

St. Lindinger, E. Müller, W. Niessen, H. Schwameder, A. Kösters

Der idealtypische Beinabstoß bei modernen Skating-Techniken im Skilanglaufrennsport aus biomechanischer Sicht

THE IDEAL PUSH-OFF MOVEMENT IN MODERN XC-SKATING-TECHNIQUES FROM A BIOMECHANICAL POINT OF VIEW

Zusammenfassung

Eine ganz klare Abgrenzung der Abstoßtechnik beim Skatingschritt zur Abstoßtechnik beim Diagonalschritt ist bei der jetzigen Generation von Weltcup-LäuferInnen häufig nicht erkennbar, wobei jedoch völlig unterschiedliche Abstoßbedingungen hinsichtlich der Haftreibung vorherrschen. Auf der Basis vorhandener Literatur wurde ein mechanisches Beinabstoßmodell-Skating entwickelt. Anhand durchgeführter biomechanischer Analysen von vier Skatingtechniken, absolviert von Weltklasseskatern, wurde versucht zu beantworten, wie stark sich die Weltklasse dem Abstoßmodell hinsichtlich Körpergeometrie und Gestaltung des Kraftesinsatzes annähert und wie eine Idealtechnik detailliert beschrieben werden kann. Kernstück der Analyse war die Bestimmung der Richtung der resultierenden Abstoßkraft F_R und deren Zusammenhang mit idealtypischen Kraftverteilungen beim Abstoß. Als Kriterium der einerseits idealen Abstoßvorbereitung (Tiefgehen zum Aufbau der Muskeltension) und andererseits der idealen Abstoßbewegung (Abstoßstreckung) selbst, stellte sich Folgendes heraus: Weltklasseskater sind imstande, die Körperschwerpunktslage beim Beinabstoß derart zu regulieren, dass F_R stets in einem Winkel um 90° zum Ski wirkt (Seitenansicht). Eine Körpervorlage wird vermieden (vgl. Diagonalschritt). Eine relativ ausgeglichene Krafteinleitung zwischen Vorfuß und Ferse (Innenkante) bis hin zum Beginn einer seitwärtsgerichteten Sprunggelenkstreckung gegen Abstoßende charakterisiert die ideale Bewegungsregulation. Somit wird eine optimale Haftreibung/Verzahnung an der Skikante quer zur Gleitrichtung des Skis erzeugt (beim Diagonalschritt in Skilängsrichtung) und die aufgebrauchte Muskelkraft dort beinahe verlustfrei übertragen (vernachlässigbare horizontale Abstoßkräfte entgegen der Skigleitrichtung). Dieser Umstand gewährleistet eine effektive Beschleunigung des Systems Skater schräg nach vor in die neue Ausgleitrichtung.

Summary

The present generation of World Cup cross-country-skiers frequently shows an indistinct differentiation of the push off technique in skating and in classical style, although there are completely different push off conditions with regard to static friction. On the basis of relevant literature, a mechanical model for the ideal push off movement in skating was developed. A biomechanical analysis of four skating techniques, performed by world class skaters, should show, how close their movements come to the suggested model and how the ideal push off technique can be exactly described, especially with regard to the geometry of body segments (angles) and the structuring of the use of push off forces. Central element of the analysis was the calculation of the direction of the resultant push off force F_R and its correlation to a certain kind of force distribution at the sole of the foot during well performed push offs. As a criterion of an optimal preparation for the push off (bending hip-, knee- and ankle-joint with a stretching of the muscles) on the one hand and of the push off itself (extension of the joints) on the other hand, the following can be stated: World class skaters are able to keep the center of mass in a position, that F_R acts right-angled to the ski during the whole push off (side view). Forward lean

positions are prevented (compare to classical style). The ideal control of the whole movement is characterized by an equal force distribution between forefoot and heel (on the inside of the foot) till the extension of the ankle joint (sideways) is performed at the end of the push off. This produces an optimal static friction on the edge, crossways to the gliding direction of the ski (directed lengthways in diagonal stride) and the muscular strenght can be transferred to the edge without loss (horizontal push off forces lengthways the ski are prevented). This way the system skater is accelerated effektivly towards the the new gliding direction of the other ski.

1. Problem- und Aufgabenstellung

Analysiert man das technomotorische Leistungsniveau der jetzigen Generation von Weltcup-SkilangläuferInnen, so zeigen sich erstaunlicherweise relativ häufig Fehlerbilder verschiedenster Ausprägung im Bereich der Beinabstoßbewegung im Skating. Charakterisiert sind diese durch eine unklare Differenzierung der Abstoßtechnik des Skatingschrittes von der Abstoßtechnik beim Diagonalschritt in der Bewegungsausführung, obwohl bei beiden Techniken völlig unterschiedliche Abstoßbedingungen vorherrschen. Mögliche Ursachen dafür liegen einerseits darin, dass allgemein in der Trainingspraxis die Lauftechnik als leistungsbestimmender Faktor immer noch eher unterschätzt wird und speziell die Beinarbeit, der Hauptantriebsfaktor im Skatingzyklus, vielfach zu wenig spezifisch und sensibel entwickelt und dem Athleten einsichtig gemacht wird.

In der norwegischen Trainingspraxis lässt sich ein beginnender Trend zur verstärkten Berücksichtigung von Teilelementen der wesentlich älteren Eisschnelllauftechnik feststellen. Die etwas vernachlässigte Beinarbeit soll so wieder etwas mehr in den Mittelpunkt rücken und Synergien zum Eisschnelllauf sollen genutzt werden. Qualitative, verlaufsorientierte Aspekte der Idealtechnik Beinabstoß-Skating sind in der vorliegenden biomechanischen Skilanglauf-Literatur kaum behandelt (VITASALO u.a. 1997; SCHWIRTZ 1994; GREGORY / HUMPHREYS / STREET 1994; BOULAY / RUNDELL / KING 1995; SMITH / HEAGY 1994; STREET / GREGORY 1994; etc.). Somit steht kein gesichertes Bild einer Zieltechnik zur Verfügung, an dem sich Trainer und Athlet orientieren können und auf dessen Basis Trainingsmethodiken bzw. -übungen sinnvoll zu entwickeln sind. Die Eisschnelllauf-Fachliteratur hingegen beschäftigt sich teils detaillierter mit Fragen der Qualität einer optimalen Abstoßtechnik (INGEN SCHENAU u.a. 1996; ALLINGER / BOGERT 1997; KONING / GROOT / INGEN SCHENAU 1991; etc.).

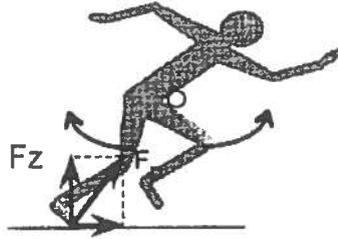
Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es nun, unter anderem auf der Basis vorhandener Literatur ein mechanisches Beinabstoßmodell-Skating zu entwickeln und dieses Modell mit Hilfe biomechanischer Analysen von Weltklasseskatern hinsichtlich Körpergeometrie und Gestaltung des Kräfteinsatzes abzusichern und detailliert zu beschreiben. Die Frage, wie stark, und wenn, auf welche Art und Weise der Bewegungsregulation sich die Skatingweltklasse dem entwickelten Modell nähert, bzw. welche trainingsmethodischen Folgerungen daraus gezogen werden können, sollte damit etwas näher erläutert werden.

2. Untersuchungsmethodik

2.1 Vorüberlegungen zum Abstoßmodell-Skating

Zur Differenzierung der Abstoßtechnik beim Diagonalschritt und beim Skatingschritt wurden folgende Charakteristika der Abstoßbedingungen festgehalten:

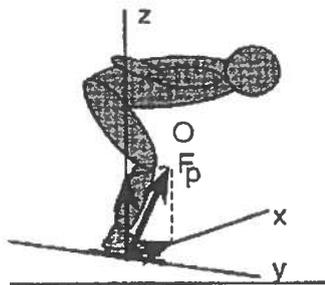
Diagonalschritt:



- Große Haftreibung an der flachen Skisohle in Skilängsrichtung \Rightarrow Beinabstoß gegen "fixen" Widerstand (Steigwachs) \Rightarrow
- Horizontale, vortriebswirksame Kraftkomponente (F_y) wirkt in der Ebene der Skilängsrichtung (Abb. 1).

Abb.1: Abstoß-Diagonal, Lauf oder Sprung (INGEN SCHENAU 1996, 532)

Skatingschritt:



- Große Haftreibung/optimale Verzahnung an der Kante in Skiquerrichtung bei geringer Gleitreibung in Skilängsrichtung \Rightarrow
- Horizontale, vortriebswirksame Kraftkomponente (F_x) wirkt quer zum ausgestellten Ski in die neue Ausgleitrichtung des anderen Skis bei deutlicher Gewichtsverlagerung zur Seite (Abb. 2)

Abb.2: Skating-Abstoß (INGEN SCHENAU 1996, 532)

2.2 Mechanisches Beinabstoßmodell-Skating

In der Phase der Abstoßvorbereitung, d.h. beim Tiefgehen zum Vorspannungsaufbau der gesamten Streckmuskulatur (vgl. vorgedehnte Zugfeder) und bei der gleichzeitig beginnenden Gewichtsverlagerung zur Seite, soll der Systemschwerpunkt (SSP) in der definierten Ebene [SSP, Skiende, Skispitze] stets normal über dem Fuß positioniert sein, um die Zentrallage bzw. Zentralposition (Abb. 3) im sicheren dynamischen Gleichgewicht (Vor/Rücklage) zu erreichen. Die resultierende Bodenreaktionskraft F_R kann demnach über die gesamte Beugephase in Hüft-, Knie- und Sprunggelenk in einem Winkel ϕ von ca. 90° zum Ski wirken (Abb. 3) und findet ihren Kraftangriffspunkt (KAP) aufgrund einer erwarteten gleichmäßigen Druckverteilung zwischen Vorfuß- und Fersebereich ca. in Fußmitte.

Während der gesamten Abstoßstreckung in den beteiligten Gelenken bei gleichzeitig zunehmender Gewichtsverlagerung zur anderen Seite ist die Körpergeometrie vom Läufer ebenfalls wieder derart zu gestalten, dass, reibungsbedingt und als Voraussetzung einer optimalen Kraftübertragung, die Wirkungslinie von F_R über die gesamte Phase in einem Winkel ϕ von ca. 90° zum Ski steht (Abb. 5-6), d.h. der Beinabstoß hat exakt seitlich zum ausgestellten Ski und nicht schräg nach hinten in Skilängsrichtung mit der Gefahr großer Verluste in der Kraftübertragung zu erfolgen. Dies ist aufgrund sich ständig ändernder Schnee- und Geländebedingungen sehr schwierig und kann echte Könner von anderen unterscheiden. Mit welcher Art der Bewegungsregulation Spitzenskater der formulierten Forderung gerecht werden, zeigen dann die Untersuchungsergebnisse. Anschließend an Hüft- und Kniestreckung (Hauptanteil der Abstoßstreckung) ist jedenfalls auch eine explosive Sprunggelenksstreckung zur Seite im Sinne eines „auf die Kante Drückens“ sinnvoll, was einen Gewinn an Abstoßweg und somit einen weiteren Vortriebsimpuls bedeutet (Abb. 6). Dafür ist sehr wenig Zeit zur Verfügung, umso schwieriger ist es bei noch ausreichendem Gegendruck vom Boden die Sprunggelenksstreckung explosiv im richtigen Augenblick zu setzen.

2.3 Untersuchungsdurchführung, -einrichtungen und -auswertung

Die dynamische Struktur des Beinabstoßes (Bodenreaktionskräfte normal zum Ski und Kraftangriffspunkt) wurde mit Hilfe von Druckverteilungsmesssohlen (50 Hz), dem Mobil-Pedar-System (Fa. Novel-gmbh) erhoben. Eine 3D-Videoanalyse mit zwei Videokameras (50 Hz), einem Passpunktsystem über ca. 100m (Zoomen/Schwenken), der Peak5- und Drenk-Software und diverser Synchronisationseinheiten brachte Informationen zur kinematischen Charakteristik des Beinabstoßes. Untersucht wurden vier

wesentliche Skatingtechniken an den vier besten Skatern des norwegischen Nationalteams (u.a. Thomas Alsgaard) im April 1997 auf der Seiseralm-Italien. Zur Beschreibung des Phänomens Beinabstoß wurden die Parameter Winkel F_R (SSP-KAP) zu Ski, der KAP, die Kraftverteilung am Fuß, etc. herangezogen. Der separat über die Sohlen gemessene KAP konnte nach dem abgebildeten Vektorschema in das kinematische Körpermodell im Peak5-System als eigenständiger Modellpunkt eingerechnet werden, wobei dafür die Momentfreiheit beim Skating in Skilängsrichtung (v. a. nach vor), bedingt durch das Bindungsgelenk, zur Gleichset-

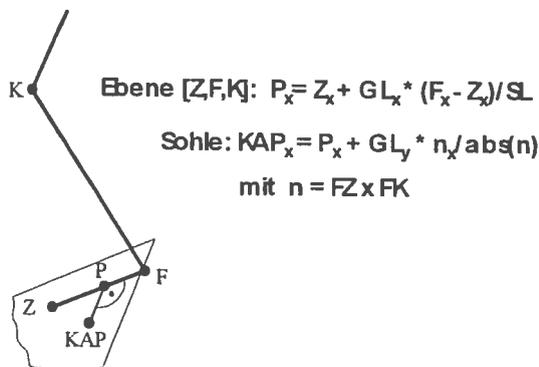
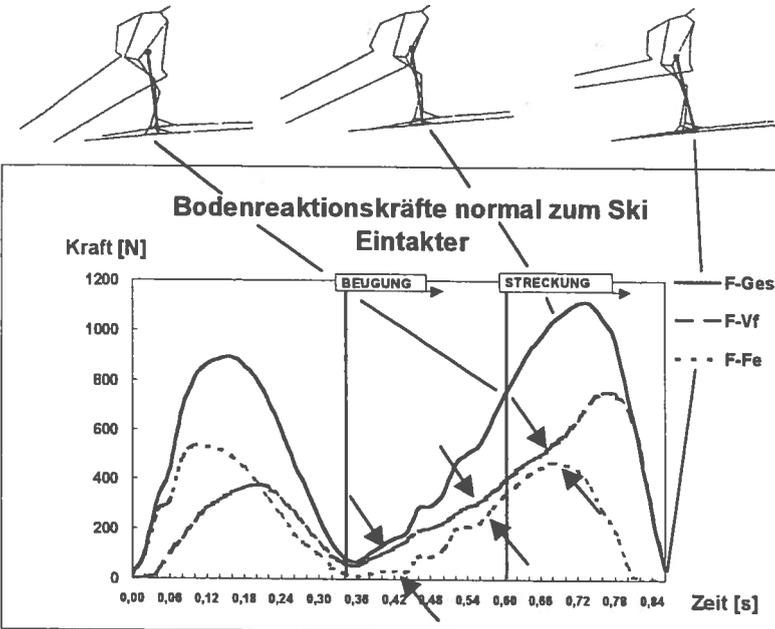


Abb. 7: 3D-Koordinatenberechnung KAP

zung von tatsächlichem und gemessenem KAP Voraussetzung war (Abb. 7). So konnte angenommen werden, dass sich der KAP von F_R keinesfalls außerhalb der Fußfläche platzieren wird, wie das z.B. bei einem Alpinskifahrer in Vorlage bei fixierter Ferse in der Bindung und somit leicht angehobenen Skienden vom Boden passieren könnte. Die Fußlänge konnte mit einer Genauigkeit von 1,5 cm ($\pm 0,3$) mittlerer Abweichung ($n=60$) von der realen Länge digitalisiert werden, was für die Genauigkeit der Berechnungen von entscheidender Wichtigkeit war.

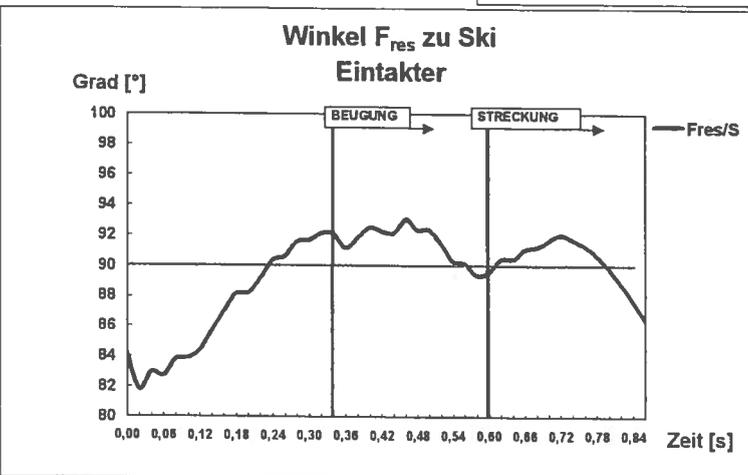
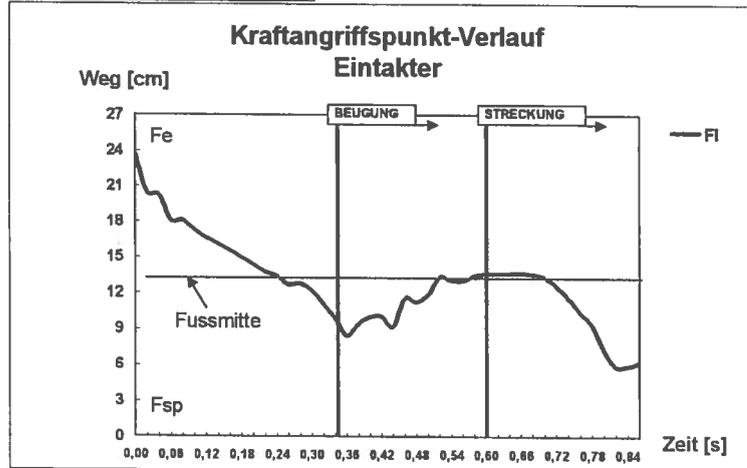
3. Untersuchungsergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden beispielhaft anhand der Lauftechniken Eintakter (Skatingschritt mit Stockschub auf jeden Beinabstoß) und Zweitakter mit betontem Armschwung (Skatingschritt mit Stockschub auf jeden zweiten Beinabstoß) erzielte Untersuchungsergebnisse dargestellt. Ähnliche Ergebnisse wurden bei allen Läufern auch bei anderen Skatingtechniken erzielt, am deutlichsten zeigte sich das erwartete Phänomen jedoch beim Eintakter. Die Abstoßvorbereitung mit der Beugung der beteiligten Gelenke (Vorspannung) zeigt eine deutliche Annäherung von Vorfuß- und Fersenkraft (F-Vf, F-Fe - Abb.8), ohne dass hier beide Teilkräfte je weit voneinander differieren. Fallweise verlaufen sie absolut gleichsinnig. Der



KAP bewegt sich mit zunehmender Beugung in Richtung Fußmitte (Abb.9). Der Winkel von F_R zum Ski bewegt sich in dieser Phase im Bereich zwischen 93° und 89° (Abb.10). Alle diese Parameter dokumentieren in ihrer Zusammenschau, dass der Athlet seine Körpergeometrie in der Abstoßvorbereitung insofern optimal regulieren

KAP bewegt sich mit zunehmender Beugung in Richtung Fußmitte (Abb.9). Der Winkel von F_R zum Ski bewegt sich in dieser Phase im Bereich zwischen 93° und 89° (Abb.10). Alle diese Parameter dokumentieren in ihrer Zusammenschau, dass der Athlet seine Körpergeometrie in der Abstoßvorbereitung insofern optimal regulieren



kann, dass er trotz Gleitphase auf unregelmäßigem Untergrund und der beginnenden Gewichtsverlagerung zur Seite die Zentralposition erreicht (Tiefgehen), ohne in Vor- oder Rücklageprobleme zu geraten. Der Winkel von F_R zum Ski belegt dies am eindrucksvollsten (Abb.10). Bei einem guten Klassikabstoß wäre hier eine starke Vorlage zu erwarten. F_R wirkt also normal zur Skioberfläche, d.h. der SSP befindet sich in der definierten

Abb. 8-10: Kraftverteilung (8) , Kraftangriffspunkt (9), und die Richtung von F_R zum Ski (10) beim Beinabstoß Eintakter

Ebene normal über dem Fuß (KAP in Fußmitte). Die Voraussetzungen für einen effektiven Abstoß aus der Zentralposition sind somit gegeben. In etwa der ersten Hälfte der Abstoßstreckung oder manchmal auch darüber hinaus, verteilt der Läufer die Kraft an der Fußinnenkante wiederum sehr gleichmäßig (Abb.8) und der KAP wird in Fußmitte gehalten (Abb. 9). F_R wirkt gleichzeitig immer im optimalen Bereich um 90° zum Ski (Abb.10). Die Dauer der relativ ausgeglichenen Kraftverteilung an Ferse und Vorfuß reicht bei einzelnen Athleten beinahe bis zum Ende der Abstoßstreckung, was auf eine weniger deutlich ausgeprägte Sprunggelenksstreckung hinweist, bei der die Ferse kaum und eben auch später angehoben wird (Abb.11). Zum Teil wird hierbei auch über die Ferse etwas mehr Kraft eingeleitet als über den Vorfuß (Abb.11), die Wirkungsrichtung der Abstoßkraft bleibt jedoch im optimalen Bereich. Ein wesentlicher Teil des Abstoßes erfolgt also von der gesamten Fußinnenkante bei ausgeglichener Körperlage des Läufers exakt seitlich zum ausfahrenden, aufgekanteten Ski (um 90° Abstoßwinkel). Das Kraftmaximum der Gesamt-Bodenreaktions-Kraft normal zum Ski wird etwa mit Ende dieser Streckphase (Kniewinkel im Schnitt bei etwa 130°) bzw. mit Beginn der Sprunggelenksstreckung (fließen der Übergang) erreicht (Abb. 8; Abb. 11).

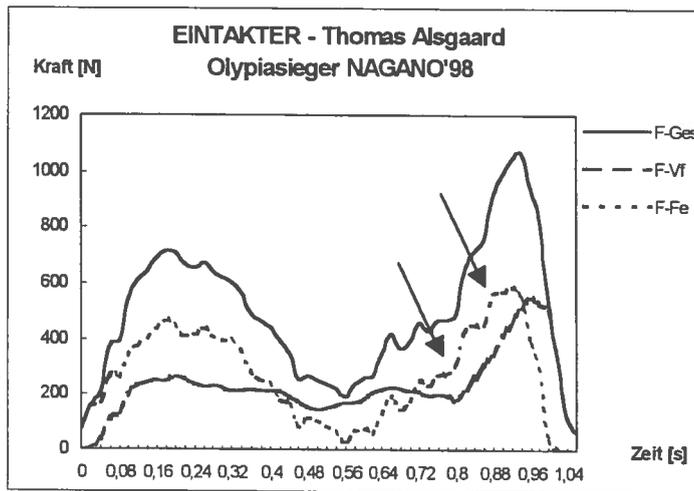


Abb.11: Mögliche Kraftverteilung (normale Bodenreaktionskräfte) beim Beinabstoß

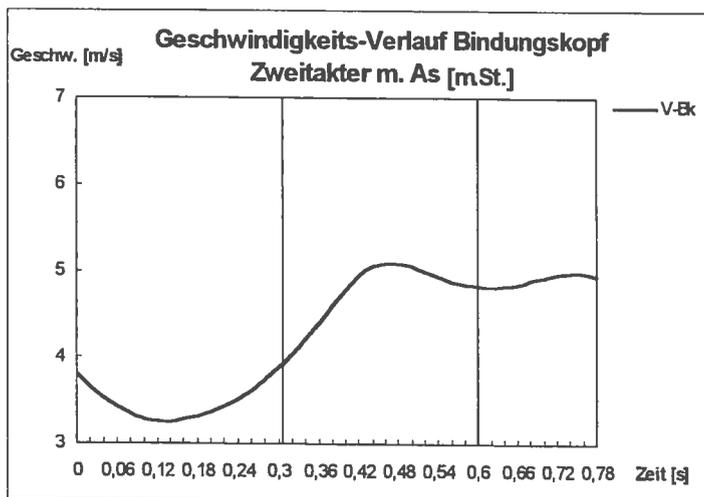


Abb. 12: Geschwindigkeits-Verlauf Bindungskopf in Skigleitrichtung

Ein exemplarischer Geschwindigkeitsverlauf des Bindungskopfes beim Zweitakter mit Armschwung (stockunterstützte Seite) macht deutlich, wie Weltklasseskater hier die Gleitgeschwindigkeit des Skis und somit ihre Körpergeometrie während des Abstoßes regulieren und anpassen, trotz unregelmäßiger Spur- bzw. Reibungsverhältnisse (Abb. 12).

Die Bedeutung der Sprunggelenksstreckung zur Vortriebserzeugung ist bei bestehendem Ski-, Schuh- und Bindungsmaterial nicht zu überschätzen. Spurbilder beim Skating mit herkömmlichen Skiern zeigen, wie der Ski während des Abstoßes, vor allem gegen Ende, von der optimalen Fahrlinie nach außen abdriftet, entgegengesetzt der Bewegungsrichtung des KSP's. Es entsteht das Gefühl, der Abstoß ginge beinahe ins Leere. Es kann nicht mehr genügend Gegendruck aufgebaut werden. Mit taillierten Skatingskiern hingegen lassen sich - ähnlich wie auch beim Eisschnelllauf - Skatingspuren beobachten, die zeigen, dass der Ski durch die in der aufgekanteten Situation wirksame Taillierung wieder etwas zum Läufer hinfährt bzw. zumindest eine geradlinige Fahrlinie beschreibt. Der Beinabstoß wird dadurch voraussichtlich vor allem im letzten Abschnitt der Sprunggelenksstreckung effektiver, denn die eingesetzte Muskelkraft kann länger wirken und mehr Massenträgheit für den Abstoß steht so zur Verfügung.

Die diagnostizierten, charakteristischen Kraftverteilungen bzw. KAP-Verläufe der Spitzenskater zeigen deutliche Zusammenhänge mit der optimalen Regulation der Körpergeometrie, d.h. mit dem Winkel von F_R zum Ski im Bereich von 90° , als ein Kriterium einer effektiven Kraftübertragung unter gegebenen Abstoßbedingungen. Erhobene Idealbilder können so als Basis für das Techniktraining im Sinne eines Feedbacktrainings z.B. mit Druckverteilungsmesssohlen herangezogen werden, was für die Trainingspraxis von entscheidender Bedeutung ist. Trainingsmethodiken und -übungen können aufgrund vorliegender Ergebnisse für die praktische Anwendung entwickelt werden.

Literatur:

- ALLINGER, T.L./BOGERT, A.J. van den.: Skating technique for the straights, based on the optimization of a simulation model. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 11 (1997), 4, 279-286
- BOULAY, M.R./RUNDELL K.W./KING, D.L.: Effect of slope variation and skating technique on velocity in cross-country skiing. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27 (1995), 2, 281-287
- INGEN SCHENAU, G.J. VAN/GROOT, G. DE/ SCHEURS, A.W. u.a.: A new skate allowing powerful plantar flexions improves performance. In: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28 (1996), 4, 531-535

(restliche Literatur beim Autor)