



Wie gut sind Flüssigwachse?

Adrien Duval, St-Priest, Auvergne-Rhône-Alpes, Frankreich

Kurzfassung

Ein abgeschlossenes Forschungsprojekt zielte darauf ab, ein fluorfreies Flüssigwachs mit einem konventionellen Wachs zu vergleichen. Der Fokus lag dabei auf der Fähigkeit der Wasserabstoßung, der Rauheit der Skibeläge und der Reibung bei verschiedenen Umgebungstemperaturen. Zur Analyse kam Labormesstechnik zum Einsatz, um die Reibungskoeffizienten präzise zu ermitteln und die Auswirkungen der unterschiedlichen Wachse auf das Gleitverhalten der Skier zu analysieren. Die Ergebnisse zeigen, dass die Wasserabstoßung in entscheidendem Maß die Gleitreibung beeinflusst, insbesondere bei Schneetemperaturen zwischen -4°C und 0°C . Als weiterer Einflussgröße stellte sich die Rauheit des gewachsenen Skibelags heraus, die maßgeblich die Kontaktfläche mit dem Schnee einstellt.

Einführung

Das tribologische Verhalten von Skibelägen auf Schnee wird von mehreren Faktoren beeinflusst: Gewichtskraft, Luftfeuchtigkeit, Temperatur sowie die Beschaffenheit des Schnees spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Dank umfassender Studien in der Vergangenheit [1–9], beginnt die Wissenschaft, das Zusammenspiel zwischen Skibelag und Schnee besser zu verstehen. Insbesondere die Wasserabstoßung (Hydrophobie) und die Kontaktfläche haben sich als bedeutende Einflussfaktoren herauskristallisiert.

Es ist bekannt, dass jedes Schneekorn bis zu einer bestimmten Temperatur (ca. -16°C nach [10]) eine Wasserschicht trägt, die den Kontakt schmiert. Bei den in Abb. 1 gezeigten Schneekörnern ist die Wasser-

schicht allerdings nicht zu erkennen, da sie nur wenige Nanometer dünn ist. Fokus der hier vorgestellten Arbeiten waren daher Analysen, wie ein zusätzlicher Fluidfilm, ein neuartiges Flüssigwachs, die Reibung beeinflusst.

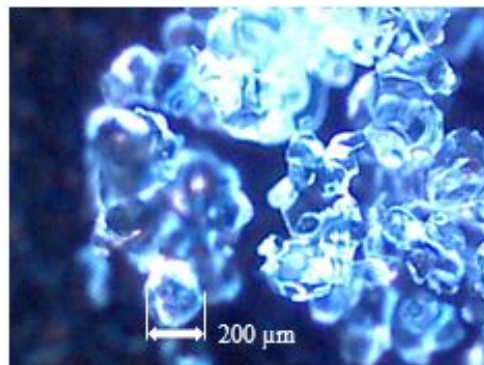


Abb. 1: Typisches Bild von abgelager-tem Schnee.

Zur Ermittlung der Reibungskoeffizienten kam ein Reibungsmessgerät (Tribometer) zum Einsatz. Mit diesem

Gerät wurden Messreihen an Skibelägen mit Fluid- und Referenzwachs durchgeführt. Das Gerät erlaubt die Unterscheidung zwischen Haft- und Gleitreibung.

Mit dreidimensional abbildender Mikroskopie wurde die Topographie der Beläge quantifiziert und ermittelt, welcher Prozentanteil des Skibelags Kontakt mit dem Schnee macht. Die Hydrophobie der Beläge wurde mittels Kontaktwinkelmessgerät bestimmt. Zusätzlich zu den genannten Größen wurde die Haltbarkeit des Fluidfilms auf dem Ski getestet.

Proben und Experimente

Skibelag

Moderne Skibeläge bestehen überwiegend aus UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylen), einem teilkristallinen Polymer mit einer Kristallinität von 45% bis 55%. Dieses Material hat sich in der Skitechnologie aufgrund seiner hervorragenden Eigenschaften durchgesetzt. Die wichtigsten Merkmale lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Kleiner Reibungskoeffizient: Besonders im Kontakt mit Schnee reduziert UHMWPE die Reibung signifikant, was zu einem besseren Gleiten der Skier führt.
- Sehr gute Verschleißfestigkeit: Das Material ist äußerst widerstandsfähig gegen Abnutzung, was die Lebensdauer der Skibeläge verlängert.
- Hohe Schlagzähigkeit: UHMWPE kann hohe mechanische Belastungen und Stöße absorbieren, ohne zu brechen oder zu reißen.
- Sehr gute chemische Beständigkeit: Das Material ist resistent gegen eine Vielzahl von Chemikalien, was die Pflege und Reinigung der Skibeläge erleichtert.
- Keine Wasseraufnahme: UHMWPE nimmt kein Wasser auf, wodurch die Skibeläge auch unter nassen Bedingungen ihre Leistungsfähigkeit beibehalten.
- Gute Haftung für Wachse: Die Struktur des Materials ermöglicht

eine effektive Bindung von Wachsen, die das Gleitverhalten weiter verbessern.

- Gute Wärmestabilität: UHMWPE bleibt auch bei niedrigen Temperaturen stabil und flexibel, was es ideal für den Einsatz im Wintersport macht.

Diese Eigenschaften machen UHMWPE zum bevorzugten Material für die Herstellung von Skibelägen und tragen maßgeblich zur Performance und Haltbarkeit moderner Skier bei. Die hier verwendeten Skibeläge trugen keinen Schliff.

Probenherstellung

Um miteinander vergleichbare Messungen durchführen zu können, ist es notwendig, diese mit Proben gleicher Größe und Form durchzuführen, da die in den Kontakt zwischen Ski und Schnee eingebrachte Energie identisch sein muss. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden Probenhalter benutzt, die Skibeläge mit einer Breite von 40 mm und einer Länge von 153 mm tragen können. Wie in Abb. 2 zu sehen ist, wird der Belag auf dem Probenhalter positioniert und mit 6 Schrauben fixiert. Danach wird der Belag mit zwei weiteren, innen im Probenhalter liegenden, Schrauben nach außen gedrückt und so gespannt.

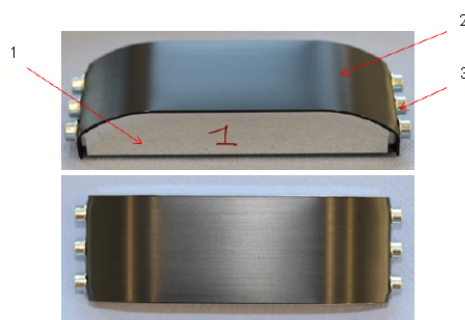


Abb. 2: Probenhalter mit aufgespanntem Belag. 1) Probenhalter; 2) Skibelag; 3) Halteschrauben.

Reibungsmessgerät

Die Reibungsmessung erfolgte mit einem Lineartribometer, in dem die in Abb. 2 gezeigte Gleitprobe mit konstantem Anpressdruck und gleichbleibender Gleitgeschwindigkeit auf Schnee hin und her bewegt wurde. Der Anpressdruck entspricht dem zwischen Skatingski und Schnee. Die Geschwindigkeit wurde so gewählt, dass simuliert werden konnte, wie der Ski vom Fuß geht.

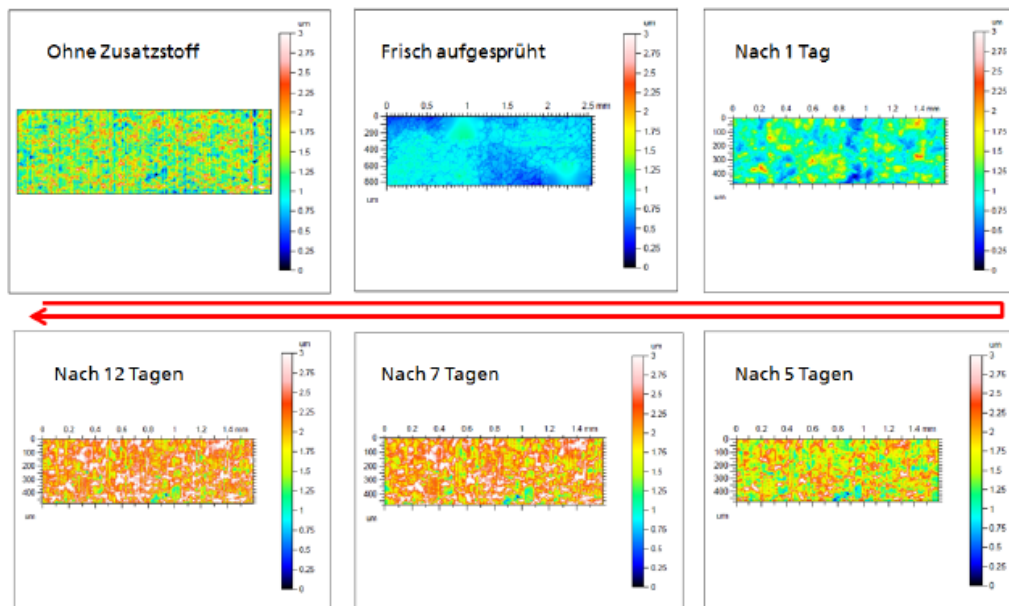


Abb. 3: Topographien der Skioberflächen ohne Fluid und mit Fluid nach mehreren Tagen.

Referenzwachs

Für die Versuche wurde ein kommerziell erhältliches Wachs benutzt. Dieses Wachs wird für Lufttemperaturen zwischen -20°C und $+5^{\circ}\text{C}$ empfohlen. Es muss bei einer Schmelztemperatur zwischen 90°C und 95°C aufgetragen werden. Dazu wurde das Wachs geschmolzen, die Tropfen auf dem Belag verteilt und mit dem Eisen gebügelt, um die Wachsschicht auf der gesamten Probe zu homogenisieren. Um Unebenheiten zu beseitigen, wurde die Oberfläche anschließend mit einer Klinge, einer Rosshaarbürste und einem Filz bearbeitet.

Fluidwachs

Für die Versuche wurde ein Belagsfluid benutzt, das als Alternative zum Wachs dient. Es besteht aus einer hochmolekularen Siliziumverbindungen (Polydimethylsiloxan) und hat laut Hersteller folgende Vorteile:

- giftfrei und umweltfreundlich
- geruchlos, farblos, klar
- fluorfrei
- Anwendung von -30°C bis $+8^{\circ}\text{C}$
- superhydrophob
- einfache und schnelle Applikation

Um dieses Produkt aufzutragen, muss man es einfach auf den Belag sprühen, 15 Minuten trocknen lassen

und danach mit einem Tuch polieren.

Ergebnisse

Rauheitsmessungen

In Abb. 3 sieht man, wie sich die Oberfläche der Probe nach Anwendung des Belagsfluids verändert. Bei der Probe ohne Fluid (ohne Zusatzstoff) sind die Schälriefen, die bei der Herstellung des Belags entstehen, deutlich sichtbar. Wenn das Belagsfluid frisch aufgesprüht ist, werden diese Riefen überdeckt und sind nicht mehr sichtbar. Nach einem Tag hat sich die Oberfläche jedoch bereits verändert. Nach fünf Tagen sind die Riefen wieder sichtbar: das Belagsfluid scheint verdampft zu sein.

Zuvor wurden die Rauheiten von Belag, Belag + Wachs und Belag + Fluid gemessen und der charakteristische Wert des Traganteils bestimmt [11]. Dieser Wert zeigt in Prozent an, wie groß die Bereiche zwischen Belag und Schnee sind, die in direktem Kontakt stehen, also die Last tragen. Für die Berechnung des Traganteils wurde angenommen, dass sich die Schneekörner etwa $1\ \mu\text{m}$ in den Belag eindrücken. Folgende Werte konnten ermittelt werden:

Belag ohne Wachs: 17 %
 Belag mit Wachs: 19 %
 Belag mit Fluid: 100 %

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Behandlung mit Fluid die mikro-

skopischen Erhebungen und Täler der Topographie ausgleicht, zu geringer Rauheit und zu großer Kontaktfläche führt.

Benetzungsmessungen

Benetzungsmessungen dienen der Einschätzung der Wasserabstoßung durch die Oberfläche. Dazu wird ein Tropfen Wasser auf die Oberfläche aufgebracht und der Kontaktwinkel gemessen [12]. Liegt dieser über 80° , so spricht man von einer hydrophoben Oberfläche. Bei Werten über 120° liegt Superhydrophobie vor. Sowohl das Referenzwachs als auch das Fluid zeigen nahezu identische Wasserabstoßung mit einem Kontaktwinkel von 100° , siehe Abb. 4. Lediglich der Wert am Tag 12 ist für das Fluid etwas geringer, was auf Abdampfen hinweist. Beide Wachse haben Kontaktwinkel deutlich größer als beim ungewachsenen Belag. Von Superhydrophobie, wie der Hersteller das verspricht, ist das Fluid aber noch deutlich entfernt.

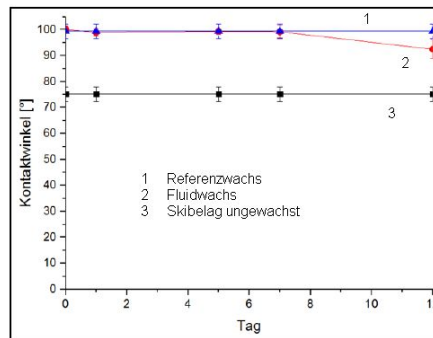


Abb. 4: Ergebnisse der Benetzungsmessungen.

Bei der Gleitreibung sind die Koeffizienten fast gleich. Nur bei warmem Schnee setzt sich das Fluid leicht durch geringere Werte ab.

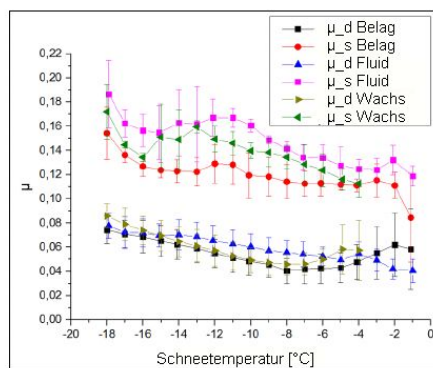


Abb. 5: Ergebnisse der Reibungsmessungen.

Reibungsmessungen

Zunächst ist der deutliche Unterschied zwischen Haftreibung (statische Reibung μ_s) und Gleitreibung (dynamische Reibung μ_d) zu erkennen, siehe Abb. 5. Die Reibung fällt von -18°C bis -1°C nahezu linear ab. Die größte Haftreibung zeigt der mit dem Fluid behandelte Belag, gefolgt von der gewachsenen und der ungewachsenen Probe. Dieser Unterschied gibt zunächst Rätsel auf, da der für die Wasserabstoßung verantwortliche Kontaktwinkel des ungewachsenen Belags um ca. 20° geringer ist. Nimmt man allerdings die Kontaktfläche mit in die Betrachtung auf, wird der Unterschied zwischen ungewachster und fluidbehandelter Probe verständlich. Der ungewachste Skibelag trägt nur mit 17% seiner geometrischen Kontaktfläche, während der fluidbehandelte Belag mit 100% Kontakt macht. Je größer die Kontaktfläche ist, desto höher ist die Reibung. An diesem Beispiel erkennt man, dass die Reibung weit weniger von der Hydrophobie als von der Kontaktfläche beeinflusst wird.

Schlussfolgerungen

Von Seiten der Reibung kann sich das Fluid durchaus mit konventionellen Wachsen vergleichen. Die Wasserabstoßung ist nahezu gleich und die Werte für Haft- und Gleitreibung liegen im sehr ähnlichen Bereich. Bei der Verarbeitung haben die Fluidwächse allerdings erhebliche Vorteile, da ein einfaches Aufsprühen und Verreiben ausreichend sind. Der Natur des Fluids geschuldet, ist die zeitliche Stabilität schlechter als die des eingebügelten Gleitwachses. Wem es also darauf ankommt, mit wenig Aufwand einen gut gleitenden Ski, der auch durch die glättende Fluidschicht optisch attraktiv, d.h. fett schwarz glänzend, daher kommt, der ist mit dem Fluidwachs sehr gut bedient.

Danksagung

Ein herzlicher Dank geht an Matthias Scherge für die kritische Durchsicht des Manuskripts und die wertvollen Hinweise!

Über den Autor



Adrien hat seine Ausbildung am INSA Lyon - Institut National des Sciences Appliquées de Lyon absolviert und das Diplôme d'ingénieur in Ingenieurwissenschaften mit Schwerpunkt Maschinenbau erworben. Anschließend setzte er seine Studien am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) fort, wo er seine Masterarbeit zum Thema Tribologie biokompatibler Schmierstoffe auf polymeren Oberflächen in den Ingenieurwissenschaften (Maschinenbau) abschloss. Adrien arbeitet jetzt bei der Firma SOLYEM in Saint-Priest, Auvergne-Rhône-Alpes, Frankreich.

Quellen

- [1] L Bäurle, D Szabó, M Fauve, H Rhyner, and N D Spencer. Sliding friction of polyethylene on ice: tribometer measurements. *Tribology Letters*, 24(1):77–84, 2006.
- [2] Roman Böttcher, Marc Seidelmann, and Matthias Scherge. Sliding of uhmwpe on ice: Experiment vs. modeling. *Cold Regions Science and Technology*, 141:171 – 180, 2017.
- [3] Frank Philip Bowden and David Tabor. *The Friction and Lubrication of Solids. Part 2*. Oxford University Press, 1964.
- [4] Felix Breitschädel, Nora Haaland, and Nuria Espallargas. A tribological study of uhmwpe ski base treated with nano ski wax and its effects and benefits on performance. *Procedia Engineering*, 72(1877):267–272, 2014.
- [5] D Buhl, M Fauve, and H Rhyner. The kinetic friction of polyethylen on snow: the influence of the snow temperature and the load. *Cold Regions Science and Technology*, 33(2-3):133–140, dec 2001.
- [6] Samuel C. Colbeck. Capillary bonding of wet surfaces - the effects of contact angle and surface roughness. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 11(3):359–371, jan 1997.
- [7] Lasse Makkonen and Maria Tikanmäki. Modeling the friction of ice. *Cold Regions Science and Technology*, 102:84–93, jun 2014.
- [8] Erland M Schulson. The structure and mechanical behavior of ice. *Journal of the Minerals, Metals and Materials*, 20(February 1999):21–27, 1999.
- [9] 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.
- [10] H. Dosch, a. Lied, and J.H. Bilgram. Glancing-angle x-ray scattering studies of the premelting of ice surfaces. *Surface Science*, 327(1-2):145–164, apr 1995.
- [11] Matthias Scherge and Christian Winker. Zur wirkung von strukturgeräten. *Gliding*, 1:1–5, 2020.
- [12] Matthias Scherge. Wachs oder kein Wachs – Das ist hier die Frage. *Gliding*, 1:1–3, 2016.