

Forschungsberichte Montagetechnik und -organisation

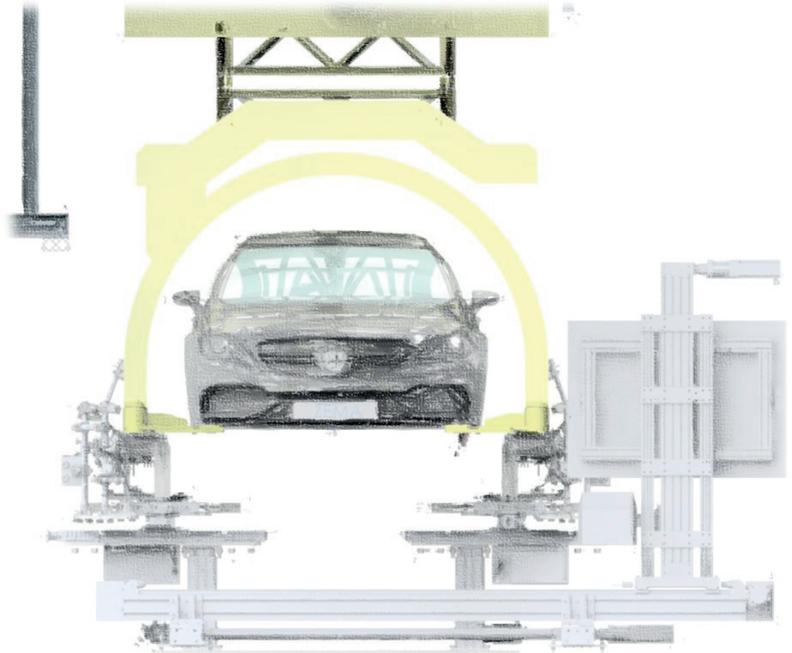
Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Rainer Müller

Marcel Otto

Band 6

Effizienzsteigerung und Absicherung automobiler Inbetriebnahmeprozesse

Betriebsmittel für die intelligente Inbetriebnahme und
Absicherung in der Fahrzeugproduktion am Beispiel von
Umfeldsensoren für das automatisierte Fahren



**SHAKER
VERLAG**

Ze/MA

Effizienzsteigerung und Absicherung automobiler Inbetriebnahmeprozesse

Betriebsmittel für die intelligente Inbetriebnahme und Absicherung in
der Fahrzeugproduktion am Beispiel von Umfeldsensoren für das
automatisierte Fahren

Dissertation

zur Erlangung des Grades des
Doktors der Ingenieurwissenschaften
der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät
der Universität des Saarlandes

von

Marcel Otto

Saarbrücken

2021

Tag des Kolloquiums: 07.12.2021

Dekan: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Jörn Walter

Mitglieder des Prüfungsausschusses:

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Seelecke

1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Müller

2. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Plapper

Akademischer Mitarbeiter: Dr.-Ing. Paul Motzki

Forschungsberichte Montagetechnik und -organisation

Band 6

Marcel Otto

**Effizienzsteigerung und Absicherung
automobiler Inbetriebnahmeprozesse**

Betriebsmittel für die intelligente Inbetriebnahme und Absicherung
in der Fahrzeugproduktion am Beispiel von Umfeldsensoren
für das automatisierte Fahren

Shaker Verlag
Düren 2022

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.: Saarbrücken, Univ., Diss., 2021

Copyright Shaker Verlag 2022

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8574-7

ISSN 2512-6369

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

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

Vorwort

Diese Dissertation entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik gGmbH (ZeMA) in Saarbrücken. Dort habe ich mich in der Arbeitsgruppe Technologie- und Prozessentwicklung überwiegend mit der Fahrzeug-Inbetriebnahme und Prüfprozessoptimierung beschäftigt.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Müller, dem ehemaligen Leiter des ZeMA und Lehrstuhlinhabers für Montagesysteme an der Universität des Saarlandes, der nicht nur die wissenschaftliche Betreuung dieser Arbeit übernommen, sondern mich auch im Hinblick auf meine fachliche, berufliche und persönliche Weiterentwicklung gefördert hat.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Plapper von der Universität Luxemburg für die Übernahme des Zweitgutachtens, das inhaltliche Interesse und die eingebrachte fachliche Expertise. Ich danke ebenso meinem wissenschaftlichen Begleiter Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Seelecke für seine Unterstützung während meiner Promotionszeit.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die dieser Arbeit zugrunde liegen, wurden innerhalb des vom europäischen Fond für regionale Entwicklung geförderten Forschungsprojekts AutoIBN umgesetzt. Für die gute Zusammenarbeit und den fachlichen Austausch im Rahmen dieses Projekts sage ich insbesondere Prof. Dr.-Ing. Matthias Scholer, Dr.-Ing. Pascal Stoffels, Christian Siegwart und Benjamin Illmer herzlichen Dank. In diesen Dank schließe ich auch die Gruppe Montageverfahren und –automatisierung des ZeMA sowie Dr.-Ing. Leonie Mende, Anne Blum, Lennard Margies und Martin Karkowski für die zahlreichen fachlichen Diskussionen, den intensiven Austausch und die freundschaftliche Atmosphäre mit ein. Auch meinen studentischen Mitarbeitern Michael Wocker, Matthias Kunz und Rami Kalso, die durch ihr Engagement und ihre Begeisterung für das Projekt diese Arbeit mit ermöglicht haben, schulde ich meinen Dank.

Des Weiteren danke ich den industriellen Forschungspartnern für die gute Zusammenarbeit und die gewonnen Erkenntnisse innerhalb der Forschungsprojekte, durch die ich sehr viel für die Erstellung dieser Arbeit lernen konnte. Besonders möchte ich mich bei dem Team Präventive Absicherung Prüfverfahren der Daimler AG unter der ehemaligen Leitung von Herrn Dr.-Ing. Rainer Mäckel für den stets fachlichen und freundschaftlichen Austausch bedanken.

Abschließend gilt ein ausdrücklicher Dank auch meiner Familie. Ohne meine Eltern und Großeltern, die mir die Ausbildung ermöglicht und mich immer uneingeschränkt unterstützt haben, wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Ich danke meinem Großvater Manfred Dey für das intensive Korrekturlesen dieser Arbeit. Letztlich bedanke ich mich bei meiner Frau Jennifer und unserem Sohn Oskar, die mir stets den notwendigen Beistand gegeben haben, dieses Werk erfolgreich abzuschließen. Ihnen sei diese Arbeit gewidmet.

Die weltweite Nachfrage nach Kraftfahrzeugen wird eine Million nicht überschreiten - allein schon aus Mangel an verfügbaren Chauffeuren.

Gottlieb Wilhelm Daimler

Kurzzusammenfassung

Bei Fahrerassistenzsystemen und dem zukünftigen autonomen Fahren kommen bei Inbetriebnahme der sicherheitskritischen mechatronischen Funktionen im Fahrzeug neue Anforderungen hinzu. Bedingt durch umfangreiche Arbeitsabläufe auf den entsprechenden Prüfständen stellt die Umfeldsensor-Inbetriebnahme am Bandende der Fahrzeugendmontage einen signifikanten Zeit- und Kostenfaktor dar. Daneben wird eine Produktionsabsicherung für die Inbetriebnahme der sicherheitsrelevanten und autonomen Fahrzeugsysteme unumgänglich sein, denn nur sichere Fahrzeuge dürfen die Produktion verlassen und sich im Straßenverkehr bewegen. Da in naher Zukunft Fahrerassistenzsysteme weiter zunehmen werden, ist es notwendig, eine effiziente Inbetriebnahmestrategie zu entwickeln, um Prüfstandsüberlastungen zu vermeiden, eine produktionsseitige Funktionsabsicherung der Fahrzeugsysteme sicherzustellen und die Prozesskosten niedrig zu halten.

In dieser Arbeit wird eine Lösungsstrategie entwickelt, um die geometrische Fahrachse des Fahrzeugs bereits in der Montagelinie zu ermitteln, da sie für die Inbetriebnahme eine maßgebliche Referenz bildet. Die Prozessvorverlagerung soll durch ein befähigtes Radadaptionssystem in Verbindung mit einem entwickelten Targetmodul realisiert werden. Durch diese neuen Technologien können viele Inbetriebnahmeprozesse automatisiert in der Montagelinie ablaufen, die besonders bei autonomen und elektrifizierten Fahrzeugtechnologien Anwendung finden.

Abstract

In the case of driver assistance systems and future autonomous driving, new requirements are being added to the end-of-line commissioning of the safety-critical mechatronic functions in the vehicle. Due to extensive workflows on the corresponding test benches, the commissioning of environment sensors at the end-of-line in the vehicle assembly represents a significant time and cost factor. In addition, hedging for the commissioning of the safety-relevant and autonomous driving vehicle systems will therefore be unavoidable, because only safe vehicles will be allowed to leave production and move in road traffic. Since the amount of driver assistance systems in vehicles will increase in the near future, it is necessary to develop an efficient commissioning strategy in order to avoid test bench overloads, to hedge functional safety of the vehicle systems properly in production and to minimize the process costs.

In this work, a solution strategy is developed to determine the geometric driving axle of the vehicle already in the assembly line, as it is a relevant reference for commissioning. The process shifting is to be realized by a qualified wheel adaptation system in combination with a developed target module. These new technologies therefore allows a lot of commissioning processes to be automated on the assembly line, which are particularly used for autonomous driving and electrified vehicle technologies.

I Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsverzeichnis.....	i
II	Abkürzungsverzeichnis.....	iv
III	Abbildungsverzeichnis.....	vii
IV	Tabellenverzeichnis.....	xii
1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung bei der Fahrzeuginbetriebnahme.....	3
1.2	Zielsetzung zur Effizienzsteigerung.....	6
1.3	Aufbau der Arbeit.....	7
2	Grundlagen der Fahrzeuginbetriebnahme und der bisherigen Forschung.....	10
2.1	Systemkomponenten für Fahrerassistenzsysteme und autonome Fahrfunktionen.....	10
2.1.1	Übersicht der Erfassungstechnologien.....	10
2.1.2	Umfeldsensoren für autonome Fahrfunktionen im Kraftfahrzeug.....	13
2.2	Geometrische Bezüge und Referenzen des Fahrwerks im Kraftfahrzeug.....	22
2.3	Eingliederung der Inbetriebnahme in die Fahrzeugproduktion.....	30
2.3.1	Strukturen und Prozesse der Inbetriebnahme.....	30
2.3.2	Prüftechnologien des End-of-Lines.....	35
2.3.3	Aktuelle Inbetriebnahmeprozesse am Beispiel der Umfeldsensorik.....	44
2.4	Aktuelle und zukünftige Anforderungen an das Bandende.....	49
2.5	Bisherige Ansätze zur Gestaltung eines effizienten Bandendes.....	56
2.5.1	Betriebsmittel und Konzepte für eine Inbetriebnahme in der Produktionslinie.....	56
2.5.2	Konzept eines Radadaptionssystems für ein effizientes Bandende.....	61
2.6	Ansatz des Radadaptionssystems in der Produktionsumgebung.....	64
2.6.1	Struktureller Aufbau des Prototyps.....	64
2.6.2	Konzept zur Vermessung der Fahrwerkgeometrien mittels Radadaption.....	67
3	Anforderungen an ein System zur Inbetriebnahme und Prozessabsicherung.....	69
3.1	Potenziale zur Effizienzsteigerung und Absicherung von Inbetriebnahmeprozessen.....	69
3.2	Vorgehensmodell und daraus abgeleiteter Forschungsansatz.....	74
4	Technologie- und Prozessmodifikation anhand des Konzeptentwurfs.....	80

4.1	Angestrebte Gesamtkonzeption für die Inbetriebnahme eines modernen Fahrzeugs.....	80
4.2	Weiterentwicklung der messtechnischen Struktur des bestehenden Radadaptionssystems.....	83
4.3	Modifikation des bestehenden Betriebsmittels für den Zielprozess.....	87
4.3.1	Dauerversuchsreihe mit dem prototypischen Radadaptionssystem.....	87
4.3.2	Modifizierung und Anpassung des Dehnungsgreifer-Systems.....	89
4.3.3	Modifikation der Schwimmeinheit und des Adaptionprozesses.....	93
4.4	Entwicklung einer Kalibriervorrichtung	95
4.5	Konzept zur Skalierbarkeit der eingesetzten Technologien	99
5	Entwicklung eines Messalgorithmus	106
5.1	Konzept für ein räumlich mathematisches Modell	106
5.1.1	Anforderungen und Besonderheiten des Messsystems.....	106
5.1.2	Koordinatensysteme des Radadaptionssystems und deren Funktion.....	111
5.2	Mathematische Transformationsabfolge des Messsystems	115
5.2.1	Verfahren zur Rotationsermittlung	115
5.2.2	Transformations-Zusammenhänge der Anlagenkoordinatensysteme	120
5.2.3	Bestimmung einzelner Transformationen im System für eine Messung am Fahrzeug.....	124
5.3	Modell zur Kalibrierung des Messsystems	127
5.3.1	Herausforderungen für den Kalibrierprozess	128
5.3.2	Mathematisches Vorgehen bei der Kalibrierung des Systems.....	129
5.4	Bestimmung der Fahrwerkgeometrien aus der Messabfolge.....	132
5.4.1	Ablauf bei der Geometrienbestimmung aus den Messdaten.....	132
5.4.2	Ermittlung der Geometriedaten für ein Hinterachssystem.....	133
5.4.3	Ermittlung der Geometriedaten für ein Gesamtsystem	137
5.5	Erstellung des Messalgorithmus in einer Software	141
5.6	Validierung des Messprozesses.....	144
5.6.1	Vorgehensweise für die Validierung des Messprozesses	144
5.6.2	Testaufbau für die Validierung des Systems	148
5.6.3	Untersuchung der Umweltfaktoren und Auswirkungen auf die Anlagenparameter.....	150
5.6.4	Bewertung der Prüfmittelfähigkeit.....	152
5.6.5	Bewertung der Maschinenfähigkeit.....	153
5.6.6	Vergleich der Messgenauigkeit unter aktuellen Prüfmitteln.....	155
5.6.7	Fazit: Fähigkeiten des Radadaptionssystems.....	156
6	Konzeptionelle Entwicklung eines Targetmoduls	159

6.1	Anforderungen und möglicher Aufbau des Targets	159
6.2	Auslegung des Targetmoduls.....	161
6.3	Implementierung und mathematische Einbindung zusammen mit dem Radadaptionssystem	164
6.4	Alternatives Konzept zum Transfer der gemessenen Fahrwerkdaten.....	167
6.5	Erprobung am Beispiel einer Kalibrierung des Radarsensors.....	172
6.5.1	Versuchsaufbau und Ablauf	172
6.5.2	Auswertung und Ergebnisse der Versuchsmessungen.....	174
7	Fähigkeiten des Gesamtsystems in der Produktion	177
7.1	Gesamtaufbau des Prototyps in einer Modellfabrik	177
7.2	Resümee und Potenziale für zukünftige Inbetriebnahmen	178
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	179
8.1	Zusammenfassung und Fazit.....	179
8.2	Ausblick	181
V	Literaturverzeichnis.....	182
VI	Anhang.....	195