



Doppelstocktechnik – Bewegungsanalyse und Vortrieb

Svenja List*, Jens Hollenbacher*, Matthias Scherge

*molibso GmbH, Karl-Benz Str. 1, 40764 Langenfeld

ARTIKELINFORMATION

Deskriptoren:
Langlauf
Doppelstocktechnik

KURZFASSUNG

Die Doppelstocktechnik im Langlauf erfreut sich immer größerer Beliebtheit und das sowohl im Leistungssport als auch bei sportlich ambitionierten Langläufern. Selbst der 90 km lange Vasaloppet wird mittlerweile vom Doppelstockantrieb bestimmt. Es ist daher nicht verwunderlich, dass es eine ganze Reihe von wissenschaftlichen Analysen zu diesem Thema gibt, die sich mit Biomechanik und Trainingslehre beschäftigen. Dieser Beitrag erweitert die Forschung um die Wechselwirkung von Bewegungsanalyse, Skityp und Vortriebswirkung, wobei letztere maßgeblich auch durch die wirkende Reibung beeinflusst wird.

©Team Snowstorm

1 Einführung

Während sich in einem schwedischen Lebenslauf früher der Satz »Ich habe den Vasaloppet erfolgreich absolviert.« sehr gut gemacht hat, ist es heutzutage die Aussage »Ich habe den Vasaloppet im Doppelstockschub durchgehalten!«.

Die Effizienz des Doppelstockschubs, als einer der Hauptbestandteile der traditionellen Technik im Skilanglauf, hat sich in den letzten Jahren stark weiterentwickelt [1–4]. Während der ausschließliche Doppelstockschub im flachen Gelände schon länger zum Einsatz kommt, wird er inzwischen gehäuft auch bergauf angewendet [5]. So konnte man in den letzten Jahren vermehrt Klassikrennen beobachten, in denen ausschließlich der Doppelstockschub zum Einsatz kam. Um diesem Trend entgegen zu wirken, wurde im Herbst 2016 die Länge der Klassiklanglaufstöcke durch die FIS reglementiert. Seitdem dürfen die Stöcke nicht länger als 83% der Körpergröße des Athleten sein. Eine weitere Entwicklung dieser Technik zeigte sich durch die Einführung des Sprints im Skilanglauf. Neben dem traditionellen Doppelstockschub hat sich eine neue Form des Doppelstockschubs, der Sprintdoppelstockschub, entwickelt. Gegenüber der traditionellen Form des Doppelstockschubs zeichnet sich der Sprintdoppelstockschub durch eine geringere Bewegungsamplitude des Oberkörpers aus [6]. Darüber hinaus ist der Sprintdoppelstockschub mit größeren Stockkräften verbunden. Beide Techniken bringen den Athleten zum Gleiten aber es ist nicht vollständig geklärt, welche der beiden Techniken zu mehr Vortrieb führt. Das liegt unter anderem daran, dass die Ski unter der veränderten Lastenleitung durch den Sprintdoppelstockschub anders gleiten. Beim Gleiten muss Reibung überwunden werden und diese hängt neben der Skipräparation entscheidend von der Kontaktfläche zwischen Ski und Schnee unter Last ab. Kraft pro Fläche bedeutet Druck. Die messtechnische Erfassung der Druckverteilung unter dem Ski kann daher Aussagen zum Gleitverhalten des Skis erbringen.

In diesem Beitrag werden Messungen zur Druckverteilung der Ski in Ruhe als auch während des Doppelstockschubs präsentiert. Zusätzlich wurden die Stockkräfte gemessen. Da die Druckverteilung

des Langlaufskis ein noch nicht weit erschlossenes Themenfeld ist und hierzu nur sehr wenige Studien existieren [7], wurden statische und dynamische Messungen der Druckverteilung von drei Skimodellen unterschiedlicher Härte durchgeführt. Weiterhin wurden die Unterschiede zwischen dem neuen Sprintdoppelstockschub und dem traditionellen Doppelstockschub hinsichtlich der Stockkräfte sowie der Druckverteilung der Ski untersucht. Damit ergab sich eine für jeden Ski typische Druckverteilung, die Aussagen zur Eignung des Skis für den jeweiligen Athleten ermöglichte.

2 Experimente

2.1 Versuchsaufbau

Als Loipe für den ca. 4 m langen Anlaufbereich diente eine textile Skipiste von Mr. Snow (Deutschland). Diese wurde auf die gleiche Höhe wie die Druckmessplatte gebracht. Als Gleitfläche auf der Druckmessplatte sowie im Beginn des Auslaufs wurde eine 0,3 mm dünne Polyethylenbahn (Dyneema, Niederlande) verwendet. Die Kamera wurde auf mittlerer Höhe der Druckmessplatte aufgestellt. Der gesamte Messaufbau ist in Abb. 1 zu sehen.

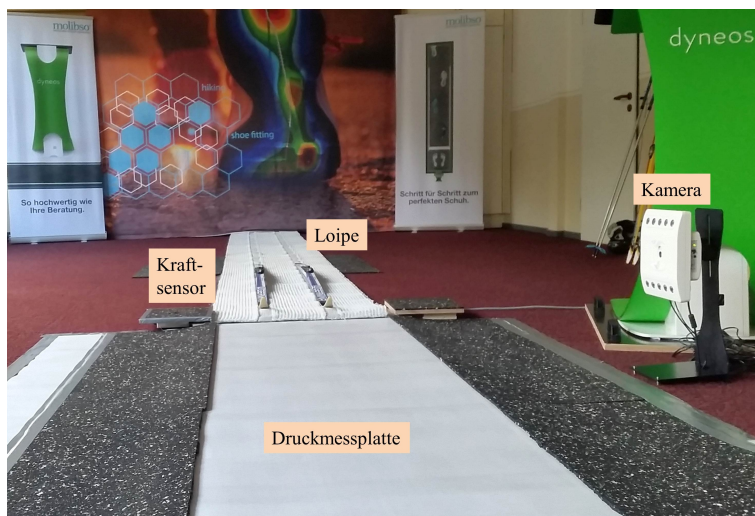


Abb. 1: Versuchsaufbau bestehend aus Anlaufloipe Druckmessplatte, Stockkraftsensor und Kamera.

2.2 Druckmessplatte (molibso dyneos RUN)

Für die Druckverteilungsmessung wurde das Dyneos SKI System der Firma molibso GmbH (Deutschland) genutzt. Die Messsensorik der Druckmessplatte besteht aus kapazitiven Sensoren, welche in dicht benachbarten Spalten und Zeilen angeordnet sind. Zur Bestimmung der Druckverteilung wird mit Hilfe der Messmatrix bei einer einwirkenden Kraft die Kapazitätsänderung eines jeden Sensors bestimmt. Die 15.360 Sensoren der Druckmessplatte sind auf einer Länge von 203,2 cm und einer Breite von 54,2 cm verteilt. Die Messung erfolgte mit einer Frequenz von 100 Hz. Der Messbereich der Sensoren liegt bei 1 bis 20 N/cm² bei einer Genauigkeit von $\pm 5\%$ vom Endwert. Neben der Druckmessplatte besteht das System zusätzlich aus einer Full-HD-Kamera. Diese ist mit der Druckmessplatte synchronisiert und zeichnet mit einer Frequenz von 30 Hz auf. Zur Aufzeichnung der Druckmessung wurde die Software molibso Dyneos Lab genutzt.

2.3 Sensor für Stockkräfte

Die Kraftmessdaten wurden mittels eines Kraftsensors der Firma ME-Meßsysteme GmbH (Deutschland) erhoben. Das genutzte Modell K3D120-1kN ist ein 3-Achsen Kraftsensor mit einer Nennlast von 1 kN. Dieses misst die Kraft in drei zueinander senkrechten Achsen. Als Messverstärker wurde der Vierkanal DMS Messverstärker GSV-4USB (ME-Meßsysteme) verwendet. Die Datenaufzeichnung erfolgte mit der dazugehörigen Software GSVmulti. Die Messfrequenz wurde auf 125 Hz für alle Messungen festgelegt.

2.4 Langlaufski und Stöcke

Für die Untersuchungen wurden drei unterschiedliche Klassikski-Modelle der Firma Germina GmbH (Deutschland) genutzt. Es wurden die drei Modelle RX 801, SX 901 World-cup und SXC 900 Speedcarbon jeweils in einer Länge von 196 cm getestet. Die Modelle unterscheiden sich hinsichtlich ihres Aufbaus. Das SXC Modell ist das Topmodell, das SX Modell ist das Race-Modell und das RX Modell ist der Performance Langlaufski des Herstellers. Bei allen drei Modellen handelt es sich um Wachsski. Da bei der untersuchten Technikform kein Abdruck vom Ski notwendig war, wurde kein Steigwachs auf die Ski aufgetragen. Zudem führt dies zu einer besseren Vergleichbarkeit der Untersuchungen. Der hier vorliegende Artikel beschränkt sich auf den Vergleich der traditionellen Doppelstocktechnik mit der Sprintdoppelstockschubtechnik (kurz: traditionelle Technik/Sprinttechnik) und wertet die Daten, die mit dem SXC 900 Ski gewonnen wurden, aus.

Als Stöcke kam ein Modell zum Einsatz, welches längenverstellbar war. Für die Messungen wurden die Längen 140 cm, 145 cm und 150 cm gewählt. Im Artikel sind die Ergebnisse für die Stocklänge von 150 cm wiedergegeben.

2.5 Proband

Als Proband für die Messungen diente der 26-jährige Biathlet und Langläufer Thierry Langer von der belgischen Nationalmannschaft. Er ist in diesen Disziplinen bereits im Weltcup und bei Olympischen Spielen gestartet. Bei einer Größe von 1,73 m hat er ein Gewicht von 72 kg, siehe Abb. 2.



Abb. 2: Sequenz einer Fahrt über die Druckmessplatte. Der Athlet ist Thierry Langer von der belgischen Nationalmannschaft.

3 Ergebnisse

3.1 Druckverteilung bei Messung in Ruhe

Die durchschnittliche Druckverteilung des Skimodells in einer neutralen Bindungsposition (jeweils über zehn Sekunden gemittelt) bei einer statischen Belastung (Athlet steht ruhig auf der Platte) ist in Abb. 3 zu sehen. Dabei zeigt der Pfeil die Blickrichtung des Probanden an. Im vorderen Bereich des Skis erkennt man den Druck, den die Schaufel des Skis ausübt. Der größere Druck entsteht in der Gleitzzone hinter der Bindung.

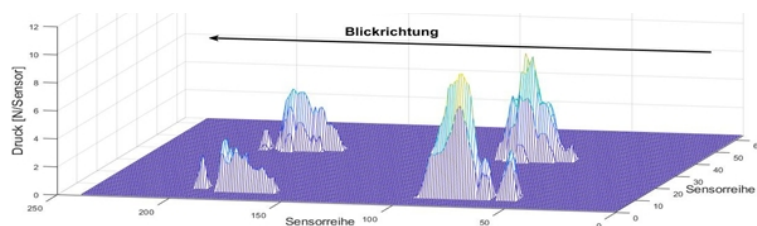


Abb. 3: Druckverteilung auf der Messplatte.

Aus dieser Verteilung lassen sich nun die wirkenden Kräfte sowie die Kontaktflächen zwischen Ski und Platte extrahieren.

3.2 Druckverteilung in Bewegung

Abbildung 4 zeigt einen Schnappschuss der Druckverteilung während einer Überfahrt. Man erkennt, dass sich auf Grund des Doppelstockschubs der Schwerpunkt hinter der Bindung befindet, vgl. Abb. 2. Die Druckverteilung im Schaufelbereich der Ski ist nicht homogen, sondern durch einige lokale Maxima gekennzeichnet. Auch im hinteren Bereich zeigen sich Maxima und Minima. Die Druckbereiche des linken Skis sind etwas länger als die des rechten.

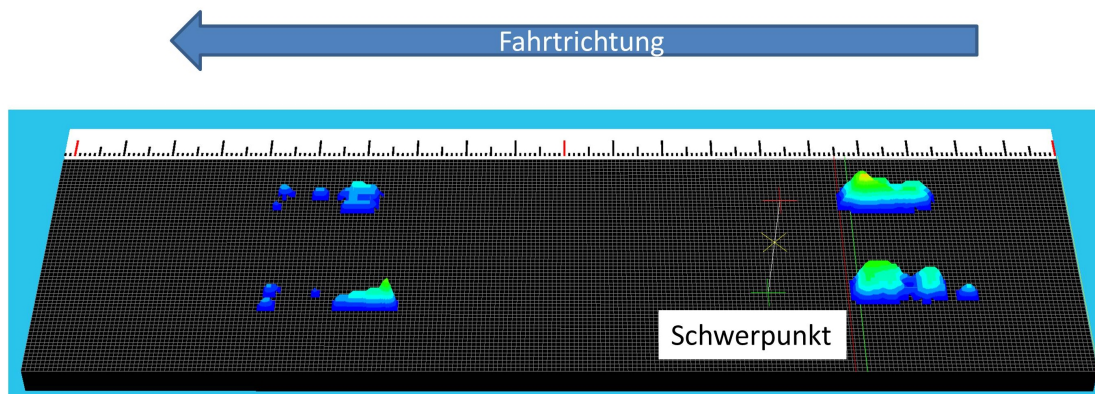


Abb. 4: Druckverteilung auf der Messplatte bei Überfahrt.

3.3 Dynamische Kräfte und Flächen

Aus der gemessenen Druckverteilung auf der Platte können die vertikal wirkenden Kräfte sowie die Kontaktflächen berechnet werden. Abbildung 5 zeigt links die durchschnittliche sowie die maximale Kraft der Ski bei der Fahrt über die Platte in Abhängigkeit der Technikform des Doppelstockschubs. Es lässt sich erkennen, dass sowohl die durchschnittliche als auch die maximale Kraft bei der Sprinttechnik immer höher war als bei der traditionellen Technik.

Im rechten Teil der Abbildung sind die durchschnittlichen sowie die maximalen Kontaktflächen unter dem Ski dargestellt. Während die durchschnittliche Fläche bei traditioneller Technik marginal größer ist als die der Sprinttechnik, ist der Unterschied bei der maximalen Fläche signifikant. Mit Bezug auf die geometrische Fläche (d.h. Länge $\times$ Breite) der Ski sind bei beiden Techniken durchschnittlich weniger als 10% im Kontakt mit der Unterlage. Hinsichtlich der maximalen Fläche kommen bei der Sprinttechnik fast 20% in Kontakt mit der Unterlage.

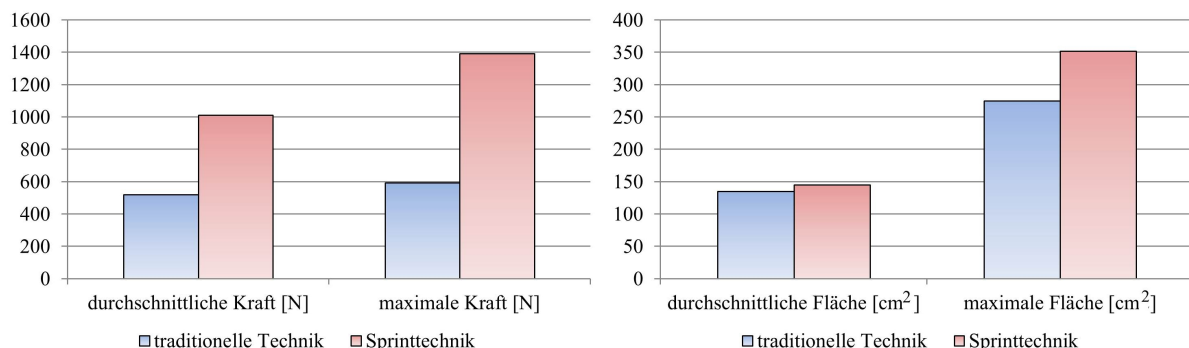


Abb. 5: Links: Durchschnittlich und maximal auf die Messplatte einwirkende Kräfte. Rechts: Durchschnittliche und maximale Kontaktfläche.

3.4 Kontaktzeit

Die Kontaktzeit der Ski mit der Druckmessplatte in Abhängigkeit der Technik ist in Abb. 6 zu finden. Es zeigt sich, dass die durchschnittliche Kontaktzeit von Ski und Druckmessplatte bei der traditionellen Technik größer ist als bei der Sprinttechnik. Mit ca. 0,85 s ist diese fast doppelt so lang wie bei der Sprinttechnik.

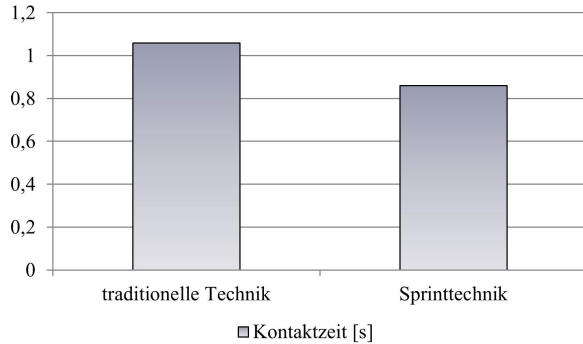


Abb. 6: Zeit, die der Ski auf Messplatte verbringt.

3.5 Stockkraftverlauf bei dynamischer Messung

Der Verlauf der Stockkräfte beim Sprintdoppelstockschub sowie beim traditionellen Doppelstockschub und einer Stocklänge von 150 cm (jeweils gemittelt aus drei Durchgängen) ist in Abb. 7 dargestellt. Gleich zu Beginn wirkt in der Sprinttechnik eine hohe resultierende Kraft, die auf eine hohe Kraft in vertikaler Richtung zurückzuführen ist. Der Verlauf der Stockkraft beim traditionellen Doppelstockschub beginnt mit deutlich geringeren Werten. Ab einer Zeit von ca. 0,18 s ist die resultierende Kraft der traditionellen Technik größer. Außerdem ist zu erkennen, dass beim traditionellen Doppelstockschub die Stockkraft über einen längeren Zeitraum wirkt und die Kraftkurve mit weniger Schwankungen verläuft.

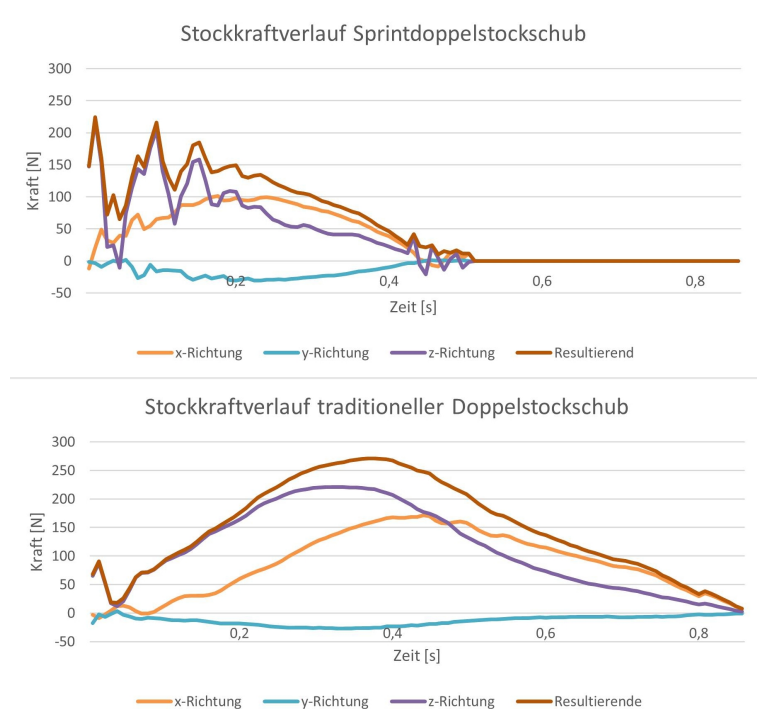


Abb. 7: Zeitlicher Verlauf der Kraftwirkung auf der Messplatte. Die x -Achse verläuft in Fahrtrichtung, die y -Achse in der Ebene senkrecht dazu und die z -Achse bezeichnet die vertikale Richtung. Die Resultierende entsteht nach Addition der Kräfte der 3 Raumrichtungen.

Bestimmt man die Flächen unter den Kraftverläufen und dividiert diese durch die Kontaktzeit mit der Platte, so erhält man eine Aussage zur Vortriebsleistung.

$$P_{Vortrieb} = \frac{\int_{x=0\text{ m}}^{x=2\text{ m}} F_x dx}{t_k} \quad (1)$$

Obwohl die maximale Kraft in Vortriebsrichtung bei der Sprinttechnik geringer ist als bei der traditionellen Technik, ist die Vortriebsleistung größer, da die Kontaktzeit kleiner ist. Als Weg wurde die Länge der Druckmessplatte von 2 m zu Grunde gelegt.

4 Diskussion

Ziel dieser Studie war es, die Auswirkungen der Technikform des Doppelstockschubs auf die Stockkräfte und die Druckverteilung der Ski zu untersuchen. Die Druckverteilung der Ski wurde statisch und dynamisch erfasst. Da es bisher noch keine Studien zur Druckverteilungsmessung von Langlaufski in der Dynamik gibt, konnten die vorliegenden Ergebnisse nicht mit Literaturwerten verglichen werden. Es zeigt sich jedoch, dass sich die genutzte Druckmessplatte dazu eignet, die Druckverteilung von Langlaufski in der Dynamik zu erfassen.

Beim Verlauf der Stockkräfte lassen sich zwischen den beiden Techniken deutliche Unterschiede erkennen. Während der Kraftverlauf bei der traditionellen Technik relativ gleichmäßig ansteigt bis ein Kraftmaximum erreicht wird, zeigen sich bei der Sprinttechnik deutlich höhere Schwankungen im Kraftverlauf. Außerdem tritt bei der traditionellen Technik über einen deutlich längeren Zeitraum eine Kraft auf.

Die Ergebnisse belegen, dass die Vortriebsleistung bei der Sprinttechnik höher war als bei der traditionellen Technik. Obwohl bei der Sprinttechnik geringere Stockkräfte sowohl in Vortriebsrichtung als auch vertikal dazu gemessen wurden, ist die Vortriebsleistung auf Grund der kürzeren Kontaktzeiten (bei Annahme des Zurücklegens gleicher Wege) größer. Dies bedeutet aber auch, dass der sich Ski bei der Sprinttechnik intensiver auf und ab bewegt und mit größerer Wucht (Kraft) auf dem Untergrund aufkommt. Folgerichtig ist auch der durchschnittliche Druck der Ski bei der Sprinttechnik höher als bei der traditionellen Technik. Sowohl der Druck als auch die Auflagefläche haben tribologische Auswirkungen. Der erhöhte Druck führt zu einer stärkeren Abnutzung des Waxes, was bei großen Lauftrecken spürbar werden kann. Die größere Kontaktfläche geht mit erhöhter Reibung einher. Als Nebeneffekt des intensiveren Aufprallens der Ski auf der Unterlage werden vermutlich Vibrationen angeregt, die ebenfalls zu Verlusten im Vortrieb führen können.

Damit kommt der Skiauswahl mit Bezug auf Biegesteifigkeit eine große Bedeutung zu. Es sollte darauf geachtet werden, dass ein Kontaktflächenoptimum erreicht wird. Auf Grund der Vorspannung machen die Ski vorn und hinten Kontakt mit dem Untergrund. Bei der Auswahl der Ski sollte zwischen den Parametern Kontaktfläche und Druck unterschieden werden. Weiterhin sollte in die Entscheidung einfließen, ob der Ski für den Sprint oder für lange Strecken zum Einsatz kommen soll. Niedrige Reibung korreliert mit geringer Kontaktfläche. Demzufolge gleiten Ski mit größerer Spannung besser. Gleichzeitig steigt aber der Druck, denn die Kraft muss sich auf einen kleinen Bereich konzentrieren. Druck multipliziert mit der Gleitgeschwindigkeit bildet die Reibleistungsdichte, die zu Wärme aber auch zu Verschleiß führt. Für kurze Rennen haben daher sowohl kleine Kontaktfläche als auch höhere Reibleistung positive Effekte. Bei großen Distanzen kann es aber zu Verschleiß (d.h. Wachsabrieb) kommen und der Ski verliert sukzessive seine wasserabweisende Wirkung. Der Ski wird langsamer. Dieser Effekt ist stärker als der der Wasserfilmbildung. Durch die intensivere Auf- und Abbewegung sollte der Sprintski etwas steifer als der traditionelle Ski sein.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Untersuchung des Doppelstockschubs mittels Kraft- und Druckverteilungsmessung durchgeführt. Insbesondere durch die Einführung der Sprintrennen im Skilanglauf hat sich neben dem traditionellen Doppelstockschi eine neue Technikform des Doppelstockschubs, die Sprinttechnik, entwickelt. Diese sollte im Rahmen dieser Arbeit mit der traditionellen Technik in Bezug auf die Stockkräfte und Druckverteilung der Ski untersucht werden.

Es zeigten sich signifikante Unterschiede bei der Dauer des Stockeinsatzes zwischen den beiden Technikformen. Diese ist bei der traditionellen Technik länger als bei der Sprinttechnik. Auch bei den Stockkräften zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den beiden Technikformen. Die resultierenden

Kräfte sowie die Kraft in x -Richtung (horizontal) und in z -Richtung (vertikal) sind bei der traditionellen Technik signifikant höher als bei der Sprinttechnik. Außerdem wirken bei der Sprinttechnik kurzzeitig in z -Richtung höhere Kräfte. Der Ski macht dadurch mehr Auf- und Abbewegungen, was in einer höheren maximalen Kraft auf der Platte resultiert. Damit ist eine kurzzeitige Erhöhung der reibungsvergrößernden Kontaktfläche verbunden. Außerdem konnten Unterschiede in der Druckverteilung der Ski festgestellt werden.

Labormessungen zeigen sehr viel. Trotzdem bleiben wie immer Fragen unbeantwortet, z.B. die nach der Neigung des Sportlers. Ein Anders Aukland schiebt komplett anders als ein Peter Elliasen, trotzdem können beide um den Sieg kämpfen. Es ist möglich, dass unserem Tester die Sprinttechnik besser gelegen hat. Auch wenn die Kraftkurve unterschiedlich verläuft, könnte die Leistung bei unterschiedlichen Sportlertypen bei der einen oder anderen Technik höher sein. Aber auch hier können Tests auf der Druckmessplatte helfen, was aber Thema weiterer Forschung sein wird.

Danksagung

Die Danksagung der Autoren für Kritik und sehr konstruktive Anregungen geht an Prof. Dr. Stefan Lindinger, Thomas Freimuth und Dr. Reinhard Groß.

Über die Autoren



Svenja List hat Sportwissenschaft an der Universität Kiel studiert und unter Anleitung von Prof. Dr. Matthias Scherge ihre Masterarbeit angefertigt. Seit 1. April 2019 arbeitet Svenja List als wissenschaftlich/technische Mitarbeiterin bei der molibso GmbH in Langenfeld.



Dr. Jens Hollenbacher ist Gründer und Geschäftsführer der molibso GmbH in Langenfeld. Am Bochumer Lehrstuhl für Business-to-Business Management (eurom) hat er das Handwerk des Vertriebsingenieurs erlernt und mit dem Dokortitel abgeschlossen. Danach leitete er die berufsbegleitende Weiterbildung zum Vertriebsingenieur VDI.



Matthias Scherge ist Professor für Tribologie. Das ist die Wissenschaft von Reibung, Verschleiß und Schmierung. Prof. Scherge leitet das Fraunhofer MikroTribologie Centrum, lehrt am Karlsruher Institut für Technologie und managed das Team Snowstorm. Darüber hinaus berät er das Nordic Paraski Team Deutschland sowie mehrere nationale und internationale Athleten in wissenschaftlich-technischen Fragen.

References

- [1] Stefan Lindinger, Thomas Stöggl, Erich Müller, and Hans-Christer Holmberg. Control of speed during the double poling technique performed by elite cross-country skiers. *Medicine+ Science in Sports+ Exercise*, 41(1):210, 2009.
- [2] Guillermo Alberto Smith. Cross-country skiing: technique, equipment and environmental factors affecting performance. *Biomechanics in Sport. IOC Encyclopedia of Sports Medicine Series*. Oxford: Blackwell Science, pages 247–70, 2000.
- [3] Thomas Leonhard Stoeckl and Hans-Christer Holmberg. Double-poling biomechanics of elite cross-country skiers: flat versus uphill terrain. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(8):1580–1589, 2016.
- [4] M. Jonsson, B. Welde, and T. L. Stöggl. Bio-mechanical differences in double poling between sexes and level of performance during a classical cross-country skiing competition. *Journal of Sports Sciences*, 12:1–9, 2019.

- [5] Stephanie Burgess. Skitechnik–biomechanik des doppelstockschubs in unterschiedlichem gelände. *Sportverletzung· Sportschaden*, 30(04):184–184, 2016.
- [6] Daniela Bläse, Thomas Egger, Wencke Hölig, Stefan Leicht, Florian Paternoster, Thomas Staacks, Georg Zipfel, et al. *Offizieller DSV-Lehrplan Skilanglauf*. 2013.
- [7] Johnny Nilsson, Lars Karlöf, and Vidar Jakobsen. A new device for measuring ski running surface force and pressure profiles. *Sports Engineering*, 16(1):55–59, 2013.