

Dieser Artikel wird Ihnen
präsentiert von

clean • fast • easy

natural
performance

- lösungsmittelfrei
- biologisch abbaubar
- fluorfrei

don't wax it...
flexxit
ski coating

the revolution
www.flexxit.shop



Was passiert beim Bürsten der Ski?

André Blockhaus, Matthias Scherge, 76131 Karlsruhe

Kurzfassung

In diesem Artikel wird das Bürsten der Ski eingehend untersucht. Ungewachste Skibelagsproben wurden dafür mit einer Fiber- und einer Fleece-Bürste bearbeitet, wobei die Bürstzeit bei realistischer Andruckkraft variiert wurde. Die Wirkung des Bürstens wurde mittels Lichtmikroskopie und Reibungsmessung quantifiziert. Es zeigte sich, dass die Bürstzeit und die Art der Bürste sehr großen Einfluss auf die Reibung gegen Schnee haben, was durch rein optische Begutachtung mit dem Auge nicht sichtbar wird. Wie so oft in der Tribologie gilt es auch hier, das Optimum zu finden.

Einführung

Die Reibung von Polyethylen (PE) gegen Schnee spielt im Skisport eine besondere Rolle. Trotz großer Erfahrung bei der Skipräparation sowie langjähriger internationaler Forschung, sind die genauen Mechanismen, die zu hoher oder niedriger Reibung führen, immer noch nicht vollständig verstanden. Darüber hinaus ist nicht klar, welchen Einfluss die Kombination der Präparationsschritte Bügeln, Korken, Abziehen und Bürsten auf das Gleitergebnis haben. Besonders wenn es um Nuancen, z.B. die Bürstzeit oder den Bürstdruck geht, ist die Informationslage dürftig.

Im Leistungssport wird heutzutage fast ausnahmslos Polyethylen als Rennbelag genutzt. Alle Präparationsschritte mit den verschiedenen Wachsen, Pulvern, Sprays, etc. werden an diesem Belag durchgeführt, um die Reibeigenschaften des Skis zu verbessern. Dabei wird häufig unzureichend beachtet, dass der Belag unter dem Wachs eine wesentliche Rolle für das Reibverhalten des Skis

spielt. Ziel unserer Forschung war es daher, die Reibwerte verschieden gebürsteter Beläge unter realen Temperaturbedingungen zu charakterisieren um zu verstehen, wie die Reibung zwischen Schnee und PE zustande kommt. Dazu wurden ungewachste und ungeschliffene Skibelagsproben mit Fiber- und Fleece-Bürste behandelt, die Bürstzeit variiert und danach mikroskopiert. Weiterhin wurden Reibungsversuche im Labor durchgeführt. Neben der Konstanz der Versuchsbedingungen liegt ein weiterer Vorteil der Labormessungen in der ganzjährigen Durchführbarkeit, unabhängig von den Witterungsverhältnissen [1]. Für die Laborversuche wurde eine 3 mm große Eiskugel hergestellt und gegen verschieden gebürstete PE-Beläge gerieben. Mit dieser Anordnung wurde der Schnee auf ein einzelnes Eiskorn reduziert. Dies ist möglich, da Kunstsnee und alter abgelagerter Schnee aus kleinen Eiskugeln bestehen. Da im Wettkampfbereich sehr häufig auf Kunstsneeloipen gefahren wird, bietet sich diese Vorgehensweise an.

Grundlagen

Reibung

Reibung ist neben Verschleiß und Schmierung ein Bestandteil der Tribologie und entsteht immer dann, wenn sich zwei Körper in Kontakt relativ zueinander bewegen. Bei der Reibung muss immer das tribologische System betrachtet werden, welches aus Grundkörper, Gegenkörper, Zwischenmedium (z.B. Wasser) und Umgebungsmedium (z.B. Luft) besteht. Jede einzelne Komponente beeinflusst das gesamte tribologische System. Eine einfache Form, um Reibung zu beschreiben, liefert das Coulombsche Reibungsgesetz:

$$F_r = \mu F_n. \quad (1)$$

Die Reibungskraft F_r ist proportional zur Normalkraft F_n , mit der die beiden Körper aneinander gedrückt werden. Der Proportionalitätsfaktor μ wird als Reibungskoeffizient bezeichnet. Dabei wird zwischen Haft- und Gleitreibung unterschieden. Es gibt viele Faktoren, die die Reibung beeinflussen, unter anderem das Gewicht, die Gleitgeschwindigkeit, die Oberflächenrauheit, die Temperatur und die reale Kontaktfläche.

Polyethylen als Skibelag

Die heutigen Skibeläge bestehen zum hauptsächlich aus Polyethylen. Dies hat mehrere Gründe:

- geringer Reibungskoeffizient gegen Schnee,
- hohe Verschleißresistenz,
- gute Haftung für Wachse und
- Wärmestabilität, um beim Wachsen nicht beschädigt zu werden.

All diese Eigenschaften, die von modernen Skibelägen erwartet werden, erfüllt besonders gut das Ultra High Molecular Weight Polyethylen (UHMWPE). Hergestellt wird UHMWPE durch katalytische Polymerisation von Ethylen. UHMWPE ist ein sehr einfach aufgebauter Kunststoff, bestehend aus einer Kohlenstoffkette mit Wasserstoff an den freien Bindungen. Der Unterschied zwischen

UHMWPE und den anderen PE-Sorten besteht in der sehr hohen Molmasse von durchschnittlich 6×10^6 g/mol bedingt durch die sehr große Kettenlänge. Weitere Eigenschaften, die UHMWPE besitzt, sind eine hohe Kerbschlagzähigkeit und eine hohe chemische Beständigkeit. Mit diesen und den vorher genannten Merkmalen kommt UHMWPE auch in der Medizintechnik als Werkstoff für Implantate in künstlichen Gelenken zum Einsatz. Für den Skisport ist die geringe Reibung gegen Schnee ganz entscheidend. Diese wird beim UHMWPE durch die große Hydrophobie, welche gleichbedeutend mit einer sehr kleinen Oberflächenenergie ist, ermöglicht. Somit gleitet UHMWPE gut auf Schnee und „saugt“ sich nicht daran fest. Die Struktur von UHMWPE kann mittels Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) aufgezeigt werden [2]. Diese weist neben einer amorphen, das heißt regellosen Anordnung der Makromoleküle, eine kristalline Phase mit hoher Ordnung auf. Die kristalline Phase ist gekennzeichnet durch eine lamellenartige Struktur.

Versuche

Die Bürstpräparation

Die Bürstpräparation erfolgte mithilfe einer Maschine, um den menschlichen Einfluss zu vermeiden. Diese besteht, wie in Abb. 1 zusehen ist, aus einer Halterung für die Bürste und einer höhenverstellbaren Halterung für die Probe. Die Probe wird unten am Hebelarm befestigt und auf die Bürste geschwenkt.

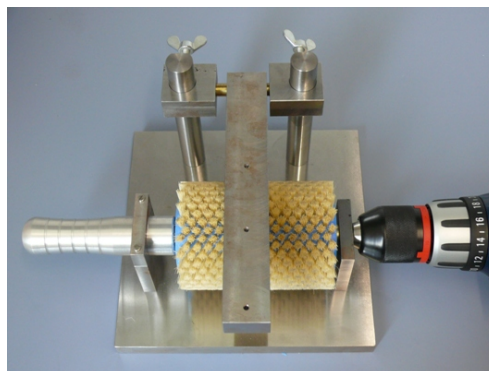


Abb. 1: Bürstmaschine mit eingebauter Fiber-Bürste. Die UHMWPE Probe befindet sich unter dem Arm und ist nicht zu sehen.

Dadurch bringt der Hebelarm durch seine Masse von 750 g eine Kraft von etwa 7 N auf. Variiert werden kann

diese Kraft durch Aufbringen zusätzlicher Gewichte. Angetrieben wird die Bürste mit einem Akkuschauber bei ca. 1200 U/min. Mit dieser Bürstmaschine wurden mehrere PE-Proben mit verschiedenen Bürsten – Fiber und Fleece (Holmenkol Speedbrush) – für 10, 30, 60 und 300 s bearbeitet.

Rauheitsmessung

Die Oberflächencharakterisierung erfolgte mittels verschiedener Messgeräte. Untersucht wurden die Belagsproben vor und nach dem Bearbeiten mit der Bürstmaschine. Mit dem Lichtmikroskop, Zeiss Stereo Discovery V8, wurden 2D-Aufnahmen im 1 mm²-Bereich gemacht. Eine höhere Auflösung wurde mit einem Konfokalmikroskop (KON), Sensofar Plμ2300, erreicht. Hier wurde im Bereich von 200 × 200 μm analysiert.

Reibungsmessung

Für die Versuche zur Ermittlung der Reibwerte wurde das Mikrotribometer Basalt MT verwendet. Dieses zeichnet sich besonders durch seine kompakte Bauweise aus. Dadurch konnte das Mikrotribometer ohne Probleme in einer Tiefkühlbox betrieben werden. Dieser Aufbau war notwendig, um Versuche mit Eis als Gegenkörper zum PE durchführen zu können.

Der Aufbau des Mikrotribometers ist in Abb. 2 zu sehen. Die Belagsprobe wurde auf dem Proben­tisch befestigt, der über einen Piezoantrieb reversierend bewegt werden kann. Über der Probe ist die Eiskugel zu sehen, die sich an einer Parallelfeder als Kraftaufnehmer befindet. Mit dieser Eiskugel wurde ein einzelnes Korn aus abgelagertem Schnee simuliert. An der Parallelfeder sind zwei Spiegel angebracht, denen gegenüber jeweils ein faseroptischer Sensor (FOS) montiert ist. Wird die Feder durch Reibung und/oder Andruck ausgelenkt, ändert sich das Sensorsignal. Mit Hilfe dieses Signals lässt sich die Abstandsänderung zwischen Spiegel und FOS genau bestimmen. Über die Abstandsänderung wird dann nach

Multiplikation mit der Federkonstanten die Kraft berechnet. Am Ende der Messung erstellt die Software eine Datei, in der die Normal- und Reibungskraft in Bezug auf die Messzeit aufgezeichnet sind.

Die Normalkräfte und somit auch die Reibungskräfte liegen im Millinewtonbereich. Da aber die Kontaktfläche zwischen Eiskugel und Skibelag auch sehr klein ist (Quadratmikrometer), stellen sich Flächenpressungen wie in der Realität ein, d.h. Megapascal.

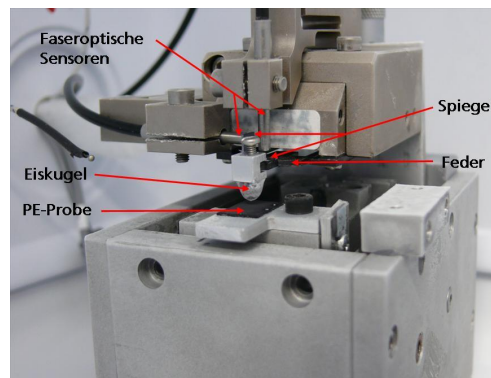


Abb. 2: Aufbau des Mikrotribometers in der Tiefkühlbox.

Ergebnisse

Im Ergebnisteil werden zunächst Aufnahmen der Belagsoberfläche im Ausgangszustand sowie nach 10 sekündigem Bürsten mit Fiber- sowie einer Fleece-Bürste gezeigt. Danach werden Aufnahmen nach größeren Bürstzeiten vorgestellt. Abschließend werden die Ergebnisse der Reibungsmessungen präsentiert.

Ausgangszustand

Abbildung 3 zeigt Lichtmikroskopaufnahmen in drei verschiedenen Vergrößerungen des Belags im Ausgangszustand. Die Riefen die hier zu erkennen sind, resultieren aus dem Herstellungsprozess der Beläge. Diese wurden mit einer Klinge von einem PE-Block geschält. Damit beeinflusst die Oberfläche der Klinge die Topographie der Beläge. Zusätzlich wurden Aufnahmen mit dem Konfokalmikroskop erstellt, um 3D-Aufnahmen zu erzeugen. Eine solche Konfokalaufnahme ist in Abb. 4 zu sehen.

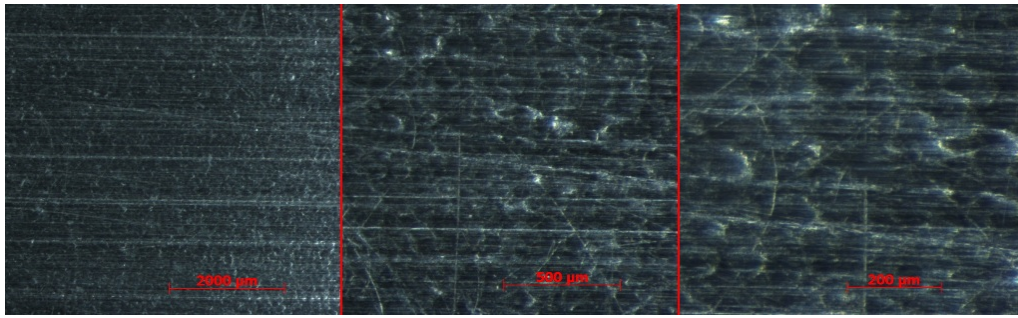


Abb. 3: Lichtmikroskopieaufnahmen des neuen Belags in drei verschiedenen Vergrößerungen.

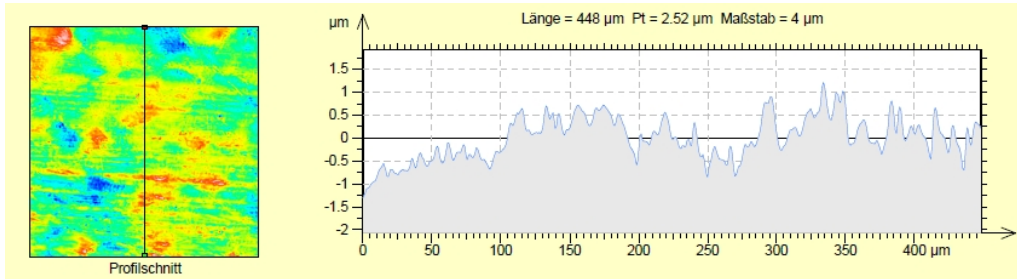


Abb. 4: Konfokalaufnahmen der 3D-Topographie der ungebürsteten Probe 450 µm × 450 µm.

Oberfläche nach 10 s Fiber-Bürsten

Hier wird die Topographie nach einer Bürstzeit von 10 s mit der Fiber-Bürste gezeigt. In Abb. 5 sind die Lichtmikroskopieaufnahmen der gebürsteten Probe dargestellt. Es sind leichte Bearbeitungsspuren, Querstreifen bzw. Kratzer, zu erkennen. Diese waren bereits bei der unge-

bürsteten Probe zu sehen und können daher nicht von der Bürstbearbeitung kommen. Die beiden Proben, ungebürstet und nach 10 s Fiber-Bürsten, sind sehr ähnlich. Die Konfokalaufnahme in Abb. 6 zeigt, dass das zehnkündige Bürsten die Oberfläche ebener gemacht hat. Im Profilschnitt sind weniger Rauheitsspitzen zu erkennen.

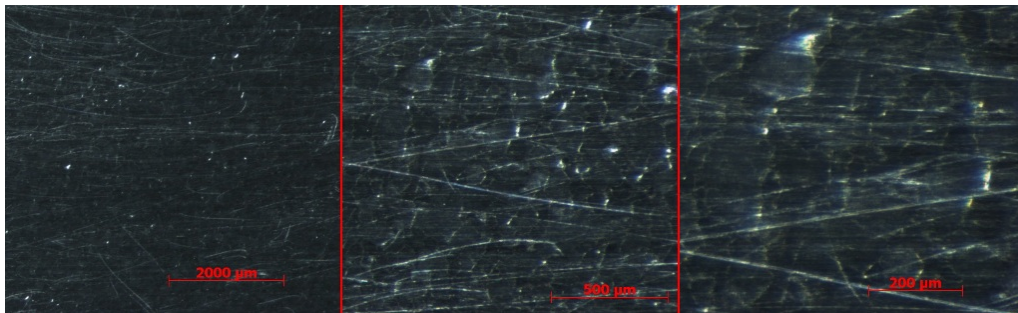


Abb. 5: Lichtmikroskopieaufnahmen des gebürsteten Belags in drei verschiedenen Vergrößerungen.

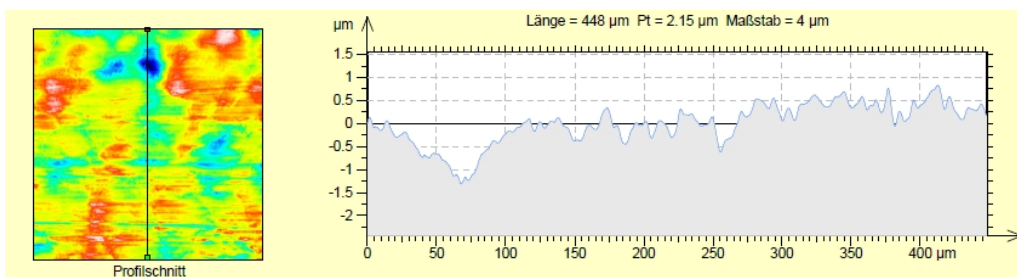


Abb. 6: Konfokalaufnahmen der 3D-Topographie der gebürsteten Probe 450 µm × 450 µm.

Oberfläche nach 10 s Fleece-Bürsten

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Topographieuntersuchungen der Probe nach einer Bürstzeit von 10 s mit der Fleece-Bürste gezeigt. Abbildung 7 zeigt die

Lichtmikroskopieaufnahmen. Gegenüber den anderen beiden Proben, ungebürstet und 10 s Fiber-Bürste, sind kaum Unterschiede zu bemerken. Die Konfokalaufnahme zeigt dagegen mehr Rauheiten als bei den anderen Proben (siehe Abb. 8).

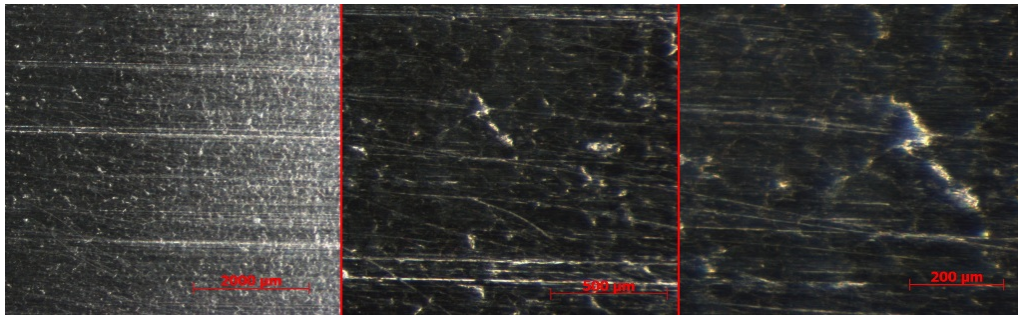


Abb. 7: Lichtmikroskopieaufnahmen des mit Fleece Bürste bearbeiteten Belags in drei verschiedenen Vergrößerungen.

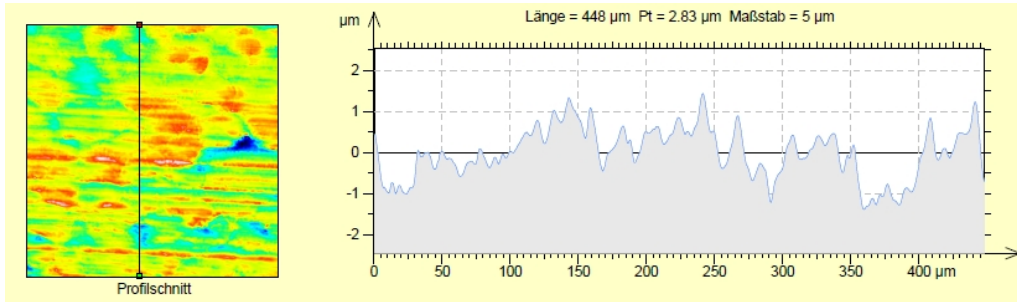


Abb. 8: Konfokalaufnahmen der 3D-Topographie der mit Fleece Bürste bearbeiteten Probe 450 µm × 450 µm.

Variation der Bürstzeit (Fiber)

Nunmehr wurde die Zeit der Bearbeitung mit der Fiber-Bürste variiert. Zusätzlich zur 10 Sekundenvariante wurde die Bürstzeit auf 60 s und 300 s ausgedehnt. Die Aufnahmen in Abb. 9 zeigen die drei gebürsteten und die ungebürstete Probe. Zwischen der ungebürsteten, der 10 s und der 60 s Probe ist kaum ein Unterschied zu erkennen. Bei der 300 s Probe sind dagegen deutliche Strukturen durch das lange Bürsten herausgearbeitet worden. Weitere Untersuchungen erfolgten wieder mit

dem Konfokalmikroskop. Hier ist in den 3D- Bildern (siehe Abb. 10) eine Veränderung der Oberflächenstruktur bei den verschiedenen Bürstbearbeitungszeiten ersichtlich. Dies hat auch einen Einfluss auf die Kontaktfläche. Zur Bestimmung der Kontaktfläche wurde der Traganteil, d.h. die Fläche, die mit dem Schnee direkt in Kontakt kommen würde, ermittelt. Damit ergeben sich folgende Werte: für die ungebürstete Probe 15,5 %, für die 10 s Probe 11,8 %, für die 60 s Probe 21,7 % und für die 300 s Probe 27,2 %.

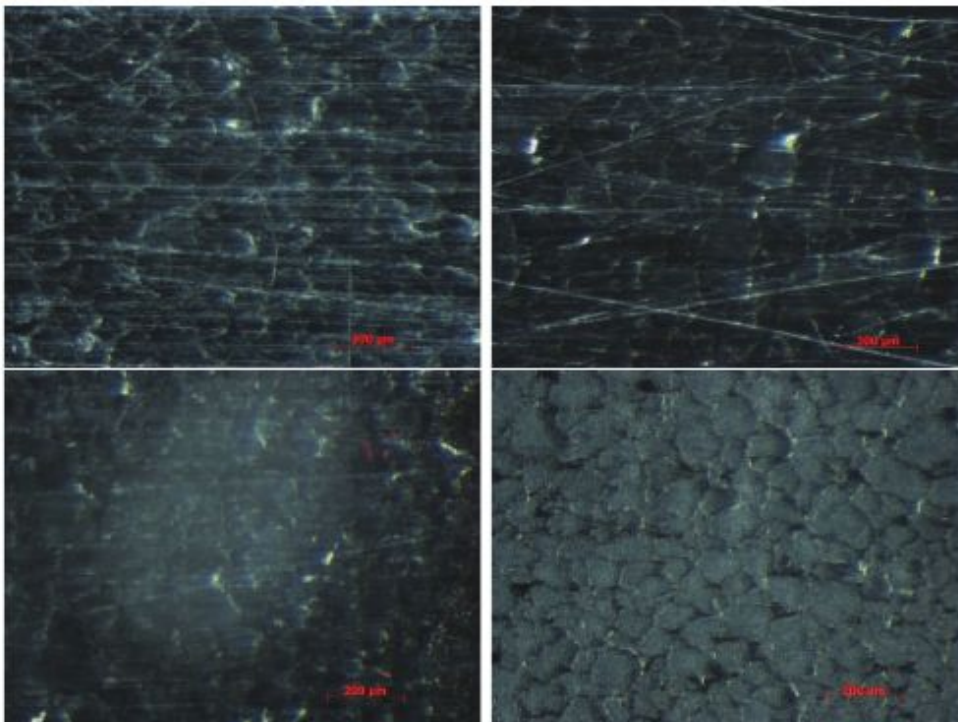


Abb. 9: Lichtmikroskopieaufnahmen der PE Proben. Oben links: ungebürstet; oben rechts: 10 s; unten links: 60 s; unten rechts: 300 s gebürstet.

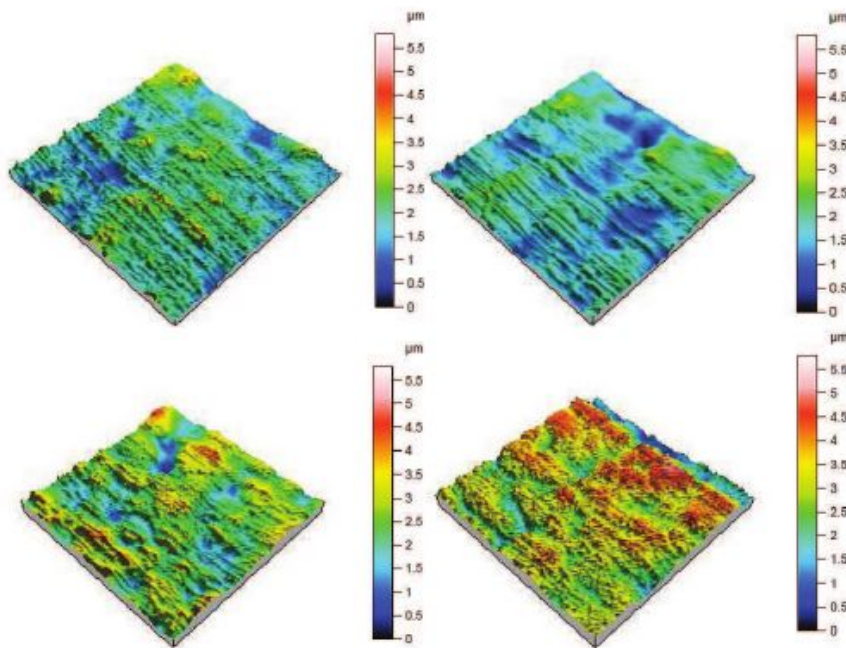


Abb. 10: Konfokalaufnahmen 3D-Topographie bearbeitet mit Fiber-Bürste, 450 µm × 450 µm. Oben Links: ungebürstet; oben rechts: 10 s; unten links: 60 s; unten rechts: 300 s.

Durch diese Werte ist ersichtlich, dass die Bürstbearbeitungszeit die Kontaktfläche wesentlich bestimmt. Bei zehnständiger Präparationszeit wird die Kontaktfläche gegenüber der ungebürsteten Probe sogar verringert. Wird die Belagsprobe aber zu lange (60 s und 300 s) bearbeitet, steigt die Kontaktfläche signifikant an. Weiterhin unterscheidet sich die maximale Höhe der Oberflächenstruktur. Diese ist in Abb. 10 farblich dargestellt und weist die gleiche Reihenfolge wie bei der Kontaktfläche auf. Die kleinsten Strukturen sind bei der 10 s Probe zu sehen, danach folgen mit steigenden Werten die Proben ungebürstet, 60 s und 300 s.

Variation der Bürstzeit (Fleece)

Für die Fleece-Präparation wurden die gleichen Topographieunter-

suchungen durchgeführt. Zu sehen sind in Abb. 11 die Lichtmikroskopieaufnahmen der ungebürsteten sowie der 10, 60 und 300 s Proben. Die ersten beiden Aufnahmen ähneln sich sehr, wohingegen bei den nächsten Proben, 60 s und 300 s, deutlichere Strukturen zu erkennen sind. Die 3D-Bilder dieser Proben sind in Abb. 12 gezeigt. Hier sind die Oberflächen nicht so stark untereinander verändert worden wie durch die Fiber-Bürstpräparation. Der Traganteil nimmt mit steigender Bürstzeit nur sehr wenig zu, d.h. von 18,0 % für die 10 s Probe über 19,7 % für die 60 s Probe auf 20,7 % für die 300 s Probe. Damit liegen die Werte für den Traganteil der 60 s und 300 s Proben unter den Werten der Fiber-Bürste, nur die 10 s Probe liegt über ihrem Gegenstück.

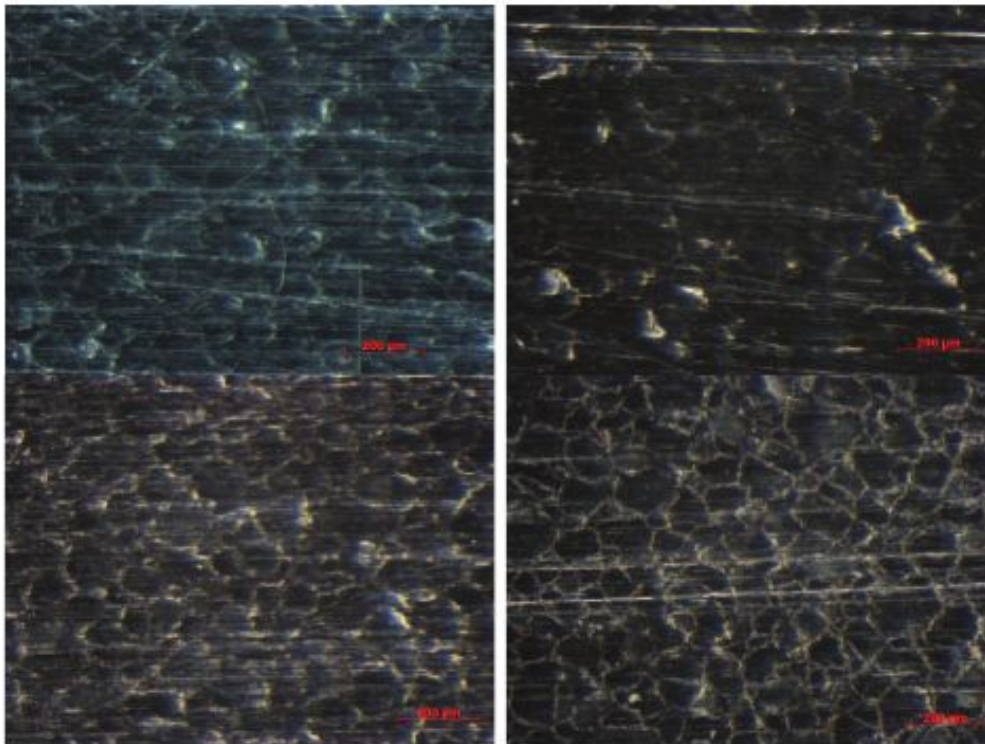


Abb. 11: Lichtmikroskopaufnahmen der Probe bearbeitet mit Fleece-Bürste. Oben links: ungebürstet; oben rechts: 10 s; unten links: 60 s; unten rechts: 300 s.

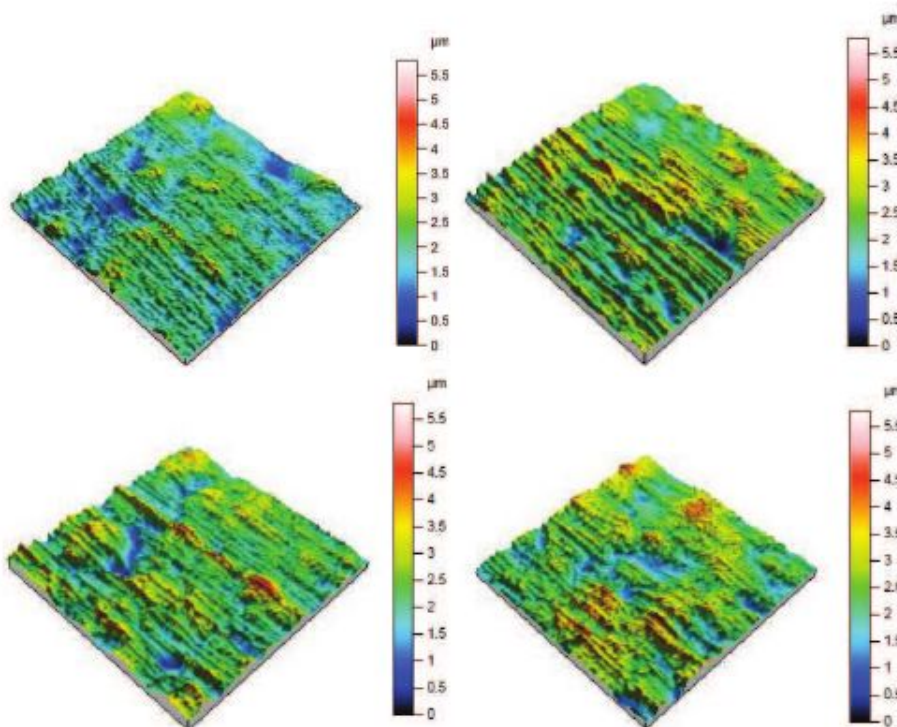


Abb. 12: Konfokalaufnahmen 3D-Topographie bearbeitet mit Fleece-Bürste, $450\ \mu\text{m} \times 450\ \mu\text{m}$. Oben Links: ungebürstet; oben rechts: 10 s; unten links: 60 s; unten rechts: 300 s.

Reibungsmessungen

Um den Bürsteinfluss genauer zu bestimmen, wurden Versuche mit dem Mikrotribometer durchgeführt. Abbildung 13 zeigt den Vergleich zwischen der ungebürsteten, 10 s, 60 s und 300 s mittels Fiber-Bürste behandelten Proben. Hier ist ein deutlicher Einfluss der Bürstzeit ersichtlich. Im untersuchten Temperaturbereich ist der

Reibungskoeffizient bei 10 s Bürstung immer am niedrigsten und bei 300 s am höchsten (bis auf eine Ausnahme bei $-2\ ^\circ\text{C}$). Zwischen der 10 s und der 300 s Probe liegt die 60 s Probe. Bei $-14\ ^\circ\text{C}$ ist der Unterschied des Reibungskoeffizienten zwischen allen Präparationszeiten am größten und verringert sich mit steigender Temperatur, oder bleibt konstant (10 s und

unbehandelt). Die Ausnahme bildet die Paarung 10 s und 60 s. Hier ist das Verhalten gegensätzlich, die Differenz ist bei -14 °C am geringsten und nimmt mit steigender Tempera-

tur zu. Der Bürsteinfluss der besten Präparation, d.h. bei 10 s, bleibt gegenüber der ungebürsteten Variante nahezu konstant.

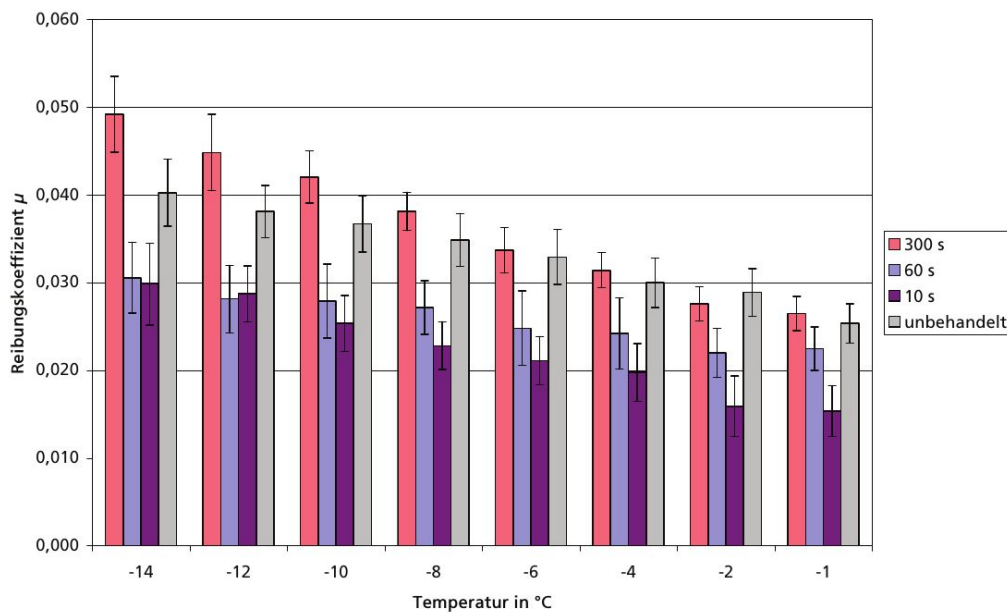


Abb. 13: Reibungskoeffizient über der Temperatur. Vergleich der einzelnen Bürstzeiten mit Fiber-Bürste.

Im nächsten Versuch wurde bei gleichen Präparationsbedingungen die Fleece-Bürste verwendet. Die Ergebnisse sind sehr ähnlich zu denen der Fiber-Bürstbehandlung, wie in Abb. 14 festzustellen ist. Die Reibwerte der 10 s Probe sind fast immer am kleinsten und die Reibwerte der 300 s Probe fast immer am größten, mit Ausnahmen jeweils bei -1 °C und -2 °C. Bei den tiefen Temperaturen von -14 °C bis -10 °C sind die Unterschiede zwischen den Bürstzeiten am deutlichsten. Der Reibwert der 10 s Probe sinkt hier um ungefähr 40 % gegenüber der 300 s Variante.

Die Rangfolge von hoher zu niedriger Reibung ist in diesem Temperaturbereich mit 300 s, 60 s, unbrushed und 10 s gegeben. Im mittlerem Temperaturbereich von -8 °C bis -4 °C hat sich an der Rangfolge nur wenig verändert. Die Proben 60 s und unbrushed haben die Plätze getauscht. Wohingegen bei höheren Temperaturen, -1 °C und -2 °C, der Abstand zwischen den einzelnen gebürsteten Proben verschwindet. Hier ist nur noch eine deutliche Differenz der gebürsteten Beläge zum ungebürsteten Belag zu sehen.

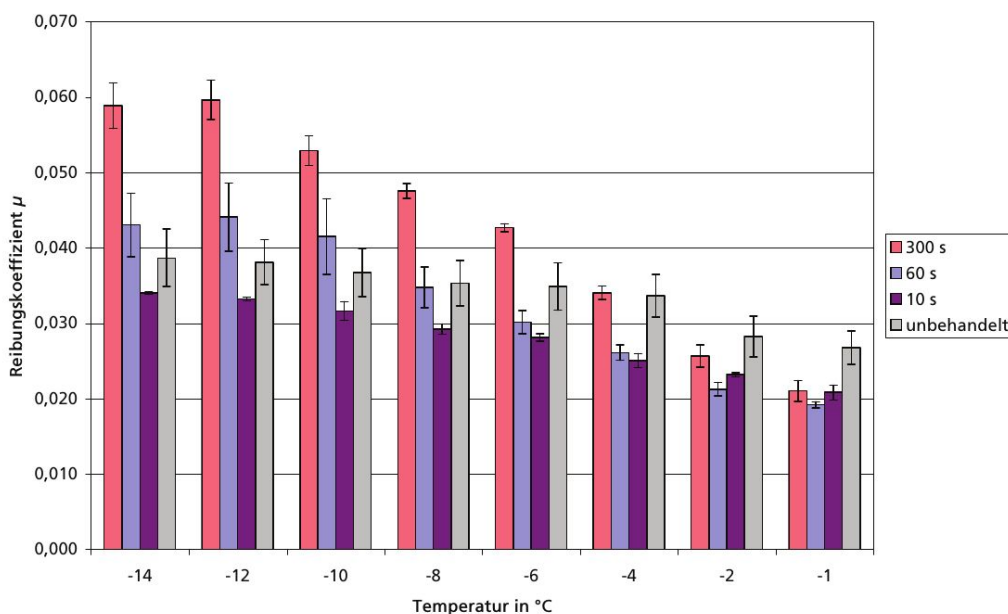


Abb. 14: Reibungskoeffizient über der Temperatur. Vergleich der einzelnen Bürstzeiten mit Fleece-Bürste.

Mechanismen

Wie in den Diagrammen der Reibungsmessungen sofort ersichtlich wird, Bürsten hilft! Aber wie so oft in der Tribologie gilt es auch hier, das Optimum zu finden. Das Optimum stellt sich ein, wenn der Skibelag die passende Energiedichte W' beim Bürsten erhält. Diese hängt von der Andruckkraft F , der Bearbeitungsgeschwindigkeit v und der Bearbeitungszeit t ab. μ_B ist der Reibungskoeffizient, der beim Bearbeiten entsteht und A ist die Fläche, die die Bürste bearbeitet. μ_B darf nicht mit dem in Gleichung 1 verwendeten Reibungskoeffizient verwechselt werden, denn dieser entsteht beim Kontakt von Eiskugel und Skibelag.

$$W' = \frac{\mu_B F v t}{A} \quad (2)$$

Interessant ist nun die Frage, was mit dem Skibelag mikroskopisch passiert, wenn er gebürstet wird. Zunächst fällt auf, dass mit steigender Bürstzeit die Kontaktfläche zwischen Belag und Schnee steigt, was zum Anstieg der Reibung führt. Dann scheint auch die molekulare Struktur des Belags einen Beitrag zu liefern.

Wie in [2] dargestellt, kann man sich die Skibelagsoberfläche wie einen Flokatiteppich vorstellen. Die einzelnen C-H Ketten des Polyethylens bilden ca. 200 nm bis 500 nm lange Faserbündel, die viel Raum für die Wachaufnahme bieten. Es sind

also keine Poren, die sich bei Wachsen öffnen. Die Faserbündel neigen zu unordentlicher Ausrichtung und das Bürsten bereitet dem ein Ende, in dem der Eingriff der einzelnen Borsten gleichrichtend wirkt. Daher sollte man, um die Wachaufnahme zu erhöhen, den Belag schnell mit kleinen Hüben in und gegen die Gleitrichtung bürsten. Nach dem Wachsen und Abziehen sollte dann aber nur noch in Gleitrichtung gebürstet werden, um die Faserbündel optimal auszurichten. Wenn allerdings zu lang und zu intensiv gebürstet wird, ist zu vermuten, dass die PE-Bündel zu viel Leistung erhalten und thermisch verkleben. Die Reibung steigt an und der Ski wird langsamer.

Da man auf μ_B keinen Einfluss hat, bleiben als Stellgrößen die Bearbeitungskraft und -dauer sowie die Drehzahl, bei Verwendung einer Rotobürste. Zusätzlich geht in die Betrachtung die Fläche ein, die die Bürste zum Zeitpunkt der Bearbeitung überdeckt. Bei der Rotobürste wäre das eine Fläche von ca. 5 mm (Borstenbüschelbreite) mal Skibreite, bei der Handbürste deutlich mehr. Um also die thermische Belastung gering zu halten, sollte eine Handbürste verwendet werden. Natürlich kann man auch die Drehzahl des Akkuschräubers reduzieren, um schonender zu bürsten. Mit dem Akkuschräuber und dem Griff auf der anderen Seite der Bürste übt man schnell Kräfte im Be-

reich von mehreren Kilogramm aus (das entspricht Kräften zwischen 10 und 50 Newton). Die hier gezeigten Bürstversuche, die bei längerer Bürstzeit zum Reibungsanstieg geführt haben, wurden bei weniger als 1 kg Andruck durchgeführt. Somit ist zu erwarten, dass das Roto-Bürsten fast immer zur Reibungsverschlechterung führt, auch wenn der Skibelag satt schwarz glänzt.

Praktische Hinweise

Im folgenden noch ein paar praktische Hinweise zur Verwendung der Bürsten.

- Wenn man nicht gerade 20 Paar Ski zu präparieren hat, sollte immer eine Handbürste zum Einsatz kommen.
- Die Reihenfolge steigender Intensität ist Rosshaarbürste gefolgt von Fiberbürste, Nylonbürste und Stahlbürste.
- Zur Steigerung der Wachsaufnahme sollte zügig auf kleiner Strecke (10 bis 15 cm) in beide Richtungen gebürstet werden.
- Nach dem Wachsen sollten mit der Handbürste pro Skiabschnitt (40 bis 50 cm) ca. 20 Züge mit 2 bis 3 kg Last in Laufrichtung ausgeführt werden.
- Beim Fleece kann die Roto-Bürste zum Einsatz kommen.
- Bei der Bearbeitung der gesamten Skilänge sollten ca. 20 bis 25 Züge mit der Roto-Bürste ausgeführt werden.

Danksagung

Ein herzlicher Dank geht an Ralf Mesle für seine Hinweise!

Über die Autoren



André Blockhaus hat Technische Physik an der TU Ilmenau studiert und arbeitet seit 2010 am Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik (MikroTribologie Centrum) in Karlsruhe. Zu seinen Aufgaben gehört unter anderem die Messung mit verschiedenen Eis- und Schneereibungsmessgeräten sowie die begleitende Analytik.



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.

Quellen

- [1] Matthias Scherge and Stanislav Gorb. *Biological Micro- and Nanotribology*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2001.
- [2] Matthias Scherge. Wachs oder kein Wachs – Das ist hier die Frage. *Gliding*, 1:1–3, 2016.