



Doctoral Thesis

## Sliding friction of polyethylene on snow and ice

**Author(s):**

Bäurle, Lukas

**Publication Date:**

2006

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005210667> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NR. 16517

# Sliding Friction of Polyethylene on Snow and Ice

A DISSERTATION SUBMITTED TO THE  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH  
FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES

PRESENTED BY

LUKAS BÄURLE  
DIPL. ING. ETH  
BORN ON 16TH JUNE 1976  
CITIZEN OF EBIKON (LU)

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Nicolas D. Spencer, examiner  
Prof. Dr. Dimos Poulidakos, co-examiner  
Dr. Martin Schneebeli, co-examiner

2006

# Abstract

The low friction in skiing on snow is due to water films generated through frictional heating. There is, however, uncertainty about the thickness and the distribution of these water films. Since direct observation of the water films is difficult, tribometer measurements including temperature measurements are carried out, and the contact area between ski and snow is investigated. The work is divided into four parts: the design of a tribometer, tribometer measurements, investigations on the contact area, and numerical modeling of snow and ice friction. Due to difficulties in conducting experiments with snow, the work focuses on friction between polyethylene - the principal component at the snow-contacting face of skis - and ice.

A large-scale tribometer (diameter 1.80 m, pin-on-disc geometry) for friction measurements on ice has been designed and built. The apparatus is placed in a cold chamber with an accessible temperature range of  $T_{env} = -20^{\circ}\text{C}$  to  $+1^{\circ}\text{C}$ . IR thermocouples measure the temperature of the track before and after the slider. In addition, integrated thermocouples are used to measure temperature inside the polyethylene slider. The friction coefficient ( $\mu$ ) can be determined with an accuracy of  $\pm 5\%$ . The kinetic friction between polyethylene and ice is measured as a function of temperature, velocity, load, apparent contact area, and surface topography. The friction coefficient, as well as the temperature increase in the slider depends on all of these parameters. Interpretations are given on the basis of hydrodynamic friction, taking into account the generation and shearing of thin water films at the contact spots.

For the experimental investigation of the contact area between polyethylene and snow, scanning electron microscopy and X-ray computer tomography have been used. Contact spot size can be estimated, and a dependence of the real contact area on load and snow type can be seen. The investigation of the contact area between polyethylene and ice (tribometer experiment) is carried out on imprints of the polyethylene slider and the ice surface, by means of optical profilometry. The effect of polishing of the ice by the slider during friction experiments is observed. All methods described give a precise surface characterization, and the results are used in the prediction of the contact area and contact spot size evolution in the friction process.

A numerical model for sliding on ice including dry friction and generation of and

lubrication by water films is described. Alternative energy dissipation mechanisms are discussed. The model is verified by comparing it with experimentally determined temperature evolution and friction coefficients.

The main conclusions are: sliding on snow and ice can be explained by hydrodynamic principles. Unevenly distributed thin water films are responsible for the low friction observed. Water film thickness ranges from below 100 nm at low temperatures to about 1  $\mu\text{m}$  close to 0°C. Average static contact area with snow is around 5%, with contact spot diameters of approximately 100  $\mu\text{m}$ . Behavior of the water films and size of the real contact area can explain the friction process, no capillary attachments are needed. The most critical parameter determining friction between skis and snow or ice is the real contact area. Ski friction can be optimized by adjusting the size and the topography of the ski base.

# Zusammenfassung

Durch Reibungswärme generierte Wasserfilme sind verantwortlich für die tiefe Reibung von Skis auf Schnee. Unsicherheit besteht über die Dicke und die Verteilung dieser Wasserfilme. Da direkte Beobachtung der Wasserfilme schwierig ist, werden Tribometer Messungen durchgeführt, und die Kontaktfläche zwischen Ski und Schnee wird untersucht. Die Arbeit ist in vier Teile gegliedert: Entwicklung und Bau des Tribometers, Tribometer Messungen, Untersuchung der Kontaktfläche und numerische Modellierung der Schnee- und Eisreibung. Es wird schwergewichtig die Reibung zwischen Polyethylen - dem hauptsächlich verwendeten Skibelagsmaterial - und Eis betrachtet, dies aufgrund von Schwierigkeiten bei der Durchführung von Experimenten auf Schnee.

Ein grosser Tribometer (Durchmesser 1.80 m, pin-on-disc Geometrie) für Reibungsmessungen auf Eis wurde entwickelt und gebaut. Die Anordnung steht in einer Kältekammer mit einem Temperaturbereich von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $+1^{\circ}\text{C}$ . IR Thermolemente messen die Temperatur der Eisspur vor und hinter der Probe. Integrierte Thermolemente messen die Temperatur in der Polyethylen Probe. Der Reibungskoeffizient ( $\mu$ ) kann mit einer Genauigkeit von  $\pm 5\%$  bestimmt werden. Die dynamische Reibung zwischen Polyethylen und Eis wird in Funktion von Temperatur, Geschwindigkeit, Last, scheinbarer Kontaktfläche und Oberflächentopographie bestimmt. Der Reibungskoeffizient, sowie die Temperaturerhöhung in der Probe hängt von allen diesen Parametern ab. Interpretationen werden gemacht unter der Annahme hydrodynamischer Reibung, welche die Generierung und Scherung dünner Wasserfilme mit einbezieht.

Für die experimentelle Untersuchung der Kontaktfläche zwischen Polyethylen und Schnee wurden Rasterelektronenmikroskopie und Röntgen-Computertomographie benutzt. Die Kontaktstellengrösse kann abgeschätzt werden, und die wahre Kontaktfläche und ihre Abhängigkeit von der Last und der Schneeart kann bestimmt werden. Für die Untersuchung der Kontaktfläche zwischen Polyethylen und Eis (Tribometer Experiment) wurde optische Profilometrie von Abdrücken der Probe und des Eises durchgeführt. Der Poliereffekt des Eises durch die Probe während Reibungsmessungen kann beobachtet werden. Für alle diese Methoden resultieren präzise Oberflächencharakterisierungen, welche für die Vorhersage der Entwicklung

der wahren Kontaktfläche und der Kontaktstellengrösse verwendet werden.

Ein numerisches Modell des Gleitens auf Eis wird beschrieben. Es beinhaltet Trockenreibung und die Generierung der und Schmierung durch Wasserfilme. Weitere Mechanismen der Energieabgabe werden diskutiert. Das Modell wird anhand experimentell bestimmter Temperaturentwicklung und Reibungskoeffizienten verifiziert.

Fazit: Gleiten auf Schnee und Eis kann mit hydrodynamischen Prinzipien beschrieben werden. Unregelmässig verteilte, dünne Wasserfilme sind für die tiefe Reibung verantwortlich. Die Wasserfilmdicke reicht von unter 100 nm bei tiefen Temperaturen bis ca.  $1\ \mu\text{m}$  nahe  $0^\circ\text{C}$ . Mittlere statische Kontaktfläche auf Eis ist ca. 5%, Durchmesser einer Kontaktstelle ist ca.  $100\ \mu\text{m}$ . Das Verhalten der Wasserfilme und die Grösse der wahren Kontaktfläche kann den Reibungsprozess erklären; keine Kapillarkräfte sind dazu nötig. Der für die Reibung zwischen Ski und Schnee oder Eis kritischste Parameter ist die wahre Kontaktfläche. Die Reibung von Skis kann optimiert werden durch Verändern der Grösse und der Topographie der Lauffläche.