

# Der Skibelag

## DAS UNBEKANNTE WESEN

Ein Skibelag ist weitaus komplexer, als die meisten es beim ersten Blick vermuten. Daher ist auch die gängige Meinung – die selbst bei Seminaren vertreten wird – das Wachs müsse tief in den Belag eingearbeitet werden und ein richtiger Rennbelag sei schwarz, nur die halbe Wahrheit.

CHRISTIAN BONK, MITARBEIT: PROF. MATTHIAS SCHERGE  
MIRJA GEH, FRAUNHOFER INSTITUT

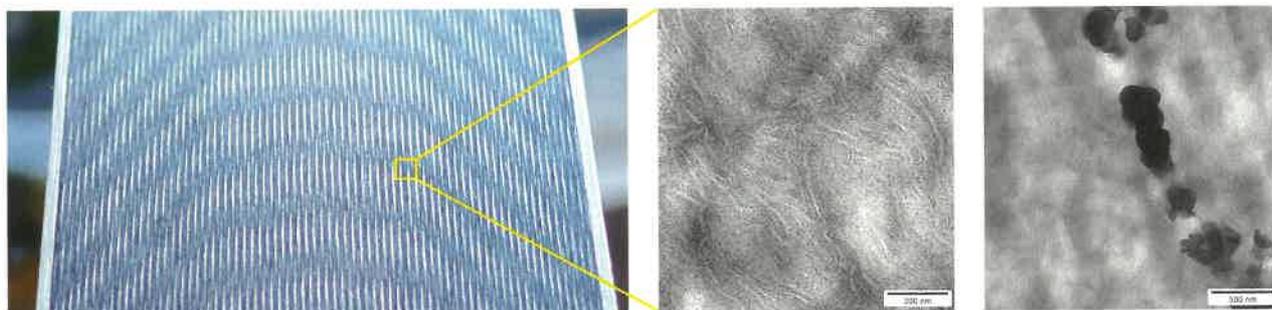
Bei Skibelägen gibt es zwei Sorten, die beide aus Polyethylen hergestellt werden, sich aber in Preis und Qualität unterscheiden. Die Sohle minderer Qualität wird im Extruder aus hochdichtem Polyethylen gefertigt. Ein Extruder ist ein Fleischwolf für Kunststoffe, der mit Polymergranulat gefüttert wird und durch eine Düse den Skibelag ausscheidet. Die zweite und höherwertigere Sorte sind die Sinterbeläge aus UHMWPE, ultrahochmolekulargewichtigem Polyethylen. Diese Beläge können auf Grund ihrer großen Molekülmasse und der damit verbundenen Zähflüssigkeit nicht mehr extrudiert werden. Daher wird das Polymergranulat gebacken (pressgesintert) und danach von einem zylinderförmigen Pressling geschält, indem mit einer scharfen Klinge wie von einer Tapetenrolle ein nahezu endloses Band abgelöst wird. Sowohl nach dem Extrudieren

als auch nach dem Presssintern hat der Belag eine Dicke von ca. 0,8 mm und wird auf Länge und Breite des Skis zugeschnitten, mit dem er dann verleimt wird (da Ausleihski öfter geschliffen werden als normale Ski, erhalten sie meist einen fast doppelt so dicken Belag). Der fertige Ski hat somit zuerst eine sehr glatte Lauffläche, die dann durch einen Steinschliff die endgültige Struktur erhält. Bei beiden Verfahren kann Ruß in Form von industriell hergestelltem Graphit zugegeben werden, was dem Belag die satte Schwarzfärbung verleiht. Selbst beim höherwertigen Sinterbelag kann man eine Niete ziehen, wenn der Herstellungsprozess nicht optimal verlaufen ist. Leider ist das beim Kaufen nicht feststellbar, sondern erst im Gebrauch. Je nach Prozessqualität kann der Belag von Beginn an bereits Vergrauungen zeigen. Man kauft also die Katze, bzw. den Ski im Sack.

### Wie tief soll das Wachs in den Belag eingearbeitet werden?

Um das Wachs tief in den Skibelag einzuarbeiten, muss der neue Ski mehrmals gewachst und wieder abgezogen werden. Wenn man erfahrenen Skitechnikern Glauben schenkt, bedeutet „tief“ mindestens einen halben Millimeter oder mehr. Wärme ist bei diesem Prozess sehr hilfreich. Es gab schon Fälle, da durften die Ski mit in die Sauna. Die elegantere Präparationsmethode ist allerdings der Aufenthalt in einem Infrarotwärmekasten. Durch die Wärme öffnen sich die Poren des Belags und das Wachs dringt freiwillig ein. Soweit die Theorie.

Die mikroskopische Analyse – und mit Mikroskop ist hier ein Gerät gemeint, mit dem man die molekularen Bestandteile des Polymers sichtbar machen kann – zeigt allerdings ein anderes Bild. Im Sintervorgang



**Bild 1: Skibelag von Makro bis Nano. Links: Skibelag mit Schliff. Mitte: Polymerfäden aus UHMWPE, 50.000-fache Vergrößerung. Rechts Zwei aneinander stoßende Polymerkörner mit Rußkörnern.**

bilden die nahezu runden Körner des Polymergranulats eine Struktur aus, die an Seifenschaum erinnert und im Querschnitt Wabenform hat. Im einfachen Lichtmikroskop hat man den Eindruck, als ob in die Waben Wachs eingelagert werden kann. Bei sehr hoher Vergrößerung im Transmissionselektronenmikroskop stellt man aber fest, dass die Waben kompakt mit Polymer gefüllt sind und keinen Platz für Wachs lassen, siehe Bild 1 Mitte. Auf molekularer Skala erscheint UHMWPE also als äußerst dichter Verband von Polymerfäden. In Bild 1 rechts stoßen zwei Polymerkörner aneinander. Direkt an der Grenze erkennt man schwarze Punkte, das ist Ruß auf den noch später eingegangen wird. Polyethylen besitzt also definitiv keine Poren, die man befüllen kann. Das Material ist äußerst dicht, was seine Widerstandsfähigkeit gegen Verschleiß aber auch chemischen Angriff begründet.

Wenn also das Wachs nicht über Poren in das Polymer eindringen kann, wo ist es dann? Die Antwort findet man, wenn man hinter den Sinn des Skibürstens gekommen ist. Die vordergründige Funktion des Bürstens besteht im Freilegen der durch Wachs verschmierten Schliffstrukturen. Während der Präparation dringt

flüssiges Wachs in die Schleifriefen ein und raubt deren Funktion. Nachdem mit einer Plastik Klinge das überschüssige Wachs flächig entfernt wurde, muss es nun aus den Vertiefungen raus und das übernimmt das Bürsten. Teilweise wird dieses mit Stahlbürsten ausgeführt, deren

einzelne Borsten etwa Haaresbreite aufweisen. Würde man eine derartige Borste vergrößern, könnte man erkennen, dass deren Ende mitunter spitz ausläuft oder Widerhaken besitzt. So ist es möglich, einzelne Fäden aus dem Polymer zu ziehen und so etwas wie einen

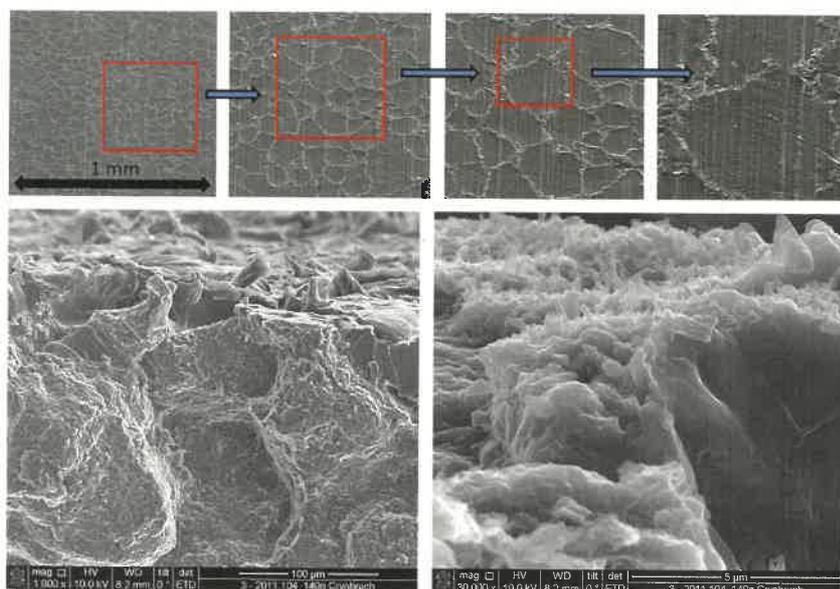
Nano-Flokati Teppich zu erzeugen. Dieser Teppich besteht aus Tausenden von Polymerfäden, siehe Bild 2 rechts, die nunmehr genügend Zwischenraum für Wachsmoleküle bereithalten. Es kommt also durch innige Verbindung von Polymer und Skiwachs zu einer neuartigen Schicht, die in der Lage ist, die Reibung stark zu verringern. Einerseits ist diese Schicht wasserabweisend, d. h. hydrophob. Andererseits kann durch die Reibung die Wachs-Polymerschicht kurzzeitig aufschmelzen und ihrerseits die Reibung verkleinern. Da diese Schicht nur wenige Hundert Nanometer dünn ist (1 Nanometer = 1 Milliardstel

Meter!), hält sie nicht ewig. Bei dieser Nanotechnologie in Handarbeit kann man eine Menge falsch machen. Wer es beim Bürsten übertreibt, indem er beispielsweise einen Akkuschauber mit aufgepflanzter Rotorbürste nutzt, kann sehr schnell die mühsam hervorgelockten Polymerfäden verbrennen. Übrig bleibt eine zähe Oxidschicht, die hervorragend bremst. Dieselbe Oxidschicht mit dezentem Grauton erhält man auch nach Lagerung der Ski an Luft. Statt also, wie angenommen, das Wachs mit dem Bügeleisen oder Infrarotlicht in die Tiefe zu treiben, wird durch den wiederholten Präparationsvorgang lediglich die bremssende Oxidhaut des Polyethylens entfernt – ein schweißtreibender Vorgang der sich aber unnötig ist, wenn man einen Ski sein Eigen nennt, der einen optimalen Herstellungsvorgang durchlaufen hat. Danach hat man wieder frisches Polyethylen zum Verarbeiten.

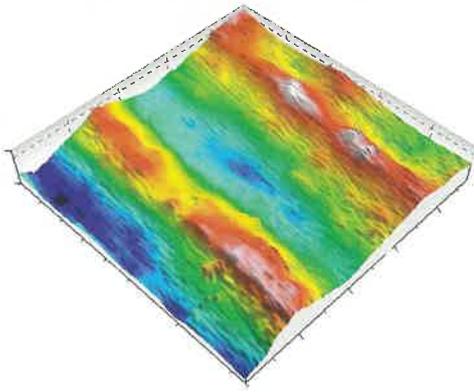
### Dem Flokati auf der molekularen Spur

Bild 2 zeigt einen Skibelag, der in flüssigem Stickstoff bei  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  gebrochen wurde. Beide Bilder vermitteln einen Eindruck aus der Tiefe des Belags sowie von seiner Oberfläche. Im linken Bild erkennt man runde Vertiefungen. An diesen Stellen wurden durch den Kryobruch einzelne Polymerkörner herausgerissen. Man erkennt also die Grenzbereiche zwischen den Körnern, in denen sich die Rußpartikel befinden. Im oberen Teil des linken Bildes schaut man auf die nach hinten fliehende Oberfläche. Deutlich zu erkennen sind bis zu  $50\text{ }\mu\text{m}$  lange Fasern, die durch den Schleifprozess verursacht wurden. Diese Fäden sind hinderlich, denn sie stehen buchstäblich dem Gleiterlebnis im Weg. Im rechten Bild erkennt man ebenfalls fadenartige Strukturen mit einer Länge von nur  $200\text{ nm}$ . Das ist der oben beschriebene Flokati, den es zu erzeugen und zu erhalten gilt. Die Flokatifäden stehen einzeln, da dieser Belag nicht gewachst wurde. Nach der Präparation sind die Zwischenräume zwischen den Fäden mit Wachs gefüllt. Mit der Härte des Waxes steuert man die Haltbarkeit der Präparation. Bei kaltem und körnigem Schnee sollte man daher härteres Wachs zwischen die Fäden bringen.

## Es gab Fälle, da durften die Ski mit in die Sauna



**Bild 2: Skibelag in verschiedenen Vergrößerungen.**  
**Unten links: 200-fach, unten rechts 8.000-fach.**



**Bild 3: Unter dem Konfokal-Mikroskop erkennt man die Erhebungen und Vertiefungen eines geschliffenen Belags.**

**Warum muss der Belag schwarz sein?**

Wie eingangs beschrieben, wird Ruß während der Bearbeitung zugesetzt. Weit verbreitet findet man die Meinung, dass Ruß auf Grund seiner guten elektrischen Leitfähigkeit, besonders bei trockenem Schnee, die elektrostatische Aufladung verringert. Weiterhin wird behauptet, dass Ruß die Wärmeleitfähigkeit des Belags erhöht und somit die Reibwärme besser über der Laufsole verteilt. Reibwärme ist wichtig, da durch sie Schnee, d. h. einzelne Eiskristalle anschmelzen und einen hauchdünnen Gleitfilm bilden. Nur wenn es sehr kalt ist, funktioniert das nicht mehr so gut und das schmelzende Wachs muss aushelfen. Ruß

wird vielen Kunststoffen zugesetzt, um die mechanischen Eigenschaften zu verbessern. Wie Bild 1 rechts zeigt, sind die Rußpartikel rund und haben einen Durchmesser zwischen 200 nm und 500 nm. Es handelt sich also nicht um den lagenförmigen Ruß, den man vom Lagerfeuer wegen seiner Schmierwirkung zwischen Daumen und Zeigefinger kennt, sondern um harte Körnchen. Diese Körnchen verleihen dem Skibelag eine größere Härte, erhöhen die Gleitfähigkeit und verringern den Abrieb. Bei hohen Geschwindigkeiten kann es durchaus zu einer Ladungstrennung zwischen Schnee und Skibelag kommen. Ähnlich dem Lineal, welches nach Reibung die Haare anzieht, können auch Ladungen im Skibelag entstehen. Aber: Selbst wenn der Belag durch Ruß leitfähiger gemacht würde, wohin sollen die Ladungen fließen? Sie bleiben im Be-

lag, bis sie abgeklungen sind und dazu genügt der Kontakt mit feuchter Luft. Ein weiterer Blick auf Bild 1 rechts verrät allerdings, dass die Leitfähigkeit nicht steigen kann, da die Rußpartikel sich nicht berühren. Ähnlich verhält es sich mit der Wärmeleitfähigkeit. Auch diese kann nicht steigen, da die Rußpartikel durch Polymer isoliert sind. Aus den genannten Gründen kann eigentlich auf Ruß verzichtet werden. Die Erhöhung der Härte kann auch durch Zugabe anderer Nanopartikel, z.B. Siliziumoxid (Nanosand) erreicht werden. Der Skibelag muss daher nicht zwangsläufig schwarz sein. <<<



**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 berät das Paralympische Team Nordisch in technischen Fragen.

# SKIHALLE

allrounder.de



**Das alpine  
Ausflugsziel**

Offizieller Tourismuspartner

**SALZBURGERLAND**

**SKIHALLE**  
Im allrounder mountain resort \* allrounder.de