

Schriftenreihe
des Instituts für
Fahrzeugtechnik
TU Braunschweig



Nr: 57

M.Sc.
Dennis Schaare
2018

Identifikation und Konservierung eines markentypischen Lenkgefühls

Herausgegeben von:
Prof. Dr.-Ing. Ferit Küçükay

Identifikation und Konservierung eines markentypischen Lenkgefühls

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
zur Erlangung der Würde
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

Von: Dennis Schaare
Aus (Geburtsort): Salzgitter-Bad

Eingereicht am: 11.04.2017
Mündliche Prüfung am: 13.12.2017

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Ferit Küçükay
Prof. Dr.-Ing. Georg-Peter Ostermeyer

Schriftenreihe des Instituts für Fahrzeugtechnik
TU Braunschweig

Band 57

Dennis Schaare

**Identifikation und Konservierung
eines markttypischen Lenkgefühls**

Shaker Verlag
Aachen 2018

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2017

Copyright Shaker Verlag 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5734-8

ISSN 1619-6325

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand in der Konzernforschung der Volkswagen AG. Die Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Dissertation sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen AG.

Dem Direktor des Instituts für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Braunschweig, Herrn Professor Dr.-Ing. F. Küçükay, möchte ich für die Übernahme des Referats danken. Während der gesamten Zeit unterstützte er die Arbeiten mit besonderem Interesse und großem Vertrauen, das mir einen selbstständigen wissenschaftlichen Fortschritt ermöglichte.

Ich danke ebenfalls Herrn Professor Dr.-Ing. habil. G.-P. Ostermeyer, Direktor des Instituts für Dynamik und Schwingungen der Technischen Universität Braunschweig für die Übernahme des Koreferats, sowie Herrn Professor Dr.-Ing. P. Eilts, Direktor des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen der Technischen Universität Braunschweig für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Mein herzlicher Dank richtet sich an Herrn Dr.-Ing. R. Henze, Oberingenieur am Institut für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Braunschweig. Seine wissenschaftliche Betreuung mit den fachlichen Diskussionen und konstruktiven Anregungen hat maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Insbesondere möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing. F. Kallmeyer bedanken, der es mir ermöglichte, diese Arbeit mit seiner vollen Unterstützung anzufertigen. Durch seine fachlichen und persönlichen Anregungen in den gemeinsamen Diskussionen mit Herrn Dr.-Ing. K. Van Ende besteht ein unschätzbare Wert für die vorliegende Arbeit. Diese wäre jedoch ohne die Unterstützung von Herrn Dr.-Ing. A. Apel und Herrn S. Berkner nicht möglich gewesen. Für die ständige Bereitschaft und das entgegengebrachte Vertrauen danke ich Ihnen in besonderem Maße. Eine unerlässliche Unterstützung bestand zudem durch meine Kolleginnen und Kollegen der Konzernforschung in der guten Zusammenarbeit und der angenehmen Arbeitsatmosphäre.

Schließlich möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mir durch ihre stetige Unterstützung die Sicherheit gegeben hat diese Arbeit anzufertigen. Für den erforderlichen Ausgleich danke ich meinem privaten Umfeld und insbesondere meinen Freunden.

Der größte Dank richtet sich an meine liebevolle Frau Annika für ihre endlose Unterstützung und das tiefe Vertrauen. Mit ihrer Geduld in den zahllosen Stunden ohne gemeinsame Freizeit und ihrem Verständnis für die mentale Abwesenheit hat sie maßgeblich zum Entstehen der Arbeit beigetragen und mir zu jedem Zeitpunkt den persönlichen Rückhalt gegeben. Ihr fröhlicher Charakter ist von unschätzbarem Wert.

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen	III
1 Einführung	1
2 Stand der Forschung	5
2.1 Lenksystem und Lenkgefühl	5
2.2 Beschreibung des Lenkgefühls	8
2.2.1 Subjektive Bewertungsmethoden und -kriterien	10
2.2.2 Objektive Bewertungsmethoden und -kriterien	12
2.2.3 Anwendungsbeispiele zur Objektivierung	19
2.3 Virtuelle Methoden zur Unterstützung des Abstimmprozesses	21
2.3.1 Simulationsbasierte Methoden	22
2.3.2 Simulatorbasierte Methoden	23
2.3.3 Prüfstands-basierte Methoden	25
2.4 Zusammenfassung und Handlungsfeld	28
3 Versuchsdesign	31
3.1 Eingrenzung des Versuchsraums	31
3.2 Definition des Manöverkatalogs	32
3.2.1 Aufnahme und Auswertung von Lenkmustern des Expertenfahrers	33
3.2.2 Analyse der Lenkmuster im Vergleich mit Standardfahrmanövern	36
3.2.3 Manöverkatalog und Versuchsentwurf	41
3.3 Festlegung der Untersuchungsgegenstände	43
3.3.1 Messtechnik und Referenzfahrzeug	44
3.3.2 Variantenauswahl	45
3.4 Zusammenfassung	47
4 Analyse der Variantenauswahl	49
4.1 Objektive Analyse und Auswertung	49
4.1.1 Kennparameter als objektive Bewertungskriterien	49
4.1.2 Festlegung von Betrachtungsschwerpunkten	50
4.1.3 Robustheits- und Differenzierbarkeitsanalyse	52
4.2 Subjektive Analyse und Auswertung	59
4.2.1 Subjektivkriterien und Beurteilungsschema	59
4.2.2 Spreizung und Informationsgehalt	63
4.3 Zusammenfassung	66
5 Identifikation eines markttypischen Lenkgefühls	69
5.1 Korrelationsanalyse	69
5.2 Multiple Regressionsanalyse	73

5.2.1	Exemplarische Betrachtung ausgewählter Regressionsmodelle	75
5.2.2	Güte und Vergleich der Betrachtungsschwerpunkte	81
5.2.3	Zielbereich <i>Referenz</i>	88
5.3	Homogenitätsanalyse	89
5.3.1	Auswertung und Vergleich homogener Lenkungsabstimmungen . .	91
5.3.2	Zielbereich <i>Homogenität</i>	96
5.4	Zusammenfassung	97
6	Konservierung und Robustheit	99
6.1	Lenkungs-Fingerprint	99
6.2	Validierung und Generalisierungseigenschaften	106
6.3	Sensitivitätsanalyse	111
6.4	Zusammenfassung	116
7	Fallstudie zur Anwendbarkeit im Entwicklungsprozess	119
8	Zusammenfassung	127
	Literaturverzeichnis	132
A	Anhang	143