



## Wie dick muss ein Wachsfilm sein?

Matthias Scherge

### ARTIKELINFORMATION

Stichworte:

Reibung  
Wachs  
Skipräparation

### KURZFASSUNG

Mit physikalisch/chemischer Oberflächenmesstechnik konnte die Schichtdicke von Wachs gemessen werden. Die Messungen belegen, dass Wachs in Barren- oder Pulverform nur wenige 100 nm in den Belag eindringt und Wachs in Sprayform sogar nur wenige 10 nm. Das Wachs nutzt dazu keine Poren im Skibelag sondern verbindet sich mit den Molekülen des Polymers zu einer kompakten Gleitschicht. Die Beständigkeit dieser Schicht hängt in erster Linie von ihrer Dicke aber auch von Faktoren wie Schneetemperatur, Schneekornform sowie Qualität des Polymers, aus dem der Skibelag hergestellt wurde, ab.

© Team Snowstorm

## 1. Einführung

Fast jeder Skifahrer kennt die Geschichten, dass ein neuer Ski erst mehrere Male gewachst und wieder abgezogen werden muss, ehe er gut läuft. Bekannt ist auch, dass der Ski vor der Sommerpause dick gewachst werden muss, damit er zum nächsten Winter nicht grau aus dem Keller kommt. Die Laufsohle der Ski besteht in der Regel aus hochdichtem Polyethylen (HDPE) oder bei Wettkampfski aus ultrahochmolekulargewichtigem Polyethylen (UHMWPE). Diese Polymere haben unterschiedliche Qualitäten und können zudem mit unterschiedlichen Verfahren hergestellt worden sein, so dass die Beläge unterschiedlich stark oxidieren, d.h. grau werden. Qualitativ hochwertige Beläge zeigen kaum Vergrauung und verhalten sich auch über lange Zeiträume stabil. Hat man nun einen Ski, der zu Vergrauung neigt, hilft mehrfaches Wachsen und Abziehen, da diese Schritte die Oxidhaut entfernen. Ist das Oxid dick, so kann anstelle der Plastik Klinge eine aus Stahl verwendet werden. Wachs deckt den Skibelag ab und verhindert, dass das Polymer mit Sauerstoff in Kontakt kommt. Wird der Ski gefahren, wird er durch die Schneekörner gerieben, ein Prozess bei dem lokal Wärme entsteht. Der folgende Beitrag erklärt, inwieweit Wachs schützende Wirkung gegen Vergrauung bietet, wie lange dieser Zustand anhält und wie er verbessert werden kann.

## 2. Ergebnisse

Nach flächigem Aufbringen von Wachs, nachfolgendem Abziehen mit der Kunststoffklinge und Ausbürsten bleibt auf dem Skibelag nur noch ein Hauch von Paraffin übrig. Die Frage ist nun, wie dick oder dünn dieser Hauch ist und ob er ausreicht, um den Ski vor Oxidation, d.h. Vergrauung und Verschlechterung der Gleiteigenschaften zu schützen.

Um der Lösung dieser Frage näher zu kommen, wurde ein Skibelagsstück mit fluorhaltigem Wachs behandelt. Die Bearbeitungsreihenfolge ist in Bild 1 gezeigt.



Bild 1: Skipräparation in der Reihenfolge Pulvern, Bügeln, Abziehen und Bürsten, Polieren.

Nach der Präparation kam physikalisch/chemische Oberflächenanalytik bei Fraunhofer zum Einsatz. Da das Wachs Fluor enthielt, wurde die Suche auf dieses Element beschränkt und dessen Konzentrationsabnahme in die Tiefe des Belags bestimmt. Die verwendete Messmethode zum flächigen Nachweis von Fluor auf der Oberfläche war die Infrarotspektroskopie. Dieses Verfahren beruht auf dem Effekt, dass Atome an der Oberfläche von Materialien auf die Bestrahlung mit infrarotem Licht mit unterschiedlichem Absorptionsverhalten reagieren. Die Hüllenelektronen der Atome sind in der Lage, Energie aufzunehmen, um in einen angeregten Zustand zu gelangen. In diesem Zustand können die Atome aber nicht bleiben und kehren nach kurzer Zeit zu ihrem Ausgangszustand zurück. In der Zeit zwischen Anregung und Rückkehr nimmt das Material Energie von der Infrarotquelle auf und dieser Energiebetrag kann sehr genau ausgewertet werden. Die erhaltenen Spektren (Absorption als Funktion der Wellenlänge des Infrarotlichts) ermöglichen nun den Rückschluss auf die Atome, die zur Energieaufnahme angeregt wurden. Auf diese Weise gibt es eine klare Zuordnung, ob – für unser Beispiel Fluorwachs – das Atom Fluor, Sauerstoff oder Kohlenstoff war.

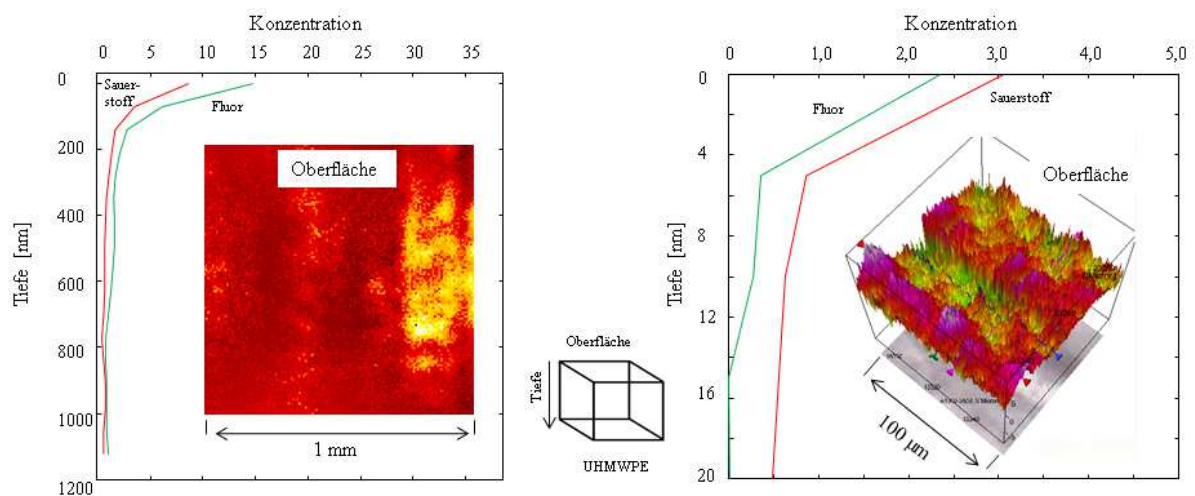


Bild 2: Links: Tiefenprofil und Draufsicht auf einen Würfel aus UHMWPE nach Pulverwachsen. Die Fluorkonzentration ist an der Oberfläche am größten (15%) und fällt in die Tiefe von 800 nm auf ca. 1% ab. Die hellen Farben in der Draufsicht stehen für hohe Konzentrationen von Fluor. Die dunklen Bereiche repräsentieren die geringe Fluorkonzentration in den Schleifriefen. Rechts: Tiefenprofil und 3d Ansicht des UHMWPE Würfels nach Anwendung von Fluorspray. Bereits nach etwa 16 nm ist kein Wachs mehr vorhanden. Im Würfel entsprechen die intensiven Rottöne hohen Fluorkonzentrationen. Durch die Würfeloberfläche zieht sich eine Schleifriefe von links oben nach rechts unten.

Im Ergebnis der Infrarotspektroskopie zeigte sich, dass das Wachs hauptsächlich auf den Bergen zwischen den Schleifriefen zu finden ist (rote Töne), während in den Riefen selbst kaum Wachs vorhanden war (grüne Töne). Insgesamt ist das Wachs ungleichmäßig verteilt, bildet also keine homogene Schicht, siehe Bild 2 rechts.

Zur Bestimmung des Eindringvermögens von Wachs in den Skibelag kam Röntgenphotoelektronenspektroskopie zum Einsatz. Dieses Verfahren beruht auf dem photoelektrischen Effekt, für den Albert Einstein 1922 den

Nobelpreis erhielt. Mit einem Röntgenstrahl wurde die Oberfläche des Belags bestrahlt. Die Energie des Strahls wurde so eingestellt, dass nur oberflächennahe Bereiche bis in Tiefen von ca. 5  $\mu\text{m}$  (= 1/10 eines Haardurchmessers) angeregt wurden. Anregung bedeutet in diesem Zusammenhang, dass mit der Röntgenenergie Bindungselektronen von ihrem Atom entfernt werden. Von diesen Elektronen schaffen es nur die sehr oberflächennahen, den Skibelag zu verlassen. Alle anderen Elektronen verbleiben im Material. Durch die sehr präzise Messung der Elektronenenergie, d.h. der Bindungsenergie, kann das Atom identifiziert werden, welches dieses Elektron ausgesendet hat. Auf diese Weise konnten Fluor und Sauerstoff nachgewiesen werden. Um nun zu verfolgen, wie tief das Fluor durch das Wachsen in den Belag eingedrungen ist, wurde die Polymeroberfläche sanft mit Argonatomen attackiert, um Lage für Lage Material zu entfernen. Nach jedem Abtragsschritt wurde die chemische Zusammensetzung der neu gebildeten Oberfläche analysiert. Nach vielen Abtragsschritten entstand so ein Tiefenprofil, was belegt, dass nach ca. 800 nm (1 nm = 1 Milliardstel Meter) nahezu kein Fluor mehr zu finden war, siehe Bild 2, links. Das bedeutet, dass man tatsächlich nur einen Hauch Wachs zur Verfügung hat. Noch extremer wird es, wenn anstelle von Fluorpulver fluorhaltiges Spray appliziert wird. In diesem Fall bekommt man nur etwa 16 nm Wachs auf die Oberfläche oder anders ausgedrückt: Nach kurzer Zeit ist das Wachs abgerieben. Sechzehn Nanometer entsprechen ca. 40 bis 50 atomaren Lagen. Ein guter Skitechniker ist also eigentlich ein Nanotechnologe, der mit handwerklichem Geschick und viel Erfahrung eine derartige Schicht mit der Hand zu präparieren weiß [1]. Es zeigt sich außerdem, wie hochdicht und porenfrei der Belagskunststoff tatsächlich ist.

### 3. Zusammenfassung

Die Messungen haben eindrucksvoll gezeigt, dass Wachs eine extrem dünne Schicht auf dem Skibelag bildet. Ein Skibelag hat eine Dicke von ca. 1 mm. Die gemessene Wachsschichtdicke betrug ca. 800 nm für Pulver und ca. 16 nm für Fluorspray. Verglichen mit dem Burj Khalifa (828 m) würde eine Wachsschichtdicke von 800 nm der Höhe eines Barhockers entsprechen und 16 nm dem Durchmesser des Eiswürfels im Whiskyglas. Mit den Modellvorstellungen aus *Gliding* 1(2016) 1-3 [2] stellt sich allerdings die Frage, ob man überhaupt von einer Schicht auf dem Belag sprechen darf. Da sich Wachs mit den Polymerketten des Belags verbindet, bildet sich die Gleitschicht, die durch die dargestellten Messungen chemisch charakterisiert wurde.

Was sind also die Schlussfolgerungen für den ambitionierten Skifahrer?

1. Da Wachs und Skibelag eine Einheit bilden sollen, sollte der Skibelag vor dem Wachsen bereits gebürstet werden, um die Wachsaufnahmefähigkeit zu erhöhen.
2. Eine Wärmebehandlung ist hilfreich, muss aber bei kontrollierter Temperatur erfolgen.
3. Das abschließende Bürsten ist ein nochmaliger Energieeintrag. Daher sollte durch viel Übung das richtige Maß gefunden werden. Eine Begutachtung des fertigen Belags bei streifendem Lichteinfall mit dem bloßen Auge ist ausreichend, da unter diesen Bedingungen das Auge extrem sensitiv ist.
4. Die Dicke der Wachsschicht ist ein zu vernachlässigender Faktor, vielmehr kommt es auf die innige Verbindung von Wachsbestandteilen mit dem Polymer des hochwertigen Skibelags an.

### Quellen

- [1] Scherge, M., Böttcher, R. Molecular Effects of Gliding, 3rd International Conference on Science and Nordic Skiing, 2015, Vuokatti, Finland.
- [2] Scherge, M. Wachs oder kein Wachs – Das ist hier die Frage, *Gliding* 1(2016) 1-3.

Danksagung: Vielen Dank an Dr. Reinhard Groß für seine Anregungen und Korrekturen!