

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Fachgebiet Computational Mechanics

Neue virtuelle Methoden zur Integration einer numerischen Fußgängerschutz-Optimierung in den Entwicklungsprozess einer Motorhaube

Dipl.-Ing. Univ. Tim Dietrich

Vollständiger Abdruck der von der Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt der
Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Univ.-Prof. Dr.-Ing., Dr.-Ing. habil. Gerhard H. Müller

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Fabian Duddeck
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Axel Schumacher,
Bergische Universität Wuppertal

Die Dissertation wurde am 17.04.2013 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt am 30.07.2013 angenommen.

Schriftenreihe des Fachgebiets für Computational Mechanics

Band 3

Tim Dietrich

**Neue virtuelle Methoden zur Integration einer
numerischen Fußgängerschutz-Optimierung in den
Entwicklungsprozess einer Motorhaube**

Shaker Verlag
Aachen 2014

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.: München, Techn. Univ., Diss., 2013

Copyright Shaker Verlag 2014

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2611-5

ISSN 2193-2700

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

Zusammenfassung

Bis vor wenigen Jahren beinhaltete der Begriff Fahrzeugsicherheit fast ausschließlich den Schutz der Fahrzeuginsassen. Das Interesse aller Beteiligten (Hersteller, Gesetzgeber und Verbraucher) wird zukünftig den Schutz von Passanten bei Verkehrsunfällen einschließen. Die Motorhaube spielt dabei als Kontaktzone beim Kopfaufprall eine besondere Rolle. Neben dem Design sind der Bauraum unter der Motorhaube und die Verstärkungsstruktur maßgebende Faktoren bei der Fußgängersicherheit.

Die Anforderungen an eine Motorhaube sind sehr komplex und können nicht ohne Weiteres in geometrische Ausprägungen übersetzt werden. Um die Motorhaube optimal auf Fußgängerschutz auszulegen, ist eine Vielzahl aufwendiger Berechnungen nötig.

Eine numerische Optimierung bietet die Möglichkeit, den Entwicklungsprozess zu unterstützen und die Effizienz zu erhöhen. Ziel dieser Arbeit ist es, verschiedene Methoden hierfür zu entwickeln, aufeinander abzustimmen und in den Entwicklungsprozess einer Motorhaube zu integrieren.

Ein Schwerpunkt liegt auf der Integration von CAD und FEM, d.h. die Verträglichkeit mit dem vorhandenen CAD-System ist ein wichtiger Aspekt bei der Auswahl der Methoden.

Eine weitere Schwierigkeit ist, dass die Berechnungen für den Fußgänger-Kopfaufprall sehr umfangreich sind und eine sehr lange Rechenzeit nach sich ziehen. Über die Modifizierung einer in der Literatur vorgestellten statischen Ersatzlastmethode konnten hier zeitaufwendige nichtlineare Crashberechnungen ersetzt werden.

Das Festlegen des Startentwurfs für eine parametrische Optimierung ist ein weiterer wichtiger Punkt. Es wird eine neue Methode gezeigt, die Topologie einer Motorhaube hinsichtlich des Kopfaufpralls zu optimieren. Das Ergebnis liefert einen Vorschlag für die prinzipielle Form der Haubenverstärkung.

All diese modulartigen Verbesserungen sind in einen übergeordneten Prozess eingebunden und ermöglichen nun dem Ingenieur den Fußgängerschutz effektiver auszulegen.

Abstract

Until recently, the concept of vehicle safety was primarily defined by protecting the vehicle occupants. Current efforts are addressing the aim of protecting pedestrians in road accidents better in the future.

The bonnet plays here a particularly important role, because it is the main contact zone of the different head impacts. In addition to the design, the package below the bonnet and the inner panel structure are decisive factors in pedestrian safety. The requirements for a bonnet are very complex and are not easy to translate into geometry. In order to improve the design of the bonnet for pedestrian safety, a variety of complex simulations are required.

A numerical optimization provides the opportunity to increase the efficiency of the development process. Therefore some issues are investigated. The aim of the study is to identify methods to improve the integration of an optimization in the development process of a bonnet.

One focus is on the interface between CAD and FEM environments. To solve the occurring problems, there are several possibilities. An important aspect in the selection of the method regarding the integration of an optimization into the development process is the compatibility with the existing CAD system.

Another problem is that the calculations for pedestrian head impact are very extensive and necessitate a very high computing time. As part of the optimization, an equivalent static load method has been investigated, replacing the time-consuming explicit crash calculations in the optimization process.

Finding the initial design for a parametric optimization is another important issue. A new method is shown to optimize the topology of a bonnet regarding head impact. The result provides a proposal for a principle form of the bonnet structure.

All these modular improvements are embedded into an overall process and enable the engineer now to derive concepts for pedestrian protection in a more efficient manner.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Doktorandentätigkeit bei BMW in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Computational Mechanics der Technischen Universität München.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Fabian Duddeck, der sich als Betreuer dieser Arbeit immer viel Zeit nahm. Sein ausführliches Feedback und die konstruktiven Diskussionen lieferten viele wertvolle Anregungen. Gleichzeitig ließ er mir den nötigen Spielraum, der bei einer externen Promotion so wichtig ist.

Herrn Prof. Axel Schumacher möchte ich für seine Funktion als Gutachter danken, der darüber hinaus viele hilfreiche Kommentare während der Entstehung gab.

Vor allem möchte ich auch meinem Betreuer bei BMW, Herrn Gerhard Fichtinger, danken, der mir mit kompetentem Fachwissen zur Seite stand und den nötigen Freiraum für eine wissenschaftliche Arbeit einräumte. Neben allen Kollegen, die mir sämtliche Fragen geduldig beantworteten, möchte ich mich auch besonders bei meinen studentischen Hilfen Christian Keller und Wieland de Lepellere bedanken. Die programmiertechnische Unterstützung von Wieland bei der Implementierung der statischen Ersatzlastmethode hat maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen. Darüber hinaus hat insbesondere die Zusammenarbeit mit Julian Chalupsky (parametrische Konstruktion) und Tim Rudolph (Crash-Berechnung) die Inhalte der Arbeit sehr bereichert.

Ohne meine Frau Kristina wäre diese Arbeit nie entstanden. Für ihre Unterstützung sowohl im Vorfeld bei der Entscheidung zur Durchführung der Promotion als auch während der Schaffensphase möchte ich ihr an dieser Stelle herzlichst danken.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	ix
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung	1
1.2 Karosserieentwicklung mit Schwerpunkt Fußgängerschutz	2
1.2.1 Fußgängerschutz mit Schwerpunkt Kopfaufprall	3
1.2.2 Produktentwicklungsprozess einer Motorhaube	9
1.2.3 Aktueller Entwicklungsprozess hinsichtlich Kopfaufprall	14
1.3 Problemstellung	16
1.3.1 Entwicklungsprozess „Geometrie“	17
1.3.2 Schnittstelle „Geometrie“ - „Funktion“	17
1.3.3 Entwicklungsprozess „Funktion“	18
2 Stand der Technik	21
2.1 Parametrisch-assoziative Konstruktion	21
2.1.1 Definition „Konstruktion“	21
2.1.2 Parametrisch-assoziative Konstruktionsmethodik	22
2.2 Integration CAD - FEM	23
2.2.1 Grundlagen der CAD-Modellierung	24
2.2.2 Grundlagen der FEM-Modellierung	27
2.2.3 Möglichkeiten der CAD/FEM-Integration	30
2.3 Optimierung	34
2.3.1 Überblick	35
2.3.2 Topologieoptimierung	37
2.3.3 Optimierung mit statischen Ersatzlasten	39
2.3.4 Optimierungsansätze im Bereich Motorhaube/Fußgängerschutz	44
2.4 Themenschwerpunkte der Arbeit	47
3 Methodenentwicklung	49
3.1 Parametrisch-assoziatives Konstruktionsmodell einer Motorhaube	51
3.1.1 Geometrische Haupteinfluss-Parameter auf den Kopfaufprall	51
3.1.2 Aufbau des Gesamtmodells der Motorhaube	54
3.1.3 Automatisierte Konstruktion der Innenstruktur	58

3.2	Integration CAD-FEM	64
3.2.1	Diskussion der Methoden zur Integration von CAD und FEM . .	64
3.2.2	Integration auf Bauteil-Ebene	65
3.2.3	Integration auf SetUp-Ebene	73
3.3	Reduktion der Rechenzeit: Optimierung mit statischen Ersatzlasten . .	76
3.3.1	Equivalent Static Load Method Optimization bei der Kopfauf- prallsimulation	76
3.3.2	ESLMO bei Re-Meshing	88
3.4	Parameterfindung: Topologieoptimierung Crash	91
3.4.1	Möglichkeiten der Topologieoptimierung bei Crash-Lastfällen . .	91
3.4.2	Neue Methodik zur Topologieoptimierung hinsichtlich Kopfauf- prall mit Hilfe statischer Ersatzlasten	92
4	Einsatz der entwickelten Methoden	97
4.1	Parametrisch-assoziative Konstruktion der Innenstruktur einer Motorhaube	97
4.2	Integration von CAD und FEM für die Optimierung einer Motorhaube hinsichtlich Fußgängerschutz	101
4.2.1	Optimierungsaufgabe und Parametrisierung	102
4.2.2	Integration CAD/FEM	103
4.2.3	Implementierung der Methode für die Optimierung	104
4.2.4	Ergebnisse und Fazit	106
4.3	Reduktion der Rechenzeit mit Hilfe statischer Ersatzlasten	107
4.4	Topologieoptimierung mit statischen Ersatzlasten zur Parameterfindung	111
4.5	Reflexion	116
5	Zusammenfassung und Fazit	121
5.1	Zusammenfassung	121
5.2	Fazit und Ausblick	123
Anhang		125
A.1	Bézier-Kurven und B-Splines als Basis von NURBS	125
A.2	Geometrische Modellierung	127
A.3	Automatisierte Berechnung und Postprocessing	130
A.4	Beispiel einer konstruktiven Funktion: Wrapping Curve	132
A.5	ESLMO: Remeshing im Vergleich zu Morphing	133
A.6	Implementierung des Workflows zur Optimierung einer Motorhaube . .	134
A.7	Implementierung der ESLMO mit Remeshing	135
Literaturverzeichnis		137