechanische Untersuchungen zur optimalen Stocklänge. In: Entwicklungstendenzen im Skilanglauf. Köln 1993.
- WENGER, U.; WÖLLZENMÜLLER, F.: Skilanglauf. München 1995.
- WIATR, M.: Zweckmäßige Koordination der Antriebsimpulse bei der Ausführung der Skating 1-2 Technik am Anstieg. Universität Leipzig/Sportwissenschaftliche Fakultät 2000, Diplomarbeit.
- WICK, J.: Biathlon-Zweijahresanalyse 1994-96. Leipzig 1996 (= IAT-Jahresforschungsbericht).
- WICK, J.: Zur Leistungsentwicklung im Biathlon – Eine Analyse internationaler und nationaler Tendenzen im Olympiazzyklus 1994-98. Zeitschrift für angewandte Trainingswissenschaften 5(1998) 1.
- WICK, J.; NITZSCHE, K.; HERRMANN, H.: Koordinierung der Forschung in der Sportart Biathlon bis 2002. Leipzig 2000 (unveröffentl.).
- WOLNIK, W.: Kinematische Analyse der Schlittschuhschrittes mit dem Skiroller. Sporthochschule Köln 1990, Diplomarbeit.