

Die Physik des Gleitens beim Langlaufen

# SCHNEEGLÄTTE

Langlauf ist eine Wissenschaft, nein zwei! Neben Trainingslehre ist die Physik grundlegendes Fachgebiet, einmal als Fahrphysik, zusätzlich spielt die hohe Wissenschaft des Gleitens eine bedeutende Rolle. Letzterer nehmen wir uns hier mit fachlicher Unterstützung an!

TEXT FRANK ZIPP | TIMO DILLENBERGER

Richtiges Wachs, richtiger Schliff, richtige Struktur, richtiger Ski: Oft weiß selbst ein erfahrener Läufer nicht, warum die verdammten Ski dieses Mal nicht laufen. Deshalb wollen wir in einer dreiteiligen Serie jeden so weit bringen, zumindest nicht zu verwachsen!

Die Ski selbst zu präparieren ist eine Kunst, aber eine erlernbare. Allerdings: Zwischen dem ersten Blick aus dem Fenster und dem ersten Schritt im Schnee kann man eine Menge falsch machen. In Zusammenarbeit mit Frank Zipp versuchen wir hier, das Fundament an nötigem Know-how zu legen. Frank Zipp geht als Hersteller von Wachsen oft ungewöhnliche Wege und ist in Sachen Grundlagenforschung so etwas wie ein positiver Fanatiker. Auch in Sachen Materialkunde ist er Pionier und Querdenker, also genau der richtige Mann, um hier mit seinem Wissen zu helfen.

## WARUM GLEITET EIN SKI?

Es ist die wichtigste Frage: Warum gleitet ein Ski? Weil Schnee rutschig ist, weiß jeder! Könnte man so sagen, erklärt aber nicht, warum zwei Läufer gleicher Masse und Größe in gleicher Haltung unterschiedlich schnell einen Hang heruntergleiten! Wie leicht man läuft, wird durch das Zusammen- und Entgegenwirken aller Kräfte bestimmt. Nach vorne bringen einen der Antrieb von Armen und Beinen und bergab die Hangabtriebskraft, resultierend aus Gefälle sowie Gewicht des Läufers und dessen Equipment. Alles andere macht langsamer. Luftwiderstand und Auftrieb vernachlässigen wir hier, auch die nötige Mehrenergie fürs Bergauflaufen. Bleibt noch die Energie, die zwischen Ski und Schnee verloren geht.

Die Frage, wie gut der Ski auf dem Schnee gleitet, wird in dem Fall durch beide



Seiten beeinflusst, also durch die Schneedecke und den Ski, seinen Belag und dessen Präparation. Heute geht es um die Schneeseite, und jetzt wird's spannend!

## DIE (ERFOLGS-)FORMEL

Der Widerstand auf Schneeseite setzt sich gemäß unserem Experten so zusammen:

$F_R = F_N (\mu_{plow} + \mu_{dry} + \mu_{lub} + \mu_{cap} + \mu_{dirt})$   
 Wobei  $\mu$  ohne Dimension, also Einheit, für den Reibungskoeffizienten steht. Wenn  $\mu$  steigt, gleitet man schlechter.

Links vom Gleichheitszeichen steht die Gesamtbremskraft  $F_R$  zwischen Loipe und Ski.  $F_N$  ist die Normalkraft, die senkrecht zum Hang wirkt und durch die Masse von Läufer und Ausrüstung entsteht. Und dann kommt eine lange Reihe von Einflüssen, je nach Wetter- und Schneebedingungen.

$\mu_{plow}$  berücksichtigt die Verdrängung bzw. Komprimierung des Schnees. Der Ski läuft auf eisiger Piste eher auf dem Untergrund, während er bei tieferem Schnee hindurchpflügen muss. Das Wegschieben und Nach-unten-Zusammendrücken dieser Schicht kostet Energie. Bei der Höhe des Wertes spie-

len Gewicht des Fahrers, Geschwindigkeit, Form und Härte der Ski sowie die Schneedichte und -höhe eine Rolle: Schwere Läufer, kurze und breite Ski, geringe Schneedichte und viel Schneeverdichtungshöhe (Neuschnee etc.) sowie hohe Geschwindigkeit vergrößern  $\mu_{plow}$ . Glatte, harte Pisten und weniger Druck von oben lassen den Wert sinken.

$\mu_{dry}$  bezieht sich auf die Trockenreibung: Die entsteht durch Deformation von Schneekörnern, plastische Verformung der Schneedecke und Glätten von Unebenheiten. Deutlich wird der Wert, wenn man sich die Reibung auf Kieseln vorstellt. Spitze und grobe Steine bieten mehr Reibung als viele runde Flusskieselchen. Unter  $-10^\circ\text{C}/-15^\circ\text{C}$  sind die Schneekristalle mit den groben scharfkantigen Steinen zu vergleichen. Sie kratzen mehr am Belag. Auf sehr kaltem Kunstschnee oder feinkörnigem Schnee kann man das spüren. Die Spitzen der Kristalle werden abgeschmirgelt, gebrochen, die Schneekörner ineinander verkeilt. Das alles kostet Energie. Auf der, übertrieben gesagt, zerklüfteten Schneeoberfläche bildet sich ein nur unvollständiger Schmelzwasserfilm.

$\mu_{lub}$  steht für die Schmelzwasser-schmierung. Sie ist von hoher Bedeutung,

da durch den Schmelzwasserfilm der Reibungskoeffizient und damit  $F_R$  stark vermindert werden kann. Die Spanne zwischen den Werten für maximale Trockenreibung und idealem Wassergleitfilm liegen um den Faktor 1.000 auseinander!  $\mu_{lub}$  hängt von Temperatur, Geschwindigkeit, Schneefeuchte und weiteren Faktoren ab. Schnee selbst ist nämlich gar nicht glatt, erst durch austretendes Wasser, das zwischen Schnee und Belag tritt, ist er „rutschiger“ als zum Beispiel feinsten Sand. Der Schmelzwasserfilm bildet sich bei höheren Temperaturen schneller. Je kälter und trockener Luft und Schnee sind, desto mehr Reibung braucht es, damit ein Wasserfilm entsteht. Wer schwer und schnell ist, sorgt dadurch bei Auflaufen auf ein Kristall sozusagen selbst für einen besseren Gleitfilm. Präpariertem, verdichtetem Schnee in der Loipe kann man übrigens auch mehr Wasser „abringen“ als leichtem Pulver. Wer schon einmal bei kaltem Neuschnee gefahren ist, weiß, wie sehr!

Mit  $\mu_{cap}$  wird die Wirkung von Kapillarkräften berücksichtigt. Sie entstehen bei nassem Schnee und/oder hohen Geschwindigkeiten. Der eben noch als unverzichtbar ausgezeichnete Wasserfilm wird deutlich

dicker, und es kommt damit zu größeren Anziehungskräften zwischen Belag und Untergrund, Wasserfäden vergleichbar. Kapillarkräfte kennt man von dünnen Glasröhrchen, in denen sich Wasser wegen der Oberflächenspannung selbst nach oben zieht, oder man packt einmal zwei Glasscheiben aufeinander, tropfe etwas Wasser dazwischen und versuche dann, sie wieder auseinanderzuziehen. Wenn der Wasserfilm eine gewisse Sättigung erreicht, passiert Ähnliches zwischen Belag und Schnee. Als vereinfachtes Bild: Wenn die Spitzen der Schneekörner den Belag wie Deoroller berühren, läuft's darauf spitze, wird daraus ein durchgehender Wasserfilm, saugt sich der Ski fest. Das kann man auch bei Tauwetter spüren!

$\mu_{dirt}$  nimmt durch Verschmutzung der Lauffläche zu. Lädt sich der Ski bei kalten, trockenen Bedingungen elektrostatisch auf, ähnlich wie ein Luftballon, den man am Wollpullover reibt, wird feinsten Schmutz angezogen, lagert sich auf dem Belag ab und verschlechtert das Gleiten. Klar, der Belag ist jetzt rauer, wie sehr feines Sandpapier. Es kommt auch zum Ableiten von Energie, die dann zur Bildung des Wasser-

## SCHNEEPARAMETER:

Wenn Naturschnee fällt, besteht er aus fein verstellten Kristallen. Dadurch liegt er sehr locker mit eher „rauer“ Oberfläche da! Je nach Wetter setzt schon nach kurzer Zeit eine Umwandlung ein (Schneemetamorphose). Feine Verastelungen brechen ab oder schmelzen, es bilden sich Körner mit mehr oder weniger abgerundeter Oberfläche. Das Spurgerät beschleunigt diesen Prozess extrem. Der Schmelzwasserfilm kann sich hier leichter bilden.

- Kalter Schnee sorgt für träge Bildung des Wasserfilms unter dem Skibelag.
- Zwischen  $-4^\circ\text{C}$  und  $0^\circ\text{C}$  nimmt der „Saug-effekt“  $\mu_{cap}$  zu, da dann der Film durch große Mengen Schmelzwasser zu dick werden kann.
- Lockerer Schnee lässt die Kräfte für Verdrängung und Verdichtung  $\mu_{plow}$  ansteigen, harte und gewalzte Pisten sind günstiger (s. oben).
- Feinkörniger Nassschnee hat mehr Kontaktfläche zum Skibelag, potenziert die Kapillarkräfte.
- Spitze, scharfkantige Schneekörner erzeugen mehr Reibung als abgerundete Schneekristalle, die durch natürliche Transformation oder maschinelle Bearbeitung (Fräse, Spurgerät) entstehen.
- Kunstschnee ist in seiner Kristallstruktur kompakter und dichter, wenn er in der Loipe eingebaut und nicht frisch auf der Strecke liegt.
- Schmutziger Schnee erhöht insbesondere bei trockenem, kaltem Wetter durch elektrostatische Aufladung des Belags den Reibungswiderstand.

films fehlt. Schmutz wird auch bei sehr nassem Schneebett mit dem Schmelzwasser nach oben gespült und klebt am Belag. Auch das Wachs der Vorgänger kann anhaften und, entgegen seiner eigentlichen Verwendung, bremsen.

## FAZIT

Man gleitet am allerbesten auf hauchdünnem Wasserfilm über den Schnee. Der Reibungswiderstand ist dann am geringsten, zumindest was die Parameter angeht, die der Skifahrer beeinflussen kann:  $\mu_{dry}$ ,  $\mu_{lub}$ ,  $\mu_{cap}$  und  $\mu_{dirt}$ . Diese kann man durch Wahl des Skibelags, des Schliffs, ggf. einer Handstruktur und natürlich des richtigen Wachses für die gegebenen Bedingungen optimieren. Alles andere muss man so hinnehmen, wie es Natur und Pistenbetreiber vorgeben. Das Wissen um diese Parameter und ihren Einfluss auf das Gleiten bewahren vor Fehleinschätzungen wie „schlechter Schliff, schlechtes Wachs“. Manchmal kann man einfach nichts machen! Aber was möglich ist, behandeln wir in der kommenden Ausgabe: Dann geht es auch darum, das Wissen um die Schnee- und Klimabedingungen in richtige Tipps zur Skipräparation umzusetzen! ◀