

Entwicklung von leistungsdiagnostischen Methoden im Langlauf der Sitzschlittenfahrerinnen und -fahrer

(AZ 080402/11)

Veit Wank¹ (Projektleiter), Hendrik Heger¹, Michael Schwarz¹,
Walter Rapp², Florian Blab³ & Oliver Schwarz³

¹Universität Tübingen, Institut für Sportwissenschaft

²Medizinische Universitätsklinik Tübingen, Abt. Sportmedizin

³Fraunhofer IPA Stuttgart

Problemstellung

Aufgrund des zunehmenden öffentlichen Interesses an Wettbewerben körperlich gehandicapter Sportlerinnen und Sportler haben viele Nationen in den letzten Jahren verstärkt Anstrengungen unternommen, um bei Weltcups im Behindertensport sowie bei den Paralympics erfolgreich zu sein. Dies hat auch in den Disziplinen des nordischen Skisports zu einer hohen Leistungsdichte geführt, so dass es immer aufwendiger wird, im Spitzenbereich mitzuhalten. Mit dem hier beschriebenen Projekt sollte ein Beitrag geleistet werden, um speziell Sitzschlittenfahrerinnen und -fahrer, deren Antrieb fast durchgängig mit Doppelstockschüben erfolgt, bei der Leistungsdiagnostik im Hinblick auf die Optimierung der Schubtechnik zu unterstützen.

Aufgrund der unterschiedlichen Handicaps der Athletinnen bzw. Athleten sind Schlittenkonstruktion und Sitzposition und damit die genutzte Schubtechnik sehr individuell ausgeprägt. Die Qualität des Doppelstockschubs kann daher nur bedingt anhand von ausschließlich kinematischen Parametern beurteilt werden. Im Mittelpunkt der hier verfolgten Strategie stand daher vor allem die Erfassung, Analyse und Bewertung der effektiven Antriebskräfte in Bezug auf die beim Stockschieben wirkenden Gesamtkräfte, um zu erfahren, wie viel Prozent der aufgewandten Kraft in den Vortrieb einfließen. Dazu werden Informationen über die Axialkräfte der Stöcke und die Lage der Stockachse im Zeitverlauf benötigt. Im Gegensatz zum Skilanglauf, bei dem die Beine maßgeblich zum Antrieb beitragen, lässt sich beim Sitzskilauf die Effizienz der Bewegungstechnik anhand von Stockkraft- und Stocklageanalysen nahezu vollständig erklären.

Die recherchierte Literatur zur Bewegungsanalyse und zu Technikmodellen im Sitzskilauf belegt, dass bislang nur wenige Untersuchungen zu diesem Thema existieren. Nach unserer Erkenntnis untersuchten lediglich Hillebrecht et al. (1999) den Einfluss von Stockkräften, um die Stocklänge im Sitzskilauf individuell zu optimieren. Außerhalb des Behindertenleistungssports gibt es mehrere Studien, die mit unterschiedlichen methodischen Ansätzen versuchen, Stockkräfte zu erfassen (Komi 1987; Schwirtz 1993; Vähäsöyrinki et al. 2008; Claus & Herrmann 2007). Diese Arbeiten machen jedoch deutlich, dass für ein routinetaugliches Messverfahren zwei Probleme gelöst werden müssen. Zum einen gewinnen die gemessenen Zeitverläufe der axialen Stockschiebkräfte erst an Bedeutung, wenn synchron dazu Informationen über die Krafrichtung (Stocklage) vorliegen. Diese wurde bislang mit

Hilfe von Videobildern abgeschätzt. Die Aufnahmen erfolgten entweder stationär über einen kleinen Raum von der Seite oder mit mobiler Kamera aus der Front- oder Rückenperspektive. Zum anderen war das Gewicht der Sensoren inklusive Messelektronik am Stock bei bisherigen Prototypen von Sensorstöcken verhältnismäßig hoch und zudem oft weit distal am Stock angebracht. Dies hatte erhebliche Auswirkungen auf die Pendelträgheit der Stöcke und beeinflusste somit deren Schwingverhalten nachhaltig.

Ziel dieses Projekts war es, ein Messsystem zu entwickeln, mit dem zunächst für Bewegungsanalysen auf stationären Skiroller-Laufbändern Stockkräfte in Kombination mit Stockwinkeln beim Sitzskilaufen erfasst und zeitnah ausgewertet werden können. Das verwendete Messequipment sollte dabei möglichst wenig Rückwirkungen auf die Bewegungstechnik der Sitzskiläuferinnen bzw. -läufer haben. Das bedeutet reduziertes Gewicht und vor allem reduzierte Massenträgheit im Vergleich zu bisherigen Entwicklungen.

Methode

Im Rahmen dieses Projekts wurde ein Messplatz zur Analyse der Technik beim Sitzskilauf entwickelt. Die Messungen sind beim derzeitigen Entwicklungsstand kabelgebunden und können daher nur unter stationären Bedingungen auf einem Laufband angewandt werden. Die Evaluation und Anwendung der Analysemethode erfolgte im Rahmen von Kaderlehrgängen der Sitzschlittenfahrerinnen bzw. -fahrer des DBS (Deutscher Behindertensportverband) auf einem Rollskilaufband am Stützpunkt Oberhof (OSP Thüringen). Kernbestandteil des Messplatzes waren neu entwickelte Sensorstöcke, mit denen die Axialkräfte und die Achsenlage der Stöcke im Zeitverlauf erfasst werden können. Ein fundiertes Feedback an Athletinnen und Athleten bzw. Trainerinnen und Trainer erfolgte durch die Veranschaulichung der Krafrichtungsvektoren anhand deren Einblendung in synchronisierte Hochgeschwindigkeits-Videobilder (100 Bilder/s, Basler 601f, 656 x 490 Pixel).

Zur Messung der axialen Stockkräfte und der Stockwinkel wurden die Skistöcke mit einem in Zusammenarbeit mit der Fa. Velomat (Kamenz) entwickelten DMS-Miniatur-Kraftsensor sowie mit einer Inertialsystem-Einheit (IMU, Fa. Vectornav, USA) instrumentiert (Abb. 1). Um die Pendelträgheit der Stöcke möglichst wenig zu beeinflussen, wurden die Kraftsensoren im Griff integriert. Die zusätzliche Masse am Stockgriff betrug insgesamt ca. 200 g.

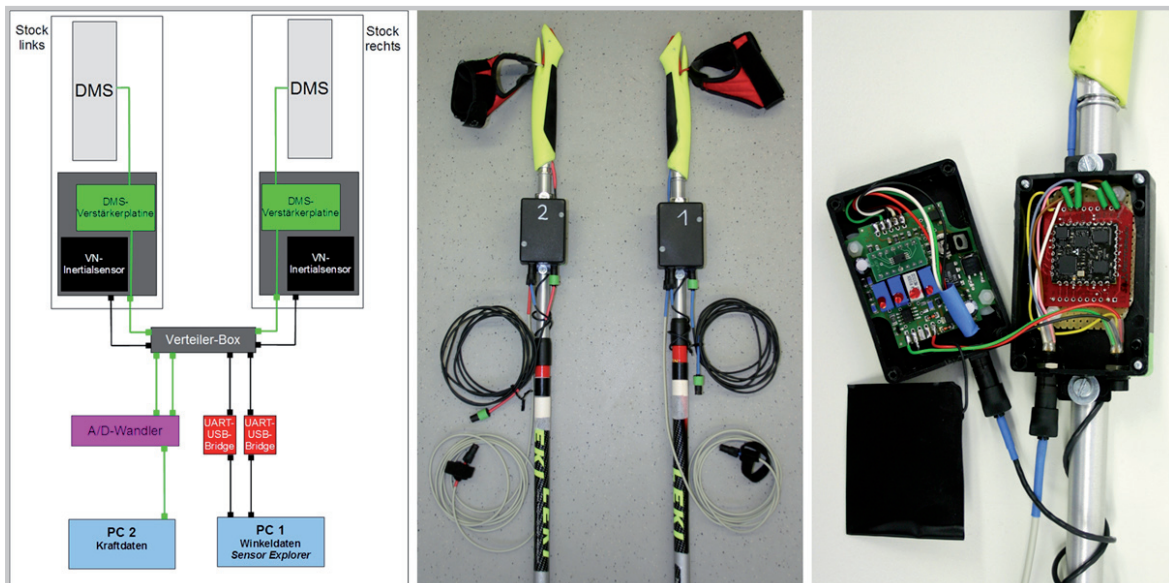


Abb. 1. Schematische Darstellung der verwendeten Messsysteme mit Datenerfassung (links), Sensorstöcke mit im Griff integrierten Kraftaufnehmern (Mitte) sowie Gehäuse mit DMS-Verstärker und IMU, das nahe am Griff montiert war (rechts).

Die Messelektronik (DMS-Verstärker und IMU) war nahe am Griff in einem Kunststoffgehäuse untergebracht. Stromversorgung und Sensordatenableitung erfolgte vom Stock über ein Kabel zum Verteiler am Sitzschlitten. Von dort gingen die analogen Signale der Kraftsensoren sowie die Digitalsignale der beiden IMU per Kabel zu den Auswerterechnern. Die parallel aufgenommenen Videobilder von der linken und rechten Seitenansicht wurden über FireWire auf Festplatte gespeichert. Quarzgesteuerte TTL-Impulse mit einer Frequenz von 100 Hz lieferten den Takt für die Videobilder. Zur zeitsynchronen Zuordnung von Kraft-, und IMU-Messdaten zu den Videobildphasen wurden die Bildwechselimpulse parallel zu den analogen Kraftdaten mit einer Samplerate von 1000 Hz aufgezeichnet.

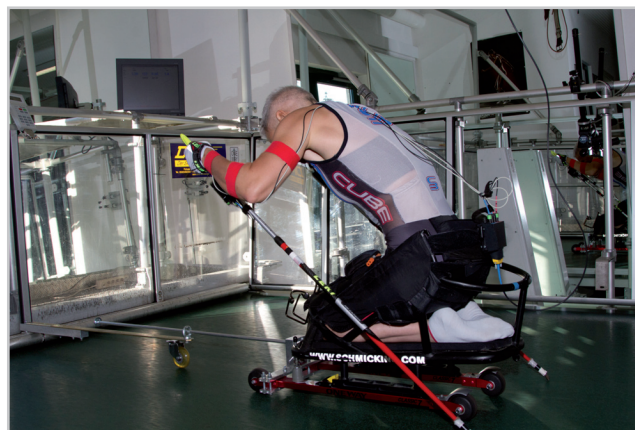


Abb. 2. Leistungsdiagnostik im Sitzskilauf auf dem Laufband mit Hilfe von Sensorstöcken zur Erfassung der axialen Stockkräfte sowie der Stocklage (Kraftrichtung).

Die IMU erfasste die Größen Magnetfeld, Drehrate und Achsenbeschleunigung jeweils für alle drei Raumkomponenten mit einer Frequenz von 200 Hz. Aus diesen zum Teil redundanten Informationen wurde mittels Kalman-Filter die Orientierung des Skistocks im Raum in Quaternionen bzw. in Euler-Winkelkoordinaten bestimmt. Als Referenz für die Lagewinkel der Stöcke diente eine Startpose, bei der die Stöcke senkrecht am Boden standen. Die IMU war dabei auf die Sagittalebene ausgerichtet.

Ergebnisse und Diskussion

Die hier dargelegten Ergebnisse belegen, dass die Daten der Sensorstöcke aufschlussreiche Informationen zur Effektivität des Doppelstockschubs und zur Zweckmäßigkeit der individuellen Schubtechnik liefern. Die Erfassung der Stockkräfte verlief auch unter verschiedenen Randbedingungen zuverlässig. Die Bestimmung der Stockwinkel war dagegen nur bei Schüben mit niedriger bis mittlerer Frequenz stabil. Bei stark beschleunigenden oder hoch dynamischen Stockeinsätzen drifteten die bestimmten Stockwinkel oftmals ab. Aufgrund der Bewegungsdynamik und der Messung im Labor (Gebäude) können die Beschleunigungswerte und die Magnetensordaten der IMU kaum für die Berechnung der Raumlage der Stöcke verwendet werden. Somit bleibt in den meisten Phasen eines Schubzyklus nur die Integration von Drehraten zur Lagebestimmung übrig. Variationen der Wichtungparameter für die verschiedenen Messdaten der IMU ergaben ebenfalls, dass zur Berechnung der Stockorientierung mittels Kalman-Filter für die hier vorliegende Bewegung vor allem die Drehraten genutzt werden. Die Integration von Winkelgeschwindigkeiten ist allerdings beim Messen über längere Zeiträume mit Driften verbunden, wenn keine Zusatzinformationen in die Kalkulation einfließen. Die bislang verwendeten Algorithmen basieren nur auf Kalman-Filterung. Perspektivisch sollen deshalb auch bekannte Randbedingungen wie Bewegungsumkehrpunkte oder Grenzwerte für Stockaufsatz- bzw. Endwinkel in die Berechnung der Lagewinkel der Stöcke einfließen. Auf diese Weise kann die Stabilität und Zuverlässigkeit der Ergebnisse erhöht werden.

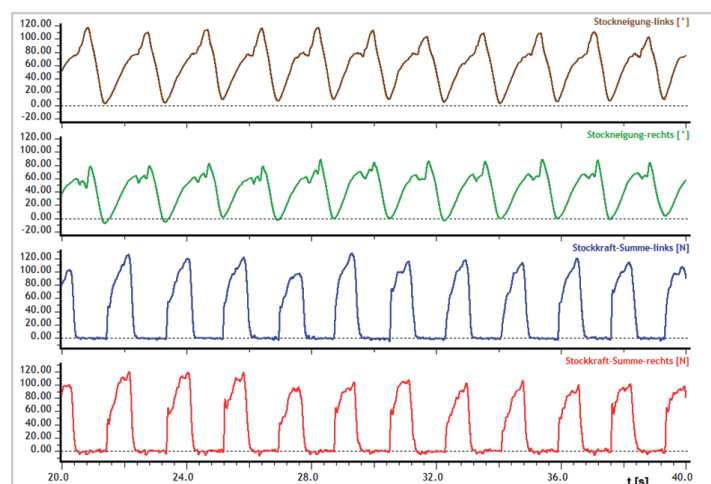


Abb. 3. Typisches Messergebnis der axialen Stockkräfte und der Stockneigung bezüglich der Senkrechten in der Sagittalebene (linke und rechte Seite).

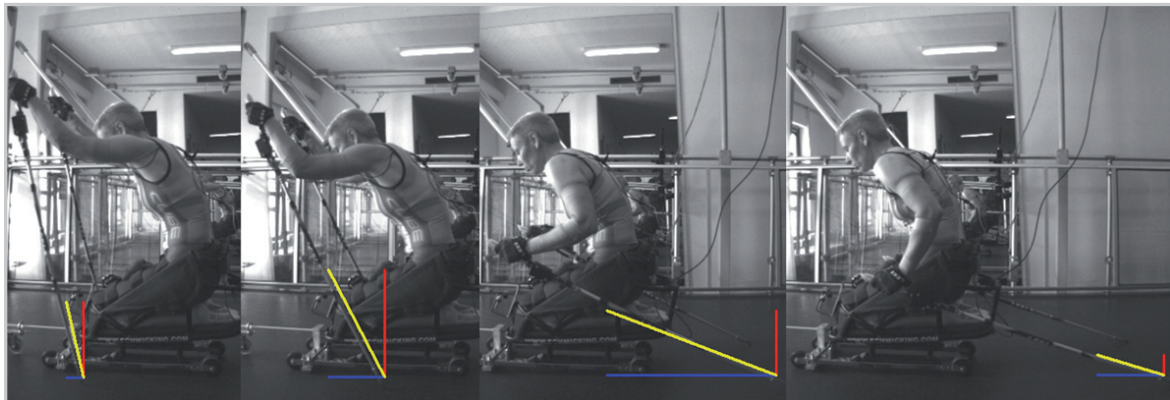


Abb. 4. Exemplarische Veranschaulichung der Krafrichtungsvektoren in ausgewählten Phasen des Stockschubs.

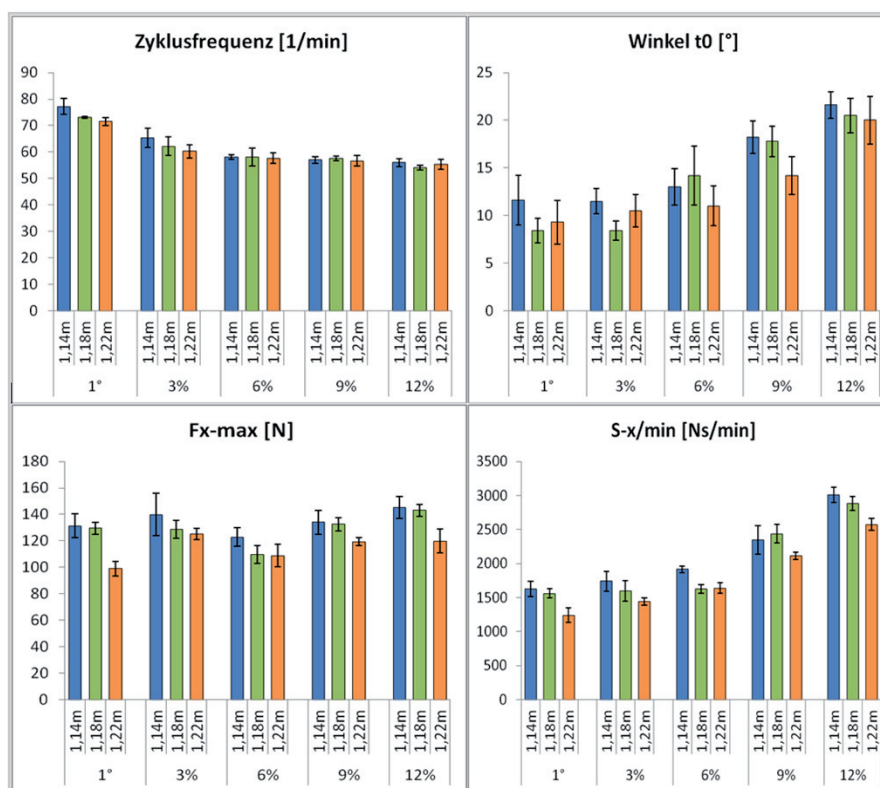


Abb. 5. Der Einfluss unterschiedlicher Stocklängen (1.14 m, 1.18 m, 1.22 m) bei unterschiedlichen Bahnneigungen (Anstiegen) und einer Laufgeschwindigkeit von 3.0 m/s auf verschiedene Parameter des Doppelstockschubs (Zyklusfrequenz, Stockwinkel bei Bodenkontakt, maximale Horizontalkraft, horizontaler Kraftstoß pro Minute: Mittelwerte und Standardabweichung einer Athletin aus jeweils 10 Schubzyklen je Modus).

In Abb. 5 ist ersichtlich, dass die mittels Sensorstöcken bestimmten Zyklusparameter sensibel auf Veränderungen der Randbedingungen beim Sitzskilauf reagieren und zur Bewertung von individuellen Bewegungstechniken bzw. von optimalen Geräteigenschaften geeignet sind.

Literatur

- Clauß, M. & Herrmann, H. (2009). Optimierung der Skistockabdruckwirkungen beim Skaten – die Suche nach optimalen Wechselbeziehungen zwischen Bewegung und Stockkonstruktionsmerkmalen. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2007/08* (S. 155-159). Köln: Sportverlag Strauß.
- Hillebrecht, M., Schwirtz, A., Zipfel, P. & Schmid, A. (1999). Biomechanische Untersuchungen zur optimalen Stocklänge bei Skischlittenfahrern im Behindertensport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50, Sonderheft zum 36. Deutschen Kongress für Sportmedizin und Prävention.
- Komi, P. V. (1987). Force measurements during cross-country skiing. *International journal of sport biomechanics*, 3, 370-381.
- Schwirtz, A. (1993). Der Stockeinsatz im Skilanglauf – biomechanische Untersuchungen zur optimalen Stocklänge. In A. Neumaier & K. Grützmaier (Hrsg.), *Entwicklungstendenzen im Skilanglauf* (S. 57-66). Köln: Sportverlag Strauß.
- Vähäsöyrinki, P., Komi, P. V., Seppälä, S., Ishikawa, M., Kolehmainen, V., Salmi, J. A. & Linnamo, V. (2008). Effect of skiing speed on ski and pole forces in cross-country skiing. *Medicine and science in sports and exercise*, 40 (6), 1111-1116.