

# Vergleichbarkeitsanalyse der technischen Bewegungsabläufe im Langlauf auf dem Laufband mit der Lauftechnik auf Skirollern im Gelände

(AZ 072034/16-17)

Ansgar Schwirtz

Technische Universität München

## 1 Einleitung

Großraumlaufbänder sind ein fester Bestandteil in der Betreuung von Skilanglauf- oder Biathlon-Spitzensportlern bzw. -sportlerinnen. Neben dem Einsatz in der physiologischen Leistungsdiagnostik, werden auch zunehmend technikspezifische Maßnahmen auf Basis von subjektiven sowie videobasierten Analysen durchgeführt. Eine Frage, die sich durch den steigenden Einsatz von Großraumlaufbändern ergibt, ist, ob erworbene technische Fertigkeiten vom Laufband direkt auf das Laufen im Feld übertragbar sind.

Mechanisch lässt sich der Unterschied sehr leicht daran festmachen, dass bei einer Bewegung auf dem Laufband der Boden nicht fixiert ist, sondern unter den Füßen weggezogen wird. Demgegenüber ist bei einer natürlichen Fortbewegung der Boden fixiert und es muss ein aktiver Vortrieb erzeugt werden. Daraus abgeleitet lassen sich Fragen und Problemstellungen zum direkten Übertrag von Bewegungsparametern und Lauftechnikbewertung hinterfragen.

In der wissenschaftlichen Literatur, welche sich mit Biathlon oder Skilanglauf beschäftigt, überwiegen Messungen auf dem Großlaufband (Sandbakk, Leirdal, & Ettema, 2015; Stöggl & Holmberg, 2015). Dies ist hauptsächlich damit zu begründen, dass Indoor-Messungen ein hohes Maß an Standardisierung mit sich bringen. Durch eine Evaluierung zwischen der Lauftechnik auf dem Laufband und einer Feldmessung, soll ein Wissenstransfer auf Trainer und Athleten als finales Ziel erfolgen.

## 2 Methoden

### 2.1 Athleteninnen und Athleten

Von den ursprünglich anvisierten 15 Probanden bestehend aus Damen und Herren aus den Sportarten Biathlon sowie Langlauf nahmen schlussendlich 36 Athleten (♂19, ♀17) an den Indoor-Messungen teil. Das Teilnehmerfeld bestand aus Hochleistungssportlern (u. a. Olympiasieger) und reichte bis hin zu hoffnungsvollen Nachwuchstalenten.

An den Outdoormessungen (Abb.2) konnte trotz erheblicher zeitlicher Präsenz von insgesamt drei Wochen (KW 22, KW 26, KW 31) nur ein Athlet vermessen werden. Der Grund hierfür lag in der Unbeständigkeit des Wetters und der empfindlichen Messtechnik. Auf Grund von Lehrgangsplanung und Trainingsschwerpunkten, war es zudem nicht möglich, weitere Termine für Messungen zu finden.

### 2.2 Protokoll

Vor der Indoor- sowie Outdoormessung wurden die Athleten und Athletinnen mit dem verwendeten Messequipment ausgestattet und führten ein kurzes Aufwärmen auf dem Laufband oder der Rollerstrecke durch. Insgesamt wurden zwei verschiedene Technikvarianten der Skatingtechnik gelaufen und in diesem Bericht auf die 1:1 Technik (ein Stockeinsatz auf jeden Beinabstoß) reduziert.

**Indoor:** Bei der 1:1 Technik hatte das Laufband eine Steigung von 6 %. Die Geschwindigkeit bei den weiblichen Teilnehmern betrug 5 m/s, währenddessen die Männer mit 6 m/s liefen. Die Teiltechnik wurde etwa 5 Minuten am Stück

gelaufen, wobei in diesem Zeitraum 2 Messungen mit mind. 10 vollständigen Zyklen aufgezeichnet wurden.

**Outdoor:** Für die Outdoormessung wurde ein 15 x 3m großes Teilstück auf der Rollerbahn mit 22 Infrarotkameras + 1 High-Speed Kamera (Vicon Motion Systems, UK) umstellt.

Parameter wurden auf das Körpergewicht normalisiert und werden als Mittelwert aus 10 aufeinander folgenden Zyklen dargestellt. Pearson Korrelationen dienen der Identifikation von Beziehungen zwischen den kinetischen und kinematischen Variablen ( $\alpha < 0.05$ ).

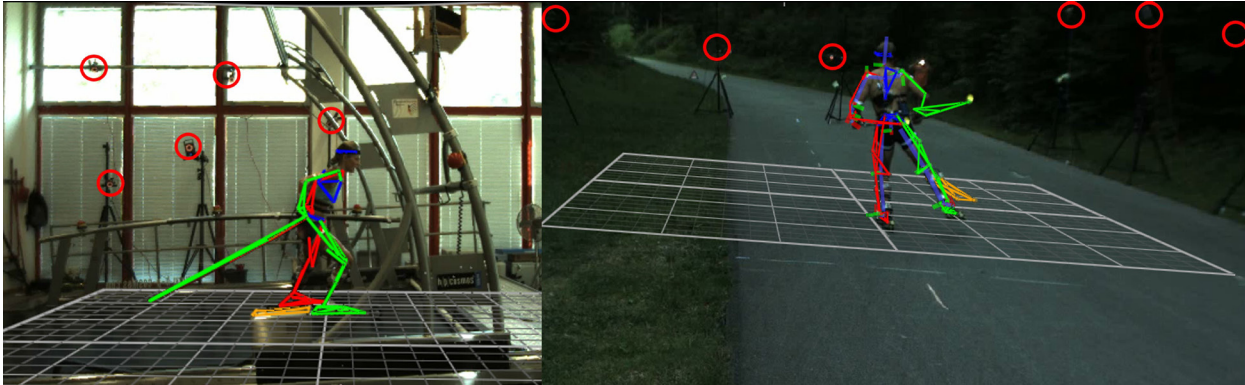


Abb. 1: Indoor (links) und Outdoor (rechts) Messung mit Überlagerung von Videobild und biomechanischer Modellierung auf Basis von 3d-Bewegungsanalyse (rote Kreise).

## 2.3 Messmethoden

Die Druckverteilung im Schuh wurden mittels Druckmesssohlen gemessen (100 Hz, Pedar, Novel GmbH, GER), welche die Ergebnisse direkt kabellos an den Computer sendeten (Indoor) oder auf einem Daten-Logger speicherten (Outdoor). Stockkräfte wurden auf einem Daten-Logger gespeichert (1600 Hz), welchen der Athlet in einer Hüfttasche trug. Zur Messung der 3D Kinematik wurden insgesamt 24 Infrarot-Kameras (Vicon Motion Systems, UK) eingesetzt (200 Hz), um auf Basis eines modifizierten Plugin Gait Marker models, die Bewegungen der Athleten und Athletinnen zu analysieren. Zusätzlich wurden jeweils 3 Marker auf den Skirollern sowie den Stöcken angebracht.

## 2.4 Messparameter und Statistik

Im Bereich der kinetischen Parameter für den Unter- und Oberkörper wurden der Impuls, die maximale Kraft und Kontaktzeit berechnet. Die Teilkomponente der vertikalen Stockkraft und vortriebswirksame Kraft wurde aus der Kombination des Skistockwinkels relativ zur Ebene des Laufbandes unter Zuhilfenahme der kinematischen Daten berechnet. Alle kinetischen

## 3 Kinematische und kinetische Ergebnisse: Indoor 1:1 Technik

Der vortriebswirksame Anteil des Stocksches lag bei den Männern bei 53 % und bei den Frauen bei 50 %, und korrelierte negativ mit dem Einstechwinkel des Stocks (Frauen  $r = -0.62$ , Männer  $r = -0.82$ ,  $p < 0.05$ ). Die Zyklusdauer korrelierte in beiden Gruppen mit der Fußkontaktzeit (Männer  $r = 0.75$ , Frauen  $r = 0.79$ ,  $p < 0.05$ ) sowie der Stockkontaktzeit (Männer  $r = 0.80$ , Frauen  $r = 0.90$ ,  $p < 0.05$ ) auf. Bei den Frauen korrelierte zusätzlich der Bewegungsumfang von Sprunggelenk, Knie und Hüfte mit dem Impuls der vortriebswirksamen Kraft ( $F_{prop}$ ) ( $r = -0.60$ ,  $r = -0.64$ ,  $r = -0.62$ ,  $p < 0.05$ ) und dem  $F_{prop}$  Maximalwert ( $r = -0.60$ ,  $r = -0.74$ ,  $r = -0.66$ ,  $p < 0.05$ ). Die Gleitzeit korrelierte mit dem vortriebswirksamen Impuls bei beiden Geschlechtern (Frauen  $r = 0.61$ , Männer  $r = 0.55$ ,  $p < 0.05$ ). Es fanden sich keine Korrelationen zwischen den kinetischen Parametern von Ober- und Unterkörper, mit der Ausnahme des Abdruckimpulses und dem Maximalwert von  $F_{prop}$  bei den Männern ( $r = 0.62$ ,  $p < 0.05$ ).

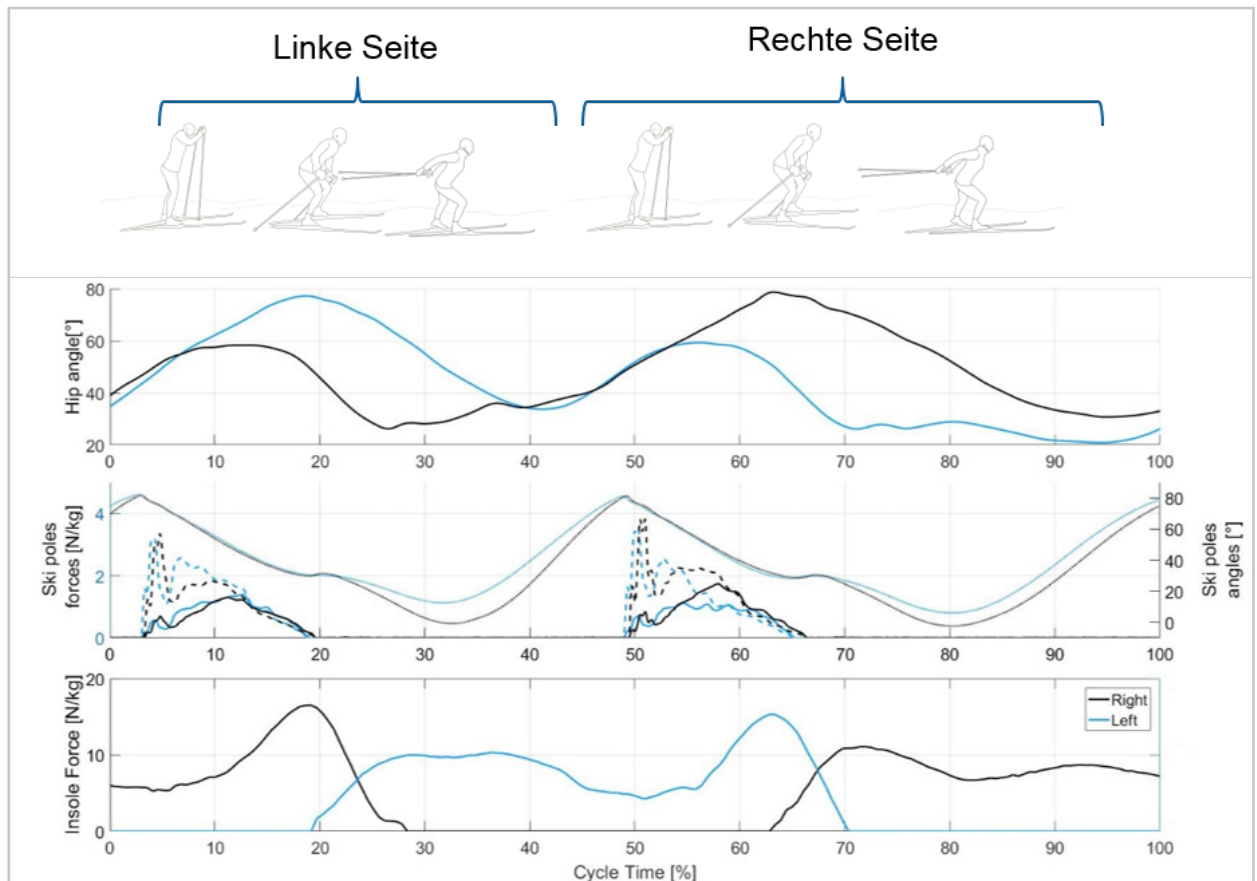


Abb. 2: Skating-Zyklus in der 1:1 Technik. Schwarz: Rechte Körperseite. Blau: Linke Körperseite. Oben: Hüftwinkel (Flexion – Extension). Mitte: Vertikale (gepunktete Linie) und vortriebswirksame Skistockkraft (durchgezogene Linie); Skistockwinkel in Sagittalebene (durchgezogene Linie, rechte Y-Achse). Unten: Kraft-Verlauf der aus Druckmesssohlen.

## 4 Diskussion

Indoormessungen wurden genutzt, um besser zu verstehen, wie kinematische und kinetische Parameter zusammenhängen und beispielsweise die Effektivität des Stockeinsatzes hinsichtlich der vortriebswirksamen Kräfte bei der 1:1 Technik beeinflussen. Die Ergebnisse zeigten bei einer Laufbandsteigung von 6 % eine Effektivität des Skistockeinsatzes von 52 % bei den Männern und 50 % bei den Frauen. Die Effektivität des Skistockeinsatzes korrelierte am höchsten mit dem dazugehörigen Winkel und der maximalen Stockkraft unabhängig vom Geschlecht. Folglich kann der vortriebswirksame Anteil der Stockkräfte durch die Verringerung des Winkels in der Sagittalebene gesteigert werden (Pellegrini, Bortolan, & Schena, 2011).

Stöggel und Holmberg (2015) konnten zeigen, dass eine Reduktion von Fuß und Stockkontakt-

zeit zu einer Erhöhung der vortriebswirksamen Kraft und Frequenz in der Technik 2:1 führt. Dies könnte auch bei der 1:1 Technik der Fall sein, da der Impuls der vortriebswirksamen Kraft sowie die Fuß- als auch Stockkontaktzeit mit Zyklusparametern wie z. B. der Gleitzeit korrelieren. Zusammenfassend konnte in dieser Studie gezeigt werden, dass eine der Haupteinflusskomponenten für die Effektivität des Skistockeinsatzes der Winkel zwischen dem Skistock und dem Untergrund ist. Eine gesteigerte Effektivität korreliert zusätzlich positiv mit der Gleitzeit der beteiligten Athleten und kann somit einen Beitrag für eine gesteigerte Laufökonomie leisten.

Auf Grund der Wetterbedingungen konnte nur ein Athlet Indoor sowie Outdoor vermessen werden. Daraus resultierend erfolgte eine deskriptive Gegenüberstellung der beiden Bedingungen anhand von ausgewählten Parametern in der 1:1 Technik. Dabei zeigten sich

hinsichtlich der kinematischen Ergebnisse nur marginale Unterschiede. Einzig der Bewegungsumfang der rechten Hüfte zeigte mit  $13,5^\circ$  Differenz eine größere Abweichung. Im Bereich des Sprunggelenks zeigten sich sowohl im minimalen als auch maximalen Winkel Differenzen von bis zu  $4,5^\circ$ . Folglich war die Plantarflexion (rechts) des Athleten größer im Vergleich von Indoor zu Outdoor, woraus sich schließlich auch die Unterschiede im Bewegungsumfang des Sprunggelenks (rechts) erklären. Im Bereich des Kniegelenks zeigte sich in der maximalen Kniestreckung rechts ein Unterschied von  $5^\circ$ . In Kombination mit einer reduzierten Abstoßzeit weist dies möglicherweise auf einen leicht dynamischeren Laufstil Outdoor hin. Im Bereich des Beinabstoßimpulses (Gleitbein-Aufsatz bis Ende Beinabdruck) zeigte sich ein Unterschied von  $133,9 \text{ N*s}$  (rechts). Eine mögliche Erklärung hierfür bietet die geringere Kontaktzeit von  $0,2 \text{ s}$  im Vergleich von Outdoor zu Indoor. Der alleinige Beinabdruckimpuls hingegen war Indoor und Outdoor ähnlich. Das Gleiche gilt für die Beinabdruckzeit.

Im Bereich des Skistocks war der aufgebrachte Impuls von der linken und rechten Seite nahezu identisch. Das gleiche gilt für die Kontaktzeit und Erholungszeit, sowie die Zyklusdauer und Frequenz. Somit herrscht eine große Vergleichbarkeit zwischen Indoor und Outdoor Stocktechnik. Lediglich die Maximalkraft war auf Rollern im Feld um bis zu  $83 \text{ N}$  höher als Indoor. Dies könnte zum einen an dem veränderteren Untergrund liegen (Teer vs. dämpfendem Laufbandbelag), aber auch das Resultat einer durch Training hervorgerufenen Verbesserung im Bereich der Stockkraft sein.

Aufgrund der Einzelfallanalyse lassen sich diese Ergebnisse der kinematischen und kinetischen Untersuchung jedoch nicht weiter interpretieren noch verallgemeinern.

## 5 Literatur

- Pellegrini, B., Bortolan, L., & Schena, F. (2011). Poling force analysis in diagonal stride at different grades in cross country skiers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21 (4), 589–597. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01071.x>
- Sandbakk, Ø., Leirdal, S., & Ettema, G. (2015). The physiological and biomechanical differences between double poling and G3 skating in world class cross-country skiers. *European journal of applied physiology*, 115 (3), 483–487. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-3039-y>
- Stöggl, T., & Holmberg, H.-C. (2015). Three-dimensional Force and Kinematic Interactions in V1 Skating at High Speeds. *Medicine and science in sports and exercise*, 47 (6), 1232–1242. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000510>