

---

# **Tribologische Untersuchungen zur Minimierung der Reibung von Sprungski in einer vereisten Anlaufspur**

Volker Winkler (Projektleiter), Frank Albracht & Susen Reichel

Technische Universität Ilmenau  
Institut für Werkstofftechnik

## **1 Problem/Aufgabenstellung**

Im Reglement für die „Anforderungen an die Anlaufbahn und den Schanzentisch“ [1] ist ausdrücklich der Einsatz einer künstlichen Anlaufspur zugelassen. Bei einer Eis-Anlaufspur wird bisher kein spezieller Sprungski eingesetzt. Da die Anlaufgeschwindigkeit ein entscheidender Faktor für die Sprungweite ist, können hier Möglichkeiten eines Wettbewerbsvorteils entstehen.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurden unterschiedliche Skibeläge hinsichtlich ihres Reibverhaltens gegenüber einer Eisoberfläche getestet. In der Spezifikation der Wettkampfausrüstung 2005/2006 [2] gibt es keine Beschränkungen hinsichtlich der Werkstoffwahl für die Sprungski-Laufsohle. Damit sind auch neue Materialkombinationen getestet worden (z. B. Edeltahllaufsohlen). Nach dem Artikel 222.4 IWO „Ausführungsbestimmungen für die Zulassung von Neuentwicklungen der Wettkampfausrüstung“ müssen Neuentwicklungen der Fédération Internationale de Ski (FIS) vorgestellt werden.

Ziel des Projektes war die Auswahl und Optimierung eines Gleitbelages für Sprungski, der herkömmlichen Skibelägen auf vereisten Anlaufbahnen überlegen ist.

Im Bericht werden Aussagen zur technischen Realisierung des Sprungskis getroffen.

## **2 Materialauswahl und Messmethode**

Der Kunststoffbelag aktueller Sprungskis besteht aus ultrahochmolekularem Polyethylen (UHMW-PE), welches zusätzlich mit Graphit bzw. Ruß gefüllt ist. Ähnliche Skibeläge werden im Alpinskiereich (Rennski) eingesetzt. Proben von beiden Skibelägen (Sprungski, Rennski) sind tribologisch untersucht worden. Auf Eis haben sich besonders hochlegierte Edeltähle als Kufenmaterialien bewährt. Deswegen werden Edeltahlbleche als Vergleichsmaterial in das Versuchsprogramm mit aufgenommen.

Da die Oberflächenrauheit einen entscheidenden Einfluss auf die Reibung besitzt, sind von allen Proben die Rauheitswerte bestimmt worden.

Die Versuche sind an dem speziell für die Reibung auf Eis entwickelten Tieftemperatur-Tribometer an der Technischen Universität Ilmenau durchgeführt worden. Der prinzipielle Aufbau ist in Abbildung 1 zu sehen. Dieses Messsystem basiert auf dem Stift-Scheibe-Prinzip. Ein Sensor mit der Probe gleitet kreisförmig auf einer feststehenden Eisplatte. Der Sensor erfasst mittels Dehnmessstreifen die Normal- und die Tangentialkraft (Reibkraft). Die Temperatur des Eises lässt sich über einen Kryostat bis  $-30^{\circ}\text{C}$  exakt einstellen. Zur reproduzierbaren Herstellung der Eisoberfläche kann im Tieftemperatur-Tribometer durch Bearbeitungswerkzeuge die Eisoberfläche definiert abgehobelt und thermo-mechanisch poliert werden.

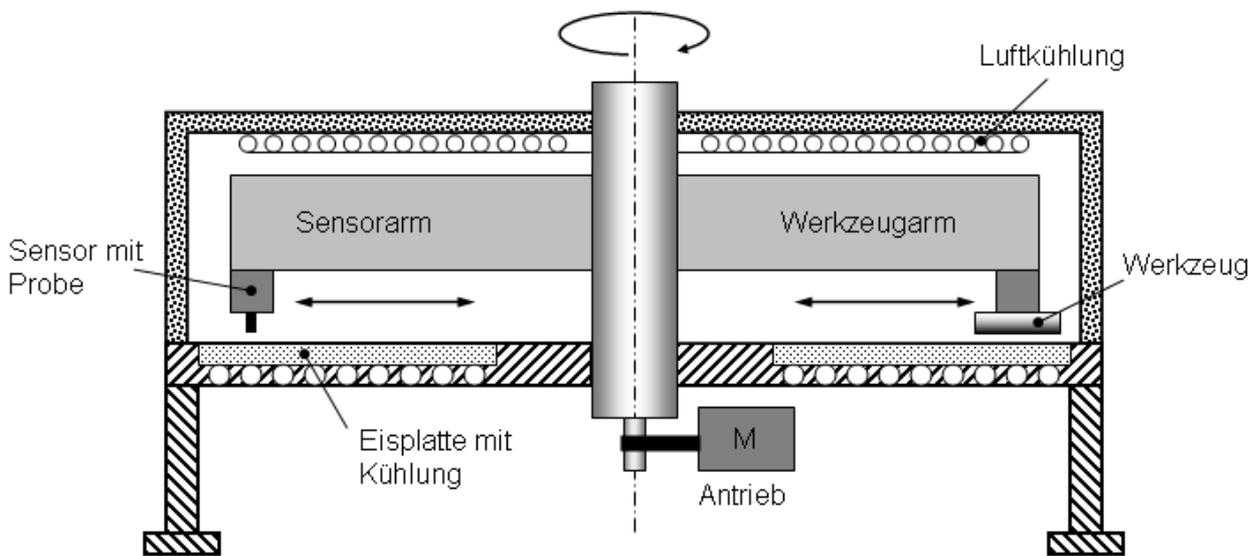


Abb. 1: Prinzipieller Aufbau des Tieftemperatur-Tribometers

Die Temperatur der Umgebungsluft kann getrennt von der Eiskühlung über einen zweiten Kryostat eingestellt werden. Die beiden Temperaturen (Eis und Luft) besitzen eine gewisse gegenseitige Abhängigkeit. Das Tieftemperatur-Tribometer lässt eine maximale Reibgeschwindigkeit von ca. 9 m/s zu. Reproduzierbare Messungen können derzeit bis max. 2 m/s durchgeführt werden. Abbildung 2 zeigt das Tieftemperatur-Tribometer.

Die Skibeläge und das Edelstahlblech sind in Form von 10 cm breiten Streifen auf einen gleichmäßig gekrümmten Probenhalter (Radius 2,5 cm) aufgeklebt worden. Im Idealfall ergibt sich beim Reibungsversuch eine Linienlast über die Breite des Skibelages. In Abbildung 3 ist der eingebaute Zustand am Sensorarm des Tieftemperatur-Tribometers zu sehen. Nach zahlreichen Vorversuchen mit verschiedenen Probengeometrien hat sich diese Prüfkörperform gut bewährt. Der Flächendruck entspricht etwa realen Bedingungen beim Skisprung.



Abb. 2: Vorderansicht des Tieftemperatur-Tribometers,

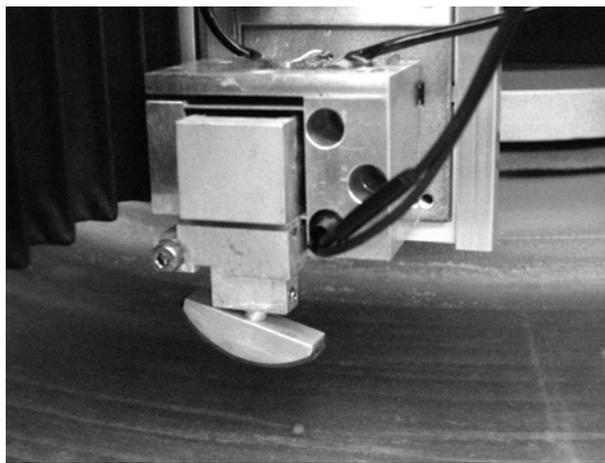


Abb. 3: Sensor mit Prüfkörper über der Eisbahn (Skisprungbelag)

Die Bedingungen, unter denen die tribologischen Versuche auf Eis durchgeführt wurden, sind in Tabelle 1 mit den Probenmaterialien und deren Oberflächenrauheiten zusammengefasst.

Die Reibversuche sind bei verschiedenen Normalkräften und Gleitgeschwindigkeiten durchgeführt worden. Eis- und Probentemperatur sind nach Tab. 1 unterschiedlich variiert worden.

Tab. 1: Versuchsbedingungen, Materialien und deren Oberflächenrauheiten

Versuchsbedingung			Oberflächenrauheit	
Material			Ra längs [ $\mu\text{m}$ ]	Ra quer [ $\mu\text{m}$ ]
Normalkraft $F_N$	[N]	3 / 6 / 9		
Gleitgeschwindigkeit $v$	[m/s]	0,5 / 1 / 2		
Eistemperatur $T_{\text{Eis}}$	[°C]	-10 / -5		
Probentemperatur $T_{\text{Probe}}$	[°C]	-10 / -5 / +5		
Sprungski	UHMW-PE		0,77	5,5
Rennski	UHMW-PE, teilfluoriert		0,52	0,88
V2A-Stahl	X5CrNi18-10		0,11	0,16

Vor Beginn einer Messserie wird die Eisoberfläche reproduzierbar präpariert (Hobeln, Polieren). Die Vorgehensweise bei den Reibversuchen ist in [3] ausführlich beschrieben. Jede Einzelmessung besteht aus etwa 200 bis 900 Messwerten von Reib- und Normalkraft (abhängig von der Gleitgeschwindigkeit). Für die statistische Auswertung werden Mittelwerte gebildet.

### 3 Ergebnisse

Zum Vergleich des Reibungsverhaltens der Materialien auf dem Eis wird die dimensionslose Reibungszahl  $f$  heran gezogen, die der Quotient aus den Mittelwerten von Reibkraft  $F_R$  und Normalkraft  $F_N$  ist. Im Allgemeinen ist die Reibungszahl wesentlich kleiner als 0,1.

Wie zu erwarten, ist bei allen Materialien zunächst eine Verringerung der Reibungszahl mit der Normalkraft erkennbar. Das gilt für alle Gleitgeschwindigkeiten und Temperaturen. Weiterhin verringert sich die Reibungszahl mit steigender Gleitgeschwindigkeit, was ebenfalls nicht ungewöhnlich ist. Auf eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse wird hier verzichtet und auf [3] verwiesen.

Beispielhaft zeigt Abbildung 4 die Reibungszahl der Skibeläge und des Edelstahls in Abhängigkeit der Normalkraft bei einer Gleitgeschwindigkeit von 2 m/s, der Eistemperatur von  $-5^\circ\text{C}$  und Proben temperaturen von  $-5$  und  $+5^\circ\text{C}$ . Die Probe aus Edelstahl weist gegenüber den Skibelägen eine geringere Reibung auf. Die Erhöhung der Proben temperaturen von  $-5$  auf  $+5^\circ\text{C}$  führt bei Edelstahl und Sprungskibelag zu einem geringen Anstieg der Reibungszahl. Beim Rennskibelag ist dieser Anstieg höher.

Das gesamte Versuchsprogramm ist mit stiftförmigen Proben wiederholt worden. Die hier vorgestellten Ergebnisse sind auch mit stiftförmigen Proben aus Polyethylen und Edelstahl bestätigt worden.

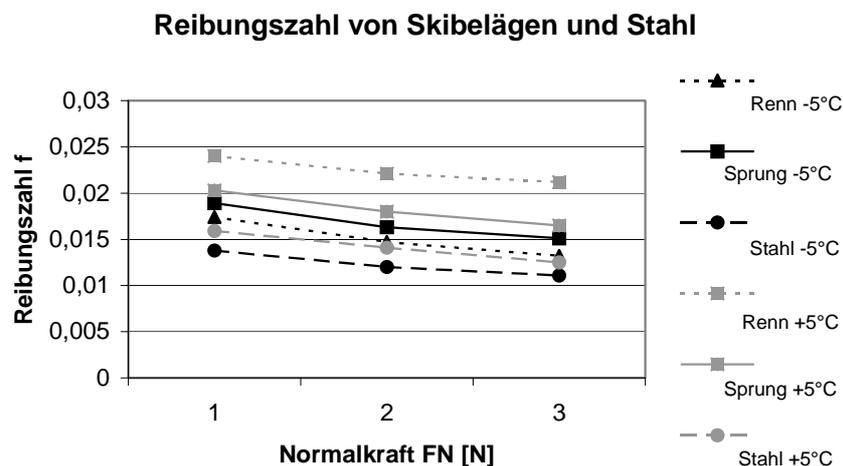


Abb. 4: Abhängigkeit der Reibungszahl von der Normalkraft von Skibelägen und Stahlproben bei einer Eistemperatur von  $-5^\circ\text{C}$  und Proben temperaturen von  $-5$  und  $+5^\circ\text{C}$  bei der Reibgeschwindigkeit von 2 m/s

Aus diesem Materialvergleich geht bei der Reibung auf Eis eindeutig der Edelstahl bei allen Messungen als Sieger hervor. Am Sprungski könnten wie beim Abfahrtsski Stahlkanten angebracht werden, welche die Reibung auf einer vereisten Anlaufspur minimieren.

#### **4 Diskussion**

Ziel der Untersuchungen war die Suche nach Verbesserungsmöglichkeiten von Sprungskibelägen bei vereisten Anlaufspuren. Die tribologischen Messungen zeigen eindeutig eine mögliche Verbesserung der Anlaufgeschwindigkeit durch Einsatz von metallischen Laufsohlen der Sprungskis bei vereister Anlaufspur. Da bei erhöhten Anpressdrücken immer die Reibung geringer wird (Wasserfilmbildung), sollte die Laufsohle eine entsprechende Struktur erhalten, die eine Flächendruckerhöhung bewirkt. Dabei sollte gleichzeitig eine gute Spurführung erreicht werden, die den Sportler in der Anlaufspur entlastet.

Eine konstruktive Lösung wäre ein Skibelag mit eingebetteten Stahlschienen. Diese Stahlschienen sollten aus der Oberfläche leicht herausragen und visuell nur als Steifen sichtbar sein. Das geringe Herausragen der Metallschienen dürfte keine Gefährdung für den Sportler darstellen. Diese Anordnung müsste es dem Skispringer ermöglichen, auch auf einer Anlaufspur mit Schneeoberfläche zu trainieren.

#### **5 Literatur**

- [1] Gemeinsame Bestimmungen Skispringen, Skifliegen § 417.2, *Internationale Skiwettkampfordnung – IWO, Ausgabe 2004 Reglement*
- [2] FIS „Spezifikation der Wettkampfausrüstung und kommerziellen Markenkennzeichen 2005/2006“, Pkt. 1.2.1.7 und 1.2.4.2
- [3] Forschungsbericht Kurzthema: „Belag Sprungski“, Technische Universität Ilmenau für Bundesinstitut für Sportwissenschaft Bonn

