

Dataloggerbasierte Kundenkollektivermittlung für die Fahrzeugerprobung

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

von
Mirko Wagner
aus Hildesheim

eingereicht am: 30. November 2015

mündliche Prüfung am: 14. November 2016

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. F. Küçükay

Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. P. Eilts

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. J. Köhler

Schriftenreihe des Instituts für Fahrzeugtechnik
TU Braunschweig

Band 49

Mirko Wagner

**Dataloggerbasierte Kundenkollektivermittlung
für die Fahrzeugerprobung**

Shaker Verlag
Aachen 2017

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., 2016

Copyright Shaker Verlag 2017

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5034-9

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

Veröffentlichungen über den Inhalt der Arbeit sind nur mit schriftlicher Genehmigung der Volkswagen Aktiengesellschaft zugelassen.

Die Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Dissertation sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen Aktiengesellschaft.

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner dreijährigen Tätigkeit als Doktorand bei der Volkswagen AG im Bereich des Dauerfahrversuchs der Marke Volkswagen Nutzfahrzeuge. Dem Initiator der Themenstellung Herrn Dr.-Ing. Arkadiusz Opalinski danke ich für den Anstoß zu diesem neuen Themengebiet, der aktiven Unterstützung sowie den regen fachlichen Diskussionen während dieses Zeitraums, die maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beitrugen. Außerdem gebührt mein Dank Herrn Volker Bönig, Dr. Rainer Gereke und Herrn Thomas Kniep für die stets gewährten Freiheiten zur Bearbeitung dieser Arbeit.

Für die universitäre Betreuung sowie die wissenschaftliche Unterstützung bedanke ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Ferit Küçükay vom Institut für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig. Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Eilts für die Betreuung als Mitberichterstatter und Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Köhler für die Übernahme des Vorsitzes im Promotionsausschuss.

Die Messungen im Markt Argentinien wurden durch Volkswagen Argentina ermöglicht. Für die Unterstützung und die Betreuung der Messungen möchte ich Herrn Alejandro Lo Carmine und Herrn Matias Muller danken. Für die Entwicklung und Ausrüstung der Fahrzeuge im Vorfeld gilt mein Dank Herrn Dr.-Ing. Michael Jahr, Herrn Christian Dencke und Herrn Jürgen Luxa. Ebenfalls möchte ich mich für die praktische Umsetzung der Ideen bei Herrn Peter Bieber und Herrn Frank Stanek bedanken.

Allen Kollegen im Nutzfahrzeug Dauerfahrversuch möchte ich für die offene motivierende Atmosphäre, die praktischen Erfahrungen aus dem Dauerfahrversuch sowie der Unterstützung bei den Messungen im Prüfgelände herzlich danken. Weiterhin gilt mein Dank dem Kompetenzteam Betriebsfestigkeit innerhalb der Entwicklung Volkswagen Nutzfahrzeuge, sowie der Volkswagen Betriebsfestigkeit für die zahlreichen Fachdiskussionen sowie Anregungen zur Arbeit. Besonderer Dank gilt seitens Volkswagen Pkw Herrn Dr.-Ing. Andreas Janssen, Herrn Dr.-Ing. Bodo Kleinpeter sowie Herrn Dr.-Ing. Hermann Kollmer. Großer Dank gehört ebenfalls meinen Korrekturlesern: Frau Dr.-Ing. Christine Nowakowski und Herrn Dr.-Ing. Wojciech Kramarczuk. Auch möchte ich den Studierenden für ihren Beitrag zu dieser Arbeit danken.

Großer Dank gebührt meinen Eltern, die mir nicht nur das Studium ermöglicht, sondern mich in allen meinen Vorhaben stets unterstützt haben. Besonders danke ich meiner Frau Nicole für den Rückhalt und das entgegengebrachte Verständnis für den notwendigen Zeitaufwand der Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen	iv
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung	2
1.2 Inhalt der Arbeit	3
2 Grundlagen der Betriebsfestigkeit	6
2.1 Belastungsarten für Fahrwerk- und Strukturbauteile	6
2.2 Ermittlung von Belastungszahlen	7
2.2.1 Datenanalyse im Häufigkeitsbereich	7
2.2.2 Wöhlerversuch und Lineare Schädigungsakkumulationshypothese	9
2.3 Statistik in der Betriebsfestigkeit	13
2.3.1 Allgemeine Größen	13
2.3.2 Normalverteilung und Logarithmische Normalverteilung	17
2.3.3 Weibullverteilung	18
3 Stand der Forschung - Ermittlung von Kundenkollektiven	21
3.1 Motivation und Zielsetzung	21
3.2 3F-Methode	22
3.3 Arbeitskreis Kundenkollektive	24
3.4 Grundlagen der Monte-Carlo-Simulation	26
3.5 Anwendungen der Monte-Carlo-Simulation in der Fahrzeugindustrie	28
3.5.1 Beanspruchungen aus Serienfahrzeugdaten	29
3.5.2 Aggregatebelastungen aus Prüfstands- und Kundendaten	30
3.5.3 Extrapolation von Teilmessungen für Fernverkehrslastkraftwagen	32
3.5.4 Einsatz von DoE zur Optimierung der Erprobung von Lastkraftwagen	33
3.5.5 Verknüpfung von Teilmessungen sowie Fragebögen für die Pickup-Auslegung	34
3.6 Weitere Methoden der Kundenkollektivermittlung	36
3.7 Schlussfolgerungen	37
4 Dataloggerbasiertes Messkonzept	41
4.1 Allgemeine Anforderungen	41
4.2 Eigenschaften des entwickelten Messkonzepts	43
4.3 Vertikales Radkraftmodell	47
4.3.1 Modellbeschreibung	47

4.3.2	Ermittlung der Modellparameter	48
4.3.3	Verifizierung des Radkraftmodells	49
5	Kundenkollektivmessungen in der Pickup-Klasse	52
5.1	Besonderheiten der Pickup-Klasse	52
5.2	Auswahl eines Schwellenlandes	52
5.3	Auswahl der Kunden	54
5.4	Durchführung der Messungen	55
6	Fahrprofilanalyse	57
6.1	3F-Parameterraum für die Pickup-Klasse	57
6.2	Erkennung des Fahrstils	58
6.2.1	Bewertung der Längsdynamik	58
6.2.2	Bewertung der Querdynamik	60
6.3	Erkennung der Fahrzeugbeladung	62
6.3.1	Fahrwiderstandsgleichung	62
6.3.2	Fahrwerkmesstellen	65
6.4	Erkennung der Fahrumgebung	65
6.5	Fazit der Fahrprofilanalyse	67
7	Ergebnisse der Kundenkollektivmessungen	69
7.1	Ermittelte Anteile der Fahrzeugnutzung	69
7.2	Auswirkung der Fahrzeugnutzung auf die vertikalen Radkräfte	71
7.2.1	Einfluss des Fahrstils	72
7.2.2	Einfluss der Fahrzeugbeladung	75
7.2.3	Einfluss der Fahrumgebung	76
7.3	Fazit der Belastungsanalyse	77
8	Simulation repräsentativer Belastungszahlen	80
8.1	Aufbau und Ablauf der Monte-Carlo-Simulation	80
8.2	Modellierung der Fahrzeugnutzung	81
8.2.1	Analyse der Kundenmessungen	81
8.2.2	Statistische Beschreibung der Fahrzeugnutzung	83
8.3	Ermittlung kundenspezifischer Belastungsverteilungen	85
8.4	Berücksichtigung statistischer Marktinformationen	91
8.4.1	Laufleistungsverteilung	91
8.4.2	Halterwechsel	95
8.4.3	Fahrzeugstilllegung	98

8.4.4 Regionale Fahrzeugverteilung	99
8.5 Ableitung einer repräsentativen Fahrzeugerprobung	101
8.6 Prognose der zukünftigen Marktentwicklung	103
9 Zusammenfassung	105
Literaturverzeichnis	107