

Einfluss der Biege- und Torsionssteifigkeit von Skiern auf das Schwungsverhalten

Martin Mössner¹, Dieter Heinrich¹, Herwig Schretter² und Werner Nachbauer¹

¹ Institut für Sportwissenschaft, Universität Innsbruck

² HTM Tyrolia, Schwechat

Einleitung

Ein Simulationsprogramm zur Berechnung der Bewegung eines selbst fahrenden Schlittens mit zwei Ski wird vorgestellt. Dieses Modell wird dazu benützt, um den Einfluss der Biege- und Torsionssteifigkeit auf das Schwungsverhalten zu berechnen.

Methode

In der Software LMS Virtual.Lab wurde das Modell eines Skischlittens implementiert (Abb. 1). Der Skischlitten besteht aus einem Rahmen von starren Körpern mit zwei Skiern. Die Ski bestehen aus 18 Segmenten und einem Schaufelsegment, welche paarweise durch zwei Scharniergelenke miteinander verbunden sind. In den Drehgelenken befinden sich Drehfedern und Dämpfer zur Modellierung der Biege- und Torsionssteifigkeit. Die Reaktionskraft normal zur Schneeoberfläche wird durch ein hypoplastisches Stoffgesetz beschrieben.

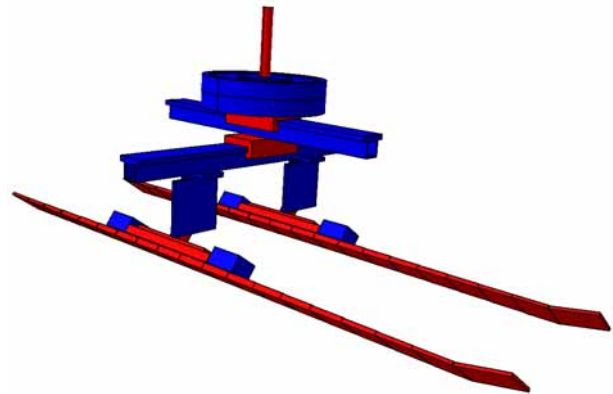


Abb. 1: Der Schlitten in der LMS Virtual.Lab Software.

Dieses zeichnet sich gegenüber einem elastischen Stoffgesetz dadurch aus, dass die Einsinktiefe im hinteren entlasteten Teil des Skis erhalten bleibt. Die Widerstandskraft transversal zur Bewegungsrichtung wird durch eine Scherkraft proportional zur Einsinktiefe modelliert. Die Widerstandskraft in Bewegungsrichtung ist durch Coulomb Reibung gegeben. Das Modell wurde validiert (Mössner et al., 2006) und sodann für Parameterstudien verwendet (z.B. Heinrich et al., 2006).

Für diese Studie wurde ein Prototyp eines neuen Carverski (RC3) implementiert. Der Ski hat eine Länge von 1.70 m und einen Skiradius von 15.4 m. Die Geometrie wurde aus Datenblättern der Skifirma Head erhoben und die Steifigkeit durch Messung im Labor bestimmt. Sodann wurden Normschwünge mit einem Kantwinkel von 35°, einer Startgeschwindigkeit von 10 m/s und einer Fahrzeit von 7 s berechnet. In dieser Zeit fährt der Schlitten ca. 80 m weit (Abb. 3). Auf Grund des weichen Schnees rutscht der Schlitten in allen Fahrsituationen stark und weist am Ende der Fahrt einen Schwungradradius von ca. 80 m auf.

Zur Untersuchung des Einflusses der Steifigkeit des Ski wurde die Biege- (B) bzw. die Torsionssteifigkeit (T) modifiziert. Die Steifigkeit wurde entweder im vorderen Teil des Ski (V) oder im hinteren Teil des Ski (H) erhöht. Die Erhöhung wurde linear ansteigend von der Skimitte zu einem der beiden Skienden angesetzt. Die maximalen relativen Veränderungen zur Ausgangssituation betrugen 10, 20 oder 30 % am entsprechenden Ende des Skis (Abb. 2).

Ergebnisse

Die Veränderung der Fahrspur ist in Abb. 3 im Fall der Erhöhung der Biegesteifigkeit im vorderen Teil des Skis illustriert. Die maximale Abweichung der Fahrspur mit einer modifizierten Steifigkeit zur Referenzsituation ist in Tab. 1 angegeben. Die größten Differenzen in der Fahrspur treten bei Variation der Biegesteifigkeit im vorderen Teil des Skis auf. Die Veränderung der Fahrspur auf Grund der Erhöhung der Torsionssteifigkeit ist sehr klein.

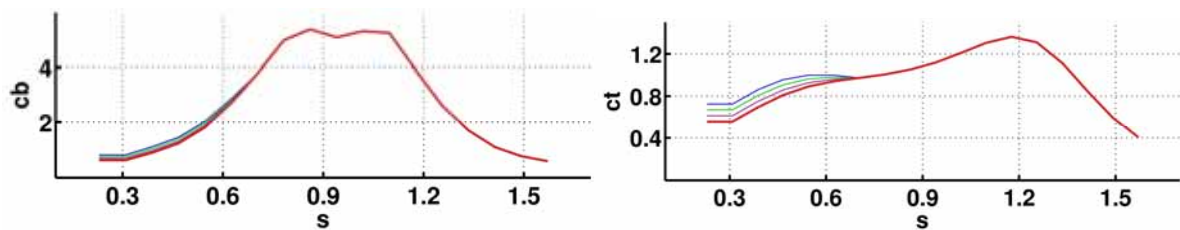


Abb. 2: Federkonstanten der Drehfedern zwischen den Segmenten für Biegung C_B [kNm/rad] und Torsion C_T [kNm/rad] bei Variation der Steifigkeit im vorderen Teil des Skis. Beachte, es gilt für die Biegesteifigkeit $EI=C_B L$ und für die Torsionssteifigkeit $GJ=C_T L$, wobei $L=7.8$ cm die Segmentlänge der Modellierung des Skis ist.

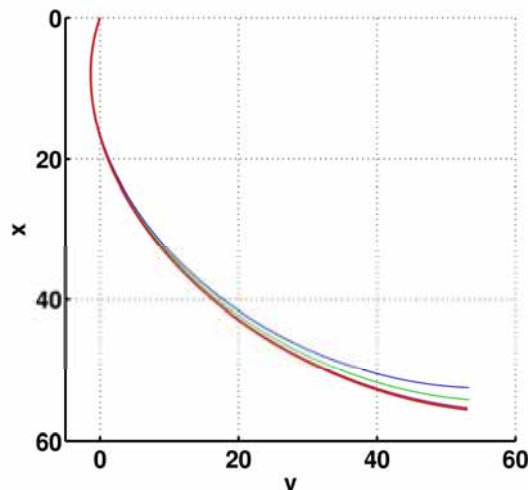


Abb. 3: Variation der Fahrspur des RC3 bei Erhöhung der Biegesteifigkeit im Bereich der Schaufel um 10, 20 und 30 %. Bei Zunahme der Steifigkeit wird die Fahrspur enger.

	10 %	20 %	30 %
BV	0.29	1.42	3.11
BH	0.02	0.04	0.07
TV	0.04	0.07	0.11
TH	0.01	0.02	0.02

Tab. 1: Maximale Differenz zwischen Fahrspur der Normsituation und der Fahrspur mit modifizierter Steifigkeit in m. B Biegesteifigkeit, T Torsionssteifigkeit, V vorderer Teil des Skis, H hinterer Teil des Skis. 10, 20 und 30 % relative Erhöhung der Biege- bzw. der Torsionssteifigkeit.

Diskussion

Mit Hilfe der Simulation von Schlittenfahrten konnte der Einfluss der Steifigkeit von Skiern untersucht werden. Es zeigte sich, dass nur die Biegesteifigkeit einen signifikanten Einfluss auf die Fahrspur hat. Die größten Effekte ergeben sich bei Variation der Steifigkeit im vorderen Teil des Skis. Eine Variation der Steifigkeit um 30 % entspricht einer Veränderung der Skidicke von ca. 10 %. Nahezu keinen Einfluss hat eine Veränderung im hinteren Teil des Skis. Dies erklärt sich daraus, dass die Schaufel die Spur gräbt und der Hinterski entlang dieser Spur gleitet. Generell beobachtet man in der untersuchten Fahrsituation beim RC3, dass eine Erhöhung der Steifigkeit eine engere Bahn verursacht. Bei anderen Carverskiern, anderen Fahrsituationen und bei sehr weichem Schnee wurde auch davon abweichendes Verhalten beobachtet. Dies ist auf die unterschiedliche Bettung des Skis im Schnee zurückzuführen. Das Faktum, dass die Torsionssteifigkeit keinen messbaren Einfluss auf die Fahrspur hat steht im Widerspruch zu Aussagen von Skifahrern, welche der Torsionssteifigkeit von Skiern eine große Bedeutung zuordnen. Diese Diskrepanz muss noch weiter untersucht werden.

Literatur

Mössner, M., Heinrich, D., Schindelwig, K., Kaps, P., Lugner, P., Schmiedmayer, H.B., Schretter, H., & Nachbauer, W. (2006). Modelling of the Ski-Snow Contact for a Carved Turn, In E.F. Moritz & S.J. Haake (Eds.), The Engineering of Sport 6, München, DE, pp. 195-200.

Heinrich, D., Mössner, M., Kaps, P., Schretter, H., & Nachbauer, W. (2006). Influence of Ski Bending Stiffness on the Turning Radius of Alpine Skis at Different Edging Angles and Velocities - A Computer Simulation. In E.F. Moritz & S.J. Haake (Eds.), The Engineering of Sport 6, München, DE, pp. 207-212.