



Tribologie im Rodelsport – Ein neuer methodischer Ansatz

Matthias Scherge

ARTIKELINFORMATION

Schlüsselworte:
Rodeln
Druckverteilung
Vibration

KURZFASSUNG

Die Fahrgeschwindigkeit im Kufensport und speziell in diesem Beitrag beim Rodeln wird entscheidend durch die Reibung zwischen Stahl und Eis bestimmt. Besonders die real sich ausbildende Kontaktfläche zwischen Schiene und Eis spielt eine große Rolle. Darüber hinaus ist wichtig, ob von außen eingeleitete Vibrationen sich auf diesen Kontakt auswirken. Mit Hilfe von Druckverteilungsmessungen konnte für den statischen Zustand (fest stehender Rodel) der Kontakt zwischen Stahl und Ebene gemessen werden. Die Messungen erfolgten mit und ohne Lenkbewegung. Durch Windkräfte eingeleitete Vibrationen konnten mittels neuartiger, hochauflösender Videotechnik erfasst werden. Somit waren Aussagen zur Dynamik der tribologischen Kontaktbildung möglich und zukünftig auch zur konstruktiven Auslegung des Sportgeräts.

©Team Snowstorm

1 Einführung

Beim Rodeln wird der Lenkvorgang u.a. durch Drücken der Beine an die Holme der Kufen eingeleitet. Dieses Drücken verändert sowohl die Ausrichtung der Kufe, aber gleichzeitig auch die Kontaktfläche der an der Kufe befestigten Schiene mit dem Eis. Somit wird zugleich Richtung und Reibung beeinflusst [1]. Neben der Größe der Kontaktfläche reagiert die Reibung [2] auch auf Vibrationen, die durch Unebenheiten oder Windkräfte eingeleitet werden, wobei letztere deutlich geringer sind. Reibungskraft F_r und reale Kontaktfläche A_r hängen über das Gesetz von Bowden und Tabor zusammen [3, 4]. Als Proportionalitätsfaktor fungiert hierbei der Scherwiderstand τ , der maßgeblich durch das Eis bestimmt wird. Dieser ist temperaturabhängig, hat aber mit der Härte des Eises nichts zu tun. Die Eishärte [5] wird wie ein wirkender Druck in MPa (Mega Pascal) angegeben und wird durch das senkrechte Eindringen eines Prüfkörpers gemessen. Der Prüfkörper hinterlässt einen Eindruck im Eis. τ hat ebenfalls die Einheit des Drucks, d.h. MPa, beschreibt aber den Scherwiderstand entgegen der Fahrtrichtung. Somit stehen die Wirkrichtungen von Druck und Scherwiderstand senkrecht aufeinander.

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

Die reale Kontaktfläche ergibt sich aus den elastischen und geometrischen Eigenschaften von Kufe, Schiene und Eis sowie den wirkenden Normalkräften F_n . Auf ebener Unterlage beträgt die Kraft $F_n = mG$, mit G der auf der Bahn wirkenden Beschleunigung und m der Athleten- und Schlittenmasse. Auf Grund der Bewegung des Schlittens durch die Kurven enthält G Anteile aus Gravitation und

Zentrifugalkraft, die zu einem Vielfachen von g führen. Es gibt Fahr Situationen, in denen mehr als $5g$ wirken können [6].

Durch Vibrationen wird kurzzeitig der Kontakt zwischen Schiene und Eis aufgehoben. Dieser Zustand ist wie beim alpinen Abfahrtsrennen ungünstig, da die Reibungskraft ab einer gewissen Geschwindigkeit geringer als der Windwiderstand ist. Gleichzeitig leidet die Manövrierfähigkeit des Schlittens. Der Frequenzbereich der Vibrationen hängt von der Fahrgeschwindigkeit, der Masse des Schlittens, der Steifigkeit seiner Baugruppen sowie den Eigenschaften der Bahn ab.

Mit den hier vorgestellten Messungen konnten sowohl Vibrationen, die durch Windkräfte verursacht wurden, und die realen Kontaktflächen zwischen Schiene und Unterlage quantitativ bestimmt werden. Die Messungen erfolgten auf der Winterberger Rodel- und Bobbahn an der kritischen Stelle des Zusammentreffens von Doppelrodelstart und Bahn. Diese Stelle zeichnet sich durch starkes Einlenken aus und birgt somit eine Quelle für Fahrfehler.

2 Experiment und erste Ergebnisse

2.1 Messaufbau

Der Raum, der sich am Starthaus 2 der Bahn (Doppelrodelstart) befindet bot genügend Platz zum Aufstellen einer $1,5\text{ m} \times 1,5\text{ m}$ großen Windmaschine, siehe Abb. 1. Die maximal erreichbare Windgeschwindigkeit betrug 90 km/h . Vor der Windmaschine wurde der Rodel des Winterberger Teams Geueke/Gamm auf einer hochauflösenden Druckmessplatte platziert, um die sich einstellenden realen Kontaktflächen zwischen Schiene und Platte zu bestimmen. Neben der Bahn befand sich ein Videosystem, welches auf die seitliche Silhouette von Team und Rodel fokussiert war, um Vibrationen zu messen.



Abb. 1: Messaufbau. Zentral vor der Windmaschine befand sich der Schlitten auf der Druckmessplatte. Von der Seite verfolgte ein Videosystem die Vibrationen. Die maximale Windgeschwindigkeit betrug 90 km/h .

2.2 Druckmessung

Zur Druckmessung kam die molibso dyneos RUN 2 high performance Platte mit einer Abmessung von $203,2\text{ cm} \times 54,2\text{ cm}$, 15.360 integrierten Sensoren und einer Abtastrate von 100 Hz zum Einsatz. Ein Pixel der Druckmessplatte hat somit eine Ausdehnung von ca. $5 \times 5\text{ mm}$. Basierend auf einer maximalen Aufzeichnungsrate von 100 Bildern pro Sekunde können Schwankungen in der Druckverteilung erfasst werden.

Bei den Messungen wurden Variationen der Körperhaltung durchgespielt. Die deutlichsten Einflüsse auf die Druckverteilung wurden erwartungsgemäß durch die Lenkbewegungen verursacht. In Abb. 2 ist deutlich das Verformungsverhalten des Schlittens zu erkennen. Durch die Lenkbewegung mit dem linken Bein kam es zu einer Vorverlagerung der Schiene. Darüber hinaus konnte auch der Einfluss der Kopfbewegung im Windstrom bestimmt werden.

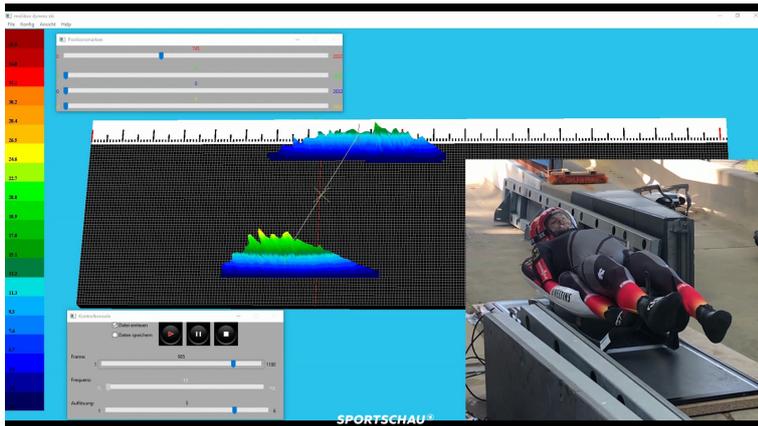


Abb. 2: Druckverteilungsmessung beim simulierten Einlenken.

2.3 Vibrationsmessung

Das Videosystem (IRIS MTM – Motion Amplification) der Fa. VIMS misst Verschiebung, Bewegung und Vibration, die für das menschliche Auge nicht sichtbar sind. Die Videokameratechnologie in Verbindung mit spezieller Software und Verarbeitungsalgorithmen (Motion AmplificationTM) wurde eingesetzt, um aussagekräftige Vibrationsdaten zu extrahieren. Diese Technologie verwandelt jedes Pixel im Blickfeld der Kamera in einen Sensor, der in der Lage ist, Vibrationen oder Bewegungen mit hoher Genauigkeit zu messen, siehe Abb. 3. Subtile Bewegungen bis in den Mikrometerbereich werden erkannt und so weit verstärkt, dass sie mit bloßem Auge sichtbar werden, was das Verständnis der Komponenten und Zusammenhänge, die die Bewegung erzeugen, entscheidend verbessert.

Bei den Messungen wurde einerseits der Windangriff auf die Athleten visualisiert. Andererseits konnte die windverursachte Einleitung von Verformungen bis zu Kufe und Schiene verfolgt werden. Die Baugruppe, die Wanne und Kufe verbindet zeigte Auslenkungen von $\pm 200 \mu\text{m}$.



Abb. 3: Vibrationsmessungen am Rodel. Die beiden Diagramme zeigen die Vibrationsamplituden als Funktion der Zeit an den Verbindungsstellen von Wanne und Kufe.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Das Zusammenspiel von Druckverteilungs- und Vibrationsmessung an einem Doppelrodel unter Wirkung von schnell anströmender Luft hat neuartige Möglichkeiten der Optimierung des Sportgeräts sowie der Körperhaltung aufgezeigt. Neben der Bestimmung der Kontaktfläche zwischen Schiene und Eis konnten auch den Kontakt ändernde Vibrationen gemessen werden. Mit den Ergebnissen wird eine genauere tribologische Analyse des Rodels möglich. Da die Messungen in Ruhe erfolgten, sind noch keine Aussagen zur Fahrndynamik abzuleiten. Daher kommt im Nachgang zu den experimentellen Arbeiten Computersimulation auf Basis der Finite Element Methode zum Einsatz. Aus diesen Simulationen erhoffen wir uns Druckverteilungsangaben für den dynamischen Fall, d.h. die Wirkung von Geschwindigkeiten und

g-Kräften. Als Fernziel steht die Berechnung der Reibung und die Ableitung von Designvorschlägen für die Schiene auf der Tagesordnung.

Danksagung

Ein großer Dank geht an das Team des BSC Winterberg und hier vor allem an Michael Wenzl. Weiterhin danken wir den Firmen molibso, avibia und VIMS. Für die kritische Durchsicht des Artikels geht ein herzlicher Dank an Julian von Schleinitz.

Über den Autor



Matthias Scherge ist Professor für Tribologie. Das ist die Wissenschaft von Reibung, Verschleiß und Schmierung. Prof. Scherge leitet das Fraunhofer MikroTribologie Centrum, 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.

References

- [1] Mathieu Fauve and Hansueli Rhyner. Analysis and Optimization of the Sliding Properties of Luge Steel Blades on Ice. *THE ENGINEERING OF SPORT*, 7:579–586, 2008.
- [2] Melanie Dumm, Christian Hainzmaier, Stephan Boerboom, and Erich Wintermantel. The Effect of Pressure on Friction of Steel and Ice and Implementation to Bobsleigh Runners. *THE ENGINEERING OF SPORT*, 6:103–106, 2006.
- [3] 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.
- [4] Frank Philip Bowden and David Tabor. *The Friction and Lubrication of Solids. Part 1*. Oxford University Press, 1950.
- [5] Louis Poirier, Edward P. Lozowski, and Robert I. Thompson. Ice hardness in winter sports. *Cold Regions Science and Technology*, 67(3):129–134, jul 2011.
- [6] Christian Hainzmaier. *A new tribologically optimized bobsleigh runner*. PhD thesis, Technische Universität München, 2005.