

Dieser Artikel wird Ihnen  
präsentiert von

**Glice** <sup>+</sup>  
Swiss Eco Rink Technology™

# Die Zukunft des Eislaufens

**Ganzjähriges Eislaufvergnügen**  
**Für Profis und Hobbysportler**  
**Null Wasser, Energie, und CO<sup>2</sup>.**

**Ein Baum für jedes Paneel**  
Mit der Hilfe von Eden Reforestation pflanzen wir für jedes von uns produzierte Glice-Paneel einen Baum. Jeder Baum bindet 200 kg CO<sub>2</sub>  
Über 100.000 gepflanzte Bäume

Einmal zu installieren

**Glice** <sup>+</sup> **com**



# Nachhaltigkeit im Wintersport – Die tribologische Perspektive

Matthias Scherge, 76131 Karlsruhe

## Kurzfassung

Dieser Beitrag beleuchtet das Thema Nachhaltigkeit im Wintersport mit Fokus auf die Tribologie, d.h. Vorgänge, die mit Reibung, Schmierung und Verschleiß zu tun haben. Es wird gezeigt, welche Maßnahmen im Ski- und Kufensport unternommen wurden, um Energie und Ressourcen zu schonen. Da Schnee und Eis einzigartige Eigenschaften mit Bezug auf das Gleiten besitzen, wird eingeschätzt, wie sich diese Eigenschaften durch die Ersatzprodukte ändern. Weiterhin wird erklärt, wie sich die tribologischen Mechanismen ändern, wenn man z.B. vom System Kufe – Eis auf das System Kufe – Polymer wechselt. Der Beitrag behandelt nicht die Thematik der Erzeugung von künstlichem Schnee. Der Problembereich des ressourcenschonenden Wirtschaftens in den Skigebieten wird nur angerissen.

## Einführung

Der Wintersport ist eine Leidenschaft, die Millionen von Menschen auf der ganzen Welt vereint. Ob Skifahren, Langlaufen oder Eislaufen - die Freude an der Bewegung in der winterlichen Landschaft ist unvergleichlich. Doch während wir die majestätischen Berge, die schneebedeckten Pisten oder die Loipen genießen, sollten wir uns auch unserer Verantwortung gegenüber der Umwelt bewusst sein. Nachhaltigkeit im Wintersport ist heute mehr als ein Trend; sie ist eine Notwendigkeit, um die Natur und die Schönheit der Winterlandschaften für kommende Generationen zu erhalten. Vielleicht sind aber auch nachhaltige Lösungen mit Alternativen zum Schnee eine Möglichkeit, mehr Menschen für das Gleiten zu begeistern.

Ein wichtiger Aspekt der Nachhaltig-

keit im Wintersport ist ein ressourcenschonendes Wirtschaften. Skigebiete sollten sich darauf konzentrieren, Energie zu sparen, Abfall zu reduzieren und Wasser effizient zu nutzen. Dies kann durch die Verwendung erneuerbarer Energiequellen, die Implementierung effektiver Abfallmanagement-Systeme und den Einsatz von wassersparenden oder sogar wasservermeidenden Technologien erreicht werden. Darüber hinaus sollten Skigebiete auf umweltfreundliche Baustoffe und -praktiken setzen, um die natürliche Umgebung bestmöglich zu erhalten.

Die Bewahrung der einzigartigen Flora und Fauna in den Wintersportregionen ist von großer Bedeutung für das Ökosystem. Um die Biodiversität zu schützen, sollten Skigebiete Maßnahmen ergreifen, um die natürlichen Lebensräume zu bewahren und den Einfluss auf die Tierwelt zu

minimieren. Dies kann durch die Begrenzung von Baumaßnahmen, das Schaffen von Schutzgebieten und die Förderung umweltverträglicher Aktivitäten erfolgen. Darüber hinaus sollten Besucher über die Bedeutung des Naturschutzes informiert und sensibilisiert werden.

In Erweiterung des Anspruchs von GLIDING, wissenschaftliche Information rund um das Thema Gleiten auf Schnee, Eis und Wasser aufzubereiten und in populärwissenschaftlichem Stil darzubieten, konzentriert sich dieser Beitrag auf Fragen des Gleitens auf Ersatzmaterialien wie z.B. den Matten. Der Fokus liegt also auf tribologischen Effekten, das heißt auf allem, was mit Reibung, Verschleiß und Schmierung zusammenhängt. Wir präsentieren Beispiele aus den folgenden Bereichen:

- alpines Skifahren und Langlauf
- Skispringen
- Kufensport

## Alpines Skifahren und Langlauf

Skipisten aus Kunststoff, auch als „Dry Slopes“ oder „All-Weather-Skislopes“ bezeichnet, sind speziell konstruierte Oberflächen, die das Skifahren und -laufen unabhängig von den natürlichen Schneebedingungen ermöglichen.

Die Oberfläche von künstlichen Skipisten besteht in der Regel aus speziellen Kunststoffmatten oder Kunststoffplatten. Diese Gleitelemente werden in einem bestimmten Muster angeordnet und bieten eine glatte Oberfläche, auf der die Ski gleiten können. Gleichzeitig bieten die Gleitelemente senkrecht zur Fahrtrichtung aber genügend Widerstand, um Kurven ausführen zu können.

Ein gebräuchlicher Typ von Gleitelementen nutzt eine bürstenartige Struktur von senkrecht stehenden, etwa 2 cm hohen und ca. 3 mm dicken Kunststoffzylindern, die oben abgerundet sind, siehe Abb. 1. Durch den halbkugelförmigen Abschluss der Zylinder wird eine geringe reale Kontaktfläche zum Ski erreicht.

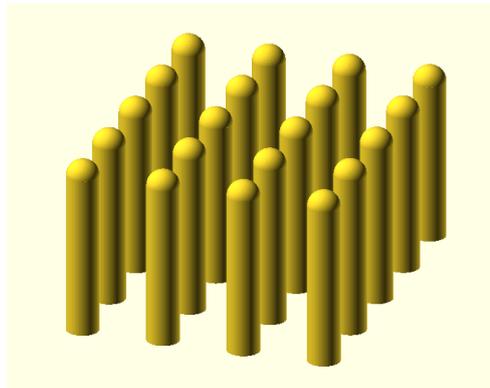


Abb. 1: Gleitelement mit Bürstenstruktur.

Die entstehende Reibung kann man mit dem Bowden-Tabor Modell beschreiben [1]:

$$F = \tau A \quad (1)$$

$F$  ist die Reibungskraft,  $\tau$  der Scherwiderstand und  $A$  die reale Kontaktfläche.

Ein geringer Scherwiderstand wird durch eine optimale Abstimmung des verwendeten Kunststoffes gegen Polyethylen (UHMWPE), dem Material der Skisohle, erreicht. Mit welchen Additiven die Kunststoffe gefüllt ist, wird meist nicht offengelegt. Es handelt sich aber in der Regel um feste Zuschläge (Partikel im Mikro- und Nanometerbereich) sowie flüssige Stoffe, wie z.B. Silikonöl. Während die Feststoffe die Polymerhärte beeinflussen, wirken sich die Öle, als eingebauter Schmierstoff, direkt auf die Reibung aus. Der Scherwiderstand kann aber auch durch Verwendung von Skiwachs verringert werden.

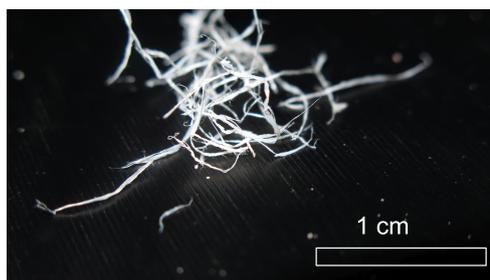


Abb. 2: Abriebpartikel des Gleitelements auf dem Ski.

Wenn die Schmierung lokal oder zeitlich versagt, kommt es zu Verschleiß. In diesem Fall verschweißen die Reibpartner, reißen auseinander, verschweißen erneut, usw. Als Resultat entsteht Verschleiß in Form von Fäden und Partikeln. Berichte vom Speedski-Rennen im Januar 2015 in Grandvalira (Andorra), bei dem von einem mit den Gleitelementen belegten Turm gestartet wurde, zeigten Ab-

riebspuren auf dem Skibelag. Der Belag musste aufwändig gebürstet werden, um die Fäden zu entfernen, siehe Abb. 2 [2]. Neben der Sorge der Speedski Fahrer muss bemerkt werden, dass sich dieser Abrieb natürlich auch in der Natur wiederfindet.

Ein anderer Typ von Gleitelementen erreicht die für geringe Reibung erforderliche kleine Kontaktfläche durch eine schlaufenartige Struktur. Ähnlich wie in obigem Beispiel drückt der Ski die einzelnen Schlaufen nieder und erzeugt so die Seitenführung. Derartige Gleitelemente wurden in Mattenform ebenfalls in Granvalira installiert und beim Rennen im April 2019 getestet, siehe Abb. 4 a). Simone Origone gewann damals das Rennen mit 183,40 km/h. Es wurde kein Abrieb der Gleitelemente auf dem Belag entdeckt und der damals amtierende Weltrekordhalter kommentierte sein Gleiterlebnis mit „Perfetto!“ [2].

Eine weitere, vor allem in Großbritannien sehr verbreiteter Mattentyp, nutzt ebenfalls den Ansatz der Bürste mit entsprechenden Monofilamenten. Anders als bei den oben vorgestellten Lösungen, müssen diese bewässert werden. Teilweise werden Bürsten mit variabler Fadenlängen verwendet, um den allmählichen Kantengriff und die Verdrängung des Schnees zu simulieren.

## Skispringen

Schanzen werden im Winter wie im Sommer betrieben. Daher existieren verschiedenartige Reibpartner, mit denen die Ski Kontakt machen, wie z.B. Schnee, Eis, Porzellan, diverse Kunststoffe sowie Gras. Alle genannten Stoffe ziehen eine breite Palette von Reibungskoeffizienten nach sich. Hier soll sich auf die Sommervariante konzentriert werden.

In der Spur als auch im Aufsprunghügel muss die Reibung in Fahrtrichtung deutlich niedriger sein als senkrecht dazu. Bei der Spur wird dem Rechnung getragen, indem die Bewegung senkrecht zur Fahrtrichtung durch Seitenbegrenzungen nicht möglich ist. Im Aufsprunghügel müssen die Matten so beschaffen sein, dass ein Wegrutschen zur Seite

schwerer möglich ist als in Fahrtrichtung. Umgesetzt wird diese Forderung durch die Struktur der Matten, die bei Kanteneinsatz einen gewissen Grad an Widerstand leisten.

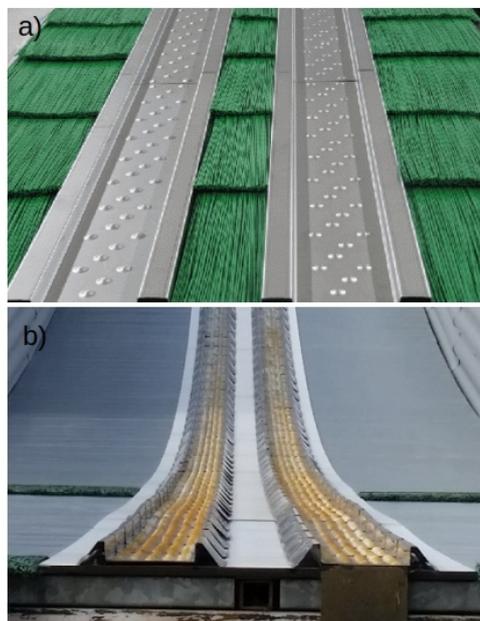


Abb. 3: a): Metallspur mit Noppen (mit Genehmigung von Conductio Oy). b): Metallspur mit Keramiknoppen.

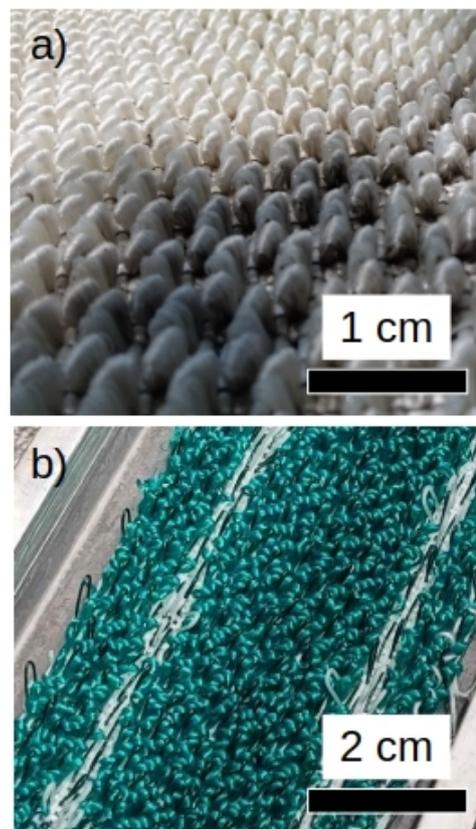


Abb. 4: Gleitmatten mit Schlaufenstruktur. a): Matten, die beim Speedski eingesetzt wurden. b): Matten für Aufsprunghügel.

### Anlaufspuren

Für Winter- und Sommerbetrieb existieren naturgemäß unterschiedliche Anlaufspuren. Im Winter findet man Spuren aus Schnee oder Eis,

während im Rest des Jahres Spuren aus Metall oder Metall mit Gleitkörpern zum Einsatz kommen, siehe Abb. 3.

In einfachster Bauart findet man Spurrinnen aus Metall, in denen die Ski geführt werden. Zur Verringerung der Reibung werden diese Spuren mit Wasser gespült. Zur weiteren Reibungsreduktion erhalten die Spuren halbkugelförmige, teils abgeflachte Noppen. Als Noppenmaterial findet man Kunststoff (POM), Keramik oder Porzellan. Zum Teil wird auch durch Prägen die Metallspur so strukturiert, dass Noppen entstehen.

### Aufsprunghügel

Während in der Anlaufspur geringste Reibung gefragt ist, besteht im Aufsprunghügel die Forderung einer sicheren Landung, was einen gewissen Reibungswert zur Seitenführung erfordert.

Seit den 70'er Jahren haben sich Matten, bestehend aus einer Vielzahl von einzelnen Fäden, bewährt, siehe Abb. 5 a). Die Matten müssen wie die Anlaufspur ebenfalls bewässert werden, um die Reibung zu reduzieren, Abb. 5 b). Die Vergrößerung in Abb. 5 c) zeigt, wie die Matte Wasser speichert. Am Kontaktwinkel ist zu erkennen, dass der verwendete Kunststoff hydrophil ist und sehr gut benetzt. Wäre das nicht der Fall, würde das Wasser durch die Matte in den Untergrund laufen und der Wasserbedarf des Auslaufs wäre sehr groß.

Reibungsmessungen mit einem tragbaren Messgerät [3] belegen den deutlichen Unterschied zwischen trockener und geschmierter Reibung. Die Messungen erfolgten bei ca. 1 m/s, d.h. kleiner Geschwindigkeit, verglichen mit der des Aufsetzens auf der Matte. Gemäß der Stribeckkurve, die den Reibungskoeffizient als Funktion des Quotienten aus Gleitgeschwindigkeit, Viskosität und Anpressdruck darstellt, bewirkt eine hohe Geschwindigkeit sehr kleine Reibungswerte in der Nähe des Minimums der Kurve [4]. Ein Durchschreiten dieses Minimums durch höhere Geschwindigkeit würde in wachsender Reibung, aber gleichzeitig auch im Verlust der Kontrollierbarkeit des Skis durch Aquaplaning resultieren,

da dieser durch einen vollständig ausgebildeten Wasserfilm von der Matte getrennt wäre.

Der in Abb. 4 a) vorgestellte Mattentyp wurde 2018 auf einer kleinen Schanze im Steinbach-Hallenberg installiert. Durch die Kombination von Kunststofffaser und Schlaufenform, können mit diesen Matten kleinere Reibungswerte als auf ihrem grünen Vorgänger erreicht werden. Auf Grund der Faserbündel halten die Matten deutlich mehr Wasser. Somit sinkt der Wasserverbrauch der Anlage. Der tribologische Mechanismus ist ebenso wie bei der Anlaufspur in der Hydrodynamik zu finden [4]. Das im Faserverbund der Matten gespeicherte Wasser dient als Schmierstoff. Da bei der Landung der Kontakt zwischen Ski und Matte sehr schnell erfolgt, bleibt nicht genügend Zeit, um das Wasser aus dem Kontakt zu drängen und es entsteht Schmierwirkung. Diese bleibt bis zum Stand erhalten oder bis der Rasen anfängt.

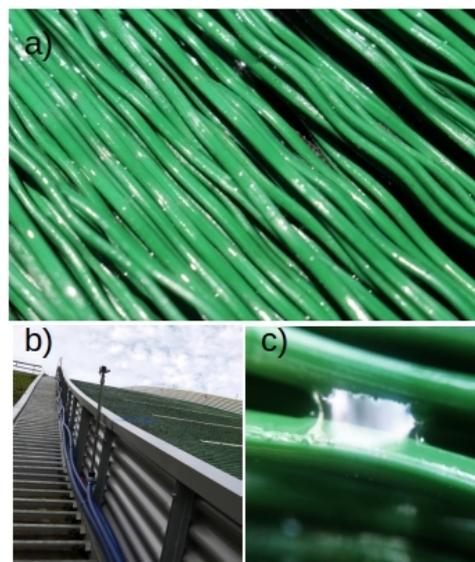


Abb. 5: a): Schanzen mit herkömmlichem Mattensystem in Fadenform. b): Bewässerungsanlage. c): Wasser, welches durch Kapillarkräfte in der Struktur gehalten wird.

## Kufensport

Kufensport auf künstlichem Eis bezieht sich in der Regel auf Aktivitäten wie Eislaufen und Eishockey. Künstliches Eis in Form von Polymerplatten wird häufig in Eishallen, Eisbahnen oder Eisparcs eingesetzt, um ganzjährig Eisaktivitäten zu ermöglichen. Künstliches Eis bietet den Vorteil, dass es weniger empfindlich gegenüber Temperaturschwankungen ist und keinerlei Energie für die Kühlung benötigt.

## Eislaufen

Der Eisersatz besteht, wie auch die meisten Skibeläge, aus hochmolekulargewichtigem Polyethylen, welches bis an die Grenzen des Machbaren mit Ölen (Silikonöl, Naturöl oder Paraffinen) gefüllt ist. Das Öl diffundiert zur Oberfläche und bildet dort einen sehr dünnen Schmierfilm, der mit der Hand nicht wahrnehmbar ist, aber effizient die Reibpartner trennt. Hierfür genügen wenige Nanometer. Bei zusätzlichem Kontaktdruck wird aus dem gesinterten Ausgangsgranulat das Öl herausgepresst und verbessert die Schmierwirkung. Daher gleiten frisch geschliffene Kufen besser, da die Flächenpressung höher ist. Dass der Reibwert aber höher als gegen Eis ist, kann man auch indirekt aus dem Verschleiß ablesen. Nach Angaben der Firma Like-Ice werden die Kufen etwa doppelt so schnell stumpf wie gegen Eis. Mit dem höheren Reibwert steigt die Reibleistung im Kontakt und diese Leistung resultiert in Temperaturanstieg und Verschleiß.

Wenn man die Reibmechanismen vergleicht fällt auf, dass beim Kontakt von Kufe und Eis durch die Reibleistung – d.h. Scherung – das Eis oberflächennah aufschmilzt und den schmierenden Wasserfilm bildet. Dieses Wasser kann nicht allein durch Druck entstehen. Beim Kufe-Polymer Kontakt spielt allerdings der Kontaktdruck die maßgebliche Rolle, denn dieser fördert das Schmiermittel vom Inneren an die Oberfläche.

Je nachdem wie scharf die Kufen geschliffen sind, kommt es zu Abrieb in Form von wenige Millimeter kleinen Fäden. Wenn nach Herstellerangaben die Bahnen regelmäßig gereinigt werden, sind diese Abriebpartikel einfach zu entfernen und gelangen ins Reinigungswasser, welches normal entsorgt wird. In Kläranlagen wird das Abwasser dann mittels Ultrafiltration gereinigt. Die eingesetzten Filter bestehen aus porösen Keramik- oder Kunststoffröhrchen, die einen Porendurchmesser von ca. 0,01 - 0,05 Mikrometern besitzen. Hiermit können Verschmutzungen ab 0,05 Mikrometer Partikelgröße zuverlässig zurückgehalten werden. Bei noch kleineren Partikeln verhindern die Öle den Ein-

trag in die Luft. Die Partikel, die durch den Kontakt mit der Kufe entstehen, werden durch Kapillarkräfte an der Oberfläche der Platten gehalten und können abgereinigt werden.

## Bobsport

Für den Bobsport konnte gezeigt werden, dass mit polymeren Gleitflächen, die weder gekühlt noch gewässert werden müssen, Training und Wettkampf nicht auf Eis stattfinden müssen. Als Beispiel wurde eine vollkommen neue und innovative Anschubtrainingsstrecke entwickelt und bereits zum Einsatz gebracht, siehe Abb. 6. Diese Trainingsstrecke kann an jedem Ort aufgebaut werden und benötigt kein speziell gekühltes Gebäude. Damit erzielt man gleich mehrere Vorteile. Neben der Einsparung der Kühlleistung, ist kein Ammoniak als chemische Grundlage der Kühlung notwendig. Da die Strecke überall aufgebaut werden kann, ist realistisches Training auch für kleinere Vereine, die sich das Training im „Kühlhaus“ und den Transportaufwand nicht leisten können, möglich. Wenn die Anschubstrecke im gesellschaftlichen Umfeld z.B. bei Stadtfesten eingesetzt wird, eröffnen sich viele neue Möglichkeiten der Nachwuchsgewinnung.

Neben der Verwendung im Training können die polymeren Gleitflächen auch im Wettkampf eingesetzt werden. So wurden z.B. Seitenwangen der neuen Bobbahn in Schierke ausgekleidet.



Abb. 6: Praktische Übungen auf der Bobanschubstrecke.

Der Gleitmechanismus entspricht dem oben beschriebenen. Da die Bobkufen erheblich mehr Kontaktfläche mit dem Polymer haben, ist

eine höhere Masse notwendig, um den notwendigen Druck aufzubauen. Die Gesamtmasse, d.h. Bob und Team, beträgt 340 kg für Zweierbobs der Frauen, 390 kg für die der Männer und 630 kg für Viererbobs. Somit kann der notwendige Druck aufgebaut und geringe Reibung sichergestellt werden. Wird das Polymer zusätzlich in der eingefrästen Spur strukturiert, kann die Reibung nochmals verringert werden. Hier greifen also beide Terme der Bowden-Tabor Gleichung, der verringerte Scherwiderstand und die verkleinerte Kontaktfläche.

derung eines verantwortungsbewussten Verhaltens der Wintersportler können wir sicherstellen, dass kommende Generationen die gleiche Faszination und Freude am Wintersport erleben können. Zusätzlich können mobile Anlagen dafür sorgen, dass mehr Menschen den Weg in diesen Sport finden. Indem wir den nachhaltigen Tourismus fördern, können wir auch die lokalen Gemeinschaften unterstützen und gleichzeitig die wirtschaftlichen Vorteile des Wintersports erhalten. Die Verbindung von Spaß und Verantwortung ist der Schlüssel zu einer nachhaltigen Zukunft im Wintersport.

## Zusammenfassung

Die Nachhaltigkeit im Wintersport ist von großer Bedeutung, um die Umwelt, in der wir diese Aktivitäten genießen, zu schützen. Durch ressourcenschonendes Wirtschaften, den Schutz der Natur und die För-

## Danksagung

Ein herzlicher Dank geht an Dr. Stephan Henzler und Günther Aigner für die wertvollen Hinweise!

## Über den Autor



Matthias Scherge ist Professor für Tribologie. Das ist die Wissenschaft von Reibung, Verschleiß und Schmierung. Prof. Scherge leitet das Fraunhofer MikroTribologie Zentrum, 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.

## Quellen

- [1] Frank Philip Bowden and T. P. Hughes. The mechanism of sliding on ice and snow. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 172(949):280–298, aug 1939.
- [2] Ricardo Adarraga. persönliche Kommunikation. 2023.
- [3] Roman Böttcher and Matthias Scherge. Ski preparation as a three-dimensional problem. *Gliding*, 1:19–23, 2017.
- [4] Matthias Scherge. Gleiteffekte beim Skispringen im Sommer. *Gliding*, 3:14–19, 2018.