

Online-Magazin

Zeitschrift für numerische Simulationsmethoden und angrenzende Gebiete

FEM – CFD – MKS – VR / VIS – PROZESS – SDM

Fachbeiträge in dieser Ausgabe

Topologieoptimierung

- Robuste und produktionsgerechte Topologieoptimierung von Gussbauteilen mit Fertigungsrestriktionen und integrierter Prozesssimulation
- Topologieoptimierung eines fliehkraftbelasteten Triebwerkbauteils mit einfach zu implementierendem Algorithmus unter Berücksichtigung mehrerer Zielfunktionen
- Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT) von Profilquerschnitten für Crashlastfälle

Verifizierung

- NAFEMS Benchmarks zur Verifizierung der freien FEM-Software Z88Aurora

...sowie Neuigkeiten, Veranstaltungskalender, Schulungen, ...

Alle bisherigen Ausgaben kostenlos zum Download unter:
www.nafems.org/magazin

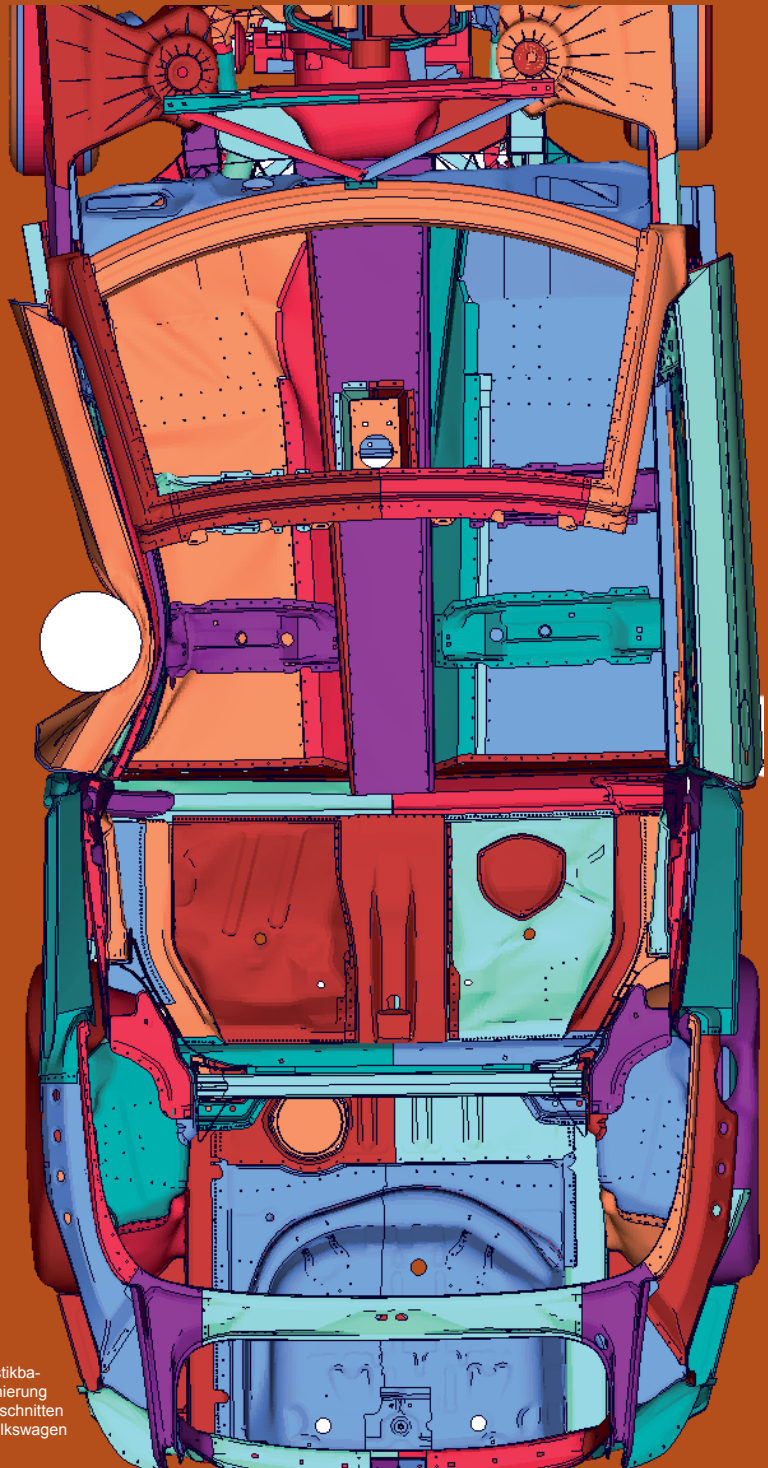


Bild aus Beitrag:
Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT) von Profilquerschnitten für Crashlastfälle (Volkswagen Osnabrück GmbH)

Quick-Info

Trainingskurse

Einführung FEM

16. - 18. Nov., Wiesbaden

Einführung CFD

25. - 26. Nov., Wiesbaden

NEU: Non-Linear Finite Element Analysis

25. - 26. Nov., München

Verification & Validation of Models and Analyses

2. - 3. Dez., Wiesbaden

e-Learning-Kurse

u. a. zu Fatigue & Fracture, Connections, ...

Seminare und Konferenzen

Seminar: Strukturdynamik

10. - 11. Nov., Wiesbaden

Seminar: Composite Materials and Structures

17. - 18. Nov., Stockholm, Schweden

European Conf.: SPDM

2. - 3. Dez., München

European Conf.: CFD

2. - 3. Dez., München

Bitte Termin vormerken:

Deutschsprachige NAFEMS Konferenz

25. - 27. April 2016, Bamberg

Weitere Termine für 2015 finden Sie unter

www.nafems.org/events

Sponsoren dieser Ausgabe:

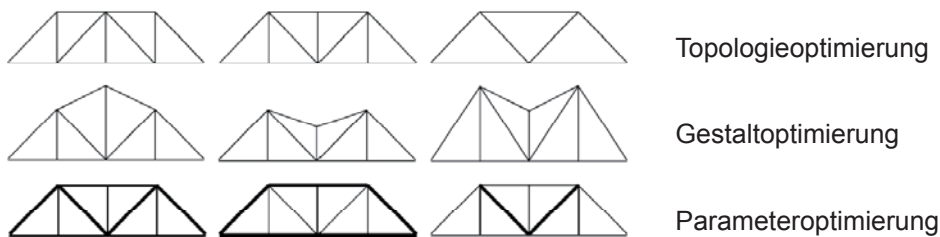


NAFEMS Magazin, eine Online-Information über Sicherheit und Zuverlässigkeit auf dem Gebiet der numerischen Simulation

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

seit vielen Jahren verfolge ich mit wachsender Faszination, wie sich die numerische Simulation immer neue Anwendungsgebiete erschließt und immer feinere Details erfasst. Ziel ist ein möglichst realitätsnahes Nachbilden von Geschehen der Wirklichkeit; mitunter ist man sogar versucht, die Simulation als eine Beschreibung der Realität zu interpretieren. Bei aller Begeisterung sollte man aber nicht übersehen, dass man in jedem Fall aus der Realität ein Modell abstrahieren muss, an dem dann zielgerichtete Untersuchungen stattfinden. Bei der Konzipierung des Modells sind viel Geschick und Erfahrung nötig, um die wesentlichen Einflussgrößen zu erfassen und keine unzulässige Vergrößerung vorzunehmen. Die aus der Analyse des Modells gewonnenen Ergebnisse müssen schließlich wieder auf die Realität projiziert werden.

Die ersten drei Fachbeiträge des vorliegenden Heftes 35 behandeln Probleme der Strukturoptimierung. Klassischerweise unterscheidet man die Disziplinen Topologie-, Gestalt- und Parameteroptimierung, deren Charakteristiken anhand einer einfachen Fachwerkstruktur verdeutlicht werden können.

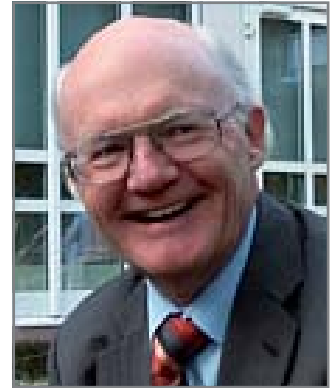


Die Topologieoptimierung ist besonders für die Konzeptfindungsphase von Bedeutung. Der erste Beitrag beschreibt, wie Fertigungsrestriktionen sowie eine Gießsimulation in den Prozess der Topologieoptimierung integriert werden können. Damit werden sehr gut herstellbare Gussbauteile entworfen. Der zweite Beitrag basiert auf Optimalitätskriterien. Bei der Auslegung eines Flugtriebwerkes wird deutlich, dass unter bestimmten Bedingungen mehrere Topologieoptimierungen hintereinander geschaltet werden müssen. Der Einsatz von Graphen und die Verwendung von heuristischen Erkenntnissen ermöglichen die Topologieoptimierung von Bauteilen unter Crash-Belastung, wie im dritten Beitrag gezeigt wird. Am Beispiel eines Finite-Element-Analyseprogramms wird schließlich demonstriert, wie eine Software mit Tests aus den NAFEMS-Benchmarks verifiziert werden kann.

Dieses Heft ist mit Sorgfalt und Bedacht gestaltet. Ich hoffe und wünsche mir, dass es auch für Sie interessante und lehrreiche Informationen enthält.

Mit freundlichen Grüßen

Hon.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Rohwer
Editor-in-Chief



*Prof. Dr.-Ing.
Klaus Rohwer*

Wir bedanken uns herzlich bei den Sponsoren, ohne deren Unterstützung
ein solches Magazin nicht realisierbar wäre:



www.dynamore.de



www.esi-group.com



www.intes.de



www.mscsoftware.com



www.FunctionBay.de

NAFEMS ist eine not-for-profit Organisation zur Förderung der sicheren und zuverlässigen Anwendung von Simulationsmethoden wie FEM und CFD.

1983 in Großbritannien gegründet, hat sich die Organisation längst in eine internationale Gesellschaft zur Förderung der rechnerischen Simulation entwickelt. Mit NAFEMS ist die neutrale und von Software- und Hardwareanbietern unabhängige Institution entstanden.

NAFEMS vertritt die Interessen der Anwender aus der Industrie, bindet Hochschulen und Forschungsinstitute in ihre Tätigkeit ein und hält Kontakt zu Systemanbietern.

Mitglieder des internationalen NAFEMS Councils

- C. Stavrinidis (Chairman), ESA, NL
- M. Zehn (Vice Chairman), (TU Berlin), D
- R. L. Dreisbach (The Boeing Company), USA
- D. Ellis, Idac Ltd., UK
- G. Miccoli, Imamoter, I
- M. Moatamedi (University of Narvik, N)
- S. Morrison, Lusas Ltd., UK
- P. Newton, GBE, UK
- M.-C. Oghly, Flowmaster, F
- A. Ptchelintsev, Nokia, FI
- A. Puri, Selex Sensors & Airborne Systems, UK
- M. Wiedemann, DLR, D
- J. Wood, Strathclyde University, UK

Die technischen Bereiche bei NAFEMS werden durch spezialisierte Arbeitsgruppen (Working Groups) koordiniert.

Analysis Management	CAD CAE Integration	Composites
Computational Fluid Dynamics	Computational Structural Mechanics	Dynamics & Testing
Education & Training	Geotechnics	High Performance Computing
Multi-body Dynamics	Multiphysics	Stochastics
Simulation Data Management	Vendor Advisory Board	Technical Liaison Group
Systems Modelling and Simulation	Seismic	Optimisation

Um die Aktivitäten von NAFEMS in den verschiedenen geografischen Regionen zu vertreten, neutral zu leiten und die nationalen Belange innerhalb der NAFEMS zu vertreten, wurden sogenannte regionale Steering Committees (Lenkungsausschüsse) gebildet.

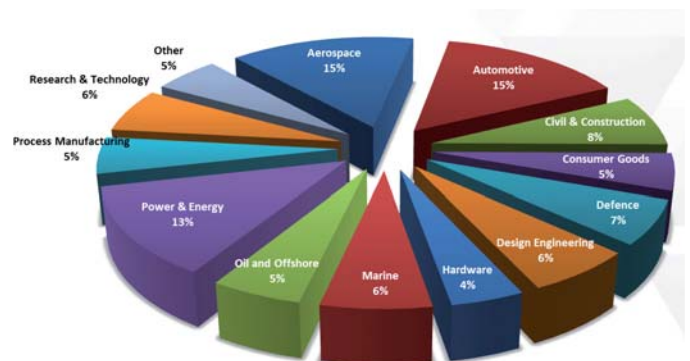
Die Mitglieder des NAFEMS Steering Committees für Deutschland, Österreich und Schweiz sind:

- Dr.-Ing. W. Dirschmid (CAE Consulting), Chair
- Dr.-Ing. A. Gill (Ansys Germany GmbH)
- Dr.-Ing. R. Helfrich (Intes GmbH)
- Dr.-Ing. M. Hoffmann (Altair Engineering GmbH)
- Prof. Dr.-Ing. C. Hühne (DLR)
- Dr.-Ing. G. Müller (Cadfem International GmbH)
- Dipl.-Ing. W. Moretti (Schindler Elevator Ltd)
- Dipl.-Ing. E. Niederauer (Siemens PLM Software)
- Dipl.-Ing. F. Peeters (Dassault Systèmes BV)
- Dipl.-Ing. A. Pfaff (PDTec AG)
- Dr. A. Starlinger (Stadler Altenrhein AG)
- Dr. A. Svobodnik (Konzept-X)
- Prof. Dr.-Ing. M. Zehn (TU Berlin/Femcos mbH)

Mitglied bei NAFEMS?

NAFEMS hat weltweit über **1.200 Mitgliedsunternehmen und -Institutionen**. Mitglieder erhalten unter anderem:

- Freie Seminarplätze
- Literatur und „Benchmark“ (FEM-Magazin)
- Ermäßigungen für Trainingskurse, Kongresse und Literatur
- Kostenlose Stellenanzeigen auf caejobsite.com
- Zugriff auf passwortgeschützten Webbereich mit Kontaktmöglichkeiten und Informationen
- Kontakt zu über 1.200 Organisationen weltweit



Werden auch Sie Mitglied !
www.nafems.org/involved



Impressum

Editor-in-Chief

Prof. Dr. Klaus Rohwer,
Deutsche Zentrum für Luft- und
Raumfahrt e.V.

Redaktioneller Beirat

Dr. Alfred Svobodnik
Konzept-X
Prof. Dr. Manfred Zehn
TU Berlin / Femcos mbH

Redaktion

Albert Roger Oswald
Tel. +49 (0) 80 51 - 96 74 - 3 22
roger.oswald@nafems.org

Gestaltung / Layout / Anzeigen

Werbos GbR
Osterham 23, D-83233 Bernau
Tel. +49 (0) 80 51 - 96 74 - 3 22
Fax +49 (0) 80 51 - 96 74 - 3 37
Mobil +49 (0) 176 - 217 984 01
e-mail: info@werbos.de
www.werbos.de

Bezugspreis / Aboservice

Kostenlos
Tel. +49 (0) 80 51 - 96 74 - 3 22
magazin@nafems.de

Anzeigenpreise

Preisliste vom 01.01.2014

Verteilung / Bezug

Per e-mail an NAFEMS Datenbasis
DACH und als Download über www.
nafems.org. Bezug durch Aufnahme
in den Verteiler.

Copyright © 2014, Werbos GbR.

Nachdruck – auch auszugsweise -, Ver-
vielfältigung oder sonstige Verwertung
ist nur mit schriftlicher Genehmigung
unter ausdrücklicher Quellenangabe
gestattet. Gekennzeichnete Artikel
stellen die Meinung des Autors, nicht
unbedingt die Meinung der Redak-
tion dar. Für unverlangt eingesandte
Manuskripte und Datenträger sowie
Fotos übernehmen wir keine Haftung.
Alle Unterlagen, insbesondere Bilder,
Zeichnungen, Prospekte etc. müssen
frei von Rechten Dritter sein. Mit der
Einsendung erteilt der Verfasser / die
Firma automatisch die Genehmigung
zum kostenlosen weiteren Abdruck
in allen Publikationen von NAFEMS,
wo auch das Urheberrecht für ver-
öffentlichte Manuskripte bleibt. Eine
Haftung für die Richtigkeit der Veröf-
fentlichungen kann trotz Prüfung durch
die Redaktion vom Herausgeber nicht
übernommen werden.

Alle Produkt- und Firmennamen sind
eingetragene Waren- bzw. Markenzei-
chen ihrer jeweiligen Hersteller.

ISSN 2311-522X

Vorwort des Editor-in-Chief..... 2
Sponsoren 3
Über NAFEMS..... 4
Inhalt / Impressum 5

NAFEMS Events

Übersicht 6 - 7

Trainingskurse

Einführung in die praktische Anwendung der FEM 8
Introduction to CFD Analysis: Theory & Applications 9
Verifikation und Validierung (V&V) 10 - 11
Simulation und Analyse von Composites 12
Neu: Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis 13

Seminare

Praktische Aspekte in der Strukturodynamik 14 - 15

European Conferences

Computational Fluid Dynamics (CFD) – Beyond the Solve .. 16 / 18 - 19
Simulation Process and Data Management (SPDM) 17 / 18 - 19

Deutschsprachige NAFEMS Konferenz 2016 20 - 21

Literatur

Invitation 2 Tender / e-library / Benchmark / Bestellvorgang 22 - 23

Professional Simulation Engineer PSE 24 - 29

NAFEMS Mitgliedschaft 30

Neuigkeiten 31 - 41

Veranstaltungskalender 42 - 43

Fachbeiträge zur Topologieoptimierung

**Robuste und produktionsgerechte Topologieoptimierung
von Gussbauteilen mit Fertigungsrestriktionen und
integrierter Prozesssimulation** 44

T. Franke, S. Fiebig, G. Maik Horstmann (Volkswagen);
T. Vietor (TU Braunschweig)

**Topologieoptimierung eines fliehkraftbelasteten Triebwerk-
bauteils mit einfach zu implementierendem Algorithmus
unter Berücksichtigung mehrerer Zielfunktionen** 56

M. Kober, A. Kühhorn (TU Cottbus-Senftenberg);
B. Mück (Rolls-Royce Deutschland)

**Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT)
von Profilquerschnitten für Crashlastfälle** 67

C. Ortman, A. Schumacher (Universität Wuppertal)

Fachbeitrag zu Verifizierung

**NAFEMS Benchmarks zur Verifizierung der freien
FEM-Software Z88Aurora** 78

S. Hautsch, M. Braun, B. Alber-Laukant, F. Rieg
(Universität Bayreuth)

Werbeanzeigen

BENCHmark 41
ISKO engineers 31
Recurdyn/FunctionBay 33
x-technik Verlag 35

Rückmeldeformular 89

Trainings

Titel	Termin	Infoseite
Einführung in die praktische Anwendung der FEM Wiesbaden www.nafems.org/events/nafems/2015/dach-fea2e/	16. - 18. Nov.	8
Introduction to CFD Analysis: Theory and Applications Wiesbaden www.nafems.org/events/nafems/2015/cfd-course2/	25. - 26. Nov.	9
NEU: Non-Linear Finite Element Analysis München www.nafems.org/events/nafems/2015/non-linear-munich/	25. - 26. Nov.	13
Verification & Validation of Models and Analyses (V&V) Wiesbaden www.nafems.org/events/nafems/2015/vandv2/	02. - 03. Dez.	10 - 11
Simulation und Analyse von Composites Wiesbaden www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course1	12.-13. April 2016	12

Konferenzen

Praktische Aspekte in der Strukturdynamik Wiesbaden www.nafems.org/2015-struct	10. - 11. Nov.	13
Simulating Composite Materials and Structures Stockholm, Schweden www.nafems.org/2015-stock	17. - 18. Nov.	19
European Conference: Simulation Process and Data Management München www.nafems.org/spdm2015	02. - 03. Dez.	18 - 19
European Conference: Computational Fluid Dynamics (CFD) – Beyond the Solve München www.nafems.org/cfd2015	02. - 03. Dez.	17
Call for Papers: Deutschsprachige NAFEMS Konferenz Bamberg www.nafems.org/dach2016	25. - 27. April 2016	20 - 21

Informationen zu allen NAFEMS Veranstaltungen finden Sie unter www.nafems.org/events

e-Learning Kurse

E-Learning ermöglicht schnelle, höchst effektive und kostengünstige Trainings.

Folgende Themen werden regelmäßig angeboten

- **Practical Modelling of Joints and Connections**
- **Practical Computational Fluid Dynamics**
- **Fluid Dynamics Review for Computational Fluid Dynamics**
- **Basic Finite Element Analysis**
- **Basic Dynamic Finite Element Analysis**
- **Elements of Turbulence Modeling**
- **Computational Fluid Dynamics for Structural Designers and Analysts**
- **Fatigue & Fracture Mechanics in Finite Element Analysis**
- **Advanced Dynamic Finite Element Analysis**
- **Fluid Dynamics Review for Computational Fluid Dynamics**
- **Composite Finite Element Analysis**
- **Structural Optimization in Finite Element Analysis**
- **Practical Computational Fluid Dynamics**

Aktuelle Termine und weitere Infos unter www.nafems.org/e-learning

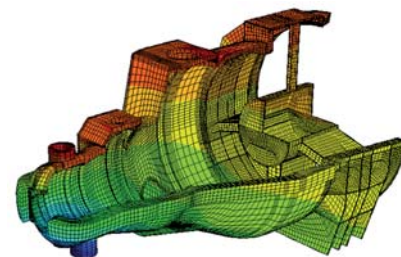
Werden Sie NAFEMS Trainer

NAFEMS erweitert kontinuierlich das Kursangebot regional und international und sucht Ingenieure aus Industrie und Hochschule, die gerne als Referenten für NAFEMS arbeiten möchten.

Bei Interesse senden Sie bitte eine e-mail an info@nafems.de.

NAFEMS Trainingskurse FEM

Einführung in die praktische Anwendung der Finite-Elemente-Methode (FEM)



16. - 18. November 2015 in Wiesbaden / auch als Inhouse-Kurs buchbar

Der Kurs vermittelt praxisorientiert und programmunabhängig die notwendigen Grundlagen für den erfolgreichen und effizienten Einsatz der Finite-Elemente-Methode. Nach Auffrischung von strukturmechanischem Basiswissen, welches für das Verständnis und für die kompetente Auswertung von FE-Berechnungen unerlässlich ist, wird auf leicht verständliche Art erklärt, wie die FE-Programme arbeiten. Zahlreiche einfach gehaltene, anwendungsspezifische Beispiele aus der Industrie unterstützen die Diskussion um Voraussetzungen für adäquate Modellbildung und liefern wertvolle Tipps für die professionelle Darstellung und Interpretation der Ergebnisse.

Ingenieure und Konstrukteure, welche ihre Kenntnisse in Technischer Mechanik bzw. Festigkeitslehre aus der Studienzeit im Hinblick auf die Anwendung bei FE-Simulationen auffrischen und ausbauen möchten, sind besonders angesprochen. Der Kurs wird in einer Workshop-Atmosphäre durchgeführt, wodurch eine aktive Mitwirkung gefördert wird.

Inhalte

- Einführung, Grundbegriffe und Prinzipien
 - Freiheitsgrade / Lagerung / Freischneiden / Gleichgewichtsbetrachtung
 - Innere Kräfte / Beanspruchung / Schnittgrößen
 - Spannungszustände / Hauptspannungen
- Typische Beanspruchungsfälle
- Werkstoffparameter / Versagenshypothesen / Sicherheitsfaktor
- Wechsel- und Dauerfestigkeit, Ermüdung und Kerbwirkung
- Thermische Beanspruchung
- Spannungen und Verformungen in dünnwandigen Strukturen
- Stabilitätsprobleme: Knicken und Beulen
- Grundlagen der Elastodynamik / Schwingungen / Dynamische Beanspruchung
- Modellbildung als ingenieurmäßiger Prozess / Möglichkeiten und Grenzen der Vereinfachung
- Lineare und nichtlineare Problemstellungen
- Wie funktioniert FEM?
- Typische Finite-Elemente (1D, 2D und 3D) zur diskreten Beschreibung deformierbarer Körper
- Berücksichtigung von Symmetrien bei der Modellierung
- Modellierung von Materialverhalten / Evaluation von Versagenskriterien
- Dynamische FE-Berechnungen / Modale Analyse / Dämpfung / Transiente Schwingungen
- Thermische / thermo-mechanische Untersuchungen
- Beispiele für nichtlineare FE-Simulationen
- Voraussetzungen für effiziente FE-Modelle und zuverlässige Ergebnisse
- Optimale FE-Modelle dank gezielter Nutzung der Möglichkeiten von CAD-Software
- Tipps und Tricks für problemgerechte FE-Vernetzung
- Qualitätssicherung bei FE-Analysen / Ursachen möglicher Fehler bei der FE-Modellierung und Tipps für deren Erkennung
- Möglichkeiten zur Überprüfung der Ergebnisse
- Fallbeispiele / Workshop / Diskussion

Referent



Prof. Dr.-Ing. Armin Huß verfügt über mehr als 30 Jahre Erfahrung auf dem Gebiet der Technischen Mechanik, Technischen Schwingungslehre und der Anwendung der Finiten Elemente Methode, davon über 20 Jahre Praxis-Erfahrung als freiberuflicher Ingenieur für die Anwendung der FEM in den unterschiedlichsten Bereichen der Technik. Seit Mitte 2009 ist er als Professor für Technische Mechanik, Schwingungslehre und Finite Elemente an der Frankfurt University of Applied Sciences tätig.

Kursprache

Deutsch

Inhouse-Kurs

Dieser Kurs wird auch als Inhouse-Kurs bei Ihnen vor Ort angeboten. Bitte fordern Sie nähere Informationen an - Rückmeldeformular auf der vorletzten Seite.

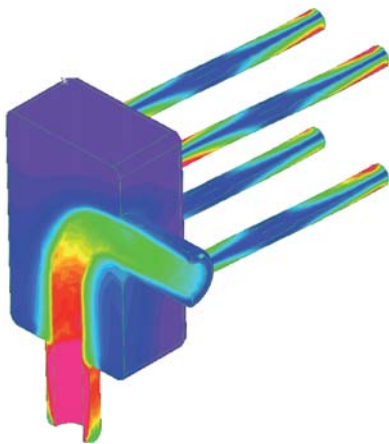
Online-Anmeldung und weitere Informationen
www.nafems.org/events/nafeems/2015/dach-fea2e

NAFEMS Trainingskurs CFD

Introduction to CFD Analysis: Theory and Applications

25. - 26. November 2015 in Wiesbaden / auch als Inhouse-Kurs buchbar

Der Kurs vermittelt praxisorientiert und programmunabhängig die Grundlagen der numerischen Strömungsberechnung (CFD). Neben der Funktionsweise von Programmen, die anhand zahlreicher einfacher Beispiele erläutert wird, steht die Vermittlung des gesamten Lösungsprozesses im Vordergrund. Mit Hilfe von Beispielen wird der gesamte Prozess vom realen Bauteil über das Berechnungsmodell bis zur Interpretation der Ergebnisse gezeigt und auf mögliche Fehlerquellen hingewiesen. Der Kurs wird in einer Workshop-Atmosphäre durchgeführt, die die Teilnehmer zur Mitarbeit bzw. zum Einbringen eigener Fragestellungen einlädt.



Inhalte

- Einleitung / Übersicht
- Welche Gleichungen werden in einem CFD-Programm gelöst?
- Beschreibung der Finite-Volumen Methode zur Lösung der Gleichungen anhand von Beispielen, Darstellung von Problemen / Fehlerquellen beim Lösungsprozess

- Tipps und Hinweise zur CFD-Vernetzung
- Praktische Umsetzung: Vom realen Bauteil zum Simulationsmodell
 - Überlegungen vor der Simulation
 - Annahmen und Voraussetzungen
 - Randbedingungen
 - Gittergenerierung
 - Erläuterung der Probleme an einem Praxisbeispiel
- Qualität von CFD-Berechnungen
 - Überprüfung von CFD-Ergebnissen / Kontrollmöglichkeiten
 - Bewertung der Ergebnisse von CFD-Berechnungen
- Ausblick auf weitere Entwicklungen / Tendenzen in der CFD-Welt (FSI, Optimierung,..)
- Fallbeispiele / Workshop / Diskussionen

Kursprache

Englisch / Deutsch, falls nur deutschsprachige Teilnehmer.

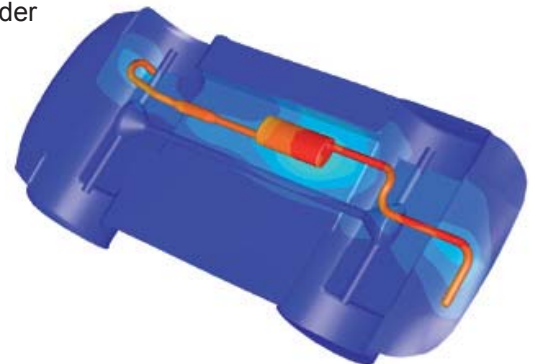
Inhouse-Kurs

Dieser Kurs wird auch als Inhouse-Kurs bei Ihnen vor Ort angeboten. Bitte fordern Sie nähere Informationen an - Rückmeldeformular auf der vorletzten Seite.

Referent



Prof. Dr.-Ing. Gangolf Kohnen hat über 25 Jahre Erfahrung mit CAE-Anwendungen mit Schwerpunkten auf dem Gebiet der Strömungsberechnung CFD in Lehre, Forschung und Industrie. Herr Kohnen leitet den Bereich Maschinenbau und Virtual Engineering an der Hochschule Baden-Württemberg Mosbach.



Online-Anmeldung und weitere Informationen www.nafems.org/events/nafems/2015/cfd-course2

NAFEMS Trainingskurs V&V (englischsprachig)

Verification & Validation of Models and Analyses

02. - 03. Dezember in Wiesbaden / auch als Inhouse-Kurs buchbar

Engineering simulation plays an increasing role in industry's search for competitiveness and technology based innovation at every stage of the design, qualification and certification of products. Key decisions and product qualification/certification increasingly rely on virtual tests and digital simulation, creating a major paradigm shift in which the objective of physical tests is progressively moving from a demonstration of compliance to a reference for analysis validation. This trend in industry is shown through adoption of new terms such as 'realistic simulation' and 'virtual testing'. This situation creates new responsibility for the engineer to guarantee the required confidence level.

This new approach requires secured processes for the verification and validation of models and analyses bringing evidence of their predictive capability. In particular, programme managers now require formal evidence on "simulation fit for purpose" on which they can build confidence and take decisions. In addition, the increasing situation for extended enterprise creates new constraints to guarantee safe and robust analysis processes.

At the same time, and due to the economic pressure, V&V activities are frequently seen as an additional cost that can easily be reduced or even fully cut, thus underestimating the induced risks. In addition, V&V is not easy to implement because of the diversity of involved persons: managers, simulation experts, test specialists, software developers and quality controllers, software vendors...

The Course

Participants of this master class will:

- Learn how to implement reporting to bring visibility and confidence to all managers concerned with simulation outcomes.
- Develop their knowledge in V&V in full coherence with the level of expectation due in their industry context and applicable regulations
- Understand the fundamental concepts of V&V, the role and contents of standards, the existing methodologies for the implementation or the improvement of simulation and V&V plans
- Understand specific V&V requirements in the context of realistic simulation and virtual testing
- Understand how to build rational plans for V&V and related demonstrations
- Improve synergy between virtual and physical tests in the context of validation
- Learn how to build business cases allowing for justification of V&V plans
- Understand simulation management and process issues
- Learn how to implement reporting to bring visibility and confidence to all managers concerned with simulation outcomes.

Who Should Attend?

This master class course is designed for:

- Engineers and senior analysts in charge of simulation activities or preparing to take new responsibility in the management of simulation, especially with regard to V&V responsibility
- Managers in charge of engineering simulation teams and willing to improve their knowledge in V&V and in the relevant processes
- Program managers who need to make critical decisions based on engineering simulation results and that wish to increase their understanding and visibility of the required V&V activities

It is recommended that participants have a few years of experience in engineering simulation for the design and development of industrial products.

Program

Introduction

- Industrial context and stakes
- Simulation in the product lifecycle
- Industrial implementation of simulation

Validation, Qualification & Certification of Industrial Products

- Fundamentals on product validation, qualification and certification
- The analysis-test pyramid

- Virtual testing and realistic simulation
- Introduction to new technologies and TRL
- Regulations and certification in aeronautics
- Situation of the nuclear industry

V&V and Simulation Management

- Scope and complexity of the management of simulation
- Simulation management activities: software capability management / V&V / skills management / quality management / SPDM / CAD / CAE.....

Realistic Simulation

- Existing technology and new enhancements available to industry: HPC, cloud, open source, multi-scale, multi-physics....
- Connection with CAD/PLM
- Benefits and threats of realistic visualization
- Impact on V&V plans

V&V Fundamentals and Standards

- Fundamentals
- Verification
- Validation and uncertainty quantification
- Predictive maturity
- V&V process and responsibilities
- Standards
- Short history of standardization in V&V
- Main standards: ASME, AIAA, NASA...
- Other initiatives

Verification

- Verification of software codes
- Verification of algorithms
- Quality assurance for software: methodologies for SW development, regression tests...
- Verification of analyses
- Validation and Test/Simulation Synergy
- Validation process and constraints

- Physical and virtual testing collaboration
- Objectives and typology of physical tests
- Prerequisites for successful validation tests
- Predictive maturity
- Some industrial examples (aerospace, nuclear...)

Uncertainty Quantification

- Typology : random, epistemic uncertainties
- Selective methodologies for uncertainty quantification: Monte Carlo, Latin hypercube, response surfaces, polynomial chaos, "Lack of knowledge" theory (theory of misconceptions?), theory of evidence.....
- Sensitivity analysis, robustness (key parameters identification...)

V&V Implementation Strategies

- Setting-up V&V plans
- Implementation issues and obstacles
- Industrial justification (V&V business case)
- Costs, benefits and risk management
- Organization and skills

Course Language

Englisch

Tutors



Jean-Francois Imbert

Mr. Imbert has 40 years' experience in Structural Engineering, CAE/numerical simulation, mostly in the aeronautical and aerospace sectors where he has exercised both operational, expert and management responsibilities. Throughout his career, Jean-Francois ensured the development and implementation of innovative numerical simulation capabilities in industrial contexts, mostly in Structure Analysis. In his successive responsibilities, he accumulated a unique and broad experience in simulation management and the multiple features of V&V, including validation tests and analysis /test synergy. Furthermore he has a long practice of engineering education both in academic institutions and professional seminars..



Philippe Pasquet

With almost forty years of extensive experience in engineering simulation, Philippe Pasquet has covered the full range of technical responsibility in this domain, both with research institutes and various consulting firms and software houses: development of software, development of methods, advanced studies, team management, scientific and technical management etc. Powered by his passion for pedagogy and simulation technology, he has presented at several conferences and talks at high level towards efficient use and good practices of simulation in the industry, motivating students and engineers for those fascinating engineering simulation jobs..

Online-Anmeldung und weitere Informationen
www.nafems.org/events/nafems/2015/vandv2

NAFEMS Trainingskurs

Simulation und Analyse von Composites

12. - 13. April 2016 in Wiesbaden / auch als Inhouse-Kurs buchbar

Faserverbundwerkstoffe haben sich inzwischen in verschiedensten Industriebereichen etabliert. Durch verschiedenste Faserarchitekturen und Harzsysteme sind Verbundwerkstoffe für unterschiedlichste Anwendungsfälle und Einsatzbereiche konfektionierbar. Der Konstrukteur und Berechnungsingenieur wird daher mit einer Vielfalt unterschiedlichster Werkstoffe konfrontiert, deren Festigkeitsanalyse vergleichsweise komplex ist. Ganz wesentlich für das Tragverhalten von Faserverbundwerkstoffen ist das Delaminations- und Schädigungsverhalten. Die Ablösung der Einzelschichten voneinander ist für gewöhnlich der entscheidende Versagensfall.

Das Ziel dieses Kurses ist die Einführung in die Schädigungsmechanik für Faserverbundwerkstoffe und die Modellierung der Delaminationen. Dem in der Praxis arbeitenden Ingenieur werden die Grundlagen der Schädigungsmechanik, die Möglichkeiten der Delaminationsanalyse und die typischen Verfahren zur Bestimmung relevanter Materialeigenschaften vermittelt.

Training

Der Kurs vermittelt die Inhalte über die Schädigungsmechanik und Delaminationsmodellierung von Faserverbundwerkstoffen bei statischen Belastungen. Dazu werden die Grundlagen der Schichtentheorie, der Mischungstheorie und der Festigkeitstheorie für Faserverbunde dargestellt. Anhand von Beispielen

aus der industriellen Praxis wird die Schädigungsmechanik eingeführt und die typischen Modelle zur Delaminationsanalyse vorgestellt.

Neben den theoretischen Grundlagen werden Tipps und Hinweise für die Anwendung der Modellierungsansätze in der FE-Analyse vorgestellt.

In dem Kurs soll auch die Möglichkeit bestehen, Anwendungsfälle der Teilnehmer aus der industriellen Praxis zu berücksichtigen.

Wer sollte teilnehmen

Berechnungsingenieure, Konstrukteure und Mitarbeiter, die als Simulationsingenieure arbeiten. Der Kurs vermittelt die wesentlichen Inhalte, um die Tragfähigkeit von Faserverbundstrukturen simulieren zu können.

Inhalte

- Klassische Laminattheorie und Laminattheorien höherer Ordnung
- Mischungstheorien und Mikro-mechanik
- Festigkeitskriterien und Materialdegradationsmodelle
- Einführung in die Schädigungsmechanik
- Schädigungsmodelle für Verbundwerkstoffe
- Delaminationsmodellierungen

Referent



Dr.-Ing. Daniel Hartung (Premium Aero-tec GmbH) hat langjährige Erfahrung in der Anwendung und Entwicklung von Materialmodellen,

Analysemethoden und Finite Elemente Modellierungen für Faserverbundwerkstoffe. Während seiner Tätigkeit für das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) hat er sich intensiv in die Modellierung und Analyse der Faserverbundwerkstoffe eingearbeitet und neuartige Analysemethoden entwickelt. Zusätzlich hat sich Hr. Hartung während dieser Zeit umfassend mit der Prüfung und Kennwertermittlungen von Faserverbundwerkstoffen befasst. Zurzeit arbeitet Hr. Hartung in der Industrie und entwickelt unter anderem Berechnungsmodelle und Analysemethoden für Verbundwerkstoffe im Flugzeugbau. Aus der Leitung und Mitarbeit unterschiedlicher Industrie- und Forschungsprojekte kennt Herr Hartung die Herausforderungen bei der Anwendung verschiedenster Modelle sowie die wissenschaftlichen Herausforderungen bei der Modellentwicklung.

Kurssprache

Deutsch

Inhouse-Kurs

Dieser Kurs wird auch als Inhouse-Kurs bei Ihnen vor Ort angeboten. Bitte fordern Sie nähere Informationen an - Rückmeldeformular auf der vorletzten Seite.

Online-Anmeldung und weitere Informationen
www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course1

NAFEMS Trainingskurs

Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis

25. - 26. November 2015 in München / auch als Inhouse-Kurs buchbar

This non-linear Finite Element course is intended for delegates interested in using FE to analyse advanced non-linear problems involving material non-linearities, geometric non-linearities and contact problems.

The objectives of this Finite Element course are:

- To provide delegates with an introduction to the fundamental theory of non-linear Finite Element analysis.
- To highlight the possible difficulties that may be encountered in using FE software to analyse non-linear problems.

Who Should Attend

This non-linear FE course is aimed at engineers and scientists who want to gain an understanding of the fundamental theory of non-linear Finite Element analysis and its application to practical problems.

As this is an advanced FE course, a pre-requisite for this course is a reasonable knowledge of linear FE theory and applications. However, no prior knowledge of non-linear Finite Element theory is required. The course is independent of any FE software code.

Technical Content

- Brief Overview of Linear Finite Element analysis:
A brief overview of linear Finite Element formulation, numerical algorithms, etc. to provide a foundation for the non-linear formulation.
- General Introduction to Non-linear problems:
Classifications of non-linear problems, Comparison of linear

and non-linear FE analysis, Non-linear algorithms and procedures, Difficulties in modelling non-linear problems.

- Plasticity:
Basic plasticity theory, Uniaxial and multi-axial plasticity, Work hardening, FE treatment of plasticity, Solution strategy and accuracy, Discussion of typical practical plasticity applications.
- Creep and Visco-elasticity:
Basic theory of creep, Finite Element algorithms for creep problems and time marching, Explicit and implicit time integrations, Discussion of typical practical creep applications.
- Contact Problems:
Basic theory of contact mechanics, classification of contact configurations, Hertzian and non-Hertzian contact problems, FE contact algorithms, Penalty methods and Lagrange multipliers, Difficulties in modelling contact problems, Tips and guidelines, Discussion of practical contact problems.
- Geometric Non-linearity:
Basic theory of geometric non-linearity, GNL stress-strain definitions, FE algorithms for geometric non-linearities, Arc-length and line-search methods, Solution strategy and accuracy, Discussion of typical GNL problems.
- Brief introduction to other advanced Finite Element Applications:
A brief overview of Fracture Mechanics, Fatigue Analysis, Explicit FE codes, Buckling analysis.

Tutor



Dr. Gino Duffett has over 30 years of experience in CAE software development, training, industrial implementation and usage on an interna-

tional level in various sectors, mostly automotive and renewable energy. Currently a Technology Project Manager focussing on innovative simulation driven design and automatic optimization.

Over his career Gino has taught numerical modelling up to university level, developed commercial courses and provided training for software users and university programmes on aspects such as metal forming, structural analysis, simulation process methodologies and optimization and has provided courses at Business schools on mathematical modelling, ERP and multi-cultural management.

Course Language

English

Inhouse-Kurs

Dieser Kurs wird auch als Inhouse-Kurs bei Ihnen vor Ort angeboten. Bitte fordern Sie nähere Informationen an - Rückmeldeformular auf der vorletzten Seite.

Online-Anmeldung und weitere Informationen

www.nafems.org/events/nafeems/2015/non-linear-munich/

NAFEMS Konferenz

Praktische Aspekte in der Strukturmechanik Vibration, Dämpfung, ...

10. - 11. November 2015, Wiesbaden

Strukturmechanische Berechnungen auf allen Stufen der Produktentwicklung und der Forschung gehören zum Standardprogramm in fast allen Bereichen der Industrie. Höhere Betriebslasten, Geschwindigkeiten, Drehzahlen, Leichtbaustrukturen, extreme Einsatzanforderungen (Naturkatastrophen, Unfälle und Anschläge), Komforteigenschaften (Akustik und Schwingungen), etc. erfordern eine sichere und wirtschaftliche Auslegung von Maschinen, Bauteilen, Anlagen und Bauten mit Hilfe strukturmechanischer Untersuchungen. Neben den Funktions-, Komfort- und Sicherheitsaspekten sind es auch strengere Arbeitsschutzvorschriften, die Anlass für strukturmechanische Analysen von Konstruktionen geben.

Theorie-, Soft- und Hardwareentwicklungen haben der Strukturmechanik viele Möglichkeiten für realitätsnahe Modellierungen und Simulationen erschlossen. Insbesondere die Kombination von FEM-, MKS- und Akustikprogrammen unter Einbeziehung unterschiedlichster physikalischer Einflüsse hat die Möglichkeiten der Abbildung realer Verhältnisse erheblich erweitert. Jedoch können Fehlentscheidungen nicht nur zu erheblichen Zeitverlusten

und kostenintensiven Fehlläufen führen, sondern auch scheinbar plausible Ergebnisse produzieren, deren Nutzung folgeschwer sein kann.

Das Seminar soll mit Beiträgen aus der Forschung, industriellen Anwendung und zu Entwicklungen in der Software einen Überblick über aktuelle Methoden und Verfahren für eine bestmögliche Auslegung geben. Mit dem Seminar will NAFEMS dazu beitragen, sicherer und effizienter mit den CAE-Werkzeugen für strukturmechanische Untersuchungen umzugehen. Ziel ist es, den aktuellen Stand der Technik und Trends zu diskutieren und einen offenen Dialog von Anwendern, Forschern und Lösungsanbietern zu fördern. Abgerundet wird die Veranstaltung durch eine Softwareausstellung, die einen Überblick über verfügbare kommerzielle Lösungen gibt.

Wir freuen uns auf Ihre Teilnahme.

Prof. Dr.-Ing. Manfred Zehn
TU Berlin / Vice Chairman of
NAFEMS

Dr. Alfred J. Svobodnik
Konzept-X GmbH / Mitglied
NAFEMS DACH SC

Veranstaltungsort / Hotel

Hotel Oranien Wiesbaden
Platter Straße 2
D-65193 Wiesbaden
www.hotel-oranien.de

Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder:

Euro 590,— / Person

NAFEMS-Mitglieder:

frei*

* NAFEMS Mitglieder erhalten sechs „seminar credits“ pro Jahr. Für dieses Seminar werden drei credits je Teilnehmer benötigt. Falls bereits verwendet, können NAFEMS Mitglieder zu einem reduzierten Preis teilnehmen:

Euro 410,— / Person

Hard- und Softwareausstellung

Eine begleitende Ausstellung von Softwareanbietern und Dienstleistern ist geplant. Bitte fordern Sie Informationen an.

Tagungssprache

Deutsch (in Ausnahmen in englischer Sprache)

Kontakt

NAFEMS Deutschland, Österreich,
Schweiz GmbH
Osterham 23, D-83233 Bernau
Tel. +49 (0) 80 51 - 96 59 3 49
e-mail: roger.oswald@nafems.org

Online-Anmeldung und weitere Informationen:

www.nafems.org/2015-struct

Vortragsprogramm

Dienstag, 10. November

13:30

Begrüßung und NAFEMS Vorstellung

M. W. Zehn (TU Berlin / Vice Chairman of NAFEMS);
A. J. Svobodnik (Konzept-X, Mitglied des deutschen NAFEMS Steering Committees); T. Morris (NAFEMS)

13:45

Keynote-Vortrag: Anwendung der FEM Berechnung in der NVH - Gesamtfahrzeugberechnung

E. Bauer (Daimler)

14:30 Pause

15:15

Strukturmechanik von elektrodynamischen Lautsprechern

A. Svobodnik, T. Nizzoli (Konzept-X)

15:45

Steigerung der Produktivität durch automatisierte Kopplung der MKS mit Akustik oder Fatigue

C. Rachor (MSC.Software)

16:15

Diskussionsrunde: Welche Herausforderungen stellen sich bei strukturdynamischen Berechnungen komplexer technischer Systeme und welche Erwartungen werden an die Softwareentwicklung gestellt?

M. W. Zehn (TU Berlin);
A. J. Svobodnik (Konzept-X)

17:15

Imbiß und Getränke in der Ausstellung

Mittwoch, 11. November

08:35

FEM-Echtzeitsimulation für die Dynamik elastischer Körper

M. W. Zehn, M. Marinkovic (TU Berlin)

09:15

Kombinierter Einsatz von Messung und Simulation bei strukturdynamischen Fragestellungen

H. Landes, M. Meiler (SIMetris)

09:45 Pause

10:30

Modellierung der Kontaktstellen- dämpfung in Werkzeugschnittstellen

C. Brecher, R. Habermann, M. Fey (RWTH Aachen)

11:00

Materialdämpfung in Elastomerbauteilen

M. Achenbach (Publicly Appointed Qualified Expert on Rubbers and Plastics)

11:30

Numerical Vibration Analysis of Electric Drives

M. Moosrainer, M. Hanke (Cadfem)

12:00

Hardware-in-the-Loop Testumgebungen für schwingungstechnische Komponenten

T. Jungblut, D. Mayer, S. Wolter, J. Millitzer (Fraunhofer LBF)

12:30 Mittagspause

13:30

Optimization of Support Positions and Shape of a Rotor-Bearing-Foundation System

N. Wagner, R. Helfrich (Intes)

14:00

Anwendung von Krylov Unter- raum Verfahren in der frequenz- gangbasierten Substrukturtech- nik

F. Wesolowski, M. W. Zehn (TU Berlin)

14:30

Konfigurieren statt Modellieren: Ein neuer Finite-Elemente- Preprozessor mit integriertem Wissen

A. Dadalau (Meshparts)

15:00

Wrap-Up und Schlußworte

M. W. Zehn (TU Berlin);
A. J. Svobodnik (Konzept-X)

15:15 Ende

1. Europäische NAFEMS CFD Konferenz

Computational Fluid Dynamics (CFD) – Beyond the Solve

2. - 3. Dezember 2015, München

Nowadays CFD methods are a well-established and accepted development tool used in a wide range of industries. Since CFD achieved this level of acceptance, the expectations towards CFD regarding turn-around time, ease-of-use, process robustness, automation and standardization have changed rapidly. In response, recently there has been a strong focus on CFD Workflow Management.

The European NAFEMS CFD Conference will offer a unique forum where experts from different industries, academia, software vendors will share their knowledge regarding CFD Workflow Management concepts and solutions covering the following topics:

Reduce the turn-around time and ease-of-use of CFD process via:

- CFD workflow process automation: Preprocessing – Simulation – Postprocessing - CFD process standardization

Improve the robustness of CFD analysis via:

- Integration with Product Data Management (PDM) systems
- Integration with Simulation Data Management (SDM) systems
- Advanced material data management concepts

Improved usability of CFD processes via:

- Integration in optimization workflows
- Integration in multi-disciplinary simulation processes

Verification and correlation in the design process

If you are interested in talking to the CFD community about the CFD workflow management and the management of new challenging CFD applications in your organization and sharing your thoughts about future trends you are invited to attend the 1st European NAFEMS CFD conference.

The 'CFD – Beyond the Solve' event is being run in parallel with the 'NAFEMS Simulation Process and Data Management' European Conference. Delegates will be free to attend sessions of their choice in both events in order to exploit the synergies between these two technical areas.

Konferenzhotel

Dolce Munich Unterschleißheim
Andreas-Danzer-Weg 1
85716 München/Unterschleißheim,
www.DolceMunich.com

Hotelzimmer

Wir haben für Konferenzteilnehmer ein Zimmerkontingent zu vergünstigten Preisen bis 23. Oktober im Dolce Hotel Unterschleißheim reserviert. Bitte buchen Sie mit Hilfe des Online-Buchungslinks auf der Konferenzwebseite oder telefonisch unter Nennung des Stichworts „NAFEMS“ unter +49 89 370 530 851.

Ausstellung und Sponsoring

Eine begleitende Ausstellung von Softwareanbietern und Dienstleistern ist geplant. Bitte fordern Sie Informationen an.

Konferenzsprache

Englisch

Teilnahmegebühren

NAFEMS Mitglieder: Frei
* NAFEMS Mitglieder erhalten sechs „seminar credits“ pro Jahr. Für diese Konferenz werden vier credits je Teilnehmer benötigt. Falls bereits verwendet, können NAFEMS Mitglieder zu einem reduzierten Preis von Euro 490,— / Person teilnehmen.
Nicht-Mitglieder: 695 Euro.
Jeweils zzgl. ges. MwSt.

Kontakt

NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH
Osterham 23, D-83233 Bernau
Tel. +49 (0) 80 51 - 96 59 3 49
e-mail: roger.oswald@nafems.org

Die Konferenz findet parallel zur Europäischen NAFEMS SPDM Konferenz statt. In zwei gemeinsamen Plenarsessions werden für Teilnehmer beider Konferenzen relevante Vorträge gehalten.

Konferenzteilnehmer haben freien Zugang zur jeweils parallelen Konferenz.

Vortragsprogramme: Seite 18 - 19

Online-Anmeldung und weitere Informationen

www.nafems.org/cfd2015

3. Europäische NAFEMS SPDM Konferenz

Simulation Process and Data Management – SPDM

2. - 3. Dezember 2015, München

We will commemorate 15 years of SPDM success in Munich which began with go-live of Virtual Insight at BMW on 19th December 2000. Josef Reicheneder of BMW group will deliver the first Keynote presentation, 15 Years SPDM@BMW, taking us on the journey from the first deployment of a commercial SDM solution through the migrations to next-generation SDM solution, the achievements of today and the challenges of the future. SDM is a core enterprise system at BMW. Ferdinand Dirschmid explained at the NAFEMS World Congress 2015 that SDM had been fundamental to the execution of the virtual engineering required to bring the iconic BMW i8 composite hybrid sports car into the showrooms in only 42 months. This entailed new body and powertrain concepts, new simulation methods, new manufacturing processes and a new factory; not just a new model based on existing technology.

BMW is not the only Munich-based company that relies heavily on SPDM for engineering success. Johann Beck of Audi in Ingolstadt near Munich will describe why efficient management of data is absolutely essential to minimising time to market for an ever widening range of vehicles and vehicle derivatives. Audi has a long history of driving SDM innovation and Mr. Beck will describe the evolving SDM architecture.

Munich has become a centre for SDM development as well as for

SDM usage. Michael Schlenkrich, who led the original BMW project, will share his vision of future directions of SDM based on 15 years of wide ranging SDM experience. Later in the conference Marko Thiele of Scale will describe the latest evolution of LoadCase Composer (LoCo) and its usage within the Audi vehicle simulation process.

Other Munich-based companies presenting include Tesis DYNAware who will speak about a distributed modularised model architecture for simulation of automotive electronic systems. The state of the art of SDM is also being advanced by the Technical University of Munich and Sebastian Schweigert will speak about process definitions and improvements for automotive suppliers.

Munich is not the only region of Germany represented as Thorsten Pohl will give a keynote on the deployment of SDM at GM he is leading out of Opel. Jan Theilen of Volkswagen will talk about their virtual process chain. Then Rainer Illig and Holger Wenzel of Dassault Systemes will discuss the management of simulation processes of different levels of maturity. Automotive OEM's are also represented by Ralph Heimüller of MAN Truck & Bus who will speak about the effective management of material data for simulation. Another solution for materials data management will then be described by Reimund Dann of Thinkstep. Jochen Boy of ProStep will lead a section

describing evolving standards for automotive and aerospace industries including a paper on Long Term Archiving and Retrieval (LOTAR) from Albert Levy of Airbus Toulouse. Adrian Murton from Airbus will give a keynote on the standards-based future of simulation collaboration and describe the development of the MoSSEC standard. Caroline Raick will describe the success of a common platform for the structural analysis of the A350WB program. Contributions describing the deployment of SDM at Volvo-Eicher Commercial Vehicles in India, large scale multi-variable optimisation of aircraft systems from Datadvance of Russia and data-models for SDM from vCollab the USA complement the many papers submitted from within Europe.

The point of view of supplier companies will be represented with a keynote from Steve Minter of GKN Driveline describing how they will take forward their successful SDM deployment. The needs of medium sized companies will also be addressed. Several practitioners, including ISKO engineers :EM engineering methods and Mark Norris of theSDMconsultancy will speak about successful deployment of SDM into companies of all sizes. It's not possible to describe all the topics which will be covered at this 3rd European SPDM conference. So please have a look at the agenda on the following pages and register for the conference at www.nafems.org/spdm2015.

Die Konferenz findet parallel zur Europäischen NAFEMS CFD Konferenz statt. In zwei gemeinsamen Plenarsessions werden für Teilnehmer beider Konferenzen relevante Vorträge gehalten.

Konferenzteilnehmer haben freien Zugang zur jeweils parallelen Konferenz.

Vortragsprogramme: Seite 18 - 19

Organisation

Siehe Seite 16 (CFD-Konferenz)

Online-Anmeldung und weitere Informationen

www.nafems.org/spdm2015

EUROPEAN SPDM & CFD CONFERENCES – COMMON SESSION

- 09:45 **Welcome and NAFEMS Introduction**
T. Morris (NAFEMS); M. Norris (Consultant); P. Bartholomew (Consultant); Members of the DACH CFD Advisory Board (CAB)
- 10:00 **15 Years SPDM@BMW**
J. Reicheneder (BMW Group)
- 10:30 **SPDM for CFD@BMW**
S. Jahnke (BMW Group)
- 11:00 **Strategies to Increase CAE Quality through Simulation Data Management**
J. Morawski, T. Pohl (Adam Opel); Z. Petrovic (Siemens PLM Software)
- 11:30 **Virtual Process Chain Production: SIMAN – Simulation Data Management@CONNECT**
J.-H. Theilen (Volkswagen)
- 12:00 **Lunch**

SPDM Conference Session 1

CFD Conference Session 1

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 13:00 Handling the Constant Evolution of Simulation with SPDM Solutions
M. Schlenkrich (MSC Software) 13:25 Concept and Implementation of a Central Knowledge Framework for Simulation Knowledge
<u>P. Kestel</u>, T. C. Sprügel, S. Wartzack (Univ. Erlangen-Nuremberg); T. Lehnhäuser (Ansys Germany) 13:50 Complete Simulation Lifecycle Management at VECV
V. Mulchandani, <u>U. Shanker Gupta</u> (Eicher Trucks and Buses, VE Commercial Vehicles); N. Hanagal (Altair Engineering India) 14:15 SPDM Overkill – Too Expensive, Too Difficult, Too Much Overhead and No Added Value !?!
E. Niederauer (Siemens PLM Software) 14:40 Coffee break | <ul style="list-style-type: none"> Integration of the CFD Simulation in the Development Process of Competition Motorcycles
G. Lindbichler, <u>M. Perterer</u> (KTM Technologies) Thermal Analysis of Heavy Duty Engine Exhaust Manifold using CFD
<u>S. Eroglu</u>, I. Duman (Ford Otosan) The Mahle Behr CFD Wizards: HVAC Wizard and HEEX Wizard
<u>R. Stauch</u>, G. Apostolopoulos, M. Weinmann, J. Schlottke, W. Kühnel (Mahle Behr) Frontloading CFD in the Automotive Product Development Process
M. Sabeur (Mentor Graphics) Coffee break |
|---|---|

SPDM Conference Session 2

CFD Conference Session 2

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 15:20 Managing Simulation Processes of Different Levels of Maturity
<u>H. Wenzel</u>, R. Illig (Dassault Systems Deutschland) 15:45 Successful Deployment of SPDM Solutions – Lessons Learnt from Early Adopters
M. Norris (Consultant) 16:10 Simulation Process and Data Management: How to Deploy SPDM and Support CAE Teams Efficiently
<u>S. Kleiner</u>, M. Krastel (:em engineering methods) 16:35 A First Full-cloud Design Space Exploration Platform
S. Morozov, A. Prokhorov (Datadvnce) 17:00 Coffee break | <ul style="list-style-type: none"> The Influence of Mesh Characteristics on OpenFoam Simulations of the Driver Model
<u>G. Fotiadis</u>, V. Skaperdas, A. Iordanidis (BETA CAE Systems) One click - Multiparts to 3D Mesh
M. Schiffko (ESS Engineering Software Steyr) Improving Thrust Reverser Performance through Design Exploration with Optimate+
<u>G. Buccilli</u>, A. Godfrey, D. Rittenberg (CD-Adapco) Interpretation of Verification and Validation for Computational Fluid Dynamics
NAFEMS AMWG, presented by C. Roger (CR Engineering) Coffee break |
|--|--|

SPDM Session 3:
Technologies

SPDM 4: Approaches including for
Medium Companies

Optional:
CFD Conference: BMW Welt Compact Tour

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 17:30 Integrate Multi-Disciplinary Optimization into the Product Development Process
<u>M. Nicolich</u>, M. Gazzin (Esteco) 17:55 Simulation Data Mining as One Element of the Product-specific Knowledge Balance – a SPDM Perspective
<u>S. Hinsin</u>, M. Ruschitzka (TH Köln); P. Gust (Univ. of Wuppertal) RDO meets PLM
D. Schneider (Dynardo) 18:45 Efficient Data Models and Tools for Effective SPDM Implementation
<u>P. Mandava</u>, G. Shastri, M. V. Uppalapati (Visual Collaboration Technologies) Design Exploration in the Cloud: Automotive Seat Optimization for Robustness
<u>F.Y. Koçer</u>, E. Nelson (Altair Engineering) 19:35 21:30 | <ul style="list-style-type: none"> The Role of Simulation in a Holistic Engineering Environment
<u>R. Illig</u>, H. Wenzel (Dassault Systemes Deutschland) Expansion of the Schaeffler Development Platform Speed with a Simulation Data Management Module
S. Sepp, <u>G. Göß</u> (Schaeffler Technologies); M. Krastel (:em engineering methods) An Approach for the Development of Requirements-Oriented Simulation Management
<u>S. Schweigert</u>, H. d'Albert, U. Lindemann (TU Munich) Flexible Management of CAE Processes, Resources, and Data for the Medium-Sized Business and Embedding in the PLM Process
M. Krause (ISKO engineers) Interpretation of Verification and Validation for Simulation Process and Data Management
NAFEMS AMWG, presented by C. Roger (CR Engineering) |
|---|---|

- BMW Welt – a Place of Discovery and Amazement.**
BMW Welt is full of impressive facts and fascinating stories. Go on a discovery tour (40 min.). This tour covers all the main points of BMW Welt: you will find out interesting background information on the building, its special architecture and how it was created.
The BMW Welt Compact Tour also provides a glimpse behind the scenes, explaining the complex logistics of automobile delivery to customers from all over the world. Look forward to experiencing the various elements of BMW Welt and hearing interesting talks.
www.bmw-welt.com/en/
- 17:30 Bus coach**
18:00 Tour 1 + 2 (each group max. 30 persons)

Please note:
Limited places, registration necessary - first come, first serve!

EUROPEAN SPDM & CFD CONFERENCES – COMMON EVENT IN THE EXHIBITION

Beverages, snacks & live music – time for discussions and product demonstrations

VORTRAGSPROGRAMM DER EUROPEAN NAFEMS CFD- UND SPDM KONFERENZEN - MITTWOCH, 3. DEZEMBER 2015

EUROPEAN SPDM & CFD CONFERENCES – COMMON SESSION

- 08:15 **Introduction**
M. Norris (Consultant); P. Bartholomew (Consultant); Members of the DACH CFD Advisory Board (CAB)
- 08:30 **Next Steps in SPDM**
S. Minter (GKN Driveline)
- 09:00 **MoSSEC: A Proposed Standard for Sharing Modelling and Simulation Information in a Collaborative Systems Engineering Context**
A. Murton (Airbus UK)
- 09:30 **Simulation Data Management and Process Chain at Audi**
[A. J. Beck](#), K. Gruber (Audi)
- 10:00 **Coffee break**

SPDM Conference Session 5	CFD Conference Session 3
---------------------------	--------------------------

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 10:40 Data & Process Management for Collaboration in Systems Engineering
G. Staub (PDTEC) 11:05 LoCo – An Innovative Process and Team Data Management Solution for Simulation
M. Thiele, T. Landschoff (Scale); A. J. Beck (Audi) 11:30 Simulation Data Management in Pre- and Postprocessing
D. Katramados, A. Roubies, D. Krontsos (BETA CAE Systems) 11:55 A Comparison and Synergies between SPDM and a Popular “Democratization” Platform
J. Betts (Front End Analytics); D. Silver (EASA Software); S. Dewhurst (EASA) 12:20 Lunch | <ul style="list-style-type: none"> The FlowSimulator— A Software Framework for CFD-related Multidisciplinary Simulations
L. Reimer (DLR - German Aerospace Center) Comparison of the ASMO Car Model with Experimental Data and Simulations
M. Gruetzmacher (Mentor Graphics) Aero-Vibro-Acoustics for Wind Noise Application
M. Oswald (Ansys Germany) Simulation-ready CAD for Fast Turn-around Time in CFD and Optimization
S. Harries, M. Brenner, J. Palluch (Friendship Systems) Lunch |
|---|---|

SPDM Conference Session 6: Standards or not?	CFD Conference Session 4
--	--------------------------

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 13:20 Standardization of CAE Data Management – Collaborative CAD/CAE Integration with CAE Services
M. Krastel (:em engineering methods); J. Boy (Prostep) 13:45 xMCF – Standard for Documenting Connection Information
C. Franke (Prostep); G. Zhang (Volkswagen); M. Weinert (Ford Germany) 14:10 LOTAR Engineering Analysis and Simulation Initiative
A. Levy (Airbus CIMPA) 14:35 Role-based Simulation Object Management as an Enabler for Democratisation in Collaborative Virtual Engineering
C. Hepperle, C. Gnandt (Tesis DYNAware) 15:00 Coffee break | <ul style="list-style-type: none"> Optimization Process for an Automotive Flap using an Automated FSI Workflow
M. Ratzel, W. Dias (Altair Engineering) Iterative Coupling of Flow Simulation and Topology Optimization for Long-Fiber-Reinforced Plastics
M. Spadinger, A. Albers (Karlsruhe Institute of Technology) Optimized Ship Design Using Heeds & STAR-CCM+
D. Tatum, D. Preston (Downey Engineering); N. Chase (Red Cedar Technology); T. Yen, G. Buccilli (CD-Adapco) Workflow for an Efficient Usage of Open-Source Solver Technology for CFD and FEA
U. Heck (DHCAE Tools) Coffee break |
|---|---|

SPDM Conference Session 7	CFD Conference Session 5
---------------------------	--------------------------

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 15:30 Management of Material Data for a Mid-Size Simulation Work Group: Experiences and Recommendations
R. Heimüller (MAN Truck & Bus) 15:55 Integrated Material Data Management
R. Dann (thinkstep) 16:20 The Airbus A350 XWB Aircraft’s Structural Detailed Analysis with a Common Shared Platform
C. Raick, F. Berger (Siemens PLM Software); n.n. (Airbus) 16:45 Wrap-up / Farewell
M. Norris (Consultant); P. Bartholomew (Consultant) 17:00 End of SPDM Conference | <ul style="list-style-type: none"> Automation for Efficient Application of OpenFOAM to Industrial Problems
H. Kröger (Univ. of Rostock) Accelerating CFD Workflow Using GPU’s
M. Stanic, S. Adami (FluiDyna) Femzip-CFD: Taming of the Data Pile
S. P. Müller, P. Sunil Banerjee (Sidact) Wrap-up / Farewell
Members of the DACH CFD Advisory Board (CAB) End of CFD Conference |
|---|---|

SPDM Platinum Sponsoren



CFD Platinum Sponsoren



SPDM Gold Sponsoren



CFD Gold Sponsoren



SPDM Silver Sponsoren



CFD Silver Sponsoren



* Program subject to alterations.

Einladung und Call for Papers

Berechnung und Simulation

- Anwendungen
- Entwicklungen
- Trends

25. - 27. April 2016, Bamberg

Die 3. deutschsprachige NAFEMS Regionalkonferenz bietet Ihnen ein einzigartiges, unabhängiges, neutrales, übergreifendes und umfassendes Informationsangebot im Bereich der numerischen Simulationsmethoden.

– bitte Abstract bis 22. Januar 2016 einreichen –

Nach den erfolgreichen deutschsprachigen NAFEMS Konferenz 2012 und 2014, bei denen jeweils über 100 Fachpräsentationen zu den Themen FEM, CFD, MKS, SDM etc. vorgetragen wurden, möchten wir Sie nun herzlich zur dritten regionalen Konferenz von 25. - 27. April 2016 nach Bamberg einladen.

Es erwarten Sie interessante Keynote-Vorträge aus Industrie, Forschung und Hochschule sowie Beiträge von Anwendern unterschiedlicher Soft- und Hardwareprodukte. Eine große Ausstellung von Hard- und Softwareausstellern begleitet die Konferenz – zuletzt mit über 30 Ausstellern. Mit dieser Konferenz bietet Ihnen NAFEMS eine Plattform, auf der neue Techniken und Tools präsentiert werden sollen und den Teilnehmern die Möglichkeit geboten wird, auf breiter Basis erfolgreiche Anwendungen und Trends mit Spezialisten aus Forschung und im besonderen Maße aus der Industrie zu diskutieren.

Die Teilnahme ist gleichsam offen für NAFEMS Mitglieder und Nichtmitglieder, wobei NAFEMS Mitglieder im Rahmen ihrer Mitgliedschaft gegen vier „NAFEMS seminar credits“ kostenlos teilnehmen.

Gestalten Sie mit - reichen Sie einen Vortrag ein!

Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie durch einen Fachvortrag aktiv an der Gestaltung der Konferenz und damit zum Erfolg beitragen würden. Wir wünschen uns Beiträge, die interessante oder beachtenswerte industrielle Anwendungen, Weiterentwicklungen in der Technologie oder Theorie, zur Sicherung der Ergebnisqualität, zur Verbesserung des Datenmanagements und der Systemintegration sowie zur Verbesserung der Aus- und Weiterbildung auf diesem Gebiet beinhalten.

Beiträge zu folgenden Themenkreisen - jedoch nicht limitiert darauf - werden erwartet:

- Strukturmechanik (Statik, Dynamik, Festigkeit)
 - Mehrkörperdynamik
 - Hochgeschwindigkeitsbelastungen
 - Bauteilverbindungen
- Strömungsmechanik
 - Inkompressible und kompressible Strömungen
 - Mehrphasenströmungen
 - Temperaturberechnungen

- Elektrotechnik (elektromagnetischer Felder, EMV, ...)
- Akustik
- Multiphysik (Co-Simulation, Systemintegration, FSI, ...)
- Materialien (Composites, Nanomaterialien, Modelle, ...)
- Stochastik / Robustheit
- Systems Simulation / Engineering
- Optimierung (Parameter, Form, Topologie)
 - Struktur, Strömung
- Simulation in der Medizintechnik
- Best Practices im CAE-Prozess
 - CAD-CAE-Kopplung
 - Simulationsdatenmanagement (SDM)
 - Verifikation mit Test, Validierung zur Qualitätssicherung
 - Datenformate (STEP, ...)
- Fertigungsprozesse (Urformen, Umformen, Verbinden, ...)
- Aus- und Weiterbildung
- High Performance Computing (HPC)
- Additive Fertigung und 3D-Druck
- ...

Wir freuen uns auf Ihre Teilnahme. Ihr NAFEMS Lenkungsausschuss für Deutschland, Österreich, Schweiz



NAFEMS
GERMANY
CONFERENCE
2016

25. - 27. April
Bamberg

Einreichung von Abstracts

Wir freuen uns auf Ihren 1/2-seitigen, deutschsprachigen Titel + Abstract per e-mail an info@nafems.de bis zum

22. Januar 2016.

Nach Festlegung der Agenda erhalten Sie eine Bestätigung. Für den Tagungsband benötigen wir bis bis 25. März 2016 einen „Extended Abstract“ mit ca. 2 - 4 Seiten in deutscher Sprache. Die Vortragsdauer beträgt voraussichtlich 25 Min. inklusive Diskussion.

Termin

25. April 2016 vorauss. früher Nachmittag
 26.+27. April 2016 vorauss. je ca. 08.30 - 16.00 Uhr

Veranstaltungsort / Hotel

Welcome Kongresshotel Bamberg
 Mußstrasse 7, 96047 Bamberg, Deutschland
www.welcome-hotels.com/de/welcomehotel_bamberg

Stichwort „NAFEMS“.

Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder: 720 Euro
 Vortragende Industrie¹⁾: frei
 NAFEMS-Mitglieder*: frei
 Proceedings, Mittagessen und Pausengetränke sind in den Teilnahmegebühren enthalten.

*** Mitgliedsgebühren für Unternehmen/Institute**

Eine Standard NAFEMS site membership kostet 1.095 Euro pro Jahr. Eine Academic site membership kostet 675 Euro pro Jahr. NAFEMS Mitglieder erhalten sechs seminar credits (1 credit entspricht 1/2 Seminar-/Konferenztag) pro Jahr. Für diese Veranstaltung werden vier credits je Teilnehmer benötigt. Sie können als Mitglied also 1,5 Personen zur Veranstaltung senden – es rechnet sich schnell, Mitglied zu werden. Sollten die seminar credits bereits verwendet worden sein, können NAFEMS Mitglieder zu einem reduzierten Preis teilnehmen: Euro 490,— / Person

Begleitende Ausstellung und Sponsoring

Die Konferenz wird von einer Hard-/Softwareausstellung begleitet. Bitte fordern Sie weitere Informationen an.

Tagungssprache

Deutsch (Vorträge in Einzelfällen auch in Englisch)

Konferenzorganisation

NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH
 Osterham 23, D-83233 Bernau
 Tel. +49 80 51 - 96 59 3 49, Fax +49 80 51 - 96 74 3 37
 e-mail: info@nafems.de

Online-Anmeldung und weitere Informationen

www.nafems.org/dach2016

www.nafems.org/dach2016

Forum „Additive Fertigung“

Auch auf der diesjährigen Regionalen NAFEMS Konferenz wird das Thema „Additive Fertigung“, eine Rolle spielen. Zunehmend werden Anforderungen zu diesem Thema an Berechnungsingenieure gestellt, weshalb wir diesem Thema auch in Bamberg den erforderlichen Rahmen geben möchten. Möglichkeiten, wie Berechnungsingenieure von dieser Technologie profitieren können, sollen ebenso gezeigt werden, wie die Anforderungen, die für die Simulation daraus entstehen.

Das Forum wird folgende Themen beinhalten:

- > Optimierung des Fertigungsprozesses, um mögliche Einflüsse von Wärme, Verzerrung und Restspannungen zu mildern.
- > Vorhersagen, wie der Fertigungsprozess das Materialverhalten beeinflusst.

- > Simulation des Fertigungsprozesses um zu bestimmen, welche Beschränkungen für Geometriefeatures festzulegen sind.
- > Die Nutzung additiver Fertigung für die Visualisierung von Berechnungsergebnissen.
- > Vorhersagen über Bauteileigenschaften in Abhängigkeit von Fertigungsverfahren und Fertigungsparametern.
- > Materialien in der additiven Fertigung und deren Eigenschaften.
- >

Das Forum soll einen Überblick über die Technologie in diesem Bereich vermitteln, Möglichkeiten, Risiken und Herausforderungen darstellen sowie die Möglichkeit bieten, sich über aktuellen Entwicklungen bei Systemherstellern und Anbietern zu informieren und sich auszutauschen.

Medienkooperation:



Kostenloser Download:
www.additive-fertigung.at
 Mehr Informationen
www.x-technik.com

invitation²TENDER



NAFEMS currently has several open invitations to tender, which can be viewed at nafems.org/publication/tender

How to Undertake a Contact and Friction Analysis

Purpose

The Computational Structural Mechanics Working Group (CSM-WG) wishes to commission an update of the existing document "How to Undertake a Contact and Friction Analysis". The original work was issued by NAFEMS in the year 2000. The updated book will form part of the "How to..." series of NAFEMS documents. The Why Do/ How To series of publications is designed to guide both new and experienced analysts. The booklets are written to introduce various analysis methodologies to engineers and engineering managers, in a straightforward and informative manner.

Although the basic principles of contact modelling have not changed since the original book was written, the methods and procedures by which these principles are implemented most certainly has. More sophisticated algorithms combined with increased processing power and massive changes in the amount of memory that are now available has meant that analysis software is now able to automatically deal with complex contact issues and the whole operation is much more transparent to the analyst. This is not to say that modelling contact is now a 'black box' solution, and although the algorithms are much more robust than they used to be, there are still pitfalls and mistakes that can be made that can affect both the accuracy and efficiency of the contact solution.

Suggested Outline Of Required Updates

- Maintain the same basic seven sections as in the original book
- Introduce the topic of contact in explicit methods. When the original book was written, explicit methods of analysis were largely confined to high speed transient dynamics, but nowadays, due to commonly available processing power, explicit methods can be usefully employed in quasi-static analyses and offer considerable advantage in terms of analysis stability and efficiency. (The concept is introduced briefly in section 5.7 in the original book but now requires greater coverage)
- Section 2 is useful background information related to implicit analysis but could now maybe include a brief explanation of the explicit method and how it relates to contact problems.
- Section 3 requires updating. Although much of what it contains is still valid, finite element technology has advanced and the restrictions on using certain element types have been largely overcome. Small sliding approximations can make the analysis more efficient and more friction models are available.
- Section 4 needs to consider the latest approaches for modelling contact. The biggest advance in contact has been the incorporation of all-encompassing general contact algorithms which do not require the analyst to predefine what nodes/edges/surface might come into contact - the software works all this out itself. Contact pairs are still available for surface-to-surface contact although this type of modelling benefits from the use of an un-symmetric solver. Edge-to-edge contact is now much more robust in implicit analysis.
- Section 5 needs a complete refresh incorporating the modern methods of contact analysis. More mention should also be made on using dynamic, implicit methods to aid convergence in difficult contact problems. This used to be a problem area, but nowadays dynamic implicit methods can be used to solve problems that previously could only be tackled by explicit methods. New, updated examples need to be provided.
- Section 6 concluding remarks needs to be updated in line with the main body of the text.
- Section 7 - references will also require updating.

All proposals should be sent to NAFEMS at csm@nafems.org to arrive no later than 1st of January 2016

for full details visit nafems.org/publication/tender



NAFEMS reference library at the click of a button

Subscribe to NAFEMS Corporate e-library and have instant access to over 140 of our acclaimed publications.

The NAFEMS Corporate e-library allows subscribed members to download copies of over 140 acclaimed NAFEMS publications; including the newest releases. Updated regularly, the e-library provides any of the available NAFEMS publications to be downloaded instantly as a PDF – ensuring that the information you need is available when you need it.

By subscribing, companies can create their own NAFEMS reference library - worth over \$19,500. More than 140 publications can be downloaded at any time, by any site covered by the subscription agreement. Conveniently accessed

via the NAFEMS website, there is no limit to how often publications can be downloaded, making subscription a solution for the entire team.

The easy to navigate system ensures it is virtually effortless to find the publication you require and once chosen, your publication is only a download away. There is no easier way for your company to benefit from the wealth of information that NAFEMS has published over the last 30 years.

Find out about subscription today

Contact elibrary@nafems.org
or **+44(0) 1355 225 688**
to discuss your requirements.

www.nafems.org/publications/e-library

Benchmark October 2015

Die internationale NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“ erscheint in der Druckauflage im Oktober 2015.

Folgende Fachbeiträge finden Sie u. s. im Heft:

- Cogan Project Achieves High Impact
- NWC15 Overview
- Democratizing CAE: Simulation Apps offer Potential Hundredfold Growth in CAE Usage
- SimBest
- Benchmark Challenge 2 - The Solution

Download (nur für Mitglieder) und Informationen zum Abonnement finden Sie unter:

www.nafems.org/publications/benchmark



NAFEMS Publikationen auch über NAFEMS GmbH bestellen

NAFEMS bietet für die Literaturbestellung die bequeme Möglichkeit über den Internet-Shop. Leider führt dies in manchen Unternehmen zu Schwierigkeiten, da eine Bestellung im Ausland umfangreichere Freigabeprozesse erfordert. Sollten Sie Probleme damit haben oder sollte es schlichtweg einfacher für Sie sein, können Sie gerne Ihre NAFEMS Literaturbestellung über die NAFEMS GmbH in Deutschland abwickeln. Senden Sie uns einfach Ihre Bestellung mit Nennung entsprechenden Literaturnummern zu. Nach Erhalt der Bestellung senden wir Ihnen eine Rechnung zu. Nach Zahlungseingang wird die Literatur umgehend aus dem Zentrallager in UK an Sie versendet.

www.nafems.org/publications



PSE

Professional Simulation Engineer



A New Standard for Simulation Engineers

Certification

Professional Simulation Engineer



The official launch of the Professional Simulation Engineer Competencies took place at the NAFEMS World Congress 2013. Providing a new standard for simulation engineers, the newly defined competencies incorporate thousands of individual competency statements across twenty-six technical areas and are multi-level in nature to assist simulation engineers at every stage of their career.

To complement the launch of PSE Competencies, NAFEMS announced the introduction of the PSE Competency Tracker, an online system to track and measure competency, and PSE Certification providing independent assessment and verification of competency.

About the PSE Competency Tracker

The PSE Competency Tracker is an online system for tracking and measuring PSE Competencies.

Browsing PSE Competencies

- Access and browse the detailed list of PSE Competencies, sorted by level of competency.

Educational Resources

- Links to educational resources are provided within the PSE Competency Tracker to assist individuals in achieving the competencies. Managers may also wish to use the list of educational resources to improve training and staff development.

More than 400 suggested educational resources are listed including books, articles, codes of practice, etc., that are useful to develop the competencies described in the Tracker.

Measuring & Tracking Competency

Using the online PSE Competency Tracker individuals can plan and monitor their development as a simulation engineer, tracking their competencies as they are achieved. Companies can do the same for their staff, creating a database of the combined simulation skills of their workforce.

The PSE Competency Tracker can be accessed by NAFEMS members at

www.nafems.org/pse/competencytracker.

About PSE Certification

PSE Certification is based on the simple concept that the 'Professional Simulation Engineer' certificate is achieved by an independent assessment of PSE Competencies by NAFEMS. The Certification requires the accumulation of competency in workplace experience in the specification, planning, execution and interpretation of numerical analysis applied to design, simulation or product verification, and adequate performance in executing these functions to a high standard. It also requires competency of an appropriate level of underpinning theoretical knowledge and sufficient product knowledge to enable the analyst to understand the context, purpose and value of his/her analysis work.

A multi-level certification scheme, PSE Certification targets the experienced analyst as well as newcomers to simulation. The experienced simulation engineer is required to present documented and attested evidence of academic and workplace competency to become certified. An appropriately qualified newcomer to simulation is expected to follow a structured training programme under the guidance of a suitably qualified Industrial Mentor.

Apply online for PSE Certification at www.nafems.org/pse.

More Information on page on the following pages.

NAFEMS recently launched Professional Simulation Engineer (PSE) Competencies, creating a new standard for the analysis and simulation industry.

PSE (Professional Simulation Engineer) Competencies define the competencies that a good analysis and simulation engineer should possess. They have been peer-reviewed over several years by NAFEMS technical working groups and external experts to create a new standard of competency for analysis and simulation.

Encompassing twenty-six technical areas, there are more than 1400 individual competency statements to:

- enable a clear assessment of an individual's competency level
- carefully encompass important aspects of each technical area
- aid personal development

PSE Competencies are for simulation engineers at every level – from those new to the field to those with several years of experience and can be achieved through on-the-job learning as well as training courses and formal post-graduate courses.

PSE Modules include:

- Core Finite Element Analysis
- Mechanics, Elasticity and Strength of Materials
- Materials for Analysis and Simulation
- Fatigue
- Flaw Assessment and Fracture Mechanics
- Nonlinear Geometric Effects and Contact
- Beams, Membranes, Plates and Shells
- Dynamics and Vibration
- Optimisation
- Plasticity
- Core Computational Fluid Dynamics
- Thermo-Mechanical Behaviour
- Management General
- Verification and Validation
- PLM Integration and CAD-CAE Collaboration
- Simulation Process & Data Management
- Buckling and Instability
- Multi-physics Analysis
- Composite Materials and Structures
- Fundamentals of Flow, Porous Media, Heat Transfer
- Creep and Time-Dependency
- Multi-Scale Analysis
- Probabilistic Analysis
- Noise, Acoustics and Vibro-Acoustics
- Electromagnetics
- Multi-body Dynamics



PSE Competencies are for simulation engineers at every level – from those new to the field to those with several years of experience. Specific to engineering analysis and simulation, PSE Competencies are not specific to any particular software package – creating a benchmark of competency for all simulation engineers.

PSE Competencies can be browsed, tracked and managed using the PSE Competency Tracker.

Independent recognition of PSE competencies can be achieved with PSE Certification.



The PSE Competency Tracker is an online system for tracking and measuring Professional Simulation Engineer competencies. The PSE Competency Tracker allows users to browse the PSE Competencies online and amend their competency record throughout their career.

Companies can use the PSE Competency Tracker to track and manage the competencies of their individual staff and pooled workforce.

There are three main functions of the PSE Competency Tracker:

Access PSE Competencies

Access and browse the detailed list of PSE Competencies, sorted by level of competency.

Browse Educational Resources

Links to educational resources are provided within the PSE Competency Tracker to assist individuals in achieving the competencies. Managers may also wish to use the list of educational resources to improve training and staff development.

More than 400 suggested educational resources are listed including books, articles, codes of practice, etc., that are useful to develop the competencies described in the Tracker. For each resource the corresponding list of competencies is provided.

Measure & Track Competency

A key feature of the PSE Competency Tracker is the ability to easily track and manage the PSE competencies of individuals and pooled workforces.

The PSE Competency Tracker web based system allows the skills that are developed by individuals to be tracked and logged. This can then be used:

- by individuals to plan and monitor their career development as a simulation engineer
- by companies to do the same for their staff and to keep a database of the combined simulation skills of their workforce

Key Features

For Individual Analysis & Simulation Engineers...

- Access and browse the detailed list of competencies, sorted by level of competency
- Identify relevant educational resources
- Measure current competency and generate a detailed personal report identifying areas for development
- Track progress throughout career*
- Export a PDF report to support your PSE Certification application

For Team Managers...

- Identify staff possessing specific competencies
- Identify gaps in competency and training requirements
- Assemble an ideal project team with what-if analysis*

For Technical Leaders & Human Resource Managers...

- Define competency profiles for specific job roles*
- Define competency objectives*
- Track staff progress
- Identify training and recruitment needs
- Assist with workforce and succession planning

Benefits

For Individuals....

- Identify competencies relevant to your work
- Clearly evaluate personal competency level
- Identify relevant educational resources
- Identify relevant codes of practice
- Plan and achieve PSE Certification
- Reach your professional objectives

For Companies....

- Identify competencies which are relevant to your organisation
- Demonstrate a commitment to excellence internally and to external partners
- Maintain a high level of motivation of technical staff
- Identify and retain key technical resources
- Improved staff development
- Improved recruitment and succession planning
- Increased quality, efficiency and reduced risk



PSE (Professional Simulation Engineer) Certification allows engineers and analysts to gain recognition for the accumulation of PSE Competencies.

Independently assessed by NAFEMS, the international association of the engineering analysis, modelling and simulation community, the certification enables individuals to gain recognition for their level of competency and experience as well as enabling industry to identify suitable and qualified personnel.

The Certification incorporates an extensive range of competencies across various analysis types. It is multi-level, supporting the philosophy of lifelong learning and continuous professional development. PSE Certification is suitable for both experienced engineers/analysts and those in the early stages of their professional career.

Providing a standard of competency for the international simulation community, successful applicants receive recognition as a Professional Simulation Engineer (PSE) at Entry, Standard or Advanced Level. As competencies are developed, PSEs will advance to the next level.

PSE Certification Standard

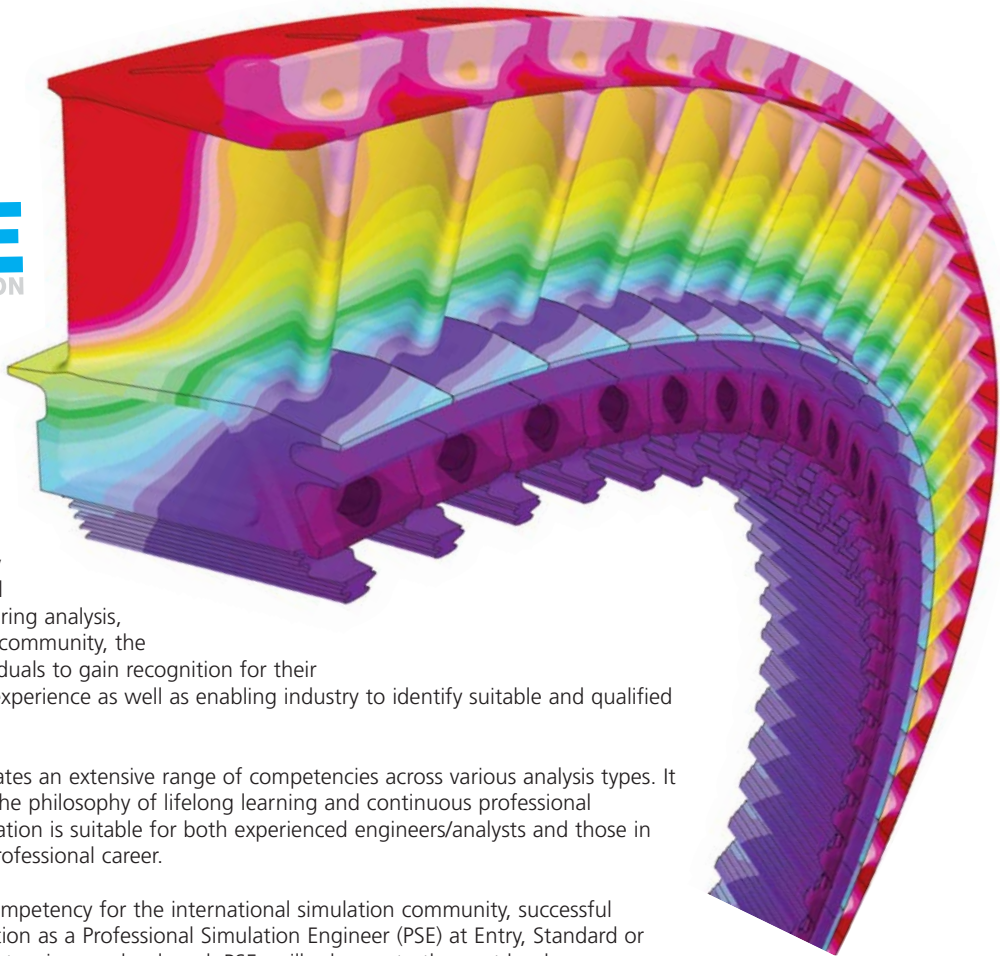
PSE Certification is based on the simple concept that the 'Professional Simulation Engineer' certificate is achieved by an independent assessment of workplace competency.

The Certification requires the accumulation of competency in workplace experience in the specification, planning, execution and interpretation of numerical analysis applied to design, simulation or product verification, and adequate performance in executing these functions to a high standard. It also requires competency of an appropriate level of underpinning theoretical knowledge and sufficient product knowledge to enable the analyst to understand the context, purpose and value of his/her analysis work.

PSE Certification targets both the experienced analyst and the newcomer to simulation. The experienced simulation engineer is required to present documented and attested evidence of academic and workplace competency to become certified. An appropriately qualified newcomer to simulation is expected to follow a structured training programme under the guidance of a suitably qualified Industrial Mentor.

PSE Certification has been designed to:

- Recognise and record achievement by award of a formal certification following an independent assessment of workplace competency
- Assist companies in demonstrating the competency of staff to external organisations
- Promote best practice in engineering analysis
- Increase the pool of competent engineering analysts, thereby enhancing the competitiveness of industry
- Provide an international standard of competency for the international simulation community



Certification Levels

Applicants can gain certification in any number of technical areas.

For each technical area, competency can be claimed at one of the following levels:

Entry Level

- Employs available software tools in an effective manner.
- Able to work in a supervised capacity when provided with clear guidelines.
- Doesn't take on general tasks without supervision.
- Typically applies to trainees and/or technician level staff working under the supervision of a person(s) with appropriate competence who will sign off the results.

Standard Level

- Has sufficient knowledge and comprehension of theory to employ available software tools in a safe and effective manner.
- Able to work in an independent manner without supervision.
- Conducts appropriate checks on results.
- Plans analysis strategies and validation studies.
- Is aware of their own limitations when faced with new or novel problems.
- Observes professional practices.

Advanced Level

- Can take on a range of complex, novel tasks without supervision.
- Able to use skills and expertise to mentor others.
- Provides effective advice and guidance.
- Acknowledged as an expert.

Benefits

Professional Simulation Engineer Certification records, verifies and independently assesses an analysis and simulation engineer's skills and competency. This makes the qualification extremely beneficial for both individuals and companies.

Benefits for Individuals...

For individuals some of the benefits of PSE certification include:

- Achievement of distinctive and internationally recognised qualification
- A clear path for career and skill progression
- Increased value to current and future employers
- Enhanced analytical skills
- Increased confidence
- Improved self-motivation

Benefits for Companies...

There are also a number of benefits for companies whose analysts are certified PSEs (Professional Simulation Engineers). These benefits include:

- A clear way to demonstrate the company's commitment to quality standards
- A formal record of employee competency and training satisfying the requirements of ISO 9001
- Easier recruitment of high calibre staff
- Reduced risks when employing consultants and subcontractors whose staff are Professional Simulation Engineers (PSEs)
- Increased employee motivation
- Creating and maintaining competitive edge

who should apply?

PSE certification is designed for individuals who fit one or more of the following the criteria:

- Designers and engineers who carry out simulation to investigate product performance.
- Simulation engineers and engineering analysts.
- Engineers who are design signatories.
- Engineers who approve numerical analysis.

The certification is appropriate for analysts/simulation engineers at any point in their career. As the qualification is multi-level, it is suitable for experienced analysts and those who are newcomers to analysis.



Membership to suit you

NAFEMS offers several membership options to suit all of those within the engineering analysis community:

Site membership

A full range of benefits for larger corporations based at one location

NAFEMS site membership provides multiple benefits to your analysis team, including:

- A publication library including your chosen NAFEMS textbooks, reports, how-to guides and benchmarks
- Copies of all new publications as and when they are produced
- Places at a choice of seminars, held regularly and internationally each year
- Benchmark magazine subscription
- Heavily discounted seminars, training courses, e-learning courses and conferences
- Access to members area of the NAFEMS website which gives access to technical papers, seminar proceedings and more
- Networking opportunities with more than 1000 member companies
- Unrivalled exposure of your company within the engineering analysis arena

Corporate membership

Tailored membership for large companies with multiple locations

The very nature of analysis and simulation is constantly changing as companies expand globally to meet the needs of an exponentially growing user base. Multinational corporations are at the forefront of analysis technology, and require much more from NAFEMS than standard benefits for one location.

In response to this, NAFEMS has developed a corporate membership model, aimed specifically at large multinational companies who need to share the benefits of membership over many physical locations.

Corporate Membership is tailored specifically to meet the needs of your company. This allows you to create your own NAFEMS membership which gives your company the benefits you need.

Small company membership

Cost-effective membership for small to medium sized enterprises

NAFEMS recognises that being a small company has its own unique set of circumstances. This is why we can offer a cost-effective option for smaller companies with a limited budget.

Small Company Membership is tailored to the specific needs of small to medium sized enterprises, and can also be appropriate in areas without a NAFEMS Regional Group.

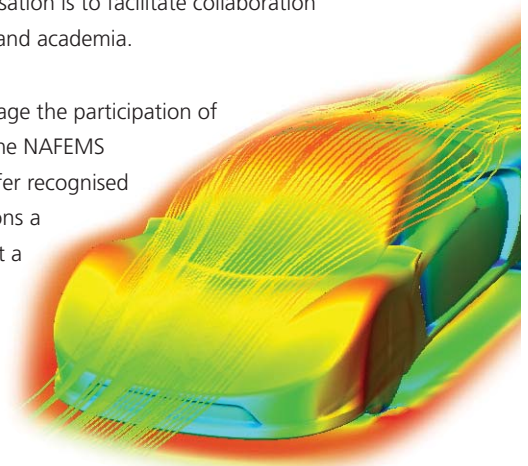
Academic membership

Offering the benefits of site membership to recognised academic institutions

NAFEMS has always worked extremely closely with the academic arena since its formation and one of the key roles of the organisation is to facilitate collaboration between industry and academia.

In order to encourage the participation of academia within the NAFEMS community, we offer recognised academic institutions a site membership at a reduced rate.

www.nafems.org/involved



ALTAIR ENGINEERING

650 Simulations- und Entwicklungsexperten bei der Altair Technology Conference

Altair gab bekannt, dass die 8. europäische Altair Technology Conference (ATC), die vom 29. September - 1. Oktober 2015 in der „Cité de la Musique“, in Paris, Frankreich stattfand, 650 Ingenieure und Simulationsexperten zusammengebracht hat, um neueste Entwicklungen und Trends im Bereich Simulation und Entwicklung zu diskutieren. Mit mehr als 100 Präsentationen, einer umfangreichen Ausstellung und dezidierten Neuigkeiten zu Altair, seinen Produkten und Partnern, bot die Konferenz die ideale Plattform, um Kontakte zu knüpfen und zu pflegen, zu lernen und Erfahrungen auszutauschen.

Partnerschaft mit Cedrem

Altair hat bekannt gegeben, dass das Centre d'Expertise en Dynamique Rapide, Explosion et Multiphysique, SAS (Cedrem) der Altair Partner Alliance (APA) beigetreten ist. Dadurch ist nun auch die Cedrem Produktfamilie KTEX, mit ihren integrierten numerischen Werkzeugen für Verbundwerkstoffe, über die APA verfügbar.

Software zur Platzierung von Dehnungsmessstreifen

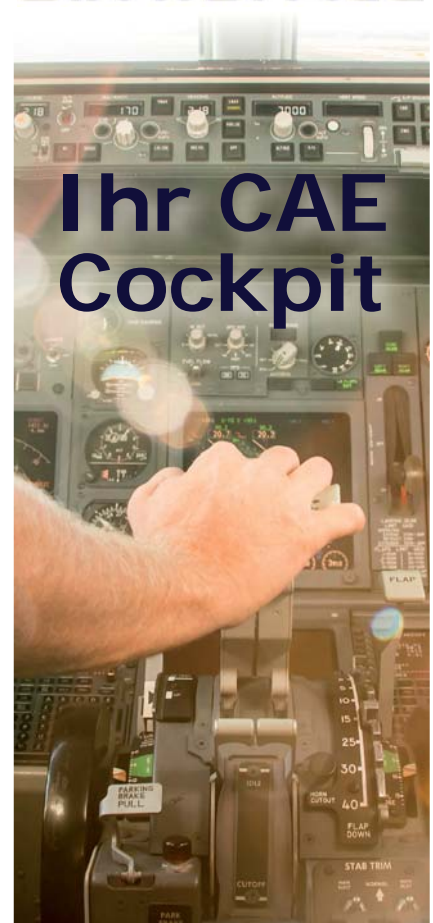
Altair hat angekündigt, dass LW Engineering Software AB der Altair Partner Alliance (APA) beigetreten ist und LW Finder, eine Software zur genauen und kontrollierten Platzierung von Dehnungsmessstreifen zur Messung von Strukturlasten, dem Softwareportfolio der APA hinzugefügt hat. Mit der Software LW Finder können die besten Positionen für die Platzierung von Dehnungsmessstreifen bei der Messung von Strukturlasten identifiziert werden. Durch die ideale Positionierung der Dehnungsmessstreifen können Messfehler minimiert werden. Dies gilt auch für Anwendungen bei komplexen Strukturen, die mehreren Lastfällen ausgesetzt sind. Durch diese im Voraus verfügbare Information erhalten die Anwender qualitativ höherwertige Lastdaten und müssen

die Tests weniger oft wiederholen. So lassen sich Zeit und Geld sparen und Risiken besser steuern, was dabei hilft, den Zeitplan der Projekte einzuhalten. Mit LW Finder kann der Anwender darüber hinaus nichtlineares Verhalten kompensieren und die Anwendung so konfigurieren, dass die Eigenschaften individueller Versuchsaufbauten mit Dehnungsmessstreifen berücksichtigt werden können. Die Software ermöglicht die Priorisierung von Lastfällen, die erforderlich sind, um Fehler zu minimieren und wählt die Positionen der Messstreifen entsprechend aus. Der LW Finder wird überwiegend im Automobil- und Schwermaschinenbereich eingesetzt, um den Ingenieuren und Technikern zu helfen, die physikalischen Tests mit den erforderlichen Messungen über Dehnungsmessstreifen vorzubereiten. Die Software wird meist bei Strukturen eingesetzt, bei denen man von einem relativ linearen Zusammenhang zwischen Last und gemessener Dehnung ausgeht. Die Software ist mit dem Modul „Extra Errors“ auch für komplexere Aufgabenstellungen, wie nichtlineare Effekte (z. B. plastische Deformationen), geeignet.

Altair übernimmt Click2Cast

Altair hat die Übernahme von Click2Cast, inklusive aller Click2Cast Technologien und Mitarbeiter, angekündigt. Durch diese Übernahme wird Altair nun auch mit einer Niederlassung in Barcelona, Spanien vertreten sein, wo Click2Cast seinen Hauptsitz hat. Die Click2Cast-Technologie erweitert die Altair Produktsuite um eine einfache und schnelle Gussimulationstechnologie. Click2Cast wird sowohl im Bereich Design als auch im Engineering-Umfeld eingesetzt und wird den Kunden zukünftig über Altairs Geschäftsbereiche solidThinking und HyperWorks zur Verfügung stehen. Die Technologie ist für HyperWorks Nutzer bereits seit 2013 über die Altair Partner Alliance verfügbar. Click2Cast bietet die einfachste, im Markt verfügbare Gussprozesssimulation in einer innovativen und anwenderfreundlichen Benutzeroberfläche. Die Software erfordert

SIMuSPACE



**Kontrolle über
Prozesse, Ressourcen
und Daten**

**Das flexible
CAE-Management-
System für den
Mittelstand**

Professional CAE Solutions
powered by



www.isko-engineers.de
Fon: +49 89 37062-0

kein spezielles Training und setzt keinen ausgeprägten technischen Hintergrund der Anwender voraus. Es handelt sich um ein sehr effektives und leistungsstarkes Designwerkzeug, das in vielen Industriebereichen Anwendung findet.

„Wir freuen uns sehr, dass unsere Zusammenarbeit mit Altair durch diese Übernahme nun noch enger und Click2Cast zum festen Bestandteil von Altairs Softwareangebot wird“, sagte Martin Solina, Geschäftsführer bei Click2Cast. „Die neue Vereinbarung wird es uns ermöglichen, unseren Endkunden, die sich auf das Design und die Produktion verifizierter Gussbauteile konzentrieren, noch mehr Leistung und technologische Vorteile in einer Lösung zu bieten. Wir freuen uns auf die Integration von Click2Cast in Altairs branchenführendes Softwareportfolio.“

„Wir freuen uns, dieses dynamische Team und die im Bereich Gussimulation branchenführende Software bei Altair aufzunehmen. Wir werden das Fachwissen und die Technologien nutzen, um neue Lösungen für den Aufbau innovativer Strukturen zu entwickeln, die sowohl hinsichtlich Leistung als auch bezüglich fertigungstechnischer Machbarkeit optimiert sind“, sagte James R. Scapa, Founder, Chairman und CEO von Altair.

Altair und Airbus Group unterzeichnen Vereinbarung

Altair gab bekannt, dass das Unternehmen eine Vereinbarung mit der Airbus Gruppe abgeschlossen hat, unter der die Konstrukteure und Ingenieure der Unternehmensbereiche Airbus, Airbus Helicopters und Airbus Defence & Space sowie aller anderen Unternehmen, an denen die Airbus Group mit mehr als 50% Stimmrecht beteiligt ist, Zugriff auf das gesamte Altair Software Portfolio, inklusive der HyperWorks CAE Suite mit den Lösungen für Modellierung, Visualisierung, Optimierung und Berechnung, erhalten. Die neue Vereinbarung folgt einer früheren strategischen Entscheidung von Airbus für OptiStruct, Altairs Strukturanalyse- und Optimierungslösung. Airbus setzt OptiStruct seit Jahren

erfolgreich in vielen Programmen ein, um die Leistung und das Gewicht von Flugzeugstrukturen zu optimieren, so z. B. im A350 XWB Programm. Im Rahmen der Vereinbarung erhalten die Airbus Ingenieure einen flexiblen Zugriff auf Altairs CAE Suite HyperWorks, PBS Works, für High-Performance Computing (HPC), und solidThinking, die Designsoftware Lösungen, die die Entwicklung von leichteren und leistungsfähigeren Flugzeugstrukturen ermöglichen.

Altair erweitert um FluidDyna

Altair gab bekannt gegeben, dass FluidDyna der Altair Partner Alliance (APA) beigetreten ist und damit die Werkzeuge nanoFluidX und ultraFluidX zum bestehenden Softwareportfolio hinzugefügt hat. Beide Softwaretools bieten HyperWorks Kunden einzigartige Möglichkeiten. nanoFluidX basiert auf einer partikelbasierenden Methode für die Strömungssimulation von Flüssigkeiten und ultraFluidX wendet das Lattice-Boltzmann-Verfahren zur Untersuchung externer Aerodynamik an. Beide Technologien nutzen Grafikprozessoren (GPU) für die schnelle Berechnung großer Modelle.

Brüel & Kjaer tritt der Altair Partner Alliance bei

Altair gab bekannt gegeben, dass Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S der Altair Partner Alliance (APA) beigetreten ist und seine Noise, Vibration und Harshness (NVH) Software, Insight+, nun über die APA den HyperWorks Kunden zur Verfügung stellt. Insight+ ermöglicht die gleichzeitige Berücksichtigung von Versuchs- und Computer-Aided Engineering (CAE) Daten und verhilft den Ingenieuren bereits früh im Designprozess zu einem besseren Verständnis der Auswirkungen von NVH.

www.altair.de

ANSYS

Ansysis übernimmt Delcross

Ansysis hat die Firma Delcross Technologies, einen führenden Entwickler von Software für rechnergestützte elektromagnetische Simulation und Analyse von HF-Systemen, übernommen. „Durch die Übernahme erhalten die Kunden von Ansys die Möglichkeit, zu untersuchen, wie Antennen in ihren Betriebsumgebungen interagieren und wie dieses Verhalten die Fähigkeit des Systems zum störungsfreien Senden und Empfangen von Daten insgesamt beeinflusst. Ansys wird die branchenführende Technologie von Delcross für einen größeren Markt zugänglich machen und die Führungsposition bei Lösungen für Antennendesign, Leistungsoptimierung von Wireless-Systemen und EMI-Vorhersage weiter stärken“, betont Dr.-Ing. Georg Scheuerer, Geschäftsführer von Ansys Germany. „Die kombinierte Hochfrequenz-Lösung von Ansys wird ein beispielloses Portfolio für die Entwicklung von Wireless-Systemen darstellen. Wenn wir dieses erweiterte Elektronik-Angebot mit unseren erstklassigen Struktur- und Strömungslösungen verbinden, können unsere Anwender vollständigere virtuelle Prototypen kompletter Systeme erzeugen.“

Im Zuge der Entwicklung des Internet der Dinge werden Antennen heute in immer mehr Branchen und Produkten verwendet. Autonome Fahrzeuge, intelligente Stromzähler, Drohnen, Biosensoren und Wearable-Elektronik sind nur einige Beispiele für Produkte, die heute eine oder mehrere Antennen verwenden, um Dienste wie Sprach- und Datenübertragung, Erkennung und Navigation zu realisieren. Jedoch können diese Antennen und andere elektronische Bauteile den Betrieb von Geräten stören. Dieser Effekt ist als elektromagnetische Störung (EMI) bekannt. Die Softwarelösungen von Delcross erkennen EMI-Probleme und tragen dazu bei, diese zu vermeiden. Die dabei verwendete Solver-Technik basiert auf der SBR (Shooting and Bouncing Rays) -Methode,

welche die bisher bekannte Physical Optics-Methode um Mehrfachreflexionen erweitert und dadurch eine genauere Beschreibung von Wechselwirkungen – zum Beispiel zwischen Antennen und Reflektoren – ermöglicht. Damit ist dieser Ansatz sehr gut geeignet, die Wellenübertragung auch in einer komplexen, reflektierenden Umgebung wie Schiffskörper, Gebäuden oder für Situationen im Straßenverkehr zu beschreiben.

Die neu hinzugekommene SBR Solver Technik lässt sich mit bestehenden elektromagnetischen Lösungen aus dem Programm Ansys-HFSS koppeln, was eine effiziente Berechnung komplexer Übertragungsszenarien mit hoher Genauigkeit erlaubt.

„Die Übernahme von Delcross eröffnet uns neue Systemchancen und positioniert Ansys noch besser, um die Simulationsanforderungen wichtiger Anwendungen zu erfüllen“, fasst Dr.-Ing. Georg Scheuerer zusammen. „Die Kombination von

Ansys und Delcross liefert leistungsstarke Lösungen für das Design von Wireless-Systemen der nächsten Generation.“

Ansys für neueste Chip-technologie zertifiziert

Durch die Zertifizierung von Ansys-Lösungen können Kunden von TSMC und Ansys Innovationen für die nächste Generation von elektronischen Geräten realisieren – von Smartphones bis zu Wearable-Technologien. Diese Zertifizierung ermöglicht es den Kunden, ihre innovativen Produkte noch schneller auf den Markt zu bringen und gleichzeitig die Kosten und Risiken der Designs zu minimieren.

Die heutigen modernen Elektronikprodukte werden für Märkte entwickelt, die minimalen Stromverbrauch sowie hohe Leistung und Zuverlässigkeit verlangen. Dies wird gewöhnlich dadurch erreicht, dass man mehrere Funktionen in einen Systemchip (System on a Chip, SoC) integriert. Die Entwicklung

eines SoC erfordert immer mehr Zeit- und Ressourcenaufwand, da die Halbleitertechnik immer stärker miniaturisiert wird. Die TSMC-Zertifizierung gewährleistet die erforderliche Genauigkeit und einen erprobten Designprozess für Kunden. Auf diese Weise wird das Risiko beim SoC-Design erheblich reduziert, so dass innovative neue Geräte für die Kunden kostengünstiger realisiert werden können.

Die Zertifizierung der Ansys-Lösungen RedHawk und Totem durch TSMC für seinen 10 nm FinFET-Chip ermöglicht es den Entwicklern, die Anforderungen an Power-Integrität und Zuverlässigkeit für Chip-Anwendungen zu erfüllen. Die Zertifizierung basiert auf der aktuellsten Version der 10 nm Halbleiter-Prozesstechnologie Version 0.9 von TSMC. Die Zertifizierung und der Referenz-Flow von TSMC bietet statische und dynamische Spannungsabfallanalyse und neueste Signal- und Power-Elektromigrationsverifikation zur

WELTNEUHEIT fast schon gratis!*

MBD for ANSYS

Mehrkörpersimulation

Powered by RECURDYN

*Promotionaktion endet am 31.12.2015

www.functionbay.de mbd4ansys_info@recurdyn.de

Erfüllung der 10-nm-Anforderungen von TSMC. Hierdurch können die Anwender die nächste Generation von SoC-Designs für Anwendungen wie in neuen Mobil-, Rechner- und Netzwerkanwendungen realisieren.

www.ansys-germany.com

ARAS SOFTWARE

Aras erweitert interdisziplinäre PLM-Funktionalität von Aras Innovator für komplexe Produkte

Aras stellt zusammen mit Altium, Weltmarktführer für Electronic Design Automation, einen neuen Ansatz der Systementwicklung vor: Ingenieure komplexer Produkte können jetzt direkt aus Aras Innovator auf Altium PCB-Designdaten zugreifen. Aras verbessert so die Zusammenarbeit der Fachbereiche Elektrik, Mechanik und Software, wodurch Ingenieure in der Lage sind, den Produktlebenszyklus von der Anforderung über Design, Herstellung und Service effizienter zu gestalten.

Aras Quality Management System integriert Qualitätsplanung in PLM

Aras hat das Aras Quality Management System für Aras Innovator veröffentlicht. Die umfassende Lösung ermöglicht es, die Qualitätsplanung zu verwalten. Dadurch sinkt das Risiko von Problemen mit Produkten und Prozessen. Außerdem ist es einfacher, bestehende Vorschriften einzuhalten und Kundenanforderungen zu erfüllen. Aras Quality Management schließt die Lücke, die in den meisten Qualitätsplanungsprozessen besteht: Die Anwendung integriert die Qualitätsplanung in die Produktentwicklung und die geschäftskritischen Prozesse im Unternehmen sowie in der Zulieferkette.

Über 450 Millionen Elektronikkomponenten in PLM Workflow

Aras verkündet, dass die neueste Version von Aras Component Engineering ab sofort allgemein verfügbar ist. Sie beinhaltet direkten Zugriff auf die Elektronikkomponen-

ten-Datenbank IHS CAPS Universe und schafft innerhalb von Aras Innovator einen integrierten PLM Workflow. Dabei handelt es sich um die derzeit einzige Lösung, die Komponentendaten von mehr als 4.000 weltweiten Anbietern umfasst. Aras ermöglicht so, dass Ingenieure aus Entwicklung und Beschaffung von der Konstruktionsphase über Fertigung und Service hinweg die passenden Komponenten und Zulieferer suchen, finden und miteinander vergleichen können. Die Anwendung unterstützt einen Ansatz zur Systementwicklung, indem sie eine einheitliche Plattform für die Integration elektronischer Teile in komplexe Produkte anbietet, die auch mechanische und Embedded-Softwarekomponenten umfasst.

www.aras.com

BETA CAE

Neue Releases verfügbar

Beta CAE gab die Veröffentlichung der Releases ANSA/ETIlysis / μ ETA v16.0.1, SPDRM v1.1.2 und ANSA & μ ETA v15.3.2 bekannt.

www.beta-cae.gr

CADFEM

Kostenlose Ansys Version für Studium und Weiterbildung

Für alle, die die numerische Simulation während des Studiums oder zur persönlichen Weiterbildung kennenlernen und selbst ausprobieren wollen, empfiehlt die Cadfem GmbH die kostenlose Software Ansys Student. Der Funktionsumfang entspricht weitgehend der mechanischen, strömungsmechanischen und thermischen Funktionalität von Ansys Workbench, wie sie in einem kommerziellen Ansys Programmpaket zur Verfügung steht. Nach dem kostenlosen und anonymen Download und der Installation („laden“) von Ansys Student ist das im Carl Hanser-Verlag erschienene „Praxisbuch FEM mit Ansys Workbench“ („lesen“) mit seinen vielen Übungsbeispielen der ideale Begleiter für

die Einarbeitung in Ansys. Hilfreiche Informationen zu der Simulationssoftware sind auch auf der Cadfem Facebook-Seite zu finden oder im Cadfem YouTube Kanal, der viele Ansys Tutorials enthält. Weitere Hinweise bietet das Ansys Forum auf der Website cad.de oder das CAE-Wiki (www.cae-wiki.com) mit vielen Hintergrundinformationen zur numerischen Simulation („liken“). Abgerundet wird das Cadfem Zusatzangebot für Ansys Einsteiger durch eine kostenlose Online-Sprechstunde zu Ansys Student, bei der einmal im Monat individuelle Fragen beantwortet werden („lernen“). Weitere Informationen unter: www.cadfem.de/ansys-student

www.cadfem.de

CD-ADAPCO

Trauer um President und CEO Steve MacDonald

CD-adapco gab mit großer Trauer das Ableben seines President, CEO und Mitbegründers Peter „Steve“ MacDonald bekannt. MacDonald verstarb am Mittwochabend, dem 2. September 2015. Während seiner 35 Jahre in der Firmenleitung verfolgte MacDonald stets mit Leidenschaft seine Vision einer „kompromisslosen“ Entwicklung technischer Simulationslösungen für anwendungsnahe und praxisorientierte Produkte und Prozesse. Bei der Verwirklichung dieser Vision standen für MacDonald die Umsetzung der Zielsetzung der Kunden und die funktionale Weiterentwicklung der Softwareprodukte von CD-adapco bis an die Grenzen des Möglichen stets an erster Stelle. Dank seines großen Talents, stets die besten und klügsten Ingenieure einzustellen, besitzt CD-adapco die erforderlichen Fachkräfte, um seine führende Position in der Branche und seine solide weltweite Support-Infrastruktur aufrechtzuerhalten. Obgleich das Unternehmen um Steve MacDonald trauert, ist sein Vermächtnis lebendig: in einem gesunden Unternehmen mit talentierten und motivierten Mitarbeitern, die seine

Vision und sein kundenorientiertes Geschäftsmodell weiterführen werden. Sharron L. MacDonald tritt als Interim President und CEO von CD-adapco weltweit die Nachfolge von Steve MacDonald an.

www.cd-adapco.com

CPU 24/7

Neuste Prozessorgeneration integriert

CPU 24/7 hat mit der Integration des Intel Xeon Prozessors E5-2690 v3 die nächste Stufe auf dem Weg zur maximal erreichbaren Rechnerleistung genommen. Nach Gordon Moore („Moore’s Law“ aus dem Jahr 1965) werden bis 2020 die physi-

kalischen und finanziellen Grenzen der Prozessor-Technik erreicht sein. Dies gilt es bis dahin zu widerlegen. Die rasante Prozessorentwicklung allerdings rüttelt stark an der Gültigkeit der These Moore’s, nach der sich die Anzahl von Schaltkreiskomponenten integrierter Schaltkreise mit minimalen Komponentenkosten regelmäßig -je nach Quelle alle 12 bis 24 Monaten- verdoppelt.

Entwicklungen in der IT sind heute schnelllebigere denn je. Als HPC-Anbieter für numerische Simulationen muss die CPU 24/7 GmbH ihren Kunden immer optimale Rechnerperformance bieten: Zum einen zur Erhaltung der eigenen Wettbewerbsfähigkeit und zum anderen um Rechenergebnisse so kosten- und zeiteffizient sowie ressourcenschon-

end wie möglich einzusetzen. Die Weiterentwicklung des IntelXeon Prozessor E5-2690 v2 zur nächsten Intel Xeon Prozessor E5-2690 v3 betrug nicht einmal mehr anderthalb Jahre. Mit diese aktuellsten Generation beschleunigt der HPC-On-Demand-Anbieter CPU 24/7 seine Rechnerleistungen und bietet seinen Kunden ab sofort nahezu halbierte Berechnungszeiten.

Daniel Gülzow, Projektmanager bei CPU 24/7 sagt: „Den entscheidenden Kostenblock in der Bereitstellung hochperformanter Rechnerleistung bilden heute Investitions- und Folgekosten für die Hardware. Um immer auf dem aktuellsten technologischen Stand zu sein, muss ein HPC-Dienstleister wie wir, auch im-



Alle x-technik
Fachmagazine und
Ausgaben in einer App

Neu und kostenlos für iOS und Android,
Smartphones und Tablets.



Jetzt downloaden auf

www.x-technik.com/app oder QR-Code scannen



iOS ist eine Marke von Cisco, die in den USA und weiteren Ländern eingetragen ist. Apple, das Apple Logo, iPad und iPhone sind Marken der Apple Inc., die in den USA und weiteren Ländern eingetragen sind. App Store ist eine Dienstleistungsmarke der Apple Inc. Android und Google Play sind eingetragene Marken von Google Inc.



x-technik IT & Medien GmbH, Schöneringer Straße 48, A-4073 Wilhering,
Tel. +43 7226-20569, Fax +43 7226-20569-20, magazin@x-technik.com, www.x-technik.com

mer die neusten Entwicklungen diesbezüglich verfolgen und letztlich für seine Kunden vorhalten. Hierhin liegt einer der vielen Vorteile eines Bare-Metal-HPC- Cloud-Anbieters im Vergleich zur Inhouse-Lösung. Wir sind in der Lage unseren Kunden – ohne Aufpreis – immer die neuste Hardware anzubieten und dabei ihre Projektkosten zu senken“.

www.cpu-24-7.com

GRANTA DESIGN

CES Selector 2016 veröffentlicht
Granta Design hat die Veröffentlichung von CES Selector TM 2016 bekannt gegeben. Die Software umfasst ein innovatives Werkzeug, mit dem die Auswirkungen von Material- und Prozessentscheidungen auf die Produktkosten berücksichtigt werden können, zusätzliche umfangreiche Werkstoffdatensätze und weitere interessante und informative Diagramme zur Unterstützung der Anwender bei Analysen und Präsentationen. CES Selector ist eine PC-basierende Software, die von Werkstoffexperten und Entwicklungsteams eingesetzt wird, um bessere Materialentscheidungen zu treffen und somit Produkte zu verbessern, Kosten zu senken und Risiken zu minimieren.

www.grantadesign.com

HBM

Neue Version HBM nCode 11.1

HBM freut sich Ihnen mitteilen zu können, dass nCode 11.1 veröffentlicht wurde und nun zum Download bereitsteht. Bestehende nCode-Kunden können nCode 11.1 direkt unter nCode Support herunterladen. Diese neue Version konzentriert sich auf optimierte Funktionalitäten und erweiterte Leistungen bei Vibrationserregungen und Datenbereinigung. Außerdem bietet sie neue Möglichkeiten durch Hilbert-Analyse, Cepstrum-Analyse, Kalman-Filter und Wavelet-Denoising.

www.hbmncode.com

INDUSTRIAL DYNAMICS SWEDEN AB

Reibungskoeffizienten in Echtzeit messen

Für tribologische Untersuchungen unterschiedlichster Art setzen inzwischen viele Anwender das 2D-Echtzeitmesssystem 'ForceBoard' ein. Zu den Kunden des in Schweden beheimateten Herstellers zählen international bekannte Marken wie Boeing, Ford, Honda, Scania, 3M und ebenso zahlreiche Universitäten. "Prominentester Kunde ist seit kurzem auch die Firma Apple (USA), worüber wir uns natürlich sehr freuen.", sagt Marcus Helgesson, Geschäftsführer und Gründer von Industrial Dynamics AB. 'ForceBoard' misst statische und dynamische Kenngrößen für Reibung, Haftung, Zug, Druck, Biegung und Momente simultan in 2 Dimensionen und dies in Echtzeit. "So können z.B. Reibungskoeffizienten von Materialpaarungen sofort bestimmt werden – ein Vorteil für Konstrukteure und FEM Spezialisten mit echten Werten rechnen zu können", so Helgesson und ergänzt: "Dank des 'ForceBoard' haben z.B. Ingenieure beim Autohersteller Ford ein noch besseres Verständnis für Materialkombinationen bekommen und konnten dadurch Bauteile gezielt optimieren". Das Messsystem ist bewusst modular konzipiert und damit skalierbar: So kann der Anwender mit dem eigentlichen Kernstück, dem 'ForceBoard', beginnen und Erweiterungen sukzessive vornehmen. "Dabei kann die Skalierung bis hin zum Ausbau einer kompletten 'Pin-On-Disc' Meßeinrichtung gehen", betont Helgesson. Seit September 2015 ist Industrial Dynamics auch näher vor Ort präsent. Von der eigenen Niederlassung in Berlin werden jetzt Interessenten in Deutschland, Österreich und der Schweiz direkt betreut.

www.forceboard.com

INSTAL

Instal-News erschienen

Die neue Ausgabe 10/2015 des Instal Newsletters ist soeben erschienen.

www.instal-online.de

INTES

Einsatz von Permas für die Topologie-Optimierung von Flugzeugstrukturen

Der Treibstoffverbrauch beherrscht die Entwicklung von Leichtbaustrukturen nicht nur in Materialforschung und Produktionstechnologie, sondern auch in Design und Simulation. Das klassische Feld des Leichtbaus ist der Flugzeugbau. Hier bietet die Topologie-Optimierung ein leistungsfähiges und erfolgreiches Werkzeug für die Entwicklung von Leichtbaustrukturen in Flugzeugen. Der Artikel "Topology Optimization in Aircraft and Aerospace Structures Design" von Ji-Hong Zhu, Wei-Hong Zhang, Liang Xia, der in "Archives of Computational Methods in Engineering" im April 2015 veröffentlicht wurde, gibt einen guten Überblick über den Einsatz von Methoden der Topologie-Optimierung im Flugzeug-Leichtbau. Eines der gezeigten Beispiele ist die Spitze eines Flugzeugrumpfs. In Kooperation mit dem ersten Autor konnten wir eine ähnliche Struktur als Schalenmodell mit geeigneten Lasten und Randbedingungen bekommen. Intes hat die Topologie-Optimierung dafür durchgeführt, um den Einsatz der Methode für Flugzeugstrukturen zu demonstrieren. Die Nachgiebigkeit wurde als Zielfunktion verwendet, um die Steifigkeit zu maximieren. Das Gewichtsziel war die Halbierung des Gewichts des Ausgangsmodells. Lasten und kinematische Randbedingungen waren gegeben.

Das Ziel der Berechnung war darüber hinaus zu zeigen, dass eine auskonvergierte Optimierung eine klare Trennung des Modells in volle und leere Elemente (im Sinne des Füllungsgrades) ergibt. Die Rechenzeit für die fertige Form betrug nach

50 Iterationen 20 Minuten auf einem Computer unter Linux (1 * E5-4680 mit 2.7 GHz sowie 1*8 Cores und 32 GB Memory).

www.intes.de

MEGWARE

Zuschlag von der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Die Universität Greifswald verfolgt seit 2012 das Ziel einer „CO₂-neutralen Universität“. Das Universitätsrechenzentrum (URZ) trägt dazu bei, CO₂-Emissionen durch innovative, technische Maßnahmen deutlich zu senken. Die Abwärme des von Megware neu installierten HPC-Systems „Brain“ wird in den Fernwärmeheizkreislauf des bestehenden Rechenzentrumgebäudes eingespeist und sorgt für eine effiziente Nachnutzung der überschüssigen Wärme.

Für Megware, einer der führenden Spezialisten in Europa mit 25-jähriger Tradition für die Entwicklung und Fertigung von hoch energieeffizienten HPC-Systemen, war die Realisierung eine besondere Herausforderung. Der neue Hochleistungsrechner sollte neben der Wärmenachnutzung auch die maximale Recheneffizienz bei geringster Packungsdichte bieten. Genau dafür wurde von Megware die neue Compute Plattform SlideSX-LC entwickelt und im URZ erfolgreich integriert.

Jeder direktwassergekühlte Rechenknoten im SlideSX-LC ist mit einem Intel Server-Mainboard ausgestattet, auf dem jeweils zwei Prozessoren der neuesten 'Haswell' CPU-Generation installiert sind. Direkt in den Knoten wird mit flüssigkeitsgekühlten Elementen die Abwärme direkt an den Wasserkreislauf abgegeben. Der Betrieb bei hohen Kühlwassertemperaturen ermöglicht dabei, die Energie als Heizungsunterstützung nachzunutzen. Dr. Gordon Grubert, technischer Leiter der Universität Greifswald, betont die Bedeutung des Megware-Systems: „Klimaneutralität spielt eine entscheidende Rolle im IT-Konzept unserer Universität. Ohne Energieeffizienz ist kein nachhaltiger Klimaschutz möglich. Die gut konzipierte Green-IT-Lösung

der Megware Computer GmbH hat uns daher am meisten überzeugt. Ihre Systemkonfiguration ist optimal auf unsere Anforderungen nach Energieeffizienz und bestmöglicher Leistung ausgerichtet und ideal geeignet, um Betriebserfahrungen für weitere Planungen des Neubaus zu sammeln“.

Für Megware ist es bereits die zweite Referenz im Bereich „Heißwasserkühlung direkt auf dem Chip“. Im Jahr 2011 installierte das Unternehmen am Leibniz Rechenzentrum in Garching den weltweit bekannten „CoolMUC“, bei dem die Energie durch Umwandlung in Adsorptionskälte nachgenutzt wird. „Wir haben mit der Installation am URZ Greifswald einen erfolgreichen 'Turn of Invest' erreichen können, indem wir viele Jahre Forschungs- und Entwicklungsarbeit in unsere neue HPC Plattform für Heißwasserkühlung nun in einem Kundenauftrag realisieren konnten. Damit beweist Megware, dass es als innovativer Technologieentwickler die wachsenden Anforderungen des Marktes erkennt, umsetzt und damit eines der führenden Unternehmen in der Branche ist“, so Jörg Heydemüller – Megware HPC Repräsentant.

MSC SOFTWARE

MSC Apex von Initiative Mittelstand mit dem Prädikat BEST OF 2015 ausgezeichnet

Die Initiative Mittelstand prämiiert jährlich Firmen mit innovativen IT-Lösungen und hohem Nutzwert für den Mittelstand. Apex ist eine neue, generative Simulationsumgebung der Firma MSC Software, dem führenden Anbieter von Simulationssoftware und Dienstleistungen. Die Softwarelösung hat die Jury besonders überzeugt und gehört damit zur Spitzengruppe aller über 5.000 eingereichten Bewerbungen. Die Initiative Mittelstand ist ein multifunktionales Netzwerk für mittelständische Unternehmen, unterstützt diese bei der Auswahl geeigneter IT-Lösungen und informiert über die Potenziale neuer Technologien. Seit 2004 verleiht die Initiative Mittel-

stand jährlich den Innovationspreis-IT. Mit dieser Auszeichnung werden innovative Produkte und Lösungen gefördert, die sich durch einen besonders hohen Nutzen und eine hohe Funktionalität für mittelständische Unternehmen auszeichnen. Eine unabhängige Jury bestehend aus IT-Fachredakteuren, Branchenexperten, Wissenschaftlern und Professoren bewertet die eingereichten Vorschläge. In 40 Kategorien werden die besten Lösungen ausgewählt. Die Kategorien decken die Breite der gesamten IT-Landschaft ab und reichen von Apps und Internet Services bis hin zu Lösungen für E-Payment oder Cloud Services. MSC hat sich mit Apex in der Kategorie ‚Industrie & Logistik‘ beworben.

Apex hat einen der vorderen Plätze belegt, da das Thema virtuelle Produktentwicklung für den Mittelstand immer wichtiger wird. Mit Hilfe der computergestützten Entwicklung (CAE, Computer Aided Engineering) können Produkte immer schneller und kostengünstiger auf den Markt gebracht werden. Der Einstieg in die Simulation erfordert jedoch intensive Einarbeitung und viel Training. Daher zögern mittelständische Firmen oft. Apex hilft aus diesem Dilemma. Die Software hat eine neuartige interaktive Oberfläche, mit der Anwender bereits nach einem Tag Selbststudium produktiv arbeiten können. Zudem bringt die Software den Anwendern das komplexe Thema spielend näher und sorgt dafür, dass Simulationen Spaß statt Frust bereiten.

Besonders innovativ wurde der neue Ansatz von Apex bewertet. Alle heute von der Industrie verwendeten gängigen Simulationsplattformen sind um die 40 Jahre alt. Trotz technologisch immer ausgereifterer Programme, hat sich am Prozess selbst in all den Jahrzehnten wenig geändert. Das traditionelle Verfahren zur Validierung von FE-Modellen ist iterativ und zeitaufwendig. Häufig müssen Rechnungen von vorn gestartet und Fehlermeldungen interpretiert werden. Dank des generativen Verhaltens von Apex können sich Anwender von diesem Paradigma befreien. Der durchgän-

gige Simulationsprozess garantiert die volle Assoziativität zwischen Geometrie- und Simulationsdaten.

Die CAE-Plattform basiert auf dem neuen Ansatz der sogenannten Computational Parts. Computational Parts sind mathematische Modelle, die das Verhalten eines Bauteils unabhängig von den anderen Teilen in einer Baugruppe darstellen. Wird eine Baugruppe berechnet und ein Teil ändert sich, muss normalerweise die gesamte Baugruppe noch einmal gerechnet werden. Mit Apex muss nur das geänderte Teil neu berechnet werden, die Ergebnisse für die gesamte Baugruppe aktualisieren sich automatisch. So kann sich die benötigte Rechenzeit für eine Änderung von Stunden auf Minuten reduzieren. In der gleichen Zeit können mehr Konzept- und Variantenstudien durchgeführt werden. MSC Apex besteht im Moment aus einem Modeler mit innovativen Technologien zur direkten CAE-spezifischen Modellierung und Vernetzung und einem Modul für Strukturanalysen. Der Modeler enthält die derzeit am Markt revolutionärsten Funktionen für die Bearbeitung von Mittelflächen, eignet sich aber auch gut für Volumenbauteile. Der Funktionsumfang wird in den kommenden Versionen weiter wachsen, beispielsweise werden multiphysikalische und dynamische Analysen integriert werden.

www.mscsoftware.com

NVIDIA

Nvidia-Grafikprozessoren beschleunigen Microsoft Azure

Microsoft wird weltweit seinen Kunden professionelle Grafikanwendungen und beschleunigte Computing-Fähigkeiten über seine Cloud-Plattform Microsoft Azure anbieten. Möglich macht dies der Einsatz von Nvidia-Grafikprozessoren (GPUs). Azure ist die erste Cloud-Plattform, die virtualisierte Grafik von Nvidia GRID 2.0 für Enterprise Kunden anbietet. Dazu wurden Azures neue virtuelle Maschinen der N-Serie mit

der aktuellen Version von Nvidia GRID ausgerüstet.

Zum ersten Mal haben Unternehmen die Möglichkeit, professionelle Applikationen der Nvidia-Quadro-Klasse sowie beschleunigtes Computing über die Cloud durch Azure, oder beides gemischt mit virtuellen Windows- und Linux-Maschinen einzusetzen. Azure liefert den Kunden dabei eine Leistung auf Supercomputing-Niveau durch den zusätzlichen Einsatz von Tesla-K80-GPU-Beschleunigern. Sie sind das Flaggschiff der Nvidia Tesla Accelerated Computing Platform. Letztere ist dazu konstruiert, sich um die rechenintensivsten Applikationen in Rechenzentren und im High-Performance Computing (HPC) zu kümmern.

„Unsere Vision ist es, beschleunigte Grafik und High-Performance Computing auf alle verbundenen Geräte zu bringen, unabhängig von ihrem Standort“, sagt Jen-Hsun Huang, Mitbegründer und CEO bei Nvidia. „Wir sind begeistert, mit Microsoft Azure zusammenzuarbeiten und Ingenieure, Designer, Content-Gestalter und Wissenschaftler sowie andere Profis in die Lage zu versetzen, komplexe, daten-intensive Designs von überall zu gestalten.“ „Nvidia ist das führende Unternehmen im Bereich fortschrittliche Visualisierung. Daher waren Nvidia-GPUs die eindeutige Wahl für unsere neue Rechen-Familie der N-Serie“, sagt Jason Zander, Corporate Vice President bei Microsoft Azure. „Nvidia und Microsoft verbindet eine lange Tradition bei der Einführung von Innovationen für die Industrie und wir freuen uns, mit Nvidia zusammenzuarbeiten, um diese revolutionäre Cloud-Erfahrung unseren Kunden anzubieten.“

Durch Nvidia GRID stellen Unternehmen ihren Anwendern grafikintensive Applikationen von Anbietern wie Autodesk oder Esri über die Cloud zur Verfügung. Die im vergangenen Monat vorgestellte Lösung Nvidia GRID 2.0 liefert Treiber-Unterstützung für Nvidia-Quadro-GPUs samt ihrer Funktionen und Leistung, die grafikintensive Applikationen benötigen. GRID 2.0 bietet außerdem

doppelte Anwendungsgeschwindigkeit im Vergleich zu den Vorgängermodellen der GRID-GPUs sowie Linux-Unterstützung.

Die Tesla Accelerated Computing Platform wurde von Grund auf für energieeffiziente Applikationen aus den Bereichen HPC, wissenschaftliches Rechnen, Supercomputing, Datenanalysen und Deep Learning ausgelegt.

Die Tesla-Plattform treibt einige der weltweit leistungsstärksten Supercomputer an und bietet dabei eine deutlich höhere Leistung und Energieeffizienz sowie beispiellosen Anwendungs-Durchsatz im Rechenzentrum als ein rein CPU-basierter Ansatz.

Durch den Einsatz des Tesla-K80-GPU-Beschleunigers in seinen virtuellen Maschinen der N-Serie, weitet Azure den Zugang zu Rechenleistung der Supercomputing-Klasse deutlich aus. Unternehmen weltweit können dadurch ihre aufwendigsten Arbeitsabläufe beschleunigen, ohne Computer-Ressourcen anschaffen, aufbauen oder warten zu müssen.

www.nvidia.com

SIEMENS PLM SOFTWARE

NX-Lösungen in On-Demand-Cloud-Umgebung von Rescale

Die umfassenden Simulationslösungen der NX-Software von Siemens für Wärme- und Strömungsanalyse sind jetzt in Rescale verfügbar. Rescale ist die dynamisch skalierbare On-Demand-Plattform für Cloud-Simulation und High Performance Computing (HPC). Damit ist NX Thermal/Flow neben der NX Nastran-Software bereits die zweite Lösung von Siemens, die in Rescale zur Verfügung steht. Kunden haben so eine breitere Auswahl an Siemens-Simulationslösungen innerhalb des weltweit größten Netzwerks von HPC-Hardware. Die Rescale-Simulationsplattform integriert Simulationssoftware nahtlos mit einer personalisierbaren HPC-Infrastruktur und macht diese Ressourcen für Anwender direkt über den Web-Browser zugänglich.

Ingenieure und Wissenschaftler können so die Produktentwicklungszeit verkürzen und damit Effizienz verbessern, Innovation steigern, die Produktqualität erhöhen und einen schnelleren Markteintritt erreichen. Der Trend in den wichtigsten Fertigungsindustrien entwickelt sich hin zu größeren Simulationen und komplexeren Modellen. Auf diesem Weg ergeben sich mehr Konstruktionsalternativen, zudem lassen sich verschiedene physikalische Domänen wie Struktur, Wärmeaustausch und Strömung simulieren. Zugriff auf Lösungen für diese unterschiedlichen Disziplinen innerhalb Rescale bietet großen und kleinen Unternehmen Flexibilität bei HPC-Investitionen. Darüber hinaus können Ingenieure statistische Versuchsplanungen (Design of Experiments – DoE), multidisziplinäre Untersuchungen bei der Konstruktion sowie eigenständige oder Multi-Solver-Simulationen durchführen. Das Ergebnis sind kosteneffiziente Simulationen im großen Maßstab und eine gründlichere Auswertung von Konstruktionsmöglichkeiten. Ingenieure können sowohl über eigene Softwarelizenzen als auch über Pay-per-Use-Lizenzen von Rescale auf die Cloud-Umgebung zugreifen. Lizenzen auf Pay-per-Use-Basis geben Anwendern die Flexibilität, die notwendig ist, um variierenden Anforderungen gerecht zu werden. Zudem umfasst diese Option jetzt einen Prepaid-Rabatt, der Kunden weiteren Mehrwert bietet.

Teamcenter 11 von Siemens sorgt mit neuen Funktionen für höhere Produktivität

Die aktuelle Version der Teamcenter-Software von Siemens bietet neue Features für das gesamte Portfolio, um Produktivität zu steigern, Leistung zu verbessern und Kosten zu senken. Teamcenter 11 verfügt über eine erweiterte Funktionalität der Benutzeroberfläche Active Workspace, neue Administrations- und Integrations-Tools sowie die Möglichkeit, Prozesse in der Softwareentwicklung als integralen Bestandteil des gesamten Produktlebenszyklus zu verwalten. Zusätzliche Erweiterun-

gen betreffen die Zusammenarbeit mit Lieferanten, den Bereich Compliance sowie die ECAD-Integrationen mit der Teamcenter Rapid Start Konfiguration. Teamcenter ist das weltweit meistgenutzte digitale Lifecycle-Management-System und wird von der Siemens Business Unit Siemens PLM Software entwickelt. Die Lebenszyklen von Softwareanwendungen werden anhand von Application Lifecycle Management (ALM)-Tools verwaltet. Mit einem domänenübergreifenden Ansatz bindet Teamcenter 11 diese ALM-Tools sowie Daten und Prozesse nahtlos in die PLM-Umgebung ein. Als Ergebnis profitieren Anwender bei der Softwareentwicklung von einer ganzheitlichen Produktansicht, die auch Mechanik- und Elektro-/Elektronikdaten (MCAD- und ECAD) umfasst.

„Um ein Produkt umfassend zu validieren, muss die Software betrachtet werden, die das Produkt funktionsfähig macht“, so Eric Sterling, Senior Vice President of Teamcenter, Siemens PLM Software. „Die Verknüpfung des Softwareentwicklungsprozesses mit dem Produktlebenszyklus in Teamcenter stellt bei unseren Kunden sicher, dass alle Produktomänen wie geplant funktionieren.“

Teamcenter 11 umfasst zudem Funktionserweiterungen für Active Workspace und steigert den Wert von PLM-Systemen so zusätzlich. Die intuitive, visuelle und personalisierte Umgebung ermöglicht einen sofortigen Zugriff auf Informationen. Um die Leistung eines Produkts mittels einer Systemsicht planen und simulieren zu können, bietet Teamcenter 11 in Active Workspace jetzt Funktionen für Systems Engineering und Anforderungsmanagement. Mit neuen Optionen zur Modellierung von Systemarchitekturen und Werkzeugen für den Validierungs- und Verifizierungsprozess können Kunden die Zielvorgaben eines Produkts klar bestimmen.

Die Teamcenter Rapid Start Konfiguration für Produktdatenmanagement (PDM) enthält jetzt optionalen Support für ECAD-Integrationen. So können verschiedenste Domänen

Entwürfe teilen und in einer einzigen PDM-Umgebung zusammenarbeiten. Die Teamcenter Rapid Start Konfiguration stellt die PDM-Funktionen von Teamcenter schnell und kostengünstig bereit und ermöglicht es Anwendern, jederzeit von PDM hin zu einer umfassenden Teamcenter-PLM-Lösung zu wechseln.

„Teamcenter Rapid Start ist die optimale Lösung für kleine und mittlere Unternehmen, um mit PDM zu starten“, so Sterling. „Mit vorkonfigurierten Funktionen und Abläufen für Multi-CAD-Datenmanagement, die auf der Teamcenter 11 Plattform aufbauen, bekommen Kunden genau das, was sie brauchen, um heute mit PDM zu beginnen – in dem sicheren Wissen, dass sie schon morgen auf ein umfassendes PLM erweitern können.“

Verbesserungen in der Performance sowie neue Teamcenter-Management-Tools bilden überzeugende Argumente für Kunden, die ein Upgrade von Teamcenter 10 zu der Version 11 erwägen. Spezifische Erweiterungen sorgen dafür, dass bestimmte Anwendungen flexibler und besser skalierbar sind. So können Kunden, die den Schedule Manager nutzen, nun wesentlich größere Projekte verwalten, als es bisher möglich war. Auch die Wartung mehrerer Teamcenter-Umgebungen wird einfacher mit Werkzeugen, die diese Umgebungen leichter vergleichbar machen.

Als weitere Neuheiten bietet Teamcenter 11 Self-Service-Funktionen, die Lieferanten bei der Zusammenarbeit mit Kunden unabhängiger machen sowie Funktionen, die den Kunden ermöglichen, ihre Produkte auf die Einhaltung von Gefahrstoff- und Umweltschutzrichtlinien zu prüfen.

Zudem reduziert Teamcenter 11 die Betriebs- und Wartungskosten: Applikationen von Drittanbietern oder bestehende Unternehmensanwendungen lassen sich mit den einheitlichen Funktionen für Messaging, Datenkommunikation und Datentransformation leichter integrieren. Mittels Web-basiertem föderierten Datenzugriff können Kunden auf Informationen aus externen Systemen

zugreifen, ohne sie zu duplizieren oder neu einzugeben.

Teamcenter 11 ist ab sofort erhältlich. Weitere detaillierte Informationen zu allen neuen Funktionen von Teamcenter 11 sowie anderen Teamcenter-Produktneuheiten sind in der Teamcenter-Community zu finden.

Siemens PLM Software, eine Business Unit der Siemens Digital Factory Division, ist ein führender, weltweit tätiger Anbieter von Software, Systemen und Dienstleistungen für das Product Lifecycle Management (PLM) und das Management von Produktionsvorgängen (MOM) mit über 9 Millionen lizenzierten Anwendern und mehr als 77.000 Kunden in aller Welt. Siemens PLM Software mit Hauptsitz in Plano, Texas, stellt in enger Zusammenarbeit mit seinen Kunden Industriesoftware-Lösungen bereit. Sie unterstützen Firmen weltweit dabei, entscheidende Innovationen in die Realität umzusetzen und so einen nachhaltigen Wettbewerbsvorteil zu erzielen.

Omneo Performance Analytics von Siemens – Big-Data-Analyse „as-a-Service“

Siemens hat mit Omneo Performance Analytics (PA) eine neue Applikation der „Software-as-a-Service“ (SaaS)-Lösung Omneo auf den Markt gebracht, die im vergangenen Jahr mit der Akquisition von Camstar übernommen wurde. Omneo PA wurde von der Siemens Business Unit Siemens PLM Software entwickelt und ermöglicht durch die Analyse großer Datenmengen bessere Erkenntnisse zur Produktperformance (Performance Intelligence). Die Lösung überwacht Daten über die gesamte Lieferkette hinweg und bezieht dabei auch Kundenerfahrungen mit ein. Gleichzeitig werden innerhalb von Sekunden Milliarden von Datenkombinationen analysiert. So lassen sich die versteckten Zusammenhänge von Fehlerquellen in der Produktion sehr genau aufzeigen und proaktive Analysen großer Datenmengen ermöglichen.

„Performance Analytics hilft uns, versteckte Muster innerhalb der gewonnenen Daten zu erkennen, um

die Produktperformance zu optimieren“, so Michael Shepherd, Senior Strategist of Product Management bei Dell. „Mit der Expertise von Omneo bei der Big-Data-Analyse können wir unsere Kunden schneller und spezifischer bedienen.“

„Omneo Performance Analytics schöpft das volle Potenzial dieser leistungsstarken Technologie aus. Damit ändert sich für Unternehmen die Art und Weise, Produkte zu verstehen und zu optimieren“, so Steve Bashada, Senior Vice President of Cloud Services, Siemens PLM Software. „Unter anderem wird bei der Analyse auf Daten aus den Bereichen Service, Fertigung, CRM, ERP und Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) zurückgegriffen. Mit Omneo Performance Analytics können Unternehmen Probleme erkennen und lösen, bevor ihre Kunden damit konfrontiert werden – letztlich ist das das wichtigste Geschäftsziel.“ Omneo PA ist der nächste Schritt der Performance Intelligence für Produkte. Die Lösung stützt sich auf wichtige Komponenten einer Big-Data-Cloud-Umgebung: Entdeckung (Discovery), Monitoring und Dashboards.

Die Entdeckungsfunktionen von Omneo PA gewährleisten eine schnelle, kombinierte Analyse vieler verschiedener Datensätze. So lassen sich Einblicke in große Datenmengen gewinnen, die zuvor nicht möglich waren. Die Ergebnisse zeigen die eindeutigen Ursachen für Datenabweichungen auf. So hat jede Entscheidung in der Wertschöpfungskette eine große und positive Auswirkung auf die aktuelle und zukünftige Produktperformance. Unternehmen können dadurch Fragen beantworten, die in der Vergangenheit gar nicht aufgegriffen wurden, und so wertvolle Zeit und Ressourcen sparen.

Das grafische Monitoring in Omneo PA bietet einen vollständigen Überblick über die Produktperformance in der gesamten Wertschöpfungskette. Unternehmen können so aktuelle und künftige Trends in Bezug auf ihre Produkte nachvollziehen und Entscheidungen treffen, die auf Fakten und gewonnenen Daten

beruhen.

Omneo PA verfügt über einen flexiblen, benutzerfreundlichen Dashboard-Arbeitsbereich, der die Anpassung der Datenanalyse-Definitionen und Key Performance Indikatoren (KPIs) ermöglicht. Definitionen und unternehmensweite KPIs werden als „Modellierungsobjekte“ mit Multi-Level-Definitionen für die einfache Wiederverwendung gebaut. Diese Struktur ermöglicht es Anwendern, benutzerdefinierte Daten-Analysen und KPIs interaktiv zu untersuchen oder diese für eine Überwachung einzuplanen und die Ergebnisse später anzuzeigen.

„Wenn sich Parameter wie KPIs, Datumsbereiche, Felder und andere Variablen in einer einfachen Benutzeroberfläche interaktiv einstellen lassen, können Anwender innerhalb von Sekunden Einblicke gewinnen, die sonst nur in Tagen oder Wochen möglich sind“, so Rami Lokas, Senior Director, Omneo Research and Development, Siemens PLM Software. „Das Ergebnis: Der Zeitaufwand für die Lösung von Produktproblemen wird erheblich reduziert und die Kundenzufriedenheit verbessert.“

„Omneo Performance Analytics geht einen Schritt weiter als die üblichen Business-Intelligence-Tools und ermöglicht Unternehmen ein neues Leistungsniveau“, ergänzt Lokas. „Die Lösung nutzt Big Data, um die globale Produktperformance für Kunden zu überwachen, zu erkennen und anzuzeigen und verändert damit schon jetzt maßgeblich das Bild von Performance Intelligence, wie wir es heute kennen.“

Siemens PLM Software, eine Business Unit der Siemens Digital Factory Division, ist ein führender, weltweit tätiger Anbieter von Software, Systemen und Dienstleistungen für das Product Lifecycle Management (PLM) und das Management von Produktionsvorgängen (MOM) mit über 9 Millionen lizenzierten Anwendern und mehr als 77.000 Kunden in aller Welt. Siemens PLM Software mit Hauptsitz in Plano, Texas, stellt in enger Zusammenarbeit mit seinen Kunden Industriesoftware-Lösungen bereit. Sie unterstützen Firmen

weltweit dabei, entscheidende Innovationen in die Realität umzusetzen und so einen nachhaltigen Wettbewerbsvorteil zu erzielen.

www.siemens.com/plm

SIMUFACT

Simufact.forming in China als Most Recommended Software ausgezeichnet

Simufact Engineering hat auf der diesjährigen MetalForm China in Shanghai für seine Umformsimulationssoftware Simufact.forming den Shen Gong Award in der Kategorie Most Recommended Software gewonnen. Initiator des Awards ist der chinesische Industrieverband für Umformtechnik (CCMI – Confederation of Chinese Metalforming Industry). Die Awards wurden in diesem Jahr bereits zum zehnten Mal verliehen. Während der feierlichen Zeremonie am Rande der Messe hat Zhang Jin, Präsident des chinesischen Industrieverbandes für Umformtechnik, die Auszeichnungen an die prämierten Unternehmen vergeben. Für Simufact hat Stefan Zimmer, Director EMEA APAC Operations, den Award Most Recommended Software entgegen genommen.

www.simufact.de

Die hier veröffentlichten Texte wurden nicht redaktionell redigiert sondern weitestgehend unverändert von den jeweiligen Firmen übernommen. Bitte senden Sie uns Ihre Pressemitteilungen an magazin@nafems.de.



‚benchmark‘, the industry respected magazine, is the only truly independent publication geared towards the analysis and simulation community.

Published quarterly by NAFEMS, benchmark includes submissions and news from all areas of engineering simulation throughout the globe.

Respected industry-wide as the only truly independent publication focusing specifically on analysis and simulation, benchmark has been published since 1987, and has a controlled circulation of NAFEMS members and subscribers. Articles span all areas of simulation from FEA to CFD, encompassing all industries from aerospace to bio-medical engineering.

NAFEMS Members can access an archive of published articles here. Details of how to submit articles and advertise in the magazine are also available at www.nafems.org/publications/benchmark/

Subscribe now!

November 2015

Blechexpo/Schweisstec			
03.-06.11.	Stuttgart, D	www.blechexpo-messe.de/blechexpo	P. E. Schall
NAFEMS e-Learning Kurs: Computational Fluid Dynamics for Structural Designers and Analysts			
04.11.	Internet	www.nafems.org/e-learning	NAFEMS
Weimarer Optimierungs- und Stochastiktage			
05.-06.11.	Weimar, D	www.dynardo.de/wost	Dynardo
NAFEMS Seminar: Practical Aspects of Structural Dynamics			
10. - 11.11.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/2015-struct	NAFEMS
ACE Europe - Aras Anwenderkonferenz			
10. - 11.11.	Berlin, D	www.aras.com	Aras
Deutsche Simulia Konferenz			
12.-13.11.	Aachen, D	www.3ds.com	3DS
NAFEMS Seminar: Simulating Composite Materials and Structures			
17.-18.11.	Stockholm, S	www.nafems.org/2015-stock	NAFEMS
NAFEMS e-Learning Kurs: Fatigue & Fracture Mechanics in Finite Element Analysis			
17.11.	Internet	www.nafems.org/e-learning	NAFEMS
Formnext: Neue Potenziale für den Herstellungsprozess			
17.-20.11.	Frankfurt, D	www.mesago.de/de/formnext/	Mesago
NAFEMS e-Learning Kurs: Advanced Dynamic Finite Element Analysis			
19.11.	Internet	www.nafems.org/e-learning	NAFEMS
Multiphase Flow Conference			
24.-26.11.	Dresden, D	www.multiphase-conference.com	Ansys
Simvec Spezial – Simulation von gefügten Komponenten in der automobilen Anwendung			
24.-25.11.	Baden-Baden, D	www.vdi.de/simulation-fuegen	VDI
NAFEMS Trainingskurs: Einführung in CFD			
25.-26.11.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/events/nafems/2015/cfd-course2	NAFEMS
NAFEMS Trainingskurs: Non-Linear Finite Element Analysis			
25.-26.11.	München, D	www.nafems.org/events/nafems/2015/non-linear-munich	NAFEMS

Dezember 2015

NAFEMS European Conference: Computational Fluid Dynamics (CFD) – Beyond the Solve			
02.-03.12.	München, D	www.nafems.org/cfd2015	NAFEMS
NAFEMS European Conference: Simulation Process and Data Management (SPDM)			
02.-03.12.	München, D	www.nafems.org/spdm2015	NAFEMS
NAFEMS Trainingskurs: Verification & Validation of Models and Analyses (V&V)			
02.-03.12.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/events/nafems/2015/vandv2	NAFEMS
NAFEMS e-Learning Kurs: Fluid Dynamics Review for Computational Fluid Dynamics			
02.12.	Internet	www.nafems.org/e-learning	NAFEMS
NAFEMS e-Learning Kurs: Composite Finite Element Analysis			
17.12.	Internet	www.nafems.org/e-learning	NAFEMS
NAFEMS e-Learning Kurs: Structural Optimization in Finite Element Analysis			
29.12.	Internet	www.nafems.org/e-learning	NAFEMS

2016

NAFEMS e-Learning Kurs: Practical Computational Fluid Dynamics	06.01.	Internet	www.nafems.org/e-learning	NAFEMS
4a Technologietag: Kunststoffe auf dem Prüfstand - Testen und Simulieren	25.-26.02.	Schladming, A	www.4a-engineering.at	4a Engineering
STAR Global Conference	07.-09.03.	Prague, CZ	www.cd-adapco.com	CD-adapco
ARS Europe - Int. Applied Reliability Symposium	04.-07.04.	München, D	www.arsymposium.org/europe/index.htm	ReliaSoft
NAFEMS Trainingskurs: Simulation und Analyse von Composites	12.-13.04.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/events/nafeems/2016/comp-course1	NAFEMS
Automotive CAE Grand Challenge	12.-13.04.	Hanau, D	www.carhs.de	Carhs
Permas-Anwenderkonferenz	14.-15.04	Stuttgart, D	www.intes.com	Intes
Deutschsprachige NAFEMS Regionalkonferenz				
	25.-27.04.	Bamberg, D	www.nafems.org/dach2016	NAFEMS
Graz Symposium Virtual Vehicle (GSVF)				
	23.-25. 05.	Graz, A	www.gsvf.at	VIF
MSC Software User Meeting				
	20.-21.09.	Erfurt, D	www.mscsoftware.com	MSC
Ansys Conference & 33. CADFEM Users' Meeting				
	05.-07.10.	Nürnberg, D	www.usersmeeting.com	Ansys/Cadferm
LS-DYNA Forum				
	10.-12.10.	Bamberg, D	www.dynamore.de	DYNAMore
NAFEMS European Conference: Multiphysics				
	Nov.	tbd	www.nafems.org	NAFEMS

Weitere Veranstaltungen: www.nafems.org/events



Robuste und produktionsgerechte Topologieoptimierung von Gussbauteilen mit Fertigungsrestriktionen und integrierter Prozesssimulation

Thilo Franke, Sierk Fiebig, Gerrit Maik Horstmann
Volkswagen AG

Thomas Vietor
Institut für Konstruktionstechnik, Technische Universität Braunschweig

Heutzutage steigen die Anforderungen im Entwicklungsprozess von Strukturbauteilen, im Besonderen von Fahrwerkskomponenten, bezüglich Gewicht und Kosten von Generation zu Generation. Die Gesetzeslage erfordert eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauches und der CO₂-Emissionen. Erschwerend werden die Produktzyklen immer kürzer. Als Antwort darauf hat die Verwendung der Strukturoptimierung im Produktentstehungsprozess in den letzten Jahren stark zugenommen.

Insbesondere die Topologieoptimierung ist ideal, um einen hochwertigen Erstentwurf für Gussbauteile zu erstellen. Dabei besteht jedoch im Konstruktionsprozess die Notwendigkeit, das Optimierungsergebnis zu interpretieren. Das gewichtsoptimierte Design wird händisch angepasst, um die Anforderungen des Herstellprozesses zu berücksichtigen. In diesem seriellen Prozess wird der Kraftfluss geändert, das Bauteilgewicht steigt und Zeit und Potentiale gehen verloren.

Die Lösung ist die direkte Berücksichtigung des Herstellprozesses in der Optimierung. Die heutigen Topologieoptimierungsprogramme bieten grundlegende Herstellrestriktionen wie minimale Wandstärke oder eine Entformungsrichtung. Trotzdem reichen diese Möglichkeiten oft nicht aus, um ein einfach und robust herzustellendes Gussbauteil zu gewährleisten.

In dieser Arbeit wird ein Ansatz vorgestellt, um als ersten Schritt detailliertere Fertigungsrestriktionen in die Topologieoptimierung einzubinden. Mit heuristischen Regeln können Entformungsschrägen, minimale Löcher und Taschen sowie eine neue Methode für minimale Wandstärken verwendet werden. Dies ermöglicht den zweiten Schritt, die Einbindung der Herstellsimulation. Wenn die grundlegenden Konstruktionsregeln für Gussbauteile eingehalten werden, kann die Struktur anhand detaillierterer Parameter optimiert werden.

Parallel zu der mechanischen Simulation der Lastsituation wird der Gießprozess basierend auf einem Open-Source-CFD-Programm (computational fluid dynamics) simuliert und in den Optimierungsprozess integriert. Schwierigkeiten während der Formfüllung werden dadurch vermieden und die Herstellbarkeit des Optimierungsergebnisses wird erhöht. Am Ende wird ein Ausblick bezüglich zukünftiger Möglichkeiten gegeben.

1 Einleitung

Das Gebiet der Topologieoptimierung kennzeichnet ein starkes Wachstum und gewinnt im industriellen Umfeld zunehmend an Bedeutung. Die bekannten Methoden verwenden die Finite Elemente Methode (FEM) als Grundlage, um die Struktur bezüglich der mechanischen Eigenschaften zu analysieren. Obwohl die ersten Ansätze zur Topologieoptimierung früher sind, wird der Grundstein für die heutigen Methoden von Bendsøe et al. mit der Homogenisierungsmethode und der „Solid Isotropic Material with Penalization“ (SIMP) Methode gelegt [19, 20]. Während die Methoden einen mathematischen Ansatz verwenden, um die optimale Topologie zu finden, verwendet der Ansatz von Mattheck et al. heuristische Regeln, die von biologischem Wachstum inspiriert sind [21]. Seitdem werden auch weitere Methoden wie die Level-Set-Methode vorgestellt [22]. Eine Übersicht ist in [1] gegeben.

Die umfangreichen Möglichkeiten führen zu einem starken Anstieg der Forschungsarbeit und der industriellen Anwendung von Topologieoptimierung. Bereits sehr früh zeigt sich ein Nachteil dieser Methode. In den wenigsten Fällen ist das Ergebnis der Optimierung direkt herstellbar. Obwohl die gefundene Struktur annähernd optimal ist, geht der Vorteil in dem darauf folgenden Konstruktionsprozess verloren. Um den Änderungsaufwand zu verkleinern, umfassen viele Methoden Fertigungsrestriktionen. Da sich die Methodik sehr gut für Gussbauteile eignet, gelten diesen auch die ersten Fertigungsrestriktionen. Heutzutage bieten die Hauptanbieter von Optimierungssoftware wie TOSCA oder OptiStruct solche Fertigungsrestriktionen an [2-4]. Obwohl mit diesen Restriktionen besser herstellbare Strukturen entstehen, werden nicht alle Anforderungen des Herstellprozesses abgedeckt. Ein robustes und gut herzustellendes Design kann durch eine parallele Simulation des Herstellprozesses erzielt werden. In der Literatur können einige Ansätze gefunden werden, eine Topologieoptimierung mit einer Gießsimulation zu verknüpfen. Das Ziel dieser Arbeiten ist die Minimierung der Eigenspannungen und Porosität und eine ideale Erstarrung [5-9]. Als Optimierungsansatz dient dabei oft die Level-Set-Methode, da diese klar definierte Oberflächen liefern kann [6, 10]. Andere Ansätze nutzen die SIMP-Methode [7]. Alle Methoden haben gemeinsam, dass nur das Abkühlverhalten und nicht die Formfüllung betrachtet wird. Auch eine Kombination mit Heuristiken konnte nicht gefunden werden. In dieser Arbeit wird ein Optimierungsprozess gezeigt, der die Gießsimulation mit dem Ziel integriert, die Formfüllung und damit die Herstellbarkeit zu verbessern.

2 Basis-Topologieoptimierung und neuer Ansatz

Der neue Ansatz zur fertigungsgerechten Gussbauteiloptimierung ist in die Volkswagen Topologieoptimierung integriert. Dabei wird eine diskrete Materialdefinition auf einem strukturierten, kartesischen FEM-Netz verwendet und eine ideale Kombinierbarkeit mit einer Gießsimulation ist möglich.

2.1 Volkswagen Topologieoptimierung

Das Konzept der Volkswagen Topologieoptimierung basiert auf heuristischen Wachstumsregeln. Die Struktur wird auf Grund der Spannungen in den Elementen mit dem Ziel, das Bauteilgewicht zu minimieren, verändert. [11]

Das Vorgehen kann wie in Abbildung 1 gezeigt mit einer Regelschleife verglichen werden. Zunächst wird eine Schrittweite berechnet, um die Stärke der Gewichtsreduzierung zu bestimmen. Die Schrittweitenregelung orientiert sich dabei an der Entwicklung der Nebenbedingungen, um auf den Optimierungsverlauf zu reagieren und Konvergenz zu erzielen. Anschließend werden entsprechend der Schrittweite Elemente in Bereichen hoher Spannung, sogenannten Hotspots, aktiviert, um diese zu senken. Im nächsten Schritt werden niedrig belastete Elemente deaktiviert, um das Gewicht zu reduzieren. Eine Verbundenheit der Struktur wird dabei sichergestellt. Nach der Optimierung wird die Struktur mit einem externen FEM-Programm bewertet und die Einhaltung der Nebenbedingungen überprüft.

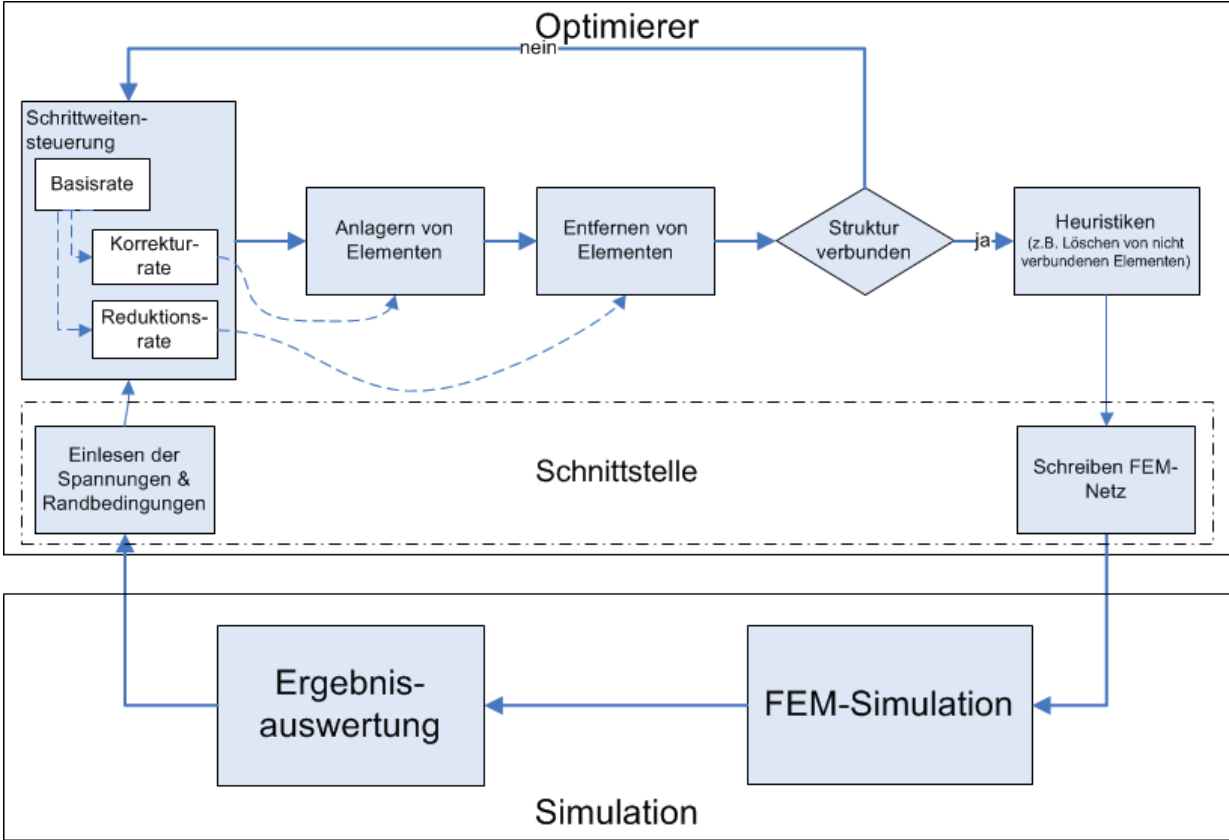
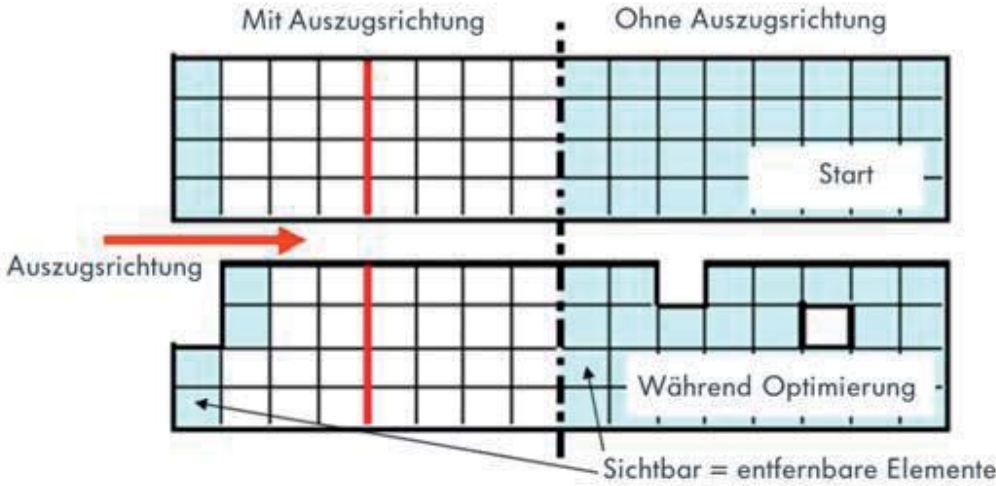


Abb. 1 Optimierungsschleife der Volkswagen Topologieoptimierung nach [11]

Eine grundlegende Fertigungsrestriktion ist die Vermeidung von Hinterschneidungen (Abbildung 2). Die zweite wichtige Restriktion ist die Einhaltung einer minimalen Wandstärke. Dies wird implizit über die verwendete FEM-Diskretisierung gewährleistet. Andere Restriktionen betreffen symmetrische Bauteile und Schmiedebauteile.



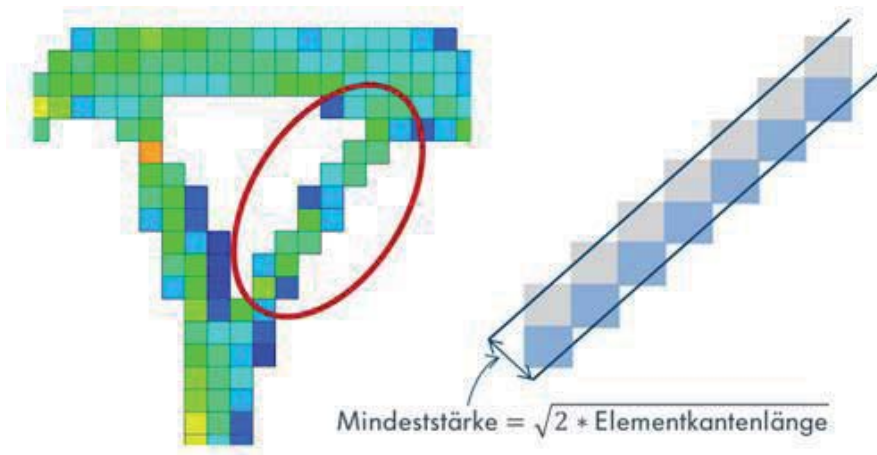


Abb. 2 Prinzip der Fertigungsrestriktionen nach [11]

2.2 Die Idee der neuen Topologieoptimierung mit erweiterten Fertigungsrestriktionen

Ein typisches Topologieoptimierungsproblem besitzt ein globales und viele lokale Minima, die sich oft in Gewicht und den mechanischen Eigenschaften kaum unterscheiden. Bis jetzt ist das Ziel einer Optimierung das beste lokale, am nächsten zum globalen liegende Minimum unter Einhaltung der Nebenbedingungen, wie zum Beispiel maximale Spannung oder Verschiebung, zu finden. Oft ist es schwer, diese Lösung direkt in ein gießbares Design zu überführen. Der neue Ansatz ist, ein Optimum zu finden, welches nur leicht schwerer ist als die vorher erwähnte Ideallösung, dabei aber deutlich bessere Gießereigenschaften aufweist. In Abbildung 3 ist dieses Prinzip schematisch dargestellt. Während das globale Maximum eine schlechte Herstellbarkeit besitzt, existiert eine Lösung, die nur etwas schwerer, aber deutlich geeigneter für die Umsetzung ist.

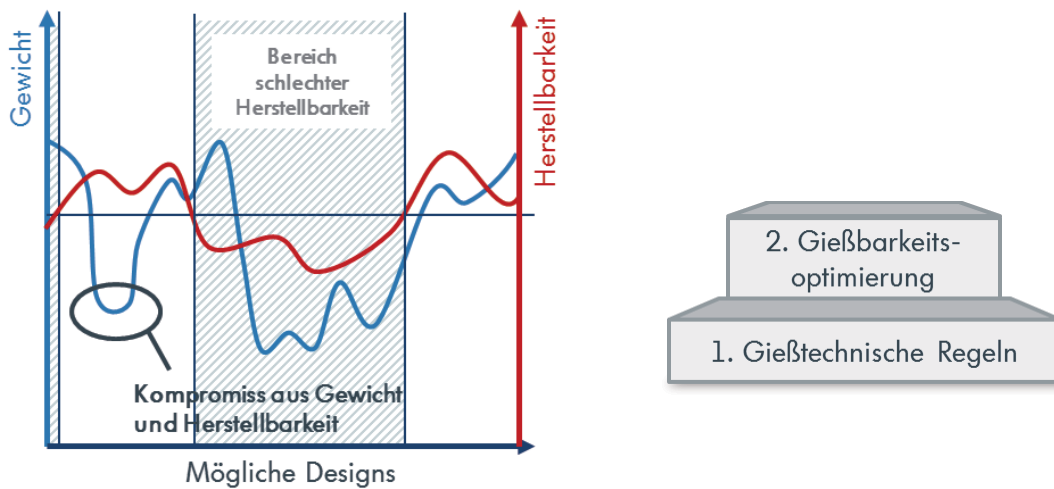


Abb. 3 Prinzip, um den Kompromiss aus Bauteilgewicht und Herstellbarkeit zu finden

Ein zweistufiger Ansatz dient dazu, diese Lösung zu finden. Zunächst werden die heuristischen Fertigungsrestriktionen erweitert, um alle Anforderungen bezüglich des Herstellprozess und -werkzeug abzudecken. Anschließend wird eine Gießsimulation, in der das Bauteilverhalten im Prozess ermittelt werden kann, eingebunden. Nicht gefüllte Strukturen werden identifiziert und abgeändert. Beide Mechanismen stellen sicher, dass der Optimierungspfad zu einem sehr gut herstellbaren Ergebnis führt. Hier bietet die zu Grunde liegende Topologieoptimierung den Vorteil, eine Vielzahl von möglichen Pfaden zu bieten. Abhängig von den geometrischen Eingangsgrößen, zum Beispiel ein anderes Startdesign, wird ein anderes lokales Minimum gefunden. Der neue Mechanismus wählt nun in jeder Iteration das mögliche Design mit den besten Herstelleigenschaften.

3 Neue Fertigungsrestriktionen in der Topologieoptimierung

Wenn in der Optimierung nicht alle Anforderungen an die Konstruktion berücksichtigt werden, muss das Bauteil anschließend angepasst werden und die Ergebnisse der Gießsimulation verlieren ihre Gültigkeit. Aus diesem Grund wird zunächst die Umsetzung dieser Anforderungen gezeigt.

3.1 Entformungsschräge

Die erste wichtige Restriktion ist die Entformungsschräge. Diese Schräge stellt sicher, dass das Bauteil ohne Beschädigungen entformt werden kann. Obwohl der Winkel verhältnismäßig klein ist, kann er einen deutlichen Einfluss auf das Resultat haben. Bisher musste in der Konstruktion Material hinzugefügt und das Bauteilgewicht so erhöht werden, um den Winkel auszubilden. Durch geänderte Sichtbarkeiten wird nun die Entformungsschräge beim Aktivieren und Deaktivieren von Elementen berücksichtigt. In Abbildung 4 wird der Einfluss dieser Funktion deutlich. Während die linke Struktur hohe, senkrechte Wände besitzt, die in einer horizontalen Strebe enden, bildet die rechte Struktur eine Entformungsschräge aus. Als Konsequenz daraus wird die horizontale Strebe nicht mehr benötigt und entfällt im Optimierungsverlauf.

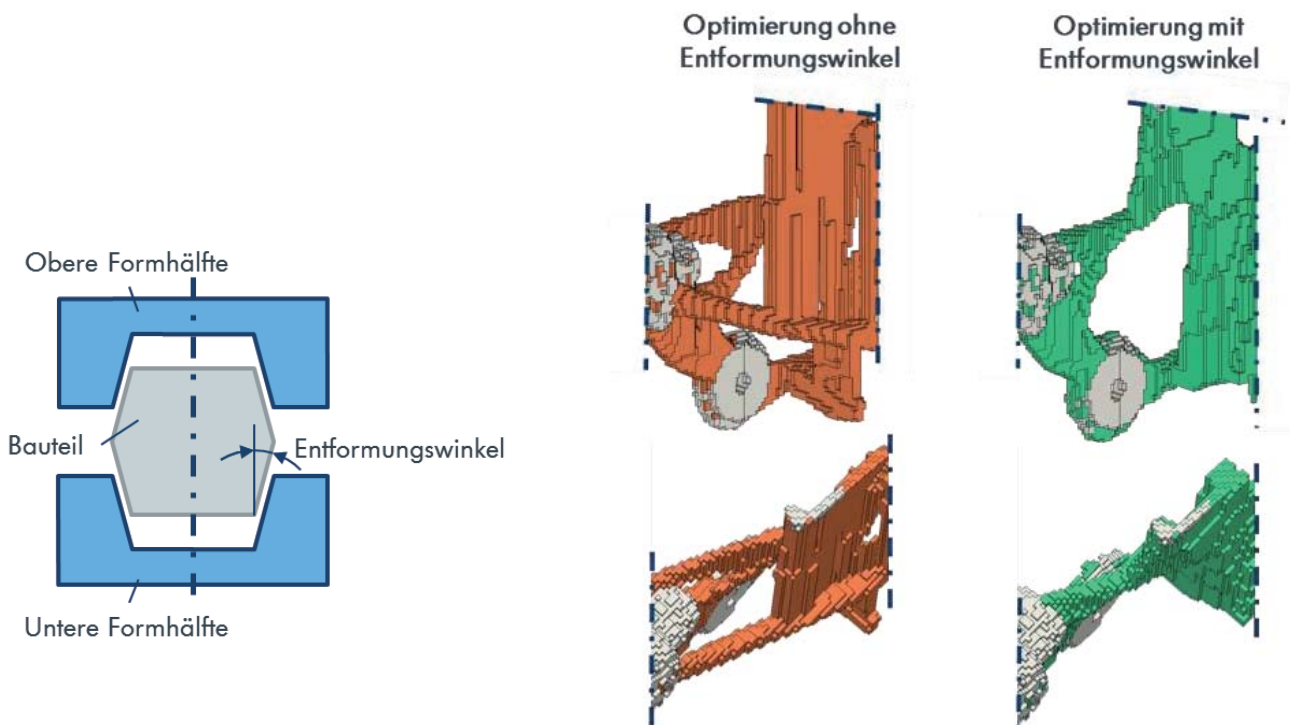


Abb. 4 Mechanismus für Entformungsschrägen und Beispieloptimierung

3.2 Minimale Löcher und Taschen

Das typische Ergebnis einer Topologieoptimierung gleicht einem möglichst fein verzweigten Fachwerk. Im Gegensatz dazu hält eine ideal gießbare Struktur eine minimale Wandstärke ein und besitzt nur wenige Löcher. Diese müssen aufgrund des Stanzwerkzeuges ebenfalls ein bestimmtes Mindestmaß einhalten. Analog zu der Entformungsschräge werden heutzutage zu kleine Löcher manuell nach der Optimierung geschlossen. Auch dieser Schritt bewirkt eine Gewichtserhöhung im Bauteil, ohne die Vorteile durch die entstehende Belastungsminimierung zu nutzen. Um das Material umzuverteilen, anstatt es einfach hinzuzufügen, werden kleine Löcher in der Optimierung verhindert. Dies darf jedoch nicht bereits im Wachstum der Löcher geschehen, da zu diesem Zeitpunkt die endgültige Größe dieser noch nicht absehbar ist. Aus diesem Grund werden sie einmalig, wie in Abbildung 5 gezeigt, geschlossen.

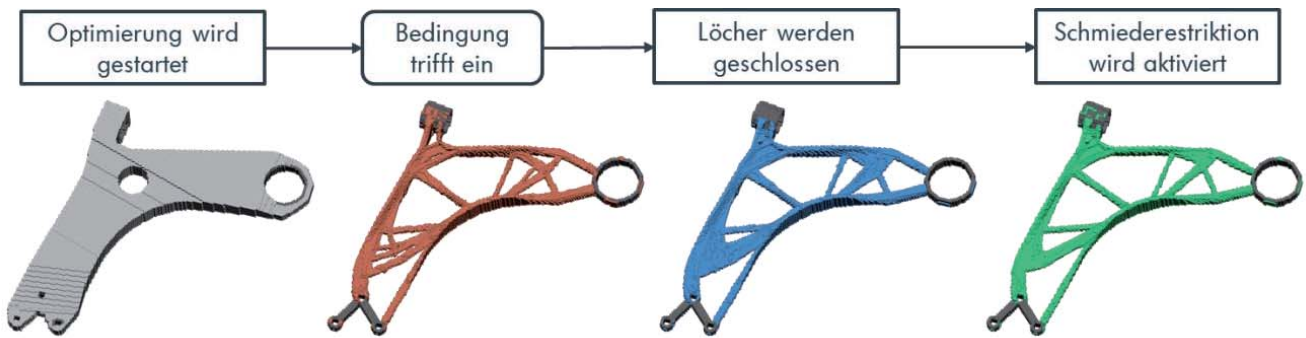


Abb. 5 Mechanismus für minimale Löcher am Beispiel einer Optimierung eines Querlenkers

Dies geschieht abhängig von einem bestimmten Auslöseereignis, das ein Indikator für die späte Phase der Optimierung sein muss. Dafür kann eine zweifache Verletzung der Nebenbedingungen genutzt werden. Nachdem die Löcher geschlossen sind, wird die Schmiedebedingung aktiviert und das Entstehen von neuen Löchern verhindert. In dem Beispiel entsteht so der Designentwurf für einen Querlenker mit wenigen, ausreichend großen Löchern. Neben den Löchern müssen auch Taschen eine bestimmte Größe einhalten, um eine ausreichende Lebensdauer des Gießwerkzeuges zu gewährleisten. Im Gegensatz zu dem diskreten Mechanismus für minimale Löcher werden Taschen kontinuierlich begrenzt. Nur wenn die niedrigste Ebene des Loches einen bestimmten Durchmesser einhält, kann das Loch in die Tiefe wachsen.

3.3 Minimale Wandstärke

In jeder Anwendung der Topologieoptimierung ist es notwendig, bei der FEM-Diskretisierung den richtigen Kompromiss aus kleinen Rechenzeiten und zufriedenstellender Auflösung zu finden. Aufgrund steigender Rechenleistung können die Elementkantenlängen stetig reduziert werden. Da die minimale Wandstärke bisher direkt von der Elementkantenlänge abhängt, sinkt auch diese. Es entstehen Strukturen, die so nicht herstellbar sind. Die bestehenden Möglichkeiten, größere Elemente zu wählen oder das Bauteil händisch zu ändern, sind nicht erfolgsversprechend und erhöhen das Bauteilgewicht unnötig. Vielmehr wird ein neuer Ansatz benötigt, minimale Wandstärken einzuhalten. Dazu werden mithilfe von Elementtiefen [12] dünne Bereiche identifiziert und gruppiert. Der Mechanismus, um diese Bereiche zu entfernen, ist in Abschnitt 4.4 beschrieben.

4 Implementierung einer Gießsimulation in den Optimierungsprozess

Das Ziel dieser Arbeit ist es, in der Topologieoptimierung neben einem Leichtbaudesign ebenso eine hohe Herstellbarkeit zu erreichen. Dazu wird parallel zu der mechanischen Simulation der Lasten auch der Herstellprozess simuliert. Die Ergebnisse werden in der Optimierung verwendet, um die Struktur entsprechend der Fertigungsanforderungen zu verbessern.

4.1 Grundlagen der Gießsimulation

In dieser Arbeit wird die Gießsimulation mittels des Open-Source CFD-Programms OpenFOAM eingebunden. Es bietet die notwendigen Grundfunktionen und eine hohe Flexibilität. Ein detaillierterer Blick, um Schmelz- und Erstarrungsvorgänge am Beispiel von latenten thermischen Speichern mit OpenFOAM zu simulieren, ist in [13] gegeben. Die Basis für die Gießsimulation ist der Zwei-Phasen-Solver interFoam. Dieser arbeitet mit der Volume-Of-Fluid-Methode (VOF) von Hirt und Nichols in Kombination [23]. Dieser Ansatz wird sowohl für die Mischung Gas/Liquid als auch Liquid/Solid verwendet. Das gesamte Volumen ist dabei entweder mit Gas α_g oder Metall α_{me} gefüllt.

$$\alpha_{me} + \alpha_g = 1 \tag{Gleichung 1}$$

Die Metallphase α_{me} teilt sich in flüssigen γ_l und festen γ_s Anteil:

$$\gamma_l + \gamma_s = 1 \tag{Gleichung 2}$$

Der Anteil von erstarrtem Metall im Volumen ist somit $\alpha_{me} \cdot \gamma_s$ und eine beliebige Stoffgröße Φ in der Mischung ist der gewichtete Mittelwert der Schmelze Φ_{me} und des Gases Φ_g :

$$\Phi = \alpha_{me} \cdot \Phi_{me} + \alpha_g \cdot \Phi_g \tag{Gleichung 3}$$

Mit diesem Ansatz werden die Erhaltungsgleichungen aufgestellt. Während die Gleichungen für den Impuls, die Masse und den Stofftransport bereits implementiert sind, wird die Energieerhaltungsgleichung mit dem Enthalpie-Ansatz H neu hinzugefügt. λ ist dabei die Wärmeleitfähigkeit.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{u}H) = \nabla(\lambda \nabla T), \quad H = \int_{T_r}^T \rho c dT \quad \text{Gleichung 4}$$

T_r ist eine Referenztemperatur und c die spezifische Wärmekapazität. Die Enthalpie ist für die Mischung definiert.

$$H = H_g + H_l + H_s = \alpha_g \rho_g c_g (T - T_r) + \alpha_{me} \int_{T_r}^T \rho_{me}(T) \cdot c_{me}(T) dT + \alpha_{me} \gamma_l \rho_{me} L \quad \text{Gleichung 5}$$

Anders als die Werte für das Gas, die hier konstant sind, wird für die Schmelze eine temperaturabhängige Dichte und spezifische Wärmekapazität verwendet. Auch der Anteil der flüssigen Schmelze, von dem die latente Wärme L in der Schmelze abhängt, ist temperaturabhängig. Üblicherweise liegen die Werte für diese Größen in Messtabellen vor. Um die Gleichung zu lösen werden diese Werte abschnittsweise linear definiert. In diesen Intervallen wird das Integral in Gleichung 5 gelöst. Dies ist beispielhaft an der spezifischen Wärmekapazität gezeigt:

$$c(T) = \begin{cases} c_{mi}T + c_{yi} & T \in [T_i, T_{i+1}[\quad 1 \leq i \leq N - 2 \\ c_{m,N-1}T + c_{y,N-1} & T \in [T_{N-1}, T_N] \end{cases} \quad \text{Gleichung 6}$$

In dieser Gleichung ist c_{mi} der Gradient und c_{yi} der Ordinatenachsenabschnitt von jeder linearen Funktion. Die Dichte und der Anteil der Schmelze sind analog definiert. Die Gleichungen werden in der Enthalpie der Mischung verwendet.

$$H = \alpha_g \rho_g c_g (T - T_r) + \alpha_{me} \cdot \zeta(T, T_r) + \alpha_{me} \left(\frac{1}{3} \rho_{m,n} c_{m,n} T^3 + \frac{1}{2} (\rho_{m,n} c_{y,n} + \rho_{y,n} c_{m,n}) T^2 + \rho_{y,n} c_{y,n} T \right) + \alpha_{me} (\gamma_{m,n} T + \gamma_{y,n}) \cdot (\rho_{m,n} T + \rho_{y,n}) \cdot L \quad \text{Gleichung 7}$$

Der Term $\zeta(T, T_r)$ beinhaltet die Summe der implizit temperaturunabhängigen Teile des Integrals. Eine kleine Ungenauigkeit wird zugelassen, wenn die Temperatur die Grenze zwischen zwei Intervallen überschreitet. Testanwendungen haben jedoch gezeigt, dass diese Ungenauigkeit vernachlässigbar ist. Dieser Ansatz wird in die Energieerhaltungsgleichung eingesetzt und in eine numerisch lösbare Form gebracht.

Zwei Mechanismen sind implementiert, die den Einfluss der abkühlenden Schmelze auf die Geschwindigkeit simulieren. Zum einen wird eine temperaturabhängige Viskosität verwendet. Zum anderen wird ein Senkenterm S_D in die Impulserhaltungsgleichung implementiert, um das Dendritenwachstum abzubilden. Wenn diese wachsen, bilden sie ab einem bestimmten Zeitpunkt ein durchlässiges Medium. Ein gängiger Ansatz ist, dies mit einem auf dem Darcy-Gesetz basierenden Senkenterm in Verbindung mit einer modifizierten Carman-Kozeny-Gleichung abzubilden [14].

$$S_D = \frac{\eta}{C} \cdot \frac{(V_e/V_t)^3}{(1 - (V_e/V_t))^2} \quad \text{Gleichung 8}$$

Das Verhältnis von flüssigem und gasförmigem Volumen V_e zum Gesamtvolumen V_t setzt sich aus den Phasenanteilen von Luft und flüssiger Schmelze zusammen [16]. η ist die dynamische Viskosität der Schmelze und C eine über den sekundären Dendritenarmabstand definierte Permeabilitätskonstante [15]. Verschiedene andere Möglichkeiten, die Permeabilität zu bestimmen, finden sich u. a. in [18]. Als erster Ansatz wird der Dendritenarmabstand als konstant angenommen und aus Versuchen übernommen [17].

Ein wichtiger Aspekt des Gießprozesses ist das ungleiche Abkühlen des Gussbauteils durch das Kokillenwerkzeug. Der Zusammenhang zwischen Kontaktfläche und Wärmefluss ist nichtlinear und kann nur in einer numerischen Simulation ermittelt werden. In der Optimierung ist es wichtig, den realen Prozess zu untersuchen und so das beste Ergebnis zu erzielen. Die Simulation des Gusswerkzeuges geschieht mit einem aufgeteilten Netz anstelle eines monolithischen Ansatzes. Während in der Kavität sich die verschiedenen Phasen die Erhaltungsgleichungen teilen, wird die Kokille mit einem anderen Solver berechnet. Über eine Randbedingung wird der Wärmefluss gekoppelt. Diese Prozedur ist in OpenFOAM mit dem Namen multiRegion [24] implementiert. Da in der Kokillenregion nur die Energiegleichung gelöst werden muss, sind somit deutlich kleinere Simulationszeiten möglich.

4.2 Der neue Optimierungsprozess

Abbildung 6 zeigt die Integration der Gießsimulation in die Optimierungsschleife parallel zu der mechanischen Simulation. Nach den beiden Simulationen werden die Ergebnisse aufbereitet und an die Optimierung übergeben. Dort wird, nachdem die Elemente zum Reduzieren von Spannungsspitzen aktiviert wurden, die neue Funktion zum Verbessern der Gießbarkeit aufgerufen. Dabei wird der Anteil der geänderten Elemente in der an-

schließenden Deaktivierung von Elementen berücksichtigt, um dieselbe Gewichtsreduzierung wie in einer Standardoptimierung zu erzielen. Neben dem eigentlichen Bauteil werden auch Rohteilgeometrie, Speiser, Anguss-system und Werkzeug in die Optimierung eingelesen. Das ermöglicht eine Anpassung des Guss-Setups an eine Veränderung des Bauteils. Die Netze werden automatisch erzeugt, die Simulationsparameter angepasst und der Optimierungsprozess startet von neuem.

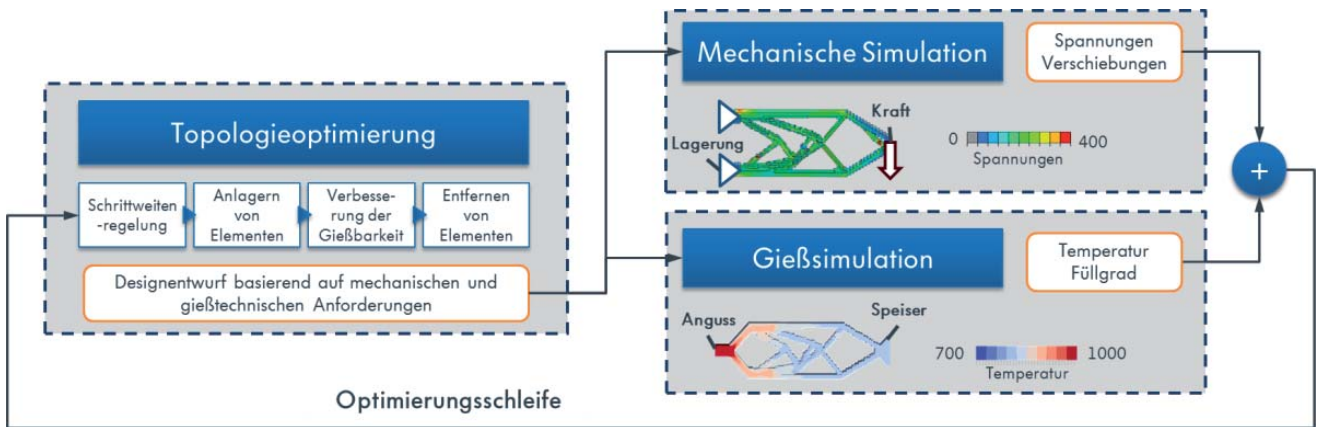


Abb. 6 Der neue Optimierungsprozess

4.3 Verbesserung der Herstellbarkeit

Eine Schwierigkeit in der Topologieoptimierung ist das Auftreten von feinen Strukturen, die nicht herstellbar sind. Üblicherweise wird zur Lösung eine minimale Wandstärke vorgegeben. Der Nachteil an diesem Ansatz ist, dass der Wert für die Wandstärke oft von der Erfahrung des Anwenders abhängt und auch lokal im Bauteil schwanken kann. Das Füllverhalten bestimmter Bereiche hängt von einer Vielzahl von Parametern ab. Diese Abhängigkeiten werden in der Gießsimulation bewertet und als Füllgrad für jedes Element ausgegeben. Die nicht gefüllten Elemente werden gesammelt und in verbundene Bereiche gruppiert. Neben dem genaueren Füllgrad kann auch die Elementtiefe für diesen Mechanismus verwendet werden, um eine minimale Wandstärke vorzugeben. Bei jeder Elementgruppe wird anschließend eine Fallunterscheidung durchgeführt. Wenn Elemente sichtbar sind, das bedeutet, wenn sie sich entfernen lassen, ohne Hinterschnitte zu erzeugen, werden diese Elemente und die darunterliegenden entfernt. Dabei ist die Tiefe begrenzt, um große Einschnitte zu vermeiden. Können keine Elemente entfernt werden, wird angenommen, dass die Struktur im Bauteilinneren liegt. Dann wird die Struktur verstärkt und Elemente werden aktiviert, um ein kompaktes Design wie in Abbildung 7 zu erzielen.

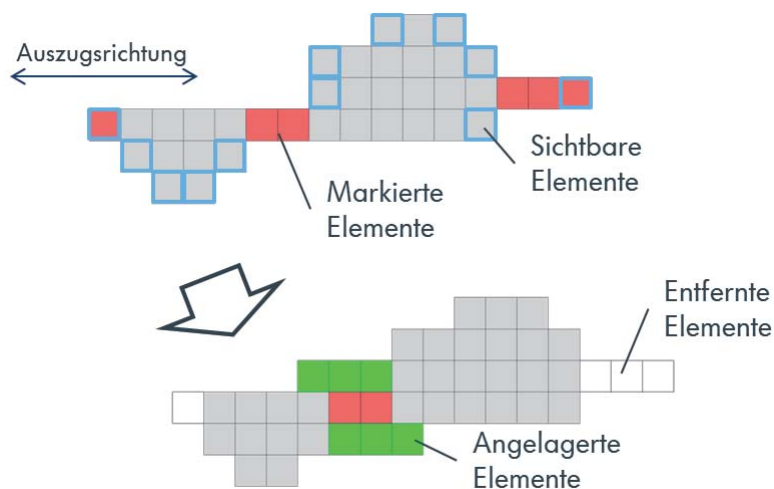


Abb. 7 Veränderung der Struktur auf Grund von nicht gefüllten Bereichen

Das direkte Entfernen von dünnen Strukturen ist eine Störung in dem normalen Optimierungsprozess. Es werden nicht nur wie bisher niedrig belastete Elemente entfernt, sondern auch welche mit hohen Spannungen, wenn diese nicht gefüllt sind. Es hat sich gezeigt, dass der Optimierungsprozess trotzdem zum Ziel führt. Auch bei einer Verletzung der Nebenbedingung wird Material hinzugefügt, um die Struktur zu reparieren. Der Schlüssel dabei ist ein kontinuierlicher, iterativer Prozess. Wenn in jeder Schleife nur wenige Elemente verändert werden, kann der Algorithmus reagieren. Wenn die Herstellbarkeit nur einmal am Ende überprüft wird, ist es nicht möglich, von diesem Design auf ein optimal herstellbares zu kommen.

5 Beispiel

Die Topologieoptimierung mit integrierter Gießsimulation wird in einem Beispiel diskutiert. Der Designraum ist mit gleichseitigen Hexaedern mit einer Kantenlänge von 1 mm vernetzt. Das Material ist eine Aluminiumlegierung. Die Zielfunktion ist das Bauteilgewicht, welches minimal werden soll. Es werden zwei Simulationen durchgeführt, vergleiche Abbildung 8. Die Bereiche der Krafteinleitung und Lagerung sind in der Optimierung nicht veränderbar. In der mechanischen FEM-Simulation ist die eine Seite starr gelagert während an der anderen Seite eine Kraft von 5 kN angreift. In einem zweiten Lastfall ist diese Situation gespiegelt. Als Nebenbedingung wird beispielhaft eine maximale Spannung von 150 MPa vorgegeben. Für die Gießsimulation wird ein generischer Aufbau verwendet. Die Schmelze strömt von unten in den Hohlraum, die Luft kann oben entweichen. Das Werkzeug ist in der Optimierung veränderlich, Anguss und Speiser sind fest. Es werden zwei Optimierungen diskutiert, eine Standardoptimierung und eine mit integrierter Gießsimulation.

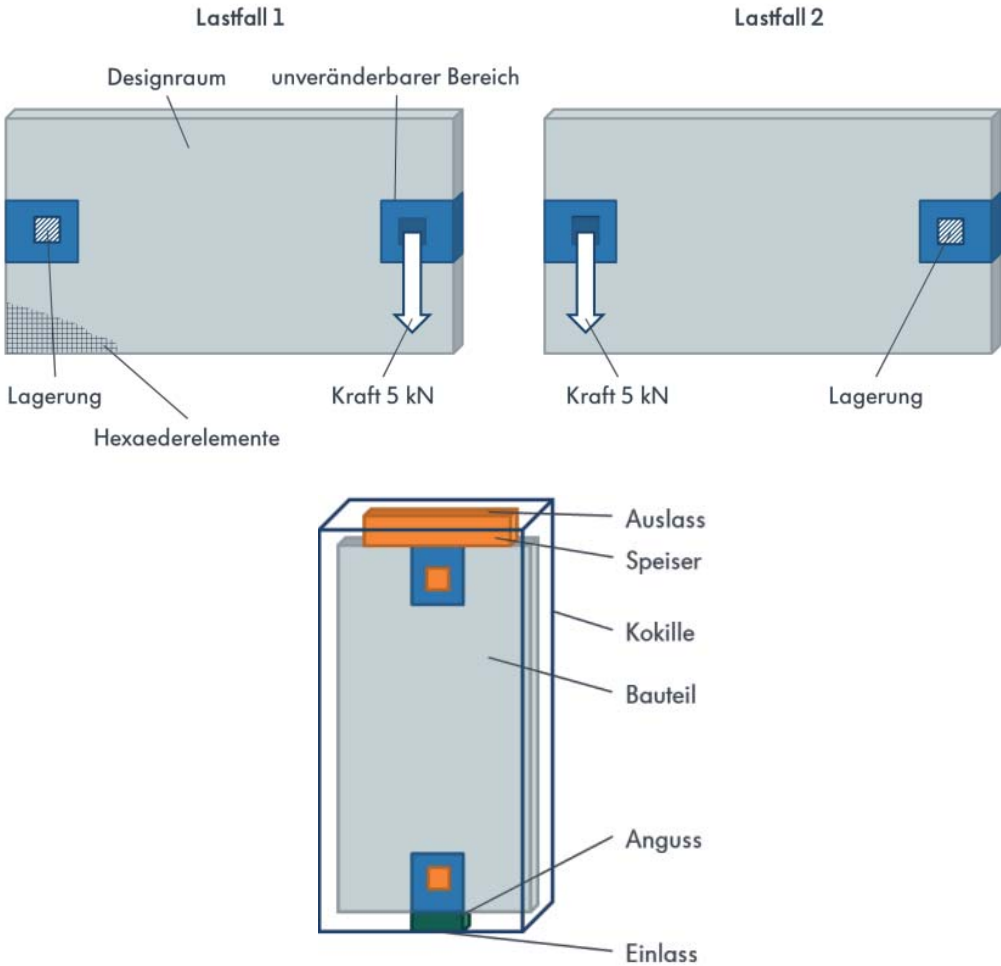


Abb. 8 Aufbau der mechanischen Simulation (links) und der Gießsimulation (rechts)

Zunächst wird der Optimierungsfortschritt ohne Fertigungsrestriktionen in Abbildung 9 gezeigt. Die Optimierung startet mit einem komplett gefüllten Bauraum. In der ersten Phase wird das Gewicht stark reduziert. Wenn die Nebenbedingung zum ersten Mal ihre Grenze erreicht, wird die Schrittweite reduziert und das Gewicht nimmt langsamer ab. Das Optimum wird in Iteration 45 erreicht, wenn das Gewicht auf 35,5 % des Bauraums reduziert ist. Die Struktur weist Ähnlichkeiten zu einer Michell-Struktur [25] auf. Viele der kleinen Streben liegen senkrecht zu der Fließrichtung und erschweren die Herstellung.

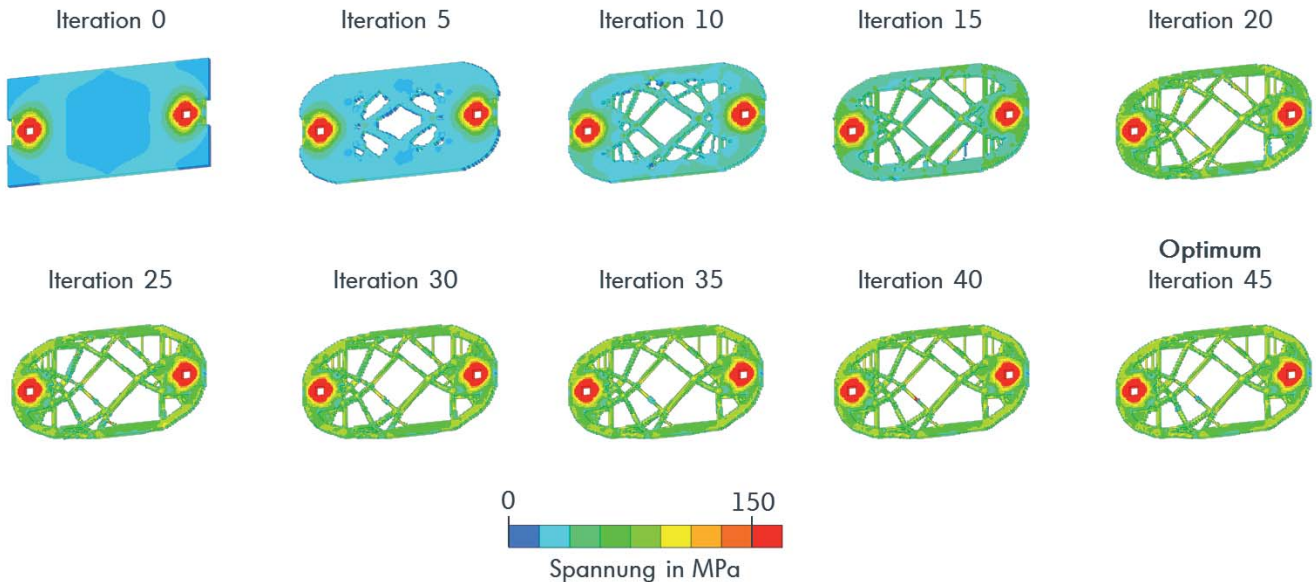


Abb. 9 Standardoptimierungsverlauf ohne Gießsimulation

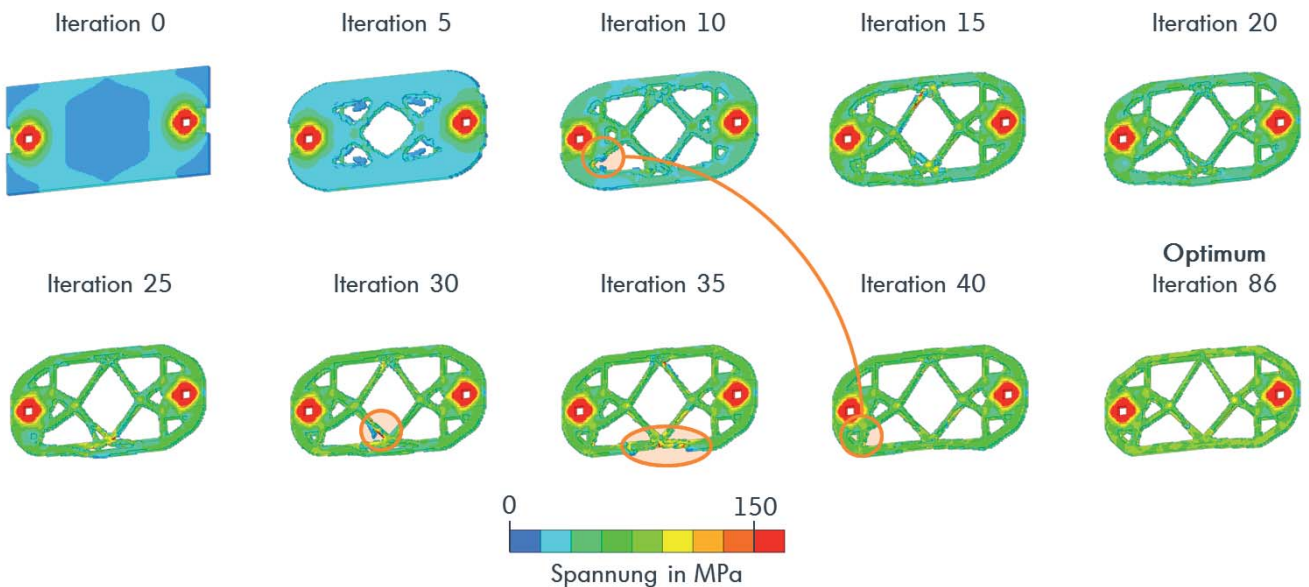


Abb. 10 Optimierungsverlauf mit integrierter Gießsimulation

Abbildung 10 zeigt die parallel durchgeführte Optimierung mit integrierter Gießsimulation. Während jeder Iteration werden die nicht gefüllten, dünnen Strukturen entfernt, meistens direkt nach ihrer Entstehung. In manchen Fällen entstehen redundante Bereiche. Im Optimierungsverlauf wird dann die schmalere Strebe entfernt, beispielsweise in Iteration 30 und 35. Dies bewirkt eine Verletzung der Nebenbedingung, die aber durch eine Stärkung des verbleibenden Bereiches ausgeglichen werden kann. Der Mechanismus zeigt auch eine Tendenz, zu der optimalen Lösung zurückzukehren. In Iteration 10 wird die Strebe im linken unteren Bereich des Bauteils entfernt, in den anderen drei Ecken blieben sie bestehen. Weil diese Struktur jedoch wichtig ist, ist sie auch in

einer herstellbaren Ausführung in der finalen Lösung enthalten. In Iteration 86 wird das Optimum mit 35,3 % des Bauraums erreicht. Damit ist diese besser herstellbare Lösung genau so schwer wie die der vorherigen Standardoptimierung.

Um die Herstellbarkeit beider Entwürfe zu vergleichen, werden die Ergebnisse zweier Gießsimulationen untersucht. Abbildung 11 zeigt den Füllgrad und die Temperatur beider Simulationen. Das Endergebnis der Optimierung ohne Fertigungsrestriktionen wird in der Simulation nicht komplett gefüllt, verschiedene Bereiche enthalten immer noch Luft. Dies wäre im späteren Herstellprozess unzulässig. Im unteren Bereich des Bauteils sind die horizontalen Streben nicht gefüllt, da die Luft nicht komplett entweichen kann. Im oberen Bereich ist die Schmelze so weit abgekühlt, dass sie erstarrt, bevor alle Bereiche gefüllt sind. Da die Strömung ein sehr komplexes Verhalten aufweist, haben kleine Änderungen in der Geometrie einen großen Einfluss. Der Vorteil des neuen Ansatzes ist, dass in jeder Iteration das Bauteil abhängig von der Gießsimulation ein wenig verändert wird. Damit werden viele verschiedene Strömungssituationen abgebildet und ein robustes Design, das unanfällig gegen kleine Geometrieänderungen ist, wird erzeugt. Das wird an dem Ergebnis der Optimierung mit Fertigungsrestriktionen deutlich. Die komplette Struktur wird aufgrund der kompakten Form und den gleichmäßigen Querschnitten gefüllt.

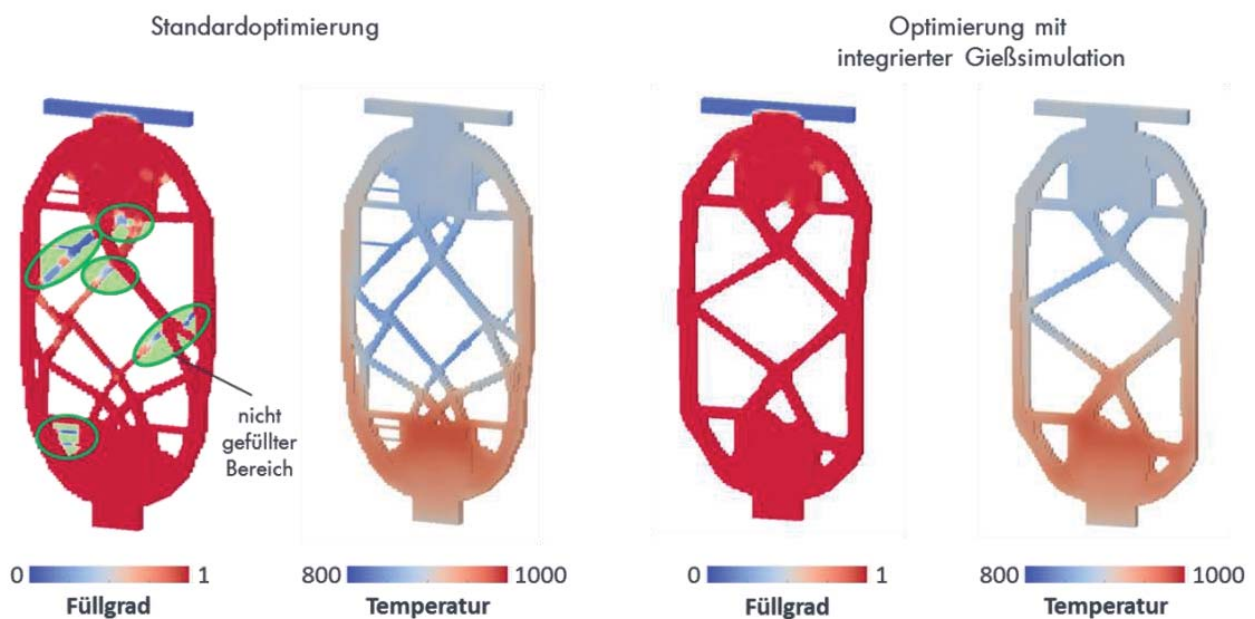


Abb. 11 Ergebnisse der Gießsimulation von beiden optimierten Designentwürfen

Dieses Beispiel zeigt die Vorteile des neuen Optimierungsansatzes mit integrierter Gießsimulation. Während ohne Restriktionen eine Struktur gefunden wird, die so nur schwer herstellbar ist, wird mit dem neuen Ansatz eine genauso leichte Struktur erzeugt, die besser fertigbar ist. Da der Gießprozess in jeder Iteration durchgeführt wird, wird der Einfluss von kleinen Änderungen in der Geometrie berücksichtigt und ein robustes Design entsteht.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Der neue Ansatz für eine Gussbauteiloptimierung, die die Anforderungen des Herstellprozesses berücksichtigt, basiert auf einer diskreten Materialformulierung und heuristischen Wachstumsregeln. Zunächst wird die Implementierung erweiterter Fertigungsregeln in die Optimierung gezeigt. Damit ist die Berücksichtigung von Entformungsschrägen, minimalen Löchern und Taschen sowie minimalen Wandstärken möglich. Auf dieser Basis wird die Topologieoptimierung um eine Gießsimulation erweitert. Diese verwendet die Volume-Of-Fluid-Methode und ist um eine neue Energiegleichung und die Simulation der Kokille ergänzt. In jeder Iteration wird der Gießprozess simuliert und die Ergebnisse werden verwendet, um ein sehr gut herstellbares Bauteildesign zu entwerfen. In dem Ansatz werden die Bereiche entfernt, die nicht gefüllt werden können. Befinden diese sich im Bauteilinneren, werden sie verstärkt. Die Möglichkeiten dieser Methode werden in einem Beispiel gezeigt. Im

Vergleich zu dem Standardoptimierungsergebnis entsteht mit integrierter Gießsimulation ein deutlich besser herstellbares Ergebnis. Dieser Ansatz bietet darüber hinaus einige weitere Möglichkeiten. So können weitere Strömungsgrößen wie die Geschwindigkeit, Verwirbelungen oder Turbulenzen verwendet werden, um die Strömung der Schmelze zu verbessern. Darüber hinaus ist der nächste Schritt, die Erstarrung des Bauteils zu optimieren. Porosität im Bauteil soll vermieden und somit der Herstellprozess verbessert werden. Dies führt zu einem Optimierungsprozess, der in großem Maße für den Erstentwurf von Gussbauteilen geeignet ist.

7 Literatur

- [1] Eschenauer, H. A.; Olhoff, N.: Topology optimization of continuum structures: A review, *Appl. Mech. Rev.*, 54, 331-390, 2001
- [2] www.fe-design.de/produkte/tosca-structure/
- [3] www.altairhyperworks.de/optistruct
- [4] Hartzheim, L.; Graf, G.: A review of optimization of cast parts using topology optimization II-Topology optimization with manufacturing constraints, *Struct. Multidisc. Optim.*, 31, 388-399, 2006
- [5] Teichmann, E.: Efficient structural update for three-dimensional topology optimization problems using level set functions, Universität Kaiserslautern, 2008
- [6] Andrä, H.; Linn, J.; Shlyar, I.; Steiner, K.; Teichmann, E.: OPTCAST – Entwicklung adäquater Struktur-optimierungsverfahren für Gießereien, *Berichte des Faunhofer ITWM*, 80, 2005
- [7] Drude, N. C.: Optimale Gestaltung von Strukturen elastischer Materialien durch die Topologieoptimierung mit Gewichtungsooperatoren, Technische Universität München, 2011
- [8] Michailidis, G.: Manufacturing constraints and multi-phase shape and topology optimization via a level-set method, *École Polytechnique*, 2014
- [9] Schumacher, A.; Wagner, A.; Smarsly, W.; Fischer, R.; Bartsch, M.; Scholz, A.: Process chain simulation integrated in automatic optimization loops for developing cast parts founded by validated material models, *Proc. of the 4th European Conference on Materials and Structures in Aerospace*, 7-8 February 2012, Hamburg
- [10] Lewis, R. W.; Manzari, M. T.; Ransing, R. S.; Gethin, D. T.: Casting shape optimisation via process modelling, *Materials and Design*, 21, 381-386, 2000
- [11] Fiebig, s.; Axmann, J. K.: Combining nonlinear FEA simulations and manufacturing restrictions in a new discrete topology optimization method, *Proc. of the 9th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization*, June 2011, Shizuoka, Japan
- [12] Brecher, C.; Schmidt, S.; Fiebig, S.: Maximum member sizes and multiple concurrent optimization paths within a binary material topology optimization method, *Proc. of the 10th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization*, May 2013, Orlando, Florida, USA
- [13] Rösler, F.: Modellierung und Simulation der Phasenwechselfvorgänge in makroverkapselten latenten thermischen Speichern, Universität Bayreuth, 2014
- [14] Voller, V. R.; Brent, A. D.; Prakash, C.: Modelling the mushy region in a binary alloy, *Appl. Math. Modelling*, 14, 320-326, 1990
- [15] Carlson, K. D.; Lin, Z.; Hardin, R. A.; Beckermann, C.: Modeling of porosity formation and feeding flow in steel casting, *Proc. Of the 56th SFSA Technical and Operating Conference*, 2002, Chicago, USA
- [16] Wang, C.-Y.; Beckermann, C.: A two-phase mixture model of liquid-gas flow and heat transfer in capillary porous media-I. Formulation, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 36, 2747-2758, 1993
- [17] Kaya, H.; Cadirh, E.; Gündüz, M.: Dendric Growth in an Aluminium-Silicon Alloy, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 16, 12-21, 2007
- [18] Eskin, D. G.: *Physical Metallurgy of Direct Chill Casting of Aluminum Alloys*, CRC Press, 2008
- [19] Bendsøe, M. P.; Kikuchi, N.: Generating Optimal Topologies In Structural Design Using A homogenization Method, *Applied Mechanics And Engineering*, 71, 3, 197-224, 1988
- [20] Bendsøe, M. P.; Sigmund O.: *Topology Optimization – Theory, Methods and Applications*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2003
- [21] C. Mattheck: *Design in der Natur*, Rombach Verlag, Freiburg im Breisgau, 1997
- [22] Sethian, J. A.; Wiegmann, A.: Structural Boundary Design Via Level Set And Immersed Interface Methods, *Journal of Computational Physics*, 11, 1999
- [23] Hirt, C. W.; Nichols, B. D.: Volume of Fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries, *Journal of Computational Physics*, 39 1, 201-225, 1981
- [24] Craven, B. A.; Campbell, R. L.: Multi-Region Conjugate Heat/Mass Transfer, 6th OpenFOAM Workshop, 13-16 June 2011
- [25] Michell, A. G. M.: The limits of economy of material in frame-structures, *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, ser. 6, 8(47), 589-597, 1904

Topologieoptimierung eines fliehkraftbelasteten Triebwerkbauteils mit einfach zu implementierendem Algorithmus unter Berücksichtigung mehrerer Zielfunktionen

Dr. Markus Kober, Prof. Dr. Arnold Kühhorn
Lehrstuhl für Strukturmechanik und Fahrzeugschwingungen,
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg

Dr. Bernhard Mück
Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co KG

Für Bauteile, die im Luftfahrtbereich Anwendung finden, sind im Allgemeinen die Anforderungen hinsichtlich Steifigkeit, Gewicht und Lebensdauer besonders hoch. Für die Lebensdauer ist insbesondere das im Bauteil vorherrschende Spannungsniveau maßgebend. Bei dem Bauteil, welches hier näher untersucht wird, handelt es sich um den sogenannten Annulus-Filler eines Flugtriebwerkes. Dieser befindet sich zwischen den Fan-Schaufeln und hat die Hauptaufgabe den Luftstrom durch den Fan vom darunter liegenden Bereich der Rotorlagerung abzuschirmen (Abb. 1). Belastet wird der Annulus-Filler hauptsächlich durch Fliehkräfte, die aus der Drehung des Triebwerksrotors resultieren.

Um die Lebensdauer des beschriebenen Bauteils, welches aus einer isotropen, homogenen Legierung besteht, zu erhöhen, soll die maximale Spannung im Bauteil soweit wie möglich gesenkt werden. Da eine klassische Gestaltoptimierung, welche typischerweise für derartige Anwendungen prädestiniert ist, nicht die gewünschten Erfolge erzielte, wurde zunächst mit Hilfe einer Topologieoptimierung eine optimale Materialverteilung im Raum ermittelt. Da kommerzielle Topologieoptimierungs-Software hier leider nicht zu einem entscheidenden Fortschritt führte, wurde ein eigener Algorithmus implementiert und erfolgreich angewendet.

Die besondere Herausforderung bei diesem Optimierungsproblem besteht in der Berücksichtigung von Nichtlinearitäten, resultierend aus mehreren Kontakten innerhalb der Baugruppe, und der Fliehkraftbelastung. Letzteres führt oftmals zum Versagen klassischer sensitivitätsbasierter Topologieoptimierungsalgorithmen [1]. Die gleichberechtigten Optimierungsziele, ein spannungsreduziertes, möglichst steifes und gleichzeitig leichtes Design zu erhalten, wurden durch eine Hintereinanderschaltung mehrerer Topologieoptimierungen erreicht.

Letztendlich konnte durch die beschriebene Vorgehensweise die maximale im Bauteil auftretende von Mises-Spannung um ca. 30% gegenüber dem bisherigen Design gesenkt werden. Gleichzeitig wurde die Steifigkeit um 35% erhöht und die Masse um ca. 7% reduziert.

1 Einleitung

Heutzutage ist die Topologieoptimierung eine weit verbreitete Methode für die Neuentwicklung bzw. Verbesserung von Bauteilen. Hinsichtlich der verwendeten Algorithmen lassen sich zwei verschiedene Philosophien identifizieren. Zum Einen existieren sogenannte sensitivitätsbasierte Methoden, welche die Möglichkeiten der mathematischen Programmierung und damit die Karush-Kuhn-Tucker-Bedingungen [2] verwenden. Der Vorteil derartiger Verfahren liegt in der relativ freien Wahl und Kombination von Zielfunktion und Nebenbedingungen. Auch die Kombination verschiedener Optimierungsdisziplinen, wie z.B. Topologie- und Parameteroptimierung, in einem Model ist möglich. Allerdings können ohne spezielle Erweiterungen nur Optimierungsprobleme behandelt werden, die auf linearen Randwertproblemen basieren. Entsprechende Erweiterungen für nichtlineare Randwertprobleme (z.B. durch Kontakt, große Deformationen oder nichtlineares Materialverhalten) werden beispielsweise in der „Equivalent Static Loads Method“ gemacht [3]. Die zweite Gruppe der Topologieoptimierungsverfahren sind die optimalitätskriterienbasierten Methoden. Zu dieser Gruppe lassen sich auch die ESO-Methoden (Evolutionary Structural Optimization, siehe z.B. [4]) oder hybride Zelluläre-

Automaten-Verfahren [5] zählen. Die Grundidee der optimalitätskriterienbasierten Verfahren besteht darin, eine Struktur zu erschaffen, deren Eigenschaften nach gewissen Gesichtspunkten als optimal eingestuft werden können. Eine solche Struktur ist z.B. das sogenannte „Fully-Stressed-Design“, in dem alle Bereiche der Struktur demselben maximal zulässigen Spannungszustand unterliegen. Der große Vorteil dieser Methoden ist, dass sie ohne jegliche Erweiterungen auch auf nichtlineare Problemstellungen angewendet werden können, und dass die Anzahl der benötigten Iterationen im Vorhinein bekannt ist. Als Nachteil muss erwähnt werden, dass sich die Auswahl und Kombination von Zielfunktion und Nebenbedingungen nur auf die Minimierung der in der Struktur gespeicherten Verzerrungsenergie unter Volumennebenbedingungen beschränkt, was äquivalent zur Maximierung der Steifigkeit für ein gegebenes Volumen (bzw. Masse bei Werkstoffen mit konstanter und gleichverteilter Dichte) ist. Nichtsdestotrotz sind optimalitätskriterienbasierte Methoden sehr leicht in bestehende FE-Umgebungen zu implementieren, was in Abschnitt zwei anhand eines einfachen Algorithmus gezeigt wird. In den nachfolgenden Abschnitten wird dieser Algorithmus dann zunächst auf ein überschaubares, akademisches Problem und schließlich für die Optimierung des fliehkraftbelasteten Annulus-Filler (Abb. 1) angewendet.

Da die Methode der finiten Elemente seit mehreren Jahrzehnten als das Standardverfahren zur Lösung von thermomechanischen Randwertproblemen angesehen werden kann, sind alle weiteren Ausführungen vor diesem Hintergrund zu betrachten.

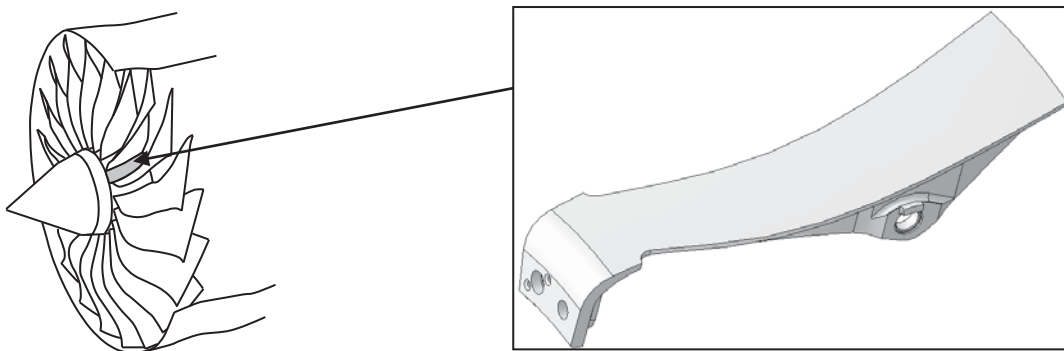


Abb. 1: Annulus-Filler und seine Position im Bereich des Fans [12]

2 Einfacher Topologieoptimierungsalgorithmus

Der hier vorgestellte optimalitätskriterienbasierte Topologieoptimierungsalgorithmus basiert auf dem Fully-Stressed-Design-Kriterium. Um diesen Strukturzustand zu erreichen bzw. ihm möglichst nahe zu kommen, wird der SIMP-Ansatz verwendet (Solid Isotropic Material with Penalization), welcher seit vielen Jahren in der Topologieoptimierung etabliert ist [6]. Bei diesem Ansatz wird die Steifigkeit eines finiten Elements durch einen sogenannten Dichtefaktor ρ verändert. Der Steifigkeitstensor \mathbf{E} des Elements ergibt sich dabei aus dem Produkt des Dichtefaktors mit dem „normalen“ Steifigkeitstensor \mathbf{E}_0 des Elements:

$$\mathbf{E} = \rho^p \mathbf{E}_0 . \tag{1}$$

Der Dichtefaktor ρ darf dabei Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei stets $\rho > 0$ gelten muss, um einen singulären Steifigkeitstensor zu vermeiden. Ist der Dichtefaktor also sehr hoch (z.B. ungefähr 1), so hat das betreffende Element die Steifigkeitseigenschaften, die seinem Material und seiner Geometrie entsprechen. Niedrige Dichtefaktoren (z.B. nur knapp über 0), führen hingegen zu einem sehr weichen Materialverhalten. Für den Optimierungsalgorithmus besteht die Aufgabe nun darin, den Dichtefaktor für jedes Element so zu bestimmen, dass die Zielfunktion minimiert und alle Nebenbedingungen eingehalten werden. Nach Konvergenz der Optimierung können dann alle Elemente mit einem sehr niedrigen Dichtewert gelöscht werden, da ihre Steifigkeit einen vernachlässigbaren Einfluss auf das mechanische Strukturverhalten hat. Die übrigbleibenden Elemente ergeben die Optimalstruktur. Somit wäre es hilfreich, wenn das Optimierungsergebnis aus einer klaren 0-1-Dichteverteilung besteht, mit möglichst wenig Elementen mit Zwischendichten, bei denen nicht ganz klar ist, ob sie gelöscht werden können oder nicht. Um den Optimierer zu zwingen eine 0-1-Verteilung der Dichte zu erreichen, wird in Gleichung (1) noch ein Bestrafungsexponent p eingeführt. Je größer dieser Exponent ist, desto unattraktiver werden Elemente mit einer Dichte von z.B. $\rho = 0,5$ für den Optimierer, da für diesen Dichtewert und einem beispielhaften Bestrafungsexponenten von $p=2$ das Element rechnerisch nur noch aus der Hälfte des

ursprünglichen Volumens besteht, gleichzeitig aber nur noch ein Viertel der ursprünglichen Steifigkeit besitzt. Allerdings sollte der Bestrafungsexponent nur mit Vorsicht verwendet werden, da für $p > 1$ die Konvexität von ursprünglich konvexen Optimierungsproblemen verloren geht [7, 8].

Der hier vorgestellte Algorithmus ist in der Lage Topologieoptimierungsprobleme der Form

$$\min_{\rho} \mathbf{f}^T \mathbf{u} \quad \text{s.t.} \quad \mathbf{K}(\boldsymbol{\rho}) \mathbf{u} = \mathbf{f}, \quad \frac{\boldsymbol{\rho}^T \mathbf{v}}{V_{ds}} = \text{volfrac}, \quad 0 < \rho_i \leq 1, \quad (2)$$

zu lösen. Hierbei ist \mathbf{f} der globale Lastvektor, \mathbf{u} der globale Verschiebungsvektor, \mathbf{K} die globale Steifigkeitsmatrix (welche vom Vektor der Elementdichten $\boldsymbol{\rho} = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n)^T$ abhängt), \mathbf{v} der Vektor der geometrischen Elementvolumina, V_{ds} die Summe aller geometrischen Elementvolumina v_i im Designraum, volfrac eine Volumen Nebenbedingung, die das Verhältnis des finalen Strukturvolumens im Designraum zum gesamten (geometrischen) Designraumvolumen V_{ds} beschreibt und n die Anzahl der finiten Elemente im Designraum. Somit entspricht das in (2) definierte Optimierungsproblem einer Maximierung der Steifigkeit für ein gegebenes Volumen.

Um dieses Ziel zu erreichen, nutzt der Algorithmus eine Art „Behälter-System“ (Abb. 2), bestehend aus 11 Behältern, wobei jeder Behälter für einen Dichtewert von 0,0001 bis 1,0 steht. Alle Elemente werden iterativ einem der Behälter zugeordnet und erhalten auf diese Weise den dem jeweiligen Behälter zugehörigen Dichtewert. (Der Bestrafungsexponent p ist bei diesem Algorithmus immer gleich 1.) Für die Zuordnung eines Elements zu einem der Behälter wird die im Element herrschende von Mises-Spannung herangezogen (welche bei mehreren Integrationspunkten pro Element über alle Integrationspunkte gemittelt wird). Es sei der Vollständigkeit halber erwähnt, dass nicht nur die von Mises-Spannung als Entscheidungskriterium der Zuordnung zu einem Dichtewert bzw. Behälter genutzt werden kann, vielmehr sind alle Vergleichsspannungsformulierungen nutzbar, welche proportional zur Verzerrungsenergie dichte sind [6, 9].

Nach jeder Iteration wird die Dichteverteilung neu bestimmt. Elemente mit einer hohen von Mises-Spannung werden einem Behälter mit einem hohen Dichtewert zugeordnet und Elemente mit einem niedrigen Spannungsniveau einem Behälter mit niedriger Dichte. Je mehr Iterationen dabei schon durchlaufen wurden, desto stärker sinkt die Anzahl an Elementen mit Zwischendichten und das Ergebnis gleicht sich mehr und mehr einer klaren 0-1-Verteilung an, was die Interpretation des Endresultats sehr vereinfacht. Schließlich verbleiben nur noch einige wenige Elemente mit Zwischendichten, was zur exakten Erfüllung der Volumen Nebenbedingung notwendig ist.

In der ersten Iteration $i=1$ werden die $0.1 \cdot n \cdot \text{volfrac}$ Elemente mit der höchsten von Mises-Spannung in den Behälter mit der Dichte 1,0 einsortiert. Nachfolgend werden die Behälter mit den Dichten von 0,9 bis 0,1 mit den jeweils $0.1 \cdot n$ Elementen mit den nächsthöheren von Mises-Spannungen befüllt. Sollten dabei zwei Elemente ein identisches Spannungsniveau aufweisen, so werden diese auch demselben Behälter zugeordnet, wenngleich die maximale Anzahl an Elementen des betreffenden Behälters dadurch überschritten werden sollte. Dieses Vorgehen sichert die Entstehung symmetrischer Strukturen bei symmetrischen Problemstellungen. Alle verbleibenden Elemente entfallen auf den Behälter mit der Dichte 0,0001. In den folgenden Iterationen ist die Prozedur grundsätzlich dieselbe, allerdings erhöht sich die Anzahl der Elemente mit einer Dichte von 1,0 entsprechend der Vorschrift $(i/m) \cdot n \cdot \text{volfrac}$ (siehe auch Abb. 2). Auf diese Weise wird die Volumen Nebenbedingung erst in der letzten Iteration $i=m$ erfüllt. Die maximale Iterationsanzahl m muss vom Nutzer vorgegeben werden. Testläufe für verschiedene Optimierungsprobleme haben gezeigt, dass mindestens $m=6$ Iterationen (besser mehr) durchlaufen werden sollten [10].

Der beschriebene Algorithmus wurde mit Hilfe der Script-Sprache Python implementiert und zusammen mit dem kommerziellen FE-Löser Abaqus genutzt. Der beschriebene einfache Algorithmus besitzt keinerlei Filtertechniken, um das bekannte Auftreten von schachbrettmusterartigen Dichteverteilungen bei bestimmten Problemstellungen zu vermeiden (Checkerboarding [6]). Daher sollten für die Vernetzung des Designraums Elemente mit quadratischer Ansatzfunktion verwendet werden bei denen kein Checkerboarding auftreten kann. Reale Bauteile bzw. Geometrien sind oftmals gar nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand strukturiert mit Hexaeder-Elementen zu vernetzen und demzufolge nur einer Tetraeder-Vernetzung zugänglich. Da diese Elementformulierungen bei Nutzung linearer Ansatzfunktionen stark zu versteifenden Effekten neigen (Locking [11]), ergibt sich ein weiterer Grund zur Nutzung von Elementen mit quadratischer Ansatzfunktion.

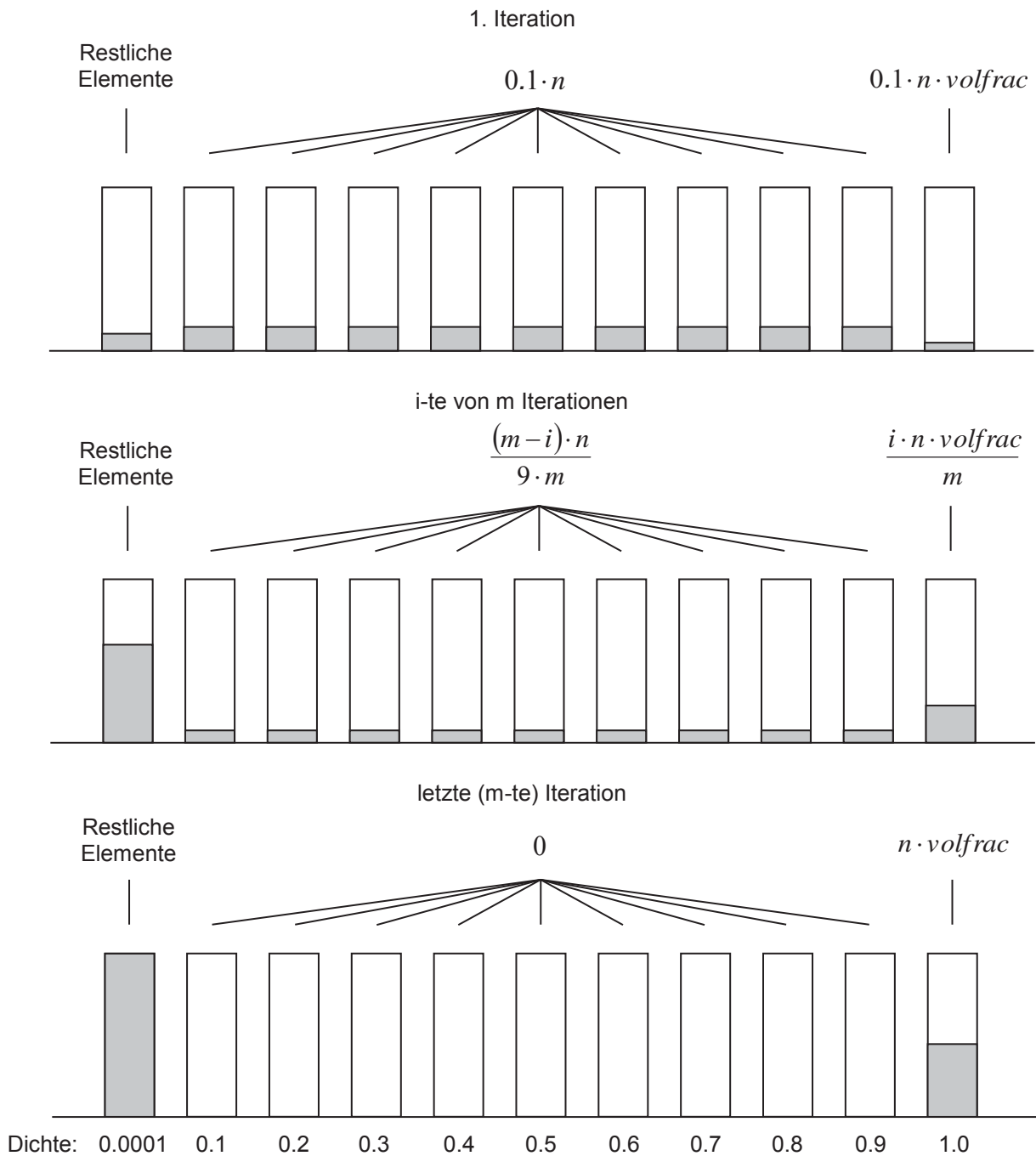


Abb. 2: Veränderung der Dichteverteilung während des Optimierungsprozesses (beispielhaft für Zielvolumen gleich 30% des Designraumvolumens) [10]

3 Topologieoptimierung unter Volumenlasten

Wie eingangs erwähnt, ist eine Topologieoptimierung unter Volumenlasten, wie z.B. dem Eigengewicht oder einer Fliehkraftbelastung, oftmals eine schwierige Problemstellung für einen Algorithmus. Dies soll in diesem Abschnitt anhand eines einfachen Beispiels verdeutlicht werden.

Der Designraum des Beispielproblems ist eine ebene, rechteckige Fläche, welche an der linken und rechten unteren Ecke statisch bestimmt gelagert ist. Die Belastung ist nur durch das aus der Gravitation g folgende Eigengewicht gegeben (Abb. 3, links). Das Materialverhalten im Designraum wird durch ein isotropes, linear elastisches Materialgesetz beschrieben.



Abb. 3: Modell für Topologieoptimierung unter reiner Eigengewichtsbelastung (links) und Modell mit zusätzlicher konstanter Einzelkraft F (rechts)


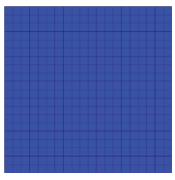
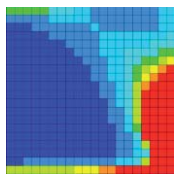
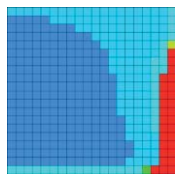
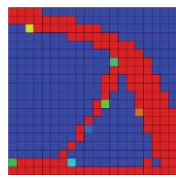
Die Optimierungsaufgabe besteht aus der Maximierung der Steifigkeit der Struktur bei Verwendung von 30% des Designraumvolumens:

$$\min_{\rho} f(\rho)^T \mathbf{u} \quad , \quad \frac{\rho^T \mathbf{v}}{V_{ds}} = \text{volfrac} = 0,3 \quad (3)$$


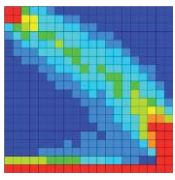
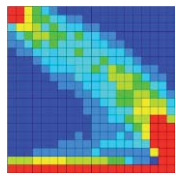
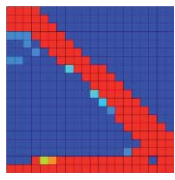
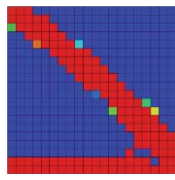
Diese Optimierungsaufgabe wurde sowohl mit einem kommerziellen sensitivitätsbasierten Topologieoptimierungsalgorithmus als auch mit dem im vorherigen Abschnitt vorgestellten optimalitätskriterienbasierten Verfahren bearbeitet. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Optimierungen zusammengefasst. Zunächst wurde eine sensitivitätsbasierte Topologieoptimierung mit einem Bestrafungsexponenten von $p=1$ und einer oberen Grenze von $\text{volfrac}<0,3$ (Gleichheitsnebenbedingung nicht möglich) für das zur Verfügung stehende Volumen durchgeführt. Nach 26 Iterationen konvergierte der Algorithmus mit der unten dargestellten Dichteverteilung (gezeigt ist nur die rechte Hälfte dieses symmetrischen Problems). Es ist zu erkennen, dass der Algorithmus das komplette Material aus dem Designraum entfernt, was zwar plausibel ist, da kein Material zu keiner Belastung aufgrund von Gewichtskräften und somit zu keiner Deformation führt, aber keine praktisch verwertbare Lösung darstellt. Aus diesem Grunde wurde in einer zweiten Optimierung mit demselben Verfahren eine untere Grenze von $\text{volfrac}>0,3$ für das zu verwendende Volumen vorgegeben. Hierbei erzeugt der Optimierer eine Dichteverteilung mit vielen Zwischendichtebereichen, die unerwünscht sind. Aus diesem Grunde wurde in einer dritten Optimierung zusätzlich der Bestrafungsexponent auf $p=3$ erhöht. Leider führte auch diese Maßnahme nicht zum gewünschten Ziel, sondern verschlechterte das Ergebnis hinsichtlich der Bereiche mit Zwischendichten sogar. Das vorgestellte optimalitätskriterienbasierte Verfahren lieferte schließlich nach fest vorgegebenen 10 Iterationen ein plausibles und praktikables Ergebnis als Dichteverteilung, welches eine klare Strukturvorgabe erkennen lässt. Die angegebene Verzerrungsenergie ist ein Maß für die mit der jeweiligen Struktur erreichte Steifigkeit gegenüber einem Modell, in dem der gesamte Designraum mit Material gefüllt ist. Je kleiner der angegebene Wert, desto größer die Steifigkeit der Struktur unter der gegebenen Belastung.

In einem zweiten Testbeispiel wurde zusätzlich zum Eigengewicht der Struktur eine konstante Einzelkraft am mittleren Knoten der oberen Kante des Designraums aufgebracht (Abb. 3, rechts). Der Betrag dieser Kraft entspricht der Hälfte der Gewichtskraft des komplett mit Material gefüllten Designraums. Die Optimierungsaufgabe selbst blieb identisch und es wurden dieselben Parameter für die Topologieoptimierungen verwendet wie in Tabelle 1. Anhand der dargestellten Dichteverteilungen in Tabelle 2 ist zu erkennen, dass der sensitivitätsbasierte Algorithmus mit den veränderten Lastbedingungen nun bessere Ergebnisse erzielt. Bei Verwendung eines Bestrafungsexponenten von $p=1$ entstehen zwar immer noch große Bereiche mit Zwischendichten, allerdings ist die grundsätzliche Struktur erkennbar. Wird dem Algorithmus zugestanden mehr als 30% des Designraumvolumens als Material zu verwenden ($\text{volfrac}>0,3$), so nutzt er in diesem Falle ca. 34% des Volumens (zweite Spalte des sensitivitätsbasierten Algorithmus in Tabelle 2). Aus diesem Grunde wurde für die Rechnung mit einem Bestrafungsexponenten von $p=3$ im Gegensatz zu Tabelle 1 wieder eine obere Begrenzung des Volumens durch $\text{volfrac}<0,3$ eingeführt. Dies führt letztendlich zu einem ähnlichen Ergebnis wie beim optimalitätskriterienbasierten Verfahren.

Tab. 1: Ergebnisse der Topologieoptimierungen unter reiner Eigengewichtsbelastung

Algorithmus:	Sensitivitätsbasiert			Optimalitätskriterienbasiert	 <ul style="list-style-type: none"> < 1.00e+00 < 8.89e-01 < 7.78e-01 < 6.67e-01 < 5.56e-01 < 4.44e-01 < 3.33e-01 < 2.22e-01 < 1.11e-01 < 0.00e+00
Nebenbedingung:	$volfrac < 0,3$	$volfrac > 0,3$	$volfrac > 0,3$	$volfrac = 0,3$	
Bestrafungsexponent:	$p=1$	$p=1$	$p=3$	$p=1$	
Anzahl Iterationen:	26	14	15	10	
Verzerrungsenergie (% vom Vollmodell):	0 %	9,6 %	4,7 %	16,2 %	
Optimierte Dichteverteilung (rechte Symmetrie-hälfte)					

Tab. 2: Ergebnisse der Topologieoptimierungen unter Eigengewichtsbelastung mit zusätzlicher konstanter Einzelkraft

Algorithmus:	Sensitivitätsbasiert			Optimalitätskriterienbasiert	 <ul style="list-style-type: none"> < 1.00e+00 < 8.89e-01 < 7.78e-01 < 6.67e-01 < 5.56e-01 < 4.44e-01 < 3.33e-01 < 2.22e-01 < 1.11e-01 < 0.00e+00
Nebenbedingung:	$volfrac < 0,3$	$volfrac > 0,3$	$volfrac < 0,3$	$volfrac = 0,3$	
Bestrafungsexponent:	$p=1$	$p=1$	$p=3$	$p=1$	
Anzahl Iterationen:	10	7	14	10	
Verzerrungsenergie (% vom Vollmodell):	54,5 %	54 %	63,6 %	60,8 %	
Optimierte Dichteverteilung (rechte Symmetrie-hälfte)					

4 Modell des Annulus-Fillers

Im Triebwerk ist der Annulus-Filler mit zwei weiteren Komponenten verbunden (Abb. 4). Dies ist zum Einen der Retain-Ring, an dem der Filler an seiner Vorderseite durch eine Steck- und eine Bolzenverbindung befestigt ist. Zum anderen besteht an der Filler-Unterseite über einen Bolzen eine Verbindung zu einem Haken, der den Filler in radialer Richtung hält.

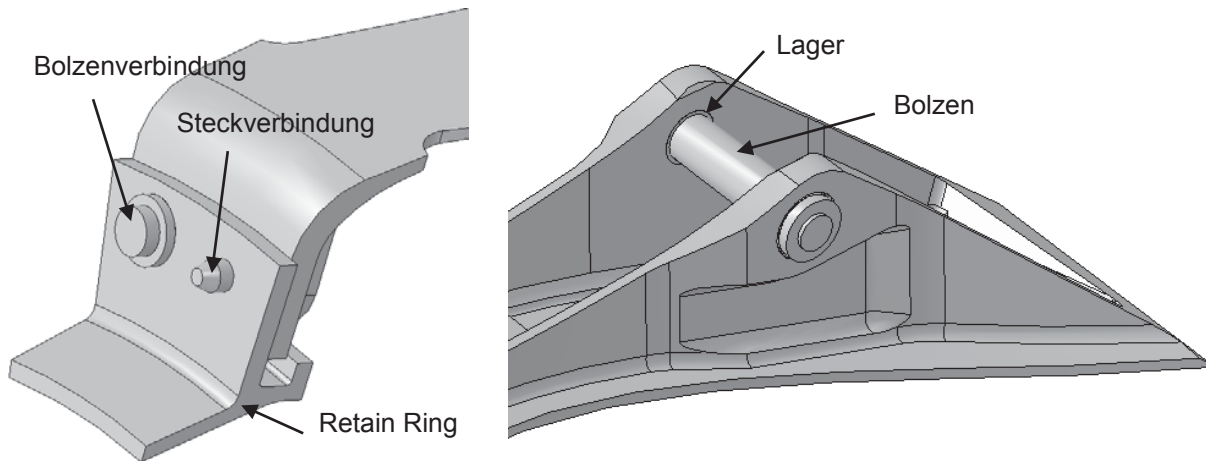


Abb. 4: Verbindungen zwischen dem Annulus-Filler und angrenzenden Bauteilen [12]

Durch die Rotation des Fans ist der Filler starken Fliehkräften ausgesetzt, die auf alle Bereiche und Bauteile wirken. Weitere Randbedingungen sind vorgegebene Verschiebungen am Retain-Ring und am hinteren Bolzen, welche aus Deformationen der angrenzenden Komponenten resultieren (Abb. 5). Durch die Verwendung von zyklisch-symmetrischen Randbedingungen genügt es, nur einen der 24 Filler zu modellieren, die es in Umfangsrichtung zwischen den Fan-Schaufeln gibt.

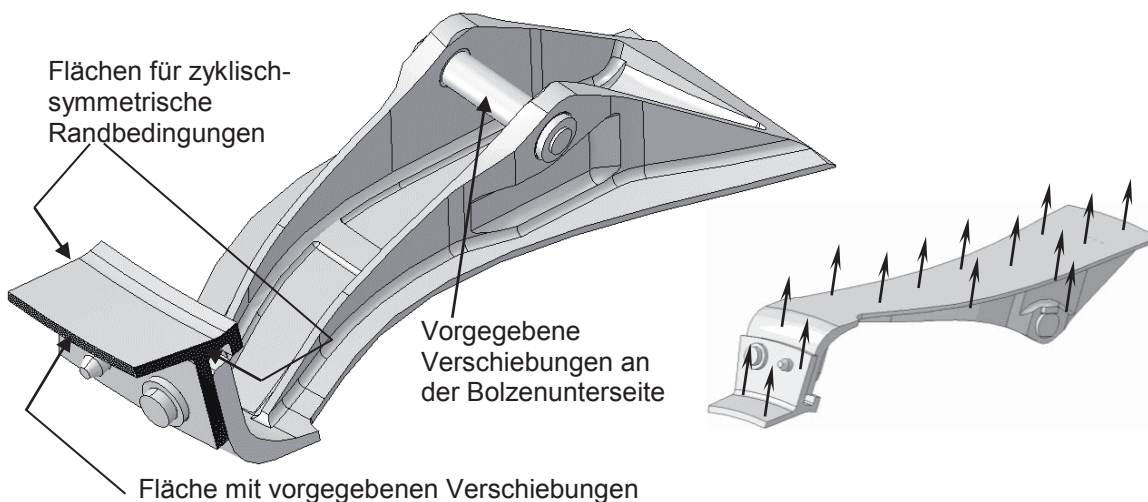


Abb. 5: Verbindungen zwischen Annulus-Filler und angrenzenden Bauteilen sowie Randbedingungen (links) und Richtung der Fliehkraftbelastung (rechts) [12]

Alle Kontaktbereiche sind als Gleitkontakte mit entsprechenden Reibkoeffizienten modelliert. Für die Presspassungen (z.B. Lagerschalen, Steckverbindung zwischen Filler und Stift) wurden „Tie-Constraints“ (d.h. feste Verbindungen) verwendet.

Abbildung 6 zeigt die Verteilung der von Mises-Spannung im Original-Filler, die sich in Folge der beschriebenen Randbedingungen und Lasten einstellt. Die Spannungen sind bezüglich der maximal zulässigen Spannung normiert, welche offenbar in einigen Regionen des Fillers erreicht wird. Zur Erhöhung der Lebensdauer des Bauteils sollen diese Spannungen verringert werden. Da eine Gestaltoptimierung, wie eingangs erwähnt, nicht zu einer signifikanten Verbesserung der Situation führte, wird zur Bestimmung einer neuen, spannungsgünstigeren Struktur der im Abschnitt 2 vorgestellte Topologieoptimierungsalgorithmus eingesetzt.

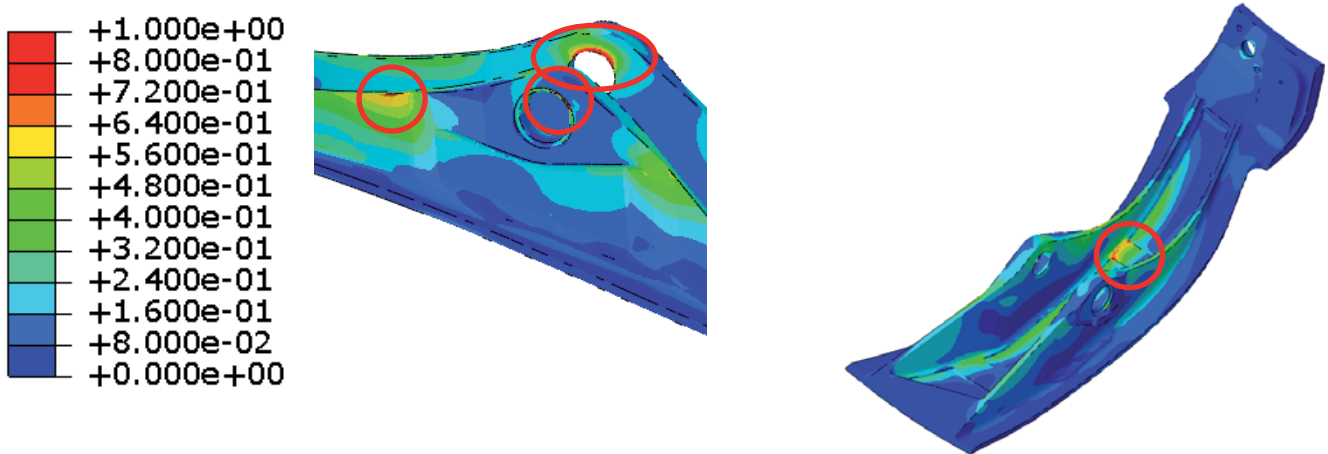


Abb. 6: Normierte von Mises-Spannung im gegenwärtigen Annulus-Filler

5 Topologieoptimierung des Annulus-Fillers

Wie im vorangegangenen Kapitel erwähnt, wird der Annulus-Filler nahezu ausschließlich durch eine Fliehkraft belastet, die natürlich von der Masse der Struktur abhängig ist. Um diesen Effekt im vorgestellten Topologieoptimierungsalgorithmus zu berücksichtigen, genügt es nicht, lediglich die Steifigkeitseigenschaften eines jeden finiten Elementes entsprechend Gleichung (1) zu manipulieren. Vielmehr ist es notwendig, auch die physikalische Dichte μ_i der Elemente durch den Dichtefaktor gemäß

$$\mu_i = \rho_i \mu_0 \tag{4}$$

zu verändern. Dies bedeutet, dass sich auch die physikalische Dichte eines Elementes entsprechend dem Behälter, in dem es sich befindet, verändert. Beispielsweise besitzt dann ein Element im Behälter mit dem Dichtewert $\rho_i = 0.4$ auch die physikalische Dichte $\mu_i = 0,4\mu_0$ und verursacht demzufolge eine entsprechend geringere Fliehkraft.

Das Hauptoptimierungsziel dieses Strukturoptimierungsprozesses ist die Verringerung der maximal auftretenden von Mises-Vergleichsspannung, jedoch sollte ein neuer Filler auch so steif und leicht wie möglich sein. Somit existieren drei Zielfunktionen (Spannung, Masse, Steifigkeit). Da in diesem Falle die Spannungsminimierung das wichtigste Optimierungsziel ist, könnte man im Sinne einer hierarchischen Optimierung die Spannung als Zielfunktion definieren und die Masse und gewisse Steifigkeitseigenschaften als Nebenbedingungen angeben. Allerdings können Spannungen (auch mit einem linearen Modell) auch in einer sensitivitätsbasierten Topologieoptimierung ohne eine entsprechende Relaxation des Problems nicht als Zielfunktion oder Nebenbedingung verwendet werden [6, 13]. Der vorgestellte Algorithmus ist aufgrund seiner Konstruktion nur in der Lage, die Steifigkeit für ein gegebenes Volumen zu maximieren, dies aber auch für nichtlineare Probleme. Daher wird nachfolgend beschriebene Strategie zum Erreichen der erwähnten Ziele verwendet. Um zunächst eine ungefähre Vorstellung über das Volumen des Fillers zu bekommen, welches zu einer möglichst geringen Maximalspannung führt, werden zuerst eine Reihe von linearen, sensitivitätsbasierten und damit zeitsparenden Topologieoptimierungen mit dem Ziel der Steifigkeitsmaximierung für verschiedene Volumennebenbedingungen durchgeführt. Danach wird jenes Volumen, das zu der Struktur mit der geringsten maximalen von Mises-Spannung geführt hat als Nebenbedingung für die nichtlineare Topologieoptimierung mit dem vorgestellten Algorithmus genutzt.

Abbildung 7 (links) zeigt den vernetzten Filler mit dem Design- und Non-Designbereich. Wie schon erwähnt, ist das zu lösende Randwertproblem aufgrund der vorhandenen Gleitkontakte eigentlich nichtlinear. Um eine schnelle sensitivitätsbasierte Optimierung durchführen zu können, werden alle Gleitkontakte in feste Verbindungen umgewandelt, zumal die Relativbewegungen der Kontaktflächen relativ klein sind. Dies geschieht jedoch nicht im Bereich des hinteren Bolzens und der zugehörigen Lager, da insbesondere dort hohe Spannungen auftreten. Zusätzlich werden, um weitere Schwierigkeiten durch die vorgegebenen Verschiebungen zu vermeiden (siehe [12]), diese zu null gesetzt.

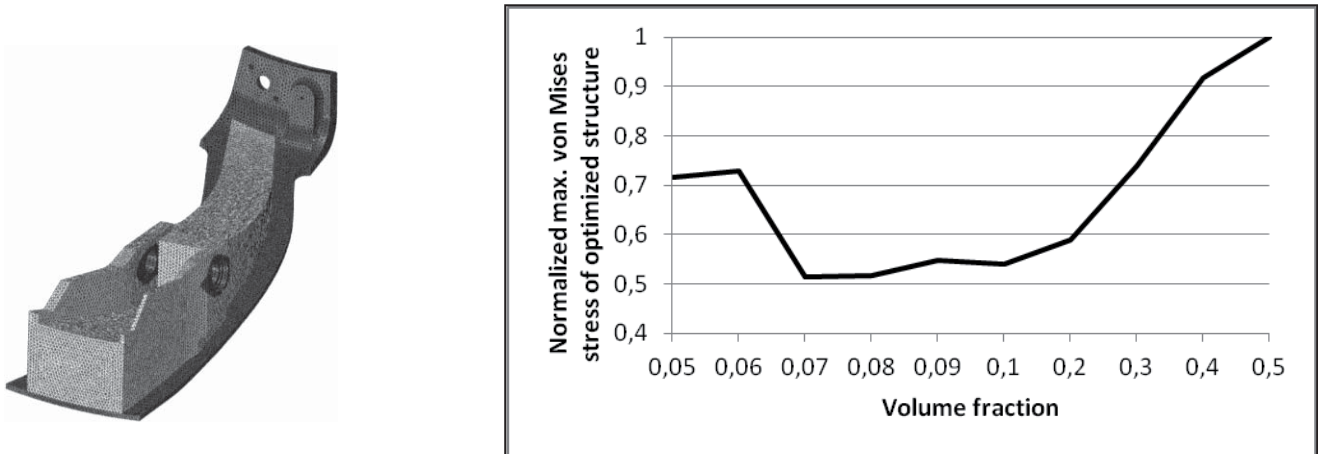


Abb. 7: Für die Topologieoptimierung vernetzter Annulus-Filler mit Designraum (hellgraue Elemente) und Non-Designraum (dunkelgraue Elemente, links) und Diagramm der normierten maximalen von Mises-Spannung in topologieoptimierter Struktur für verschiedene Volumenbedingungen [12]

Für den Kontaktbereich zwischen dem hinteren Bolzen und den zugehörigen Gleitlagern im Filler würde die Verwendung einer festen Verbindung zu großen Fehlern hinsichtlich der Spannungsberechnung führen. Um zumindest ähnliche Spannungen wie in einer nichtlinearen Berechnung zu erhalten, wird dort eine andere Modellierungsstrategie mit zwei „Multi-Point-Constraints“ (MPC's) verwendet. Die Vorgehensweise soll anhand des in Abb. 8 gezeigten, einfachen Beispiels erläutert werden. Der Master-Knoten beider MPC's, der die Verschiebungen der Slave-Knoten in vom Anwender definierten Richtungen vorgibt, ist der Mittelpunkt der inneren Kreisstruktur des Beispiels in Abb. 8 (links). In diesem Falle wurde im selben Punkt ein Zylinderkoordinatensystem erstellt um vorzugeben, dass eine Kopplung des Master-Knotens mit den Slave-Knoten nur in radialer Richtung erfolgt. Der erste MPC verbindet den Master-Knoten mit der oberen halbkreisförmigen Fläche des inneren Kreises (untere gestrichelte Linie). Der zweite MPC verbindet den Master-Knoten mit der halbkreisförmigen Fläche des äußeren Rings, die durch die obere gestrichelte Linie beschrieben wird. Die MPC's selber sind in Abb. 8 (links) durch die durchgezogenen, geraden Linien symbolisiert. In dem Beispielproblem ist der äußere Ring, wie angegeben, an seiner unteren Hälfte fest gelagert. Die innere Kreisstruktur wird nach oben gedrückt (symbolisiert durch die beiden Pfeile). Wie im Contour-Plot der von Mises-Spannung erkennbar ist, wird mit der beschriebenen linearen Methode (rechter Contour-Plot in Abb. 8) eine ähnliche Spannungsverteilung erzielt wie mit einer klassischen nichtlinearen Kontaktmodellierung (linker Contour-Plot in Abb. 8).

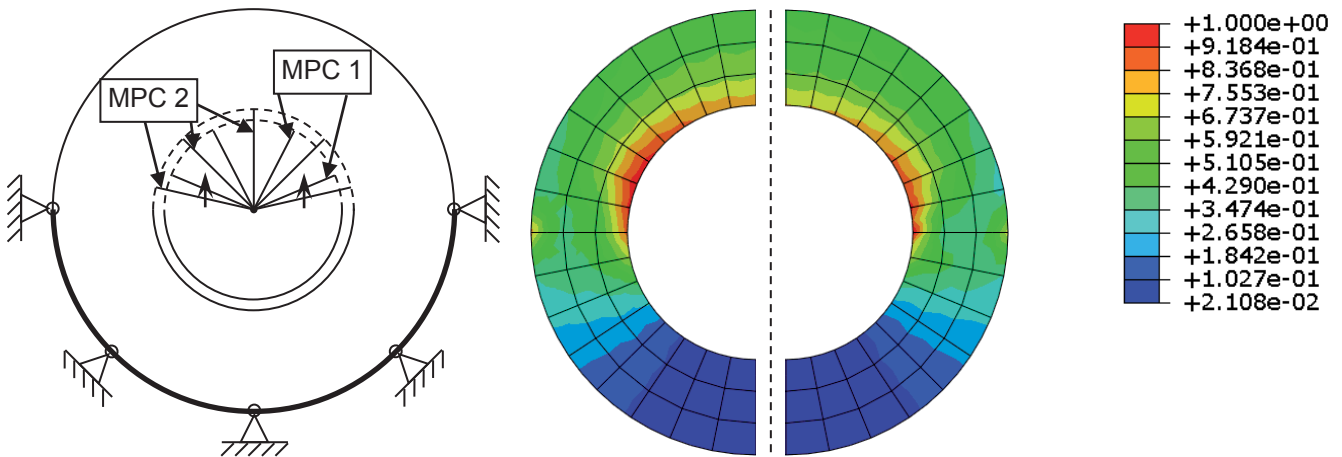


Abb. 8: Beispielproblem für eine lineare Kontaktmodellierung und normierte von Mises-Spannung als Ergebnis einer nichtlinearen Kontaktmodellierung (linker Contour-Plot) und als Ergebnis einer linearen Kontaktmodellierung mit Hilfe von MPC's (rechter Contour-Plot) [12]

Mit den beschriebenen Vereinfachungen ist es nun möglich, in kurzer Zeit viele Topologie-optimierungen durchzuführen. Diese linearen Topologieoptimierungen führen schließlich zu dem im Diagramm in Abb. 7 (rechts) dargestellten Zusammenhang zwischen der maximalen von Mises-Spannung und der Menge des für die Struktur verwendeten Materials. Der im Diagramm angegebene Volumenanteil (volume fraction) ist das Verhältnis von Volumen der optimierten Struktur zum gesamten Designraumvolumen. Beispielsweise liegt dieser Wert für den gegenwärtigen Original-Filler bei 0,152.

Aufgrund der im beschriebenen Diagramm dargestellten Ergebnisse wird als Nebenbedingung für die nichtlineare Topologieoptimierung mit dem vorgestellten Algorithmus ein Wert von $volfrac=0,075$ für das zu verwendende Volumen vorgegeben. Das Modell für die Optimierung beinhaltet alle nichtlinearen Kontaktdefinitionen, die vorgegebenen Verschiebungen und keine weiteren Vereinfachungen. Das Netz und der Designraum bleiben unverändert (Abb. 7, links). Als maximale Anzahl an Iterationen wird $m=14$ gewählt, was sich als ein guter Kompromiss zwischen Ergebnisgüte und Rechenzeit herausgestellt hat. Abbildung 9 zeigt das Ergebnis der nichtlinearen Topologieoptimierung. Hierbei sind nur Elemente dargestellt, deren Dichtewert gleich 1 ist und die somit die Optimalstruktur beschreiben.

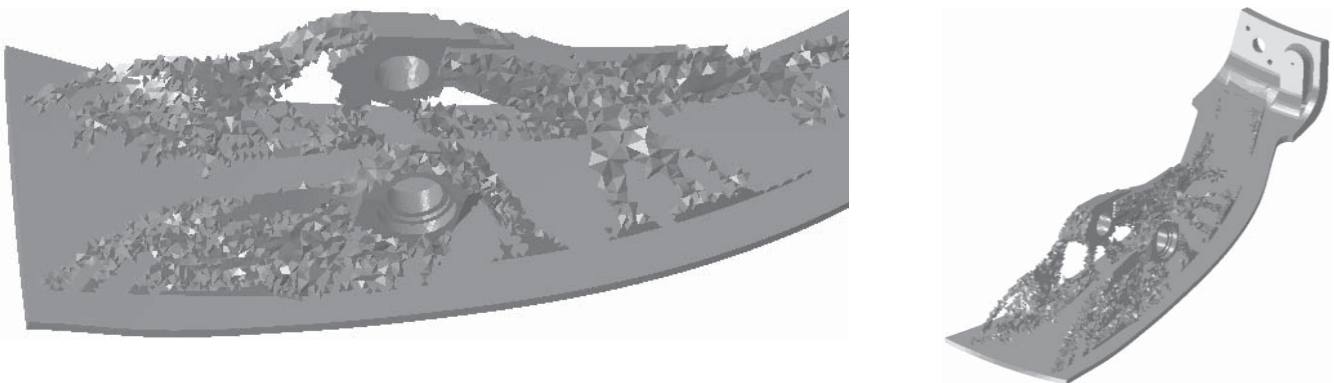


Abb. 9 Ergebnis der nichtlinearen Topologieoptimierung mit vorgestelltem Algorithmus [12]

Eine Interpretation der optimierten Dichteverteilung aus Abb. 9 und eine entsprechende Umsetzung in einer CAD-Umgebung, führte zu einer Geometrie mit mehreren Querverstrebungen und einer aufgelösteren Seitenstruktur (Abb. 10, links), verglichen mit dem Original-Filler.

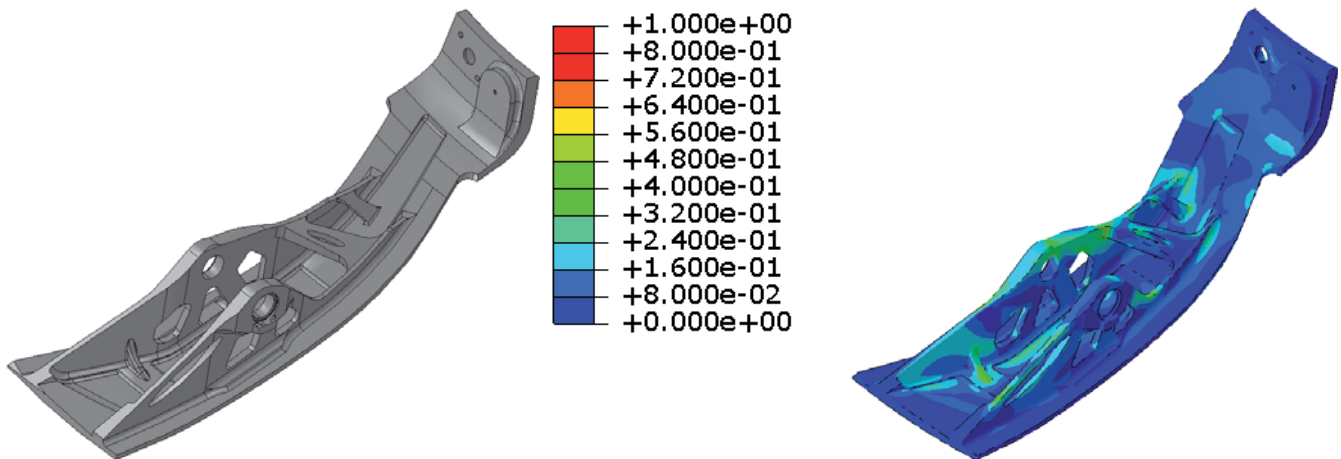


Abb. 10 Neue CAD-Geometrie (links) und normierte von Mises-Spannungsverteilung des neuen Fillers (rechts, bei gleicher Skalierung wie in Abb. 6) [12]

Die FEM-Analyse der neuen Geometrie (Abb. 10, rechts) zeigt eine deutliche Reduktion der Spannungen im Vergleich zum Original-Filler. Die maximale normierte von Mises-Spannung beträgt nun nur noch 0,704, was eine Spannungsverringerung um 30% bedeutet. Zusätzlich beträgt die Masse des neuen Fillers nur noch 93% der Masse des Original-Fillers. Zieht man als globales Steifigkeitsmaß die in der Struktur gespeicherte Verzerrungsenergie heran, so lässt sich feststellen, dass der optimierte Filler ca. 35% steifer als der Original-Filler ist.

6 Literatur

- [1] Bruyneel, M. und Duysinx, P. (2005): Note on topology optimization of continuum structures including self-weight. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Volume 29, S. 245–256.
- [2] Kuhn, H. W. und Tucker, A. W. (1951): Nonlinear Programming. In: *Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Berkeley, California, S. 481-492.
- [3] Park, G.-J. (2011): Technical overview of the equivalent static loads method for non-linear static response structural optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Volume 43, Issue 3, S. 319–337.
- [4] Xie, Y. M. und Steven, G. P. (1997): *Evolutionary Structural Optimization*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.
- [5] Patel, N. M. (2004): *Crashworthiness Design Using Topology Optimization*. PhD Thesis, University of Notre Dame.
- [6] Bendsoe, M. P. und Sigmund, O. (2003): *Topology Optimization: Theory, Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- [7] Stolpe, M. und Svanberg, K. (2001): On the Trajectories of Penalization Methods for Topology Optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Volume 21, Number 2, S. 128-139.
- [8] Svanberg, K. (1984): On local and global minima in structural optimization. In: Atrek, A., Gallager, R. H., Ragsdell, K. M., Zienkiewicz, O. C., *New Directions in Optimum Structural Design*, John Wiley and Sons, New York, S. 327-341.
- [9] Pedersen, P. (1998): Some General Optimal Design Results Using Anisotropic, Power Law Nonlinear Elasticity. *Structural Optimization*, Volume 15, S. 73-80.
- [10] Kober, M. (2011): Ein Beitrag zur strukturmechanischen Optimierung realer Bauteile in metallischer und Faserverbundbauweise unter Verwendung von wirkebenenbasierten Bruchkriterien. Dissertation, Brandenburgische Technische Universität Cottbus.
- [11] Koschnick, F. (2004): Geometrische Locking-Effekte bei Finiten Elementen und ein allgemeines Konzept zu ihrer Vermeidung. Dissertation, Technische Universität München.
- [12] Kober, M., Kühhorn, A., Rademann, J. und Mück, B. (2014): Nonlinear topology optimization of centrifugally loaded aero-engine part with newly developed optimality-criteria based algorithm. *Journal of Aerospace Science and Technology*, Volume 39, S. 705-711.
- [13] Duysinx, P. und Bendsoe, M. P. (1998): Topology Optimization of Continuum Structures with Local Stress Constraints. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Volume 43, Issue 8, S.1453-1478.

Graphen- und Heuristikbasierte Topologieoptimierung (GHT) von Profilquerschnitten für Crashlastfälle

Christopher Ortmann, Axel Schumacher

Bergische Universität Wuppertal,
Fachbereich D - Abteilung Maschinenbau, Lehrstuhl für Optimierung mechanischer Strukturen

Dieser Beitrag beschreibt die Methode der *Graphen- und Heuristikbasierten Topologieoptimierung (GHT)*, welche für die Topologieoptimierung von crashbelasteten Profilstrukturen eingesetzt werden kann. Hauptschwierigkeit bei der Berücksichtigung von Crashlastfällen in einer Topologieoptimierung sind die auftretenden Nichtlinearitäten (große Verschiebungen und Rotationen, Kontaktphänomene und nichtlineares Materialverhalten). Aufgrund dieser Nichtlinearitäten und im Vergleich zur linearen Statik andersartigen Zielfunktionen (Energieabsorption, Beschleunigungen, etc.), können Methoden zur Topologieoptimierung aus der linearen Statik bei Crashproblemen nicht angewendet werden.

In der *GHT* werden aus Expertenwissen abgeleitete Heuristiken während der Optimierung für Topologieveränderungen eingesetzt, während herkömmliche, mathematische Optimierungsalgorithmen Form- und Dimensionierungsparameter der Struktur modifizieren. Die zu optimierende Struktur wird durch einen mathematischen Graphen beschrieben, welcher auch komplexe geometrische Änderungen zulässt und für die Überprüfung von Fertigungsrestriktionen eingesetzt werden kann.

Die Leistungsfähigkeit der Optimierungsmethode wird anhand eines industriellen Beispiels demonstriert.

1 Einleitung

Die passive Sicherheit gehört zu den dominierenden Auslegungskriterien bei der Entwicklung eines Fahrzeugs. Sie umfasst Sicherheitsmaßnahmen, welche die Folgen eines Unfalls für Fahrzeuginsassen und andere Verkehrsteilnehmer mindern, nachdem ein Unfall unvermeidlich geworden ist. Ein Kernelement ist hierbei die Fahrzeugkarosserie.

Das Werkzeug der Topologieoptimierung könnte hier einen wertvollen Beitrag leisten. Für linear statisch belastete Strukturen existiert eine Reihe von effizienten Methoden für die Topologieoptimierung. Diese können allerdings aufgrund der auftretenden Nichtlinearitäten und der Dynamik nicht bei crashbelasteten Strukturen angewendet werden. Zu den Nichtlinearitäten zählen große Verschiebungen und Rotationen, Kontaktphänomene sowie plastisches und geschwindigkeitsabhängiges Materialverhalten. Weitere in einer Optimierung bei Berücksichtigung von Crashlastfällen auftretende Schwierigkeiten sind Verzweigungspunkte, eine hohe Anzahl von lokalen Optima und die fehlende Möglichkeit, die Sensitivitäten analytisch und damit ohne zusätzliche Funktionsaufrufe zu ermitteln.

In der *GHT* wird das eigentliche Optimierungsproblem in zwei ineinander geschachtelte Optimierungsschleifen aufgeteilt. In der äußeren Optimierungsschleife verändern aus Expertenwissen abgeleitete Heuristiken, basierend auf Simulationsdaten von Crashberechnungen, die Topologie der zu optimierenden Struktur. In der inneren Optimierungsschleife werden herkömmliche, universelle Optimierungsalgorithmen für die Formoptimierung und Dimensionierung der Struktur verwendet. Die Geometrie der zu optimierenden Struktur wird durch einen mathematischen Graphen beschrieben. Dieser ist nach einer speziell hierfür entwickelten Syntax aufgebaut und ermöglicht durch die flexible Geometriebeschreibung auch komplexe geometrische Modifikationen wie Topologieänderungen. Graphenbasierte Algorithmen werden für die Überprüfung von Fertigungsrestriktionen eingesetzt.

Dieser Beitrag beinhaltet direkte Auszüge aus der Dissertation [1] und fasst die dort und in [2, 3, 4] beschriebenen Forschungsergebnisse zusammen.

2 Graphenbasierte Geometriebeschreibung

In der *Graphen- und Heuristikbasierten Topologieoptimierung (GHT)* wird die Geometrie der zu optimierenden Struktur durch einen mathematischen Graphen beschrieben. Durch eigens hierfür entwickelte Software werden vollautomatisiert aus diesem Graphen rechenfähige *FE-Modelle* für die durchzuführenden Simulationen generiert. Diese Vorgehensweise weist mehrere Vorteile auf:

1. Komplexe Modifikationen der Struktur wie Topologieänderungen können an dem mathematischen Graphen der Struktur aufgrund der abstrahierten Darstellung mit geringem Aufwand durchgeführt werden.
2. Es können aus der mathematischen Graphentheorie stammende Algorithmen und Verfahren benutzt werden.
3. Die *FE-Modelle* der Struktur werden für jeden Entwurf neu generiert und weisen daher keine verzerrten *Finalen Elemente* auf, wie dies bei der Verwendung von parametrisierten *FE-Modellen* der Fall ist.

Die in dieser Graphensyntax verwendeten Knotentypen lassen sich in zwei Kategorien einordnen. Strukturelle Knoten repräsentieren Subkomponenten der zu beschreibenden Struktur. Logische Knoten besitzen hingegen kein direktes geometrisches Pendant und speichern abstraktere Informationen.

Die Kombination aus strukturellen und logischen Knoten ermöglicht die Beschreibung des Profilquerschnitts einer Struktur.

Abb. 1 zeigt eine Übersicht der Knotentypen. Auf der linken Seite ist ein mathematischer Graph dargestellt und auf der rechten Seite die durch den Graphen abstrahierte mechanische Struktur.

Einzelne Wände des Profilquerschnitts werden durch eine Kombination von drei unterschiedlichen Knoten dargestellt, die untereinander mit Kanten verbunden sind. Der *BEAMG-Knoten* enthält Informationen über die Dicke der Wand und ihre Krümmung. Der *BEAM1-* und der *BEAM2-Knoten* dienen der Definition der Orientierung der Wand. Die Kombination dieser drei Knotentypen wird im Folgenden als *Graphen-Balkenelement* bezeichnet.

Verbindungen zwischen Wänden des Profilquerschnitts und somit zwischen den *Graphen-Balkenelementen*, werden durch *LINK-Knoten* beschrieben, welche mit den *BEAM1-* oder *BEAM2-Knoten* der *Graphen-Balkenelemente* über Kanten verbunden sind. Die *LINK-Knoten* speichern Informationen über die Art der Verbindung der Wände des Profilquerschnitts untereinander und die kartesischen Koordinaten der End- oder Verbindungspunkte der Wände innerhalb des Profilquerschnitts. Zwischen den Wänden können gerade Verbindungen, Rundungsradien und Fasen definiert werden.

Der letzte Knotentyp in dieser Graphensyntax ist der *PARAM-Knoten*, der allgemeine Informationen über die Struktur speichert. Hierzu zählen neben einer Bezeichnung für die Struktur auch die Bauteillänge und die Dichte des verwendeten Materials der Struktur.

Ein durch diese Graphensyntax aufgebauter Graph wird in der Ebene stets so gezeichnet, dass er einer schematischen Darstellung des Profilquerschnitts entspricht, welcher durch den Graphen beschrieben wird.

Ein solcher Graph ist ungerichtet, schlicht und planar. Außerdem ist er mit Ausnahme des *PARAM-Knotens* zusammenhängend.

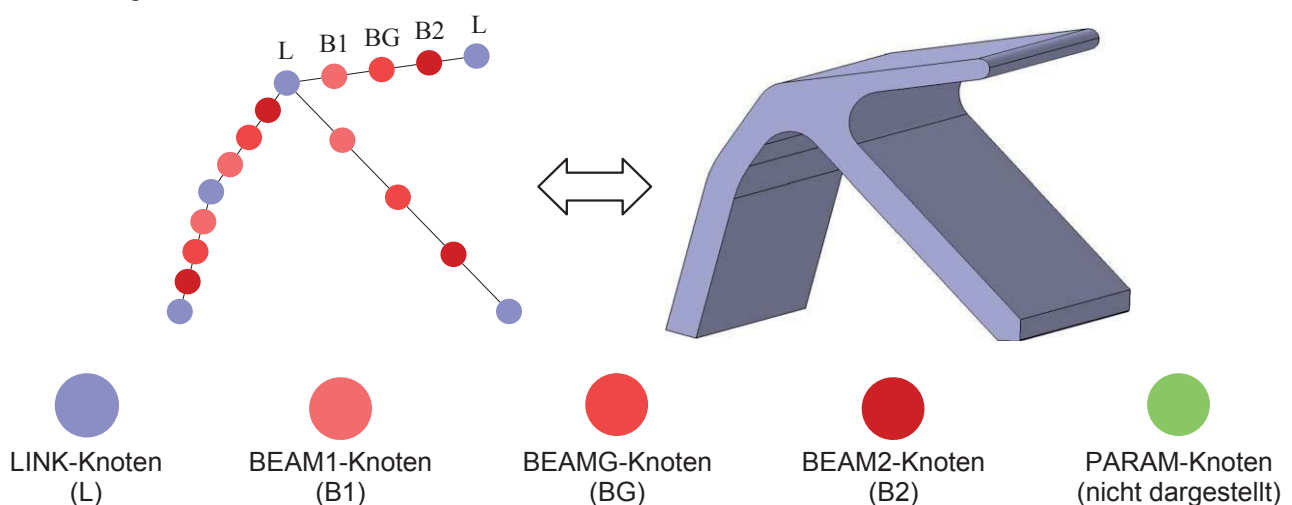


Abb. 1: Übersicht der Knotentypen der Graphensyntax [1]

Um aus Graphen, welche nach der in diesem Kapitel beschriebenen Syntax aufgebaut sind, automatisiert ein Geometriemodell oder ein rechenfähiges *FE-Modell* zu erzeugen, wird das hierfür entwickelte *JAVA-Programm GRAMB* (*GRAph based Mechanics Builder*) verwendet. Dieses transformiert den Graphen in Programmbefehle für eines der *CAE-Systeme Altair HyperMesh®*, *Dassault Systèmes CATIA®* oder *SFE CONCEPT®*. Diese erzeugen dann während der Laufzeit von *GRAMB* ein Geometrie- und/oder *FE-Modell* von der Struktur. Alternativ hierzu besitzt *GRAMB* auch einen eigenen integrierten Vernetzer für einfache Profilstrukturen.

Die Verwendung von mathematischen Graphen für die geometrische Beschreibung einer Struktur erlaubt eine effiziente Überprüfung von Fertigungsrestriktionen, welche sich auf den Profilquerschnitt der Struktur beziehen. Dies ist nicht nur zur Überprüfung des finalen Entwurfs sinnvoll, sondern hiermit kann auch sichergestellt werden, dass in einer Optimierung nur für diejenigen Entwürfe eine *FE-Modellerzeugung* und anschließende Simulation stattfinden, welche die profilquerschnittsbasierten Fertigungsrestriktionen erfüllen. Entwürfe, welche die Fertigungsrestriktionen nicht erfüllen, werden in der Optimierung nicht weiter verfolgt.

Die implementierten Fertigungsrestriktionen orientieren sich an Herstellungsprozessen von Aluminium-Strangpressprofilen, sind aber so universell, dass sie auch bei anderen Fertigungsverfahren Verwendung finden können. Die Fertigungsrestriktionen sind:

1. minimale und maximale Wanddicke von Wänden,
2. Mindestabstand von Wänden unter Berücksichtigung der Wanddicken,
3. minimaler Verbindungswinkel zwischen Wänden,
4. maximales Größenverhältnis der Fläche der größten Kammer im Profilquerschnitt zur Fläche der kleinsten Kammer im Profilquerschnitt,
5. Non-Design-Space-Bereiche im Profilquerschnitt, in denen sich keine Wände befinden dürfen.

3 Heuristiken für die Strukturoptimierung von crashbelasteten Strukturen

In der Optimierung wird unter einer Heuristik eine methodische Anleitung verstanden, welche versucht, mit begrenztem Wissen das Optimum des Optimierungsproblems zu finden oder zumindest eine Verbesserung zu erreichen. Heuristiken werden in der Optimierung immer dann eingesetzt, wenn rein mathematische Verfahren nicht eingesetzt werden können oder ineffektiv sind. Die Topologieoptimierung von crashbelasteten Strukturen ist ein solches Feld.

In diesem Kapitel werden beispielhaft zwei der acht Heuristiken vorgestellt, die in der Methode der *Graphen- und Heuristikbasierten Topologieoptimierung (GHT)* verwendet werden. Die Heuristiken sind aus Expertenwissen abgeleitet. Allen Heuristiken ist gemein, dass sie, basierend auf Simulationsdaten von Crashsimulationen und der Geometrie der Struktur, entweder die Topologie oder nur die Form oder Wanddicken der Struktur modifizieren. Das Ziel hierbei ist eine Verbesserung des mechanischen Verhaltens der Struktur in den Crashlastfällen. Die Heuristiken sind dabei sehr unterschiedlich und teilweise gegenläufig. Die Kombination dieser unterschiedlichen und teilweise miteinander konkurrierenden Heuristiken macht den effizienten Einsatz in einer Optimierung möglich, da erst hierdurch Vielfalt im Sinne von deutlich unterschiedlichen Entwürfen entstehen kann. Es existieren zwei unterschiedliche Arten von Heuristiken in der *GHT*: Heuristiken zur Topologieänderung und Heuristiken zur Form- und Wanddickenänderung. Eine detailliertere Beschreibung der Heuristiken, vor allem der mathematischen Hintergründe findet sich in [1] und [2].

3.1 Heuristik „Entfernen unbelasteter Wände“

Die Heuristik *Entfernen unbelasteter Wände* hat das Ziel, nicht benötigte Wände aus einer Struktur zu entfernen. Ein geeignetes Maß für die strukturmechanische Relevanz einer Wand stellt ihre innere Energiedichte dar. Ist diese in Relation zu der durchschnittlichen inneren Energiedichte der Gesamtstruktur vernachlässigbar gering, lässt dies darauf schließen, dass die betreffende Wand entfernt werden kann, ohne die mechanischen Eigenschaften der Gesamtstruktur signifikant zu beeinflussen. Eine solche Aussage lässt sich jedoch niemals absolut, sondern immer nur für spezifische Lastfälle treffen. Außerdem ist es möglich, dass eine Wand zwar kaum deformiert wird und somit eine geringe innere Energiedichte aufweist, aber dennoch für die Struktur relevant ist, da sie andere Wände abstützt und Instabilitäten wie Knicken oder Beulen verhindert.

Anwendung findet diese Heuristik vor allem bei Strukturen, bei denen die innere Energiedichte unter Last inhomogen verteilt ist. In Abb. 2 ist eine Profilstruktur dargestellt, deren Extrusionsrichtung normal zu der Darstellungsebene liegt und die durch einen Zylinder intrudiert wird. Die gestrichelt dargestellte Wand der Struktur ist

nur einer geringen Belastung ausgesetzt und nimmt daher in Relation zum Rest der Struktur nur geringe Mengen an Energie auf. Die Heuristik würde diese Wand aus der Struktur entfernen.

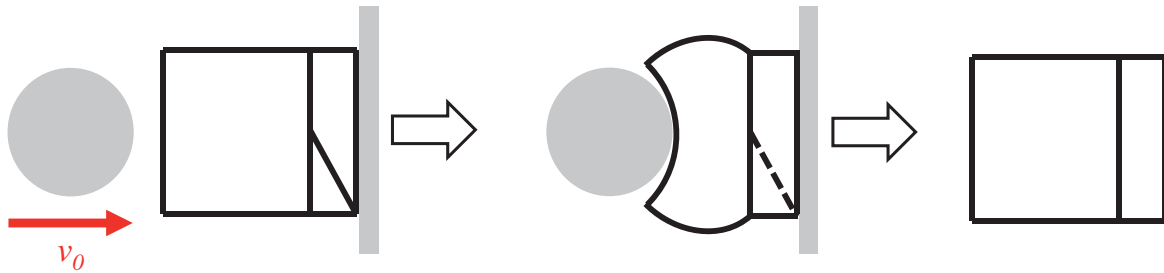


Abb. 2: Ziel und Anwendungsbereich der Heuristik „Entfernen unbelasteter Wände“ [1]

3.2 Heuristik „Abstützen sich schnell deformierender Wände“

Ein Grundprinzip der Auslegung von Fahrzeugstrukturen nach den Anforderungen der passiven Sicherheit ist die Umwandlung von kinetischer Energie in Deformationsenergie durch kontrollierte Deformation von einzelnen Fahrzeugkomponenten. Ein prominentes Beispiel hierfür ist der Längsträger, der durch ein gleichmäßiges Faltenbeulen große Mengen an Energie aufnehmen kann. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich eine Wand in Relation zu der Gesamtstruktur deformiert, gibt Aufschluss darüber, ob sich diese Wand kontrolliert deformiert oder ob sie durch zu schnelle Deformation die strukturelle Integrität der Gesamtstruktur schwächt. Die Heuristik *Abstützen sich schnell deformierender Wände* hat das Ziel, Wände in einer Struktur zu identifizieren und zu verstärken, die sich schneller und unkontrollierter als der Rest der Struktur deformieren. Hierzu zählen Wände, die durch eine Belastung instabil werden, also Beul-, Falt- oder Knickphänomene aufweisen und Wände, die einer Intrusion durch andere Körper weniger Widerstand als der Rest der Struktur entgegen setzen.

Anhand einer Profilstruktur, welche zwischen zwei Barrieren zusammengedrückt wird, ist das Prinzip dieser Heuristik in Abb. 3 verdeutlicht. Die gestrichelte Wand in der Mitte der Profilstruktur hat aufgrund ihrer Länge und Lage eine größere Neigung zum Beulen als die anderen Wände der Struktur und wird daher durch die Heuristik mittig, senkrecht und auf dem kürzesten Weg mit einer neuen Wand abgestützt.

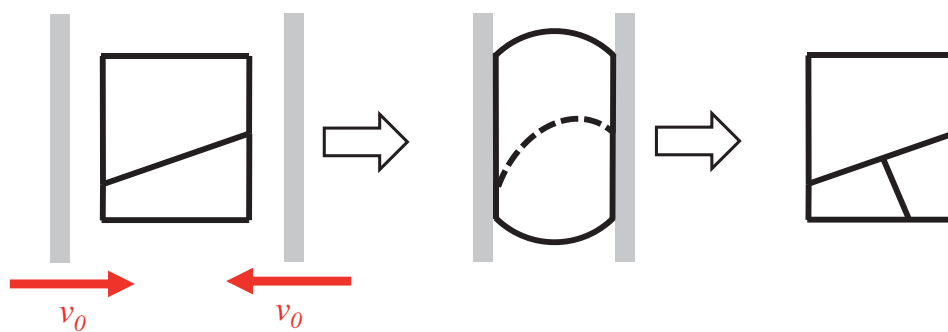


Abb. 3: Ziel und Anwendungsbereich der Heuristik „Abstützen sich schnell deformierender Wände“ [1]

Um die Deformationsgeschwindigkeit einer Wand quantifizieren und bewerten zu können, wird ein geeignetes Kriterium benötigt. Hierfür wird für jede Wand der Struktur für jeden Lastfall ein Deformationsindex berechnet. Dieser nutzt die Tatsache, dass bei Beul-, Knick- und Faltphänomenen in der unmittelbaren Nähe des Phänomens große Differenzen in den Geschwindigkeiten der *FE-Knoten* auftauchen. Dies liegt darin begründet, dass Deformationen infolge von Instabilitätsphänomenen mit hohen Geschwindigkeiten auftreten und dass diese Deformationen lokal stark ausgeprägt sind. In Abb. 4 ist ein *FE-Modell* eines beulenden Blechs zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten inklusive zweier hervorgehobener *FE-Knoten* dargestellt. Abb. 5 zeigt die Geschwindigkeiten dieser beiden *FE-Knoten* in z-Richtung in Abhängigkeit von der Zeit. Es ist deutlich erkennbar, dass trotz des geringen geometrischen Abstands der *FE-Knoten* zueinander, signifikante Differenzen in den Geschwindigkeiten in z-Richtung auftreten.

Für die Berechnung der Deformationsindizes werden die zeitabhängigen Differenzen der Geschwindigkeitsvektoren aller *FE-Knoten* untereinander der jeweiligen Wand in dem jeweiligen Lastfall verwendet.

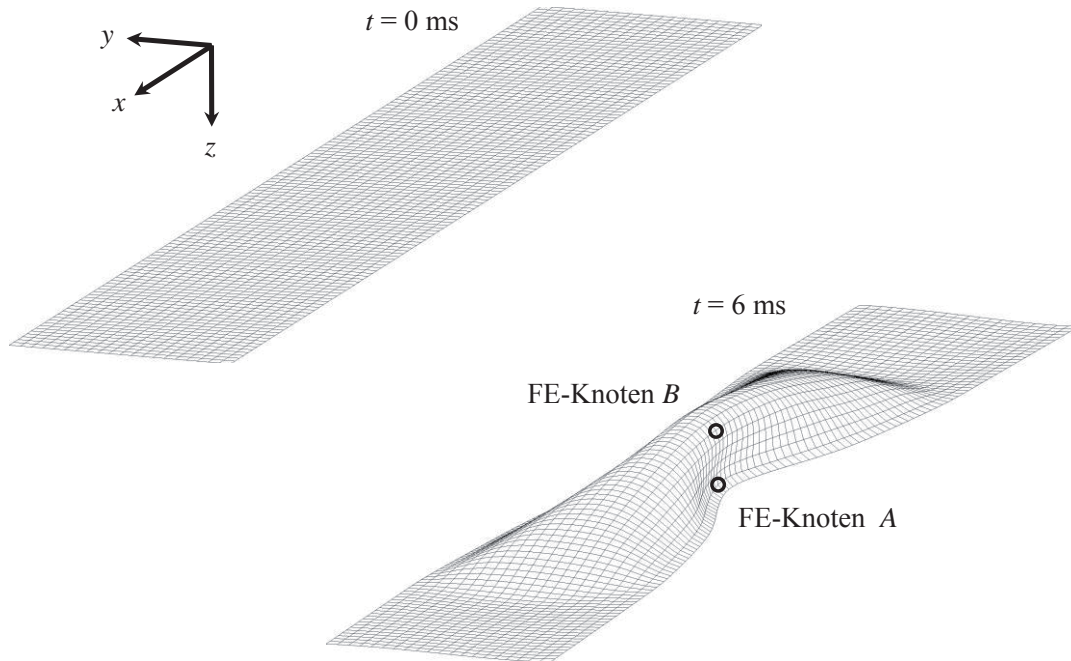


Abb. 4: Beulende Blechstruktur [1]

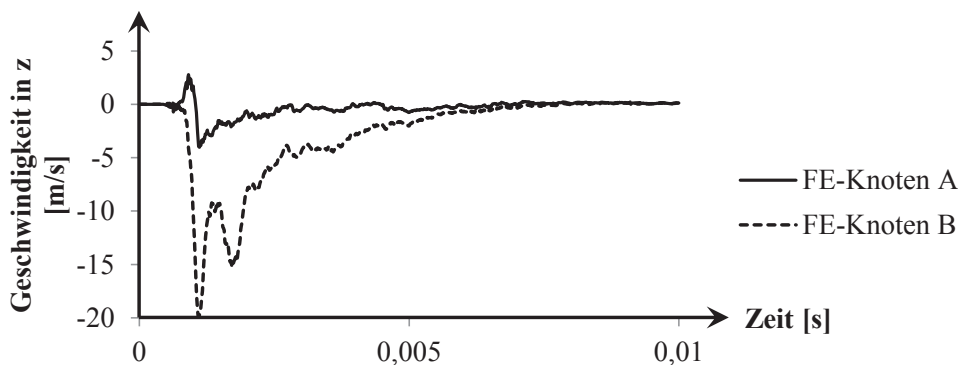


Abb. 5: Differenzen in den Geschwindigkeiten von *FE-Knoten* bei der beulenden Blechstruktur [1]

3.3 Weitere Heuristiken

Die Heuristik *Ausgleichen der Energiedichte* versucht die Verteilung der inneren Energiedichte in der Struktur zu homogenisieren. Hierfür werden Bereiche, die viel Energie absorbieren, mit Bereichen, welche wenig Energie absorbieren, verbunden. Die beiden Heuristiken *Ausnutzen des Deformationsraums Zug* und *Ausnutzen des Deformationsraums Druck* analysieren Relativverschiebungen in der Struktur und sorgen durch den Einbau von neuen Wänden in Deformationszonen der Struktur für eine effizientere Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Deformationsraums. Eine Vereinfachung der Struktur, durch eine Reduzierung der Anzahl der Kammern im Inneren der Struktur, findet durch die Heuristik *Entfernen kleiner Kammern* statt. Die beiden Heuristiken *Glätten der Struktur* und *Skalieren der Wanddicken* führen keine Topologieänderungen durch. Während Erstere Knicke in der Geometrie der Struktur glättet, sorgt Zweitere dafür, dass die Masse der Struktur bei Topologieänderungen konstant bleibt.

4 Funktionsweise der Graphen- und Heuristikbasierten Topologieoptimierung

Die Methode der *Graphen- und Heuristikbasierten Topologieoptimierung* weist vier grundlegende Prinzipien auf:

1. Die Verwendung von mathematischen Graphen zur Beschreibung der Geometrie der zu optimierenden Struktur

Die Geometrie der zu optimierenden Struktur wird durch die in Abschnitt 2 behandelte Graphensyntax beschrieben. Alle Modifikationen der Struktur werden nicht an der Struktur selbst, sondern an dem mathematischen Graphen durchgeführt, welcher die Struktur beschreibt. Graphenbasierte Algorithmen werden zur Überprüfung von Fertigungsrestriktionen und zur geometrischen Modifikation der Struktur verwendet. Auch komplexe geometrische Modifikationen, wie eine Topologieänderung, können so durchgeführt werden. Zu jedem Zeitpunkt kann aus dem Graphen ein *FE-Modell* der Struktur zur Durchführung von Funktionsaufrufen (hier: Crashesimulationen) generiert werden.

2. Die Verwendung von Heuristiken zur Modifikation der zu optimierenden Struktur

In der Optimierung werden aus Expertenwissen abgeleitete Heuristiken für die geometrische Modifikation der Struktur eingesetzt (siehe Abschnitt 3). Diese Veränderungen basieren sowohl auf Informationen über das mechanische Verhalten der Struktur aus Crashesimulationen wie z.B. Verschiebungsvektoren von *FE-Knoten*, als auch auf der aktuellen Geometrie der Struktur. In jeder Iteration darf die Struktur nur eine einzige Topologieänderung erfahren, also stehen die Heuristiken zur Topologieänderung in Konkurrenz zueinander. Die Heuristiken zur Form- und Wanddickenänderung hingegen werden nacheinander auf einen Entwurf angewendet, der durch eine Heuristik zur Topologieänderung erzeugt wurde.

3. Die Aufteilung des Optimierungsproblems in eine äußere und eine innere Schleife

Das eigentliche Optimierungsproblem der kombinierten Topologieoptimierung, Formoptimierung und Dimensionierung einer Struktur wird in zwei ineinander geschachtelte Optimierungsschleifen aufgeteilt. In der äußeren Optimierungsschleife wird die zu optimierende Struktur ausschließlich mithilfe der Heuristiken modifiziert. Die Hauptaufgabe liegt hierbei in der Topologiemodifikation der zu optimierenden Struktur. In der inneren Optimierungsschleife wird für einen aus der äußeren Optimierungsschleife stammenden Startentwurf entweder eine reine Dimensionierung oder eine Formoptimierung und Dimensionierung durchgeführt. Hierfür kann ein beliebiger universeller Optimierungsalgorithmus wie z.B. *Genetische Algorithmen* verwendet werden. Die Topologiekategorie der Struktur wird während der inneren Optimierungsschleife nicht verändert.

4. Die parallele Verfolgung von konkurrierenden Entwürfen

Während der Optimierung wird nicht nur ein einzelner Entwurf verfolgt und sukzessive modifiziert, sondern eine Anzahl von miteinander konkurrierenden Entwürfen, die parallel zueinander verfolgt werden. Um ein exponentielles Wachstum der zu untersuchenden Entwürfe und dadurch auch der Funktionsaufrufe zu vermeiden, wird die Anzahl der konkurrierenden Entwürfe, die von einer Iteration zur nächsten übergehen können, beschränkt. Die maximale Anzahl wird durch den Parameter N_{ke} gesteuert, wobei N_{ke} eine Ganzzahl ist mit $N_{ke} \geq 1$ und vor Beginn der Optimierung festgelegt wird. Als Standardwert wird $N_{ke} = 5$ verwendet. Durch eine umfangreichere Abtastung des Entwurfsraums verbessert die Verwendung von konkurrierenden Entwürfen die Fähigkeit der *GHT* lokale Optima im Entwurfsraum zu überwinden. Je mehr konkurrierende Entwürfe verwendet werden, umso besser ist diese Fähigkeit, umso größer ist allerdings auch der Berechnungsaufwand. Die konkurrierenden Entwürfe entstehen durch Topologiemodifikationen, welche die Heuristiken zur Topologieänderung in der äußeren Optimierungsschleife durchführen und können vollkommen unterschiedlich voneinander sein. In jeder Iteration darf sich bei jedem Entwurf die Topologiekategorie nur einmal ändern, also ist jeder neue Entwurf stets das Resultat der Anwendung einer der Heuristiken zur Topologieänderung. Um entscheiden zu können, welche dieser neuen Entwürfe in der nächsten Iteration weiterverfolgt werden und welche ausscheiden, werden die Entwürfe entweder über einzelne Funktionsaufrufe oder über innere Optimierungsschleifen, bestehend aus einer Dimensionierung, bewertet.

Abb. 6 zeigt den Ablauf der äußeren Optimierungsschleife. Dabei wird n_{ke} als Index zur Nummerierung der konkurrierenden Entwürfe, die von einer Iteration in die nächste übergehen, n_h für die Nummerierung der Heuristiken zur Topologieänderung und n_i als Index für die Iterationen verwendet. Der Ablauf der inneren Optimierungsschleife ist in Abb. 7 dargestellt.

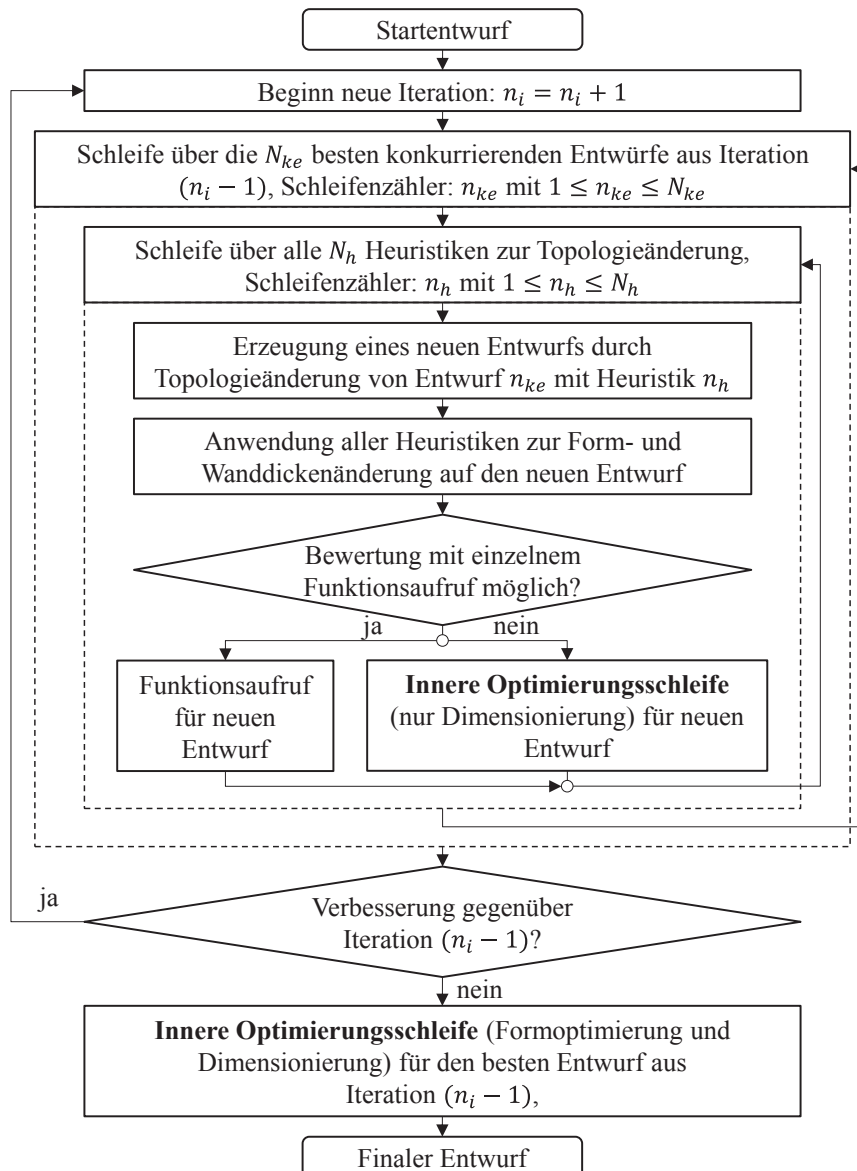


Abb. 6: Ablauf der äußeren Optimierungsschleife

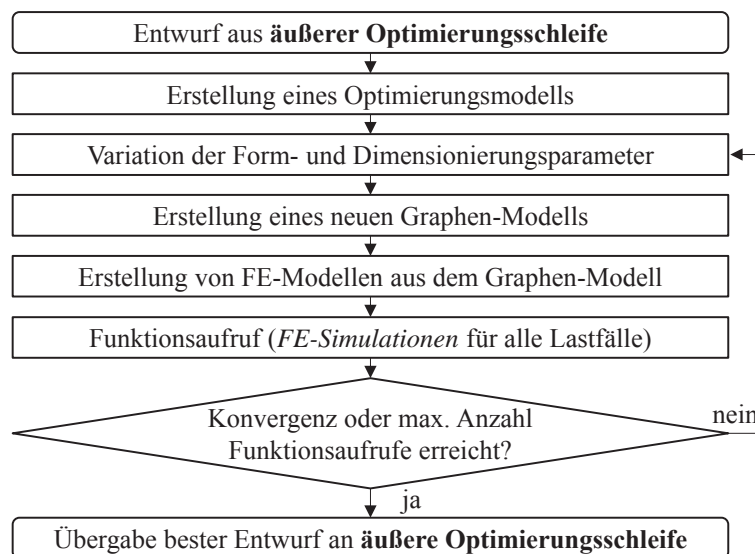


Abb. 7: Ablauf der inneren Optimierungsschleife [1]

5 Anwendungsbeispiel

Bei diesem Anwendungsbeispiel handelt es sich um die Optimierung eines Fahrzeugschwellers in einem reduzierten Gesamtfahrzeugmodell eines Cabrios. Der Aufbau des Lastfalls ist angelehnt an den *Euro NCAP* Pfahlaufprall. Das Fahrzeug bewegt sich also mit 29 km/h seitlich gegen einen starren Pfahl. Sowohl der Dummy, als auch die Sitzstrukturen, sind in dem Analysemodell nicht berücksichtigt. Das Analysemodell wurde im Rahmen des *BMBF-Verbundprojekts Methodische und softwaretechnische Umsetzung der Topologieoptimierung crashbeanspruchter Fahrzeugstrukturen* von dem Projektpartner *Volkswagen Osnabrück GmbH* zur Verfügung gestellt. Abb. 8 zeigt das *FE-Modell* aus der Draufsicht.

Das *FE-Modell* des Fahrzeugs besteht aus ca. 739000 *Finiten Elementen*, welche eine durchschnittliche Elementkantenlänge von 10 mm aufweisen. Die Crashesimulation benötigt bei einer Verwendung von 128 Prozessorkernen (*Intel Xeon CPU E5-2650®* mit einem Prozessortakt von 2 GHz) aufgrund des vorgegeben Zeitschritts von 0,65 μ s und der Verwendung von Massenskalierung etwa 53 min bis zur Komplettierung.

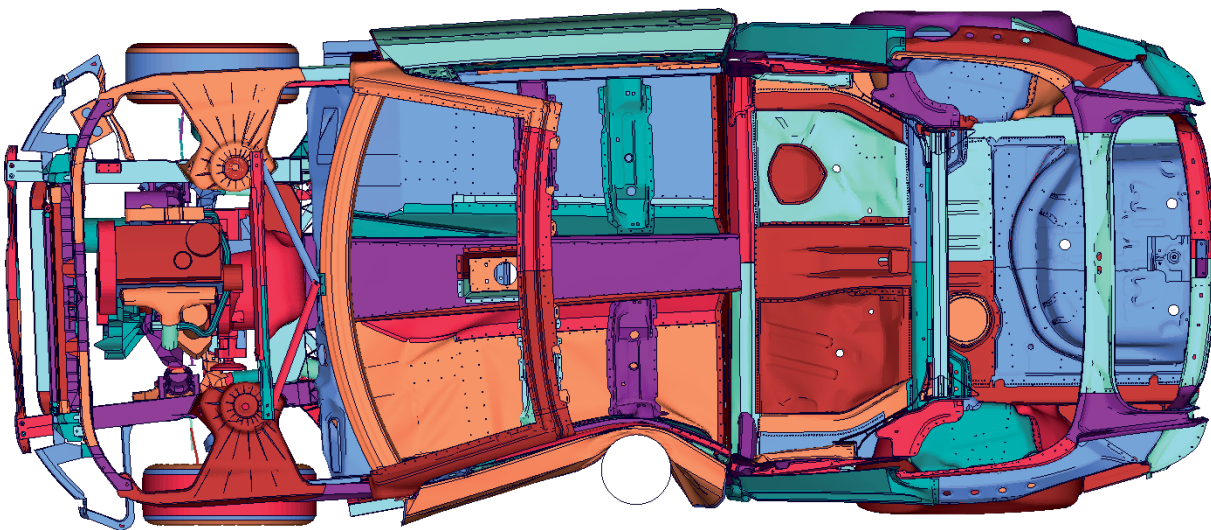


Abb. 8: Deformationsverhalten des Fahrzeugs, mit freundlicher Genehmigung der Volkswagen Osnabrück GmbH

Die zu optimierende Struktur innerhalb des Fahrzeugs ist der aus Aluminium bestehende Schweller. Als Startentwurf für die Optimierung wird ein hohler Profilquerschnitt verwendet, dessen äußere Kontur während der Optimierung nicht verändert werden darf. Als Referenzentwurf wird der ursprüngliche Profilquerschnitt des Schwellers verwendet, welcher bereits eine Vielzahl von Kammern in seinem Inneren aufweist. Die Verstärkungswände im Inneren des Schwellers haben dabei eine Wanddicke von 2 mm und die außen liegenden Wände eine Wanddicke von 2,75 mm. Die Graphen des Referenzentwurfs und des Startentwurfs sind in Abb. 9 dargestellt.

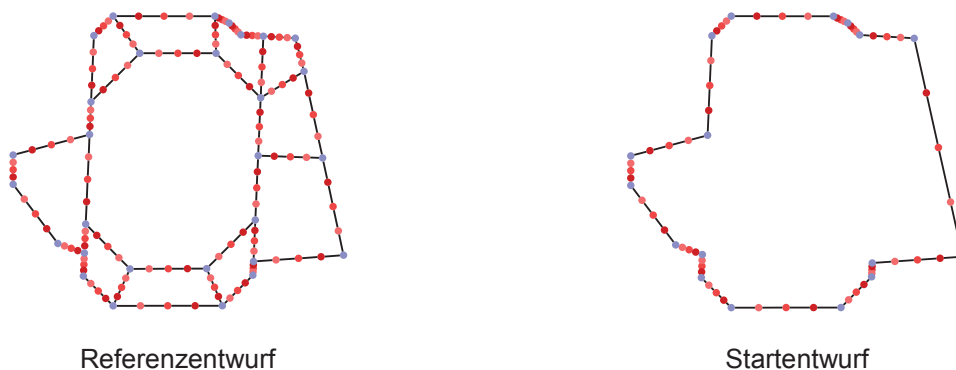


Abb. 9: Graphen des Referenzentwurfs und des Startentwurfs [1]

Das Deformationsverhalten des Referenzentwurfs zu unterschiedlichen Zeitpunkten als Schnitt durch das Fahrzeug normal zur x-Achse bei $x = 1300$ mm (Pfahlaufprall-Position) zeigt Abb. 10. Dargestellt in der Abbildung sind der Schweller, der Fahrzeugboden und die Türstruktur sowie die Außenseite des Pfahls. Die Intrusion durch den Pfahl führt zu starken Deformationen der kompletten Türstruktur und des Schwellers. Türinnenblech und Türaußenhaut kommen in Kontakt miteinander und der Seitenaufprallträger in der Tür wird vollständig komprimiert. Bei dem Schweller bleibt der dem Fahrzeug zugewandte, innere Teil weitestgehend intakt, während die andere Seite des Schwellers ebenfalls komplett zusammengedrückt wird. Der Fahrzeugboden erfährt eine Biegebelastung und wölbt sich in Richtung Erdboden aus.

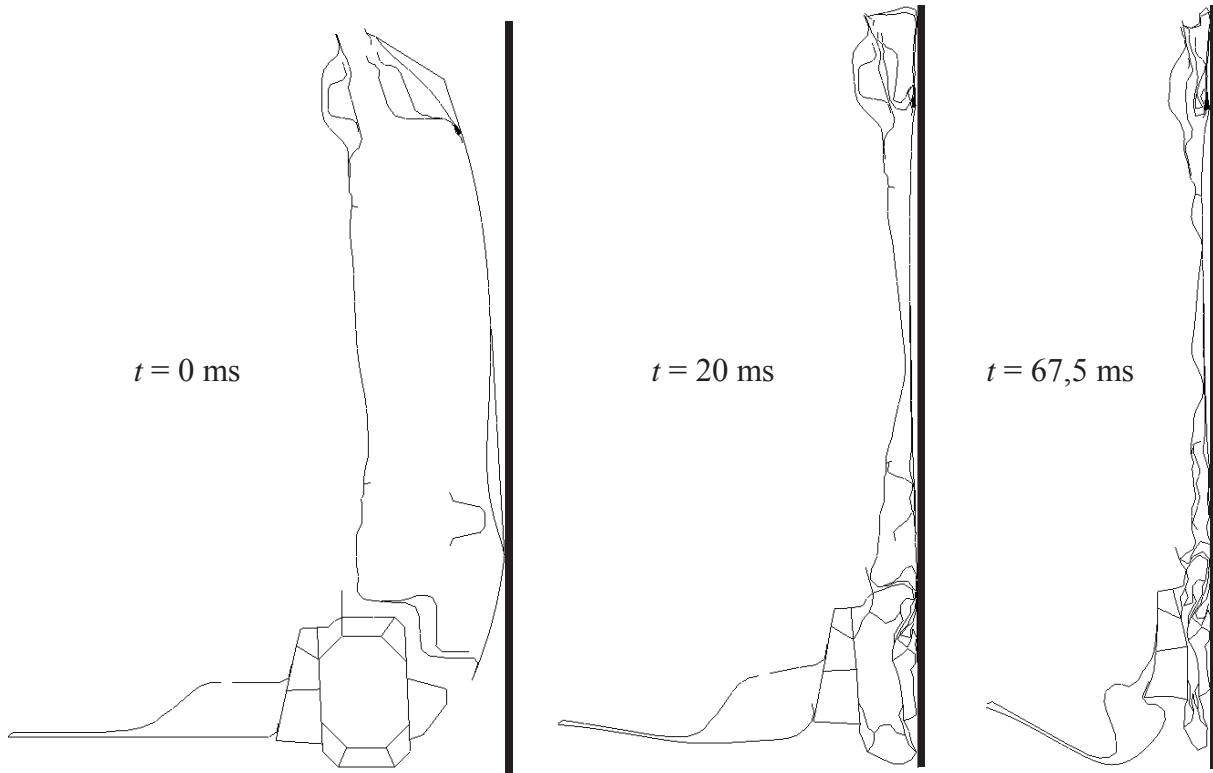


Abb. 10: Deformationsverhalten des Schwellers als Schnitt durch $x=1300$ mm, mit freundlicher Genehmigung der Volkswagen Osnabrück GmbH [1]

Das Ziel der Optimierung ist die Minimierung der Masse m des Schwellers, wobei sich der Überlebensraum d_{ue} der Insassen gegenüber dem Referenzentwurf nicht verschlechtern darf. Dabei ist noch eine Reihe von Fertigungsrestriktionen einzuhalten, die sich an Herstellungsprozessen von Aluminium-Strangpressprofilen orientieren. Die Definition des Optimierungsproblems ist in Tab. 1 zusammengefasst.

Optimierungsziel:	Minimierung der Masse m des Schwellers
Funktionale Restriktionen:	Überlebensraum der Insassen $d_{ue} \geq 471,8$ mm (d_{ue} des Referenzentwurfs)
Fertigungsrestriktionen:	$1,6 \text{ mm} \leq \text{Wanddicke der Struktur} \leq 6 \text{ mm}$
	Verbindungswinkel zwischen zwei Wänden $\geq 15^\circ$
	Abstand zwischen zwei Wänden $\geq 10 \text{ mm}$
	Größenverhältnis von größter zu kleinster Kammer ≤ 20

Tab. 1: Zusammenfassung des Optimierungsproblems [1]

Durch die Verwendung eines Gesamtfahrzeugmodells ist jeder einzelne Funktionsaufruf der Optimierung rechenintensiv. Um die Anzahl der notwendigen Funktionsaufrufe zu begrenzen, werden die Vorschläge der Heuristiken mit einzelnen Funktionsaufrufen bewertet und in der finalen inneren Optimierungsschleife wird keine Formoptimierung durchgeführt, sondern lediglich eine Dimensionierung mit zwei Entwurfsvariablen: einer Wand-

dicke für die äußeren Wände und einer Wanddicke für die inneren Wände des Schwellers. Tab. 2 fasst die Optimierungshistorie zusammen. Der Startentwurf der Optimierung weist bei identischer Masse einen deutlich geringeren Überlebensraum der Insassen als der Referenzentwurf auf, da der Startentwurf über keine inneren Wände verfügt und lediglich aus der äußeren Kontur des Schwellers besteht (siehe Abb. 9). Durch die Optimierung kann die Masse des Schwellers auf 12,87 kg reduziert werden. Dies entspricht einer Verbesserung von 15,4 %, verglichen mit dem 15,22 kg schweren Referenzentwurf. Der finale Entwurf der Optimierung liegt dabei dicht an der Grenze der Restriktion des Überlebensraums der Insassen. Insgesamt wurden in der Optimierung 188 Funktionsaufrufe, also 188 Crash-Simulationen verwendet.

	Masse m [kg]	Überlebensraum d_{ue} [mm]	Wanddicke außen t_a [mm]	Wanddicke innen t_i [mm]
Referenz	15,22	471,8	2,75	2,00
Startentwurf	15,22	443,1	5,01	5,01
Finaler Entwurf	12,87	472,3	2,18	2,60

Tab. 2: Zusammenfassung der Optimierungsergebnisse [1]

Die Entwicklung der Struktur vom Startentwurf zum finalen Entwurf der Optimierung anhand der dazugehörigen Graphen zeigt Abb. 11.

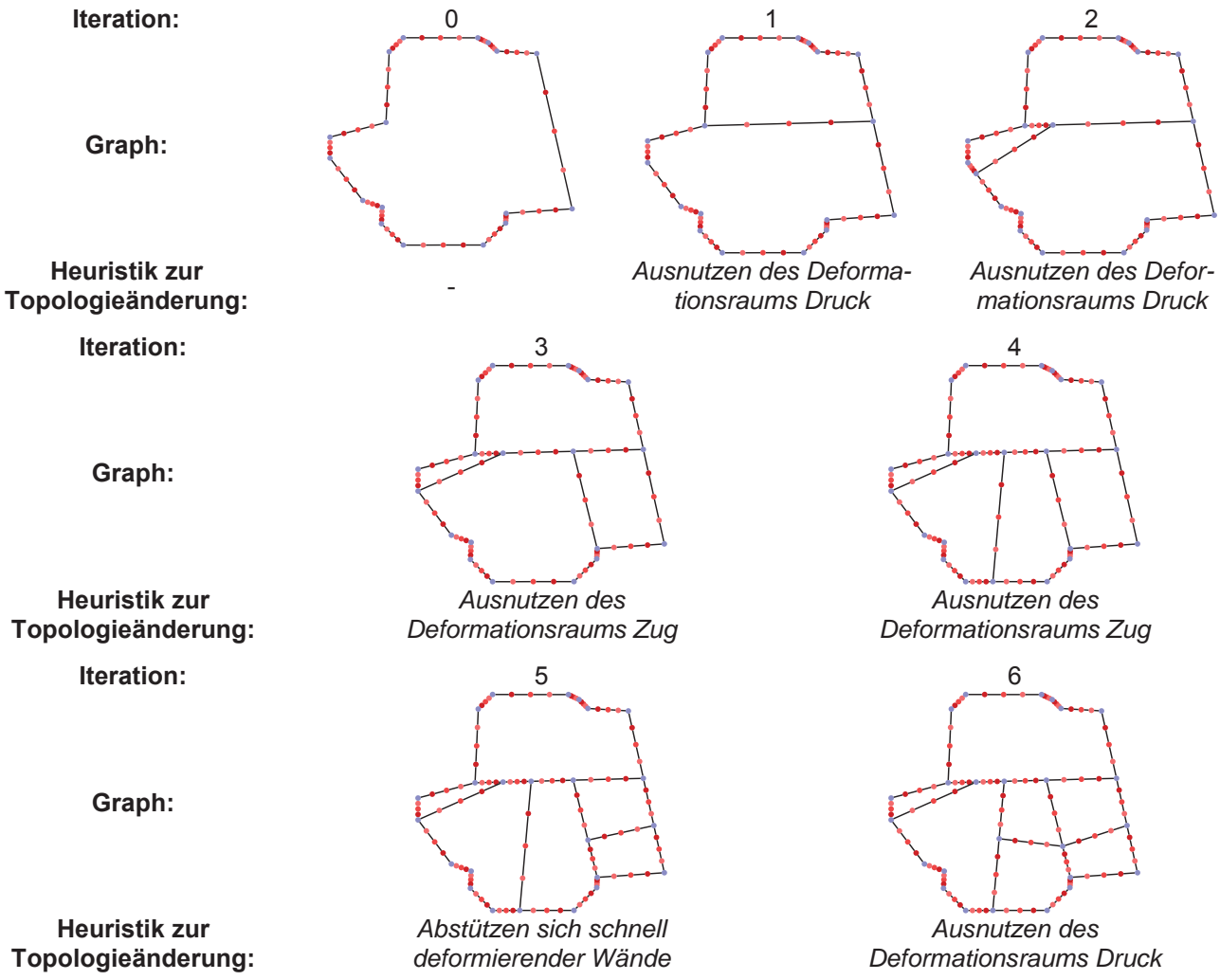


Abb. 11: Entwicklungshistorie vom Startentwurf zum finalen Entwurf [1]

Abb. 12 zeigt das Deformationsverhalten des finalen Entwurfs zu unterschiedlichen Zeitpunkten als Schnitt durch das Fahrzeug normal zur x-Achse bei $x = 1300$ mm. In der Region, in welchem Bodenblech und Schweller miteinander verbunden sind, weist der Profilquerschnitt des Schwellers mehrere Kammern auf. Diese verbessern die strukturelle Integrität des Schwellers an dieser Stelle. Von der Verbindungsregion mit dem Bodenblech zu der äußersten, in Richtung Pfahl zeigenden Spitze des Schwellers zieht sich ein stark beanspruchter Lastpfad. Dieser faltet sich im Laufe der Simulation vollständig zusammen und weist dadurch von allen Wänden die größte Energieabsorption auf. Verglichen mit dem Referenzentwurf deformiert sich der finale Entwurf der Optimierung wesentlich gleichmäßiger.

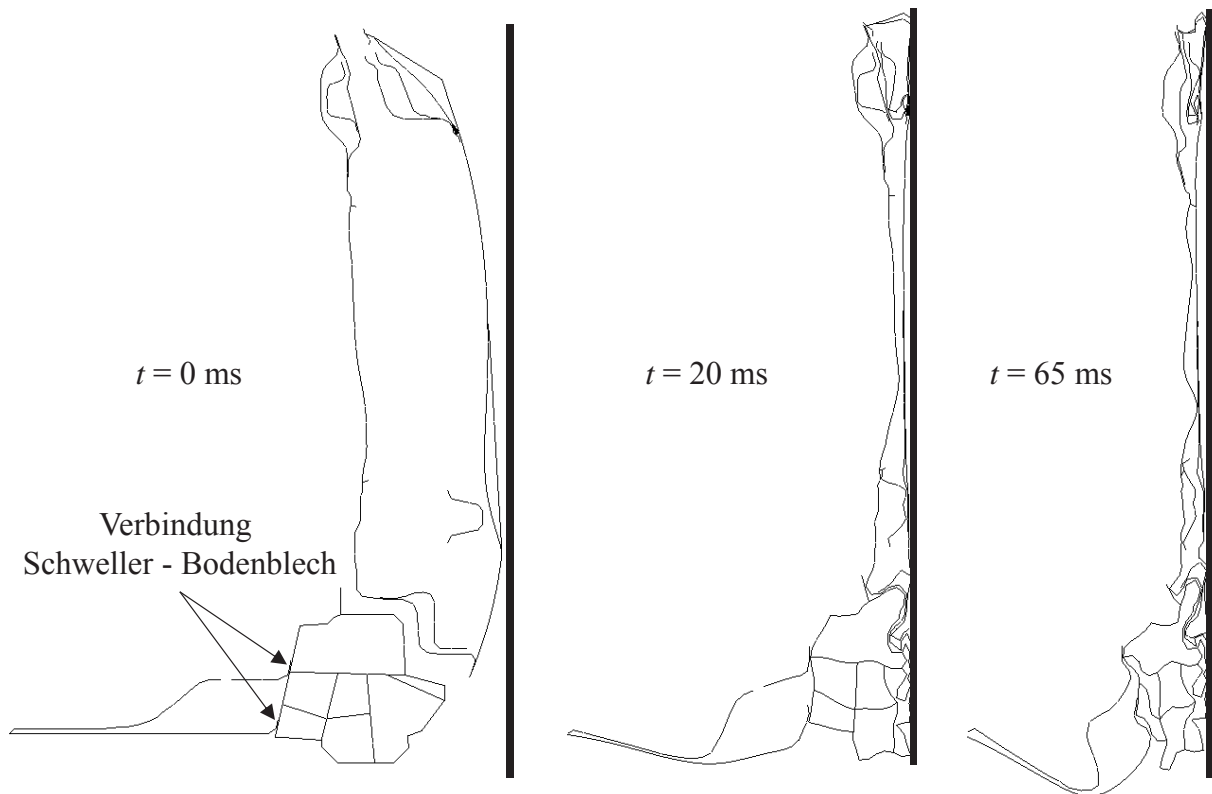


Abb. 12: Deformationsverhalten des finalen Entwurfs als Schnitt durch $x=1300$ mm [1]

6 Literatur

- [1] Ortmann, C.: Entwicklung eines graphen und heuristikbasierten Verfahrens zur Topologieoptimierung von Profilquerschnitten für Crashlastfälle, Aachen: Shaker Verlag, 2015, 978-3-8440-3746-3 (zugleich Dissertation an der Bergischen Universität Wuppertal)
- [2] Ortmann, C. und Schumacher, A.: Graph and heuristic based topology optimization of crash loaded structures, Struct Multidisc Optim 47(6), 2013, 839-854
- [3] Ortmann, C. und Schumacher A.: Branching strategies for the application of heuristics to the topology optimization of crash loaded structures, Proceedings of the 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), Barcelona, Spanien, 20. - 25. Juli 2014
- [4] Ortmann C. und Schumacher A.: Mathematical Description and Algorithmization of Expert Knowledge for the Support of the Topology Optimization of Crashworthiness Structures, PAMM Proc Appl Math Mech 14, 2014, 1023-1026

NAFEMS Benchmarks zur Verifizierung der freien FEM-Software Z88Aurora

Stefan Hautsch, Maximilian Braun, Bettina Alber-Laukant, Frank Rieg
Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD, Universität Bayreuth

Z88Aurora ist ein in Deutschland entwickeltes und für den wissenschaftlichen sowie kommerziellen Gebrauch kostenlos erhältliches Finite-Elemente-Analyse (FEA) Programm. Zur Verifizierung der genannten FEA-Software werden 13 Tests aus den NAFEMS-Benchmarks ausgewählt, die Modelle in Z88Aurora aufgebaut und berechnet. Bei der Auswertung sollen zusätzlich die Benchmark-Ergebnisse einer kommerziellen State of the Art Software zum Vergleich herangezogen werden. Sowie die Vorgaben der Benchmarks vollständig umgesetzt sind, liefert die kostenlose Simulationssoftware sehr geringe Abweichungen zu den analytisch ermittelten Benchmark-Werten. Es zeigt sich, dass die freie Software Z88Aurora bei diesen Benchmark-Tests zu der kommerziellen Software ebenbürtig ist.

1 Einleitung und Motivation

Im Zeitalter der Globalisierung steht die Produktentwicklung stets unter großem Termin- und Kostendruck, um im internationalen Konkurrenzkampf einen Vorteil gegenüber den Wettbewerbern zu erarbeiten. Dies gilt sowohl für große Unternehmen als auch zunehmend für kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Um dieses Ziel zu erreichen, werden innovative Simulationswerkzeuge bereits in vielen Branchen eingesetzt. Diese Werkzeuge können wiederum ein nicht zu unterschätzender Kostenfaktor und folglich wettbewerbskritisch für KMU sein. Dem entgegen wirkt Z88Aurora – ein Freeware-FEA-Programm, welches vom Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD an der Universität Bayreuth unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg veröffentlicht wurde und kontinuierlich erweitert und verbessert wird [1]. Die aktuellste Version Z88Aurora V3 wird kostenlos sowohl für den privaten und wissenschaftlichen Gebrauch als auch für die kommerzielle Nutzung in Unternehmen angeboten. Dieser Vorteil macht die Software für den produktiven Einsatz in der Industrie – besonders bei KMU – interessant. Um die Leistungsfähigkeit und Ergebnisgüte eines solchen kostenlosen Programmpakets beurteilen zu können, werden im Rahmen dieser Veröffentlichung mehrere Finite-Elemente-Simulationen mit verschiedenen Modellen und Berechnungsarten durchgeführt.

2 Benchmarks und Auswertung

Um die Analyse und den Vergleich von FEA-Softwarelösungen zu erleichtern, werden Benchmark-Tests von der National Agency for Finite Element Methods and Standards (NAFEMS) veröffentlicht, mit welchen die Programme getestet und im Anschluss einer kontinuierlichen Qualitätskontrolle unterzogen werden können [2].

Basierend auf einer Auswahl der von NAFEMS veröffentlichten Benchmarks (vgl. [3-6]) werden insgesamt 13 Tests herangezogen und die Finite-Elemente-Modelle mit Z88Aurora V3 soweit möglich nach Vorgabe aufgebaut sowie berechnet. Die in den Benchmarks gegebenen Zielgrößen variieren von Fall zu Fall, befinden sich jedoch meist an den Finite-Elemente-Knoten (FE-Knoten). An diesen FE-Knoten berechnet Z88Aurora standardmäßig nur die Verschiebungen. Spannungskomponenten sowie die Vergleichsspannung werden an den Gaußpunkten, also den Integrationsstützstellen des finiten Elements, berechnet und daraus die gemittelte Vergleichsspannung an den Elementen und den Knoten generiert. Da nicht alle Modelle exakt nach den NAFEMS-Vorgaben aufgebaut sind und ggf. geometrisch leicht abweichen oder andere Elementtypen Verwendung finden, ist eine Näherung zur Abbildung der berechneten Werte auf den Punkt des analytisch ermittelten Sollwerts nötig. Hier wird ein Mittelwert bestehend aus den nächsten zehn („Top10“) bzw. vier („Top4“) Gaußpunkten berechnet oder die Werte des nächsten Gaußpunkts („NGP“) angegeben, um die Ergebnisse gut anzunähern. Dies liegt darin begründet, dass die gegebenen Spannungen am Auswertepunkt zu den berechneten Spannungen am Gaußpunkt umso mehr abweichen, je weiter der Gaußpunkt entfernt liegt. Sobald die Lage des Auswertepunkts exakt auf einen FE-Knoten fällt und das Modell sehr akkurat erstellt ist, wird die Spannungsberechnung von Z88Aurora von Gaußpunkten auf Knoten geändert. Folglich findet die Spannungsberechnung nur

noch an den FE-Knoten statt. Der in der folgenden Auswertung als „Knoten“ bezeichnete Wert wird dann an dem zum Auswertepunkt nächstliegenden Knoten abgelesen.

Die Berechnungen der Benchmarks mit Z88Aurora werden durchgehend mit dem direkten und parallelisierten Gleichungslöser PARDISO mit Sparse-Speicherung und Fill-In durchgeführt. Die Auswertung wurde mit Hilfe der automatisch im ASCII-Format erzeugten Ausgabedateien vollzogen, die alle wichtigen Ergebnisse von Verschiebungen über Knotenkräfte zu Spannungskomponenten und Vergleichsspannung an den Gaußpunkten bzw. an den Knoten und Elementen bereitstellen. Die Ergebnisse der Benchmark-Tests mit Z88Aurora V3 werden im Folgenden präsentiert und abschließend bewertet sowie mit den Ergebnissen von Abaqus v6.14-3 von Dassault Systèmes [7] verglichen. Es wird auf eine detaillierte Beschreibung der Benchmarks bzw. des Modellaufbaus verzichtet, da Details hierzu in der gegebenen Literatur ausführlich dargestellt sind.

2.1 Benchmark LE1 – Elliptische Membran

Der erste Standard-Benchmark [3] behandelt eine elliptische Membran aus dreieckigen bzw. viereckigen Scheibenelementen, welche mit einem Druck nach Außen beaufschlagt ist. Der Benchmark wird mit den Z88-Elementen Scheibe Nr. 7 (acht Knoten, viereckig, quadratischer Serendipity-Ansatz) und Scheibe Nr. 11 (12 Knoten, viereckig, kubischer Serendipity-Ansatz) vernetzt. Neben den vorgegebenen Netzen Coarse (Mesh 1) und Fine (Mesh 2) wird für das Element Nr. 7 zusätzlich ein feineres Netz aus 16x24 Elementen (Mesh3) erstellt.

Die Ergebnisse des Benchmarks LE1 sind in Tab. 1 dargestellt. Die feinere Vernetzung von Element 7 ist zur Zielerreichung nicht notwendig, da bereits Mesh 2 eine sehr gute Genauigkeit erreicht. Die Verwendung der kubischen Schale Nr. 12 bringt nochmals eine Verbesserung und die Abweichung fällt bei feinem Netz unter ein Prozent.

Tab. 1: Ergebnisse Benchmark LE1

Zielwert: 92,7 MPa	σ_{yy} in MPa			Abweichung
	Top4	NGP	Knoten	
Element 7 / Mesh 1	53,66	73,58	83,45	-10,0 %
Element 7 / Mesh 2	68,41	83,25	91,06	-1,8 %
Element 7 / Mesh 3	87,20	92,30	95,65	3,2 %
Element 11 / Mesh 1	54,31	74,98	87,70	-5,4 %
Element 11 / Mesh 2	68,43	83,34	92,20	-0,5 %

2.2 Benchmark LE3 – Halbkugelige Schale mit Punktlasten

Für den Standard-Benchmark LE3 [3], eine halbkugelige Schale mit Punktlasten, wird in Z88Aurora das Element Schale Nr. 21 (16 Knoten, viereckig, quadratischer Serendipity-Ansatz) benutzt. Bei der Vernetzung sollten neben den Vorgaben des Benchmarks, welcher zum einen ein grobes Netz (Mesh 1, Coarse) und zum anderen ein feines Netz (Mesh 2, Fine) vorsieht, nochmals feinere Netze mit 192 (Mesh 3), 432 (Mesh 4) und 1728 (Mesh 5) Elementen Anwendung finden. Die Volumenschale schafft es bei den vorgegebenen Vernetzungen nicht, den Zielwert zu erreichen (siehe Tab. 2). Sobald die feineren Netze berechnet werden, sinkt die Abweichung auf unter ein Prozent. Parallel zur steigenden Ergebnisgüte erhöht sich auch der Rechenaufwand, der aber aufgrund der Parallelisierung des direkten Gleichungslösers kaum ins Gewicht fällt.

Tab. 2: Ergebnisse Benchmark LE3

Zielwert: 185 mm	u_x in mm	Abweichung
Element 21 / Mesh 1	2,57	-7098,4 %
Element 21 / Mesh 2	32,00	-478,1 %
Element 21 / Mesh 3	142,29	-30,0 %
Element 21 / Mesh 4	174,22	-6,2 %
Element 21 / Mesh 5	183,99	-0,5 %

2.3 Benchmark LE5 – Kragbalken mit Z-Profil

Der fünfte linear-elastische Standard-Benchmark LE5 [3] besteht aus einem eingespannten Kragbalken mit Z-Profil, welcher mit einem Moment – abgebildet durch zwei gegenläufig wirkende Scherkräfte am freien Balkenende – belastet ist und aus viereckigen Platten bestehen soll. Passend hierzu wird das Z88-Schalenelement Nr. 21 gewählt und mit der vorgegeben Vernetzung (Mesh 1) sowie zusätzlich mit 32x12 (Mesh 2) und 64x24 Elementen (Mesh 3) berechnet. Bereits die mittlere Netzfeinheit liefert positive Ergebnisse von unter 7 % Abweichung zum analytischen Ergebnis. Das sehr feine Netz erreicht sogar eine Abweichung von unter 3 %. Die Resultate im Detail können Tab. 3 entnommen werden.

Tab. 3: Ergebnisse Benchmark LE5

Zielwert: -108 MPa	σ_{xx} in MPa			Abweichung
	Top10	Top4	NGP	
Element 21 / Mesh 1	-48,22	-65,59	-72,14	-33,2 %
Element 21 / Mesh 2	-111,77	-119,45	-115,40	6,9 %
Element 21 / Mesh 3	-116,43	-115,68	-110,90	2,7 %

2.4 Benchmark LE6 – Rautenförmige Platte unter normalem Druck

Ebenso zu den Standard-Benchmarks [3] zählt die rautenförmige Platte unter normalem Druck (LE6). Als passende finite Elemente werden die Z88-Platten Nr. 19 (16 Knoten, viereckig, kubischer Lagrange-Reissner-Mindlin-Ansatz) und Nr. 20 (acht Knoten, viereckig, quadratischer Serendipity-Reissner-Mindlin-Ansatz) gewählt und mit den vorgegeben Vernetzungen Coarse (Mesh1) und Fine (Mesh 2) im Modell umgesetzt. Zudem wird für Element Nr. 20 eine Berechnung mit einem feineren Netz aus 8x8 Elementen (Mesh 3) durchgeführt. Aufgrund des höherwertigen Ansatzes zeigt Element Nr. 19 bereits mit der groben Vernetzung sehr gute Werte, welche bei feinerer Vernetzung auf knapp ein Prozent Abweichung zum Benchmark-Zielwert verbessert werden (vgl. Tab 4). Für Element Nr. 20 werden nochmals feinere Netze benötigt, um passable Ergebnisse zu erreichen. Die Vernetzung mit Mesh 3 reicht noch nicht aus, sodass die sehr geringe Abweichung von Element Nr. 19 um den Faktor zehn übertroffen wird. Es ist zu erwarten, dass bei weiterer Netzverfeinerung auch mit dem quadratischen Plattenelement bessere Resultate erzielbar sind.

Tab. 4: Ergebnisse Benchmark LE6

Zielwert: 0,802 MPa	σ_v in MPa (nach Rankine) am NGP	Abweichung
Element 19 / Mesh 1	0,818	2,0 %
Element 19 / Mesh 2	0,792	-1,2 %
Element 20 / Mesh 1	0,321	-60,0 %
Element 20 / Mesh 2	0,612	-23,7 %
Element 20 / Mesh 3	0,705	-12,1 %

2.5 Benchmark LE7 – Achsensymmetrischer Zylinder

Für den Standard-Benchmark LE7 [3], einen druckbelasteten achsensymmetrischen Zylinder, werden nun Torus-Elemente benötigt. Folglich wird dieser Benchmark mit den Z88-Elementen Torus Nr. 8 (acht Knoten, viereckig, quadratischer Serendipity-Ansatz) und Torus Nr. 12 (12 Knoten, viereckig, kubischer Serendipity-Ansatz) und jeweils mit den zwei von NAFEMS vorgegebenen Vernetzungen Coarse (Mesh 1) und Fine (Mesh 2) durchgeführt. Bei der Berechnung des Benchmarks wird für den druckbelasteten Torus in Z88Aurora V3 die Aufstellung des Lastvektors bzw. die Elementroutine [1] angepasst, sodass der Druck automatisch mit dem jeweiligen Umfang und den Knotenabständen in Knotenkräfte umgerechnet wird. Die Resultate mit dieser Anpassung hängen weiterhin von der Netzfeinheit ab, da diese die Genauigkeit der Flächenberechnung direkt steigert. Analog zum vorherigen Benchmark liegen die Ergebnisse (siehe Tab. 5) des höherwertigen Ansatzes deutlich näher am Zielwert. Mit Element Nr. 12 lässt sich schon bei grober Vernetzung quasi keine Abweichung zum Soll-Wert erkennen, mit feiner Vernetzung liegt diese ebenso unter einem Prozent. Die Verschlechterung des Wertes bei feinem Netz liegt innerhalb der numerischen Schwankungen durch das veränderte Netz und die

gemittelte Umrechnung der Drucklast. Das Element Nr. 8 benötigt für ähnlich gute Resultate im Vergleich zu Element Nr. 12 die feine Vernetzung und kommt damit auf eine Abweichung von knapp zwei Prozent.

Tab. 5: Ergebnisse Benchmark LE7

Zielwert: 25,86 MPa	σ_{zz} in MPa			Abweichung
	Top4	NGP	Knoten	
Element 8 / Mesh 1	17,81	19,84	21,05	-18,6 %
Element 8 / Mesh 2	22,31	24,85	26,45	2,3 %
Element 12 / Mesh 1	22,07	24,36	25,76	-0,4 %
Element 12 / Mesh 2	23,10	24,28	25,63	-0,9 %

2.6 Benchmark LE8 – Achsensymmetrische Schale

Ein weiterer linear-elastischer Benchmark mit Toruselementen ist der Standard-Benchmark LE8 [3]. Die Berechnungen wurden mit den vorgegebenen Vernetzungen Coarse (Mesh 1) und Fine (Mesh 2) und den Elementen Nr. 8 und Nr. 12 durchgeführt. Der angepasste Randbedingungseinbau aus Kapitel 2.5 wird hier ebenso verwendet. Die dort angemerkte Abhängigkeit von der Netzfeinheit spiegeln auch die Ergebnisse von Benchmark LE8 in Tab. 6 wider, wobei die Unterschiede zwischen den beiden Tori erneut gering ausfallen. Mit feinem Netz liegen die Elemente bei knapp drei Prozent (Nr. 8) bzw. knapp zwei Prozent (Nr. 12) Abweichung vom analytisch berechneten Wert.

Tab. 6: Ergebnisse Benchmark LE8

Zielwert: 94,55 MPa	σ_{TE} in MPa			Abweichung
	Top4	NGP	Knoten	
Element 8 / Mesh 1	75,93	86,74	88,34	-8,3 %
Element 8 / Mesh 2	88,95	91,43	85,02	-3,3 %
Element 12 / Mesh 1	76,73	90,23	88,27	-4,6 %
Element 12 / Mesh 2	90,35	92,50	85,14	-2,2 %

2.7 Benchmark LE9 – Achsensymmetrische, verzweigte Schale

Beim vorletzten linear-elastischen Standard-Benchmark LE9 handelt es sich um eine achsensymmetrische, verzweigte Schale bestehend aus Toruselementen unter Innendruck. Die Berechnungen werden mit den Elementen Torus Nr. 8 und Torus Nr. 12 und den vorgegebenen Vernetzungen Coarse (Mesh 1) und Fine (Mesh 2) durchgeführt. Das Element Nr. 8 wird zusätzlich mit einem feineren Netz (Mesh 3) berechnet. Zum Einsatz kam auch der Anpassung des Randbedingungseinbaus für Toruselemente aus Kapitel 2.5. Aufgrund des komplexen Modellaufbaus weichen die Ergebnisse mit knapp 20 % vom Zielwert ab, solange die Vernetzung nicht über die NAFEMS-Vorgabe hinaus verfeinert wird (vgl. Tab 7). Mit einem feineren Netz liefert Element Nr. 8 geringere Abweichungen von unter zehn Prozent, die mit einer weiteren Verfeinerung noch verringert werden könnten. Dies lässt sich auch auf Element Nr. 12 übertragen, welches bei steigender Netzfeinheit bessere Resultate erzielen wird. Insgesamt ist bei den druckbelasteten Torus-Modellen der modifizierte Randbedingungseinbau durch seine starke Netzabhängigkeit das ausschlaggebende Kriterium für eine geringe Abweichung zum analytisch berechneten Wert aus den NAFEMS-Benchmarks. Zudem differiert der Modellaufbau der verzweigten Schale zur Soll-Geometrie, was zu zusätzlichen Abweichungen der Spannungswerte führen kann.

Tab. 7: Ergebnisse Benchmark LE9

Zielwert: -319,9 MPa	σ_{zz} in MPa			Abweichung
	Top10	Top4	NGP	
Element 8 / Mesh 1	-61,73	-149,31	-217,50	-32,0 %
Element 8 / Mesh 2	-107,96	-203,03	-249,80	-21,9 %
Element 8 / Mesh 3	-251,14	-269,95	-290,60	-9,2 %
Element 12 / Mesh 1	-78,37	-177,98	-247,90	-22,5 %
Element 12 / Mesh 2	-109,86	-202,50	-257,10	-19,6 %

2.8 Benchmark LE10 – Dicke Platte

Als abschließender linear-elastischer Benchmark wird LE10 – eine dicke Platte unter Druckbelastung – aus den Standard-Benchmarks [3] ausgewählt. Diese Platte soll nach NAFEMS-Vorgaben aus Hexaedern oder Tetraedern bestehen. Folglich werden die Standardvernetzungen mit den Z88-Elementen Hexaeder Nr. 1 (acht Knoten, linearer Ansatz) bzw. Nr. 10 (20 Knoten, quadratischer Serendipity-Ansatz) sowie für Tetraeder Nr. 16 (zehn Knoten, quadratischer Serendipity-Ansatz) und Nr. 17 (vier Knoten, linearer Ansatz) generiert. Zusätzlich werden feinere Netze mit 12x8x4 Elementen (Mesh 3) erstellt. Wie Tab. 8 zu entnehmen ist, erreichen die finiten Elemente mit quadratischem Ansatz bei Mesh 2 Abweichungen um zwei Prozent. Damit der Hexaeder mit linearem Ansatz den Zielwert erreicht, wird das feine Mesh 3 benötigt. Der lineare Tetraeder weicht bei dieser Netzfeinheit noch mehr als 30 % ab und würde folglich von einer noch feineren Vernetzung profitieren. Dies ist mit Fokus auf die Rechenzeit nicht kritisch, da die Anzahl der Freiheitsgrade bei diesem Tetraedernetz knapp 60 % unter dem des zugehörigen Hexaedernetzes liegt und somit noch Spielraum für ein feineres Netz vorhanden ist.

Tab. 8: Ergebnisse Benchmark LE10

Zielwert: 5,38 MPa	σ_{yy} in MPa			Abweichung
	Top4	NGP	Knoten	
Element 1 / Mesh 1	1,26	2,34	3,73	-30,6 %
Element 1 / Mesh 2	2,55	3,42	4,93	-8,4 %
Element 1 / Mesh 3	3,96	4,52	5,43	0,8 %
Element 10 / Mesh 1	3,45	4,06	4,64	-13,7 %
Element 10 / Mesh 2	3,84	4,50	5,28	-1,9 %
Element 10 / Mesh 3	4,58	4,94	5,36	-0,5 %
Element 16 / Mesh 1	0,33	0,55	4,75	-11,8 %
Element 16 / Mesh 2	3,01	4,26	5,51	2,5 %
Element 16 / Mesh 3	3,84	4,66	5,59	3,9 %
Element 17 / Mesh 1	0,66	0,56	0,97	-82,0 %
Element 17 / Mesh 2	1,29	1,84	1,84	-65,8 %
Element 17 / Mesh 3	3,11	3,46	3,48	-35,4 %

2.9 Benchmark Test 9(i)

Um die Güte der thermischen bzw. thermo-mechanischen Berechnungen von Z88Aurora zu überprüfen, wird aus den NAFEMS „Benchmarks Tests For Thermal Analysis“ [5] der Test 9(i) herangezogen. Die Berechnungen werden mit den vorgegebenen Netzfeinheiten abweichend zum Benchmark statt mit 2D-Elementen mit den 3D-Elementen Hexaeder Nr. 1 und Hexaeder Nr. 10 durchgeführt. Sowohl der Hexaeder mit linearem Ansatz als auch das Pendant mit quadratischer Ansatzfunktion erreichen bei feinem Netz eine Abweichung vom analytischen Wert von gut drei Prozent oder weniger (vgl. Tab. 9).

Tab. 9: Ergebnisse Benchmark Test 9(i)

Zielwert: 260,50 °C	T in °C	Abweichung
Element 1 / Mesh 1	333,33	28,0 %
Element 1 / Mesh 2	269,15	3,3 %
Element 10 / Mesh 1	179,92	-30,9 %
Element 10 / Mesh 2	257,19	-1,3 %

2.10 Benchmark FV5 – Gelenkig gelagerter Balken

Der erste Benchmark für die Eigenschwingungsanalyse wird erneut aus den NAFEMS Standard-Benchmarks [3] entnommen. Hierbei soll das Modell mit den Elementen Hexaeder Nr. 1 und Nr. 10 sowie der vorgegebenen Vernetzung analysiert werden. Statt der NAFEMS-Vorgabe eines 3D-Balkenelements müssen Hexaeder zur Anwendung kommen, da Balkenelemente in Z88Aurora nicht im Eigenschwingungssolver verfügbar sind. Trotz der unterschiedlichen Elementwahl stimmen die Modi im optischen Vergleich sehr gut überein (vgl. Bild 1), weshalb der Benchmark zur Bewertung verwendet wird. Ebenso überzeugen die Zahlenwerte mit geringen Abweichungen, wobei einige Moden stärker divergieren, andere dafür sehr exakt getroffen werden. Dies ist in Anbetracht der unterschiedlichen Elementwahl durchaus nachvollziehbar. Details sind in Tab. 10 für den linearen Hexaeder bzw. in Tab. 11 für den quadratischen Hexaeder dargestellt.

Tab. 10: Ergebnisse Benchmark FV5 – Element 1

	Zielwert	f in Hz	Abweichung
Mode 1 & 2	42,649 Hz	75,566	77,2 %
Mode 3	77,542 Hz	88,049	13,6 %
Mode 4	125,000 Hz	126,826	1,5 %
Mode 5 & 6	148,310 Hz	167,365	12,8 %
Mode 7	233,100 Hz	197,187	-15,4 %
Mode 8 & 9	284,550 Hz	270,988	-4,8 %

Tab. 11: Ergebnisse Benchmark FV5 – Element 10

	Zielwert	f in Hz	Abweichung
Mode 1 & 2	42,649 Hz	62,341	46,2 %
Mode 3	77,542 Hz	100,243	29,3 %
Mode 4	125,000 Hz	125,001	0,0 %
Mode 5 & 6	148,310 Hz	166,484	12,3 %
Mode 7	233,100 Hz	195,171	-16,3 %
Mode 8 & 9	284,550 Hz	272,374	-4,3 %

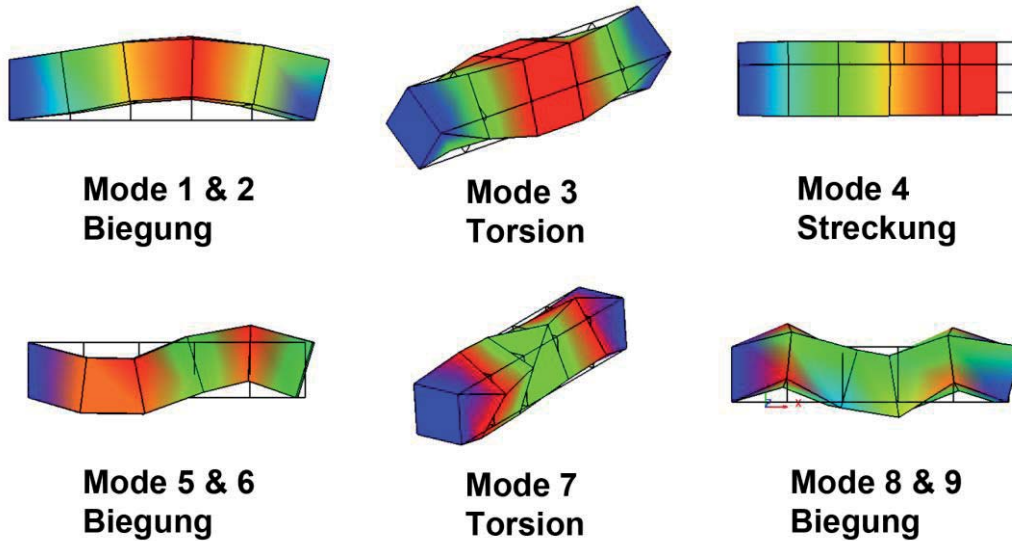


Abb. 1: Ergebnisse Benchmark FV5 – Moden 1 bis 9

2.11 Benchmark FV32 – Kegelförmiger Kragbalken

Das Modell des freitragenden, kegelförmigen Kragbalkens aus den Standard-Benchmarks [3] soll mittels Eigenschwingungsanalyse untersucht werden. Die von NAFEMS vorgegebenen Membranelemente sind in Z88Aurora nicht verfügbar, sodass die Modelle stattdessen mit den Elementen Hexaeder Nr. 1 bzw. Nr. 10 und den vorgegebenen Netzfeinheiten berechnet werden. Analog zum Benchmark FV5 stimmen die Modi trotz der anderen Elementwahl sehr gut überein (vgl. Bild 2), weshalb der Benchmark Berücksichtigung findet. Ebenso existieren bei den Zahlenwerten in Tab. 12 und Tab. 13 unabhängig vom Elementansatz keine Abweichungen über zehn Prozent. Im Idealfall wird der Zielwert sogar exakt getroffen, in vielen Fällen liegen die Differenzen zum analytisch berechneten Wert unter fünf Prozent.

Tab. 12: Ergebnisse Benchmark FV32 – Element 1

		f in Hz	Abweichung
Mode 1	Mesh 1	42,764	-4,2 %
Zielwert: 44,623 Hz	Mesh 2	42,491	-4,8 %
Mode 2	Mesh 1	136,873	5,3 %
Zielwert: 130,030 Hz	Mesh 2	136,386	4,9 %
Mode 3	Mesh 1	155,298	-4,5 %
Zielwert: 162,700 Hz	Mesh 2	155,686	-4,3 %
Mode 4	Mesh 1	264,532	7,5 %
Zielwert: 246,050 Hz	Mesh 2	266,262	8,2 %
Mode 5	Mesh 1	394,775	3,9 %
Zielwert: 379,900 Hz	Mesh 2	404,108	6,4 %
Mode 6	Mesh 1	390,955	-0,1 %
Zielwert: 391,440 Hz	Mesh 2	395,732	1,1 %

Tab. 13: Ergebnisse Benchmark FV32 – Element 10

	Netz	f in Hz	Abweichung
Mode 1	Mesh 1	41,923	-6,1 %
Zielwert: 44,623 Hz	Mesh 2	42,241	-5,3 %
Mode 2	Mesh 1	133,360	2,6 %
Zielwert: 130,030 Hz	Mesh 2	135,217	4,0 %
Mode 3	Mesh 1	154,927	-4,8 %
Zielwert: 162,700 Hz	Mesh 2	155,409	-4,5 %
Mode 4	Mesh 1	257,081	4,5 %
Zielwert: 246,050 Hz	Mesh 2	260,043	5,7 %
Mode 5	Mesh 1	383,400	0,9 %
Zielwert: 379,900 Hz	Mesh 2	397,431	4,6 %
Mode 6	Mesh 1	386,359	-1,3 %
Zielwert: 391,440 Hz	Mesh 2	391,997	0,1 %

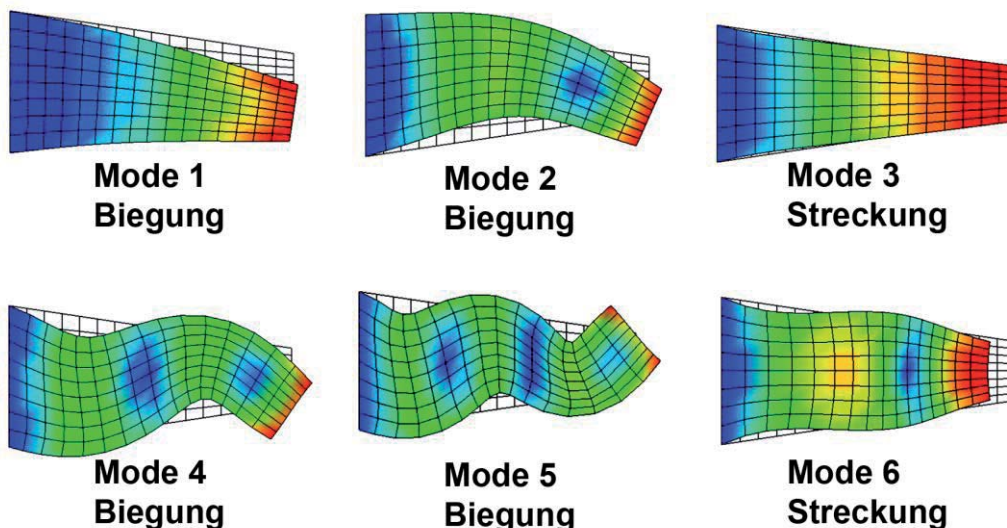


Abb. 2: Ergebnisse Benchmark FV32 – Moden 1 bis 6

2.12 Benchmark FV52 – einfach gelagerte quadratische Platte

Zur abschließenden Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Eigenschwingungssolvers wird der Standard-Benchmark FV52 – die einfach gelagerte, quadratische Platte [3] – eingesetzt. Für den Benchmark werden die vorgesehenen Elemente 8-Knoten Hexaeder (Nr. 1) bzw. 20-Knoten Hexaeder (Nr. 10) mit den vorgegeben Vernetzungseinstellungen eingesetzt. Die Form der Moden stimmt bei der Berechnung mit Z88Aurora nicht immer überein, da die Analyse zusätzliche Moden (X & Y) zeigt, welche nicht im NAFEMS Benchmark erwähnt sind (vgl. Bild 3). Trotz dieser Unterschiede sind die quantitativen Abweichungen zu den Soll-Werten gering und liegen für den Hexaeder mit quadratischem Ansatz und feiner Vernetzung meist unter fünf Prozent. Einzelheiten sind in Tab. 14 für den 8-Knoten Hexaeder und in Tab. 15 für den 20-Knoten Hexaeder abgebildet.

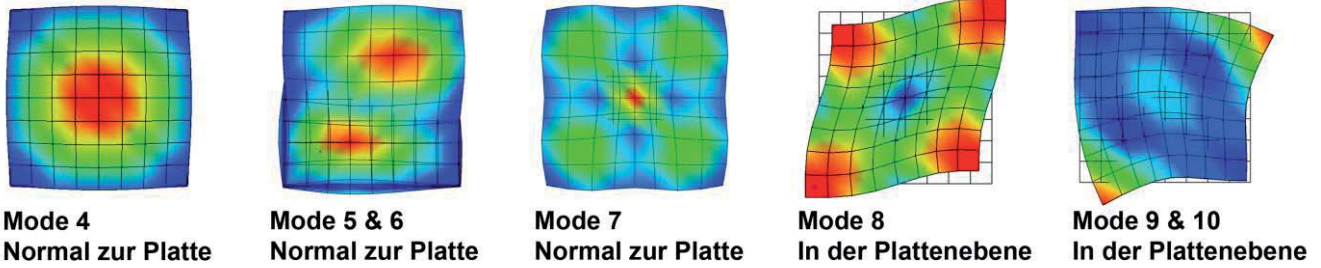


Abb. 3: Ergebnisse Benchmark FV52 – Moden 4 bis 10

Tab. 14: Ergebnisse Benchmark FV52 – Element 1

		f in Hz	Abweichung
Mode 4	Mesh 1	64,569	40,7 %
Soll: 45,897 Hz	Mesh 2	50,311	9,6 %
Mode 4 & 6	Mesh 1	159,305	45,6 %
Soll: 109,440 Hz	Mesh 2	124,387	13,7 %
Mode 7	Mesh 1	192,535	14,7 %
Soll: 167,890 Hz	Mesh 2	175,818	4,7 %
Mode 8	Mesh 1	193,913	0,2 %
Soll: 193,590 Hz	Mesh 2	193,786	0,1 %
Mode X	Mesh 1	n. v.	n. v.
Soll: n. v.	Mesh 2	237,788	n. v.
Mode 9 & 10	Mesh 1	187,676	-9,0 %
Soll: 206,190 Hz	Mesh 2	201,143	-2,4 %
Mode Y	Mesh 1	211,021	n. v.
Soll: n. v.	Mesh 2	216,399	n. v.

Tab. 15: Ergebnisse Benchmark FV52 – Element 10

		f in Hz	Abweichung
Mode 4	Mesh 1	44,456	-3,1 %
Soll: 45,897 Hz	Mesh 2	43,637	-4,9 %
Mode 4 & 6	Mesh 1	107,618	-1,7 %
Soll: 109,440 Hz	Mesh 2	104,983	-4,1 %
Mode 7	Mesh 1	160,701	-4,3 %
Soll: 167,890 Hz	Mesh 2	157,095	-6,4 %
Mode 8	Mesh 1	193,494	0,0 %
Soll: 193,590 Hz	Mesh 2	193,462	-0,1 %
Mode X	Mesh 1	199,952	n. v.
Soll: n. v.	Mesh 2	196,526	n. v.
Mode 9 & 10	Mesh 1	184,063	-10,7 %
Soll: 206,190 Hz	Mesh 2	200,690	-2,7 %
Mode Y	Mesh 1	210,135	n. v.
Soll: n. v.	Mesh 2	228,198	n. v.

2.13 Benchmark Test NL 3.4

Nachdem die Untersuchungen der Z88Aurora-Berechnungsmodule linear-elastische Analyse, Eigenschwingungsanalyse und thermische Analyse abgeschlossen sind, soll letztlich noch der nichtlineare Solver erprobt werden. Hierzu kommt der Benchmark Test NL 3.4 aus den „Finite Element Benchmarks For 2D Beams And Axisymmetric Shells Involving Geometric Non-Linearity“ [6] zum Einsatz. Es handelt sich um einen einseitig eingespannten Kragbalken mit einer Einzellast am freien Balkenende. Analog zu Benchmark FV5 sind Balkenelemente im nichtlinearen Solver von Z88Aurora nicht verfügbar, sodass der Benchmark mit einem Netz aus den Z88-Elementen Hexaeder Nr. 1 bzw. Nr. 10 berechnet wird. Verwendung finden die vorgegebene Netzeinstellung Mesh 2 mit 32 Elementen und dazu ein größeres Mesh 1 mit 16 Elementen. In Bild 4 sind die prozentualen Abweichungen vom Zielwert über dem Lastanteil dargestellt. Die Ergebnisse weichen bei voller Last teilweise noch im zweistelligen Prozentbereich ab, was durch die minimal zulässige Querkontraktionszahl in Z88Aurora bedingt sein kann. Hierbei lässt sich der von NAFEMS geforderte Wert von 0,0 nicht verwenden, sodass mit 0,01 gerechnet wird. Mit Hinblick auf diese Anpassung und die Wahl eines anderen Elementtyps bei relativ großer FE-Vernetzung sind die Ergebnisse als gut einzustufen.

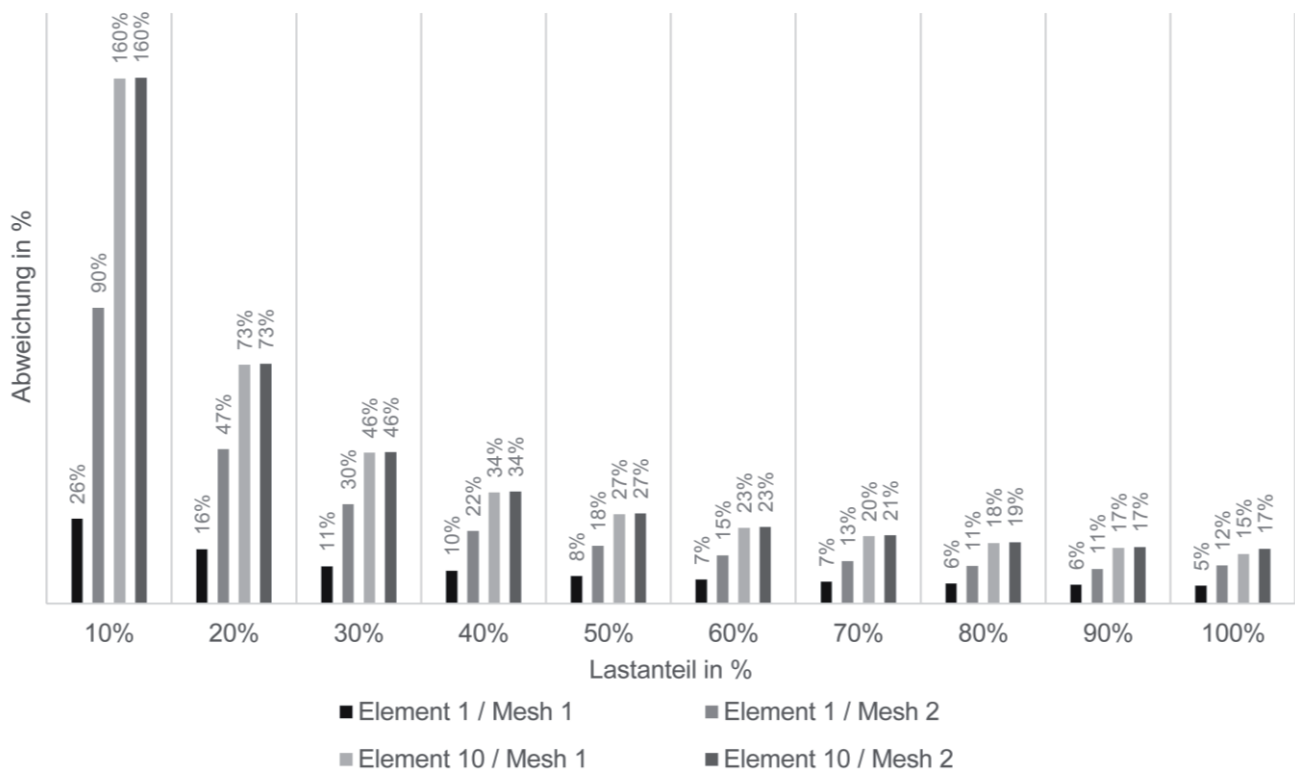


Abb. 4: Ergebnisse Benchmark Test NL 3.4

3 Zusammenfassung und Ausblick

In Abb. 5 werden die bei der Berechnung der Benchmarks mit Z88Aurora V3 ermittelten minimalen Abweichungen von den NAFEMS-Zielwerten dargestellt und mit den Ergebnissen von Abaqus/Standard v6.14-3 nach [7] verglichen. Hierbei fehlen im Diagramm die Werte von Abaqus, für die keine Benchmarkresultate verfügbar sind. Bei der Betrachtungen der Abweichungen von Z88Aurora V3 ist deutlich zu erkennen, dass diese über alle ausgewerteten Benchmarks unter zehn Prozent liegen. Hierfür ist die Vernetzung stellenweise weiter verfeinert worden. So kann im Vergleich zu Abaqus/Standard eine ähnliche bzw. teilweise sogar eine höhere Genauigkeit erreicht werden. Nachteile in der Berechnungsgeschwindigkeit können mit Z88Aurora durch die Parallelisierung der Solver egalisiert werden, wobei steigende Lizenzanforderungen wie bei der Mehrkern-Berechnung mit kommerziellen Systemen nicht anfallen. Bei Tests mit bis zu 32 Kernen und 128 GB Arbeitsspeicher konnte Z88Aurora V3 äußerst zeitsparend die geforderten Analysen abschließen.

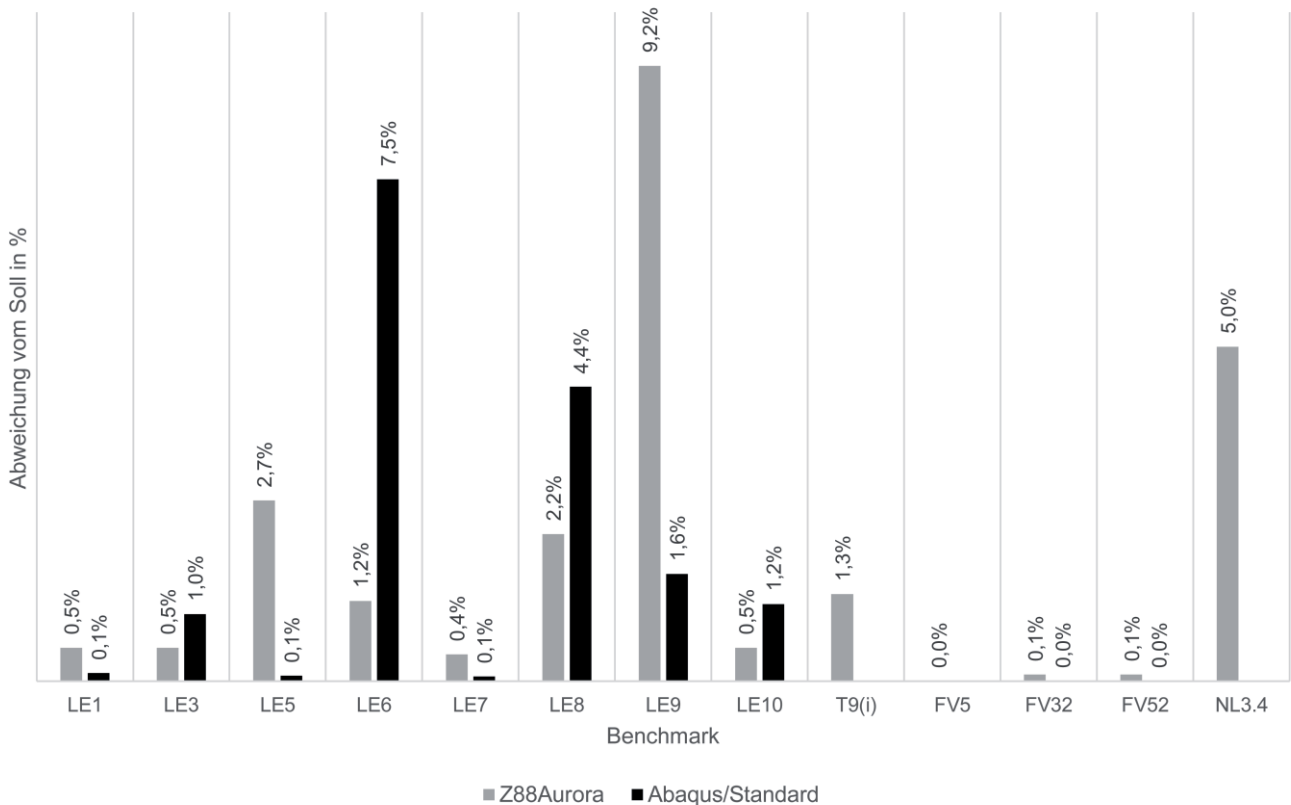


Abb. 5: Zusammenfassung der durchgeführten Benchmarks und Vergleich mit Abaqus/Standard

Vor allem bei Benchmark LE9 muss erwähnt werden, dass die Ermittlung der Knotenkräfte aus dem Druck stark von der Netzfeinheit abhängig ist, da zur überschlägigen Berechnung der Fläche jeweils der mittlere Radius verwendet wird, welcher bei großen Knotenabständen nicht die Realität widerspiegeln kann. Bei feinerer Ver-netzung sind also auch bei Benchmark LE9 bessere Resultate erzielbar.

Ein Grund für die Abweichungen zwischen Z88Aurora und Abaqus könnten unterschiedliche Elementformulierungen bzw. Integrationspunktanzahlen sein, welche ebenso Einfluss auf das Ergebnis nehmen. Dies wurde in der vorliegenden Veröffentlichung nicht näher beleuchtet.

Die Resultate der Benchmark-Tests sind für die zukünftige Weiterentwicklung von Z88Aurora, z. B. durch das Aufzeigen von weiteren nützlichen Programmfeatures, essentiell und zeigen zudem die schon vorhandene Leistungsfähigkeit dieser kostenlosen Softwarelösung. Es lässt sich zusammenfassen, dass Z88Aurora V3 bezogen auf die Ergebnishüte – sobald das Netz einen gewissen Feinheitsgrad erreicht – dem Vergleich mit kommerziellen Programmen standhält.

4 Literatur

- [1] Rieg, F.; et al.: „Finite-Elemente-Analyse für Ingenieure“, 5., überarbeitete Auflage. München: Carl Hanser Verlag, 2014
- [2] NAFEMS Ltd.: „NAFEMS History“, Internetseite: www.nafems.org/about/about_nafems/history/, Zugriff am 20. Juli 2015
- [3] NAFEMS Ltd.: „The Standard NAFEMS Benchmarks“, Rev. 3. Glasgow, 1990
- [4] NAFEMS Ltd.: „NAFEMS Background to Benchmarks. Glasgow, 1993
- [5] NAFEMS Ltd.: „Benchmark Tests For Thermal Analysis. Glasgow, 1986
- [6] NAFEMS Ltd.: „Finite Element Benchmarks For 2D Beams And Axisymmetric Shells Involving Geometric Non-Linearity. Glasgow, 1989
- [7] Dassault Systèmes S.A.; Abaqus Guide v 6.13 - Benchmarks Guide, 2014

Bitte per Post oder Fax senden:

Tel.: +49 (0) 80 51 - 96 59 3 49

Fax: +49 (0) 80 51 - 96 74 3 37

e-mail: magazin@nafems.de

Adresse für Fensterkuvert



NAFEMS GmbH
Osterham 23

D-83233 Bernau am Chiemsee
Germany

Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (3/2015)

Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Mitgliedschaft | <input type="checkbox"/> NAFEMS e-learning |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Magazin „Benchmark“ | <input type="checkbox"/> Professional Simulation Engineer PSE |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Seminare | <input type="checkbox"/> Internationale Arbeitsgruppen |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Trainingskurse | <input type="checkbox"/> NAFEMS World Congress |

Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.

Senden Sie das NAFEMS Magazin bitte auch an meine/n Kollegen/in (Adresse unten).

Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:

Ich interessiere mich für Werbe-/Stellenanzeigen - bitte senden Sie uns die Mediadaten zu.

Ich interessiere mich für www.CAEjobsite.com. Bitte kontaktieren Sie uns.

Absender

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____

Bitte senden Sie das NAFEMS Magazin auch an:

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____



Online-Magazin

NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH
Osterham 23
D-83233 Bernau am Chiemsee, Germany

Tel. +49 (0) 80 51 – 96 59 3 49
Fax +49 (0) 80 51 – 96 74 3 37
e-mail: info@nafems.de

www.nafems.org/magazin

ONE
ASSOCIATION
1 0 0 0 M E M B E R
O R G A N I S A T I O N S

ONE
VISION
3 0 0 T E C H N I C A L
G R O U P P A R T I C I P A N T S

ONE
COMMUNITY
O V E R 3 0 0 0
E V E N T A T T E N D E E S

ONE
NAFEMS
T H E I N T E R N A T I O N A L
A S S O C I A T I O N F O R
T H E E N G I N E E R I N G
A N A L Y S I S C O M M U N I T Y



www.nafems.org