

Analyse und Konzeption von Bobfahrwerken

Abhandlung zur Erlangung des Titels
Doktor der Wissenschaften
der
ETH Zürich

vorgelegt von
PASCAL DONATO ARNOLD
MSc Masch. Ing. ETH
geboren am 23.09.1983
von Bürglen, UR (Schweiz)

Angenommen auf Antrag von
o. Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. habil. Ch. Glocker, Referent
o. Prof. Dr. P. Ermanni, Korreferent

Zusammenfassung

Nach einer Minute Renngeschehen entscheiden im Bobsport die Hundertstelsekunden über die Platzierung eines Teams. Sobald die Athleten den Bob in der Startbahn auf Geschwindigkeit geschoben haben, können noch zwei Faktoren das Endergebnis positiv beeinflussen: Die Fahrkünste des Piloten und das Sportgerät. Durch die längere Historie des Bobsports hat sich ein umfangreiches technisches Regelwerk gebildet und es ist eine Herausforderung, schnellere Bobschlitten zu konstruieren, weshalb ein Wissen um die Details erforderlich ist. Im Fokus dieser Arbeit steht die mechanische Charakterisierung, die Fahrwerksentwicklung und Konstruktion von 2er- und 4er-Bobschlitten.

Mittels einer Abstrahierung des Gesamtsystems Bob-Bobbahn in Form eines Mehrkörpermodells werden grundsätzliche Erkenntnisse über die Dynamik von Bobschlitten gewonnen. Dabei stellt die Formulierung des Systems einige Herausforderungen: Die grossen Rotationen des Hauptkörpers werden über Quaternionen parametrisiert. Die Bewegungsgleichungen sind als auf die generalisierten Geschwindigkeiten projizierte Impuls- und Drallsätze aufgestellt, welche unter dem Namen projizierte Newton-Euler-Gleichungen bekannt sind. Auch die Formulierung von harten Kontakten zwischen Bob und Eisbahn über Normalkegelinklusionen sowie das speziell für den Bobsport entwickelte Reibgesetz stellen eine Neuerung in der Modellierung der Bobdynamik dar. Für dieses Bobmodell werden die Auswirkungen von Parameteränderungen auf die Fahrlinien anhand zweier Beispielkurven diskutiert. Die Torsionssteifigkeit und die Anordnung des Längsdrehgelenks sind dabei relevante Einflussgrössen.

An einem Sportgerät, das auf dem Stand der Technik ist, werden Themen wie die Massen- und Steifigkeitsverteilung, die Wartungsfreundlichkeit oder Setup-Arbeiten diskutiert. Mittels einer auf Zweierbobs angepassten Messtechnik werden während der Fahrt die wichtigsten kinematischen Grössen aufgezeichnet.

Bei der Neukonzeption der Fahrwerke für den Zweier- und Viererbob wird von der Eisbahn bis zu den Sportlern jede Baugruppe auf seine Federungseigenschaften untersucht. Mithilfe von Ersatzmodellen werden die Charakteristika dieser Baugruppen und aller im Bob relevanten Kraftelemente erklärt, sowie Parameterabhängigkeiten aufgezeigt. Es werden Möglichkeiten vorgestellt, die Steifigkeitseigenschaften und damit die Lenkwilligkeit des Bobschlittens zu verändern, und zwar an Stellen, wo das Bobreglement vermeintlich keinen Spielraum mehr lässt. Immer wieder folgt die Feststellung, dass die Konkurrenzfähigkeit eines Bobteams massgeblich von der gewählten Fahrlinie und den Fähigkeiten des Piloten abhängt. Um für die Athleten hier optimale Bedingungen zu schaffen, wird der Lenkbarkeit des Bobs und der Reproduzierbarkeit der Fahrlinien besondere Beachtung geschenkt. Dies widerspiegelt sich in den Betrachtungen zur Sensitivität der Fahrspuren in Funktion einiger Modellparameter oder im Studium der Lenkung und der von ihr ausgehenden Rückmeldung.

Im Rahmen des Citius-Projekts sind die hier ausgeführten Konzepte umgesetzt worden und haben zu Sportgeräten geführt, die in puncto Lenkpräzision, Fahrbarkeit und Fertigungspräzision einen Fortschritt darstellen. Die Kenntnis der hierfür relevanten Baugruppen und der Zusammenhänge zwischen Geometrieparametern und mechanischen Grössen unterstützt weitere Optimierungen.

Abstract

In the sport of bobsleigh, it is the hundredth of a second deciding over a team's ranking after only one minute of racing. As soon as the athletes have put the bobsleigh on speed, there are only two factors with the ability to improve the final result: the pilot's driving skills and the technology of the bobsleigh. Due to the long tradition of this sport, an extensive set of rules defines the geometry of a bobsleigh's chassis to the millimeter. Thus, designers face great challenges for the optimisation and the knowledge of every detail is mandatory. This thesis focuses on the mechanical characterisation and development of a 2-man and a 4-man bobsleigh chassis.

Through abstraction of the total system by means of a multibody model, the fundamental properties and knowledge about the dynamics of bobsleighs are extracted. The implementation of such a model poses several challenges: The large rotations of the main bodies are parametrised by quaternions. The equations of motion are formulated as projected Newton-Euler equations. The hard contacts between bobsleigh and track surface, which are formulated as normal cone inclusions, as well as the contact force model, that has been specifically designed for bobsleigh applications, establish a new modeling method in bobsleigh dynamics. For this simplified system the effects of parameter changes on driving lines are discussed, based on two example corners. The torsional frame stiffness and the geometry of the divided frame joint are discussed in detail.

By taking a close look at current bobsleigh designs, a discussion on aspects such as mass and stiffness distribution, service friendliness or setup work of the mechanics is presented. A specially suited equipment is used to measure the most relevant kinematic quantities of a 2-man bobsleigh during racing.

In the design process of a 2-man and 4-man bobsleigh chassis, the stiffness properties of every single part in the suspension from the runners up to the athletes are examined. The specialties of the most important force elements in the construction are explained using assembly submodels, and their achievable parameter range is presented. Also, this work shows possibilities to overcome design limitations from the rulebook concerning the fixed setup of the chassis stiffness, in order to fine tune the steerability of bobsleighs. It can be concluded repeatedly, that the pilot's input is the main performance factor in the system. To enable the athletes to perform best, the controllability, reproducibility of driving lines as well as the steering properties require special attention. This is reflected in the simulations of driving line sensitivities as a function of system parameters or in the discussions about the steering feedback.

In the project „Citius“ the here discussed concepts have been realised. They have led to competitive 2-man and 4-man vehicles, which feature better steering precision and drivability, and which are manufactured with more precision than its predecessors. The understanding and control of the suspension properties and the link between mechanical and geometrical parameters support further optimisations.