



Zur Wirkung von Strukturgeräten

Matthias Scherge, Christian Winker*

*Nordic Paraski Team Deutschland

ARTIKELINFORMATION

Schlüsselworte:

Strukturgerät

Skipräparation

KURZFASSUNG

Die Behandlung von Ski mit einem Strukturgerät ist eine schnelle und elegante Möglichkeit, die Gleiteigenschaften über einen weiten Bereich zu variieren. Die Strukturen werden, anders als beim Skischliff, nicht abtragend erzeugt, sondern mittels Prägung eingebracht, was allerdings mit ähnlichen Strukturturen wie beim Schleifen einhergeht. Die hauptsächliche Wirkung der Strukturen besteht in der Verringerung der reibungsbeeinflussenden Kontaktfläche zwischen Ski und Schnee, in der Verringerung der Saugwirkung sowie in der Veränderung der Eigenschaften des Skischliffs.

©Team Snowstorm

1 Einführung

Eigentlich sollte es heute kalt und sonnig werden. Vorige Woche gab es reichlich Neuschnee und dann wurde es kalt, was den erfahrenen Skifahrer dazu verführt, eine feine Schliffstruktur auszuwählen. Auf der Loipe angekommen, fängt es plötzlich an zu tropfen und dann zu nieseln und es ist spürbar milder geworden. Nach kurzer Zeit zeigen sich unter den Skiern erste zaghafte Stollen, dann eine kompakte Schneeschicht, die das Laufen zur Hölle macht. Kurz vor dem Aufgeben bietet mir jemand ein Strukturgerät an und rät zu einer Rolle, mit der ich ein geordnetes Rillennmuster auf die Ski zaubern soll. Der Rest des Tages ist schnell erzählt: Von da an war ich der Schnellste.

2 Technischer Hintergrund

2.1 Strukturgeräte

Strukturgeräte sind etwa faustgroß, sollten gut in der Hand liegen und über sogenannte Strukturrollen ein regelmäßiges Muster in den Skibelag einbringen. Bei Strukturgeräten kommen Stahl-, Messing- oder Aluminiumrollen zum Einsatz, die entweder direkt auf dem Skibelag abgerollt werden, oder mittels Übersetzung eine Überlagerung aus Überrollen und Überreiben ausführen. Die Rollen tragen Muster, die mit einer Fräsmaschine erzeugt wurden, um dem Skischliff ähnlich sehende Strukturen auf dem Ski zu erzeugen [1]. Abbildung 1, links zeigt den Vorgang des Aufbringens der Struktur und Abb. 1, rechts eine Auswahl von Strukturrollen, wie sie auch in diesem Beitrag genutzt wurden.

Mit den Rollen können linear laufende Rillen, schräg laufende Rillen oder linear laufende Rillen mit Unterbrechung erzeugt werden. Das Strukturgerät wird von der Skispitze zum Skiende mit zunehmendem Druck geführt. Die Strukturrollen ohne Übersetzung drücken ihr Muster in den Belag, während bei Strukturgeräten mit Übersetzung das Muster eingedrückt und eingerieben wird. Die Übersetzung setzt

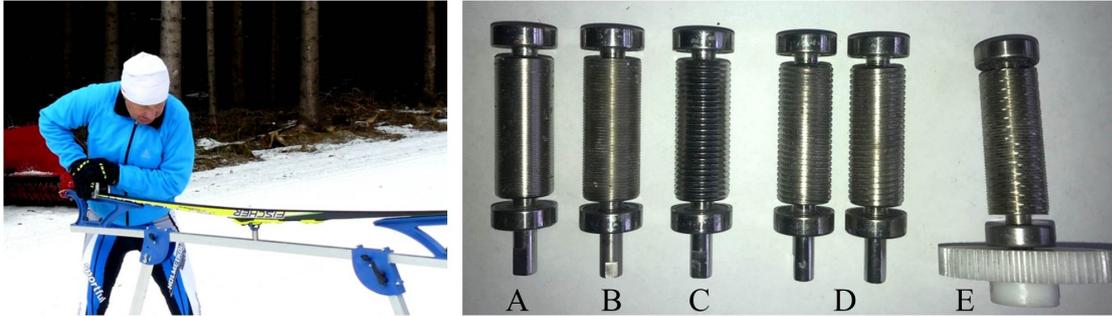


Abb. 1: Links: Aufbringen der Struktur. Rechts: Strukturrollen. Die Strukturrolle E hat eine Übersetzung.

zudem die Überrollgeschwindigkeit herunter, in dem die antreibende Gummirolle mit kleinem Zahnrad auf ein größeres Zahnrad an der Strukturrolle übersetzt (Rolle E im Bild). Die durch die Strukturrollen eingebrachten Muster werden ohne Materialabtrag erzeugt, da das Skibelagsmaterial den Prägerillen ausweicht. Es kommt also zu einer Umverteilung von Belagsmaterial. Eingedrücktes Material kommt an anderen Stellen wieder zum Vorschein.

2.2 Skipräparation

Als Testobjekt diente ein Atomic Skatingski mit einer Länge von 1,8 m. Der Ski trug keinen Schliff, d.h. die Ausgangstopographie mit sehr geringer Rauheit war durch den Schälprozess bei der Belagsherstellung definiert. Die Auswahl der Rollen zeigt Tab. 1. Die Strukturen wurden nacheinander aufgebracht, wobei nach jedem Strukturierungsschritt mehrere Gleittests zur Ermittlung der Gleitzeit durchgeführt wurden.

Tab. 1: Strukturrollen.

Rolle	Versatz	Typ
A	750 μm	linear
B	1.000 μm	linear
C	1.500 μm	linear
D	1.500 μm	linear schräg, gegenläufig
E	1.000 μm	linear, v-förmig, unterbrochen

2.3 Analytik

Zur Sichtbarmachung der erzeugten Strukturen kam ein konfokales Mikroskop (confovis) zum Einsatz. Um die Belagsoberflächen zu analysieren reicht es nicht aus, maschinenbautypische Rauheitsparameter wie Rpk, Rk oder Rvk einzelner Profillinien zu ermitteln. Es ist vielmehr erforderlich, die Topographie flächig zu beurteilen. Die Darstellung der Oberflächen in 3d Höhenfarbkodierung ist sehr instruktiv und gestattet einen schnellen Eindruck von der Verteilung der Rauheiten und der sich ergebenden Kontaktfläche mit dem Schnee. Die Kontaktfläche von Ski und Schnee bestimmt zu einem großen Teil den Reibwiderstand.

2.4 Gleittests

Alle Gleittests wurden von Ko-Autor Christian Winker durchgeführt. Die Tests erfolgten in einer vorbereiteten Loipe in Sjusjoen, Norwegen. Die Gleitstrecke hatte eine Länge von 40 m. Am Tag der Messung herrschte eine Luft- und Schneetemperatur von -6°C . Der Schnee war fein- bis mittelkörnig mit einer mittleren Korngröße von 200 μm . Bei den Gleittests wurde die Fahrzeit als Geschwindigkeitsindikator genutzt. Zur Ermittlung der Zeit trägt der Tester am Knöchel einen optischen Sensor, der an einer Startmarkierung ausgelöst und an der Zielmarkierung abgeschaltet wird. Der Tester führte 4 Gleitversuche pro Struktur durch und mittelte dann die Gleitzeiten.

3 Ergebnisse

3.1 Strukturierung

Abbildung 2 zeigt die Topographie des Belags im Ausgangszustand. Die zu erkennende Rauheit stammt von der Schneidklinge, die beim Schälen des Belags verwendet wurde. Der Unterschied zwischen Höhen und Tiefen (Profiltiefe) liegt bei ca. $5\ \mu\text{m}$. Bereits nach dem Einsatz der ersten Rolle (A) erkennt man neben den 3 Spuren im Abstand von $750\ \mu\text{m}$, dass sich der Belag leicht aufwirft. Die erzeugten Strukturen haben eine Tiefe von ca. $10\ \mu\text{m}$ und die gesamte Profiltiefe liegt bei ca. $25\ \mu\text{m}$. Nach der Behandlung mit Rolle B kommen Strukturen mit einem Abstand vom $1\ \text{mm}$ hinzu, die aber nicht so tief sind wie die der ersten Rolle, so dass sich an der Profiltiefe nichts ändert. Nach der dritten Rolle (C), die immer noch eine lineare Struktur erzeugt, erkennt man eine weitere Aufrauung des Belags, besonders zwischen den Strukturen. Dieser Prozess setzt sich mit dem Einsatz der weiteren Rollen fort. Mit den nächsten Rollen kommen verschränkte Strukturen hinzu, die man für Rolle D schwach und für Rolle E deutlich erkennt. Die Strukturtiefe liegt jetzt in einem Bereich zwischen $40\ \mu\text{m}$ und $50\ \mu\text{m}$, was einem tiefen Schliff für nasse Bedingungen entspricht. Die Strukturen durch die Rollen D und E führen dazu, dass der Belag an weniger Stellen mit dem Schnee in Kontakt kommt als z.B. die Struktur, die durch Rolle A erzeugt wurde.

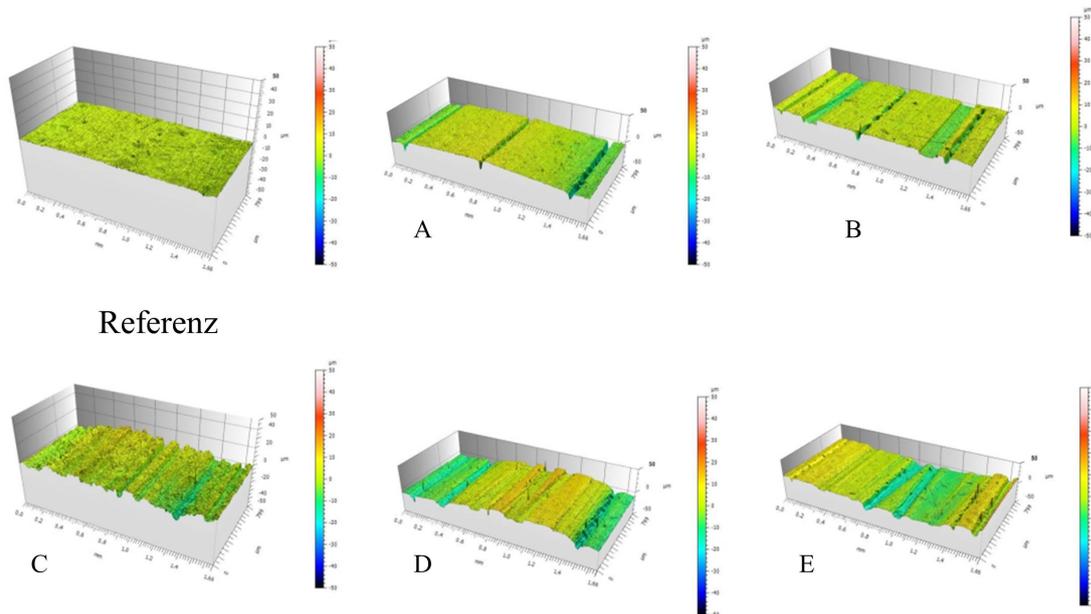


Abb. 2: Oberflächenbeschaffenheit der Referenz und der Oberflächen nach Aufbringen der Strukturen A bis E. Neben den tiefen Strukturen der Rollen erhält der Belag auch eine Welligkeit als Reaktion auf die eingeleitete Kraft.

In den jeweiligen Rauheitsanalysen wurde auch der Traganteil bestimmt. Der Traganteil ist eine sehr instruktive Größe die entsteht, wenn man auf eine raue Oberfläche eine gedachte Ebene horizontal absenkt und detektiert, bei welcher Absenktiefe c Anteile der Rauheiten die Ebene durchstoßen, siehe Abb. 3.

Am Beginn der Analyse sind das natürlich nur die Spitzen der größten Rauheiten, d.h. der Traganteil beträgt nur wenige Promille der geometrischen Kontaktfläche. Am Ende der Analyse befindet sich die gedachte Ebene im Material und der Traganteil ist gleich 100 Prozent. Mit dieser Art der Analyse ergab sich für die Referenzstruktur nach geringer Absenkung der Ebene bereits ein Traganteil von nahezu 100%, siehe Abb. 4, rechts. Nachdem die Rollen A bis C zum Einsatz kamen, änderte sich am Tragverhalten nur sehr wenig. Eine deutliche Änderung war erst spürbar, nachdem Rolle D verwendet wurde. Die Traganteilkurve hat die kleinsten Werte, was bedeutet, dass auch bei tieferem Einsinken des Skis in den Schnee nur geringe Anteile des Belags in direkten Kontakt mit dem Schnee kommen. Nach Rolle E nimmt dann der Traganteil nicht weiter ab.

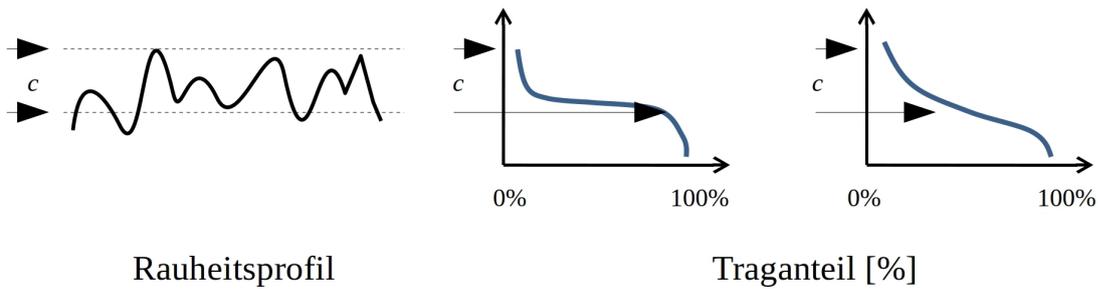


Abb. 3: Links: Rauheitsprofil mit gedachter Ebene auf den Spitzen ($c = 0$) und im Profil ($c > 0$). Mitte und Rechts: Traganteilekurven der Referenz sowie nach Anwendung der Strukturrollen. Bei der Referenz wurden bereits bei geringem c -Wert hohe Traganteile gemessen. c bezeichnet den Abstand der gedachten Ebene zur Rauheitsstruktur.

3.2 Gleittests

Die Gleitzeiten des ersten Versuchs, d.h. mit unstrukturiertem Ski, und die der 3 folgenden Läufe sind nahezu gleich. Erst mit dem Einsatz der Rolle D setzte ein signifikantes Absinken der Gleitzeit ein, gefolgt von einem leichten Anstieg nach Strukturierung mit Rolle E.

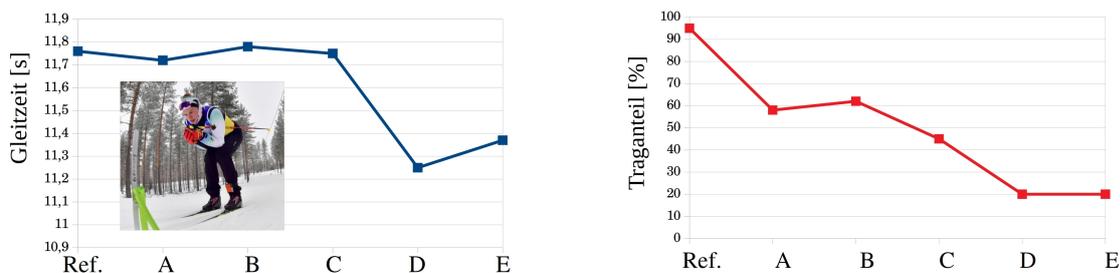


Abb. 4: Gleitversuche zur Bewertung der Strukturen. Links: Gleitzeit des Referenzskis und nach Anwendung der Rollen A bis D. Rechts: Traganteil der Ski im Referenzzustand und nach Strukturierung. Foto mit freundlicher Genehmigung von Luc Percival.

Im rechten Teil des Bilds ist der Traganteil dargestellt. Auffallend ist die deutliche Verringerung sofort nach Anwendung der Rolle A. Wie bereits erwähnt, führen die Rollen B und C nur zu geringen Änderungen. Die Rollen D und E bewirken die größte Verringerung des Traganteils.

3.3 Bewertung der Haltbarkeit

Skibeläge aus ultrahochmolekulargewichtigem Polyethylen (UHMWPE) sind, wie der Name es bereits verrät, sehr dicht [2]. Die einzelnen Kohlenwasserstoffketten liegen eng nebeneinander. In vielen Bereichen zeigen diese Ketten sogar eine Ordnung, die man als teilkristallin bezeichnet. Wenn in eine derartig dichte Struktur ein anderer Körper, in unserem Fall die Strukturrolle, eindringen möchte, müssen die Ketten umgeordnet werden. Wie Abb. 2 zeigt, wirft sich der Belag auf, was eine Reaktion auf die Umverteilung der Ketten darstellt. Da das Belagsmaterial zudem viskoelastische Eigenschaften besitzt, wird eine Tendenz zum Wiederauffüllen der Prägestrukturen vermutet. Abbildung 5 zeigt Strukturen, die mit einem Lichtmikroskop über eine Zeitspanne von ca. 1 Monat beobachtet wurden. Vor der letzten Mikroskopieaufnahme wurde der Belag bei 130°C für 15 Minuten gelagert. Es ist klar ersichtlich, dass, im Gegensatz zur Vermutung, die Strukturen erhalten bleiben und sich nur zum Teil rückbilden.

4 Diskussion und Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass die Nutzung eines Strukturgeräts in Abhängigkeit der verwendeten Rolle zu deutlichen Spuren im Skibelag führt. Die Tiefe der eingebrachten Strukturen liegt im Bereich der Tiefen, die ein Skischliff erzeugt. Somit kann ein Ski für Kaltbedingungen (feiner Schliff) durch die

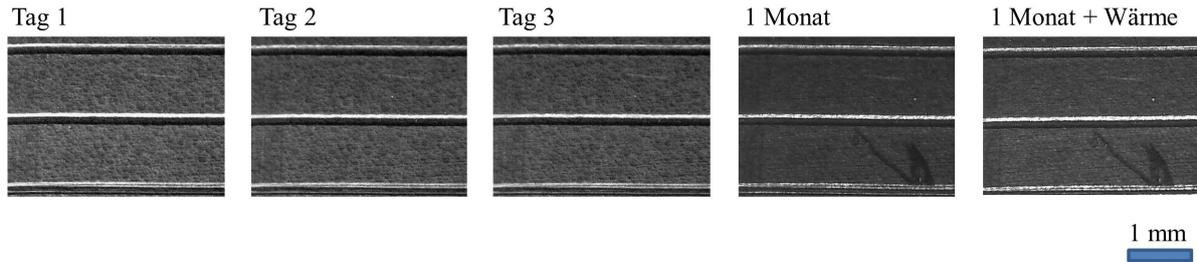


Abb. 5: Zeitliche Entwicklung der Spuren von Handstrukturen.

Verwendung eines Strukturgeräts in einen Ski für Nassbedingungen verwandelt werden. Der umgekehrte Weg ist bedingt möglich. Hat man einen Ski mit tiefem Schliff, so kann mittels Strukturgerät und feiner Rolle eine Überstruktur aufgebracht werden, d.h. die Bereiche zwischen den tiefen Schleifriefen erhalten eine Feinstruktur.

Der Einfluss der Strukturierung auf die Gleiteigenschaften mit Fokus auf Geschwindigkeit wird spürbar, wenn der Traganteil gering wird. Dieser Effekt ist mit bloßem Auge allerdings nicht wahrnehmbar. Ein geringer Traganteil sorgt – zumindest in diesem Temperaturbereich – für geringe Reibung und gutes Gleiten. Bei Temperaturen um den Nullpunkt kommen Nebeneffekte, wie die des oberflächennahen Pflügens der Schneekörner durch den Skibelag, hinzu und die Situation wird komplizierter. Bei nassem Schnee sollte eine Rolle zum Einsatz kommen, die gröbere Muster als die des Schliffs erzeugt und so die flächige Ausbreitung des Wassers unter dem Ski, d.h. die Bildung einer großflächigen kapillaren Brücke, verhindert [3].

Der Sachverhalt, dass die geprägten Strukturen doch recht beständig sind, macht regelmäßiges Schleifen der Ski notwendig, denn mit jeder Nutzung des Geräts erhält man neuartige Strukturen, die mit dem Ausgangszustand nach dem Schleifen nur wenig zu tun haben.

Danksagung

Ein herzlicher Dank der Autoren geht an Thomas Burmann für Begutachtung, fachliche Hilfe und konstruktive Kritik.

Über die Autoren



Christian Winker ist Student der Umweltwissenschaften mit Schwerpunkt Meteorologie an der Universität Freiburg und Mitglied des Nordic Paraski Teams Deutschland, welches er als Techniker unterstützt. Christian hat 2019 den 100 km langen Rucksacklauf gewonnen und war international ebenfalls erfolgreich. 2017 errang er u.a. bei den Weltmeisterschaften als Guide einen 4. Platz in der $4 \times 2,5$ km Langlauf-Staffel.



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.

References

- [1] Johannes Höfflin and Matthias Scherge. Wie entstehen moderne Skischliffe? *Gliding*, 1:1–6, 2018.
- [2] Matthias Scherge. Wachs oder kein Wachs – Das ist hier die Frage. *Gliding*, 1:1–3, 2016.
- [3] Matthias Scherge. Skischliffe falsch interpretiert. *Gliding*, 1:1–6, 2017.