

**Mechatronische Entwicklung eines
Forschungselektrofahrzeugs zur Erprobung von
Fahrdynamikregelungen und Fahrerassistenzsystemen**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieurin / Doktoringenieur

(Dr.-Ing.)

von Dipl.-Ing. (FH) Robert Buchta

geb. am 21.07.1983 in Peiskretscham, Polen

genehmigt durch die Fakultät Maschinenbau

der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Roland Kasper

Prof. Dr.-Ing. Torsten Jeinsch

Prof. Dr.-Ing. Xiaobo Liu-Henke

Promotionskolloquium am 17.07.2015

Berichte aus der Fahrzeugtechnik

Robert Buchta

**Mechatronische Entwicklung eines Forschungs-
elektrofahrzeugs zur Erprobung von Fahrdynamik-
regelungen und Fahrerassistenzsystemen**

Shaker Verlag
Aachen 2015

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.: Magdeburg, Univ., Diss., 2015

Copyright Shaker Verlag 2015

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3983-2

ISSN 0945-0742

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 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Fachgruppe Regelungstechnik & Fahrzeugmechatronik der Fakultät Maschinenbau an der Ostfalia Hochschule in Wolfenbüttel in Kooperation mit dem Institut für Mobile Systeme (IMS) der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg.

Der Leiterin der Fachgruppe Regelungstechnik & Fahrzeugmechatronik, Frau Prof. Dr.-Ing. X. Liu-Henke, möchte ich einen ganz besonderen Dank aussprechen. Sie hat mich wesentlich unterstützt und stets die Arbeit durch wertvolle Anregungen gefördert. Unermüdliche Diskussionen eröffneten Wege, die im Rahmen dieser Arbeit erfolgreich beschrritten werden konnten.

Dem Leiter des Instituts für Mobile Systeme, Herrn Prof. Dr.-Ing. R. Kasper, danke ich sehr für die Förderung und Begutachtung der Arbeit. Sein stetiges Interesse und die anregenden Diskussionen förderten neue Ansätze und trugen erheblich zum Gelingen der Arbeit bei.

Ebenfalls gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. T. Jeinsch für das Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Korreferats. Von ihm gingen wertvolle Anregungen aus, die in diese Forschungsarbeit einfließen konnten.

Den Mitarbeitern im Fachgebiet, besonders Herrn M. Eng. F. Quantmeyer und Herrn Dipl.-Ing. (FH) N. Peters, gilt mein besonderer Dank. Die gute Zusammenarbeit und die zahlreichen kreativen und fruchtbaren Diskussionen beleuchteten und reflektierten Ideen und Ansätze, was zum Gelingen der Forschungsarbeiten beitrug.

Danken möchte ich auch den zahlreichen Studierenden, die mit studentischen Arbeiten zu dieser Arbeit beigetragen haben. Insbesondere die Arbeiten und das Engagement von Herrn M. Eng. D. Böttger zur konstruktiven Realisierung des Fahrzeugkonzepts in einem Prototypen sind besonders hervorzuheben.

Sehr großen Dank empfinde ich besonders gegenüber meiner Frau Lily. Sie hat mir während aller Phasen dieser Forschungsarbeit stets Rückhalt und Kraft gegeben und damit auch zum Erfolg der Arbeit beigetragen. Für ihre unerschöpfliche Unterstützung, ihr Engagement, aber auch die stetige und geduldige Rücksichtnahme, danke ich aus tiefstem Herzen.

Braunschweig, im August 2015

Robert Buchta

Inhalt

Formelzeichen	VII
Abkürzungen	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation zum Aufbau eines Forschungselektrofahrzeugs	1
1.2 Ziel und Aufbau dieser Arbeit	3
2 Mechatronischer Entwurf am Beispiel des M-Mobiles	5
2.1 Mechatronische Strukturierung.....	6
2.2 Mechatronische Komposition	8
3 Konzeption des M-Mobiles	10
3.1 Problem Darstellung und Stand der Technik	10
3.1.1 <i>Übersicht und Energiebedarf aktiver Fahrwerksysteme</i>	11
3.1.2 <i>Antriebsstrangkonfigurationen für batterieelektrische Fahrzeuge</i>	17
3.1.3 <i>Massenverteilung im Gesamtfahrzeug</i>	20
3.1.4 <i>Bewertung der Funktion und Energieeffizienz der Teilsysteme</i>	21
3.1.5 <i>Ansätze zur integrierten Fahrdynamikregelung</i>	25
3.2 Anforderungen an das Gesamtsystem M-Mobile	28
3.3 Konzeption des Gesamtsystems M-Mobile.....	29
3.3.1 <i>MFM Antrieb</i>	31
3.3.2 <i>MFM Lenkung</i>	34
3.3.3 <i>MFM Federung</i>	35
3.3.4 <i>Energiespeicher</i>	36
3.4 Mechatronische Betrachtung des M-Mobiles.....	37
3.5 Funktionsträger des M-Mobiles	38
4 Modellbildung	47
4.1 Modellstruktur des Gesamtfahrzeugs.....	47
4.2 Fahrzeugmodell	48
4.2.1 <i>Kinematik</i>	49
4.2.2 <i>Dynamik</i>	50
4.2.3 <i>Reifen</i>	52
4.2.4 <i>Einspurmodell</i>	54
4.3 Mechatronische Funktionsmodule	55
4.3.1 <i>MFM Lenkung</i>	55
4.3.2 <i>MFM Antrieb</i>	59

4.4	Energiespeicher.....	60
5	Parameteridentifikation.....	63
5.1	Vorgehensweise.....	63
5.2	Identifikation auf lokaler Ebene.....	68
5.2.1	<i>MFM Antrieb</i>	68
5.2.2	<i>MFM Lenkung</i>	72
5.2.3	<i>Reifen</i>	76
5.3	Identifikation des Fahrzeugquerverhaltens.....	77
6	Modellbasierter Entwurf der Informationsverarbeitung.....	80
6.1	Hierarchische Struktur der Informationsverarbeitung.....	80
6.2	Entwurf der globalen Informationsverarbeitung.....	81
6.2.1	<i>Hierarchischer Aufbau der integrierten Fahrdynamikregelung</i>	82
6.2.2	<i>Regelung der Querdynamik</i>	83
6.2.3	<i>Regelung der Längsdynamik</i>	86
6.2.4	<i>Stellgrößenverteilung für eine integrierte Horizontaldynamik</i>	89
6.3	Entwurf der lokalen Informationsverarbeitung.....	99
6.3.1	<i>Regelung des MFM Antrieb</i>	99
6.3.2	<i>Regelung des MFM Lenkung</i>	100
7	Verifikation der hierarchischen Informationsverarbeitung.....	101
7.1	Modellbasierte Absicherung mittels MiL und SiL.....	101
7.1.1	<i>Lenkung</i>	101
7.1.2	<i>Fahrdynamikregelung</i>	102
7.2	Messtechnische Analyse in der Echtzeitumgebung.....	112
7.2.1	<i>Lenkung</i>	112
7.2.2	<i>Antrieb</i>	114
7.2.3	<i>Messtechnische Analyse der Fahrdynamikregelung im Fahrversuch</i>	116
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	118
9	Anhang.....	120
9.1	Herleitung der Querdynamikregelung.....	120
9.2	Herleitung der Längsdynamikregelung.....	125
9.3	Anhang zur Stellgrößenverteilung.....	126
10	Literaturverzeichnis.....	128