

## **Optimierung der Skistockabdruckwirkungen beim Skaten – die Suche nach optimalen Wechselbeziehungen zwischen Bewegung und Stockkonstruktionsmerkmalen-**

Martina Clauß & Hartmut Herrmann (Projektleiter)

Universität Leipzig / Sportwissenschaftliche Fakultät / Institut ABTW /  
Fachgruppe Biomechanik

### **Problem**

Bei Sportarten wie den Biathlon/Laufbereich und der NK/Laufbereich existieren enge Wechselbeziehungen u. a. zwischen der erzielten Laufleistung, der realisierten Lauftechnik und den Eigenschaften der genutzten Sportgeräte. Deshalb begrenzt das Wettkampffreglement der IBU und FIS in einem Unterpunkt „Materialkatalog“ auch die Konstruktionsmerkmale der Skistöcke. Nicht erlaubt sind Energiespeicher-effekte. Keinen Einschränkungen unterliegen beispielsweise Skistockform, -länge und Knaufanordnung. Bei der individuellen Stocklängenwahl orientiert sich die Sportpraxis anhand so bezeichneter „Faustregeln“ (u. a. Wenger & Wöllzenmüller, 1995; Schwitz, 1993; Nitzsche, 1998). Wissenschaftlich gestützte Begründungen zur individuellen Stocklängenwahl sind kaum auffindbar (Herrmann et al., 2003). Ein Ziel des Forschungsvorhabens bestand in der biomechanisch theoretisch-logisch gestützten Suche nach leistungsbeeinflussenden Konstruktionsänderungen an Skistöcken, deren exemplarischer Realisierung und Erprobung sowie einem Charakterisieren ihrer Auswirkungen auf die Bewegungstechniken und Laufleistungen beim Skaten.

### **Methode**

In einem Prätest absolvierten drei Skilangläufer 54 Versuche mit Skirollern auf einem Laufband. In drei Belastungsbereichen (SB, EB und GB) waren drei Skating-techniken und die Doppelstockschubtechnik sowohl mit bisher üblichen als auch mit speziell im Knaufbereich veränderten Skistöcken durch die Probanden auszuführen. Mittels 5 Videokameras erfolgten Aufzeichnungen der realisierten Bewegungen. Neben pedobarometrischen Daten zum Bein-/Skiabdruck kamen resultierende Stockkräfte in Betracht. Überprüfungen dieser Testergebnisse führten aber nicht zu erwarteten Theorie gestützten Ergebnissen. Eine Ursache wurde in den Stabilitätseigenschaften der genutzten Skistöcke vermutet. Der Focus weiterer Untersuchungen wurde zunächst darauf gerichtet. Sie basierten auf den EULER'schen Knickfällen bzw. der Theorie zum Biegeknicken von Stäben (u. a. in Winkler, et al., 1965; Geupel, 2006; Holzmann, et al., 2006).

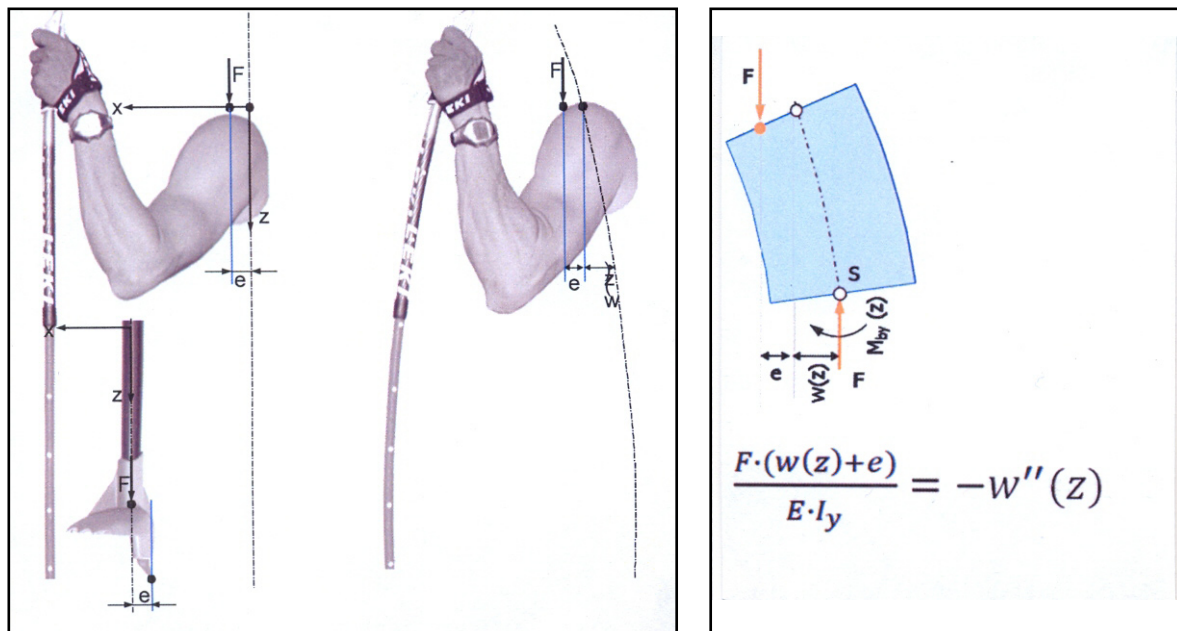


Abb. 1 Skistock bei exzentrischer Druckkraftbelastung

Weil keine erforderlichen Daten zu Konstruktionsmerkmalen (u. a.  $E$ ,  $I_y$ ) der in der Sportpraxis vorrangig genutzten 4 Skistocktypen in Erfahrung gebracht werden konnten („Firmengeheimnis“), kam nur experimentelles Messen von Kenngrößen wie Stockstabilität, Knickkraft, Biegemoment, Verformungsarbeit, Quetschgrenze und Alterung in Betracht. Aus Daten dieser Kenngrößen waren einerseits Rückschlüsse zu ziehen, welchen technischen Anforderungen Skistockrohre genügen müssen, wenn die vorgesehenen Konstruktionsänderungen wirkungsvoll zum Tragen kommen sollen. Andererseits konnten für die Sportpraxis diejenigen Stockrohrtypen mit den besten Kenngrößendaten identifiziert werden. Diese Experimentaluntersuchungen erfolgten an einem speziell hierfür erstellten Prüfgerät. 3D-Stützkraft- und Stauchungsmessungen sowie ein Analysieren der Stockrohr-Biegelinien  $w(z)$  mittels geeigneter videographischer Verfahren führten zu Druckkraft (Druckspannung)-Längenänderungs (Stauungs)-Diagrammen und den Daten der in Abb.3 definierten Kenngrößen. Untersucht wurden drei Stocktypen (Leki, Swix, Exel) in den Längen 165 cm, 155 cm und 145 cm. In einer ersten Versuchsreihe erfolgten an jeweils vier „fabrikneuen“ Stöcken zentrische Druckrafteinleitungen bei zunächst orthogonal zur Stützebene stehender Stocklängsachse. Jeder Stock wurde mindestens 6-mal kurzzeitig bis geringfügig über den elastischen Bereich hinaus belastet. Bei der zweiten Versuchsreihe war der experimentelle Faktor der Stockanstellwinkel. In einer dritten Versuchsreihe erfolgten längerzeitige Belastungen der Stöcke im plastischen Bereich (bis  $w_{\max}(z) = 10\text{cm}$ ). Bei zwei weiteren Versuchsreihen standen die Alterung in Abhängigkeit zu langfristig im plastischen Bereich erfahrenen Belastungen und das „Bruchverhalten“ der Skistöcke im Mittelpunkt. Eine Highspeed-Videokamera zeichnete zusätzlich diese Events auf. Welchen Druckbelastungen (Vergleichsdaten) die Skistöcke in der Sportpraxis ausgesetzt sind, ging aus einer speziell hierzu vorgenommenen Datenaufbereitung hervor. Die Basis bildeten seit 2000 für Biathlon (A/B-Kader) und ab 2006 für die NK (A/B-Kader) eigenständig angelegte Datenbanken.

## Ergebnisse (ausgewählte)

Die höchsten Stockkraft-Maximalwerte ( $F_{\text{MaxStock}}$ ) wurden bei Ausführungen der 1-1 Skatingtechnik am Anstieg durch Biathlon-Männer im GB ermittelt. Sie betragen für den Beginn der Stockstützphase ca. 1000 N. Der maximale Betrag für den resultierenden Stockkraftstoß ergab sich hier mit ca. 130 Ns für die Führungsarmseite.

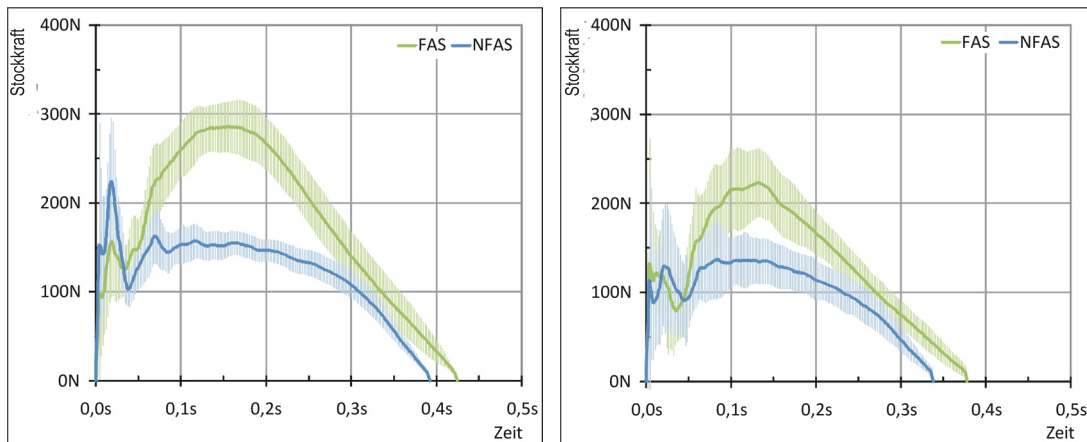


Abb. 2: Charakteristische (Mittelwert- und Standardabweichung) res. Stockkraft-Zeit-Verläufe von GB-Ausführungen der 1-2 Führungsarmtechnik am Anstieg; links: Biathlon Männer 2000 - 2006, rechts: NK 2006 - 2007

Die in Abb. 2 nur exemplarisch ausgewiesenen Ergebnisse weisen charakteristische Belastungen der Skistöcke aus. Weil die Radien  $r_{A\perp}$  der äußeren Gelenkmomente  $M_{\text{AGelenk}}$  bezüglich Schulter und Ellenbogen beim Skaten mit dieser Technik an Anstiegen in der Regel auf der Führungsarmseite (FAS) wesentlich kleinere Beträge hatten als auf der Nichtführungsarmseite (NFAS), wurden von den Sportlern auf der FAS stets höhere Stockkraftwerte erzielt.

Die experimentellen Messungen an Skistockrohren verschiedener Hersteller ergaben nur für bestimmte Kenngrößen weitestgehend übereinstimmende Daten. Unerwartet konnten lediglich in Einzelversuchen nur an einem Stocktyp Knickkraftwerte ermittelt werden, die stabile Gleichgewichtsbedingungen bei den in der Sportpraxis auftretenden maximalen Druckbelastungen garantieren. Die Quetschgrenzen der untersuchten „fabrikneuen“ Stockrohre mit der Länge von 165 cm differierten zwischen 450 N und 570 N.

Bei einem anderen Stockrohrtyp führten bereits die Belastungen der ersten Versuchsreihe zum kontinuierlichen Absinken des Knickkraftwertes (d. h. zu einem Stabilitätsverlust des Stockrohres). Mit dem Auge kaum wahrzunehmende, bleibende Exzentrizitäten standen hier mit Biegemomenten bis 7,2 Nm in Wechselbeziehung. Die theoretisch gestützten Erwartungen zu den Zusammenhängen zwischen Stockrohrlänge, Stockanstellwinkel und den Stabilitätseigenschaften sowie Quetschgrenzen konnten dagegen an allen Stockrohrtypen experimentell belegt werden. Dauerbelastungen im plastischen Bereich führten auch bei allen drei Skistocktypen zum Stabilitätsverlust. Bei einem Skistocktyp war die Verlustrate aber auffallend hoch. In der Sportpraxis genutzte Stöcke dieses Typs wiesen gleichfalls extreme Alterungen auf.



erforderlich. Für die Trainingspraxis ergibt sich u. a. auch die Konsequenz, Skistöcke hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit vor Wettkämpfen professionell und systematisch zu überprüfen.

### **Literaturauszug**

Geupel, H. Hrsg. (2006), *Technische Mechanik, Band 2, Festigkeitslehre*. München, Wien: Oldenbourg Verlag.

Winkler, J. (1965). *Technische Mechanik für Ingenieurschulen, Band 2, Festigkeitslehre*. Leipzig: VEB Fachbuchverlag.

Holzmann, G., Meyher, H. & Schumpich, G. (2006). *Technische Mechanik Festigkeitslehre* (9. Auflage). Wiesbaden: B.G. Teubner Verlag.

