



Der LTU-SPORTC-Ansatz für besseres Gleiten auf schmalen Skiern

Andreas Almqvist, SPORTC / Technische Universität Luleå, Schweden

Kurzfassung

Der Aufsatz betrachtet das Gleiten auf schmalen Skiern als wissenschaftlich analysierbares, tribologisches System statt als „mystisches“ Handwerk. Da Reibung ein mehrskaliges Phänomen ist, müssen Faktoren von der Makro- bis zur Nanoskala berücksichtigt werden. Den größten Hebel bilden dabei die Skiauswahl sowie die Vorspannung und Steifigkeit, welche die Druckverteilung und damit die Wärmeentstehung im Kontaktbereich bestimmt. Erst danach folgen Schliff und Strukturen, die den Schmelzwasserfilm regulieren: Während ein dünner Film als Schmiermittel dient, erzeugt zu viel Wasser bremsende Saugwirkungen. In der Post-Fluor-Ära verschiebt sich der Fokus zunehmend auf diese mechanischen Prozesse und eine systematische Präparation. Der Ansatz ersetzt Aberglauben durch präzise Messungen – etwa via Tribometer oder Plantardruckmessung – um Variablen kontrollierbar zu machen.

Der unsichtbare Gegner Reibung ist mehrskalig unter Deinem Ski

Im Langlauf und Biathlon findet der entscheidende Kampf oft dort statt, wo ihn niemand sehen kann: auf den wenigen Quadratzentimetern, auf denen Ski und Schnee aufeinander treffen. Dieser Ski-Schnee-Kontakt ist ein tribologisches System – also eine bewegte Grenzfläche, in der Druck, Temperatur, die Mikrostruktur des Skibelags und eine sich ständig verändernde Schneeoberfläche bestimmen, wie viel Energie durch Reibung verloren geht.

Ein Grund, warum die Gleitpräparation oft „mystisch“ wirkt, liegt darin, dass Reibung ein mehrskaliges Phänomen ist.

- Makroskala: Körpergewicht und Technik belasten den Ski und formen die Druckverteilung entlang des Belags.
- Meso- und Mikroskala: Schliff und Rillenstruktur erzeugen Kanäle, die Schmelzwasser ableiten und Saugwirkung reduzieren.
- Mikro- und Nanoskala: Polymerbelag, Wachs, andere

Oberflächenbehandlungen und Schmutz beeinflussen Benetzung und Scherkräfte an der Grenzfläche.

zung und Scherkräfte an der Grenzfläche.

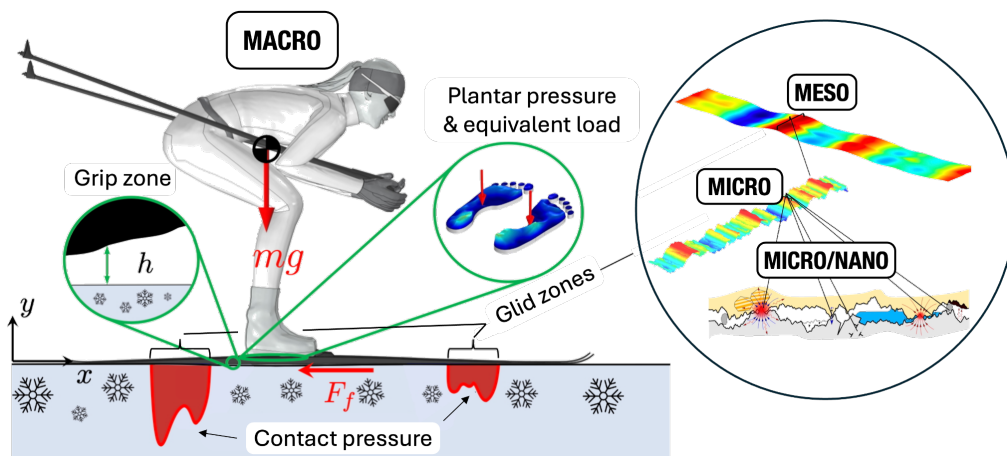


Abb. 1: Mehrskalige Betrachtung des Ski-Schnee-Systems: Makrobelastung und Druckverteilung in Verbindung mit Meso-/Mikro-Grundstruktur und Mikro-/Nano-Grenzflächenprozessen.

Für Elite-Servicepersonal ist das bekannt. Für andere ist es eine gute Nachricht: Es gibt steuerbare Stellhebel, die priorisiert werden können. In der Praxis ist die Reihenfolge der Wirkung meist:

- Skiauswahl und Vorspannung/Steifigkeit (Druckverteilung)
- Schliff und Rillenstruktur (Kontaktfläche und Wasserführung)
- Oberflächenbehandlung (Feinabstimmung und Kontrolle von Verunreinigungen)

ist einfach: Die Druckverteilung bestimmt, wo der Ski Kontakt zum Schnee hat, wie schnell Reibungswärme entsteht und wie stark lokale Schmelzprozesse sind. Sie beeinflusst auch, wie die Struktur tatsächlich wirkt. Kontaktfläche und Strukturausprägung müssen so optimiert werden, dass:

- trockene Reibung minimiert wird,
- der Ski nicht einsinkt oder pflügt,
- überschüssiges Wasser abgeleitet wird, um Saugwirkung und viskosen Widerstand zu reduzieren.

Wasserfilm: Freund, wenn dünn – Feind, wenn dick

Ein dünner Schmelzwasserfilm verringert Reibung, indem er Teile des Belags von scharfen Schneekristallen trennt (Schmiereffekt). In warmem, nassem oder umgewandeltem Schnee wird zu viel Wasser jedoch zum Problem: Der Ski kann Saugwirkung und viskosen Widerstand erfahren, insbesondere wenn das Wasser nicht schnell genug aus dem Kontaktbereich entweichen kann.

Für Techniker bedeutet das: Bevor man über Wachschemie diskutiert, muss der Ski zum Läufer und zu den Bedingungen passen. Der „richtige“ Ski erleichtert alles Weitere.

Die praktische Realität für Amateure

Nicht-Experten besitzen selten viele Skipaare. Meist gibt es nur:

- ein Paar für kalten Schnee,
- ein Paar für warmen Schnee,
- oder sogar nur ein Allround-Paar

Optimierung bedeutet hier:

- Das beste verfügbare Paar für den Tag wählen.

Vorspannung, Steifigkeit und Druckverteilung sind oft die größeren Hebel

Vergleichsstudien zwischen Experten und Nicht-Experten zeigen ein klares Muster: Experten messen Vorspannung/Steifigkeit und Druckverteilung größere Bedeutung bei. Die Logik

- Belastung und Kontaktpunkt anpassen (Technik, Bindungsposition).
- Gesamtsystem:

- Mit Schliff und Rillenstruktur trockene Reibung vs. Wasserabfluss steuern.
- Wachs und Oberflächenprodukte als letzten Feinschliff einsetzen.
- sorgfältige Skiauswahl
- passender Schliff und Rillenstruktur
- systematische Präparation

Elite-Teams lösen das Kontaktproblem oft über Skiauswahl. Amateure lösen es durch Verständnis ihres Materials und gezielte Kompensation.

Erfolgreich sind jene, die Tests als kontrollierten Prozess behandeln. Für ambitionierte Läufer bedeutet das:

- Ski passend zu Gewicht, Technik und Bedingungen wählen.
- Struktur offen und frisch halten.
- Den letzten Schritt nicht überkomplizieren.

Post-Fluor-Realität: Prozess und Struktur gewinnen an Bedeutung

Mit dem Fluorverbot verschiebt sich der Fokus von extremer Wasserabweisung hin zu einem robusten

Die „letzten 5%“ existieren – sind aber nur relevant, wenn die ersten 95% stimmen.

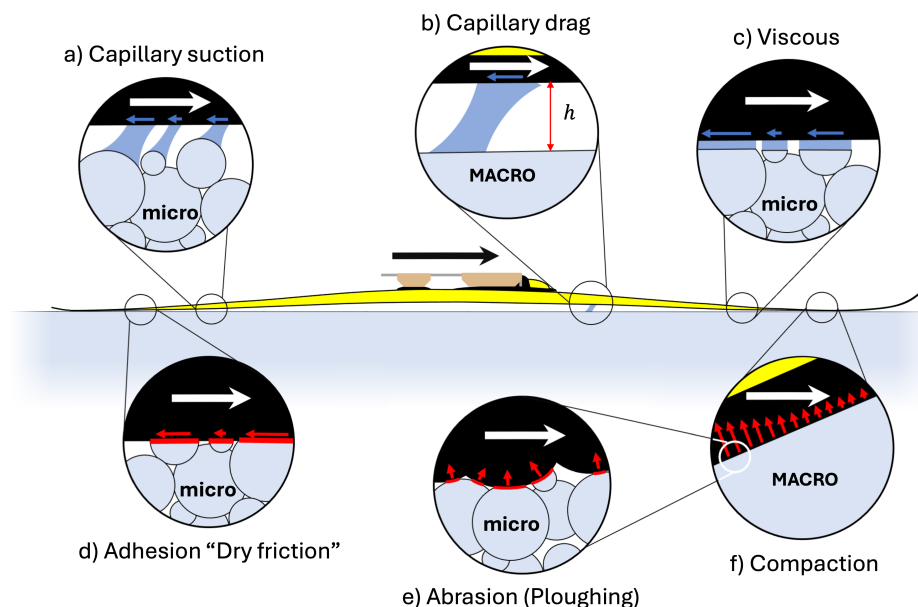


Abb. 2: Schematische Übersicht über die Mechanismen der Reibung zwischen Ski und Schnee in verschiedenen Maßstäben sowohl unter trockenen als auch unter nassen Bedingungen.

Vom Handwerk zur Messung: Der LTU-SPORTC-Ansatz

SPORTC verfolgt das Ziel, Unsicherheit zu reduzieren, indem tribologische Theorie mit Messungen unter realistischen Bedingungen kombiniert wird. Dazu gehören:

- hochpräzise Positionsmessung im Feld
- Tribometer-Tests für kontrollierte Gleitmessungen
- Plantardruckmessungen
- Beschleunigungs- und Kraftmessungen an Ski und Stöcken

Für Servicepersonal bedeutet das nicht, ein Labor zu benötigen. Es bedeutet:

- messen, was messbar ist

- Tests wiederholen
- Nur eine Variable gleichzeitig ändern
- Bedingungen sorgfältig dokumentieren

- Realistische Erwartungen. Unterschiede sind klein und oft veräuscht.

Praktische Kernaussagen

Die Aussagen für den praktischen Gebrauch kann man folgendermaßen zusammenfassen:

- Ski an Läufer und Tag anpassen. Vorspannung und Steifigkeit dominieren das Gleitpotenzial.
- Struktur steuert Kontaktfläche und Wasserabfluss.
- Sauberkeit ist entscheidend. Schmutz und alte Schichten verstopfen die Struktur.
- Teste wie ein Ingenieur. Kurze, wiederholbare Tests, Variablen kontrollieren.

Ausblick: Entscheidungsunterstützung für besseres Gleiten

Bessere Reibungsmodelle und zugänglichere Messtechniken werden Gleitentscheidungen verlässlicher machen – vom Weltcup-Team bis zum ambitionierten Amateur. Der „unsichtbare Gegner“ wird nicht einfacher, aber berechenbarer, wenn wir Gleiten als technisches System statt als Aberglauben behandeln.

Literatur

Weiterführende Literatur findet man in [1–8].

Über den Autor



Andreas Almqvist ist Professor an der Technischen Universität Luleå, wo er seit über 20 Jahren auf dem Gebiet der Tribologie forscht und lehrt. Er hat an derselben Einrichtung in Maschinenelemente/Tribologie promoviert und zahlreiche Auszeichnungen erhalten, darunter für seine Doktorarbeit, für die besten wissenschaftlichen Veröffentlichungen und andere wissenschaftliche Preise.

Seine aktuelle Forschung konzentriert sich auf die Tribologie des Skifahrens, insbesondere auf die Gleiteigenschaften von Langlaufskiern. Er nutzt seine Kenntnisse in Kontinuumsmechanik, mathematischer Modellierung und Programmierung, um die Wechselwirkungen zwischen Schnee, Skibelag und Wachs zu verstehen und zu optimieren.

Quellen

- [1] A. Almqvist, B. Pellegrini, N. Lintzén, N. Emami, H.-C. Holmberg, and R. Larsson. A scientific perspective on reducing ski-snow friction to improve performance in olympic cross-country skiing, the biathlon and nordic combined. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4:844883, 2022.
- [2] A. Almqvist, K. Kalliorinne, M. Supej, M. Sjö Dahl, and H.-C. Holmberg. A tribological perspective on friction and performance in olympic snow and ice sports. *Sport Sciences for Health*, 2025.
- [3] A. Almqvist, M. Supej, P. Düking, T. Stöggel, and H.-C. Holmberg. Technology on snow and ice: Innovation, monitoring, and performance

for the olympic winter games milano cortina 2026. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 36(2):e70218, 2026.

- [4] G. Hindér, J. Sandberg, K. Kalliorinne, H.-C. Holmberg, A. Almqvist, and R. Larsson. On the influence of grip wax on ski-snow friction during the double poling cycle in cross-country skiing. *Sports Engineering*, 28(1):14, 2025.
- [5] A. Kalén, J. Abrahamsson, K. Kalliorinne, H.-C. Holmberg, and A. Almqvist. Perceptual consensus on cross-country ski-snow performance: A questionnaire study of experts and non-experts. *Frontiers in Sports and Active Living*, 8, 2026.
- [6] K. Kalliorinne, G. Hindér, J. Sandberg, R. Larsson, H.-C. Holmberg, and A. Almqvist. Characterisation of the contact between cross-country skis and snow: On the multi-scale interaction between ski geometry and ski-base texture. *Lubricants*, 11(10):427, 2023.
- [7] K. Kalliorinne, G. Hindér, J. Sandberg, H.-C. Holmberg, R. Larsson, and A. Almqvist. On the multi-scale nature of ski-snow friction in cold conditions. *Friction*, 13(9):9441069, 2025.
- [8] J. Sandberg, G. Hindér, H.-C. Holmberg, A. Almqvist, and R. Larsson. Influence of load and position of center of mass on cof in cross-country skiing. *Tribology Letters*, 73(3):76, 2025.