

Márton Kuslits

Analysis and Optimisation of a New Differential Steering Concept

λογος

Márton Kuslits

Analysis and Optimisation
of a New Differential
Steering Concept

Logos Verlag Berlin



Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available on the Internet at <http://dnb.d-nb.de> .

Zugl.: Diss., BTU Cottbus-Senftenberg, 2022



This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 license CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>). Creative Commons license terms for re-use do not apply to any content (such as graphs, figures, photos, excerpts, etc.) not original to the Open Access publication and further permission may be required from the rights holder. The obligation to research and clear permission lies solely with the party re-using the material.

Logos Verlag Berlin, 2022

ISBN 978-3-8325-5578-8

Logos Verlag Berlin GmbH
Georg-Knorr-Str. 4, Geb. 10,
D-12681 Berlin
Germany

Tel.: +49 (0)30 / 42 85 10 90

Fax: +49 (0)30 / 42 85 10 92

<https://www.logos-verlag.de>

Acknowledgements

The present thesis is the result of several years' work spent mainly on private research, nevertheless in cooperation with the Chair of Engineering Mechanics and Vehicle Dynamics at the Brandenburg University of Technology, Cottbus, Germany.

In the first place, I express my gratitude to my doctoral advisor Prof. Dieter Bestle for his trust, guidance and even criticism which changed the way I see research and engineering. His dedication and selfless help were pivotal in the success of my work. I also thank Prof. Andreas Daberkow for reviewing my thesis and Prof. Burghard Voß for chairing the examination board.

During the early phase of my research I was affiliated with Széchenyi István University, Győr, Hungary, from where I thank Prof. Zoltán Horváth for helping the progression of this work by fostering the cooperation with Prof. Bestle, and Prof. Zoltán Varga for the inspiring discussions related to the research topic.

I also thank all colleagues from the Chair of Engineering Mechanics and Vehicle Dynamics for their kindness and support, and especially for organising the yearly 'Kolloquium', where I enjoyed exchanging ideas. Finally, I thank my beloved Rozi for her enduring patience and backing.

Leatherhead, United Kingdom
September 2022

Márton Kuslits

Abstract

Analysis and Optimisation of a New Differential Steering Concept

Keywords: differential steering, multi-body system, in-wheel motors, steering control, steer-by-wire, multi-objective optimisation

The emergence of electric drives opens up new opportunities in vehicle design. For example, powerful in-wheel motors provide unprecedented flexibility in chassis design and are suitable for distributed drive solutions where the behaviour of the vehicle may be further improved by, e.g., torque vectoring. However, vehicles equipped with distributed drives imply new, non-trivial vehicle dynamics control problems.

This work aims at a new differential steering concept relying only on passive steering linkages where the necessary steering moment about the kingpins is generated by traction force differences produced by in-wheel motors. For the analysis of the proposed steering concept, a tailored multi-body system model is introduced with emphasis on the dynamics of the steering linkages. Since the proposed concept is a steer-by-wire one inherently, it requires a control system which is also discussed.

As we do not have well-established design rules for the proposed kind of vehicles, this work overcomes the missing experience and explores the general applicability of such a new steering concept by using multi-objective optimisation. For this purpose, various design objectives and constraints are defined with respect to the dynamic, steady-state and low-speed steering performance of the vehicle. Since mechanical and control parts are strongly coupled, their parameters are optimised simultaneously.

The resulting behaviour of the proposed steering concept is investigated by various simulation experiments demonstrating a comparable steering performance of the new steering concept as that of conventional passenger cars.

Kurzfassung

Analyse und Optimierung eines neuen Differenziallenkungskonzepts

Schlüsselwörter: Differenziallenkung, Mehrkörpersystem, Radnabenmotor, Lenkungsregelung, Steer-by-Wire, Mehrkriterienoptimierung

Das Aufkommen von Elektroantrieben eröffnet neue Möglichkeiten in der Fahrzeugentwicklung. Beispielweise erlauben leistungsstarke Radnabenantriebe eine unvergleichliche Flexibilität beim Chassisentwurf und sind auch geeignet für verteilte Antriebslösungen, mit denen das Fahrzeugverhalten z.B. durch Torque-Vectoring weiter verbessert werden kann. Fahrzeuge mit verteilten Antrieben implizieren jedoch neue, nicht-triviale Fahr-dynamikregelungsprobleme.

Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht ein neues Differenziallenkungskonzept, das ausschließlich aus passiven Lenkachsen besteht und bei denen das notwendige Lenkmoment durch Zugkraftdifferenzen von Radnabenmotoren erzeugt wird. Zur Analyse des vorgeschlagenen Lenkkonzepts wird ein maßgeschneidertes Mehrkörpermodell mit Schwerpunkt auf der Dynamik der Lenkachsen vorgestellt. Da das vorgeschlagene Konzept inhärent ein Steer-by-Wire Lenksystem enthält, erfordert es ein Regelungssystem, das ebenfalls diskutiert wird.

Für die vorgeschlagene Fahrzeugart existieren keine etablierten Konstruktionsregeln, weshalb diese Arbeit die fehlenden Erfahrungen überwindet und die allgemeine Anwendbarkeit des neuen Lenkungskonzepts durch die Verwendung einer Mehrkriterienoptimierung untersucht. Zu diesem Zweck werden verschiedene Optimierungskriterien und Nebenbedingungen sowohl für dynamische und stationäre Fahrzustände als auch für das Lenkverhalten beim Parkieren des Fahrzeugs definiert. Da Mechanik und Regelung des Fahrzeugs stark gekoppelt sind, werden deren Parameter gleichzeitig optimiert.

Das resultierende Verhalten des vorgeschlagenen Lenkkonzepts wird durch verschiedene Simulationen untersucht, die ein vergleichbares Lenkverhalten des neuen Lenkkonzepts wie bei konventionellen Fahrzeugen zeigen.

