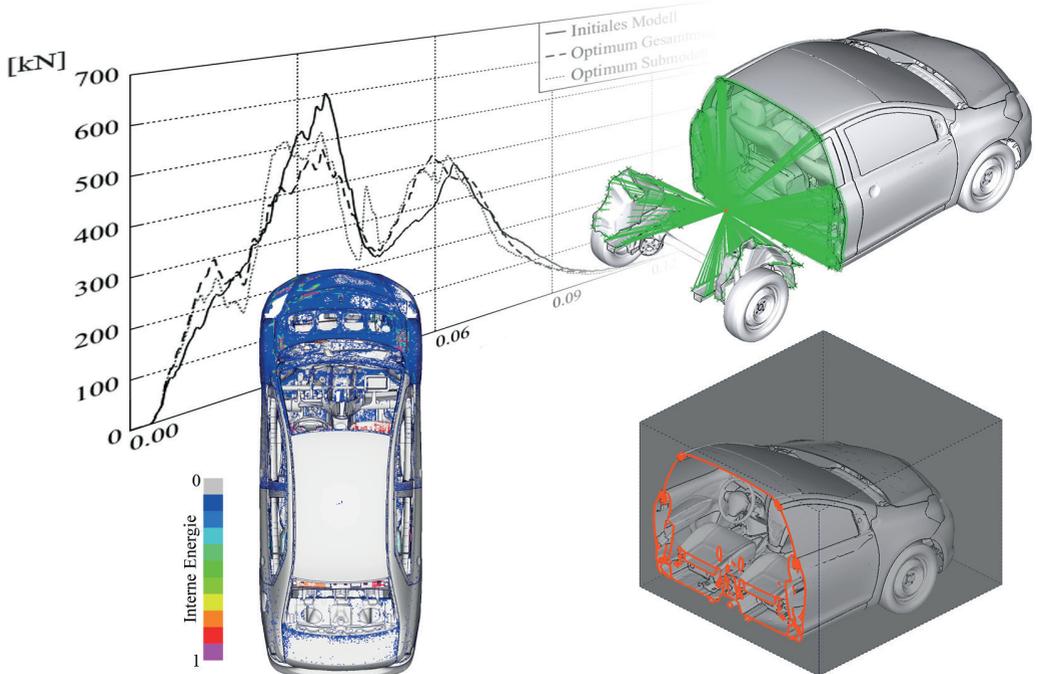


Automatische Erstellung von Submodellen für die Craschoptimierung von Fahrzeugkarosserien

Bergische Universität Wuppertal
Lehrstuhl für Optimierung mechanischer Strukturen

Sven Wielens



Automatische Erstellung von Submodellen für die Crashtoptimierung von Fahrzeugkarosserien

**Dissertation
zur Erlangung eines Doktorgrades**

in der
Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik
der
Bergischen Universität Wuppertal



vorgelegt von
Sven Wielens
aus Gelsenkirchen

Wuppertal 2022

Tag der mündlichen Prüfung: 22.06.2022

Berichte aus dem Maschinenbau

Sven Wielens

**Automatische Erstellung von Submodellen für die
Crashoptimierung von Fahrzeugkarosserien**

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.: Wuppertal, Univ., Diss., 2022

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 978-3-8440-8717-8

ISSN 0945-0874

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

Sven Wielens
**Automatische Erstellung von Submodellen für die
Crashoptimierung von Fahrzeugkarosserien**

Dissertation, Bergische Universität Wuppertal,
Fakultät Maschinenbau und Sicherheitstechnik,
Lehrstuhl für Optimierung mechanischer Strukturen, Juli 2022

Kurzfassung

Bei der Entwicklung von Fahrzeugkarosserien spielt die Crashauslegung eine große Rolle. Dabei stehen der Insassenschutz und der Schutz kritischer Komponenten wie der Kraftstoffversorgung im Vordergrund. Ein Werkzeug zur Unterstützung der beteiligten Ingenieure kann die auf Crashesimulationen basierte Strukturoptimierung sein. Das Problem bei der Optimierung von Crashproblemen sind die langen Rechenzeiten der Crashesimulationen. Im Laufe einer Optimierung können hunderte Simulationen notwendig sein, was zu einem enormen Ressourcenbedarf und somit zu hohen Kosten führt.

Durch die Reduktion der Berechnungsmodelle kann der Ressourcenbedarf eingeschränkt werden. In dieser Dissertation werden verschiedene Ansätze zur Modellreduktion umgesetzt. Dabei werden Bauteile oder Elemente aus dem Modell entfernt und durch geeignete Randbedingungen ersetzt. So wird etwa eine Ersatzmasse an das verbleibende Modell angebunden, um die Trägheit und fehlende Masse auszugleichen. Damit das reduzierte Modell in seinen Eigenschaften dem Ursprungsmodell entspricht, wird eine Validierung durchgeführt.

Reduzierte Modelle können z. B. in Fallstudien oder Optimierungen eingesetzt werden. Durch den verringerten Ressourcenbedarf können in derselben Zeit mehr Simulationen durchgeführt werden, wodurch bessere Ergebnisse erzielt werden.

Anhand von Beispielen wird die entwickelte Methodik in der Praxis angewandt. Dabei dienen zwei Fahrzeugoptimierungen als Benchmark.

Stichworte

Crashoptimierung; Fahrzeugkarosserie; Submodell; Multi-Level Optimierung

Sven Wielens

Automatically generated submodels in vehicle crash optimization

PhD thesis, University of Wuppertal,
School of Mechanical Engineering and Safety Engineering,
Chair of Optimization of Mechanical Structures, July 2022

Abstract

Crash structure development is a key element in the design of vehicle bodies. The focus here is on occupant protection and the protection of critical components such as the fuel supply. Crash simulation based structural optimization can be a tool to support the engineers involved. The problem with optimizing crash problems is the long computing times of crash simulation. Hundreds of simulations may be necessary in the course of an optimization, which leads to enormous resource requirements and thus to high costs.

By reducing the computational model, the resource requirements can be limited. In this dissertation different approaches to model reduction are realized. Components or elements are removed from the model and replaced by suitable boundary conditions. For example, a substitute mass is attached to the remaining model to compensate for inertia and missing mass. To ensure that the reduced model corresponds to the original model in its characteristics, a validation is carried out.

Reduced models can be used e.g. in case studies or optimizations. Due to the reduced resource requirements, more simulations can be carried out in the same time, which leads to better results.

Examples are used to apply the developed methodology in practice. Two vehicle optimizations serve as benchmarks.

Keywords

crash optimization; vehicle body; submodel; surrogate model; multi-level optimization

Danksagung

Ich möchte mit einer Warnung für all diejenigen, die sich überlegen zu promovieren beginnen: Überlegt es euch gut! Der Weg ist lang und euer Fortbewegungsmittel ist ein brennendes Fahrrad mit platten Reifen.

Wieso habe ich es trotzdem ans Ziel geschafft? Ich hatte jede Menge Hilfe und bei einigen, die mich besonders unterstützt haben, möchte ich mich jetzt bedanken.

Zuerst sind da meine Eltern

Heike & Ralf Wielens

zu nennen. Ohne euch wäre ich nie bis hier gekommen. Ihr habt mich immer unterstützt und schon als Kind meinen Forschergeist geweckt. Vielen lieben Dank!

Dann möchte ich mich bei meiner Frau

Stefanie Breuer

bedanken. Danke dass du, vor allem in der letzten Zeit, so viele Nerven für mich geopfert hast. Auf dich kann ich mich immer verlassen.

Mein bester Freund

Nils Schäfer

darf hier natürlich nicht fehlen. Vielen Dank für die vielen gemeinsamen Jahre und die, die noch kommen werden.

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei meinen Kollegen bedanken. Insbesondere sind hier *Simon Link*, *Katrin Weider* und *Jens Trilling* zu nennen:

Simon, ich danke dir vielmals für die gemeinsame Zeit im Büro. Die vielen Schlachten mit Gummifletschern, Papierfliegern und diverse andere Streiche haben immer wieder für gute Laune während der Arbeit gesorgt. Natürlich gab es auch sinnvolle Gespräche, nicht dass jetzt jemand denkt wir hätten nur Unfug gemacht.

Katrin, vielen Dank für deine Hilfe und Tipps während meiner Zeit am Lehrstuhl und insbesondere bei der Promotion. Auf deinen Rat kann man immer zählen.

Jens, dir möchte ich für deinen Beitrag zu meiner Forschung danken.

Zum Schluss möchte ich mich herzlich bei meinem Doktorvater

Axel Schumacher

bedanken. Danke, dass du mich in dein Team aufgenommen und mir die Dissertation ermöglicht hast.

Ohne euch alle wäre diese Arbeit hier nie möglich gewesen. Ich danke euch und auch denen, für die ich hier keinen Platz mehr hatte!

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	III
1. Einleitung	1
1.1 Passive Sicherheit im Entwicklungsprozess	1
1.2 Problemstellung und Motivation	2
1.3 Aufbau der Dissertation	3
2. Stand der Technik	5
2.1 Crashsimulation im Entwicklungsprozess	5
2.2 Bestandteile eines Modells für die Crashsimulation	7
2.3 Optimierung von Crashstrukturen	10
2.4 Mathematische Ersatzmodelle	14
2.5 Physikalische Ersatzmodelle	16
2.5.1 Mögliche Vereinfachungen des physikalischen Modells	16
2.5.2 Ersatzmasse angebunden durch lineare Federn	16
2.5.3 Substitution von Bauteilen durch nichtlineare Federelemente	17
2.5.4 Verschiebungsrandbedingungen bei evaluationsabhängiger Modellreduktion	19
2.6 Aufbau der Optimierungsschleifen mit Submodellen	21
2.6.1 Direkte Optimierung	22
2.6.2 Optimierung in mehreren Ebenen	23
3. Aufbau von Submodellen	26
3.1 Anforderungen an die Submodelle	26
3.2 Geometrische Reduktion des Modells	27
3.2.1 Notwendige Maßnahmen	27
3.2.2 Modellreduktion abhängig von Evaluationsfunktion	31
3.2.3 Koordinatenbasierte Modellreduktion	33
3.2.4 Erweiterung der Evaluationsfunktion basierten Modellreduktion	35
3.3 Randbedingungen zur Wiederherstellung der Kinematik	37
3.3.1 Aufprägung von Verschiebungen	38
3.3.2 Aufprägung von Kräften	39
3.3.3 Anbindung einer Ersatzmasse	42
3.3.4 Anpassen der Materialkarte für ausgewählte Bauteile	43
3.4 Validierung von Submodellen	45
3.4.1 Validierung anhand der Evaluationsfunktion	45
3.4.2 Validierung durch Auswahl geeigneter Bauteile	46

3.4.3	Verwendung der externen Software DIFFCRASH®	49
3.4.4	Nutzung des Validierungstools der Porsche AG.....	49
3.4.5	Einbindung individueller Validierungsskripte	50
3.5	Workflow zur Erstellung von Submodellen	51
4.	Einsatz von Submodellen in der Optimierung	54
4.1	Ablauf submodellbasierter Optimierungen	54
4.2	Sicherstellung der Submodellvalidität während der Optimierung	54
4.3	Weitere Anwendungsbereiche von Submodellen.....	55
5.	Praktische Anwendung von Submodellen	57
5.1	Submodellbasierte Multi-Level-Optimierung von Fahrzeug 1	57
5.1.1	Optimierungsaufgabe.....	58
5.1.2	Validierung des Modells im Entwurfsraum mit DIFFCRASH® ..	60
5.1.3	Aufbau und Durchführung der Multi-Level-Optimierung.....	61
5.1.4	Ergebnisse der Optimierung	64
5.2	Submodellbasierte Optimierung von Fahrzeug 2	66
5.2.1	Lastfälle.....	66
5.2.2	Optimierungsaufgabe.....	70
5.2.3	Metamodellbasierte Optimierung.....	76
5.2.4	Optimierungsergebnisse	81
6.	Zusammenfassung und Ausblick	85
6.1	Ergebnisse	85
6.2	Diskussion und Ausblick	85
	Literaturverzeichnis	89
	Anhang – Ergänzende Bilder und Tabellen	95
A.1	ASCO-Programminfrastruktur.....	95
A.2	ASCO-Konfigurationsdatei params.cfg.....	99