



Die Anlaufgeschwindigkeit beim Skispringen

Matthias Scherge, Team Snowstorm, 76316 Malsch
 Sepp Heumann, WSV Oberaudorf 1905 e. V., PF 11 11, 83076 Oberaudorf

Kurzfassung

Auf der separaten Anlaufspur des WSV Oberaudorf wurden Gleitversuche mit 4 unterschiedlichen Skimarken gleicher Geometrie durchgeführt. Vor den Gleitversuchen wurden die Ski hinsichtlich ihres Schwingungsverhaltens charakterisiert. Es zeigte sich, dass besonders im Dämpfungsverhalten deutliche Unterschiede bestehen, die sich in der maximal erreichbaren Gleitgeschwindigkeit niederschlagen.

Was wurde untersucht?

Neben aerodynamischen, meteorologischen und biomechanischen Einflussgrößen wird die Sprungweite auch von der Tribologie beeinflusst. Die Anfahrtsgeschwindigkeit – der sich dieser Artikel widmet – reagiert empfindlich auf die Reibung zwischen Ski und Spur. Jedes km/h mehr im Anlauf bringt wertvolle Meter im Aufsprunghügel.

Auf der Mikroskala hängt die Reibung maßgeblich vom Produkt aus Scherwiderstand und Kontaktfläche ab. Diesen Zusammenhang nennt man das Bowden-Tabor Modell [1]. Zur Veranschaulichung dieses Gesetzes kann man die Finger der Hand auf eine glatte Oberfläche legen und leicht nach vorn bewegen. Was man sofort spürt, ist der Widerstand, den man überwinden muss, um zu gleiten. Dieser ist für trockene oder feuchte Haut unterschiedlich. Weiterhin spüren die Fingerspitzen die sich einstellenden Kontaktflächen. Der Widerstand wird um so größer, je

größer die Kraft ist, mit der man die Finger aufdrückt.

Während für den Scherwiderstand der Schnee bzw. das Eis in der Spur sowie das Wachs verantwortlich sind, wird die Kontaktfläche durch die Konstruktion des Skis (makroskopisch) sowie den Schliff (mikroskopisch) beeinflusst. Die sich ergebende Kontaktfläche wird aber noch von einer weiteren Größe bestimmt und das ist die Vibration des Skis. Periodisches, kurzzeitiges Aufheben des mechanischen Kontakts zwischen Ski und Unterlage könnte ein Faktor zur Beeinflussung der Anlaufgeschwindigkeit sein.

Dieser Beitrag widmet sich der komplexen Wechselwirkung von Skischwingung und Reibung. Diese kann man erahnen, wenn man sich Abb. 1 anschaut. Für einen typischen Weltcup-Sprungwettkampf der Herren mit einem Starterfeld von 50 Athleten wurden die einzelnen Geschwindigkeiten aufgetra-

gen. Es fällt auf, dass man mit ein und derselben Skimarke sowohl die geringste als auch eine der höchsten Geschwindigkeiten erzielen kann. Man kann davon ausgehen, dass sich die Skipräparationen der einzelnen Ski nicht so deutlich

unterscheiden, dass derartige Unterschiede möglich werden. Einschränkung muss allerdings erwähnt werden, dass Geschwindigkeitsunterschiede von 1,2 km/h auch von der Biomechanik beeinflusst werden.

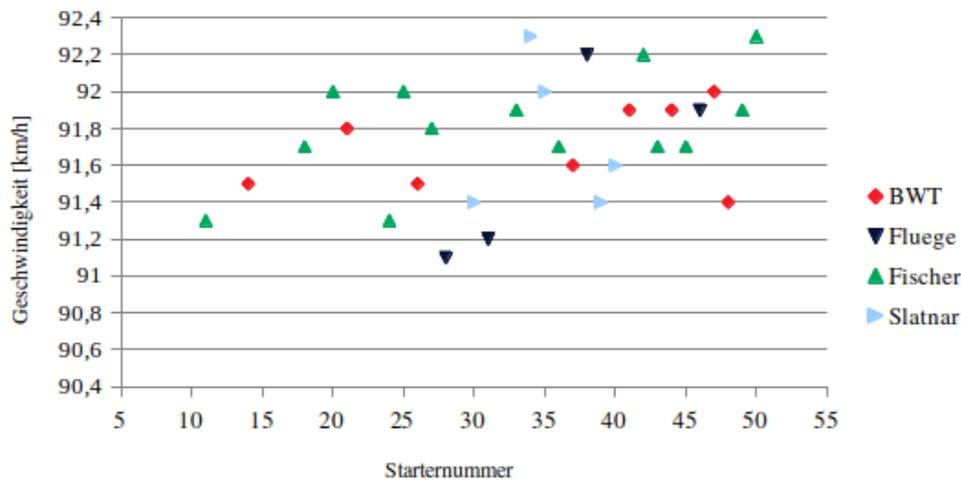


Abb. 1: Anfahr-
geschwindigkeiten
von 50 Athleten mit
unterschiedlichen
Skimarken. Quelle:
FIS, Weltcup Herren
2020.

Wie wurde untersucht?

Skiauswahl und Präparation

Insgesamt standen Ski gleicher Länge von 4 unterschiedlichen Herstellern zur Verfügung (Ski S1 - S4). Die Ski hatten eine Länge von 1,8m und nahezu identische Breite. Geringe Differenzen gab es bei der Skispannung. Vor den Tests wurden alle Ski derselben Wachsprozedur unterzogen. Das Wachs – ein übliches Produkt für das Sommerskispringen – wurde gebügelt, aber weder abgezogen noch gebürstet. Die individuellen Skischliffe hatten somit keinen Einfluss auf die Messung der Gleitgeschwindigkeit.

Anlaufspur

Die Anlage beim WSV Oberaudorf 1905 e.V. verfügt über einen 45m langen Anlauf mit Kunststoffspur ohne Schanzentisch und Aufsprunghügel. Als Gleitelemente sind Keramikknoppen im Abstand von ca. 5 cm in die Spur eingesetzt. Der Anlauf wurde für die Messungen nicht bewässert, es handelt sich also um trockene Reibung. Die Geschwindigkeitsmessung erfolgte mit dem System CAD-M. Mit 4 Lichtschranken wurden die Start- und 3 Durchgangszeiten mit einer Messfrequenz von mehreren Kilohertzbereich erfasst. Mit den

bekanntesten Wegen zwischen den Lichtschranken wurden dann die Geschwindigkeiten berechnet.

Schwingungsanalyse

Technische Betrachtungen von Schwingungszuständen werden als Modalanalysen bezeichnet. Direkt bei den Messungen an der Anlage in Oberaudorf wurde hierfür ein mobiles Gerät, welches auf einem Dreiachs-Schwingungssensor basiert, eingesetzt. Dieses Gerät wurde zuvor mittels professioneller Schwingungsmesstechnik auf Tauglichkeit überprüft. Die Überprüfung fand im Rahmen einer Masterarbeit statt [2], bei der das Modalanalysesystem der Firma Brüel & Kjær verwendet wurde, welches aus dem PULSE Front-end und der PULSE-Software besteht. Das Modalanalysesystem diente der Datenerfassung und -auswertung. Das PULSE-Front-end diente der A/D-Wandlung der Signale, während die PULSE-Software für die Datenaufzeichnung sowie für Kalibrierung und Filterung eingesetzt wurde.

Gleittest

Alle Gleitversuche wurden mit einem durch ein Gewicht (10 kg) beschwerten Schlitten durchgeführt. Derartige Messungen wurden ausführlich in [3] beschrieben. Es wurden

aus 4 Versuchen gemittelte Gleitgeschwindigkeiten erhalten. Die mittlere Gleitzeit betrug 5 s und die Differenz von schnellstem zu langsamstem Schlitten betrug 0,06 m/s, was einer Differenz von etwa 30 cm entspricht.

Ergebnisse

Schwingungsanalysen

Zur Bestimmung des Schwingungsverhaltens wurden die Ski federnd aufgehängt und mit einem Hammer angeschlagen. In der Realität läuft der Ski in der Anlaufspur und wird durch diese gedämpft. Da der Ski konstruktionsbedingt vor der Bindung aber kaum Kontakt mit der Spur hat, ist diese Vorgehensweise berechtigt. Abbildung 2 zeigt das Schwingungs-

und Abklingverhalten. Von besonderem Interesse waren die erste und zweite harmonische Schwingung bei Frequenzen um 12 Hz bzw. zwischen 20 Hz und 30 Hz. Die Frequenzen um 12 Hz repräsentieren die Grundfrequenz, die maßgeblich von der Geometrie der Ski beeinflusst wird und bei beiden Ski identisch war. Die höheren Frequenzen variierten zwischen 32,5 Hz (linkes Bild) und 26,4 Hz (rechtes Bild). Im oberen Teil des Bildes findet man das Abklingverhalten nach Anregung, aus dem die Dämpfung berechnet wurde. Der linke Ski zeigte hierbei einen Wert von 0,41% und der rechte Ski von 0,76%. Sowohl der Frequenz- als auch der Dämpfungswert sind signifikant.

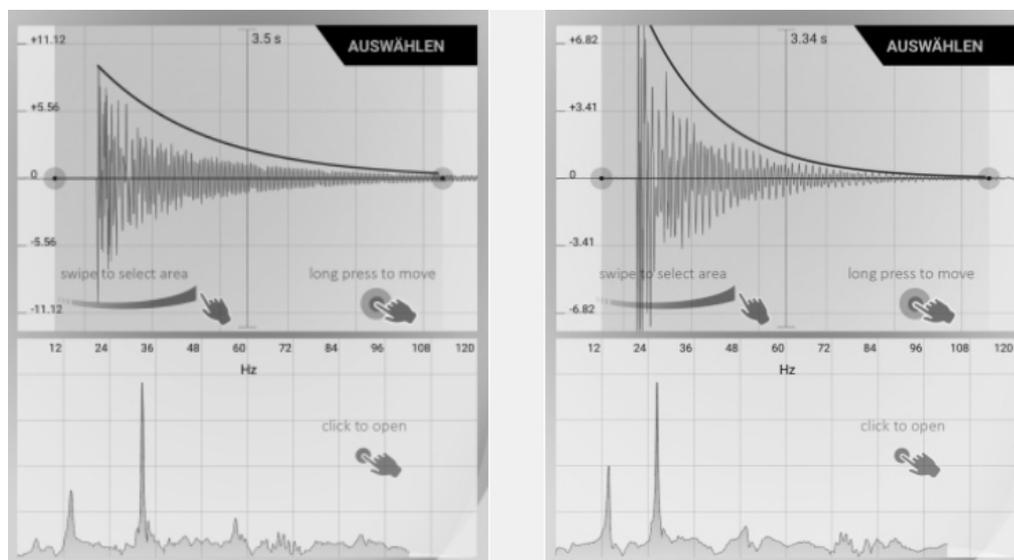


Abb. 2: Frequenzspektrum der Ski sowie das Schwingungs- und Dämpfungsverhalten von 2 der 4 getesteten Ski.

Gleitgeschwindigkeitsmessungen und Schwingung

Mit Hilfe der Geschwindigkeitsmessanlage wurden 2 Zwischenwerte und die finale Geschwindigkeit gemessen. Die Geschwindigkeitswerte wurden aus 4 Einzelmessungen gemittelt. Zunächst wurden aber die Schwingungsfrequenz und das Dämpfungsverhalten der Ski in Relation gebracht, siehe Abb. 3 links. Ski mit höherer Schwingungsfrequenz f zeigten geringere Dämpfung δ . Es

gilt die Relation: $f \propto 1/\delta$. Auffallend in Abb. 3 rechts ist, dass Ski S1 zwar bei Frequenz und Dämpfung mit den anderen Ski in linearem Zusammenhang steht, aber bei der Auftragung der Geschwindigkeit über der Frequenz etwas aus dem Rahmen fällt. Nichtsdestotrotz korreliert eine niedrigere Frequenz mit höherer Geschwindigkeit. In Abb. 3 rechts ist jeweils die Endgeschwindigkeit aufgetragen.

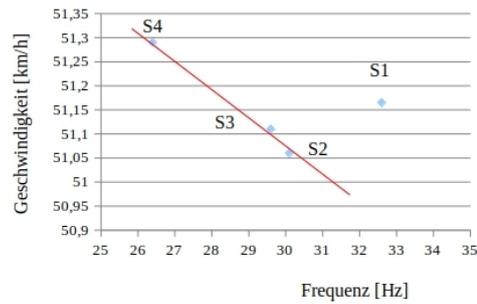
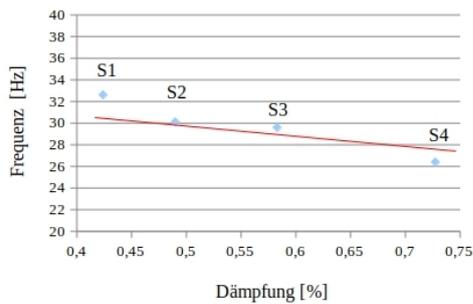


Abb. 3: Zusammenhänge zwischen Frequenz, Dämpfung und Geschwindigkeit.

Diskussion

Die in Abb. 3 gezeigte Frequenz-Dämpfungscharakteristik offenbart einen linearen Zusammenhang. Der Ski, der bei der geringsten Anregungsfrequenz zu schwingen beginnt, hat auch die größte Dämpfung. Wäre dem nicht so, würde der Ski bei Anregung stark ausschlagen, d.h. eine große Schwingungsamplitude zeigen. Die Frequenz-Dämpfungscharakteristik kann man sehr gut bei Zeitlupenaufnahmen des Absprungs vom Schanzentisch beobachten. Hier kommt die Anregung durch den Impuls, den der Athlet in vertikaler Richtung erzeugt. Im Anlauf – hier die gleitnoppenbesetzte Spur – resultiert die Anregung aus dem periodischen Kontakt der Ski mit den im Abstand von 5 cm eingebrachten Gleitnoppen. Diese Noppen wirken wie ein Hammer, der den Ski in Schwingung versetzt. Je zügiger ein Ski die Anregung aufnimmt, desto zeitiger im Anlauf wird

der mikroskopische Kontakt zwischen Ski und Gleitnoppen kurzzeitig aufgehoben. Damit verringert sich periodisch die reibungsbeeinflussende reale Kontaktfläche A_r . Neben der Kontaktfläche ist die lokal auf den Gleitnoppen wirkende Reibungskraft F_r noch vom Scherwiderstand τ abhängig:

$$F_r = \tau A_r \quad (1)$$

τ ist hierbei eine Konstante, da alle Ski gleich präpariert wurden. Somit wird klar, warum Ski S4 die höchste Gleitgeschwindigkeit liefert. Dieser Ski gerät am zeitigsten in die gedämpfte Schwingung, verringert die reale Kontaktfläche, hat damit die geringste Reibung und folglich die höchste Anlaufgeschwindigkeit.

Danksagung

Ein herzlicher Dank der Autoren geht an Dr. Sören Müller und Pierre Heinrich für Begutachtung, fachliche Hilfe und konstruktive Kritik.

Über die Autoren



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.



Sepp Heumann, ein ehemaliger aktiver Skispringer und mehrfacher Teilnehmer der Vierschanzentournee arbeitet als Trainer beim WSV Oberaudorf und ist dort für den Kinder- und Jugendbereich zuständig.

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] Matthias Fischer. Simulation und Erprobung des dynamischen Verhaltens von Sprungskiern mittels Modalanalyse. *Masterarbeit KIT*, pages 1–80, 2019.
- [3] Matthias Scherge and Sepp Heumann. Beurteilung des Gleitverhaltens von Sprungski in der Anlaufspur. *Gliding*, 1:1–7, 2019.