



## Wie entstehen moderne Skischliffe?

Johannes Höfflin\*, Matthias Scherge

\*Montana Deutschland GmbH, Umkirch

### ARTIKELINFORMATION

Stichworte:

Skischliff  
Skipräparation

### KURZFASSUNG

Skischliffe sind essenziell für optimales Gleiten. Obwohl ausgefeilte Schleiftechnik seit Jahren verfügbar ist, hinken Wissen und Verständnis zu Ursache und Wirkung des Skischliffs entscheidend nach. Zur Erzeugung eines Schliffs wird in eine Schleifscheibe mittels Diamant die gewünschte Struktur als Negativ eingebracht. Diese Struktur erscheint dann auf dem Ski wobei durch Steuerung von Schleifgeschwindigkeit und -druck eine Mannigfaltigkeit von Strukturen entstehen kann. Im Beitrag wird die Entstehung einfacher Strukturen erklärt und deren Auswirkungen auf den Kontakt mit Schnee beschrieben.

© Team Snowstorm

## 1. Einführung

Historisch betrachtet wurden zum Skischleifen zuerst Schleifbänder, wie man sie aus der Holzbearbeitung kennt, eingesetzt. Da diese Bänder die Schleifkörner in zufälliger Ordnung tragen, entsteht ein uneinheitliches Schliffbild, welches aus linearen Riefen entlang des Skis besteht. Deutlich homogenere Schleifergebnisse können mit Schleifscheiben erzielt werden. Bevor allerdings Schliffmuster entstehen, muss die Schleifscheibe konditioniert werden. Der Fachmann spricht von Abrichten. Die Schleifscheibe besteht aus mikroskopisch kleinen Abrasivkörnern (Quarz, Diamant, Korund oder Siliziumkarbid), die in Bindermasse, meistens Kunstharz oder Keramik, eingebracht und mittels Backvorgang stabilisiert werden, siehe Bild 1 links. Mittels Abrichtdiamant, siehe Bild 1 rechts, wird sowohl die Schleifscheibenoberfläche geglättet, als auch die Struktur erzeugt.



Bild 1: Links: Schleifscheibe. Rechts: Abrichtdiamant.

Durch die Bewegung des Diamanten bei drehender Scheibe von links nach rechts über die Oberfläche entsteht eine Spirale. Die Steigung der Spirale sowie die Riefenbreite sind einstellbar. Bei geringster Steigung wird die Scheibe geglättet, bei größerer Steigung strukturiert. Dieser Vorgang muss regelmäßig durchgeführt werden, da durch den Schleifvorgang die Abrasivkörner verrunden oder ganz aus der Scheibe ausgebrochen werden, so dass die Schleifscheibe nicht mehr eben ist oder die Abtragsleistung nachlässt.

Beim eigentlichen Schleifvorgang kommen weitere Freiheitsgrade in Form von Andruckkraft oder Vorschubgeschwindigkeit des Skis hinzu. Die Struktur, die man auf dem Skibelag erzeugen möchte, muss vor dem Schleifen in die Schleifscheibe eingebracht werden. Auf diese Art können linear durchlaufende oder unterbrochene Strukturen erzeugt werden, siehe Bild 2.



Bild 2: Links: Linear durchlaufende Riefen. Rechts: Unterbrochene Riefen.

## 2. Grundlagen

### 2.1 Die Schleifscheibe

Schleifscheiben bestehen aus zwei Komponenten, Abrasivkorn und Bindemittel. Diese werden vermengt und in eine runde Form gebracht. Anschließend wird die Masse verdichtet und in einem Hochtemperaturofen gebrannt. Durch Variation der Komponenten kann man die Schleifscheibe für die unterschiedlichsten Anwendungen abstimmen. Die Korngröße beeinflusst hierbei in erster Linie die erzeugte Schleifmikrostruktur und die Abrichtbarkeit der Schleifscheibe. Grobes Korn ist für feine, exakt definierte Strukturen nur bedingt geeignet, hat aber den Vorteil größerer Spanräume (d.h. mehr Raum zur Aufnahme von Spänen) sowie größeren Abtrags. Mit feinem Korn können dagegen sehr exakte Strukturen bei gutem Abtrag erzeugt werden. Nachteilig ist, dass sich die Schleifscheibe bei schlechter KühlstromdüsenEinstellung schneller mit Belagsresten zusetzt, d.h. sich die Spanräume füllen und die Scheibe mit Belagsmaterial zugeschmiert wird. Eine Problematik ausschließlich beim Schleifen von Alpinski, ist die aus unterschiedlichen Materialien aufgebaute Lauffläche der Ski. Eine eher elastische Scheibe mit kunstharzgebundenem Abrasivkorn erreicht zwar hohe Abtragsleistungen am Belag, verändert sich aber durch den Kontakt mit der Stahlkante und trägt diese Änderung auch in den Skibelag. Eine weniger elastische Scheibe (Keramikbinder) ist sehr stahlkantenstabil, führt aber zu keinem guten Abtrag beim Belag.

Die Bindemittelmenge (im Fachjargon der Härtegrad der Scheibe) beeinflusst in erster Linie den Selbstschärfungseffekt, die Kantenstabilität sowie die Aggressivität der Scheibe. Selbstschärfung bedeutet, dass je nach Härtegrad der Scheibe mehr oder weniger Abrasivkörner ausbrechen und so scharfe, unverbrauchte Körner freigelegt werden. Mit Kantenstabilität ist, wie oben bereits erwähnt, die Formtreue der Schleifscheibe bei Kontakt mit der Stahlkante gemeint. Dieser Effekt spielt bei Langlaufski keine Rolle. Bei harten Scheiben gibt es kaum Kornausbrüche und die Schleifscheibe verändert sich kaum, was zu einer guten Abbildung der Strukturen in den Ski führt. Nachteilig bei harten Scheiben ist der schlechte Abtrag besonders bei feinen Strukturen. Weiche Scheiben hingegen erlauben auch bei feinen Strukturen sehr gute Abtragsraten. Die Scheibe wird als aggressiv bezeichnet und führt zu sehr guter Strukturabbildung. Weiterhin befördern mehr Kornausbrüche die Selbstschärfung. Als nachteilig macht sich die geringe Kantenstabilität bemerkbar.

### 2.2 Abrichter

#### *Abrichter in Fliesenform*

Als Fliesen bezeichnet man gesinterte Platten mit zufällig verteilten Diamantsplittern, die an einen Halter gelötet werden, siehe Bild 3a) und b). Der Abrichter gilt als verschlissen, wenn die Diamantsplitter verrundet oder ausgebrochen sind. Ein Abrichter in Fliesenform ist sehr gut für feine Strukturen bei hohem Abrichtvorschub geeignet, da seine Fläche sehr groß ist. Durch den hohen Abrichtvorschub ergibt sich eine signifikante Zeitersparnis. Allerdings verursacht das Ausbrechen stumpfer Diamantsplitter eine fortschreitende leichte Strukturänderung.

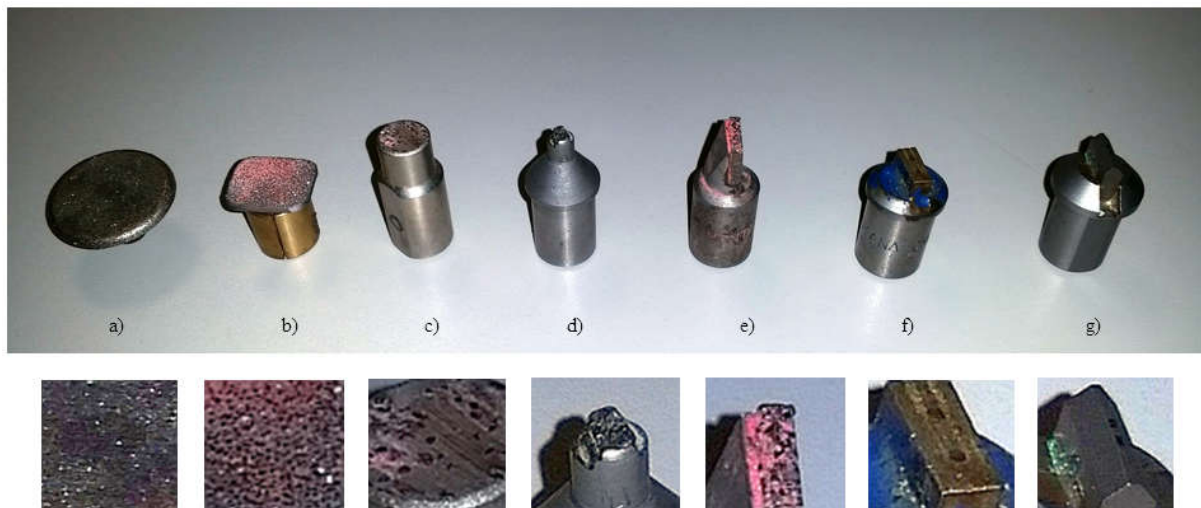


Bild 3: Abrichter: a), b) Fliesen, c), d) Vielkorndiamant, e) Strukturdiamant, f) polykristalliner Diamantstift, g) monokristalliner Diamantstift.

#### *Vielkorndiamantabrichter*

Bei Abrichtern mit Vielkorndiamanten handelt es sich um einzeln gefasste Natur- oder Industriediamanteinkristalle. Diese sind verschlissen, wenn ihre Spitzen stumpf sind, siehe Bild 3c) und 3d). Die Spitzen schärfen sich allerdings bis zu einem gewissen Maß durch das Ausbrechen der Kanten nach. Vielkorndiamantabrichter sind für feine und mittlere Strukturen bei hohem Abrichtvorschub geeignet. Der simultane Eingriff vieler Diamanten führt zu einer Zeitersparnis beim Schleifen. Für gekreuzte oder kreuzversetzte Strukturen sind sie aber nicht geeignet. Zudem ist ihre Standzeit nicht sehr hoch und das Strukturbild verändert sich mit der Zeit durch das Abstumpfen der Diamanten. Dem kann man entgegen wirken, indem der Abrichter von Zeit zu Zeit um 90° gedreht wird, um den Nachschärfeffekt zu unterstützen.

#### *Strukturdiamantabrichter*

Durch die Anordnung mehrerer Diamantnadeln auf einem schmalen Träger (4-7 Stück, siehe Bild 3e) erzielt man spitze, scharf geschnittene Strukturen. Das Werkzeug ist verschlissen, wenn die Nadeln abgeschliffen sind. Allerdings ist das Erzeugen einer glatten Belagsoberfläche ohne Struktur wegen der dünnen Nadelspitzen (0,6-0,8 mm) nur mit extrem langsamem Abzugsvorschub möglich. Es kommt vor, dass die Struktur nach längerem Gebrauch des Abrichters nicht mehr so fein ist. Die Ursache ist, dass nicht nur die Diamantnadeln in den Stein eingreifen, sondern auch das Trägermaterial. Durch beidseitiges Anschleifen des Trägermaterials mit einer Schleifscheibe kann dies aber behoben werden.

#### *Abrichter mit polykristallinen Diamantstiften (PKD)*

Die polykristallinen Diamantstifte des Abrichters haben über ihre ganze Länge einen gleichen Querschnitt und eine runde, bleistiftgleiche Spitze siehe Bild 3f). PKD Abrichter sind für alle Strukturarten gut geeignet. Sie erzeugen einen hohen Abtrag, aber die Struktur wird nicht so exakt geschnitten wie beim Strukturdiamanten. Im Vergleich zu MKD und CVD Abrichtern (siehe unten) besitzen sie eine geringere Standzeit, daher wird der PKD Abrichter nur noch in speziellen Fällen eingesetzt.

#### *Abrichter mit monokristallinen Industriediamantstiften (MKD)*

Wie der PKD ist auch der MKD im Trägermaterial eingebettet und besitzt einen über die ganze Länge gleichen Querschnitt siehe Bild 3g). Durch Ausbrüche entstehen scharfe Spitzen, wodurch die Scheibe etwas aggressiver als beim PKD Abrichter wird. Etwas schärfere Strukturen als durch Bearbeitung mittels PKD Abrichter sind die Folge. Feine Strukturen lassen sich besser als mit PKD Abrichter herstellen. Mittels MKD Abrichter lassen sich hohe Abtragsraten erreichen. Er ist für alle Strukturarten gut geeignet. Beim Abrichten mit hohen Drehzahlen sollte unbedingt auf gut eingestellte Abrichterkühlung geachtet werden, da sonst hoher Verschleiß droht. Die Anordnung der 1-3 Stifte entspricht der des Strukturdiamanten. Anstelle der Diamantstifte werden zunehmend mit CVD Diamant (Chemical Vapour Deposition) beschichtete Hartmetallstifte eingesetzt. Bei der chemischen Dampfabscheidung entsteht die Diamantschicht in einem Reaktor aus der Gasphase. Nach gründlicher chemi-

scher Reinigung des Trägermaterials werden die Prozessgase in den Reaktor eingeleitet und reagieren auf der Hartmetalloberfläche zu Diamant. CVD Diamant ist zäher und verschleißfester als MKD. Dadurch ergibt sich ein besseres Abrichtverhalten beim Brechen der Schleifkörner. Die Schleifergebnisse sind somit besser.

### 3. Strukturen

#### 3.1 Erzeugung der Struktur auf der Scheibe

Ähnlich dem Gewindeschneiden auf einer Drehbank wird durch die gleichmäßige Bewegung des Abrichters über die Scheibe eine feine Rille erzeugt. Die Form der erzeugten Rille hängt sehr stark vom verwendeten Abrichtertyp (Breite, Anordnung und Anzahl der verwendeten Diamantstifte) und dem Überdeckungsgrad (teilweise Überlappung der Rillen, siehe Bild 4) ab. Bei geringer Abrichtgeschwindigkeit entsteht durch die teilweise Überlappung der Rillen (hoher Überdeckungsgrad) eine feine und flache Struktur. Bei hoher Abrichtgeschwindigkeit wird der Abstand zwischen den Rillen größer (geringer Überdeckungsgrad), wodurch eine gröbere, tiefe Struktur entsteht. Eine weitere Variation der Strukturgestaltung ergibt sich durch Abrichten der Scheibe in beide Richtungen. Bei gleicher Abrichtgeschwindigkeit in beide Richtungen entsteht eine Kreuzstruktur. Bei ungleicher Abrichtgeschwindigkeit spricht man von einer kreuzversetzten Struktur. Die Strukturtiefe kann auch über die Abrichtzustellung beeinflusst werden. Im Allgemeinen gilt:

$$\text{Überdeckungsgrad} = \frac{\text{Abrichterbreite}[\text{mm}] \times \text{Drehzahl} [1/\text{min}]}{\text{Abrichtvorschub}[\text{mm}/\text{min}]} \quad (1)$$

Abrichtertyp	Überdeckung < 1	Überdeckung = 1	Überdeckung > 1
PKD-Abrichter			
Diamantabrichter			

Bild 4: Abrichtertyp und erzielte Überdeckung.

Anhand Bild 5 wird die Entstehung der verschiedenen Strukturtypen erläutert. Bei der Linearstruktur wird in die im vorhergehenden Abrichtvorgang glattgezogene Scheibe (Abrichtvorschub  $\leq 40$  cm/min) eine Rille geschnitten, indem in einer Richtung strukturiert wird. Für Kreuzstrukturen werden zwei Rillen mit identischem Vorschub geschnitten, indem in beide Richtungen abgerichtet wird. Je nach Anforderung kann dabei der Abrichter zweimal zugestellt werden. Die kreuzversetzte Struktur entsteht, wenn zwei Rillen mit unterschiedlichem Abrichtvorschub geschnitten werden, indem in beide Richtungen mit unterschiedlichem Abrichtvorschub gearbeitet wird. Auch hier kann je nach Anforderung der Abrichter zweimal zugestellt werden.

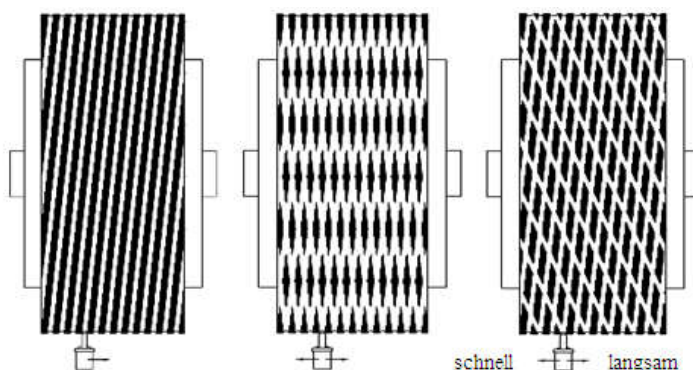


Bild 5: Erzeugung von Strukturen in der Scheibe. Links: Linearstruktur; Mitte: Kreuzstruktur; Rechts: kreuzversetzte Struktur.

## 3.2 Übertragung der Struktur auf den Ski

Beim Schleifen wird der Negativabdruck, der auf der Scheibe erzeugten Struktur, in den Belag übertragen. Das bedeutet, dass wenn in die geglättete Scheibe mit großem Vorschub eine Linearstruktur geschnitten wurde, viel Belag abgetragen werden muss, um die Struktur deutlich abzubilden, siehe Bild 6 links.

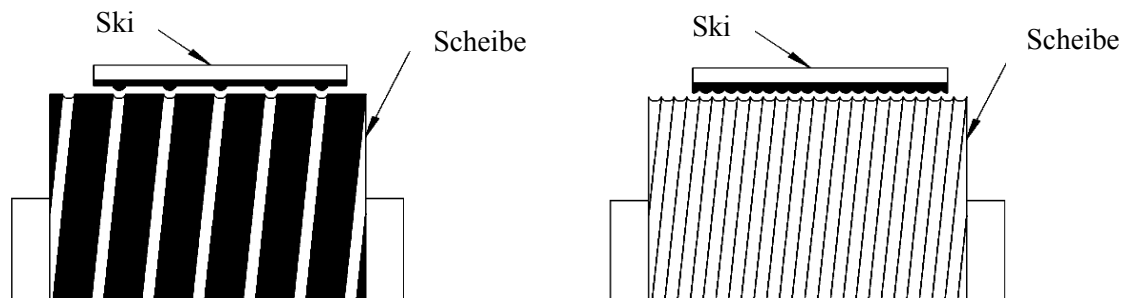


Bild 6: Links: Übertragung von tiefen Strukturen. Rechts: Übertragung von feinen Strukturen.

Wenn dagegen der Überdeckungsgrad größer oder gleich 0,8 ist, ragen Strukturspitzen aus der Scheibe heraus. Das bedeutet, dass nur wenig Belag abgetragen werden muss, um die Struktur kräftig abzubilden, Bild 6 rechts.

## 4. Wirkungsweisen im Schnee

Bild 7 zeigt Schliffstrukturen auf verschiedenen Größenskalen. Allgemein kann man zwischen Mikro-, Meso- und Makrostrukturen unterscheiden, denen man auch verschiedene Funktionen zuordnen kann.

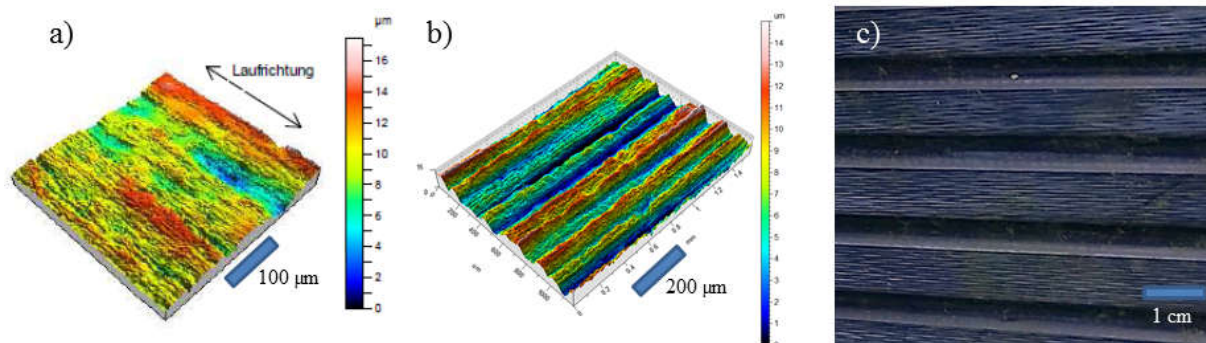


Bild 7: Mikro-, Meso- und Makrostrukturen, v.l.n.r.

### 4.1 Mikrostrukturen

Die Mikrostrukturen mit ihren charakteristischen Abmessungen, d.h. Riefenbreite und Riefentiefe adressieren exakt den Bereich der wahrscheinlichsten Schneekorngröße. In der Regel besitzt abgelagerter Schnee Korngrößen zwischen 100 µm und 500 µm. Druckabhängig entsteht dann die tribologisch wirksame reale Kontaktfläche, die pro Schneekorn nur wenige Quadratmikrometer beträgt. Diese mikroskopischen Kontaktflächen sind sowohl für die Reibungs- als auch die Saugkräfte verantwortlich. Durch den Schliff gelingt es, die reale Kontaktfläche nochmals zu verringern, da die Schliffmikrostruktur – mit Furchen zwischen 1 µm und 10 µm – den Kontakt zwischen Schneekorn und Belag partiell wieder aufhebt. Damit wird auch der Bildung eines Kapillarhalses zwischen Schneekorn und Belag entgegen gewirkt und die Saugneigung verringert sich.

### 4.2 Mesostrukturen

Die Riefenbreiten, die man zur mesoskopischen Struktur zählt, haben Dimensionen, die eine Größenordnung größer sind als die der Mikrostrukturen, also zwischen 10 µm und 100 µm, siehe Bild 7, Mitte. Diese Strukturen verringern ebenfalls die reale Kontaktfläche, da sie Material aus der Laufsohle entfernen. Die Hauptfunktion dieser Riefen ist aber die Verhinderung der Ausbreitung von Wasser senkrecht zur Fahrtrichtung. Bei Bedingungen nahe 0°C ist nicht nur Wasser auf den einzelnen Schneekörnern zu finden, sondern auch freies Schmelzwasser zwischen den Körnern. Die Mesostrukturen unterbinden die Bildung eines großen, die gesamte Breite des Skis erfassenden, Kapillarhalses und halten so die Saugwirkung klein.

### 4.3 Makrostrukturen

Makrostrukturen in Form von Rillen verringern die reale Kontaktfläche zwischen Ski und Schnee nochmals drastisch. Mit einer Rillenbreite von bis zu 1 cm kann so die Kontaktfläche bis auf 50% bis 75% der Ausgangsfläche reduziert werden. Bedenkt man aber, dass der Kontakt zwischen Ski und Schnee sowieso nur auf ca. 1/1.000 der geometrischen Kontaktfläche abläuft, so marginalisieren sich derartig makroskopische Eingriffe. Dazu kommt, dass aufgrund der Flächenverringerung der Druck auf die verbliebenen Kontaktbereiche zwischen den Rillen steigt und in dessen Folge die mikroskopischen Kontaktflächen größer werden. Am Ende kann letztgenannter Effekt dazu führen, dass sich die Maßnahmen in ihrer Wirkung aufheben. Eine weitere Wirkung, die durch die Rillen verursacht wird, ist die veränderte Skiführung. Im Extremfall kann es dazu kommen, dass der Ski nicht mehr manövrierfähig ist, weil er geradeaus fahren möchte. Bei Langlaufski kann mittels Rillen aber auch ein positiver Effekt erreicht werden, weil der Abdruck beim Skaten besser wird.

## 5. Zusammenfassung

Schliffe greifen auf verschiedenen Längenskalen in die Gleiteigenschaften eines Skis ein. Die hauptsächliche Funktion eines Schliffs liegt in der Verringerung der Kontaktfläche, was in kleinerer Reibung resultiert. Darüber hinaus ebnet der Schliff auch den Ski und entfernt die Oxidationsschicht des Polyethylens. Neben der Verringerung der Kontaktfläche minimieren gute Schliffe auch die Saugwirkung. Da mit der Verringerung der Kontaktfläche auch eine Erhöhung der Reibleistungsdichte und in deren Folge die Bildung einer dickeren Wasserschicht auf den Schneekörnern einhergeht wird deutlich, dass es keinen Allroundschliff für alle Bedingungen geben kann. Ein Schliff stellt immer einen Kompromiss dar. Bild 8 fasst die Einflüsse zusammen und bringt sie zur Größenskala in Relation.



Bild 8: Einflüsse und Größenskala des Skischliffs.

Danksagung: Vielen Dank an Dr. Reinhard Groß und Uwe Hanss für die Anregungen und Korrekturen!