

Optimierung der Lauftechnik entsprechend der individuellen Voraussetzungen der Athletinnen und Athleten im Sitzschlitten-Skilanglauf

(AZ 071612/12)

Veit Wank (Projektleiter)¹, Hendrik Heger¹ & Walter Rapp²

¹Universität Tübingen, Institut für Sportwissenschaft

²Medizinische Universitätsklinik Tübingen, Abt. Sportmedizin

1 Problemstellung

Im Skilanglauf der Sitzschlittenläuferinnen und -läufer werden für die Antriebserzeugung vor allem der Doppelstockschub und in den Abfahrten die Hangabtriebskraft genutzt. Die Athletinnen und Athleten haben mitunter sehr differenzierte Handicaps und verfügen somit über sehr unterschiedliche Voraussetzungen zum Entwickeln von Antriebskräften im Doppelstockschub. Für einen fairen Vergleich im Wettkampf wurden daher in Anhängigkeit vom Grad der Behinderung fünf Schadensklassen etabliert (LW10, LW10.5, LW11, LW11.5 und LW12). Die erzielten Laufleistungen werden je nach Schadensklasse mit Zeitfaktoren verrechnet, so dass Athletinnen bzw. Athleten mit größeren Handicaps einen entsprechenden Zeitbonus bekommen. Die Laufzeiten in der höchsten Schadensklasse LW10 gehen mit 88 % in die Wertung. Auf diese Weise können sie z. B. mit den Leistungen der Klassen LW11 (94 %) oder LW12 (kein Bonus) verglichen werden.

Die Läuferinnen und Läufer der verschiedenen Schadensklassen unterscheiden sich vor allem in ihren Möglichkeiten zur Nutzung der Rumpfmuskulatur für das Stabilisieren des Oberkörpers bzw. für das Beugen und Strecken im Hüftgelenk. Entsprechend den individuellen Voraussetzungen werden unterschiedliche Sitzpositionen und Strategien für die Doppelstockschub-Technik genutzt. Das Reglement schreibt hier lediglich eine Sitzhöhe von 40 cm über dem Skibelag und die Fixierung des Gesäßes auf der Sitzfläche vor. Abb. 1 zeigt unterschiedliche Varianten von Schlittenkonstruktionen und Sitzpositionen im Sitzschlittenskilanglauf.



Abb.1: Unterschiedliche Lösungen für die Schlittenkonstruktion und die Sitzposition entsprechend der individuellen Gegebenheiten der Sitzschlittenskiläufer und -läuferinnen.

Im Rahmen der wissenschaftlichen Betreuung von DBS-Kaderathleten im Nordischen Skisport wurden auf einem Laufband für Skilangläufer (Skiroller) am Bundesleistungszentrum in Oberhof neben den regelmäßig durchgeführten Leistungsdiagnosen mit Laktatstufentests und Rampentests auch biomechanische Analysen hinsichtlich der Optimierung von Materialparametern und Bewegungstechniken beim Doppelstockschub im Sitzschlittenskilanglauf vorgenommen. Anhand der Ergebnisse dieser Studien wurde einem Läufer der Schadensklasse LW11.5 vor dem Hintergrund besserer Leistungsperspektiven empfohlen, seine Sitzposition vom Langsitz mit getreckten Beinen (ähnlich Abb. 1a) auf eine kniende Position (Abb. 1b) umzustellen und damit seine Lauftechnik grundlegend zu verändern. Nach einer Umgewöhnungsphase von etwa einem halben Jahr ergab sich die aus wissenschaftlicher Sicht seltene Gelegenheit, im Rahmen dieses Betreuungsprojektes die beiden Lauftechniken zu vergleichen und zu prüfen, inwiefern sich durch diese Technikumstellung hinsichtlich der Effizienz des Krafteinsatzes und der Bewegungsökonomie Vorteile für den Läufer nachweisen ließen.

2 Methode

Im Rahmen eines vom BISP im Jahr 2011 geförderten Auftragsprojektes zur Optimierung der Bewegungstechnik im Sitzschlitten-Skilanglauf wurde die Infrastruktur zur bewegungswissenschaftlichen Begleitung von Kaderlehrgängen der deutschen Nationalmannschaft geschaffen und ein Messplatz zur biomechanischen Analyse der Doppelstockschubtechnik beim Sitzschlitten-Skilanglauf auf dem Laufband entwickelt. Kernbestandteil des Messplatzes sind Sensorskistöcke, mit denen die Axialkräfte und die Achsenlage der Stöcke mittels einer Inertialsystem-Unit im Zeitverlauf erfasst werden können. Die gemessenen Kraftrichtungsvektoren können in synchronisierte Hochgeschwindigkeits-Videobilder (100 Bilder/s, Basler 601f, 656x490Pixel) eingeblendet und damit als Feedback für Athleten und Trainer genutzt werden. Die Komponenten des Messplatzes sowie die Messdatenverarbeitung sind in Wank et al. (2012) beschrieben.

Im Rahmen eines Kaderlehrganges der Sitzschlittenläufer des DBS wurde die Bewegungstechnik des Probanden M.F. (Klasse LW 11.5) zum einen im Langsitz und zum anderen in kniender Sitzposition mittels videokinematischer Messung und der Erfassung von Stockkräften und Stockwinkeln biomechanisch analysiert. Der Proband fuhr bei beiden Messbedingungen (Langsitz und kniend) auf dem Laufband jeweils eine Minute mit folgenden Bandeneinstellungen:

5.5m/s bei 1° Steigung

2.5m/s bei 6 % Steigung

2.0m/s bei 12 % Steigung.

Nach einer Anfahrts- und Stabilisationsphase von etwa 20 s Dauer wurden je Versuch 10 Doppelstockzyklen vermessen und in die Auswertung einbezogen.

Als wesentliche Parameter wurden Mittelwerte und Standardabweichungen für die maximale axiale Stockkraft, den Stockaufsatz- und -abdruckwinkel, die Kraftstöße, die Zyklusdauer und -frequenz sowie die Stützzeit) über jeweils 10 Zyklen berechnet. Für den Vergleich der Parameter-Mittelwerte zwischen beiden Lauftechniken wurde der Students-t-Test für unabhängige Stichproben verwendet ($p < 0.05$). Die Beurteilung der Bewegungseffizienz erfolgte anhand der Zyklusparameter und anhand des Wirkungsgrades des Krafteinsatzes (Mittelwert des Quotienten aus horizontalem Kraftstoß und Gesamtkraftstoß über 10 Zyklen). Daneben erfolgte eine vergleichende Beurteilung der Körperpositionen und der Kraftrichtungsvektoren in verschiedenen Bewegungsphasen bei beiden Techniken (Expertenurteil).

3 Ergebnisse und Diskussion

In Abb. 2 sind die aussagekräftigsten Parameter (Mittelwerte) der Doppelstockzyklen in kniender (blau) und sitzender Position (grün) für die drei Laufbedingungen dargestellt. Die Bedingung 5.5 m/s mit 1° Steigung soll die Anforderungen bei hohen Laufgeschwindigkeiten repräsentieren, 2.5 m/s bei 6 % entspricht einer moderaten Belastung, die über einen längeren Zeitraum aufrecht erhalten werden kann (Mittelstreckenbelastung). Bei Einstellung 2 m/s und 12 % Steigung wirken hohe Widerstände. Dies führt zu großen Geschwindigkeitsschwankungen. Im ermüdeten Zustand kann es am Ende der Schwungphase aufgrund der hohen Hangabtriebskräfte sogar zum Rückrollen kommen.

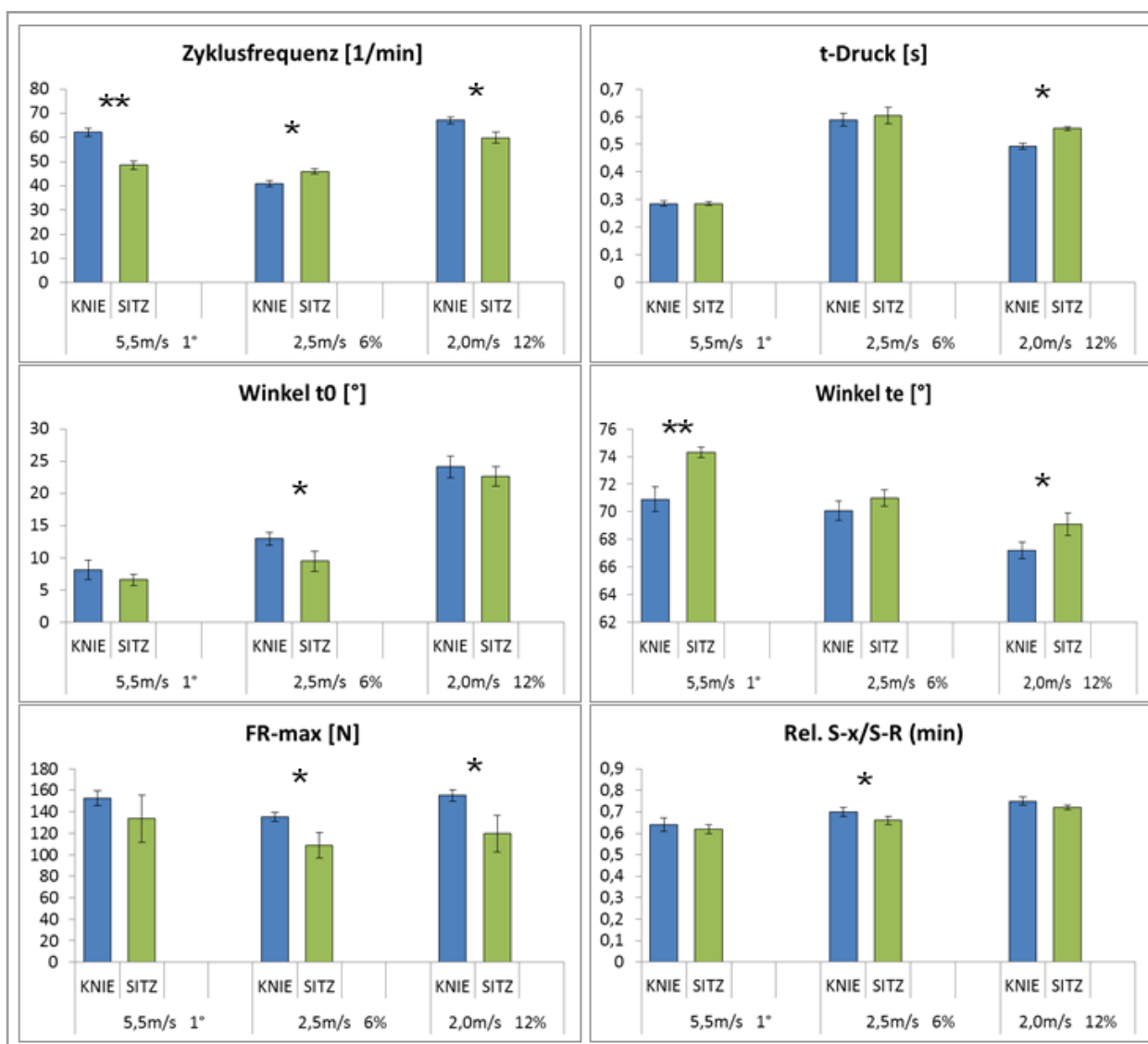


Abb.2: Zyklusfrequenz, Druckzeit, Aufsatzstockwinkel (t0) und Stockwinkel am Stützende (te) sowie maximale axiale Stockkraft und Wirkungsgrad des Stockantriebs (Relation des horizontalen Kraftstoßes zum Gesamtkraftstoß über eine Minute hochgerechnet). Die Parameter sind als Mittelwerte mit Standardabweichungen über N = 10 Zyklen angegeben (* p < 0.05, ** p < 0.01).

Nachfolgend sind die Phasenbilder im Verlaufe des Stockschubs mit den am Stock wirkenden Kraft-Richtungsvektoren für die Bedingung 2.5m/s bei 6 % Steigung (Mittelstreckenbelastung) dargestellt. Hier kann man die oben abgebildeten Differenzen in den Stockwinkeln (bei t_0 und t_e) wiederfinden. Die größere Stockachsenneigung bei Stützbeginn in kniender Position wirkt sich positiv auf die Antriebswirkung aus, weil so eine größere Vortriebskraft entsteht. Bei der sitzenden Position werden aufgrund der etwas geringeren Sitzhöhe flachere Endwinkel erzielt, die aber aufgrund der geringen Axialkräfte in dieser Phase keinen Gewinn für die Vortriebsleistung bringen. Wegen des aufrechten Oberkörpers entstehen in der Endphase des Stockschubes bei sitzender Position negative Oberarm-Rumpf-Winkel, die die Schultermuskulatur in einen ungünstigen Arbeitslängenbereich bringen (Kraftabfall in der Endphase des Schubs).

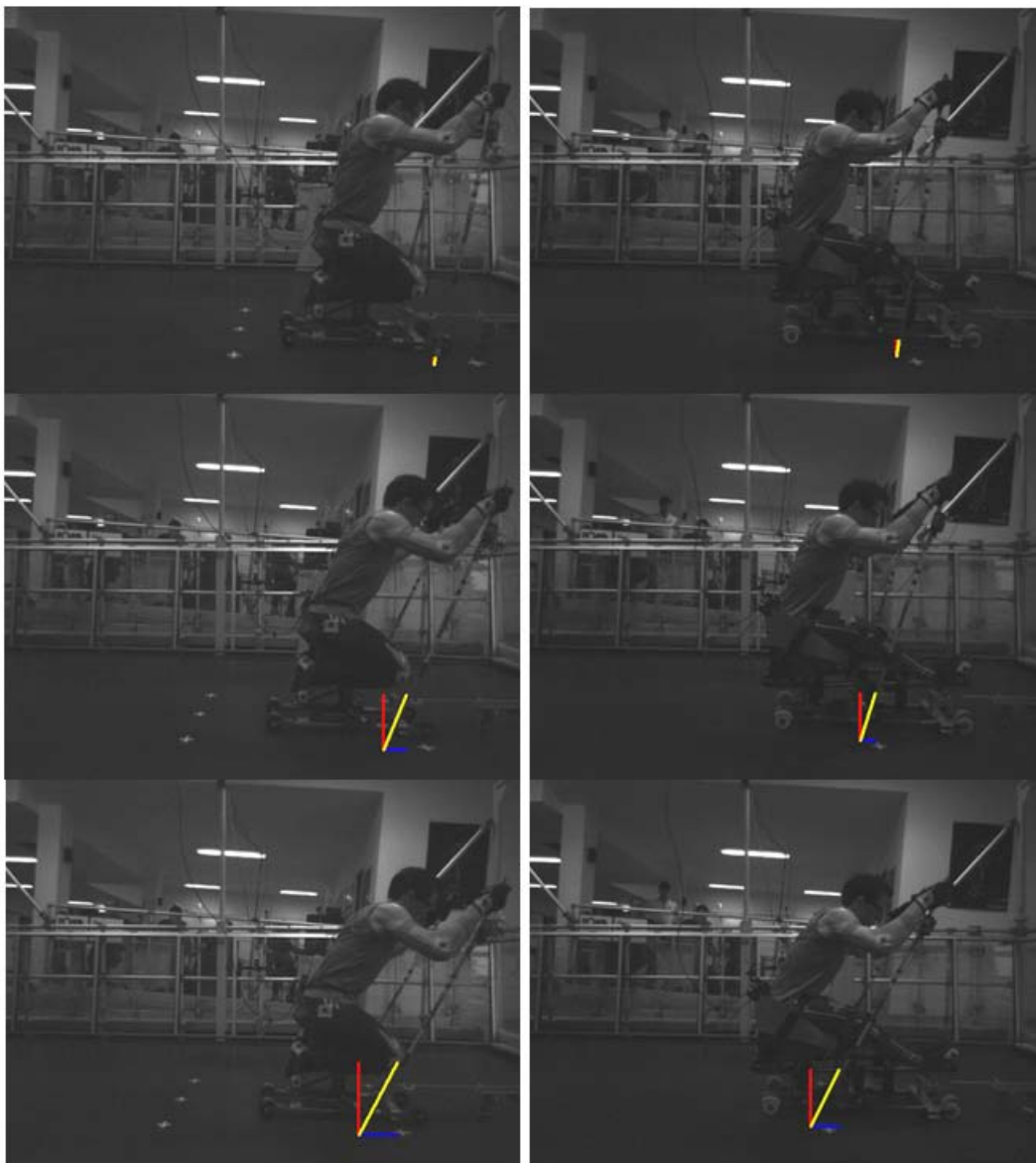


Abb.3a: Gegenüberstellung der Phasenbilder mit Kraft-Richtungs-Vektoren im Verlauf der Schubphase bei einem Doppelstockzyklus (2.5m/s, 6 % Steigung) des Probanden M. F. in kniender und sitzender Schlittenposition.

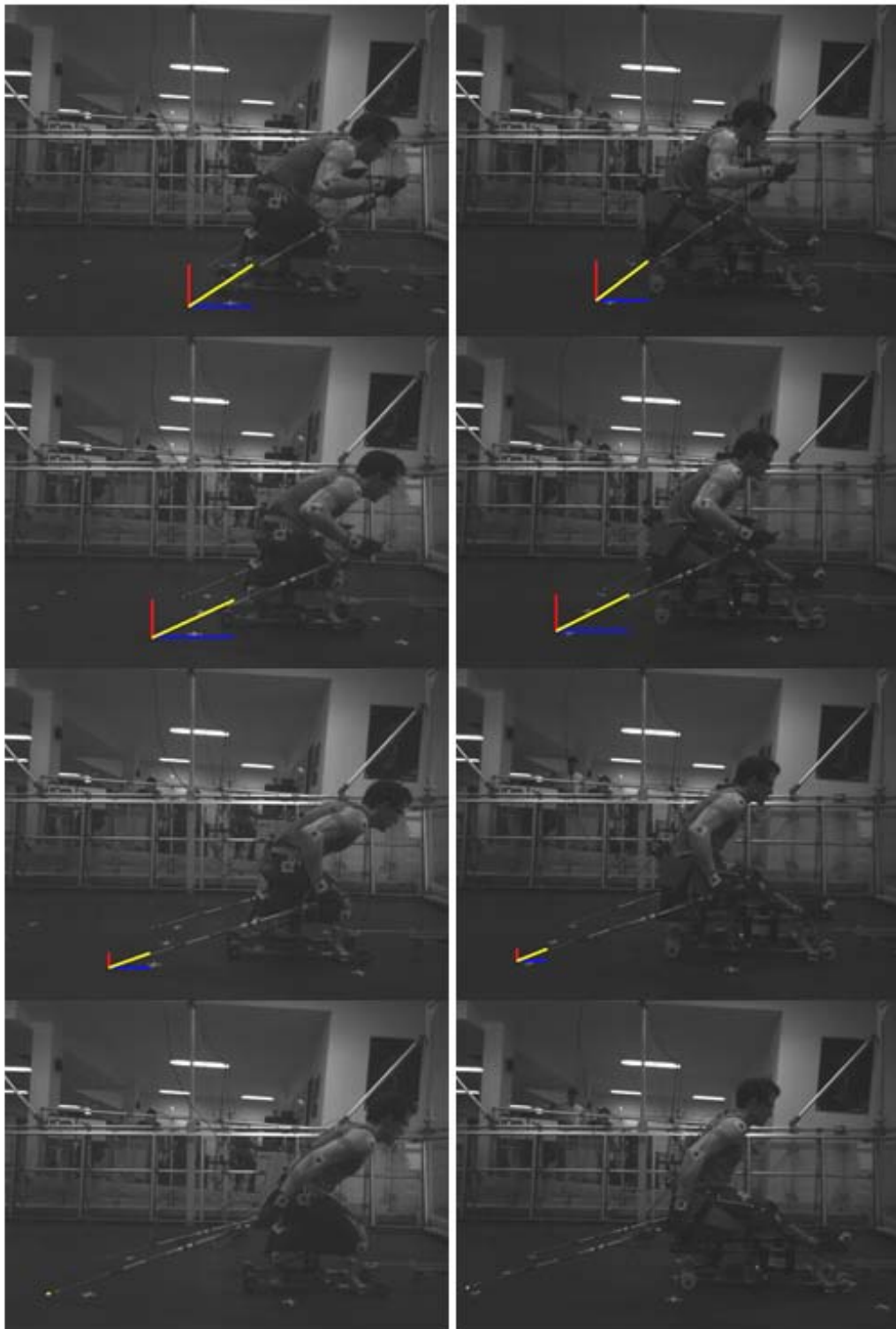


Abb.3b: Gegenüberstellung der Phasenbilder mit Kraft-Richtungs-Vektoren im Verlauf der Schubphase bei einem Doppelstockzyklus (2.5m/s, 6 % Steigung) des Probanden M. F. in kniender und sitzender Schlittenposition (Fortsetzung von Abb.3a).

Aus biomechanischer Sicht bietet die kniende Position gegenüber dem Langsitz einige Vorteile. Der Oberkörper kann aufgrund des gekippten Beckens eine größere Vorlage erzielen. Die Rückstellwirkung durch die Hüftstrecker beim Oberkörperbeugen ist reduziert. Somit kann allein durch die Schwerkraft des Rumpfes in der Anfangsphase des Stocksches Vortrieb erzeugt werden. Das führt insgesamt zu größeren Stockkräften im ersten Drittel der Stützphase. In der Hauptphase und am Ende des Stocksches wird durch die größere Oberkörpervorlage die Schultermuskulatur in einen im Vergleich zur sitzenden Position günstigeren Arbeitslängenbereich gebracht, so dass in der knienden Position insgesamt höhere Drehmomente im Schultergelenk erzeugt werden können. Durch die Oberkörpervorlage können zudem die Armstrecker (vor allem Triceps brachii) für den Endschub besser genutzt werden. Das bedeutet, dass bei der knienden Position der Endschub trotz geringerer Stockachsenneigung aufgrund der größeren Endkräfte effektiver ist.

Damit die biomechanischen Vorteile der Knieposition genutzt werden können, müssen die Hüftstrecker in der Lage sein, den Rumpf in der Vorlage zu halten und wieder aufzurichten. Zudem muss der Oberkörper und der Lendenbereich durch die Rumpfmuskulatur stabilisiert werden. Die Möglichkeiten hierfür sind in Abhängigkeit vom Handicap der Läuferinnen und Läufer unterschiedlich ausgeprägt. Wenn die Rumpfmuskulatur gut ist und die Hüftmuskeln mit leichten Einschränkungen trainierbar sind, sollte die kniende Schlittenposition aufgrund ihrer biomechanischen Vorteile gegenüber der Langsitzposition gewählt werden. Die Umstellung vom Langsitz auf eine kniende Sitzposition führt aufgrund der größeren Schwerpunktverschiebungen infolge der ausgeprägten Oberkörperbewegung in der Regel zu mehr Drehmomenten um die Breitenachse des Schlittens. Zur Vermeidung von unnötig hohen Reibungs- und Schneewiderständen ist daher zu empfehlen, die Montageposition des Schlittens auf dem Ski durch entsprechende Tests zu optimieren.

4 Literatur

- Komi, P.V. (1987). Force measurements during cross-country skiing. *International journal of sport biomechanics*, 3, 370-381.
- Rapp, W., Wank, V., Lindinger, S., Göpfert, C., Ohtonen, O., Lemmettylä, T. & Linnamo, V. (2012). Pole force measurement and inertial sensor technology in cross-country skiing. In A. Hakkarainen, V. Linnamo & S. Lindinger (Eds.), *Science and Nordic Skiing II* (pp. 243-251). Jyväskylä, University Press.
- 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*, 1111-1116.
- Wank, V., Heger, H., Schwarz, M., Rapp, W., Blab, F. & Schwarz, O. (2012). Entwicklung von leistungsdiagnostischen Methoden im Langlauf der Sitzschlittenfahrerinnen und -fahrer. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch Forschungsförderung 2011/12* (S. 101-106). Köln: Sportverlag Strauß.