



Online-Magazin

Zeitschrift für numerische Simulationsmethoden und angrenzende Gebiete
 FEM – CFD – MKS – VR / VIS – PROZESS – SDM

Fachbeiträge in dieser Ausgabe

Composites

- Virtuelle Prozesskette für die Simulation der Wärmeeinflusszone beim Laserstrahlschneiden kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe

Fahrzeugentwurf

- Detektion zielführender Konstruktionsparameter mittels neuronaler Netze in der frühzeitigen Produktentwicklung von Fahrzeugkarosseriebauteilen
- Toleranzoptimierung eines Fahrzeugdesigns bezüglich Crashverhalten mit LS OPT

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

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

Quick-Info

Trainingskurse

- Prakt. Anwendung FEM / Ergebnisinterpretation**
25. - 27. Jan., Wiesbaden
- Verification & Validation of Models and Analyses**
5. - 6. April, Wiesbaden
- Simulation und Analyse von Composites**
12. - 13. April, Wiesbaden
- Non-Linear Finite Element Analysis**
18. - 19. April, Wiesbaden
- Strömungssimulation (CFD): Theorie / Anwendung**
20. - 21. April, Wiesbaden
- Prakt. Anwendung FEM / Ergebnisinterpretation**
9. - 11. Mai, Wiesbaden
- e-Learning-Kurse**
u. a. zu Fatigue & Fracture, Connections, ...

Deutschsprachige NAFEMS Konferenz

25. - 27. April, Bamberg
www.nafems.org/dach2016

Weitere Termine finden Sie unter
www.nafems.org/events

Ankündigung und Call for Papers

NAFEMS GERMANY CONFERENCE 2016

25. - 27. April, Bamberg

Berechnung und Simulation

- Anwendungen
- Entwicklungen
- Trends

Mit Forum
 „Additive Fertigung“

Gestalten Sie mit und seien Sie Teil der Engineering Analysis Community!

Bitte reichen Sie Ihren Abstract bis 22. Januar 2016 ein!

www.nafems.org/dach2016

Infos auf Seiten 14-15

Sponsoren dieser Ausgabe:



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

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

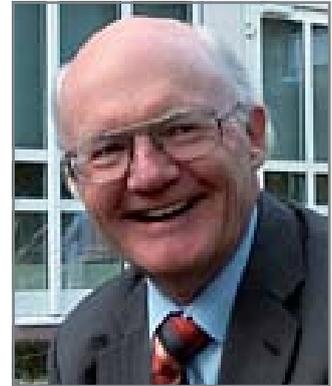
die numerische Simulation hat sich vielseitige Anwendungsfelder erschlossen. Neben den traditionellen Einsatzgebieten wie der Struktur- und der Strömungsmechanik rücken immer stärker Probleme in den Fokus, bei denen Experimente schwierig oder sogar unmöglich sind. Hier kann die Simulation nützliche Erkenntnisse liefern. In der Humanmedizin wird zum Beispiel die Wirkung von Implantaten oder das Strömungsverhalten des Blutes in durch Stents veränderten Aderquerschnitten simuliert. Zahlreiche Parameter chemischer und elektrochemischer Prozesse sind nur eingeschränkt oder überhaupt nicht messbar, können jedoch vielfach mit entsprechenden Modellen numerisch erfasst werden. Weitere Anwendungsfelder ergeben sich in der Hirnforschung oder der Astrophysik, aber auch so unterschiedliche Dinge wie gesellschaftliche Prozesse, Finanzflüsse oder das Fahrverhalten im Individualverkehr werden erfolgreich numerisch simuliert. Bei allem berechtigten Stolz und verständlicher Freude über Erfolge sollte jedoch immer im Auge behalten werden, dass es nicht die Realität ist, die man so analysiert, sondern ein mehr oder minder idealisiertes Abbild, das allerdings der Wirklichkeit recht nahe kommen kann.

Die drei Fachbeiträge des vorliegenden Heftes 36 behandeln Probleme aus den Bereichen Composites und Fahrzeugentwurf. Beim Laserstrahlschneiden von Laminaten aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen treten optische und thermische Phänomene auf, deren Simulation im ersten Beitrag vorgestellt wird. Insbesondere werden das Temperaturfeld, die Fugengeometrie sowie die Wärmeinflusszone mit Beeinträchtigung von Festigkeit und Steifigkeit abgeschätzt. Die beiden Beiträge zum Fahrzeugentwurf verwenden Meta-Modelle. Am Beispiel der B-Säule für ein Kraftfahrzeug zeigt der zweite Beitrag, wie mit Hilfe neuronaler Netze schnell und dennoch qualifiziert eine Vielzahl von Konstruktionsentwürfen bewertet werden kann. Damit wird eine bewusste Steuerung des Optimierungsprozesses möglich. Im dritten Beitrag wird die Toleranzoptimierung eines Fahrzeugdesigns bezüglich Crashverhalten behandelt. Dabei wird, zusätzlich zur Optimierung der Zielfunktionen, dessen Toleranz gegenüber leichten Änderungen des Entwurfs maximiert.

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.puz.de



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.

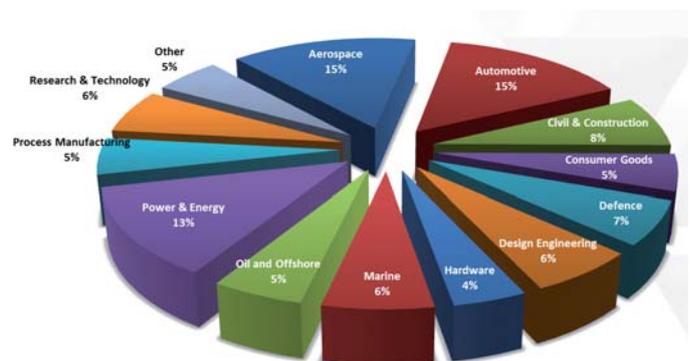
Die Mitglieder des NAFEMS Steering Committees für Deutschland, Österreich und Schweiz sind:

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

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 01.01.2015

Verteilung / Bezug

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

Copyright © 2015, 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

Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation.....	8
Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung.....	9
Verifikation und Validierung (V&V)	10 - 11
Simulation und Analyse von Composites	12
Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis.....	13
Deutschsprachige NAFEMS Konferenz 2016	14 - 15

Literatur

Invitation 2 Tender / e-library / Benchmark / Bestellvorgang	16 - 17
Professional Simulation Engineer PSE	18 - 23

NAFEMS Mitgliedschaft	24
------------------------------------	----

Neuigkeiten	25 - 43
--------------------------	---------

Veranstaltungskalender.....	44 - 45
-----------------------------	---------

Fachbeiträge zum Thema Composites

Virtuelle Prozesskette für die Simulation der Wärme- einflusszone beim Laserstrahlschneiden kohlenstoff- faserverstärkter Kunststoffe	46
M. Canisius, D. Herzog, M. Schmidt-Lehr, M. Oberlander (Technische Universität Hamburg-Harburg); F. Albert, S. Broetje, P. Ploog, C. Emmelmann (Scansonic MI)	

Fachbeiträge zum Thema Fahrzeugentwurf

Detektion zielführender Konstruktionsparameter mittels neuronaler Netze in der frühzeitigen Produktentwicklung von Fahrzeugkarosseriebauteilen	56
M. Horwath, J. Belz, H. Idelberger, O. Nelles, J. Schmidt (Universität Siegen)	
Toleranzoptimierung eines Fahrzeugdesigns bezüglich Crashverhalten mit LS OPT	71
K. Witowski (DYNmore GmbH); A. Basudhar, N. Stander, I. Gandikota (Livermore Software Technology Corporation)	

Werbeanzeigen

:em engineering methods.....	37
Cadfer/esocet	29
DYNAmore	35
ISKO engineers	25
Recurdyn/FunctionBay	27
x-technik Verlag.....	31
Sicos BW	33

Rückmeldeformular	82 - 83
--------------------------------	---------

CAE-Schlungen 2016

Schulungstitel Inhaltsbeschreibung auf Seiten 8 - 13	Termin	Ort	Teilnahmegebühr Regulär / Mitglied ²⁾	
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea1	25. - 27. Jan.	W	1.490	1.100
Verification & Validation of Models and Analyses www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv1	05. - 06. April	W	1.950	1.560
Simulation und Analyse von Composites www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course1	12. - 13. April	W	1.490	1.100
Non-Linear Finite Element Analysis www.nafems.org/events/nafems/2016/non-linear-1	18. - 19. April	W	1.490	1.100
CFD Analysis: Theory and Applications www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course1	20. - 21. April	W	990	700
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea2	09. - 11. Mai	W	1.490	1.100
Verification & Validation of Models and Analyses www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv2	14. - 15. Juni	M	1.950	1.560
Simulation und Analyse von Composites www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course2	10. - 11. Okt.	W	1.490	1.100
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea3	10. - 12. Okt.	M	1.490	1.100
Non-Linear Finite Element Analysis www.nafems.org/events/nafems/2016/non-linear-2	18. - 19. Okt.	M	1.490	1.100
CFD Analysis: Theory and Applications www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course2	08. - 09. Nov.	W	990	700
Verification & Validation of Models and Analyses www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv3	08. - 09. Nov.	W	1.950	1.560
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea4	14. - 16. Nov.	W	1.490	1.100

¹⁾ W = Wiesbaden, M = München ²⁾ in Euro zzgl. ges. MwSt. je Teilnehmer

Eine Beschreibung der Schulungsinhalte finden Sie auf Seiten 8 - 13. Weitere Schlungen und Kurse, die web-basiert (e-learning bzw. Webinare) oder ausserhalb der deutschsprachigen Region stattfinden, finden Sie unter www.nafems.org/events.

Konferenzen

Call for Papers: Deutschsprachige NAFEMS Konferenz

25. - 27. April, Bamberg

Nähere Informationen auf Seiten 20 - 21 sowie unter

www.nafems.org/dach2016



NAFEMS
GERMANY
CONFERENCE
2016
April 25-27
Bamberg

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



Learn

Werden Sie NAFEMS Trainer

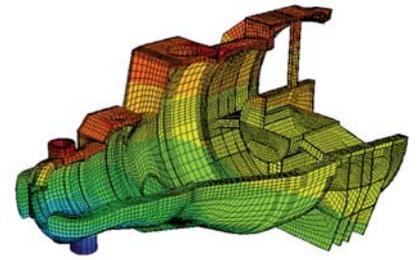
NAFEMS erweitert kontinuierlich das Kursangebot regional und international und sucht Ingenieure aus Industrie und Hochschule, die gerne als Referenten für NAFEMS arbeiten möchten.

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



NAFEMS Schulung

Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation



25. - 27. Januar (W) / 9. - 11. Mai (W) / 10. - 12. Okt. (M) / 14. - 16. November (W) / auch Inhouse buchbar *

Die Schulung 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.

* W = Wiesbaden / M = München

Online-Anmeldung und weitere Informationen

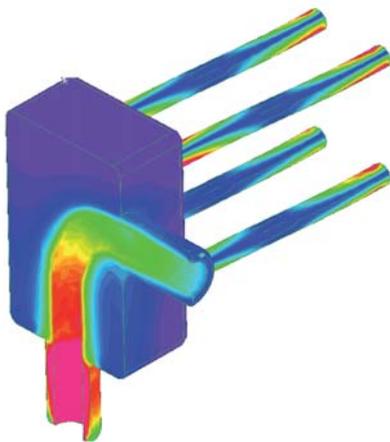
Januar: www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea1
 Mai: www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea2
 Oktober: www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea3
 November: www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea4

NAFEMS Schulung

Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung

20. - 21. April / 8. - 9. November jeweils in Wiesbaden / auch Inhouse buchbar

Die Schulung 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.

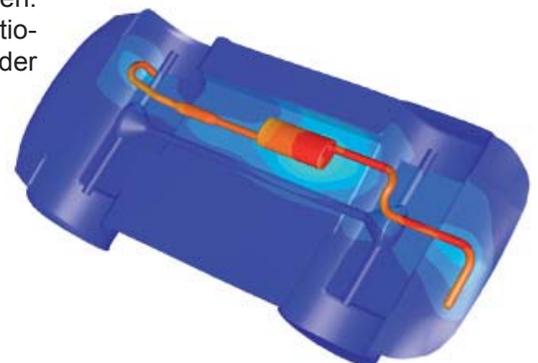
Inhouse-Kurs

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

April: www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course1
November: www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course2

NAFEMS Schulung

Verification & Validation of Models and Analyses

5. - 6. April (W) / 14. - 15. Juni (M) / 8. - 9. November (W) / auch Inhouse 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

* W = Wiesbaden / M = München

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

April: www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv1

Juni: www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv2

November: www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv3

NAFEMS Schulung

Simulation und Analyse von Composites

12. - 13. April / 10. - 11. Oktober jeweils in Wiesbaden / auch Inhouse 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

April: www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course1

Oktober: www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course2

NAFEMS Schulung

Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis

18. - 19. April (W) / 18. - 19. Oktober (M) / auch Inhouse 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.

* W = Wiesbaden / M = München

Online-Anmeldung und weitere Informationen

April: www.nafems.org/events/nafems/2016/non-linear-1

Oktober: www.nafems.org/events/nafems/2016/non-linear-2

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

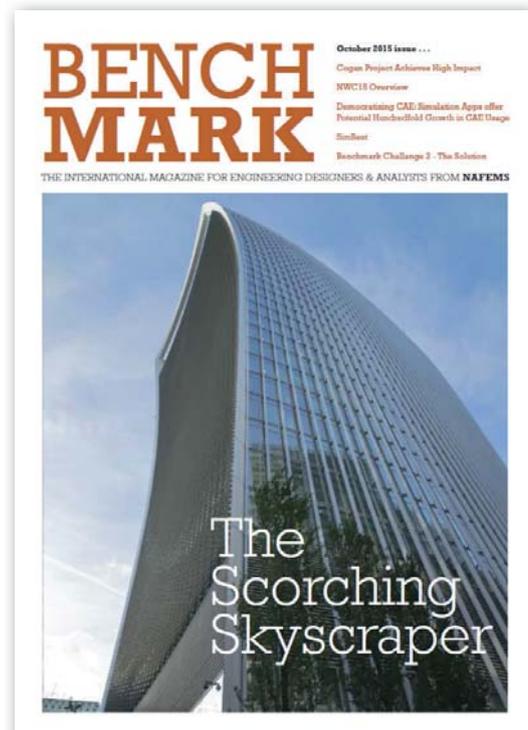
Die internationale NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“ erschien in der Druckauflage im Oktober 2015. Die Dezember-Ausgabe erscheint in Kürze.

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

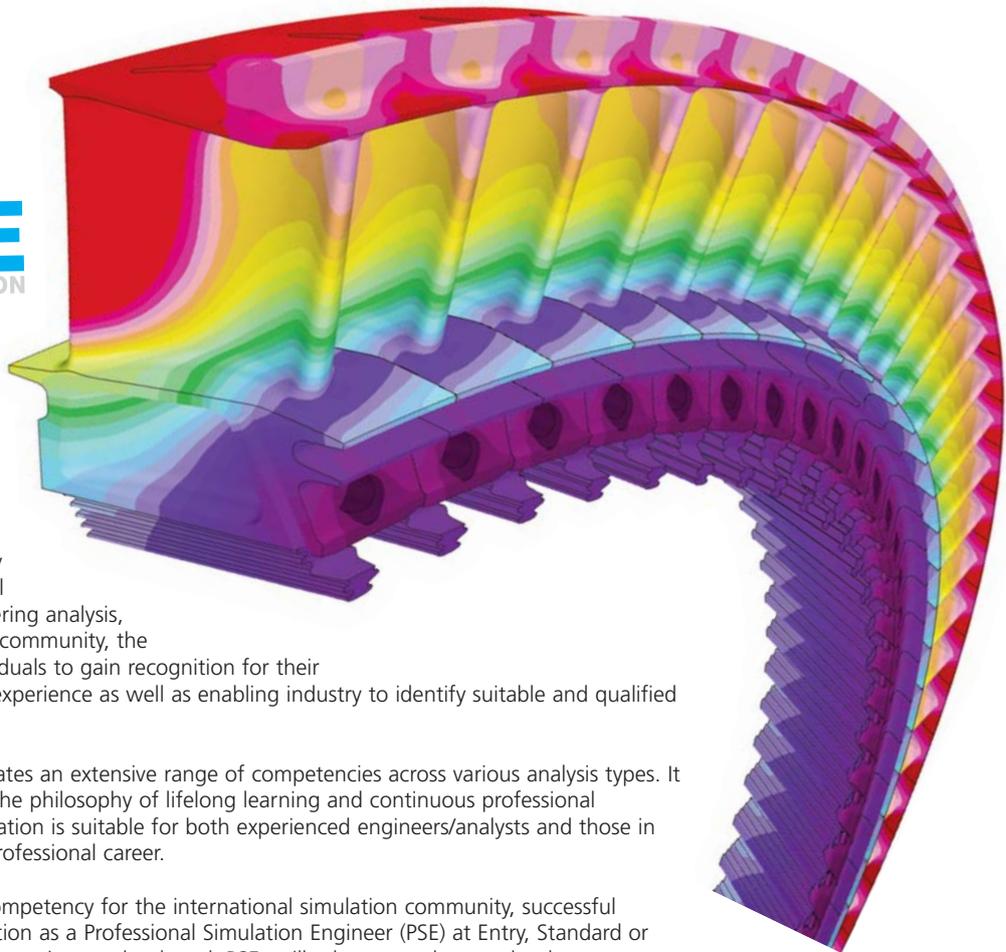
PSE Certification is based on the simple concept that the 'Professional Simulation Engineer' certificate is achieved by an independent assessment of workplace competency.

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.

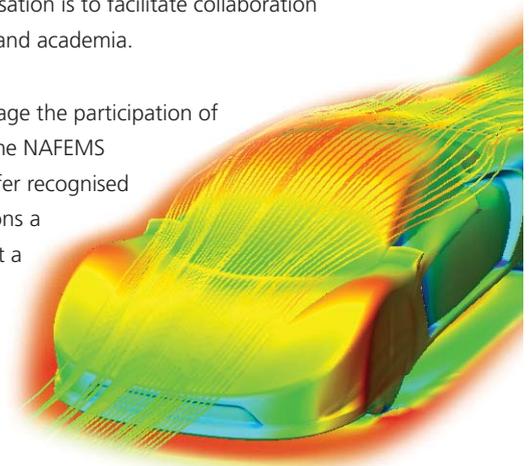
Academic membership

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

Gewinner der FEKO Student Competition 2015 steht fest

Ting-Yen Shih, ein Doktorand der University of Wisconsin-Madison, wurde als Gewinner der FEKO Student Competition 2015 bekannt gegeben. Der Wettbewerb unterstützt die Ausbildung von Ingenieuren nun schon im 11. Jahr und zeichnet herausragende studentische Leistungen in den Bereichen Antennen, Mikrowellengeräte, Bio-Elektromagnetik, elektromagnetische Verträglichkeit und anderen Bereichen der Elektromagnetik aus. Der Wettbewerb ist für die Studenten eine perfekte Gelegenheit, ihre Arbeit mit FEKO, dem Elektromagnetik-Solver der Altair HyperWorks Produktfamilie, zu präsentieren. In diesem Jahr kamen die Beiträge aus vielen verschiedenen Ländern, darunter Argentinien, Belgien, Südafrika, die USA und Australien.

Funktionen für chemische Reaktionskinetik und Verbrennung

Altair gab bekannt, dass Lund Combustion Engineering – LOGE AB der Altair Partner Alliance (APA) beigetreten ist und den Altair Kunden darüber nun seine Lösungen LOGEsoft und LOGEengine für die Modellierung chemischer Reaktionskinetik und die Simulation von Verbrennungsmotoren zur Verfügung stellt.

PBS Professional HPC Technologie als Open Source Version

Altair gab bekannt, dass es für seinen marktführenden HPC Workload Manager, PBS Professional (PBS Pro), in 2016 eine Open Source Lizenz bereit stellen wird. Es ist geplant, PBS Pro Mitte 2016 im Open Source Bereich zu veröffentlichen. Damit wären dann zwei unterschiedliche Lizenzoptionen verfügbar, eine kommerziell installierbare und eine Open Source konforme Version. Die Entscheidung schließt eine enge Zusammenarbeit mit Intel und dem OpenHPC Collaborative Projekt der Linux Foundation ein, im Rahmen derer die Open Source Version von PBS Pro in das Projekt eingebunden wird. Die PBS Pro HPC

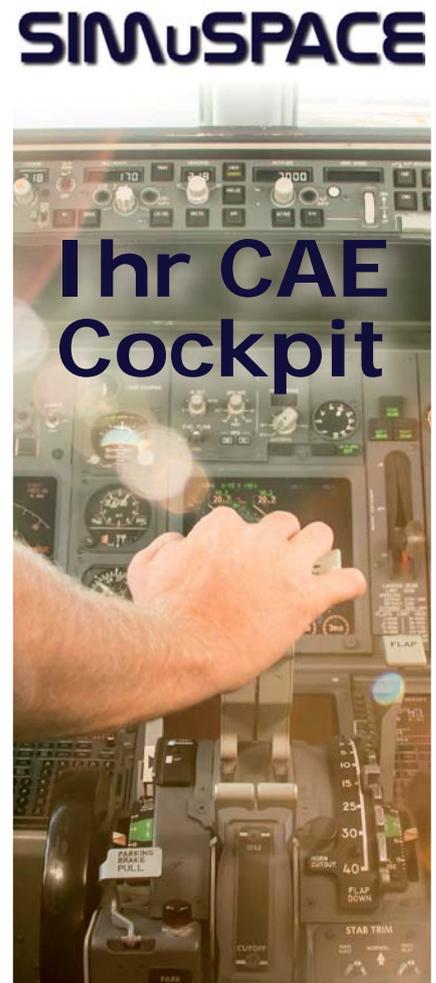
Workload Management Technologie wurde ursprünglich am NASA Ames Research Center entwickelt und in 2003, gemeinsam mit dem ursprünglichen Entwicklungsteam, von Altair übernommen. Heute ist PBS Professional die führende kommerzielle Lösung, um Job-Scheduling zu automatisieren, zu verwalten und zu überwachen sowie um Berichte zu erstellen. Es ist die Lösung, auf die sich die Betreiber von komplexen TOP500 Systemen und Clustern verlassen.

Schmiedesimulationslösungen über neuen Partner

Altair gab bekannt, dass Metal Forming Research Corporation (MFRC) mit seiner Schmiedesimulationssoftware, Advisor for Metal Forming Process and Design Expert (Afdex), der Altair Partner Alliance (APA) beigetreten ist. Ursprünglich für die Analyse von Schmiedeprozessen entwickelt, umfasst die Software nun auch Funktionen für Fertigungsverfahren wie Extrusion, Ziehen, Walzen, Ringwalzen und andere.

SimLab 14.0

Altair gibt heute die Verfügbarkeit von SimLab 14.0, der neuesten Version von Altairs führender Software für eine vereinfachte Modellerstellung für komplexe Analysen, bekannt. SimLab ist eine prozessorientierte, funktionsbasierende Finite Elemente Modellierungssoftware, die es den Anwendern ermöglicht, schnell und genau Simulationen für Entwicklungsaufgaben, auch der komplexesten Baugruppen, aufzusetzen. SimLab automatisiert Vernetzungs- und Modellierungsaufgaben und hilft, bei der manuellen Erstellung von Finite Elemente Modellen und der Ergebnisinterpretation, Fehler zu vermeiden und Zeit einzusparen. SimLab ist keine herkömmliche Standardsoftware für Pre- und Post-Processing, sondern eine vertikale Applikations-Entwicklungsplattform, mit der Modellierungsprozesse erfasst und automatisiert werden können.



**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

Simulation elektromagnetischer Felder

Altair hat bekannt gegeben, dass Fieldscale PC mit seiner elektromagnetischen Simulationssoftware Charge der Altair Partner Alliance (APA) beigetreten ist. Die Software ist auf elektrostatische Simulationen, auch bekannt als Simulation elektrischer Felder, spezialisiert.

Partnerschaft mit Ziegler-Instruments

Altair gab eine neue Partnerschaft mit Ziegler-Instruments bekannt, im Rahmen derer Altair seine Squeak and Rattle Director (SnRD) Lösung deutlich erweitert. Damit ist das Produkt die modernste und umfassendste Lösung zur Vorhersage von Störgeräuschen in Fahrzeugen, Flugzeugen und anderen Produkten, bei denen NVH (Noise, Vibration & Harshness) Eigenschaften eine große Rolle spielen. Die Ziegler-Instruments PEM Materialdatenbank gibt den SnRD Kunden Altairs Zugriff auf die Ergebnisse zu Stick-Slip Effekten von über 11.000 unterschiedlichen Materialpaarungen.

www.altair.de

ANSYS

Global Foundries qualifiziert Ansys-Lösungen für neueste Chiptechnologie-Generation

Dank der Qualifizierung der Simulationslösungen von Ansys durch Global Foundries können Kunden von Global Foundries und Ansys jetzt innovative Elektronikprodukte der nächsten Generation realisieren. Diese Qualifizierung erlaubt es den Kunden, ihre zukunftsweisenden Produkte jetzt noch schneller auf den Markt zu bringen sowie die Designkosten und -risiken zu verringern. Moderne Elektronikprodukte erfordern hohe Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit bei möglichst geringer elektrischer Leistungsaufnahme. Dies wird erreicht, indem man mehrere Teilsysteme eines elektronischen Produktes in einer oder mehreren integrierten Schaltungen, den so genannten Systemchips (System on a Chip, SoC), kombi-

niert. Die Qualifizierung durch Global Foundries stellt sicher, dass jeder SoC die geforderte Kombination von Leistungsaufnahme, Performance, Zuverlässigkeit und Kosten erfüllt. Dies minimiert das Designrisiko und maximiert die Zeit- und Kosteneinsparungen für die Kunden.

Global Foundries qualifizierte Ansys RedHawk und Totem für die neueste FinFET-Technologie mit 14 Nanometer (nm) Strukturgröße und die neueste 22FDX Plattform. Die Qualifizierung umfasst die Verfügbarkeit von Technologie-Dateien in den Process Design Kits (PDKs) sowie die Bereitstellung von Analysemöglichkeiten für Elektromigration und Stromversorgung in der aktuellen Version des 22FDX Referenz-Flows von Global Foundries. Hiermit können die Anwender die nächste Generation von SoC-Designs z. B. für Konnektivitätseinrichtungen, Mobilgeräte, IoT, Wearable-Produkte, Netzwerktechnik und Automobiltechnik entwickeln.

„Durch unsere Zusammenarbeit können die Ansys-Produkte dazu beitragen, dass die Kunden von den Vorteilen der 14-nm-FinFET- und 22FDX-Prozesstechnologien von Global Foundries profitieren können“, sagte Pankaj Mayor, Vice President of Business Development bei Global Foundries. „Dank der Qualifizierung von Ansys RedHawk im 22FDX Referenz-Flow können die Kunden zuverlässige Designs mit hoher Performance und Energieeffizienz realisieren.“

Die Qualifizierung von PDKs und Referenz-Flows durch Global Foundries verbessert die Qualität der Ergebnisse und ermöglicht es Kunden mit den Prozessen, Design-Flows und branchenführenden Ansys-Tools, robuste und zuverlässige SoCs zu entwickeln“, sagte John Lee, General Manager bei Ansys. „Dies zeigt, dass unsere Produkte die nötige Genauigkeit für unsere gemeinsamen Kunden bieten.“

NuScale Power nutzt Ansys bei der Konstruktion von Atomkraftwerken

Um eine erhöhte Sicherheit und Zuverlässigkeit der Atomkraft zu gewährleisten, erweitert die Firma

NuScale Power, Hersteller von SMR (Small Modular Reactor)-Kernkraftwerken ihre Anwendung von Simulationslösungen von Ansys. Eine neue, auf mehrere Jahre angelegte Vereinbarung ermöglicht NuScale den Zugang zu einer Vielzahl von führenden technischen Simulationslösungen von Ansys, mit denen das Unternehmen bei der Entwicklung von SMR-Prototypen die Konstruktion beschleunigen und die Produkte schneller auf den Markt bringen kann.

Im Rahmen dieser Vereinbarung kann NuScale die Ansys-Produkte für die simulationstechnische Struktur- und Strömungsanalyse sowie High Performance Computing-Lösungen nutzen. NuScale wird die leistungsfähige Ansys-Technologie zur Simulation von Konstruktionen für Modul-Containments, thermohydraulische Anlagen und die Strukturintegrität von Reaktormodulen nutzen, statt hierbei allein auf kostspielige physische Prototypen und Tests angewiesen zu sein. Die bei der Konstruktion von Reaktormodulen zusätzlich gewonnenen Erkenntnisse versetzen NuScale noch besser in die Lage, die anspruchsvollen Sicherheits- und Umweltvorgaben in der Atomindustrie zuverlässig zu erfüllen und gleichzeitig den Qualitätsanforderungen der Kunden gerecht zu werden sowie die Kosten zu minimieren.

„Ansys ist in der Branche seit 45 Jahren der Goldstandard für Simulationen“, sagte Randy Morrill, leitender Ingenieur bei NuScale. „Die steigenden Anforderungen der Industrie führen zu immer komplexeren Herausforderungen, die innovative technische Lösungen erfordern. Diese Vereinbarung mit Ansys erlaubt es uns, weiterhin präzise und zuverlässige Produkte zu entwickeln, auf die sich unsere Kunden verlassen können.“

„Ich freue mich über die nachhaltige Unterstützung durch Ansys“, sagte Dale Atkinson, Chief Operating Officer und Chief Nuclear Officer von NuScale. „Das Know-how und die Erfahrung von Ansys im Bereich der technischen Simulationslösungen wird eine wertvolle Hilfe für die Konstruktion und Einführung der von

NuScale entwickelten SMR-Anlagen sein.“

„Die Atomindustrie legt allergrößten Wert auf zuverlässige und sichere Energie in einem sehr anspruchsvollen Kosten- und Regulierungsumfeld“, sagte Ahmad Haidari, für die Energieindustrie zuständiger Global Director bei Ansys. „Wir freuen uns, dass wir NuScale mit erstklassigen technischen Simulationslösungen ausstatten können, mit denen das Unternehmen die Sicherheit seiner Reaktormodule weiter verbessern, die Konstruktions- und Betriebskosten reduzieren und gleichzeitig die gesetzlichen und in der Branche geltenden Vorgaben erfüllen kann.“

Ansys und GE realisieren gemeinsam intelligentere Industriemaschinen

Ansys gab heute seine Teilnahme am Digital Predix Early Adopter Program von GE bekannt. Hiermit wird die Leistungsfähigkeit der führenden technischen Simulationsplattform mit dem ersten und

einzigem industriellen Cloud-Produkt für industrielle Daten und Analytik, der Predix Cloud-Plattform von GE, kombiniert. Im Rahmen des Predix Early Adopter Program zeigen beide Unternehmen auf der GE-Veranstaltung „Minds + Machines“ in San Francisco eine Pilotintegration der Simulationsplattform von Ansys mit der industriellen Internetplattform Predix von GE.

Die industrielle Internetplattform Predix von GE ist das weltweit einzige industrielle Cloud-Produkt, das speziell für industrielle Daten und Analytik in Branchen wie Luftfahrt, Verkehrswesen, Öl und Gas und Gesundheitswesen entwickelt wurde. Unternehmen können mit dieser Plattform innovative Industrial Internet-Applikationen realisieren, die Echtzeit-Betriebsdaten in Erkenntnisse für eine bessere und schnellere Entscheidungsfindung umsetzen und die Effizienz der Maschinen optimieren.

Technische Simulationssoftware wird herkömmlicherweise in der

Designphase eingesetzt, wovon fast jedes innovative Produkt profitiert, das heute auf dem Markt ist. Für das Internet of Things ist die Simulation noch wichtiger, da fortschrittliche Produkte jetzt Mechanik, Strömungstechnik, Elektronik und Embedded-Software miteinander verbinden. Hier ist jetzt ein komplettes System-Modell erforderlich, um die Analytik betrieblicher Felddaten mit der simulierten System-Performance in Bezug zu setzen. Diese Zusammenarbeit mit dem visionären Industrieunternehmen GE demonstriert die Vorteile einer Ausweitung der technischen Simulation auf den gesamten Produktlebenszyklus, vom ursprünglichen Design über Betrieb und Instandhaltung und zurück bis zur Entwicklung der nächsten Maschinengeneration.

Die Verknüpfung des branchenführenden Portfolios von Ansys für die technische Simulation mit der Daten- und Analytikfunktionalität der industriellen Internetplattform Predix von GE wird Unternehmen dabei

WELTNEUHEIT fast schon gratis!*

MBD for ANSYS

Mehrkörpersimulation

Powered by RECURDYN

*Promotionaktion endet am 31.12.2015

www.functionbay.de mbd4ansys_info@recurdyn.de

unterstützen, die Performance intelligenter Maschinen unter Echtzeit-Betriebsbedingungen zu analysieren – und verlässliche Vorhersagen zu machen, wo man vorher auf reine Spekulation angewiesen war. Physics-basierte Simulationen mit Big Data-Analytik und industrielle Geräte mit zusätzlicher Embedded-Intelligenz können das Risiko verringern, unplanmäßige Stillstände verhindern und die Entwicklung neuer Produkte beschleunigen.

Die hieraus resultierenden Effizienz- und Produktivitätssteigerungen werden sich auf den Erfolg der Unternehmen sowie auf die Weltwirtschaft im Allgemeinen auswirken. GE schätzt, dass Industrial Internet-Technologien zu Einsparungen von vielen hundert Millionen allein über einen Zeitraum von 15 Jahren führen können.

Durch Verknüpfen der Maschinen-Konnektivität mit einer Data Lifecycle Management-Plattform auf der Basis von technischer Simulation ermöglichen Ansys und GE den Unternehmen, ihre Produkte optimal für das Industrial Internet zu entwickeln und anschließend die gewonnenen Performance-Daten dieser Produkte in die Entwicklung der nächsten Produktgeneration einzubringen. Die Zusammenarbeit von Ansys und GE bei dieser Pilotintegration unterstreicht diese Vision für das Industrial Internet of Things.

www.ansys-germany.com

ARAS SOFTWARE

Besucherrekord auf Anwenderkonferenz ACE 2015 Europe

Unter dem Motto Rethink PLM! veranstaltete Aras, führender Anbieter von Enterprise Product Lifecycle Management (PLM) Software, vom 10. bis 11. November seine 6. Anwenderkonferenz ACE Europe. Über 200 Aras-Nutzer, -Partner und PLM-Experten aus ganz Europa kamen auf der ACE 2015 zusammen, die dieses Jahr zum ersten Mal in Berlin stattfand. Die Nachfrage war so hoch, dass das Programm erstmals auf zwei Tage erweitert wurde. Das Thema der Konferenz war ein

Aufruf an die gesamte Industrie. Die Bedingungen für Hersteller ändern sich rasant: Markteinführungszeiten werden kürzer, Flexibilität und agiles Handeln sind gefragt. Die Vernetzung des Produktionsumfeldes unter dem Stichwort Industrie 4.0 und weitreichende Individualisierung von Produkten sorgen für zusätzlichen Druck. Das bringt traditionelle PLM-Systeme schnell an ihre Grenzen – höchste Zeit für eine neue Auffassung von PLM.

Die Veranstaltung eröffnete Peter Schroer, CEO und Gründer von Aras, mit seiner Keynote zum Thema The Business of Engineering. Seiner Meinung nach wird es Zeit, PLM nicht nur von der technischen Seite wie CAD, BOM-Management und dem Austausch sowie der Speicherung von Daten zu betrachten. Es müssen verstärkt die geschäftlichen Aspekte des Product Lifecycle Managements betrachtet werden.

Prof. Dr. Martin Eigner vom Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung (VPE) der TU Kaiserslautern und Mitglied des Advisory Boards von Aras zeigte in seiner Präsentation die Auswirkungen von Industrial Internet, Industrie 4.0 und IoT auf PLM-Systeme und die IT-Architektur im Allgemeinen auf.

Weitere Vorträge aus den Industrien wie Automotive, Konsumgüter, Lebensmittel, Luftfahrt, Maschinenbau und Medizintechnik veranschaulichten den Besuchern, dass PLM immer stärker eine entscheidende Rolle bei der Steuerung von weltweiten Entwicklungsprozessen einnimmt.

Diesen Eindruck bestärkten namhafte Anwender wie Airbus, BAE Systems, ECCO und Akrapovič, die ihre Erfahrungen mit Aras in weiteren Vorträgen schilderten und die Gründe ihrer Entscheidung für Aras ausführten. Neben der Flexibilität nannten sie vor allem niedrigere TCO, die offene und anpassungsfähige Architektur sowie die Tatsache, dass Upgrades in der Aras Subscription enthalten sind.

T-Systems startet von Aras gestützte PLM Cloud-Plattform

(siehe auch T-Systems)

Aras und T-Systems gaben die Einführung der neuen T-Systems PLM Cloud-Plattform bekannt. Konzipiert als Software-as-a-Service (SaaS) verbindet die Plattform End-to-End-Services mit der vollen Funktionalität, Anpassbarkeit und Integration von Aras Innovator als PLM-Backbone.

Die T-Systems PLM Cloud-Plattform wird in einer sicheren, leistungsstarken und dynamischen Infrastruktur in den modernen T-Systems Cloud-Rechenzentren betrieben. Sie bietet globalen Unternehmen eine komplette Enterprise PLM-Lösung, die unter anderem Application Management Services für Support, Datensicherheit, Monitoring und Reporting beinhaltet.

Vorteile der T-Systems PLM Cloud-Plattform

- Vordefiniert für große multinationale, mittelständische und kleine Unternehmen
- Einsatz in Public- und Hybrid-Cloud Umgebungen möglich
- Volle Anpassungsfähigkeit
- Upgrades auch nach Anpassung weiter möglich
- Offene Integration und Data Federation
- PDMWebConnector zur Integration von Enovia, Teamcenter, Windchill und anderen PLM-Lösungen
- PDMWorkbench-Integration mit CATIA und NX

„Wir freuen uns, dass T-Systems sich für Aras als PLM-Backbone für die neue PLM Cloud-Plattform entschieden hat“, sagt Peter Schroer, CEO von Aras. „Durch die Partnerschaft mit T-Systems rund um dieses SaaS-Angebot können wir eine komplette Cloud-Lösung liefern, die die gesamte Leistungsfähigkeit von Aras Innovator zusammen mit integrierten Dienstleistungen und professionellem Support liefert.“ Mehr Informationen über die T-Systems PLM Cloud-Plattform gibt es unter:

<https://servicenet.t-systems.de/t-systems-plm-de/aras-cloud/1371960?ticketId=2511885194868233>

BAE Systems Schweden wählt Aras für einheitliche PLM-Plattform

Aras, führender Anbieter von Enterprise Product Lifecycle Management (PLM) Software, gibt bekannt, dass BAE Systems Schweden sich für Aras Innovator entschieden hat. Das Tochterunternehmen von BAE Systems Plc. und führender Hersteller von Waffensystemen und Militärfahrzeugen wird so im gesamten Unternehmen einen einzigen, einheitlichen PLM-Backbone für die Systementwicklung etablieren. Aufgrund des technischen Know-hows und der Erfahrung hat BAE Systems Schweden Minerva, einen gold-zertifizierten Partner von Aras, damit beauftragt, Aras zu implementieren und Daten aus den bisherigen zwei PDM-Systemen mithilfe eines Multi-Phasen Ansatzes zu migrieren. Die erste Phase umfasst Aras Lösungen für Konfigurationsmanagement, Stücklisten- (BOM) und Dokument-/CAD-Management als auch Enterprise Reporting und Search. Darin inbegriffen sind zudem sichere soziale Interaktionsfunktionen sowie die Eingliederung mehrerer MCAD- und ECAD-Systeme, SAP und IFS ERP sowie Share-A-space Datenarchive von Eurostep.

www.aras.com

ARRK|P+Z ENGINEERING

ARRK|P+Z Engineering bezieht neues Büro in Ingolstadt

(siehe auch P+Z)

Bereits seit 2005 übernimmt der Entwicklungsexperte ARRK|P+Z Engineering von seinem Standort in Gaimersheim aus Produktentwicklungsprojekte. Schwerpunktmäßig steht dabei die Unterstützung für die Automobil- sowie die entsprechende Zuliefererindustrie im Fokus.

Starkes Mitarbeiterwachstum machte jetzt eine Vergrößerung der Platzkapazitäten notwendig, was das Unternehmen gleichzeitig für einen Umzug näher hin zum ortsansässigen Hauptkunden nutzte: Ab Ende September sitzen die Entwicklungsexperten in einem neuen, 2.000 m² großen Büro im Q.west Quartier

esocaet
STUDIES



Upgrade your work, upgrade your life.

Berufsbegleitendes Studium der Simulation Based Engineering Sciences

- + + Studienrichtungen
- + + • Applied Computational Mechanics
- + + • Computational Fluid Dynamics
- + + • Simulation in Human Medicine

- + + Partnerhochschulen
- + + • HAW Landshut
- + + • Technische Hochschule Ingolstadt
- + + • HSR Rapperswil
- + + • Universität Witten/Herdecke
- + + • Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sousse

www.esocaet.com/studies + + by CADFEM

direkt am Audi-Ring in Ingolstadt. Der ARRKJP+Z Standort in Gaimersheim wurde mit dem Umzug der Entwicklungsexperten komplett aufgegeben. Ihr Arbeitsfokus wird zukünftig thematisch hauptsächlich auf der Konstruktion, insbesondere mit Blick auf Antriebsstrang, Interieur, Hochvoltspeichertechnik und medienführende Systeme sowie auf der Technischen Berechnung und Simulation im Bereich Crash und Noise-Vibration-Harshness (NVH) sowie Ladungswechselakustik, Thermomanagement, Antriebskomponenten und Fahrwerk liegen. Einen weiteren Schwerpunkt stellt die Elektronikentwicklung dar. Neben der Hardware- und Softwareentwicklung geht es vor allem um die Entwicklung, Absicherung und Integration von Steuergeräten. Abgerundet werden die Aktivitäten mit dem Feld Erprobung und Versuch, wobei optische Systeme, Insassenschutz, Akustik und Werkstoffthemen im Zentrum stehen. Entsprechend wird auch die bisherige Werkstattfläche sowie das Projektbüro auf dem Rieter-Gelände beibehalten. Besonderheit des neuen Büros im Q.west ist nicht nur das moderne, helle Raumdesign und die günstige Verkehrslage, sondern vor allem auch, dass alle Bereiche absolut barrierefrei gestaltet sind. Die Standortnähe des neuen ARRKJP+Z Büros zum Ingolstädter Hauptkunden begünstigt künftig eine noch engere und flüssigere Zusammenarbeit zwischen dem Autobauer und dem Entwicklungsdienstleister. ARRKJP+Z Engineering beschäftigt derzeit rund 120 Angestellte im Raum Ingolstadt, das neue zentrale Quartier bietet hier mit über 200 Arbeitsplätzen noch reichlich Ausbauspielraum für einen weiteren Mitarbeiteraufbau.

www.puz.de

BETA CAE

Neues Release verfügbar

Beta CAE gab die Veröffentlichung der Releases ANSA/ETilysis / µETA v16.1.0 bekannt.

www.beta-cae.gr

CADFEM

CAE & Ansys:

Cadferm Seminarprogramm 2016

Für das Jahr 2016 bietet Cadferm mehr als 220 Veranstaltungstermine an. Das Programm umfasst zum einen die bewährten Seminare (natürlich aktualisiert) rund um Ansys und zum Ausbau Ihrer CAE-Kompetenz. Zum anderen werden neue Themen und Veranstaltungen angeboten. Hier finden Sie einen Überblick. Das komplette Seminarangebot finden Sie unter www.cadferm.de/seminare. angefordert werden.

FEM zum Lesen:

Das neue Cadferm Journal

Die Herbstausgabe des Cadferm Journals ist da. Im Mittelpunkt der neuen Ausgabe steht Ansys AIM, einer neuen Simulationslösung von Ansys die die Vorteile der Simulation jedem an Produktentwicklungsprozessen beteiligten Ingenieur zugänglich machen soll. Es handelt sich um eine Multiphysik-Lösung die den 360° Rundumblick auf ein virtuelles Produkt schafft, also verschiedene physikalische Phänomene einschließlich der sich ergebenden Wechselwirkungen adressiert. Dies alles erfolgt unter einer einheitlichen intuitiven Oberfläche und auf Basis eines Modells. Der hohe Automatisierungsgrad hilft beim schnellen Einstieg in die Technologie – genauso wie Service- und Wissensangebote von Cadferm, die sich gezielt an Ansys AIM Anwender richten. Dass eine erfolgreiche Simulation grundsätzlich mehr als eine Software voraussetzt, spiegelt sich auch in den anderen Beiträgen des Heftes wider. Ein ausführlicher Artikel von Miele zeigt, wie dort konsequent auf Simulation mit Ansys gesetzt wird. Führende Software ist bei Miele eine wichtige Komponente für richtungsweisende Simulationsergebnisse. Die andere ist eine hohe Ingenieurkompetenz im eigenen Haus und im Umfeld, die dazu führen, dass die ganzen Möglichkeiten, die ein solches Werkzeug bietet, ausgeschöpft werden. Weitere Beiträge beschäftigen sich mit Neuigkeiten aus der Welt von Cadferm, Ansys und der Simulation

und den jüngsten Aktivitäten unseres Weiterbildungsbereichs Cadferm esocaet. Wer das zweimal jährlich erscheinende Magazin kostenfrei und unverbindlich abonnieren möchte, kann dies formlos per E-Mail an marketing@cadferm.de tun, mit Adresse und Vermerk, ob die gedruckte oder die digitale Version bezogen werden soll.

www.cadferm.de

CARHS

Kostenloser SafetyCompanion 2016 erschienen

Ab sofort ist der populäre SafetyCompanion 2016 verfügbar. Auf 172 Seiten enthält er aktuelle Informationen zu Fahrzeugsicherheit sowie Seminare & Veranstaltungen zu dem Thema. Über 50 Seiten SafetyWissen - Informationen, Tabellen und Übersichten aus der Fahrzeugsicherheit - machen den SafetyCompanion zu einem idealen Nachschlagewerk. Neu sind unter anderem Übersichten zu BNVSAP, KNCAP Kriterien und Punktzahlen und THOR Verletzungskriterien. Bestellen Sie jetzt kostenlos den neuen SafetyCompanion als gedruckte Version oder als pdf (Versandkosten für Auslandsversand).

www.carhs.de

CD-ADAPCO

Gewinner des 2016 Kalenderwettbewerbs

CD-adapco ist stolz, den Gewinner des 2016 CAE Post-Processing Wettbewerbs bekanntzugeben. Herr Wian van der Merwe von der CFD Berartungsagentur, Aerotherm, hat den Wettbewerb für seinen Simulationentwurf eines Fahrradfahrers gewonnen.

Mit Hilfe von Star-CCM+, CD-adapco's Hauptsimulationstool, wurde das 2016 Kalendergewinnerbild erstellt. Van Merwe stellte die Strömung um einen Fahrradhelm dar und fokussierte sich dabei auf den Helm des Fahrradfahrers sowie dessen Brille. Im Bild bewegt sich der Fahrer mit einer Geschwindigkeit

von 34 km/h und einer Windrichtung von 10 Grad frontal. Die Oberflächen weisen zellenrelative Geschwindigkeiten auf, die Strömungslinien stellen die Geschwindigkeit dar und das Volumenrendering verkörpert die turbulente kinetische Energie. Dieses optisch herausragende Bild hat die Fachjury besonders beeindruckt und van der Merwe die renommierte Auszeichnung des Erstellers des Gewinnerbildes für den 2016 CD-adapco Kalenderwettbewerb sowie den Toppreis einer Apple Watch verdienen lassen. „Ich bin offensichtlich sehr aufgeregt“, sagt van der Merwe. „Es ist gut zu wissen, dass meine Arbeit anerkannt wird und einen guten Qualität beinhaltet. Als CFD-Ingenieur fokussiert man sich nur auf seine eigene Arbeit und man weiß nicht genau, ob das, was man tut nur richtig ist, oder ob es richtig gut ist. Aber wenn man seine Arbeit wie bei dem CD-adapco Kalenderwettbewerb veröffentlicht, ist es einfach

gut zu wissen, dass die eigene Arbeit einen hohen Standard aufweist.“ Van der Merwe, 26, ist gebürtig aus Lichtenburg, Südafrika und arbeitet seit zwei Jahren als CFD-Analyst bei Aerotherm, nachdem er seinen Master's of Engineering in Nuclear Engineering bei der North-West University in Südafrika und dort auch seinen Bachelor's in Engineering in Mechanical Engineering absolvierte. Die eingereichten 12-Topbilder werden mit dem 2016 CD-adapco Schreibtischkalender präsentiert.

Star-CD und es-ice – kontinuierliches Engagement im Bereich der Verbrennungsmotoren

CD-adapco hat die Veröffentlichung von Star-CD und es-ice v4.24, sein neuestes Update für seine industrie-führende Simulationslösung für Verbrennungsmotoren (Internal Combustion Engine – ICE) bekannt gegeben. Mit dieser Veröffentlichung führt CD-adapco seine Mission weiter seine Kunden

bei der Erschließung von besseren Konstruktionen noch schneller zu unterstützen und das mit verbesserter Benutzerfreundlichkeit, erhöhter Genauigkeit und Automatisierungen für ICE Simulationen. Aufgrund seiner Verpflichtung die Führung im Bereich der Motorenzylinderinnenanalyse weiterhin zu behalten, arbeitet CD-adapco weiterhin daran das Leistungsvermögen von Star-CD/es-ice zu verbessern sowie die Funktionalität zu erweitern, die für die Kunden in der Automobilindustrie in der Zukunft entscheidend sein werden. „CD-adapco ist für uns der ideale Partner, zum einen aufgrund ihres unerschütterlichen Engagements bei der Entwicklung von Verbrennungsmotoren und zum anderen wegen seinen Fähigkeiten die richtigen Lösungen für unsere strikten Motorenprojektermine bereit zu stellen,“ sagt Ralf Speetzen, Senior Manager Combustion Simulation bei der MTU Friedrichshafen AG. „Ihre



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 | 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

Motorensimulationstechnologie und das engagierte Supportteam geben uns die Fähigkeit unseren Endbenutzern Produkte bereit zu stellen, in welche wir größtes Vertrauen haben. Wir freuen uns auf die zukünftige Fortsetzung der Partnerschaft mit CD-adapco.“

Zusätzlich zu den Verbesserungen von bereits bestehenden Verbrennungsmodellen, stellt v4.24 noch weitere Entwicklungen für den es-ice automatisierten Vernetzungsprozess sowie bei den es-ice Postprocessing Fähigkeiten zur Verfügung. Diese Version beinhaltet ebenfalls eine Vorveröffentlichung einer neuen und voll automatisierten Vernetzungstechnologie für Berechnungen des Gesamtzyklus von 4-Takt Benzin- und Dieselmotoren.

“Diese Version demonstriert CD-adapco’s fortgesetztes Engagement im Bereich des Verbrennungsmotors mit der Vorveröffentlichung seiner automatisierten Vernetzungstechnologie sowie die Verbesserung von bestehenden ICE Verbrennungsmodellen in Star-CD,“ sagt Richard John, CD-adapco Vice President IC Engines. „Die Anwender können jetzt mit den neuen Methoden der Gitterbewegung Erfahrungen sammeln, welche CD-adapco’s Engagement auch weiterhin diesen Bereich der Simulation anzuführen veranschaulichen.“

Die neue Vernetzungstechnologie, welche bei der Benutzung von es-ice verfügbar ist, ermöglicht den Benutzern automatisch präzise Gitter für die Gesamtgeometrie vollständiger Zyklusberechnungen von 4-Takt-Benzin- und –Dieselmotoren zu generieren. Die Gitterstruktur besteht am Rand aus Prismenschichten, um wandnahe Gradienten zu erfassen, ein ausgerichtetes Gitter innerhalb des Ventilspaltes sowie ein Hexaeder-Gitter innerhalb des Modellkerns. Eine Reihe von Gittern wird an bestimmten Kurbelwinkelpositionen während des Motorzyklusses als Vorverarbeitungsschritt erzeugt. Diese werden anschließend über einen automatisch selektierten Kurbelwinkelbereich gemorphed, um eine optimale Gitterqualität zu gewährleisten. Es wird ein vollautomatischer Prozess verwendet, um

die Gittererzeugungszeit zu minimieren und einfache Kontrolle der Gittergröße bereitzustellen.

Das PVM-MF Verbrennungsmodell wurde durch neue chemische Brennstoffbibliotheken für Ein- und Zwei-Brennstoff Betriebsbedingungen bedeutend erweitert. Diese Bibliotheken beinhalten die Kraftstoffe bzw. Kraftstoffmischungen Benzin, Diesel, Erdgas, Ethanol, Erdgas-Diesel, Benzin-Diesel und Benzin-Ethanol. Die Zwei-Brennstoffbibliotheken ermöglichen Zwei-Brennstoff Motoren genau zu simulieren, die die kombinierte Chemie beider Brennstoffe benötigen.

Das Level-Set (G-equation) Verbrennungsmodell kann nun eine Variante des Aktim Zündmodells (auch als SparkCIMM bezeichnet) verwenden, um eine genauere Simulation des Zündprozesses zu ermöglichen. Dies stellt Benutzern eine verbesserte Bandbreite in der Modellierung der frühen Flammenentwicklung bereit.

Fortlaufende Entwicklung und Konsolidierung des ECFM-CLEH Verbrennungsmodells hat die Einsatzmöglichkeiten auf Zwei-Kraftstoff Verbrennung unter Nutzung von Gleichgewichts- und Selbstzündungs Tabellen erweitert, die von DARS erzeugt wurden.

www.cd-adapco.com

CPU 24/7

Dr. Ramin Torabi verstärkt technischen Support

Der Bedarf an ausgelagerter Rechenleistung wächst stetig. Der Potsdamer Spezialist für High Performance Computing (HPC) On Demand investiert deshalb nicht nur kontinuierlich in den Ausbau seiner Rechnerperformance, sondern stockt zusätzlich auch Personal auf. CPU 24/7 hat sich mit Dr. Ramin Torabi (36) nun einen weiteren Experten für die technische Unterstützung geholt.

Seit 01.12. bringt der promovierte Physiker (TU Darmstadt) seine langjährige Erfahrung in das Kompetenzteam der CPU 24/7 ein.

Er berät und begleitet Industrie-

kunden bei der Planung, Inbetriebnahme und Wartung skalierbarer, hochperformanter Infrastrukturen für physikalische Prozesse, wie z.B. Strömungs- und Struktursimulation. Er wird in allen technischen Belangen intern wie extern zur Verfügung stehen.

Dr. Torabi war zuletzt bei der GNS Systems GmbH in der prozessorientierten, technischen Projektverantwortung. Dabei lag sein Fokus verstärkt auf Applikationen, Linux, sowie Planung, Betrieb und Weiterentwicklung einer markenübergreifenden HPC-Plattform für einen internationalen Automobilhersteller. Intern fungierte er als technischer HPC-Berater und war mitverantwortlich für den Bereich Business Development.

www.cpu-24-7.com

DS DASSAULT SIMULIA

Simulia Portfolio – Software Release 2016

Die neuen Versionen des Simulia Produkt Portfolios – mit Abaqus, fe-safe, Isight und Tosca – sind erhältlich. Neben spannenden funktionellen Erweiterungen stand vor allem die kundenorientierte Weiterentwicklung der Technologien im Vordergrund. Das Zusammenspiel der verschiedenen Simulia Technologien erlaubt dem Anwender eine vereinfachte Prozessintegration. Diese Vereinfachung zeichnet sich nun auch durch eine einheitliche Nummerierung und vor allem der gleichzeitigen Release der Software Versionen aus.

Release-Highlights:

- Abaqus 2016: u.a. mit Verbesserungen und Erweiterungen im Kontakt und bei den Materialmodellen, neuen Elementtypen, verbessertem Handling in Abaqus/CAE
- fe-safe 2016: jetzt auch mit integrierter FKM-Richtlinie
- Isight 2016: mit aktualisierten Komponenten zu Drittprogrammen
- Tosca Fluid 2016: läuft jetzt auch auf Windows Betriebssystem
- Tosca Structure 2016: mit neuen und erweiterten Algorithmen z.B. zur Optimierung von Schalendi-

cken in Verbindung mit NVH Analysen oder sensitivitätsbasierter Formoptimierung

www.3ds.com

DYNAMORE

Seminarbroschüre 2016 veröffentlicht

Auch in 2016 wird der Bedarf an numerischen Simulationen bei der virtuellen Produktauslegung weiterhin wachsen. Getrieben von der Suche nach optimalen Lösungen unter Verwendung von immer effizienteren Materialien steigt neben der Komplexität der Simulationen auch der Anspruch an das Simulationsergebnis. Mittlerweile ist es oftmals unerlässlich, die aus der Prozesssimulation resultierende Bauteilhistorie in die Gebrauchstauglichkeits- und Versagensberechnung mit einfließen zu lassen, um belastbare Endergebnisse generieren zu können. Mit LS-DYNA steht ein leistungsfähiger

Finite-Elemente-Löser zur Seite, der diese Anforderungen für viele Anwendungen innerhalb einer Softwareumgebung zur Verfügung stellt. DYNAMore hat dementsprechend seine Schulungen und kostenlosen Informationsveranstaltungen an aktuelle Entwicklungen sowie an den Kundenbedarf angepasst. In der kürzlich erschienen DYNAMore Seminarbroschüre erhalten Sie einen Überblick über die Schulungsthemen und -termine 2016.

www.dynamore.de

ESI

ESI und DAHER präsentieren immersives Virtual Prototyping auf der Deutsch-Französischen Digital-Konferenz in Paris

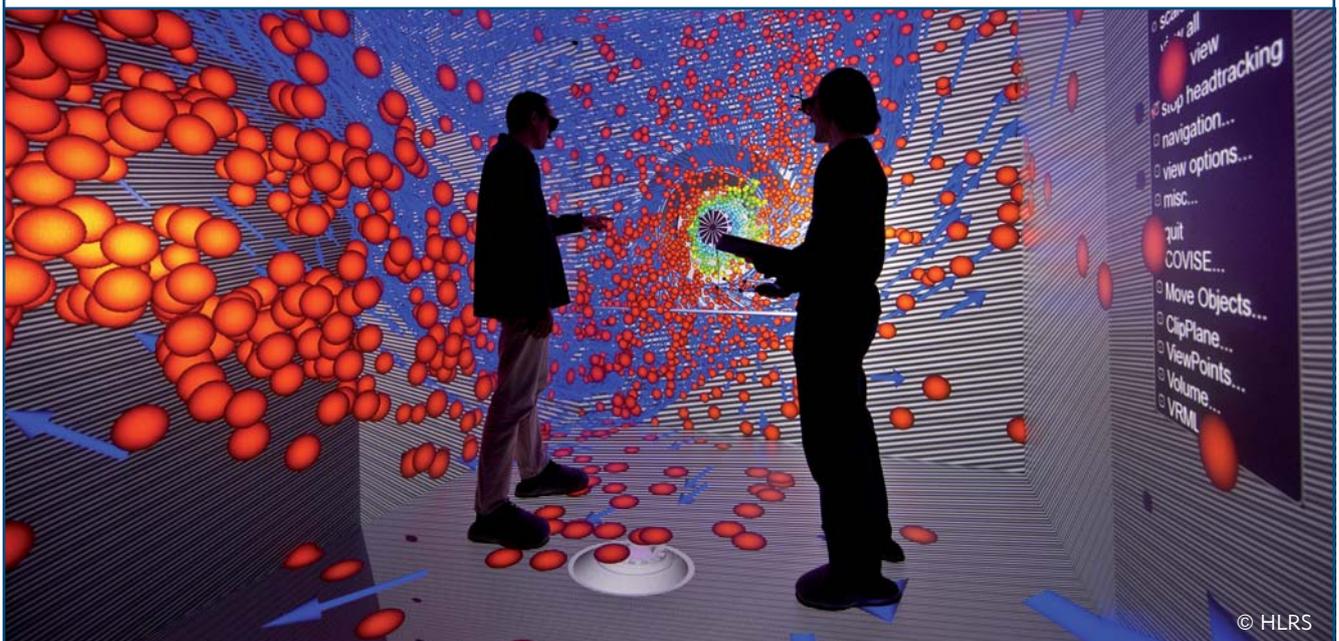
ESI Group wurde eingeladen, an der Deutsch-Französischen Digital-Konferenz am 27. Oktober im Elysée-Palast in Paris teilzunehmen.

Während der Konferenz präsentierten der Französische Minister Emmanuel Macron und Bundesminister Sigmar Gabriel ihren „Aktionsplan“ für eine ehrgeizige digitale Strategie in Europa und die damit verbundenen gesellschaftlichen Herausforderungen. Außerdem waren der Französische Präsident François Hollande, Bundeskanzlerin Angela Merkel und der Präsident der Europäischen Kommission, Jean-Claude Juncker vor Ort, um Demonstrationen ausgewählter innovativer Technologien zu sehen, einschließlich ESIs immersiver Virtual Prototyping-Lösung im Einsatz beim Flugzeughersteller Daher. Das Französische Unternehmen Daher wendet ESIs Virtual Reality-Lösung ESI IC.IDO an, um seine Montagelinien zu optimieren und die Produktivität zu steigern. Dank Virtual Reality können Dahers Ingenieure Montageprozesse sehr früh in der Entwicklungsphase bewerten, bevor sie sich auf größere Investitionen

Save the date!

Virtuelle Produktentwicklung

Chance oder Notwendigkeit für den Mittelstand ?



Informationsveranstaltung

7. April, 14:00 Uhr, Stuttgart

www.sicos-bw.de/vp



festlegen müssen und bevor ein echter Prototyp gebaut wird. Die Demonstration im Elysée zeigte den Offiziellen, wie Daher ESIs Lösung zur Feinabstimmung der Endmontagelinien (FAL) der TBM 900 anwendet, der neuesten Ergänzung von Dahers Produktfamilie sehr schneller Turboprop-Flugzeuge. Nicolas Orance, Chief Innovation Officer bei Daher kommentiert: „Eine der aktuellen Herausforderungen von Industrieunternehmen ist die zunehmende digitale Umsetzung industrieller Prozesse. Daher hat bereits eine Reihe von Lösungen für die Luft- und Raumfahrt und den Nuklearsektor implementiert. Virtual Reality hilft uns, die Lücke zwischen Entwicklungslösungen und Ideen und der Umsetzung in der Produktion zu schließen. Dabei gewinnen wir nicht nur Zeit, sondern steigern auch unsere Produktivität.“ Während der Demonstration im Elysée-Palast in Paris wurden ein ESI-Ingenieur vor Ort und ein Kollege in der ESI-Niederlassung in Stuttgart mittels Remote-Zugang in die gleiche virtuelle 3D-Umgebung eingebunden. Sie demonstrierten eine typische gemeinsame Projektbesprechung, bei der sie an demselben virtuellen Prototypen arbeiteten – eine bewährte Methode für die zuverlässige und frühzeitige Entscheidungsfindung im Produktentwicklungsprozess. Vincent Chaillou, COO, ESI Group kommentiert: „Mit seinem einzigartigen Virtual Prototyping-Angebot adressiert ESI verschiedene Industriebereiche und ist gut gerüstet, um Europäische Initiativen zur Entwicklung digitaler Technologien, z.B. „Industries du Futur“ und „Industrie 4.0“, zu unterstützen.“ Fouad El-Khaldi, General Manager of Strategy and Innovation, ESI Group, stellt den Bezug zur lokalen wirtschaftlichen Entwicklung her: „Diese Veranstaltung zeigt das große Potenzial Europäischer Unternehmen, insbesondere mittelständischer Unternehmen, das industrielle Wachstum in Europa mit Hilfe digitaler Technologien voranzutreiben. Solche Kooperationen, sowohl mit Industrieunternehmen als auch staatlichen Stellen, fungieren als effizienter Katalysator, um

Europas Innovations-Ökosystem und die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie zu steigern. Aus diesem Grund nimmt ESI an vielen Forschungsprojekten teil, die von der Europäischen Union durch private-öffentliche Partnerschaften wie EFFRA und EGVI finanziert werden.

ESI veröffentlicht PAM-Stamp 2015

ESI Group kündigt die neueste Version seiner Lösung zur Blechumformung und Wirkflächenkonstruktion an: PAM-Stamp 2015. PAM-Stamp berechnet akkurat das Ergebnis vollständiger Blechumformungsprozesse und adressiert damit die Anforderungen von OEMs und Tier-Lieferanten in der Automobilindustrie, der Luft- und Raumfahrt sowie der Schwerindustrie. Für Hersteller bedeutet dies Kosten- und Zeiteinsparungen über den gesamten Produktentwicklungszyklus – vom Entwurf bis zum Versuch und der Produktion. Werkzeuglieferanten ermöglicht PAM-Stamp die Entwicklung von Produktionswerkzeugen durch seine erstklassige, voraussagende Simulation, die das Design von Außenhautteilen und die Entwicklung neuer, leichter Strukturkomponenten unterstützt.

„Automobilhersteller streben danach, ihre Entwicklungszyklen auf bis zu unter einem Jahr zu reduzieren. Daraus folgt, dass für Ingenieure in der Prozessplanung und im Werkzeugbau die Sicherstellung einer sehr hohen Oberflächenqualität schon in einer frühen Phase der Werkzeugentwicklung von essentieller Bedeutung ist.“ erklärt Harald Porzner Director of Virtual Manufacturing Product Management bei ESI Group. „Die Notwendigkeit exakter und defektfreier Außenhautbleche – insbesondere bei außergewöhnlichen Designs – hat drastisch zugenommen. Bei der Anwendung fortschrittlicher Materialformungsprozesse für Strukturteile wird das Erreichen dessen noch anspruchsvoller. In beiden Fällen hängen zuverlässige Resultate von einer akkuraten Werkzeuggeometrie ab.“ Mit diesen Herausforderungen konfrontiert, liefert ESI mit PAM-Stamp 2015 eine verbesserte Kontrolle

der Topologie sowie Geometrie-reinigung und -reparatur, um eine leistungsfähige, geometrie-basierende Wirkflächenkonstruktion zu ermöglichen. Weiterhin ist es dank ESIs Die Starter, einer brandneuen Technologie zur Generierung von Wirkflächen, die für die Bauteilkonstruktionen benötigt werden, möglich, in der Entwurfs- und Entwicklungsphase Presswerkzeuge vollautomatisch zu generieren und die Umformergebnisse zu validieren. Die gleiche Technologie kann auch in der Konzeptentwicklungsphase genutzt werden, um automatisch den Ausgangspunkt für eine verfeinerte Wirkflächenkonstruktion zu generieren und somit viele bislang notwendige Iterationsschritte einzusparen. Durch die genaue Berücksichtigung aller Aspekte des Umformprozesses erlaubt PAM-Stamp bereits frühzeitig im Prozess die vollständige Bewertung der Umsetzbarkeit eines Konzepts. Es unterstützt Werkzeug- und Entwicklungsingenieure von der Konzeptphase und der Auswahl der Fertigungsmethode bis hin zum Versuch und zur Produktion. Das Ergebnis jeden Schrittes in der Fertigungskette wird vorausgesagt, bevor reale Prototypen erstellt werden. Das Ergebnis von PAM-Stamp kann problemlos in ESIs Virtual Performance Solution übertragen werden, so dass in komplexen Produkt-Performance-Modellen die „wie gefertigten“-Bauteile korrekt repräsentiert werden.

Mit PAM-Stamp – Bestandteil der ESI Sheet Metal Forming Solution – ist es möglich, Risse, Falten, Rückfederungsverhalten aber auch Oberflächenfehler wie Anheb- und Nachlaufkanten sowie Einfallstellen zu betrachten. Solche Defekte sind kritische Punkte sowohl für Außenhautteile als auch strukturelle Komponenten. Zum einen wirken sie sich negativ auf die visuelle Erscheinung aus und somit auf die Produktqualität aus Sicht des Kunden, zum anderen wird potenziell die zur Erreichung des geforderten Leichtbaus und Bauteilverhaltens erforderliche Umformbarkeit beeinträchtigt.

„Vesta nutzt regelmäßig PAM-Stamp für diverse Pressteile und Prozesse. Unser Hauptanliegen ist es heute,

ästhetische Defekte zu verhindern und zu lösen und neue Strategien zur Rückfederungskompensation für unterschiedliche Teile über den gesamten Herstellungszyklus zu entwickeln“ sagt Arlem Picinin Campos, Manager of Simulations and Machining bei Vesta Engenharia, Brasilien. Mit den neuen Entwicklungen ist es nun möglich, kosmetische Defekte sehr früh im Prozess und das Bauteilverhalten zur richtigen Zeit – wenn die Entwicklung abgeschlossen ist – zu identifizieren und zu vermeiden.

Mit seinem besonderen Potenzial, lokale Biegungen und wechselnde Materialeigenschaften genau zu simulieren, bietet ESI PAM-Stamp 2015 noch exaktere Ergebnisse. Vor über 25 Jahren in enger Zusammenarbeit mit industriellen und akademischen Partnern entwickelt, adressiert PAM-Stamp alle Arten von Blechumformprozessen, einschließlich kalter, warmer und heißer sowie diverse metallische

Materialien wie Aluminium-, Titan-, und Magnesiumlegierungen und andere Stähle. Weiterhin hat die aktuelle Version von ESI PAM-Stamp zusätzlich einen neuen Algorithmus, der – basierend auf einer expliziten Berechnungsstrategie – die Ergebnisse dreimal schneller also zuvor liefert. Gekoppelt mit der Möglichkeit, Flächendesigns aus jeder CAD/CAE-Lösung direkt für die Simulation zu nutzen, können Ingenieure Zeiteinsparungen von bis zu 90%, im Vergleich zum traditionellen Modellbau realisieren.

Genauere Informationen über die Materialeigenschaften sind entscheidend für die erfolgreiche Simulation von Blechumformprozessen, die so früh wie möglich im Entwicklungszyklus abgeschlossen werden sollte. Deshalb beinhaltet PAM-Stamp 2015 eine neue Material-Datenbank, die von einem wichtigen Partner von ESI bereitgestellt wird: dem Center of Precision Forming der Ohio State University. Zusätzlich

wird durch ein neues Materialgesetz für die Warmumformung (ein einzigartiges Modell für den Formänderungsweg) die Vorhersagegenauigkeit für die Geometrie gefertigter Teile verbessert, was Herstellern bei der besseren Einhaltung gesetzter Toleranzen hilft. Die durch Reibung und plastisches Fließen generierte Hitze kann nun bei der Berechnung der Werkzeugtemperatur bei der Umformung fortschrittlicher hochfester (Advanced High Strength Steel – AHSS) und ultra-hochfester Stähle (Ultra High Strength Steel – UHSS) berücksichtigt werden und bietet so eine höhere Simulationsgenauigkeit. Über die eigentlichen Blechumformprozesse hinaus bietet PAM-Stamp eine hochentwickelte vergleichende Prüfung der finalen Bauteilform und ein zusätzliches Montage-Modul, um die Toleranzen von Zusammenbauten aus Umformkomponenten zu überprüfen.

Anzumerken ist, dass ESI PAM-Stamp 2015 erweiterte Möglichkei-



LS-DYNA – Ein Code für viele Anwendungen

- Explizite und implizite Strukturberechnungen
- Thermo-mechanisch gekoppelte Simulationen
- Inkompressible Fluide und FSI
- Kompressible Fluide und FSI
- Elektromagnetismus
- Frequency Domain Analysen
- Partikelmethoden



Bild: Daimler AG



THUMS™

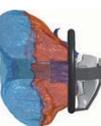
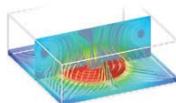
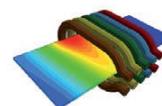
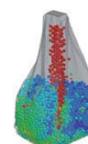
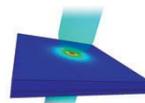


Bild: Daimler AG



DYNAMore GmbH

Stuttgart • Dresden • Ingolstadt • Berlin • Langlingen • Zürich • Linköping • Göteborg • Turin • Versailles
 Tel.: +49 (0)711 - 45 96 00 - 0 • E-Mail: info@dynamore.de • www.dynamore.de

ten und neue Module für CAD- Cleanup, Schätzung der Teilekosten, Schachtelung (um die Vergeudung von Rohmaterial zu minimieren) und Wirkflächenkonstruktion bietet. Diese Module arbeiten nahtlos mit ESIs Visual- Environment-Plattform und Dassault Systèmes CATIA V5 und liefern eine vollständige und effiziente Lösung für die Blechverarbeitung.

www.esi-group.com

GRANTA DESIGN

Werkstoffdaten-Software liefert entscheidende Simulationseingabedaten schnell und fehlerfrei

Granta Design hat mit Granta MI:Simulation ein neues Softwarepaket angekündigt, das die Bereitstellung der erforderlichen Werkstoffdaten für die Simulation vereinfacht. Die Simulation nimmt in der Produktentwicklung inzwischen einen sehr hohen Stellenwert ein, da sie ein tieferes Verständnis der Produkteigenschaften ermöglicht. Durch Simulation wird die Abhängigkeit von teuren physikalischen Prototypen reduziert und die Entwicklungszeit verkürzt. Die Simulationsgenauigkeit ist jedoch von der Qualität der Eingabedaten, insbesondere auch von den zur Beschreibung der physikalischen Eigenschaften genutzten Materialmodellen, abhängig. Granta MI:Simulation stellt eine genaue und vollständig rückverfolgbare Herleitung dieser Modelle sicher und unterstützt Simulationsexperten dabei, geeignete Werkstoffkennwerte zu finden und diese anzuwenden. Die Software ermöglicht es Unternehmen, die erforderliche Konsistenz zu gewährleisten und den größten Nutzen aus ihrer Investition in die Simulation zu ziehen.

Das neue Softwarepaket baut auf Granta MI, dem führenden Werkstoffinformations-Managementsystem, auf. Die Entwicklung validierter Materialmodelle erfordert die Analyse umfangreicher Testdaten. Nur so kann eine genaue Beschreibung der Werkstoffe über ein breites Spektrum an relevanten Einsatzbedingungen gewährleistet werden. Daher ist der erste Schritt zur Si-

cherstellung präziser Simulationen die Erfassung und Verwaltung der komplexen Daten. Dies ist eine der Kernfunktionen der Software Granta MI, die sich bereits bei vielen führenden globalen Unternehmen aus den Bereichen Luft- und Raumfahrt, Automobil, Unterhaltungselektronik und medizinische Geräte in der Praxis bewährt hat.

Die neuen Werkzeuge des MI:Simulation Softwarepakets bieten nun neue Analysemöglichkeiten dieser Daten und ermöglichen die Vorbereitung der daraus resultierenden Modelle für Computer-Aided Engineering (CAE) Anwendungen. So unterstützt das Werkzeug Granta MI:Data Analysis Apps wichtige Aufgaben wie Kurvenglättung, Mittelwertbildung und Modellanpassung. Diese Aufgaben müssen normalerweise auf die speziellen Anforderungen eines Unternehmens, die Werkstoffarten von Interesse sowie auf die im Unternehmen bevorzugten Analysemethoden und Modelle zugeschnitten werden. Eine Beispiel-Anwendung (App) wird mit der Software zur Verfügung gestellt. Mit dieser können Zugversuchsdaten aus einer Unternehmensdatenbank extrahiert, diese Daten verarbeitet und die daraus resultierenden Modelle für die Simulation zur Verfügung gestellt werden. Noch wichtiger sind in diesem Zusammenhang die begleitenden Werkzeuge zur Erstellung weiterer Apps. Diese können entweder vom Anwender selbst oder als Dienstleistung vom Granta Service Team erstellt werden. Als Ergebnis erhält man eine Anwendung, mit der die Ingenieure schnell, rückverfolgbar und konsistent genau die Simulationseingabedaten ableiten können, die vom Unternehmen benötigt werden.

Der letzte Schritt besteht in der Bereitstellung aller wichtigen Daten für die Simulationsexperten. Die Granta MI:Materials Gateway Software ermöglicht den Zugriff auf diese Daten direkt innerhalb der jeweils vorhandenen CAE-Umgebung, z. B. Abaqus/CAE, Ansys Workbench, HyperMesh und NX. Das MI:Simulation Softwarepaket umfasst die jeweilige vom Anwender gewünschte MI:Materials Gateway

Software. Diese bietet nun einen nochmals verbesserten Arbeitsablauf, um relevante CAE Modelle zu finden und zuzuweisen. Auch für andere Systeme ist die Integration schnell und fehlerfrei – Anwender können aus Granta MI Materialkarten exportieren, dabei werden die Daten automatisch in die Formate übersetzt und angepasst, die von Softwarewerkzeugen wie LS-DYNA, Nastran, PAM-Crash, PAM-Stamp, Patran und Radioss gelesen werden können. Alle diese neuen Funktionen werden mit Granta MI Version 9 verfügbar sein. Das Release der neuen Version ist für den kommenden Monat geplant, alle neuen Funktionen wurden zum ersten Mal in den Granta Web-Seminaren in dieser Woche präsentiert.

Werkstoffinformationen innerhalb von Enterprise CAD und PLM Systemen

Granta Design gab neue Funktionen in seinem Werkstoff-Informationsmanagementsystem Granta MI™ bekannt. Diese erweitern den Werkstoffdaten Support für Enterprise Computer-Aided Design (CAD) und Product Lifecycle Management (PLM) Werkzeuge. Mit einer neuen Web-App wird die oft entscheidende Frage „Wo wurde das Material verwendet?“ beantwortet. CAD Anwender können nun alternative Werkstoffe untersuchen, darüber hinaus gibt eine neue Option für die PLM Integration. Granta MI versetzt große Unternehmen in die Lage, wichtige unternehmenseigene Informationen über ihre technischen Materialinformationen zu verwalten, sie mit umfassenden Referenzdatenbibliotheken zu kombinieren und dieses Wissen im Design und der Entwicklung anzuwenden - unter anderem innerhalb ihrer CAD-, PLM- und Computer-Aided Engineering (CAE) Systeme.

Die neue 'Wo wurde es benutzt?' App versetzt Designer in die Lage, ein Material von ihrer Granta MI Datenbank auszuwählen und dann in ihrem PLM System abzufragen, in welchen bereits vorhandenen Produkten oder Bauteilen der Werkstoff verwendet wurde. Wenn z. B. ein bestimmter Kunststoff für ein

neues Produkt in Betracht gezogen wird, möchte der Entwicklungsingenieur wissen, wo dieser Werkstoff in früheren Anwendungen eingesetzt wurde, um so Unterstützung bei der Optimierung des Designs zu erhalten oder Probleme zu vermeiden. Ein weiterer Anwendungsfall ist die Frage, welche Produkte gefährdet sind, wenn ein Material aufgrund neuer Regularien oder Lieferschwierigkeiten nicht mehr verfügbar ist. Die App verknüpft unternehmenseigene Material- und Produktanwendungsdaten, um diese wichtigen Fragen schnell über ein benutzerfreundliches Interface zu beantworten, für dessen Bedienung keinerlei Kenntnisse der komplexen Datenstrukturen nötig sind.

www.grantadesign.com

HBM

Verwaltung und Analyse von Testdaten bei Liebherr-Aerospace

HBM-nCode gab bekannt, dass nCode Automation bei Liebherr-Aerospace Toulouse SAS als das bevorzugte Tool zur Durchführung von robusten und automatisierten Analysen zum Einsatz kommt. Liebherr-Aerospace, führender Anbieter von Systemen der Luftfahrtindustrie, fertigt integrierte Systeme für diverse Luftfahrtbereiche, einschließlich Flugsteuerungs- und Aktuatorssysteme, Fahrwerk- und Luftmanagementsysteme sowie Getriebe für den Zivil- und Militärsektor.

Unsere Herausforderung bestand darin, eine Lösung zu finden, welche die Analyseanforderungen unserer verschiedenen Service-Sektoren adressiert“, kommentierte Julian André, Leiter Project Development Testing Service at Liebherr-Aerospace. „nCode Automation mit

seiner bedienerfreundlichen Schnittstelle ermöglicht den fünf Sektoren unserer Entwicklungstest-Services die Zusammenarbeit und Analyse des konstanten Datenflusses, der über 28 Testzellen in unserem Testzentrum generiert wird.“

Mit dieser Software-Einführung setzen HBM-nCode und Liebherr-Aerospace die kontinuierliche und vertiefte technische Partnerschaft fort. Ergänzend zu nCode Automation ist Liebherr-Aerospace auch langjähriger Anwender von nCode DesignLife für die Simulation der Lebensdauer der Produkte und nCode GlyphWorks für robuste Analysen der vorliegenden Testdaten.

„Wir freuen uns, dass Liebherr-Aerospace die Anwendung der nCode Software zur Unterstützung der internen Entwicklung und Instandhaltung des Equipments weiter ausgebaut hat“, sagte Steve Tudberry, Chief Operating Officer bei HBM-nCode. „Diese neue Implementierung bei Liebherr bestätigt un-

Geschäftsprozesse
CAD | CAE
Software
PDM | PLM

Simulationsdatenmanagement (SDM)

Effizient einführen und umsetzen!

SDM

Bedarfe, Nutzen, Potenziale

SDM

Konzept und Spezifikation

SDM

Umsetzung, Einführung und Betriebsunterstützung

Profitieren Sie von den langjährigen Erfahrungen der :em AG bei der Auswahl, Konzeption und effizienten Einführung von SDM in ihrem Unternehmen.

:em engineering methods AG | Rheinstraße 97 | 64295 Darmstadt
Tel. +49 (0) 6151 . 950 54 20 | info@em.ag
www.em.ag

sere innovativen und fortschrittlichen Applikationen innerhalb der Luft- und Raumfahrtindustrie weltweit.“

www.hbmncode.com

INSTAL

Instal-News erschienen

Die neue Ausgabe 11/2015 des Instal Newsletters ist erschienen.

www.instal-online.de

MSC SOFTWARE

Neue Materialmodelle für erweiterte nichtlineare Simulationen in Marc 2015

MSC Software hat die neue Version von Marc 2015 angekündigt. Marc ist eine Lösung für implizite nichtlineare Finite Elemente (FE)-Analysen. Zusammen mit dem Pre- und Postprozessor Mentat eignet sich Marc für fortgeschrittene nichtlineare Strukturanalysen, Kontaktberechnungen, komplexe Materialmodelle und multiphysikalische Analysen. Marc 2015 bietet neue Materialmodelle für Elastomere, Thermoplaste und Elasto-Plastizität. Zudem wurden Elementtechnologie, Kontaktberechnung, adaptive Neuvernetzung und Benutzeroberfläche verbessert. Zu den Highlights der Version 2015 zählen:

Neue Materialmodelle: Marc 2015 bietet neue Materialmodelle zur Simulation von komplexem, dynamischem Verhalten von Elastomeren, permanenter Verformung von Thermoplasten und anisotroper plastischer Verformung, die oft bei Metallen auftritt.

Kohäsive Kontakte: In Baugruppen sind die Teile oft über diskrete Elemente wie Nieten, Schrauben oder Schweißpunkte verbunden. Häufig ist es zu aufwendig, diese diskreten Entitäten zu modellieren. Deshalb wird eine einheitliche starre Klebung angenommen. Dies ist zwar einfach handzuhaben, führt aber oft zu einem steifem Verhalten. Um diesen Nachteil zu beseitigen, bietet Marc 2015 ein kohäsives Kontaktverhalten. Das erlaubt dem Anwender, eine finite Steifigkeit in normaler und

tangentialer Richtung einzugeben. Dies verbessert die Spannungsergebnisse der Kontaktzonen und das gesamte Verformungsverhalten.

Neue Elementtechnologie für effiziente computergestützte Ressourcennutzung: Marc 2015 führt eine neue Familie von Elementen ein, die einfach zu verwenden sind, ein verbessertes Biegeverhalten im Vergleich zu traditionellen Dreiecks- und Tetraeder-Elementen niedriger Ordnung aufweisen und für kompressible oder nahezu inkompressible Verhalten genutzt werden können. Da weniger Elemente zur genauen Darstellung des Scherverhaltens nötig sind, helfen die neuen Elemente dabei, Systemressourcen einzusparen und bessere Ergebnisse bei geringeren Rechenzeiten zu liefern. **Neue globale adaptive Methoden für die Neuvernetzung (Remeshing):**

- Eine neue Methodik erlaubt es, Features und Details der Originalgeometrie beim Neuvernetzen beizubehalten. Das verbessert die Genauigkeit und ist vor allem bei Gummikomponenten und komplexen Fertigungsproblemen von Vorteil.
- Die Verwendung einer überarbeiteten Vernetzungsvorlage an der 3D-Riss Spitze ermöglicht eine genaue Vorhersage der Energiefreisetzungsrates, des Belastungsintensitätsfaktors und der Rissausbreitungsrichtung bei geringen Berechnungskosten.

Verbesserungen der Benutzeroberfläche für einfache Handhabung und Effizienz: Mentat, die Benutzeroberfläche von Marc, wurde in mehreren Bereichen für benutzerfreundlicher gestaltet und bietet jetzt noch höhere Produktivität. Die Solid-basierte Definition von Randbedingungen, eine vereinfachte Definition von Lastfällen sowie Shortcuts erleichtern dem Anwender das Arbeiten.

Mehr über die neue Version 2015: <https://youtu.be/j9SqdhsvGWU>

Geometriaufbereitung und Vernetzung leicht gemacht

MSC Software gab bekannt, dass die Ingenieurbüro Fiedler GmbH die neue CAE-Plattform MSC Apex erfolgreich einsetzt. Fiedler konzentriert sich auf maschinenbau-

technische Aufgabenstellungen, die mit Hilfe von Finite Elemente (FE)-Berechnungen gelöst werden. Ziel ist, mit MSC Apex die Zeit für Modellierung und aufwendige Entwicklungsprozesse drastisch zu senken. Neuartige Technologien zur Geometriaufbereitung - zum Beispiel Mittelflächen automatisch verbinden oder Kanten und Flächen interaktiv bewegen - beschleunigen den Prozess vom CAD-Modell zum fertigen Netz. Das gibt dem Ingenieurbüro die Chance, Projekte schneller umzusetzen, unterschiedliche Konzepte detaillierter zu bewerten und die Anzahl der Optimierungsschleifen im Rahmen eines vorgegebenen Projektbudgets zu erhöhen.

Die Ingenieurbüro Fiedler GmbH ist Experte für FE-Berechnungen. Ausgangspunkt einer solchen Berechnung ist immer die CAD-Geometrie, aus der ein FE-Modell erstellt wird. Diese Rechenvorbereitung inklusive Vernetzung und Geometriaufbereitung ist vor allem bei komplexen Modellen meist die arbeitsintensivste und fehleranfälligste Phase im gesamten Entwicklungsprozess. Die Vernetzung ist reine Knochenarbeit ohne zusätzlichen Erkenntnisgewinn. Hier sah Fiedler Potential, mit MSC Apex Zeit einzusparen.

Das Ingenieurbüro Fiedler arbeitet häufig an großen Schweißkonstruktionen, zum Beispiel Förderanlagen aus dem Bergbau. Es handelt sich oft um Modelle mit hunderten dünnwandigen Solids, aus welchen die Ingenieure Mittelflächenmodelle erstellen, die dann mit Schalenelementen vernetzt werden. Mit Schalenelementen erhält man im Vergleich zu Solidelementen bei dieser Art der Modellierung vergleichbare Ergebnisse bei wesentlich geringerer Elementanzahl. Das Erzeugen und Verbinden der Mittelflächen kostete bisher viel Zeit. Mit Apex jedoch sind circa 80 Prozent dieser Arbeiten auf Knopfdruck automatisch erledigt. Das manuelle Verbinden der restlichen Flächen gelingt durch interaktives Ziehen von Kanten und Verschieben von Mittelflächen in dieselbe Ebene ebenfalls effizienter als mit traditionellen Programmen. Die interaktive Geometriebearbeitung ist auch

möglich, wenn die Geometrie schon vernetzt ist. Das Netz ändert sich automatisch mit und der Anwender sieht direkt den Einfluss der Geometrieänderung auf das Netz.

„Durch Apex können wir unsere Projekte wirtschaftlicher abwickeln und unsere Ingenieure haben mehr Zeit für die anspruchsvollen Simulationstätigkeiten. Qualität erhöht, Zeit und Kosten gespart!“ Peter Siebenbäck, CEO der Ingenieurbüro Fiedler GmbH

Der Weg vom CAD-Modell zum fertigen Netz hat sich für das Ingenieurbüro Fiedler erheblich beschleunigt. Das gibt mehr Zeit für die entscheidenden Phasen im Entwicklungsprozess, das sind Variantenrechnungen und die Interpretation der Berechnungsergebnisse vor allem im Hinblick auf die Ermüdungsfestigkeit. Weitere Informationen unter www.mscape.com.

Bauteile aus verstärktem Kunststoff mit neuer Lösung von e-Xstream engineering schneller und präziser entwickeln

e-Xstream engineering, ein Tochterunternehmen von MSC Software, bringt Digimat-RP/Moldex3D auf den Markt. Diese neue Software ist eine OEM-Version von Moldex3D integriert in Digimat-RP. Moldex3D dient zur Analyse von Spritzgussbauteilen; mit Digimat-RP können faserverstärkte Kunststoffe modelliert werden. Jetzt sind die Vorteile beider Programme vereint und Computer Aided Engineering (CAE)-Ingenieure können die Spritzguss-Simulation direkt in Digimat-RP durchführen. Ingenieure können mit Digimat-RP in der Strukturberechnung die Faserorientierung für Finite Elemente (FE)-Analysen bestimmen. Die Abschätzung der Faserorientierung mit Hilfe eines ‚Fiber Orientation Estimators‘ in Digimat-RP basiert auf einer vollständig integrierten Technologie von Moldex3D für Vernetzung, Strömungssimulation und Berechnung der Faserorientierung. Optimierte Eingabemöglichkeiten sowie automatische Vernetzung und Gleichungslösung garantieren eine intuitive Benutzerführung und maximale Produktivität.

Die neue Lösung profitiert von

der integrativen Technologie von Digimat-RP. Digimat-RP erlaubt die einfache und akkurate Analyse von faserverstärkten Kunststoffen durch fortschrittliche nichtlineare mikromechanische Materialmodellierung und eine intuitive Benutzeroberfläche. Digimat-RP/Moldex3D hebt die Simulation von Kunststoff damit auf ein neues Niveau. Ingenieure können mehrstufige Prozess-Schritte und Design-Iterationen für Bauteiloptimierungen in weniger als einem Tag durchführen. Das ist vor allem in Bereichen wie dem Leichtbau von Vorteil.

„Wir koppeln die ausgereiften Technologien von Moldex3D für die Spritzgussberechnung mit Digimat-RP für die nichtlineare multiskalare Strukturmodellierung. Das ermöglicht es, das lokale Verhalten von Composites in FE-Analysen akkurat zu beschreiben,“ sagt Dr. Venny Yang, Präsident von CoreTech System (Moldex3D). „Wir glauben, unsere Anwender werden von dieser Zusammenarbeit stark profitieren. Der nahtlose CAE-Arbeitsprozess wird Ihnen helfen, faserverstärkte Kunststoffe noch robuster zu machen.“

„Das Design faserverstärkter Kunststoffe basiert traditionell auf dem ‚Black Metal‘ Ansatz. Das führt in den meisten Fällen dazu, dass Plastikteile entweder überdesignt sind oder viel zu schwer,“ erklärt Dr. Roger Assaker, CEO von e-Xstream engineering. „Dafür gibt es mehrere Gründe. Zum einen ist das Wissen über den Herstellungsprozess oft lückenhaft. Zum anderen fehlen effiziente Werkzeuge, mit denen Berechnungsingenieure das Materialverhalten in frühen Zyklen der Produktentwicklung in den Prozess einbinden können. Digimat dient als digitales Materiallabor und schließt diese Lücke zwischen Spritzguss und Strukturmechanik indem herstellungsprozessbedingte Einflüsse in Form von Faserorientierungen berücksichtigt werden. Digimat-RP ist speziell auf die Anforderungen im Bereich Kunststoffe abgestimmt, mit der Integration von Moldex3D wird der Simulationsprozess nun noch effektiver.“

www.mssoftware.com

P+Z ENGINEERING

ArrkRRK|P+Z Engineering bezieht neues Büro in Ingolstadt (siehe auch ARRK|P+Z)

Bereits seit 2005 übernimmt der Entwicklungsexperte ARRK|P+Z Engineering von seinem Standort in Gaimersheim aus Produktentwicklungsprojekte. Schwerpunktmäßig steht dabei die Unterstützung für die Automobil- sowie die entsprechende Zuliefererindustrie im Fokus.

Starkes Mitarbeiterwachstum machte jetzt eine Vergrößerung der Platzkapazitäten notwendig, was das Unternehmen gleichzeitig für einen Umzug näher hin zum ortsansässigen Hauptkunden nutzte: Ab Ende September sitzen die Entwicklungsexperten in einem neuen, 2.000 m² großen Büro im Q.west Quartier direkt am Audi-Ring in Ingolstadt.

Der ARRK|P+Z Standort in Gaimersheim wurde mit dem Umzug der Entwicklungsexperten komplett aufgegeben. Ihr Arbeitsfokus wird zukünftig thematisch hauptsächlich auf der Konstruktion, insbesondere mit Blick auf Antriebsstrang, Interieur, Hochvoltspeichertechnik und medienführende Systeme sowie auf der Technischen Berechnung und Simulation im Bereich Crash und Noise-Vibration-Harshness (NVH) sowie Ladungswechselakustik, Thermomanagement, Antriebskomponenten und Fahrwerk liegen. Einen weiteren Schwerpunkt stellt die Elektronikentwicklung dar. Neben der Hardware- und Softwareentwicklung geht es vor allem um die Entwicklung, Absicherung und Integration von Steuergeräten. Abgerundet werden die Aktivitäten mit dem Feld Erprobung und Versuch, wobei optische Systeme, Insassenschutz, Akustik und Werkstoffthemen im Zentrum stehen. Entsprechend wird auch die bisherige Werkstattfläche sowie das Projektbüro auf dem Rieter-Gelände beibehalten.

Besonderheit des neuen Büros im Q.west ist nicht nur das moderne, helle Raumdesign und die günstige Verkehrslage, sondern vor allem auch, dass alle Bereiche absolut barrierefrei gestaltet sind. Die Standortnähe des neuen ARRK|P+Z Büros zum Ingolstädter Hauptkunden

begünstigt künftig eine noch engere und flüssigere Zusammenarbeit zwischen dem Autobauer und dem Entwicklungsdienstleister.

ARRK|P+Z Engineering beschäftigt derzeit rund 120 Angestellte im Raum Ingolstadt, das neue zentrale Quartier bietet hier mit über 200 Arbeitsplätzen noch reichlich Ausbauspielraum für einen weiteren Mitarbeiteraufbau.

www.puz.de

PDTEC

PDTEC und Geometric vereinbaren Partnerschaft

PDTEC AG gab bekannt, dass das Unternehmen eine Partnerschaft mit Geometric Ltd, einem führenden, weltweit tätigen Anbieter von Engineering-, Service- und Technologielösungen, vereinbart hat.

Im Rahmen der Partnerschaft wird Geometric das Collaboration Portal von PDTEC in seiner neu veröffentlichten Software GeometricEDGE nutzen. GeometricEDGE ist eine Kollaborationslösung für den Austausch von Konstruktions- und Engineering-Daten zwischen OEMs, Zulieferern und Partnern für globale Engineering-Projekte. Collaboration Portal ist eine web-basierte Plattform, über die als zentrale Datendrehscheibe Informationen bereitgestellt werden und mit der die Zusammenarbeit im Produktlebenszyklus durchgängig unterstützt wird. Die Partnerschaft umfasst eine OEM-Reseller Vereinbarung, im Rahmen derer Geometric die neue Lösung GeometricEDGE weltweit exklusiv vermarktet. PDTEC sieht darin einen wichtigen Meilenstein des Unternehmens.

Beide Unternehmen festigen mit dieser Partnerschaft vor allem im Markt global agierender Unternehmen, aus den Bereichen Automobil, Luft- und Raumfahrt und dem allgemeinen Maschinenbau, ihre Position als Lösungsanbieter.

„Die Zukunft der Entwicklung liegt in der globalen Zusammenarbeit, sei es zwischen unseren Kunden, Zulieferern oder Joint Ventures. Der Bedarf an Datenaustausch, bei gleichzeitiger Sicherstellung des

geistigen Eigentums, wird immer wichtiger. Durch die neue Partnerschaft mit PDTEC können wir mit GeometricEDGE eine einzigartige Lösung anbieten. Diese berücksichtigt zukünftige Anforderungen und bietet sowohl unseren Kunden als auch Unternehmen außerhalb unseres angestammten Kundenkreises viele Anwendungsmöglichkeiten“, sagte Manu Parpia, Geschäftsführer und CEO Geometric.

„Wir freuen uns über die neue Partnerschaft mit Geometric und über die Möglichkeit, global tätige Entwicklungsteams in die Lage versetzen zu können, noch effektiver zusammenzuarbeiten und somit Entwicklungszeit und -kosten einzusparen“, sagte Albrecht Pfaff, Vertriebsvorstand der PDTEC AG. „Die Erfahrung von Geometric mit seinem globalen Vertriebs- und Supportnetz wird uns helfen, unsere Technologien im Markt noch präsenter zu machen.“

www.pdtec.de

SIEMENS PLM SOFTWARE

Blohm+Voss optimiert Schiffbau mit integrierter PLM-Lösung von Siemens

Blohm+Voss hat sich für eine integrierte Software-Suite aus Product Lifecycle Management (PLM)-Lösungen von Siemens entschieden, um den gesamten Wertschöpfungsprozess vom Schiffsentwurf, über die Konstruktion und Planung bis hin zum Bau ihrer Schiffe unterstützen zu lassen. Der ganzheitliche Ansatz von Siemens PLM Software für den Schiffbau war der entscheidende Faktor für die Entscheidung der Werft, die bisher eingesetzte Software durch eine spezielle Schiffbaulösung von Siemens zu ersetzen. Diese umfasst das Teamcenter Portfolio sowie die Software NX. In Zusammenarbeit mit der SGP Management Consultants GmbH prüfte Blohm+Voss in einem umfassenden Auswahlprozess mehrere Software-Lösungen und entschied sich schließlich für die Siemens PLM Lösung.

„Die Erfahrung, über die unsere Belegschaft in den Bereichen En-

gineering und Schiffbau verfügt, hat dafür gesorgt, dass wir im Lauf des vergangenen Jahrzehnts einige der bekanntesten Yachten planen und abliefern konnten“, so Peer Ostendorff, Director Engineering bei Blohm+Voss. „Unsere Prozesse werden durch die integrierte Lösung von Siemens PLM Software optimal unterstützt, sodass wir mit dem Einsatz von Teamcenter und NX unsere Mitarbeiter noch besser in die Lage versetzen können, den wachsenden Ansprüchen der Käufer von Superyachten effizient und effektiv gerecht zu werden. Mit diesem System werden wir unsere gesamte Performance optimieren, indem wir Stahlbau, Ausrüstungen und Geräte sowie die Engineeringprozesse in einer einzigen Datenquelle bündeln.“ Blohm+Voss wird mit NX, der integrierten 3D-Lösung von Siemens für Computer-Aided Design, Manufacturing und Engineering Simulation (CAD/CAM/CAE), eine ganzheitliche Umgebung für die Produktentwicklung aufbauen und optimieren. Bestimmte Software-Module, die speziell für die Schiffbaubranche entwickelt wurden, verbessern die Zusammenarbeit im gesamten Unternehmen, den Datenabgleich, den Service und steigern so die Produktivität. Zusätzlich bietet der Einsatz von Teamcenter, der umfassenden Lösung von Siemens für digitales Lifecycle Management, eine schnelle und einfache Methode, um jederzeit auf relevante Informationen zuzugreifen. Dadurch ist eine schnelle Auswertung und Entscheidungsfindung möglich, außerdem lassen sich bewährte Konzepte wiederverwenden. So werden mögliche Risiken sowie Verzögerungen in Projekten vermieden.

Die Lösung für den Schiffbau von Siemens umfasst Teamcenter und NX. Sie ist als nahtlos integriertes PLM-System entwickelt, mit dem Werften das gesamte Spektrum ihrer Aktivitäten abdecken können. Die offene Architektur der Lösungen von Siemens PLM Software macht es möglich, die neue Software schrittweise einzuführen und modular zu integrieren. So können laufende Projekte ohne technische Unterbrechungen, Datenverlust oder

Ausfallzeiten auf das neue System übertragen werden. Als Ergänzung zu den Software-Lizenzen wird der Einführungsprozess von speziellen Schulungen für die Schiffbau-Lösung durch Experten von Siemens sowie des autorisierten Siemens Trainingspartners NeXeo mit zertifizierten PLM-Softwarekursen begleitet.

„Die Schiffbaubranche muss sich mit starkem internationalem Wettbewerb, Preisdruck und betrieblichen Anforderungen auseinandersetzen“, sagt Kirk Gutmann, Senior Vice President, Industry Strategy bei Siemens PLM Software. „Optimierte Prozesse in Entwicklung, Konstruktion und Fertigung sind ein entscheidender Schritt dahin, diese Herausforderungen zu meistern und ganzheitlich eine gesteigerte Leistungsfähigkeit zu erreichen. Die Kombination und Integration aller Prozesse in eine umfassende Software-Lösung unterstreicht den Erfolg unserer industriespezifischen Lösungen. Und nirgendwo ist dies relevanter als in der Schiffbauindustrie. Blohm+Voss kann dadurch, dass die richtigen Produktinformationen gebündelt in automatisierte Prozesse einfließen, Aktivitäten besser synchronisieren, Produktivität steigern und mehr Innovationen umsetzen.“ 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.

NX 10 von Siemens: Flexibleres Konstruieren und bis zu dreimal höhere Produktivität

Die aktuelle Version der Software NX von Siemens, NX 10, bietet mit neuen Funktionen mehr Flexibilität bei der Produktentwicklung und sorgt für eine bis zu dreimal höhere Produktivität. Neue Tools, wie die Lösung für Konzeptentwicklung in 2D, machen es einfacher und schneller, Konstruktionen zu erstellen. Mit vielen Neuerungen in der Applikation NX Realize Shape, einer voll integrierten Umgebung für Subdivision-Modellierung, ist es für Konstrukteure noch leichter, einzigartige Formdefinitionen zu erzeugen. Der neue, optionale Touch-Modus in der Benutzeroberfläche bietet erweiterten Zugriff auf alle Konstruktionsfunktionen von NX. Die enge Einbettung der Active Workspace-Umgebung, die neue Teamcenter-Lösung für das Product Lifecycle Management (PLM) von Siemens, verkürzt wesentlich die Zeit bei der Informationssuche. NX 10 enthält darüber hinaus zahlreiche weitere Verbesserungen über die gesamte Computer Aided Design, Manufacturing und Engineering (CAD/CAM/CAE)-Lösung hinweg. „NX 10 ist ein weiterer Schritt zur Verbesserung der robusten Funktionalität und der anwenderfreundlichen Eigenschaften, die unsere Kunden dabei unterstützen, die ständig komplexer werdenden Produktkonstruktionen im Griff zu behalten“, sagt Jim Rusk, Senior Vice President Product Engineering Software bei Siemens PLM Software. „Die neuen und erweiterten Funktionen vereinfachen und beschleunigen die frühe Entwurfsphase, einen der wichtigsten Abschnitte in der Konstruktion. Die optimierte Benutzeroberfläche mit Touch-Modus und die enge Integration des Active Workspace machen NX 10 so vielseitig wie nie zuvor. Der Zugriff auf Produktdaten ist jederzeit und von überall aus möglich. Dieser einfachere Zugang verhilft unseren Kunden zu fundierten Entscheidungen, die zu besseren Produkten führen.“ Aufgrund der immer komplexeren Produkte ist 3D-Modellierung weltweit die bevorzugte Methode

bei der Produktkonstruktion. In einigen Bereichen allerdings, wie beispielsweise im Maschinenbau oder bei komplexer Elektronik, ist es einfacher und schneller, die ersten Konstruktionskonzepte in 2D zu erstellen. Die neue Lösung für die Konzeptentwicklung in 2D ermöglicht es Konstrukteuren, Konzepte in 2D zu überprüfen. So gelingt es bis zu dreimal schneller, neue Konstruktionen zu erzeugen. Ist die Konstruktion komplett, lässt sie sich unkompliziert in 3D umwandeln, um das Modell fertigzustellen.

Erweiterungen der Applikation NX Realize Shape bieten Konstrukteuren noch mehr Kontrolle über die Geometriemodellierung. Dadurch sind Produkte mit extrem anspruchsvollen Formgebungen oder komplexen Oberflächen möglich. Grundlage für NX Realize Shape ist die Subdivision-Modellierung. Dabei handelt es sich um einen mathematischen Ansatz, um 3D-Geometrien mit weichen, fließenden Formen zu erzeugen. Die Technologie kommt ursprünglich aus der Entertainment-Branche. Durch die nahtlose Integration in NX beschleunigt das Tool die Produktentwicklung, weil eine Vielzahl an Arbeitsschritten wegfallen, die beim Einsatz verschiedener Werkzeuge für Freiformkonstruktion und Entwicklung nötig wären.

Die neue Benutzeroberfläche mit optionalem Touch-Modus bei NX 10 bietet die Freiheit, NX auf Tablets mit Microsoft Windows Betriebssystem zu nutzen. Dadurch wird es wesentlich einfacher, NX immer dann einzusetzen, wenn es gebraucht wird, und zwar unabhängig vom Standort. Außerdem verbessert sich die Zusammenarbeit, und die Produktivität steigt. Die Kombination aus einfachem Zugang zu NX und einer direkten Einbettung in PLM durch Active Workspace, der innovativen Schnittstelle zur Teamcenter-Software von Siemens, verkürzt die Zeit bei der Suche nach relevanten Informationen, selbst in mehreren externen Datenquellen. Active Workspace kann von jedem Web-Browser eines beliebigen Gerätes von überall her aufgerufen werden.

NX 10 enthält außerdem zahlreiche Erweiterungen im Bereich CAD/

CAM/CAE, unter anderem die die neue NX-CAE-Multiphysik-Umgebung. Sie erleichtert die Integration von Simulationen wesentlich, indem zwei oder mehr Solver gekoppelt werden und so komplexe Simulationen schneller ablaufen. Die Multiphysik-Umgebung bietet eine konstante Oberfläche für die Durchführung von Simulationen. Dadurch können Ingenieure unkompliziert zusammenhängende Lösungen auf denselben Netzelementen aufbauen und dabei gängige Elementtypen, Eigenschaften, Randbedingungen und Solver-Funktionen nutzen.

Die neuen branchenspezifischen Funktionen von NX CAM erlauben schnellere Programmierung und führen zu höherer Qualität bei der Teilefertigung. Neue Schnittstrategien mit dynamischer Justierung passen sich der Teilegeometrie an und verbessern so die Bearbeitung von Werkzeug- und Gesenk-Formhälften. Funktionen für die automatisierte Prüfprogrammierung bei NX Coordinate-Measuring Machines (CMM) machen den Einsatz von Product Manufacturing Information (PMI) möglich, Scanning-Pfade für die Prüfung zu erzeugen. Das beschleunigt den Prüfprozess wesentlich im Vergleich zur derzeit verfügbaren Touch-Point-Methode. NX 10 bietet darüber hinaus neue Funktionen für die Konstruktion von Produktionslinien für die Automobilmontage. Mit der neuen Applikation für die Produktionslinienkonstruktion können Ingenieure Entwürfe von Fertigungsstraßen in NX konstruieren und visualisieren. Mit Teamcenter und der Tecnomatix-Software von Siemens lassen sich die Konstruktionen anschließend verwalten, der Produktionsprozess kann ausgewertet und optimiert werden.

NX 10 ist ab Dezember verfügbar. Weitere Informationen zu den neuen Funktionen von NX 10 gibt es unter www.siemens.com/plm/nx10.

www.siemens.com/plm

SIMUFACT

Simulation von Schweißprozessen mit Simufact.welding 5

Simufact öffnet den Vorhang für die neue Version 5 seiner Schweißsimulationssoftware Simufact.welding. Zu den wesentlichen Neuerungen gehören die AFS-Technologie zur Auswahl des Schweißprozestyps mit prozessspezifischen Voreinstellungen und die Abbildung des Widerstandspunktschweißens sowohl als Prozess- als auch als Struktursimulation im Modul Resistance Spot Welding. Neu sind auch der Export und Import von Schweißparametern, eine effizientere Modellierung durch verbesserte Benutzerfreundlichkeit und die Prozessoptimierung mit dem Process Control Center (interaktives Gantt-Diagramm). Die neue Produktversion Simufact.welding 5 ist seit dem 16. November verfügbar.

www.simufact.de

T-SYSTEMS

T-Systems startet von Aras gestützte PLM Cloud-Plattform (siehe auch Aras)

Aras und T-Systems gaben die Einführung der neuen T-Systems PLM Cloud-Plattform bekannt. Konzipiert als Software-as-a-Service (SaaS) verbindet die Plattform End-to-End-Services mit der vollen Funktionalität, Anpassbarkeit und Integration von Aras Innovator als PLM-Backbone.

Die T-Systems PLM Cloud-Plattform wird in einer sicheren, leistungsstarken und dynamischen Infrastruktur in den modernen T-Systems Cloud-Rechenzentren betrieben. Sie bietet globalen Unternehmen eine komplette Enterprise PLM-Lösung, die unter anderem Application Management Services für Support, Datensicherheit, Monitoring und Reporting beinhaltet.

Vorteile der T-Systems PLM Cloud-Plattform

- Vordefiniert für große multinationale, mittelständische und kleine Unternehmen
- Einsatz in Public- und Hybrid-Cloud Umgebungen möglich

- Volle Anpassungsfähigkeit
- Upgrades auch nach Anpassung weiter möglich
- Offene Integration und Data Federation
- PDMWebConnector zur Integration von Enovia, Teamcenter, Windchill und anderen PLM-Lösungen
- PDMWorkbench-Integration mit CATIA und NX

„Wir freuen uns, dass T-Systems sich für Aras als PLM-Backbone für die neue PLM Cloud-Plattform entschieden hat“, sagt Peter Schroer, CEO von Aras. „Durch die Partnerschaft mit T-Systems rund um dieses SaaS-Angebot können wir eine komplette Cloud-Lösung liefern, die die gesamte Leistungsfähigkeit von Aras Innovator zusammen mit integrierten Dienstleistungen und professionellem Support liefert.“

Mehr Informationen über die T-Systems PLM Cloud-Plattform gibt es unter:

<https://servicenet.t-systems.de/t-systems-plm-de/aras-cloud/1371960?ticketId=2511885194868233>

www.t-systems.com

TECOSIM

Tecosim-Forschungsprojekt: Weniger Rechenzeit bei Crashsimulationen

Weniger Rechenzeit bei Crashsimulationen – das war Ziel eines Forschungsprojektes beim CAE-Spezialisten Tecosim. Das Vorhaben wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des Innovationsprogrammes Mittelstand (ZIM) gefördert. Am Standort München haben die Ingenieure anhand mehrerer Methoden und Modelle Einsparpotenziale herausgearbeitet. Das Ergebnis überrascht: Um bis zu 25 Prozent kann die Rechenzeit reduziert werden.

Die numerische Simulation verschiedener Crashszenarien ist bei der Entwicklung neuer Fahrzeuge ein wichtiges Instrument. Hochdynamische und teilweise nichtlineare Prozesse werden mit speziellen Finite-Element(FE)-Programmen dargestellt. Obwohl heutige Fahrzeugmodelle für die Crashsimu-

lition schon circa drei Millionen Elemente beinhalten, besteht der Wunsch nach einer weiteren Detaillierung. Denn viele bisher nur grob abgebildete Bauteile haben einen erheblichen Einfluss auf das Crashverhalten.

Eine größere Detaillierung erhöht aber auch die erforderliche Rechenleistung. So rechnen aktuelle Modelle je nach Code und Hardware zwischen 24 und 48 Stunden bei einem Zeitschritt von einer Mikrosekunde. Um beispielsweise Gussbauteile sauber abzubilden, müsste der Zeitschritt auf ein Zehntel bis ein Fünftel reduziert werden. Dies kann die Rechenzeit wiederum bis zum Zehnfachen erhöhen. Daher bestand das Ziel des Forschungsprojektes in der Entwicklung eines Verfahrens, mit dem die Rechenzeit für Crashberechnungen bei steigender Modellgenauigkeit gesenkt oder zumindest konstant gehalten werden kann. Die durchgeführte Entwicklung zielte auf explizite Verfahren ab, die bei der sogenannten Kurzzeitmechanik (Crashtest, Falltest) und bei extrem nichtlinearen Effekten (z. B. Kontakt, starke Dehnungen und Verschiebungen) angewandt werden.

In einem ersten Schritt untersuchten die Tecosim-Ingenieure einfache Ersatzmodelle. Dabei nahmen sie Teilbereiche des Modells zunächst als starr (Rigid-Body) an. Diese Ersatzmodelle benötigten erheblich weniger Rechenleistung, da keine interne Deformation berechnet werden musste. Nachdem die Bereiche das Crashhindernis erreicht hatten, wurden sie durch Entfernung des Rigid-Bodys wieder verformbar geschaltet.

In der zweiten Projekthälfte entwickelte das Team dann Kriterien, um während einer Crashberechnung automatisch von Rigid-Bodys auf vollwertige Bauteilmodelle umzuschalten, sobald diese belastet werden und für den Crash eine Rolle spielen. Die erste Idee sah vor, die Rechnung mit einer Abaqus-Restart-Analyse jeweils neu zu beginnen. Bei diesem automatischen Abbruch und Neustart lassen sich in Abaqus die Eigenschaften eines Elements jedoch nicht verändern. Deshalb entwickelte Tecosim eine externe

Routine, um den Wechsel von rigid zu deformierbar über eine Filterfunktion und ein dahinterliegendes Skript zu steuern. Dabei werden die Rigid-Bodys aufgelöst, nachdem im angrenzenden deformierbaren Bereich die Spannungen einen bestimmten Wert überschreiten.

Um die Rechenzeitersparnis an einem Teilfahrzeugmodell (Aufprall mit 56 km/h gegen eine starre Barriere) zu untersuchen, teilten die CAE-Ingenieure es in mehrere Rigid-Bereiche auf. Diese wurden im ersten Schritt nach einer vorgegebenen Zeit, später nach oben beschriebenen Abbruchkriterium aufgehoben. Um einen Überblick über die Gesamtrechenzeit und eine sinnvolle Definition der Rigid-Bodys zu erhalten, rechneten die CAE-Experten zuerst das Referenzmodell. Dann bestimmte das Team für eine erste Potenzialbewertung feste Rechenzeiten anhand der Referenzrechnung. Die Rechnung wurde zu den entsprechenden Zeitpunkten gestoppt, um jeweils den nächsten Rigid-Body zu entfernen. Anschließend wurden die Berechnungen mit Hilfe eines Abbruchkriteriums unterbrochen, der nächste Rigid-Body entfernt und automatisch neu gestartet.

Die Ingenieure testeten verschiedene Varianten aus auftretenden Spannungen, um die Rigid-Bodys ohne Verlust der Rechengenauigkeit auf „verformbar“ umzuschalten. Die Rechenzeit wurde dabei um knapp 19 Prozent verkürzt (vgl. Tabelle). Die schnellste Variante verwendete Tecosim dann für die Simulation eines Gesamtfahrzeuges.

Die Berechnung des Gesamtfahrzeuges führten die Simulations-Spezialisten mit der Abaqus-Version 6.12.3 auf acht CPU (Central Processing Unit) mit zwölf Gigabyte Speicher durch. Das Modell hatte circa 520.000 Knoten und rund 2,8 Millionen Freiheitsgrade. Abschließend stellte Tecosim fest, dass der Rigid-Body-Ansatz auch für größere Modelle eine vielversprechende Rechenzeitreduktion ermöglicht.

Das Modell wurde, wie bei Fahrzeugherstellern üblich, in verschiedene Includes unterteilt und für Front-, Heck- und Seitencrashun-

tersuchungen vorbereitet. Jedes Include war zu Beginn ein separater Rigid-Body, der nach Erreichen des Filterkriteriums entfernt wurde. Dabei zeigten sich Berechnungseinsparungen von bis zu zehn Prozent im Vergleich zu plastisch-elastisch dargestellten Gesamtfahrzeugen. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die Rohkarosserie als ein Include von vorn nach hinten durch das gesamte Fahrzeug reicht und in einem Schritt deformierbar wurde. Mit einer geschickteren Rigid-Body-Aufteilung, unabhängig von den Includes ließen sich Ersparnisse wie im Teilmodell erreichen.

Fazit am Ende des Förderprojekts: Die Berechnungsvariante mit spannungsbasiertem Abbruchfilter scheint am effektivsten. Sie ermöglicht Einsparungen der Rechenzeit eines Teilfahrzeugmodells von circa 20 Prozent sowie eines Gesamtfahrzeuges von etwa zehn Prozent. Damit wurde ein großes Teilziel zur anvisierten Rechenzeitersparnis von 30 bis 40 Prozent erreicht. Durch zusätzliche Verfeinerungen lässt sich weiteres Potenzial erschließen. Dank einer geschickten Rigid-Body-Aufteilung und eines nochmals optimierten Abbruchkriteriums können Rechenzeitersparnisse von circa 25 Prozent bei physikalisch realistischen Ergebnissen erreicht werden.

www.tecosim.com

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.

NAFEMS e-Learning Kurs: Practical Computational Fluid Dynamics				
06.01.	Internet	www.nafems.org/e-learning		NAFEMS
NAFEMS Schulung: Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation				
25.-27.01.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea1		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
Aachener Stahl Kolloquium Umformtechnik				
10.-11.03.	Aachen	www.ask.ibf.rwth-aachen.de		RWTH Aachen
ARS Europe - Int. Applied Reliability Symposium				
04.-07.04.	München, D	www.arsymposium.org/europe/index.htm		ReliaSoft
NAFEMS Schulung: Verification & Validation of Models and Analyses				
05.-06.04.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv1		NAFEMS
Virtuelle Produktentwicklung - Chance oder Notwendigkeit für den Mittelstand ?				
07.04.	Stuttgart, D	www.sicos-bw.de		Sicos
NAFEMS Schulung: Simulation und Analyse von Composites				
12.-13.04.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course1		NAFEMS
Automotive CAE Grand Challenge				
12.-13.04.	Hanau, D	www.carhs.de		Carhs
vi-grade Users Conference				
12.-13.04.	Wiesbaden, D	www.vi-grade.com		vi-grade
Permas-Anwenderkonferenz				
14.-15.04	Stuttgart, D	www.intes.com		Intes
NAFEMS Schulung: Non-Linear Finite Element Analysis				
18.-19.04.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/events/nafems/2016/non-linear-1		NAFEMS
NAFEMS Schulung: CFD Analysis: Theory and Applications				
20.-21.04.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course1		NAFEMS
Ansys Conference & 11. Cadfem Austria Users' Meeting				
21.-22.04.	Linz, A	www.usersmeeting.at		Ansys/Cadfem
Deutschsprachige (DACH) NAFEMS Regionalkonferenz				
25.-27.04.	Bamberg, D	www.nafems.org/dach2016		
				
TTP2016 - Tools and Technologies for Processing Ultra High Strength Materials				
27.-28.04.	Graz, A	www.toolsandforming.com/ttp-2016		Tools & Forming
NAFEMS Schulung: Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation				
09.-11.05.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea2		NAFEMS
NORDIC NAFEMS Regionalkonferenz				
10.-11.05.	Göteborg, S	www.nafems.org/nordic2016		NAFEMS
Graz Symposium Virtual Vehicle (GSVF)				
23.-25. 05.	Graz, A	www.gsvf.at		VIF
Americas NAFEMS Regionalkonferenz				
07.-09.06.	Seattle, USA	www.nafems.org/2016/americas		NAFEMS
France NAFEMS Regionalkonferenz				
08.-09.06.	Paris, F	www.nafems.org/2016/france		NAFEMS
NAFEMS Schulung: Verification & Validation of Models and Analyses				
14.-15.06.	München, D	www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv2		NAFEMS

UK NAFEMS Regionalkonferenz

15.-16.06. Telford, UK www.nafems.org/2016/uk NAFEMS

Ansys Conference & 21. Schweizer Cadfem Users' Meeting

16.06. Winterthur, CH www.usersmeeting.ch Ansys/Cadfem

India NAFEMS Regionalkonferenz

21.-23.07. Bangalore, IND www.nafems.org/2016/india NAFEMS

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/Cadfem

NAFEMS Schulung: Simulation und Analyse von Composites

10.-11.10. Wiesbaden, D www.nafems.org/events/nafeems/2016/comp-course2 NAFEMS

NAFEMS Schulung: Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation

10.-12.10. München, D www.nafems.org/events/nafeems/2016/dach-fea3 NAFEMS

LS-Dyna Forum

10.-12.10. Bamberg, D www.dynamore.de DYNAmore

Europäische Comsol Anwenderkonferenz

12.-14.10. München, D www.comsol.de Comsol

NAFEMS Schulung: Non-Linear Finite Element Analysis

18.-19.10. München, D www.nafems.org/events/nafeems/2016/non-linear-2 NAFEMS

Euroblech Internationale Technologiemesse für Blechbearbeitung

25.-29.10. - Hannover, D www.euroblech.com Mack Brooks

NAFEMS Schulung: CFD Analysis: Theory and Applications

08.-09.11. Wiesbaden, D www.nafems.org/events/nafeems/2016/cfd-course2 NAFEMS

NAFEMS Schulung: Verification & Validation of Models and Analyses

08.-09.11. Wiesbaden, D www.nafems.org/events/nafeems/2016/vandv3 NAFEMS

NAFEMS Schulung: Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation

14.-16.11. Wiesbaden, D www.nafems.org/events/nafeems/2016/dach-fea4 NAFEMS

NAFEMS European Conference: Multiphysics

15.-16.11. Kopenhagen, DK www.nafems.org/mp2016 NAFEMS

Simvec - Simulation und Erprobung in der Fahrzeugentwicklung

22.-23.11. Baden-Baden, D www.simvec.de vdi



Weitere Veranstaltungen: www.nafems.org/events

Virtuelle Prozesskette für die Simulation der Wärmeeinflusszone beim Laserstrahlschneiden kohlenstoffaserverstärkter Kunststoffe

M. Canisius, D. Herzog, M. Schmidt-Lehr, M. Oberlander, S. Broetje, P. Ploog, C. Emmelmann
Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik (iLAS)

F. Albert
Scansonic MI GmbH

Die Serienfertigung von Bauteilen aus kohlenstoffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) beginnt gegenwärtig in der Automobilindustrie. Berühmte Beispiele sind der BMW i3 und i8. Durch die Verschleißfreiheit, Automatisierbarkeit und 3D-Fähigkeit stellt die Remote-Laserbearbeitung ein attraktives Verfahren für die trennende Bearbeitung dar. Jedoch erzeugt der Laserstrahl eine thermische Beschädigungszone (Wärmeeinflusszone) an der Schnittkante. Die Bestimmung dieser Wärmeeinflusszone (WEZ) mittels Simulation ist eine wichtige Voraussetzung, um eine laserbasierte Fertigung zu etablieren. Die Simulation soll dabei für die Vorhersage und Optimierung der WEZ dienen.

Im Rahmen der Untersuchung wird die Fragestellung behandelt, ob mittels numerischer Berechnung erforderliche Streckenenergien, Fugengeometrien und WEZ berechnet werden können, die den experimentell gewonnenen Daten entsprechen. Dazu wird ein Finite Elemente Modell erarbeitet, das die optischen und thermischen Phänomene während der Wechselwirkung zwischen Laserstrahl und Bauteil berücksichtigt. Das Modell beschreibt die Orthotropie des Laminats sowie irreversible und nichtlineare Phänomene wie die Sublimation und die Bildung der WEZ. Zur Validierung der Simulationsergebnisse werden Querschliffe angefertigt und das transiente Temperaturfeld des Bauteils mittels Thermografie an der Oberfläche und faseroptischer Temperaturmessung innerhalb des Laminats vorgenommen.

Die Simulationsergebnisse des Temperaturfelds und der WEZ zeigen eine qualitative Übereinstimmung mit den Experimenten. Der vernachlässigte Strahlungstransport innerhalb des teilweise transparenten Laminats sowie die fehlende Berücksichtigung der strömungsmechanischen Phänomene zwischen dem sublimierten Material und der Schnittkante werden als Grund für die geringe berechnete thermische Beeinflussung des Laminats vermutet.

1 Einleitung

Das gegenwärtig eingesetzte Fräsen von CFK in der Serienfertigung im Automobil führt zu hohen Kosten durch den Werkzeugverschleiß. Die zudem entstehenden Prozesskräfte bei der spanenden Bearbeitung verursachen strukturelle Beschädigungen des Laminats wie Delamination und überstehende Faserenden. Daher besteht ein großer Bedarf nach einem kraft- und verschleißfreien Bearbeitungsverfahren. Mit Dauerstrichlasern mit mittleren Leistungen im multi-kW Bereich können Wärmeeinflusszonen im Bereich von 0,2-0,3 mm und effektive Vorschübe von 10-15 m/min an Laminaten mit Dicken von 2 mm erzielt werden [HER14]. Durch die Automatisierbarkeit und 3D-Fähigkeit stellt das Remote-Laserstrahlschneiden eine geeignete Verfahrensvariante zum Fräsen dar.

Beim Laserstrahlschneiden von CFK mit duroplastischer Matrix werden sowohl das Polymer als auch die Kohlenstofffasern sublimiert, da beide Materialien bei Umgebungsdruck keine flüssige Phase besitzen. Die wesentlich höhere Sublimationstemperatur des Kohlenstoffs im Vergleich zum Matrixmaterial führt in Verbindung mit Wärmeleitung in den Fasern zu einer thermischen Beschädigung des Polymers. Dies führt dazu, dass die Einbettung der Kohlenstofffasern in das Matrixmaterial im Bereich der Schnittkante aufgehoben wird. Entsprechend nehmen die Festigkeit und Steifigkeit des Laminats in diesem Bereich ab. Eine Visualisierung der WEZ kann mittels Querschliffen vorgenommen werden (Abb. 1).

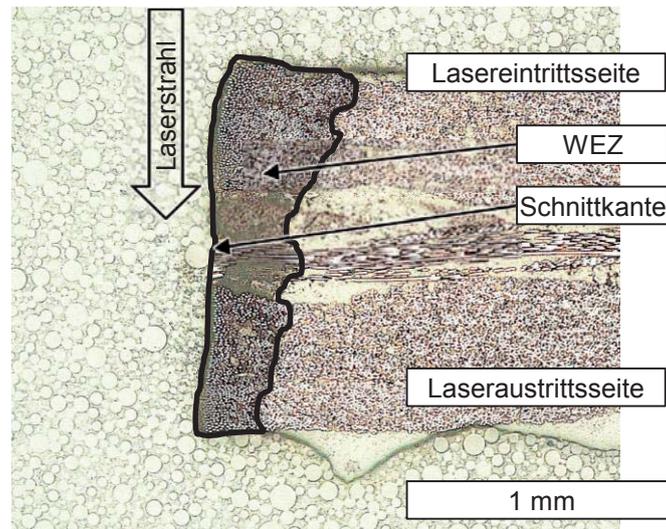


Abb. 1: Querschliff eines laserstrahlgetrennten Laminats

Der Einfluss der WEZ auf die mechanischen Eigenschaften und das Ermüdungsverhalten ist weitestgehend unbekannt. Daher erwarten Lieferanten und Kunden eine minimale thermische Beschädigung. Die große Anzahl signifikanter Prozessparameter wie Laserleistung, Vorschub, Belichtungsanzahl und Fokallage sowie die hohe Varianz (Lagenanzahl, Lagenorientierung, Grammatik der Lagen, Faserart, Matrixart) der in der Anwendung eingesetzten Laminats führen zu einer komplexen und zeitaufwändigen experimentellen Entwicklung beim Einsatz des Laserfahrens. Entsprechend besteht der Bedarf nach der Möglichkeit einer simulativen Prozessentwicklung. Diese Simulation soll zur Visualisierung der stattfindenden Phänomene sowie zur Vorhersage und Optimierung der Prozessparameter und Bearbeitungsergebnisse dienen.

Zahlreiche Forschergruppen untersuchen experimentell [EMM13, FUE13, HER14, KLO11, STO11] und theoretisch [CHE98, LI08, MUC13a, MUC13b, MUC14, NEG10, WEB11] das Laserstrahlschneiden von CFK. Im Modell von Weber et al. [WEB11] wird die eindimensionale, analytische Lösung der Wärmeleitungsgleichung berücksichtigt, um die minimal mögliche thermische Beschädigung des Matrixmaterials vorherzusagen. Das Modell wird von Mucha et al. [MUC14] mithilfe von Thermoelementen kalibriert. Eine gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Experiment kann auf diese Weise erzielt werden. Dreidimensionale numerische Berechnungen wurden von Cheng et al., Li et al. und Negarestani et al. durchgeführt [CHE98, LI08, NEG10]. Mit den Modellen können gute Übereinstimmungen zwischen den Berechnungen und Experimenten bezüglich der Schnittfugegeometrie und der WEZ erzielt werden.

In bestehenden numerischen Simulationen findet der Lagenaufbau keine Berücksichtigung. Zudem wird die Validierung der Berechnung nicht anhand des Temperaturfelds vorgenommen. Die genannten Arbeiten behandeln zudem Laserprozesse mit gepulsten Strahlquellen. Ein numerischer Berechnungsansatz für Remote-Dauerstrichprozesse mit mehrfacher Belichtung der Schnittfuge existiert nicht.

2 Modellierung

Die Abb. 2 zeigt die Struktur des entwickelten Modells gemäß des zeitlichen Ablaufs (zeilenweise) und in Abhängigkeit von den auftretenden physikalischen Phänomenen (spaltenweise). Im Anschluss an den Beginn der Belichtung findet die lokale Temperaturerhöhung statt, abhängig vom Strahlprofil und der Intensität. Mit der Überschreitung der Sublimationstemperatur findet der erste Phasenübergang des Matrixmaterials statt. Der zweite Phasenwechsel erfolgt bei der Überschreitung der Sublimationstemperatur der Kohlenstofffaser. Beide Werkstoffe besitzen keine flüssige Phase. Entsprechend findet die Sublimation des Werkstoffs entlang der Bauteildicke statt. Mit der lokal endenden Belichtung fällt die Temperatur ab und das Laminat kühlt auf Umgebungstemperatur ab.

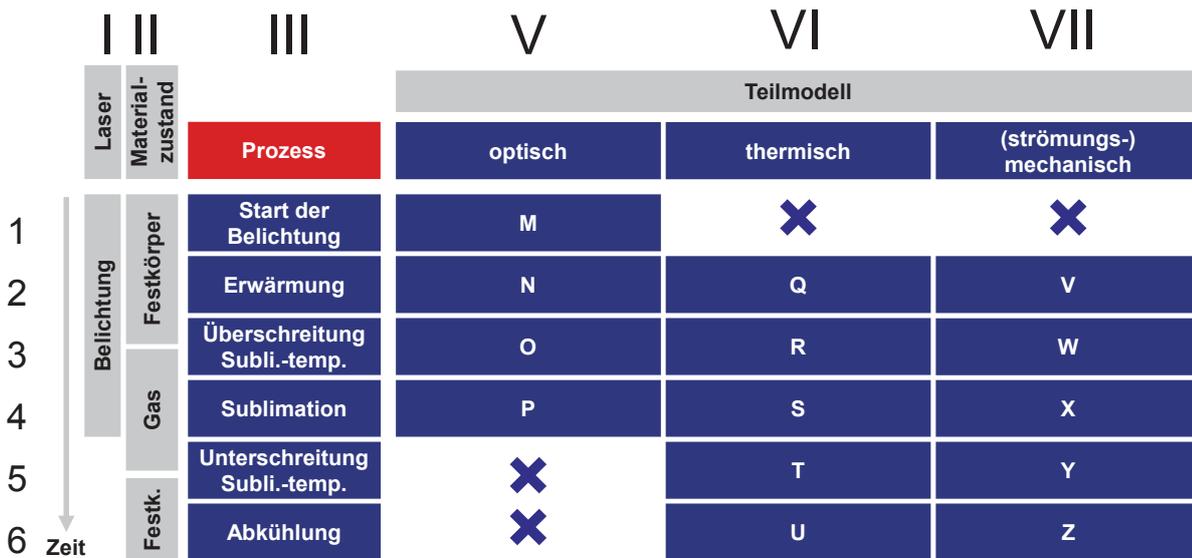


Abb. 2: Modellstruktur

Das im folgenden Verlauf erläuterte Modell berücksichtigt die optischen und thermischen Teilprozesse der Blöcke M-U. Für jeden dieser Blöcke müssen die der Zeit entsprechenden Phänomene und Vorgänge berücksichtigt werden. Die nachfolgende Tabelle fasst die Annahmen, Modellierungsansätze und Vereinfachungen zusammen.

Tab. 1: Modell

Bezeichnung	HTE Model (Wärmeleitungsgleichung)
Gleichungssystem	Wärmeleitungsgleichung mit Phasenwechsel
Dimension	2 dimensional (x, y) / Laserstrahlachse wird als Symmetrieachse verwendet
Intensitätsprofil	gaußförmiges Intensitätsprofil TEM ₀₀
Phasenwechsel	Matrix/Faser → Luft/Faser → Luft (2 Phasenwechsel, geglätteter Übergang für numerische Stabilität)
Irreversibilität	pro Phasenwechsel: $\frac{du_i}{dt} = (T > T_{Sublimation,i})$ $T_{Sublimation,mod,i} = T_{Sublimation,i} - inf \cdot (u_i > 0)$
Strahlungstransport / optische Wechselwirkung	$\lambda_{yy}(air) \rightarrow inf$
erforderliche Materialeigenschaften	$\lambda_y, \lambda_x, c_p, \rho, \epsilon, h_{Sublimation}, T_{Sublimation}$
Laminatdicke	ca. 1,5 mm
Sonstiges	Beeinflussung des Lagenaufbaus durch die Einbettung des faseroptischen Temperatursensors wird berücksichtigt Konvektion und Strahlung an den Oberflächen werden berücksichtigt

gesuchte Ergebnisse	$\left. \begin{array}{l} \text{WEZ}(y,\bar{y}) \\ \text{Schnittfugegeometrie}(x,y) \\ \text{sublimiertes Volumen } V_{\text{Sublimation}} \\ \text{transientes Temperaturfeld } T(t,x,y) \end{array} \right\} = f(P,v,E_a,n)$
---------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Validierung

Thermografie, faseroptische Temperaturmessung ODiSI-B

2.1 Irreversibilität

Während der Belichtung treten irreversible Phänomene wie die Sublimation der Kohlenstofffaser und des Matrixmaterials auf. Eine geeignete und effiziente Möglichkeit zur Modellierung irreversibler Prozess ist die zeitliche Integration von Ungleichungen der Art:

$$\frac{du}{dt} = (T(t) > T_{\text{Sublimation},i}), \quad (2.1)$$

$$\text{mit } u(t) = \frac{du}{dt} = 0 \quad \text{für } t = 0. \quad (2.2)$$

T entspricht dem transienten Temperaturfeld, $T_{\text{Sublimation},i}$ der Sublimationstemperatur des Materials i und t der Zeit. Der Wert der Funktion u wächst mit voranschreitender Zeit, solange die lokale Temperatur oberhalb des Werts der Sublimation liegt. Im Modell werden eine Funktion u_1 für die Sublimationstemperatur des Matrixmaterials und eine weitere Funktion u_2 für die Sublimationstemperatur der Kohlenstofffasern definiert. Die Abfrage der Funktionswerte pro finitem Element kann dann für die Bestimmung der Geometrie der Schnittfuge und der Wärmeeinflusszone verwendet werden, da die Werte bei diesen Elementen größer Null sind.

2.2 Phasenwechsel

Das entwickelte Modell berücksichtigt zwei Phasenwechsel. Während des ersten Phasenwechsels findet die Sublimation des Matrixmaterials bei der Temperatur $T_{\text{Sublimation},m}$ statt. Dabei werden die Stoffwerte des Matrixmaterials auf die von Luft umgeschaltet. Dies erscheint als notwendige und zulässige Vereinfachung, da die Stoffwerte des emittierten Partikelgases unbekannt sind jedoch ohne Prozessgas unter Umgebungsatmosphäre getrennt wird. Beim zweiten Phasenwechsel findet die Sublimation der Kohlenstofffasern bei der Temperatur $T_{\text{Sublimation},f}$ statt. Die thermischen Eigenschaften der betroffenen finiten Elemente werden ebenfalls auf die Werte von Luft umgeschaltet. Für jeden Phasenwechsel muss die Sublimationsenthalpie $h_{v,i}$ zugeführt werden. Mit dem Abschluss der lokalen Belichtung fällt die Temperatur unter die jeweiligen Sublimationswerte. Um dabei eine exotherme Resublimation zu verhindern, wird die jeweilige Sublimationstemperatur in Abhängigkeit von der Funktion u_i angepasst:

$$T_{\text{Sublimation},\text{mod},i} = T_{\text{Sublimation},i} - \inf \cdot (u_i > 0) \quad (2.3)$$

Dieser Zusammenhang verschiebt die betroffene Temperaturgrenze zu einem nicht erreichbaren Wert unterhalb der Umgebungstemperatur. Eine exotherme Resublimation wird auf diese Weise vermieden.

2.3 Strahlungstransport

Zur Berechnung der Ausbreitung der Laserstrahlung innerhalb des Laminats existieren verschiedene Ansätze [BRU10, KHO12, MOD13]. Die weiteste Verbreitung besitzt die Absorption an der Oberfläche des Laminats oder die einfachste Form des Strahlungstransportgesetzes, das Lambert-Beer Gesetz. Die numerische Lösung des Strahlungstransportgesetzes erfordert – auch in vereinfachter Form – eine feine Diskretisierung, welche bei Modellen makroskopischer Abmessungen zu sehr großen Berechnungszeiten führt. Im Rahmen der Untersuchung wird daher angenommen:

- Die Absorption der Laserstrahlung findet stets an der ebenen Laminatoberfläche statt,
- mit der Sublimation eines finiten Elements wird dessen Wärmeleitfähigkeit in y -Richtung auf einen sehr hohen Wert umgeschaltet,
- die Wärmeleitfähigkeit in x -Richtung dieses Elements wird innerhalb der Wärmeeinflusszone auf den Wert der Werkstoffpaarung Luft/Kohlenstofffaser und innerhalb der Schnittfuge auf den Wert von Luft umgeschaltet.

2.4 Geometrie

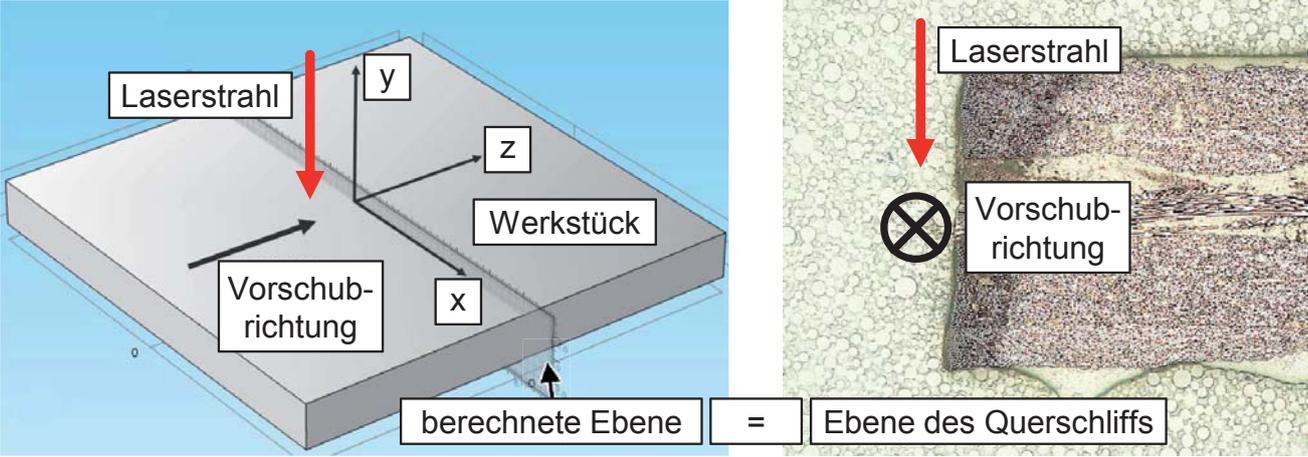


Abb. 3: Berechnete Ebene und Koordinatensystem

Die Berechnung erfolgt in der x-y-Ebene und entspricht der Ebene, in der die Querschliffe vorgenommen werden (Abb. 3). Mithilfe der Querschliffe können anschließend die Ausdehnung der Wärmeeinflusszone und die Geometrie der Schnittfuge validiert werden. Der Vorschub des Laserstrahls erfolgt in Richtung der z-Achse.

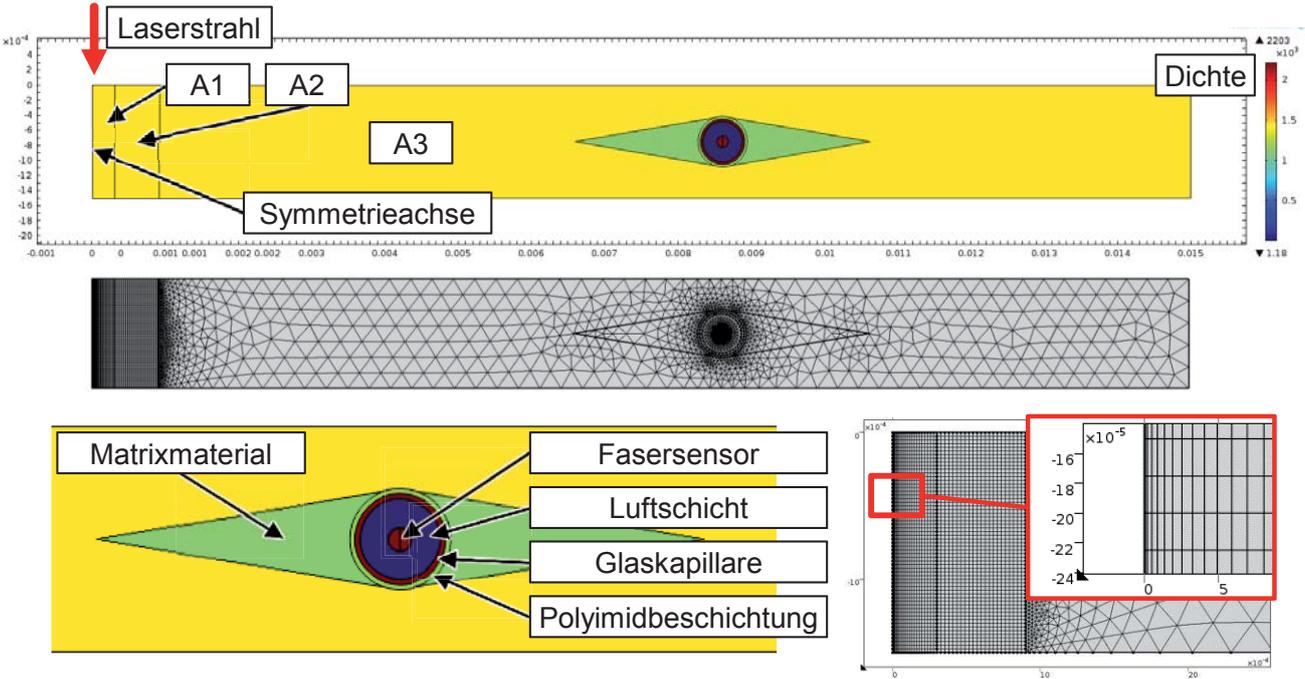


Abb. 4: Berechnete Struktur, Geometrie und Diskretisierung

Die Abb. 4 zeigt die berechnete Ebene und die gewählten Teilbereiche A1 bis A3. In diese wird die Gesamtgeometrie aufgeteilt, um ortsabhängig relevante Randbedingungen und Diskretisierungen vornehmen zu können. Im Bereich A1 findet die unmittelbare Wechselwirkung zwischen Laserstrahl und Laminat statt. In dem Bereich treten die zwei oben beschriebenen Phasenwechsel sowie das Umschalten der thermischen Materialeigenschaften auf. Den hohen Temperaturgradienten entsprechend findet hier die feinste Vernetzung der Geometrie statt. Der Übergang zwischen der Wärmeeinflusszone und dem unbeschädigten Bereich liegt innerhalb des Bereichs A2. Im Bereich A3 findet die Berechnung des transienten Temperaturfelds statt, welches zur Validierung berechnet wird.

Da der Prozess symmetrisch zur y-z-Ebene ist, wird lediglich eine Symmetriehälfte berechnet, um den Berechnungsaufwand zu reduzieren. An den übrigen Oberflächen findet Wärmeübertragung durch freie Konvektion sowie Strahlung mit einer Umgebungstemperatur von 20 °C statt.

Zur Validierung mit dem faseroptischen Temperatursensor wird dessen Geometrie im FE-Modell berücksichtigt. Die Integration des Sensors in das Laminat ändert dessen Geometrie und thermischen Eigenschaften. Die Änderungen werden innerhalb des Modells weitgehend berücksichtigt. Entsprechend erfolgt die Integration der zusätzlich entstehenden Bereiche aus Matrixmaterial sowie der Glaskapillare, der Luftschicht, der Polyimidbeschichtung und der Glasfaser. Die im Querschnitt des Laminats identifizierbare Erhöhung der Dicke (Abbildung 5) wird im FE-Modell nicht berücksichtigt. Die Dicke des Laminats wird im Modell auf 1,5 mm eingestellt.

2.5 Materialeigenschaften

Die Tab. 2 listet die verwendeten Stoffwerte, die mithilfe eigener Messungen bestimmt oder der Literatur entnommen wurden.

Tab. 2: Stoffwerte

Wert	Bezeichnung [Einheit]	Material				
		Epoxidharz	Kohlenstofffaser	Laminat		
Winkel zur Faserrichtung	Θ [°]	-	0	90	0	90
Wärmeleitfähigkeit	λ [W/(m·K)]	0,52 ^a	16,67 ^b	5 ^c	7,50 ^b	1,29 ⁱ
Dichte	ρ [kg/m ³]	1.117 ^b	1.850 ^c		1.436,1 ⁿ	
spez. Wärmekapazität	c_p [J/(kg·K)]	1.200 ^c	710 ^c		921,68 ⁿ	
Sublimationstemperatur	$T_{\text{Sublimation}}$ [K]	593 ^b	4.098 ^k		-	
Sublimationsenthalpie	Δh_v [MJ/kg]	1 ^c	43 ^c		-	
Emissionsgrad	ϵ [-]	0,925 ^b	0,779 ^b		0,888 ^b	
Optische Eindringtiefe	1/a [µm]	4.000 ^f	0,121 ^c		10 ^b	
Faservolumengehalt	φ [m ³ /m ³ _{CFK}]	-	-		0,432 ^b	
^a : [UHL99]	^f : [STR03]	ⁱ : [CHA83]				
^b : eigene Messung	^g : [NN13]	^k : [MUC14]				
^c : [WEB11]	^h : [SPR67]	ⁿ : [BAI13]				

3 Validierung

Wie im Rahmen der Modellierung bereits beschrieben, findet die Validierung des berechneten Temperaturfelds mittels Thermografie an der Laminatoberfläche der Lasereintrittsseite und faseroptischer Temperaturmessung innerhalb des Laminats statt (Abb. 5). Der Fasersensor besteht aus einer Single-Mode Glasfaser mit einem Manteldurchmesser von 125 µm. An einem Ende dieser Glasfaser findet die Einkopplung des Messlaserstrahls statt. Dieser wird am gegenüberliegenden Ende mit einer Terminierung absorbiert. Diese Terminierung hat einen Außendurchmesser von 400 µm. Entsprechend der thermischen Dehnung der Glasfaser kann auf deren Temperatur geschlossen werden. Dabei muss die Dehnung der Glasfaser ungehindert stattfinden können. Daher ist das direkte Einlegen der Glasfaser zwischen die Kohlenstofffaserlagen nicht zulässig, sondern zuvor das Einbringen einer Glaskapillare nötig. Die verwendete Kapillare besitzt einen Innendurchmesser von 600 µm und ermöglicht die Durchführung der Terminierung sowie die freie Dehnung des Fasersensors. Die Messung mittels Fasersensor besitzt die Vorteile einer hohen örtlichen Auflösung von 1 mm sowie zeitlichen Auflösung von 10 ms. Im Vergleich zu 0-dimensionalen Temperatursensoren können wesentlich mehr Daten des Temperaturfelds erfasst und Abweichungen der Lamineigenschaften gemessen werden [MUC13b]. Zudem ist der Einfluss auf die Geometrie des Laminats durch den geringen Durchmesser der Kapillare vergleichsweise gering.

Im Rahmen des Experiments wird der Abstand d zwischen der Schnittfuge und dem Fasersensor durch die Positionierung des Laserstrahls eingestellt (Abb. 5).

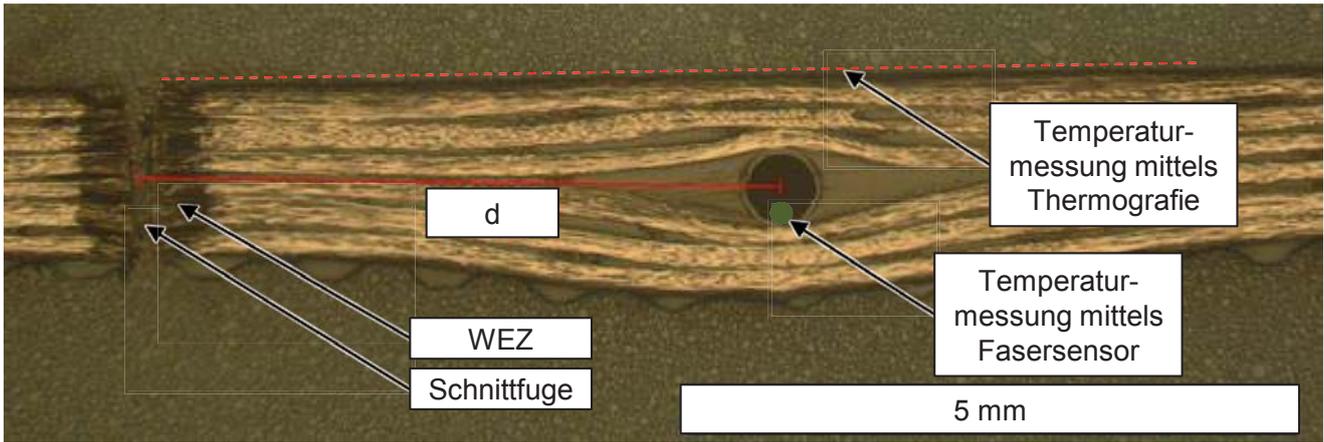


Abb. 5: Messbereiche und Anordnung zur Validierung des Temperaturfelds

Die Thermografie wird als zweites Verfahren zur Messung des transienten Temperaturfelds eingesetzt. Die Messung erfolgt an der Oberfläche des Laminats (Abb. 5). Das Kamerasystem wurde zur Versuchsvorbereitung auf das Probenmaterial kalibriert, um eine quantitative Bestimmung der Temperatur vornehmen zu können. Diese Kalibrierung wurde mithilfe eines temperaturgeregelten Ofens und einem Thermoelement durchgeführt. Zur Referenzierung wurde zudem ein schwarzer Strahler vermessen. Der Versuchsaufbau ermöglicht die Bestimmung der Emissionsgrade des Laminats sowie dessen Bestandteile und die Messung des Temperaturfelds während und nach der Belichtung mit dem Laserstrahl. Mit einem Arbeitsabstand zwischen Kamera und Laminat von 500 mm, einem Messwinkel gegenüber der Laminatoberfläche von 45 ° wurde eine räumliche Auflösung von 0,3 mm in x-Richtung und eine zeitliche Auflösung von 2,5 ms erreicht.

4 Ergebnisse und Diskussion

Die Abbildung 6 zeigt die gemessenen und simulierten Temperaturverläufe mit einem Abstand zwischen der Schnittfuge und dem Fasersensor von $d = 8,61$ mm.

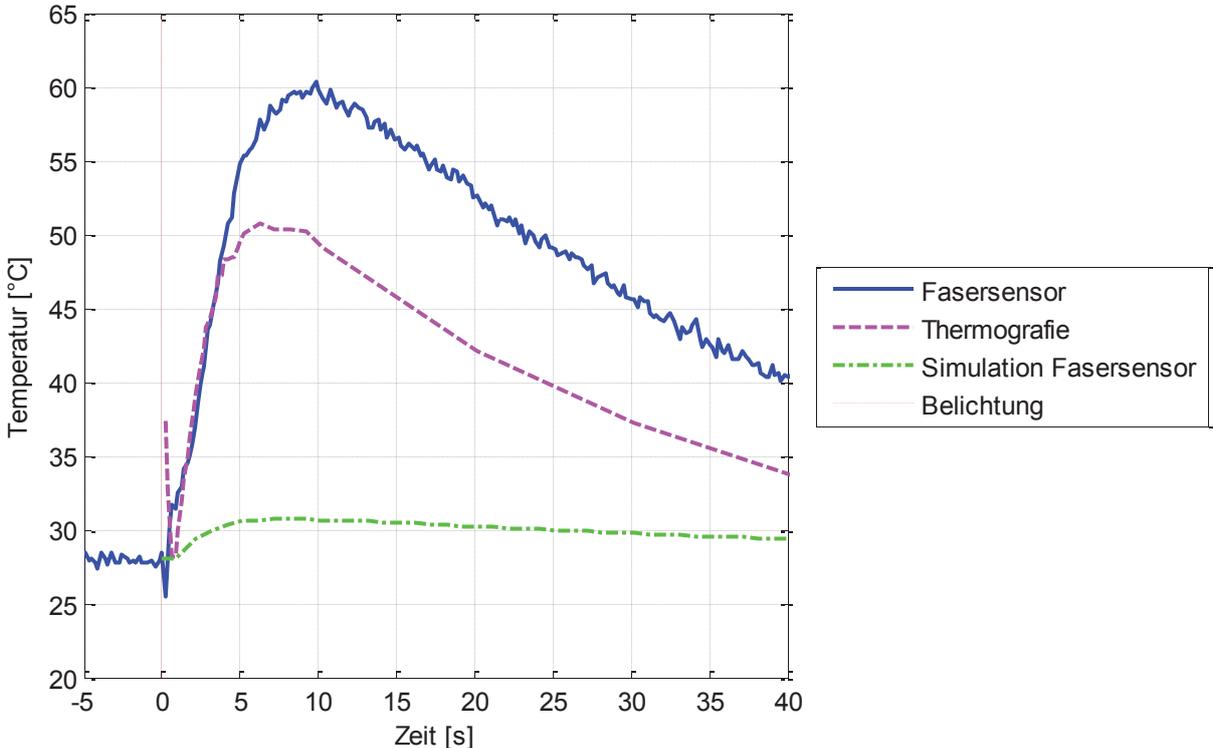


Abb. 6: Temperaturverlauf der Simulation und der Validierungsmessungen, $d = 8,61$ mm

Der Schneidversuch wurde mit einer Laserleistung von 6 kW, einem Vorschub von 0,26 m/s und einer einzigen Belichtung der Kontur durchgeführt. Die Vorschubrichtung ist senkrecht zu den Kohlenstofffasern des unidirektionalen Laminats, welches aus sechs Lagen Kohlenstofffasergelege mit Epoxidharzmatrix besteht.

Mithilfe des Fasersensors wird eine Maximaltemperatur von 60,4 °C bei einer Zeit von $t = 9,8$ s nach der Belichtung bei $t = 0$ gemessen. Mittels Thermografie werden hingegen 51 °C bei $t = 6,2$ s gemessen. Diese Abweichung ist einerseits durch die oberflächlichen Wärmeverluste durch Strahlung und Konvektion zu begründen, welche dazu führen, dass geringere Temperaturen an den Laminatoberflächen auftreten. Die zeitliche Abweichung liegt voraussichtlich in der thermischen Trägheit der Luftschicht innerhalb der Glaskapillare begründet (Abb. 4 und 5). Die nicht kalibrierte Simulation des Fasersensors zeigt eine Maximaltemperatur von 31 °C bei einer Zeit von $t = 8,1$ s. Entsprechend liegt lediglich eine qualitative Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment vor.

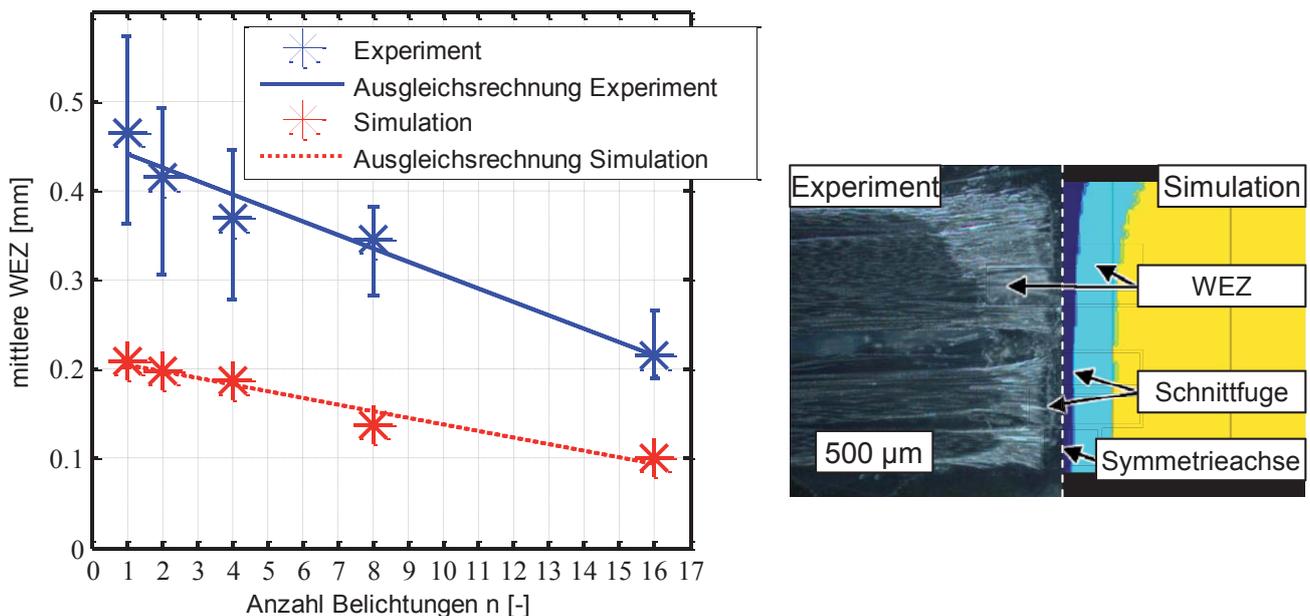


Abb. 7: Mittlere Wärmeeinflusszone als Funktion der Belichtungsanzahl (links), grafischer Vergleich für (rechts), $n = 1$, $P = 6$ kW, $v = 0,26$ m/s

Die Abbildung 7 zeigt den berechneten und mittels Querschliffen gemessenen Verlauf der mittleren Wärmeeinflusszone als Funktion der Belichtungsanzahl. Die Tab. 3 zeigt die gewählten Belichtungsparameter.

Tab. 3: Prozessparameter für Simulation und Experiment

Nr.	Vorschub v [m/s]	Laserleistung P [W]	Belichtungsanzahl n [-]
1	0,26	6.000	1
2	0,6	6.000	2
3	1,4	6.000	4
4	3,5	6.000	8
5	9,0	6.000	16

Mit zunehmender Belichtungsanzahl zeigt das Experiment eine abnehmende mittlere Wärmeeinflusszone. Die mittlere WEZ wird in diesem Zusammenhang als Quotient aus der Fläche der WEZ und der Laminatdicke errechnet (Abb. 1). Der Verlauf der simulierten Werte der WEZ zeigt eine qualitative Übereinstimmung mit dem der experimentellen Daten. Jedoch besitzen die berechneten Werte lediglich etwa den halben Betrag. Die Abb. 7 zeigt die ohne Kalibration des Modells gewonnenen Simulationsdaten.

Sowohl das berechnete Temperaturfeld, als auch die berechneten WEZ weisen auf eine zu geringe Energieeinbringung hin. Der Grund dafür wird in der gewählten Vereinfachung zur Modellierung des Strahlungstransports innerhalb des Laminats sowie in der nicht modellierten Wärmeübertragung von sublimiertem Laminat auf die Schnittkante durch erzwungene Konvektion vermutet. Wie oben beschrieben wird zur Modellierung des Strahlungstransports das Umschalten der Wärmeleitfähigkeit vorgenommen, sobald das jeweilige finite Element sublimiert wurde. Die Wärmeleitfähigkeit λ_x wird in diesem Fall auf den Wert von Luft herabgesetzt. Die geringe Wärmeleitfähigkeit von Luft führt jedoch zu einem sehr geringen Wärmetransport zwischen dem sublimierten Material in der Schnittfuge und der Schnittkante. Darüber hinaus werden die aus der Sublimation resultierenden hohen Strömungsgeschwindigkeiten und der damit verbundene hohe Wärmeübergangskoeffizient zwischen der gasförmigen Emission und der Schnittkante nicht berücksichtigt. Mucha et al. konnten zeigen, dass das sublimierte Material mit Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 300 m/s aus der Schnittfuge austritt [MUC13a]. Derart hohe Geschwindigkeiten führen zu großen Wärmeübergangskoeffizienten, die im Rahmen der Simulation berücksichtigt werden sollten.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Untersuchung wurde ein zweidimensionales, transientes Finite Elemente Modell zur numerischen Berechnung des Remote-Laserstrahlenschneidens von CFK mit einem Dauerstrichlaser und einer Leistung von 6 kW entwickelt. Zwei Phasenwechsel – sowohl von der Epoxidharzmatrix, als auch von den Kohlenstofffasern – wurden dabei berücksichtigt. Irreversible Prozesse, wie die Sublimation von Material, wurden betrachtet. Die Vereinfachungen zur Beschreibung des Strahlungstransports innerhalb des Materials sowie die Vernachlässigung der erzwungenen Konvektion zwischen den ausströmenden Emissionen und der Schnittkante führen zu einer geringen simulierten Energieeinbringung in das Material im Vergleich zum Experiment. Die Validierung der simulierten Größen erfolgte mittels Thermografie, faseroptischer Temperaturmessung sowie anhand von Querschliffen. Notwendige Erweiterungen des Modells sind bezüglich des Strahlungstransports sowie strömungsmechanischer Phänomene erforderlich. Zudem muss die Berechnungszeit grundsätzlich reduziert werden.

Die Simulationsumgebung kann für die qualitative Abschätzung des Temperaturfelds, der Fugengeometrie sowie der Wärmeeinflusszone genutzt werden. Die Kalibrierung des Modells auf Grundlage der gewonnenen Daten ermöglicht zudem die quantitative Berechnung der Größen. Die Variation des Lagenaufbaus und der jeweiligen Faserorientierung kann mit geringem Aufwand integriert werden. Die Kombination der Simulation mit einem entsprechenden Algorithmus ermöglicht die numerische Optimierung beliebiger Prozessgrößen wie beispielsweise der Ausdehnung der Wärmeeinflusszone.

6 Literatur

- [BRU10] BRUNN, O., 2010. Modellierung des dreidimensionalen Strahlungswärmeaustauschs in Verbrennungsräumen mittels Monte-Carlo-Methode. Dissertation. Karlsruhe: KIT Scientific Publ. ISBN 978-3-86644-514-7.
- [CHE98] C. F. CHENG, Y. C. TSUI and T. W. CLYNE: Application of a three-dimensional heat flow model to treat laser drilling of carbon fibre composites. Acta mater. Vol. 46, No. 12, pp. 4273-4285, Great Britain, 1998
- [KHO12] Khourchafi, A.; Alami, M. El; Najam, M.; Belhaq, M.: A 2D improvement of radiative heat transfer with the P1 approximation and a statistical narrow band model. FDMP, vol. 8, no. 3, pp. 3223-338, 2012.
- [MOD13] Modest, M. F.: Radiative Heat transfer. Acad. Press, New York, 2013. ISBN: 9780123869449
- [BAI13] Y. BAI, T. KELLER, 2013. High temperature performance of polymer composites. Weinheim: Wiley-VCH. ISBN 9783527327935.
- [CHA83] C.C. CHAMIS, 1983: Simplified Composite Micromechanics Simplified composite micromechanics equations for hygral, thermal and mechanical properties. Presented at the 38th Ann. Conf. of the Society of the Plastics Industry (SPI) Reinforced Plastics/Composites Inst., Houston, Tex., 7-11 Feb. 1983. NASA LEWIS RESEARCH CENTER, CLEVELAND, OH, UNITED STATES, Hg.
- [EMM13] Emmelmann, C.; Herzog, D.; Laser-Remote-Schneiden – Großserienfähiges Trennverfahren für Faserverbundkunststoffe. Vortrag 19. Nationales Symposium, SAMPE Deutschland e.V., Hamburg, 27.02.2013

- [FUE13] Fürst, A.; Klotzbach, A.; Hühne, S.; Hauptmann, J.; Beyer, E.: Remote Laser Processing of Composite Materials with Different Opto-Thermic Properties. *Physics Procedia*, Volume 41, 2013, Pages 389-398
- [HER14] Herzog, D.; Canisius, M.; Schmidt-Lehr, M.; Rörig, B.; Schlude, N.; Hammer, T.; Emmelmann, C.: Großserientauglicher Trennprozess – Endkonturzuschnitt an CFK-Bauteilen durch Laser-Remote-Bearbeitung. In: *Kunststoffe* (2014) 6, S. 46-49
- [KLO11] Klotzbach, A.; Hauser, M.; Beyer, E.: Laser cutting of carbon fiber reinforced polymers using highly brilliant laser beam sources. *Physics Procedia*, Vol. 12, Issue PART 1, 2011, Pages 572-577
- [LI08] LI, Z.L., H.Y. ZHENG, G.C. LIM, L. LI, MARIMUTHU, S., NEGARESTANI, R. und M.A. SHEIKH, 2008. Process Development of Laser Machining of Carbon Fibre Reinforced Plastic Composites. *INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLICATIONS OF LASERS & ELECTRO-OPTICS*, Hg.
- [MUC13a] P. MUCHA, N. SPEKER, R. WEBER, T. GRAF, 2013. Momentum and velocity of the ablated material in laser machining of carbon fiber preforms [online]. *Applied Physics*, 113, p. 361-366. DOI 10.1007/s00339-013-7629-z
- [MUC13b] P. MUCHA, 2013. Laserbearbeitung von CFK – Temperaturmessung im Bauteil. Handout zum Workshop Laserbearbeitung von Faserverbundkunststoffen, 20. Nov. 2013. Nürnberg.
- [MUC14] P. MUCHA, R. WEBER, N. SPEKER, P. BERGER, B. SOMMER und T. GRAF, 2014. Calibrated Heat Flow Model for Determining the Heat Conduction Losses in Laser Cutting of CFRP [online]. *Physics Procedia*, 56, 1208-1217. ISSN 18753892. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.phpro.2014.08.036
- [NEG10] NEGARESTANI, R., M. SUNDAR, M.A. SHEIKH, P. MATIVENGA, L. LI, Z.L. LI, P.L. CHU, C.C. KHIN, H.Y. ZHENG und G.C. LIM, 2010. Numerical simulation of laser machining of carbon-fibre-reinforced composites [online]. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 224(7), 1017-1027. ISSN 0954-4054. Verfügbar unter: doi:10.1243/09544054JEM1662
- [NN13] N. N.: Faserverbund-Werkstoffdaten. Eine Sammlung der wichtigsten Werkstoffdaten für den Anwender von Faserverbund-Materialien sowie allgemeine Daten und Tabellen. *SUTER KUNSTSTOFFE AG*, Hg., 23. Aug. 2013.
- [SPR67] G.S. SPRINGER, S.W. TSAI, 1967. Thermal Conductivities of Unidirectional Materials [online]. *Journal of Composite Materials*, 1(2), 166-173. ISSN 0021-9983. Verfügbar unter: doi:10.1177/002199836700100206
- [STO12] Stock, J.; , Zaeh, M. F.; Conrad, M.: Remote Laser Cutting of CFRP: Improvements in the Cut Surface, *Physics Procedia*, Volume 39, 2012, Pages 161–170
- [STR03] T. STRATOUDAKI, C. EDWARDS, S. DIXON, S.B. PALMER, 2003: Optical Absorption of Epoxy Resin and its Role in the Laser Ultrasonic Generation Mechanism in Composite Materials. Review of progress in quantitative nondestructive evaluation. Bellingham, Washington, 14-19 July 2002. In: D.E. CHIMENTI und D.O. THOMPSON, Hg. Melville, N.Y.: American Institute of Physics, S. 965-972. ISBN 9780735401174.
- [UHL99] E. UHLMANN, G. SPUR, H. HOCHENG, S. LIEBELT, C.T. PAN, 1999. The extent of laser-induced thermal damage of UD and crossply composite laminates [online]. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 39(4), 1999, 639-650. ISSN 08906955. Verfügbar unter: doi:10.1016/S0890-6955(98)00045-53
- [WEB11] R. WEBER, M. HAFNER, A. MICHALOWSKI, T. GRAF, 2011. Minimum Damage in CFRP Laser Processing [online]. *Physics Procedia*, 12, 302-307. ISSN 18753892. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.phpro.2011.03.137

Danksagung

Teile dieser Arbeit wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des Projekts „SimuDrill“ mit dem Förderkennzeichen KF2010716AT3 finanziert. Die Autoren danken dem BMWi sowie dem Projektträger AiF Projekt GmbH für diese Unterstützung. Die Autoren danken zudem der Scansonic MI GmbH für die Unterstützung.

Detektion zielführender Konstruktionsparameter mittels neuronaler Netze in der frühzeitigen Produktentwicklung von Fahrzeugkarosseriebauteilen

Michael Horwath, Horst Idelberger, Jana Schmidt
Institut für Konstruktion, Universität Siegen

Julian Belz, Oliver Nelles
Institut für Mechanik und Regelungstechnik - Mechatronik, Universität Siegen

Die Optimierung des Produktentwicklungsprozesses ist eine stets aktuelle Thematik der Automobilindustrie und bedarf ständiger Fokussierung. Dabei liegt ein Schwerpunkt beim Entscheidungsfindungsprozess in der frühzeitigen Produktentwicklung. Die sich darbietende Problematik liegt in der schnellen und gleichzeitig qualifizierten Bewertung einer Vielzahl von Konstruktionsentwürfen. Am Beispiel der B-Säule für ein Kraftfahrzeug wird gezeigt, wie eine solche Bewertung zur Potenzialermittlung einzelner Konstruktionsentwürfe erfolgt.

Durch die Erhöhung der Problemkomplexität in der frühzeitigen Produktentwicklung steigt auch die Variantenvielfalt der Konstruktionsentwürfe, wodurch Methoden zur systematischen Komplexitätsbeherrschung benötigt werden. Künstliche neuronale Netzwerke helfen die Problemkomplexität zu reduzieren, ohne dabei die Aussagekraft von zeitintensiven numerischen Simulationen zu verlieren. Durch die somit geschaffene Datenbasis kann die Vielfalt der Konstruktionsentwürfe analysiert und ausgewertet werden. Die sich dabei ausprägende Pareto-Front ermöglicht es einzelne Konstruktionsentwürfe mit hohem Nutzwert zu identifizieren und den Einfluss einzelner Konstruktionsparameter auf die Eigenschaften der Konstruktionsentwürfe zu separieren und mittels Partial Dependence Visualisierungen darzustellen.

Diese abstrahierte Betrachtung der Problematik ermöglicht ein grundsätzliches Verständnis bei einer multikriteriellen Optimierung durch die Veranschaulichung der Kausalitäten zwischen Konstruktionsparametern und Konstruktionseigenschaften und ermöglicht somit eine bewusste Steuerung des Optimierungsprozesses.

1 Einleitung

Ein Anspruch an die Automobilindustrie und deren moderner Produktentwicklungsprozesse von Fahrzeugkarosserien ist die Flexibilität zur schnellen Anpassung an den sich stetig ändernden Randbedingungen und Anforderungen zur Herstellung. Daher ist es notwendig die Reaktionszeit zur Anpassung des Produktentwicklungsprozesses soweit wie möglich zu reduzieren. Konträr zu diesem Ziel steht die steigende Komplexität, welche im Produktentwicklungsprozess beachtet werden muss. Es wird versucht mit den Konstruktionsentwürfen alle relevanten Konstruktionseigenschaften und deren Interaktionen untereinander zu berücksichtigen. Durch die verschiedenen Methoden der virtuellen Simulation besteht die Möglichkeit verschiedenste Konstruktionseigenschaften frühzeitig zu bestimmen, doch ebenso erhöht diese im Gegenzug die Verantwortung der Produktentwicklung schon in frühen Phasen hochoptimierte Konstruktionsentwürfe bereit zu stellen. Abb. 1.1 zeigt den schematischen Ablauf zur Detektion dieser zielführenden Konstruktionsparameter.

Zur Veranschaulichung der Problematik wird der Arbeitsablauf zur Detektion zielführender Konstruktionsparameter am Beispiel der B-Säule einer Fahrzeugkarosserie durchgeführt. Diese besitzt einerseits einen großen Einfluss am Strukturverhalten einer Fahrzeugkarosserie und besteht andererseits aus einfach zu beschreibenden Profilstrukturen. Die Anforderungen an ein Fahrzeugkarosseriebauteil sind zweifelsohne sehr vielfältig, doch zunächst müssen die Zielvorgaben dreier Hauptanforderungen erfüllt werden: Funktion, Masse und Kosten. Um die drei Hauptanforderungen während dem Konstruktionsprozess in geeigneter Form zu berücksichtigen werden Konstruktionshinweise benötigt, welche den Konstrukteur in seinem Entscheidungsprozess fundiert unterstützen.

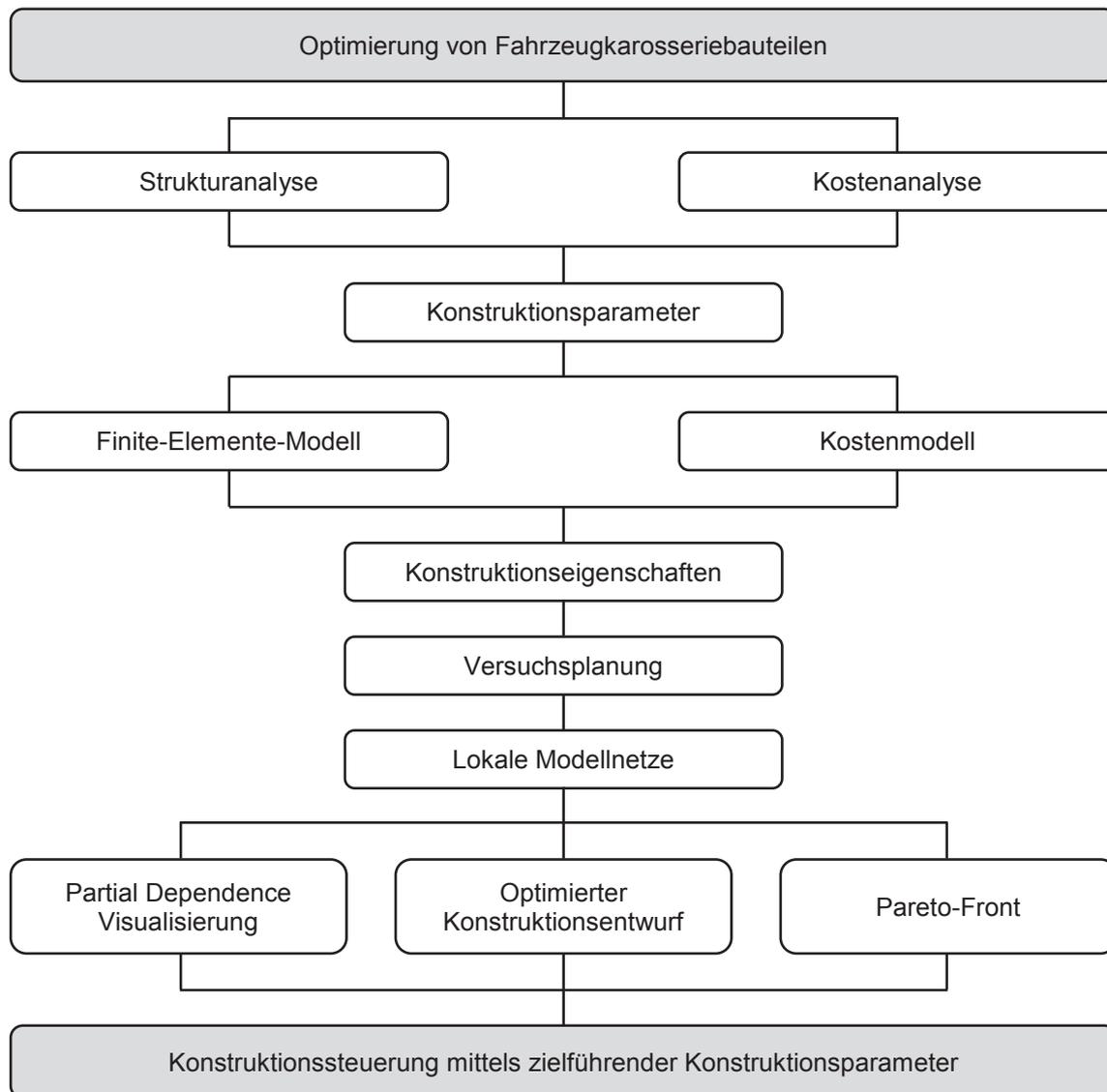


Abb. 1.1: Detektion zielführender Konstruktionsparameter

Zur Ermittlung der dabei notwendigen Konstruktionseigenschaften dienen verschiedenartige Simulationen, so z.B. anhand eines Finite-Elemente-Modells (FE-Modell) zur Beschreibung des Strukturverhaltens und eines Kostenmodells zur Beschreibung des Kostenverhaltens. Bei der Analyse komplexer und undurchsichtiger Zusammenhänge ist es dabei sinnvoll auf sogenannte Metamodelle wie künstliche neuronale Netze (KNN) zurückzugreifen. Diese Vorgehensweise führt zu einem grundsätzlichen Verständnis der Konstruktionseigenschaften betreffend der Abhängigkeit zwischen den beeinflussbaren Konstruktionsparametern und den zu optimierenden Konstruktionseigenschaften.

2 Analyse von Konstruktionsentwürfen unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten

Ein Fahrzeugkarosseriebauteil besitzt eine Vielzahl an Bereichen, welche unterschiedliche und z.T. sogar konträre Anforderungen erheben und die es dann zu erfüllen gilt, so z.B. Anforderungen bzgl. der Sicherheit, Technologie und Wirtschaftlichkeit. Um als Konstrukteur die entwickelten Konstruktionsentwürfe im geeigneten Maße differenzieren zu können, nutzt man Kennzahlensysteme, welche in der Lage sind einzelne Konstruktionseigenschaften zu erfassen und zu bewerten. Dabei sind insbesondere zwei Arten von Kennzahlen zu unterscheiden, Kennzahlen zur Erfassung der technischen Wertigkeit und Kennzahlen zur Erfassung der wirtschaftlichen Wertigkeit. Die charakteristische Ausprägung dieser Kennzahlen hängt dabei entscheidend von den an die Fahr-

zeugkarosserie gestellten Anforderungen und den Randbedingungen, unter denen die Fahrzeugkarosserie konstruiert und gefertigt wird, ab [6].

2.1 Ermittlung der technischen Wertigkeit mittels einer Strukturanalyse

Am Beispiel der B-Säule einer Fahrzeugkarosserie soll analysiert werden, wie die Konstruktionsparameter für eine zielführende Konstruktion verändert werden müssen. Diese Struktur einer B-Säule muss sich dabei einer Vielzahl von mechanischen Belastungsfällen stellen, um das vorgegebene Lastenheft zu erfüllen. Dabei bildet ein standardisierter Lastfall des European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) zur Simulation eines Seitenaufpralles von Kraftfahrzeugen eine Grundlage für die technische Bewertung [2]. Im Lastfall eines Seitenaufpralles werden zur Beurteilung der technischen Wertigkeit der B-Säule einer Fahrzeugkarosserie folgende Konstruktionseigenschaften herangezogen: Energieaufnahme W_E , Masse m und Bauraum A der Konstruktion.

Die Kennzahl Leichtbaugüte L_E kombiniert diese Konstruktionseigenschaften zu einer technischen Wertigkeit, um die Vor- sowie Nachteile eines Konstruktionsentwurfes durch einen skalaren Wert zu beschreiben:

$$L_E = \frac{m}{W_E \cdot A} \quad (2.1)$$

Zur Ermittlung dieser Konstruktionseigenschaften, bedient man sich eines FE-Modells. Hiermit kann das Strukturverhalten von Konstruktionsentwürfen analysiert und die Kennzahlen zur technischen Wertigkeit ermittelt werden. Anhand des Abstraktionsgrades ist man in der Lage den zeitlichen Aufwand für eine solche Strukturanalyse zu beeinflussen. Für die Strukturanalyse der B-Säule einer Fahrzeugkarosserie wird ein FE-Modell gemäß Abb. 2.1 erstellt.

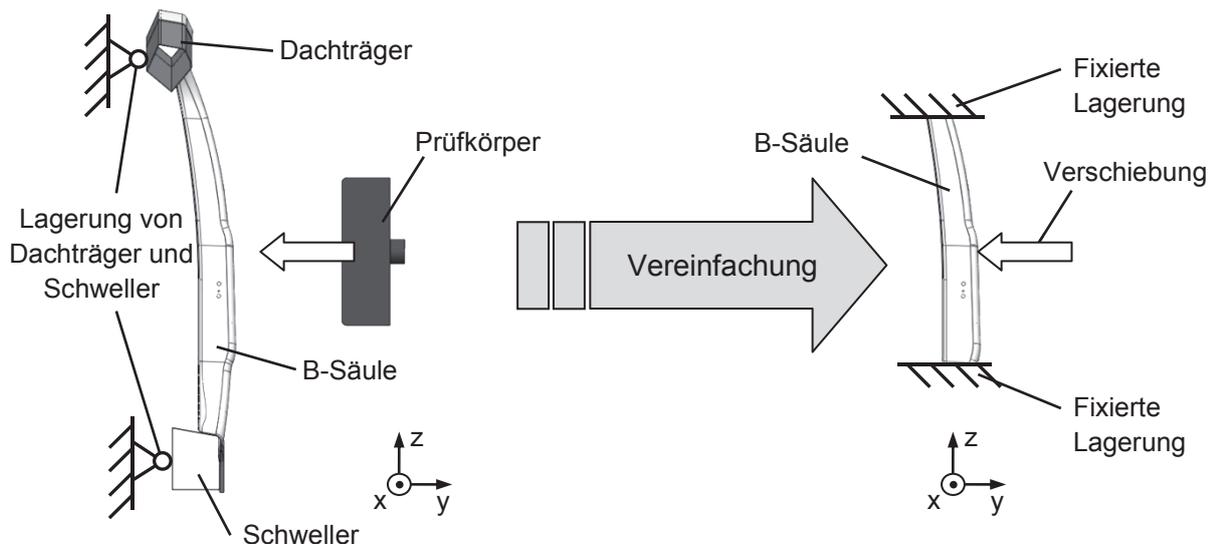
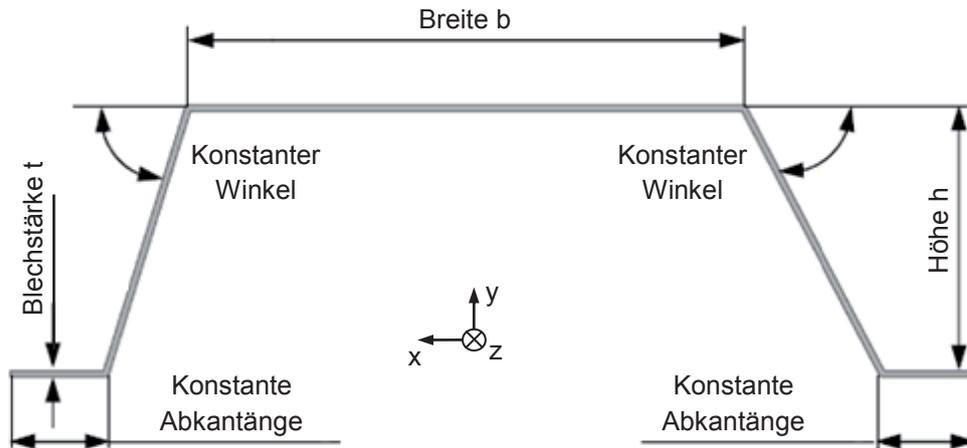


Abb. 2.1: Vereinfachung des FE-Modells zur Ermittlung der technischen Wertigkeit

Im nächsten Schritt erfolgt eine Vereinfachung des Profilquerschnittes der B-Säule, zur Reduzierung der Freiheitsgrade bzgl. der geometrischen Variation. Hierzu wird sich, wie in Abb. 2.2 gezeigt, auf die Konstruktionsparameter Breite b , Höhe h und Blechstärke t mit realisierbaren Parametergrenzen beschränkt. Bezüglich der Frage nach dem geeigneten Werkstoff für die Konstruktion, wird dieser Aspekt bei der Analyse mit dem Elastizitätsmodul E verknüpft. Zusätzlich zu den geometrischen Konstruktionsparametern wird der Elastizitätsmodul E als weiterer Konstruktionsparameter variiert. Hierbei wird der Einfluss des Elastizitätsmoduls durch exemplarische Werte für einzelne Werkstoffgruppen analysiert. Aus diesem Grund wird der Elastizitätsmodul zwischen $E = 48 \text{ kN/mm}^2$, vergleichbar mit der Werkstoffgruppe Magnesium, und dem Elastizitätsmodul $E = 180 \text{ kN/mm}^2$, vergleichbar mit der Werkstoffgruppe Stahl, variiert.

Basierend auf diesen Konstruktionsparametern wird untersucht, welcher Einfluss auf die Konstruktionseigenschaften ausgeübt wird. Dadurch soll deutlich werden, welche Konstruktionsparameter verändert werden müssen, um gezielte Konstruktionseigenschaften effizient zu erreichen.



	Breite b in mm	Höhe h in mm	Blechstärke t in mm	Elastizitätsmodul E in kN/mm ²
Minimum	121,14	51,06	0,75	48
Maximum	158,42	79,79	3,00	180
Referenz	133,13	63,83	1,50	180

Abb. 2.2: Profilquerschnitt einer B-Säule mit beeinflussbaren Konstruktionsparametern

2.2 Ermittlung der wirtschaftlichen Wertigkeit mittels einer Kostenanalyse

Die wirtschaftliche Bewertung von Konstruktionen besteht aus einer Vielzahl an Kennzahlen, wie z.B. CO₂-Emissionen und Primärenergiebedarf, um die Vor- und Nachteile einer Konstruktion darzustellen. Die Grundlage für die hier angesetzte Beurteilung der wirtschaftlichen Wertigkeit eines Fahrzeugkarosseriebauteils liefern die Herstellungskosten HK. Diese Kennzahl setzt sich zusammen aus den beiden Kostenanteilen Materialkosten MK und Fertigungskosten FK:

$$HK = MK + FK \quad (2.2)$$

Basierend auf Erfahrungswerten der Nachkalkulation vergleichbarer Stahlblechprodukte wird ein Kostenmodell zur Kostenprognose konstruktiv und fertigungstechnisch ähnlicher Bauteile entwickelt. Die dabei erfolgte Integration der vom Konstrukteur beeinflussbaren Konstruktionsparameter führt zu einer erhöhten Transparenz der Materialkosten MK. Die Materialkosten MK bzgl. der Konstruktionsparameter Blechstärke t, Länge l und Breite b in Kombination mit den dazugehörigen Werkstoffkennzahlen Dichte ρ und Materialpreis P, sowie einem Verhältnis für den Anteil des Materialausschusses η_M werden in einer differenzierten Zuschlagskalkulation berechnet [3]. Darüber hinaus wird ein Gemeinkostenzuschlag für das Material k_{MGK} berücksichtigt, um Spezifikationen des Herstellungsprozesses berücksichtigen zu können:

$$MK = \sum_{i=1}^n \left((l_i \cdot t_i \cdot b_i \cdot \rho_i \cdot P_i) \cdot (1 + k_{MGK_i}) \cdot (1 + \eta_{M_i}) \right) \quad (2.3)$$

Die Grundlage zur Ermittlung der Fertigungskosten FK bildet eine Nachkalkulation der Prozesskosten. Hierfür wird jeder einzelne Fertigungsschritt kostentechnisch bewertet und die Fertigungseinzelkosten FEK ermittelt. Dies geschieht durch die variablen Fertigungseinzelkosten FEK_{var} , die fixen Fertigungseinzelkosten FEK_{fix} , die Rüstkosten $FEK_{Rüst}$, dem Gemeinkostenzuschlag für den Fertigungsschritt k_{FGK} sowie dem Fertigungsausschuss η_F :

$$FK = \sum_{i=1}^m \left((FEK_{var_i} + FEK_{fix_i} + FEK_{Rüst_i}) \cdot (1 + k_{FGK_i}) \cdot (1 + \eta_{F_i}) \right) \quad (2.4)$$

Mit diesen Kennzahlen ist es nun möglich einen Konstruktionsentwurf sowohl technisch als auch wirtschaftlich zu bewerten und in eine skalare Reihenfolge zu bringen. Die dabei unbeantwortete Frage der multikriteriellen

Optimierung nach dem vorteilhaftesten Konstruktionsentwurf entsteht durch die hohe Varianz der Konstruktionsparameter und die sich daraus ergebenden möglichen Konstruktionsentwürfe. Zur Analyse jedes einzelnen Konstruktionsentwurfes wird neben dem zeitlichen Aufwand auch ein entsprechend finanzieller Aufwand notwendig, welchen es zu optimieren gilt. Ein Ansatz zur Reduzierung der Entwicklungszeit und -kosten besteht in der Differenzierung der Problematik durch die Anwendung eines Metamodells [14].

3 Metamodellerstellung

Metamodelle versuchen zu gegebenen Eingangsgrößen entsprechende Ziel- oder Ausgangsgrößen von deterministischen Computersimulationen vorherzusagen [8]. Dabei handelt es sich um sehr genaue, ressourcenschonende Modelle, die eine intensive Analyse komplexer Prozesse ermöglichen. Insbesondere in frühen Produktentwicklungsphasen ist deren Unterstützung für eine Vielzahl an notwendigen Analysen immens hilfreich.

Als Metamodell kommen Modellnetze zum Einsatz, die Zusammenhänge zwischen Ein- und Ausgangsgrößen aus Daten *lernen* können. Diese Daten können dabei verschiedener Herkunft sein, beispielsweise aus physikalischen Messungen oder aus Computersimulationen stammen. In den folgenden Abschnitten sind daher die Begriffe "Messung" und "Experiment" als Synonym aufzufassen.

Die folgenden Unterabschnitte beschreiben den prinzipiellen Aufbau lokaler Modellnetze sowie deren *Lernprozess* - auch Training genannt. Zusätzlich wird auf die Versuchsplanung eingegangen, d.h. wie die Auswahl der Daten erfolgt, die zum Training der lokalen Modellnetze dienen.

3.1 Lokale Modellnetze

Das Einsatzgebiet lokaler Modellnetze umfasst die nichtlineare Regression, Klassifikation und Funktionsapproximation [1]. Die Berechnung des Modellausgangs \hat{y} geschieht durch die gewichtete Aufsummierung von Basisfunktionen. Die Gewichte ergeben sich aus den Gültigkeitsfunktionen Φ_i . Die M Basisfunktionen werden auch als lokale Modelle \hat{y}_i bezeichnet:

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^M \hat{y}_i \cdot \Phi_i \quad (3.1)$$

Die Gültigkeitsfunktionen beschreiben Gebiete, in denen die zugehörigen lokalen Modelle gültig sind und definieren somit den Beitrag eines jeden lokalen Modells zum Gesamtmodellausgang [10]. Um eine sinnvolle Interpretation zu ermöglichen, summieren sich die Gültigkeiten aller lokalen Modelle an jeder Stelle des Eingangsraumes zu eins auf [10]:

$$\sum_{i=1}^M \Phi_i = 1 \quad (3.2)$$

Lokale Modellnetze folgen dem Teile-und-Herrsche-Prinzip, d.h. das Gesamtproblem wird in einfacher zu lösende Teilprobleme zerlegt. Anstatt die Daten vollständig mit einer komplexen Funktion anzunähern, unterteilen die Gültigkeitsfunktionen den Raum in verschiedene Gebiete, in denen einfache lokale Modelle zum Einsatz kommen, siehe Abb. 3.1. Lokale Modellnetze sind stark verwandt mit neuronalen Netzen und gehören zur Klasse der nichtlinearen Blackbox-Methoden [11]. Zum Erlernen der Zusammenhänge zwischen den Ein- und Ausgangsgrößen sind lediglich Daten vonnöten, weder das Einbringen von Vorwissen noch Naturgesetze sind erforderlich. Lernen im Zusammenhang mit lokalen Modellnetzen bedeutet das Anpassen aller Modellparameter, um eine Verlustfunktion - beispielsweise die Summe aller Fehlerquadrate - zu minimieren. Dieser Prozess wird auch als Training bezeichnet und für eine Modellstruktur können mehrere verschiedene Trainingsalgorithmen existieren. Im nächsten Unterabschnitt ist ein Trainingsalgorithmus für lokale Modellnetze näher beschrieben.

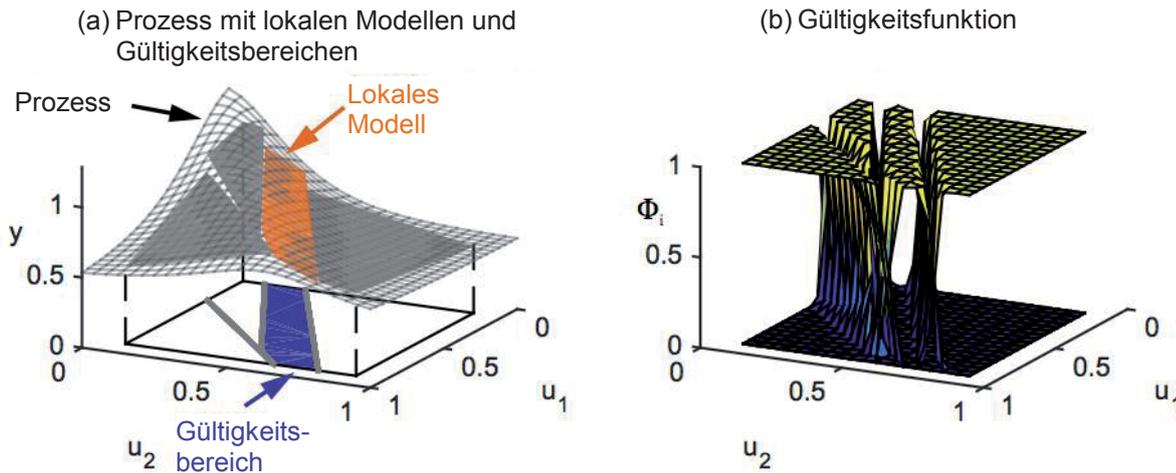


Abb. 3.1: Visualisierung von zu approximierendem Prozess, Gültigkeitsbereichen und lokalen Modellen (a) sowie Darstellung der Gültigkeitsfunktionen (b)

3.2 Training lokaler Modellnetze

Zum Training des lokalen Modellnetzes kommt ein hierarchisches Baumkonstruktionsverfahren Hierarchical Local Model Tree (HILOMOT) [6] zum Einsatz. Die lokalen Modelle \hat{y}_i sind bei diesem Trainingsalgorithmus typischerweise lineare Funktionen. Die Gültigkeitsfunktionen entstehen durch die multiplikative Verknüpfung sogenannter Sigmoid-Funktionen, siehe [10] für weiterführende Details. Die Erklärung des HILOMOT-Trainingsablaufs erfolgt mit Hilfe von Abb. 3.2.

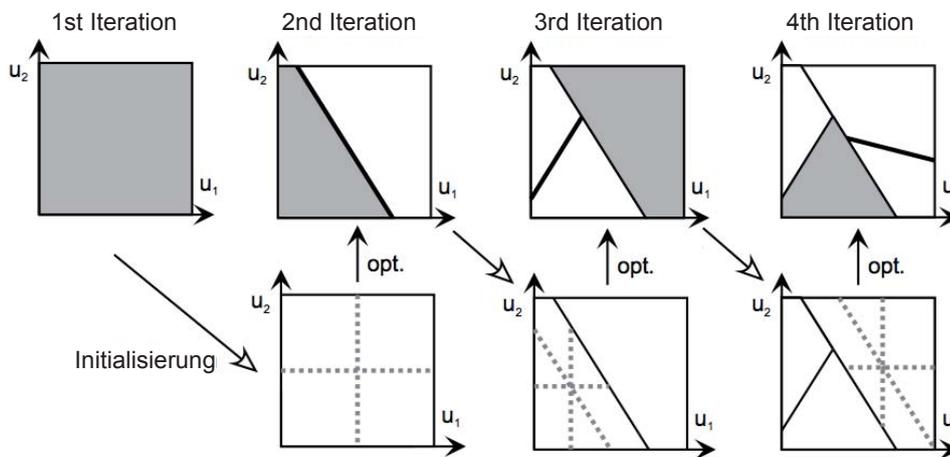


Abb. 3.2: Ablauf des HILOMOT-Trainingsalgorithmus in den ersten vier Iterationen bei einem 2-dimensionalen Eingangsraum

Zu Beginn schätzt der Algorithmus ein lineares Modell. In jedem darauf folgenden Iterationsschritt erhöht sich die Anzahl der lokalen Modelle um eins, indem das lokale Modell mit dem schlechtesten Fehler eine weitere Unterteilung erfährt. Dies erlaubt eine adaptive Anpassung des lokalen Modellnetzes an den zu approximierenden Prozess. Die Schätzung der lokalen Modellparameter geschieht mit Hilfe der gewichteten Methode der kleinsten Fehlerquadrate. Dies garantiert eine sehr effiziente Berechnung der Modellparameter und durch die lokale Schätzung ist die Gefahr einer Überanpassung an die vorhandenen Trainingsdaten vermindert [9]. Außer den einfach zu bestimmenden lokalen Modellparametern gilt es die Parameter der Gültigkeitsfunktionen zu bestimmen. Diese legen die Unterteilung des Eingangsraumes fest, d.h. die Lage und Orientierung der Schnitte werden bestimmt. In jedem Iterationsschritt passt man die aktuellen Schnittparameter mit Hilfe einer nichtlinearen Optimierung an. Alle bereits bestehenden Unterteilungen bleiben unverändert. Als Initialisierung für die nichtlineare Optimierung dient entweder die beste achsenorthogonale Unterteilung oder die Orientierung des übergeordneten Schnitts. Durch die gewählte Art zur Parameterbestimmung der Gültigkeits-

funktionen ist der HILOMOT-Algorithmus in der Lage den Eingangsraum achsenschräg zu unterteilen, was ihn insbesondere für hochdimensionale Probleme prädestiniert.

3.3 Versuchsplanung

Um ein lokales Modellnetz als Metamodell nutzen zu können, müssen Daten für den Trainingsprozess zur Verfügung stehen. Zur Datenerhebung muss definiert sein, bei welchen Eingangskombinationen Vermessungen des Prozesses stattfinden sollen. Alle für die Vermessung vorgesehenen Eingangskombinationen bezeichnet man als Versuchsplan. Es kommt ein Latin Hypercube (LH)-Versuchsplan [13] zum Einsatz, der u.a. die vorteilhafte Eigenschaft besitzt nicht zu kollabieren (im Englischen: non-collapsing design). Das bedeutet bei der Projektion aller Datenpunkte auf eine einzelne Achse kommt kein Wert mehrmals vor, siehe dazu die dargestellten LH-Versuchspläne in Abb. 3.3. Zudem ist es möglich die Anzahl an Messungen beliebig zu wählen, wohingegen vollständige Gittervermessungen auf n_{achse}^p Datenpunkte beschränkt sind, mit n_{achse} Datenpunkte je Achse und p Eingangsraumdimension. Besteht kein Vorwissen über den zu approximierenden Prozess, sollte die Wahl laut [13] auf einen raumfüllenden Versuchsplan fallen. Diese Eigenschaft ist durch LH-Versuchspläne nicht automatisch garantiert, kann aber durch eine Optimierung der Lage der Versuchspunkte erreicht werden. Das hier eingesetzte Optimierungsverfahren versucht durch paarweise Punktauschoperationen den kleinsten vorkommenden Punktabstand eines Versuchsplans zu maximieren. Als Resultat ergibt sich ein sogenannter Maxmin optimierter LH-Versuchsplan [4]. Abb. 3.3 zeigt einen zufällig erstellten LH-Versuchsplan sowie das Optimierungsergebnis. In beiden Darstellungen ist das Punktpaar mit dem kleinsten Abstand zueinander hervorgehoben.

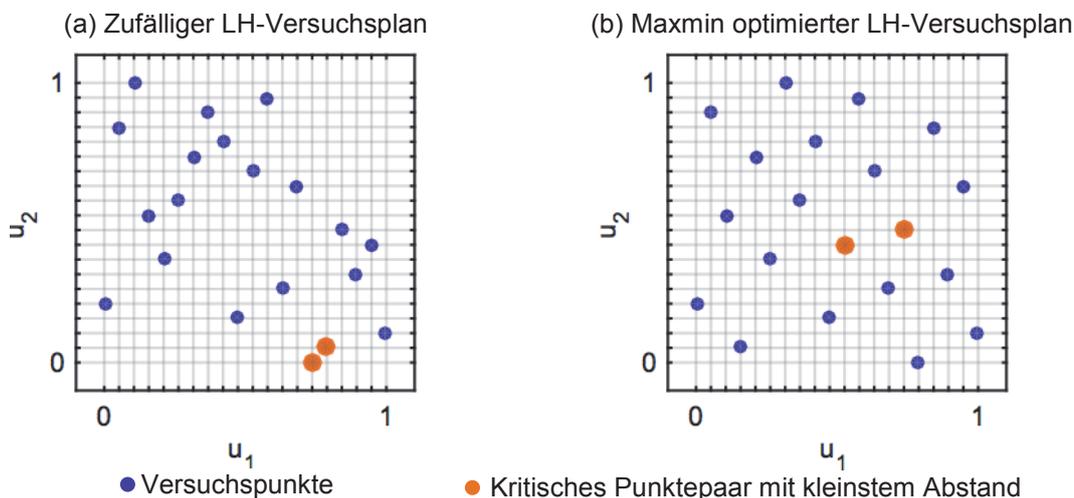


Abb. 3.3: Unterschiede der Versuchsplangestaltung

Einen Überblick über den Stand der Technik im Bereich Maxmin LH-Optimierung ist in [12] zu finden. Eine aktuelle Diskussion zur Optimierung von LH-Versuchsplänen ist [4] zu entnehmen.

4 Identifizierung der Pareto-Front

Um die benötigte Zeit zur Identifizierung der Pareto-Front in einem angemessenen Rahmen zu halten, ist ein Metamodell zur Vorhersage verschiedener Kenngrößen der B-Säule vonnöten. Generell ist das Auffinden Pareto-optimaler Kompromisse von zwei oder mehr gegensätzlichen Zielgrößen notwendig, wenn eine exakte Vorabpriorisierung dieser Zielgrößen nicht vorliegt [9]. Es sind zwei Zielgrößen gewählt. Zum einen sind dies die Herstellkosten HK und zum anderen die Leichtbaugüte L_E . In diesem Beispiel hängt der optimale Kompromiss zwischen den beiden Zielgrößen u.a. vom angestrebten Preissegment des Fahrzeugs ab, sodass die gesamte Pareto-Front von Interesse ist. Für die Identifizierung der Pareto-Front wird jeweils ein Metamodell zur Vorhersage einer jeden Zielgröße erstellt. Um zusätzliche Nebenbedingungen abbilden zu können, werden Metamodelle zur Vorhersage der Energieaufnahme W_E und der Masse m trainiert. Durch ein vollständiges Gitter ist der Eingangsraum, definiert durch alle variierbaren Konstruktionsparameter der B-Säule, für die Pareto-Front Identifizierung feinmaschig abgedeckt. Für alle so entstehenden Eingangskombinationen berechnet das jeweilige Metamodell entsprechende Vorhersagen. Diese werden unter Berücksichtigung

eventuell verletzte Nebenbedingungen gefiltert. Pareto-optimale verbleibende Lösungen sind bei der Darstellung von Herstellkosten HK über der Leichtbaugüte L_E leicht zu identifizieren.

Wie zuvor erwähnt sind lokale Modellnetze zur Vorhersage der Herstellkosten HK , der Leichtbaugüte L_E , der Energieaufnahme W_E sowie der Masse m der B-Säule vorhanden. Dabei dient das Modell der Energieaufnahme W_E zur Überprüfung, ob eine geforderte Mindestenergie durch die B-Säule aufgenommen werden kann. Die Masse m des Bauteils ist für sich genommen eine sehr wichtige Eigenschaft, sodass deren Vorhersage zur zusätzlichen Bewertung bestimmter Varianten dienen kann. Zur Erstellung des LH-Versuchsplans für die vier variierbaren Konstruktionsparameter der B-Säule, zu denen die Breite b , die Blechstärke t , die Höhe h sowie der Elastizitätsmodul E zählen, stehen $N = 700$ Datenpunkte zur Verfügung. Zur Optimierung eines zufällig erstellten LH-Versuchsplans mit vier Eingangsgrößen und $N = 700$ Datenpunkten kommt ein fortschrittliches, mehrstufiges lokales Suchverfahren [4] zum Einsatz. Die Bestimmung der vier Ausgangsgrößen erfolgt mit Hilfe der FEA. Die Berechnungen zum Aufbau des gesamten Datensatzes benötigte rund 60 Stunden. Um die Güte der Metamodelle bewerten zu können, ist der Datensatz in einen Teil zum Training, bestehend aus $N_T = 600$ Datenpunkten, und einen Teil zur Überprüfung der Generalisierungsfähigkeit der Modelle, bestehend aus $N_G = 100$, aufgeteilt. Als Bewertungsmaß kommt die Wurzel der gemittelten, quadratischen Fehler (im Englischen root mean squared error, kurz NRMSE) zum Einsatz:

$$\text{NRMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y(i) - \hat{y}(i))^2}{\sum_{i=1}^N (y(i) - \bar{y})^2}} \quad (3.3)$$

Dabei bezeichnet $y(i)$ den gemessenen Wert und $\hat{y}(i)$ die Modellvorhersage für den i -ten Datenpunkt. Das Bewertungsmaß gibt Auskunft, inwieweit das aktuelle Modell besser ist, anstatt den Mittelwert aller gemessenen Werte \bar{y} zur Vorhersage von Eingangskombinationen zu verwenden. Üblicherweise ergibt sich ein Wertebereich zwischen null und eins. Bessere Modelle besitzen dabei ein kleineres Bewertungsmaß. Die erzielten NRMSE-Werte resultierend sowohl aus Trainings- als auch aus Testdaten für die Leichtbaugüte L_E , die Herstellkosten HK , die Masse m und die Energieaufnahme W_E sind in Tab. 4.1 zu finden.

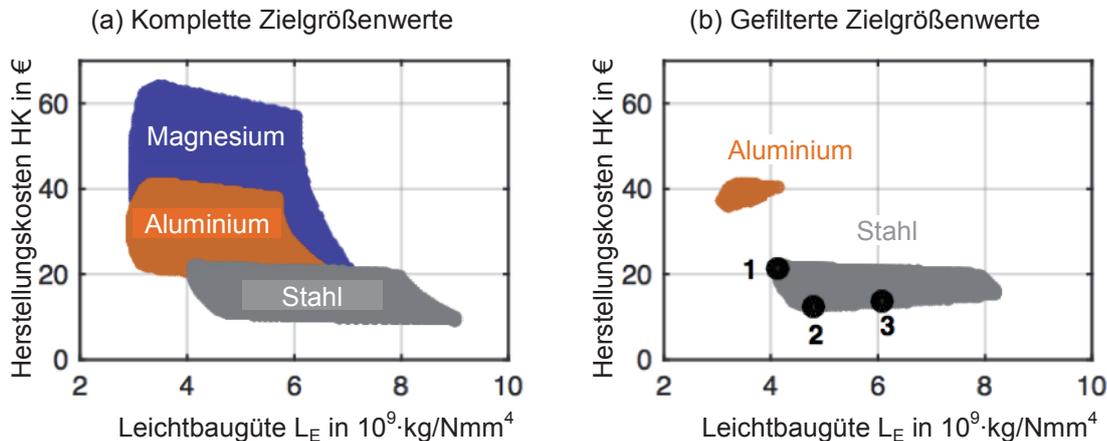
Metamodell	Leichtbaugüte	Herstellungskosten	Masse	Energieaufnahme
NRMSE-Trainingsdaten in -	0,24	0,06	0,11	0,01
NRMSE-Testdaten in -	0,31	0,08	0,08	0,02

Tab. 4.1: NRMSE-Werte aus Trainings- und Testdaten von allen erstellten Metamodellen

Die geringen Abweichungen zwischen Trainings- und Test-NRMSE-Werten deuten auf eine gute Generalisierungsfähigkeit aller Metamodelle hin. Das Training der lokalen Modellnetze beansprucht zwischen 3,57 Sekunden für das Modell zur Massenvorhersage und 13,63 Sekunden für das Modell zur Vorhersage der Energieaufnahme. Als Maß für die Modellkomplexität kann die Anzahl der Modellparameter dienen. Die maximale Modellkomplexität tritt beim Modell für die Energieaufnahme auf (204 Modellparameter), die minimale Modellkomplexität besitzt das Modell der Masse (28 Modellparameter).

Zur Identifizierung der Pareto-Front wird eine große Anzahl an möglichen Eingangskombinationen erstellt und entsprechende Zielgrößen mit Hilfe der Metamodelle berechnet. Im Falle der kontinuierlich variierbaren Eingangsgrößen, d.h. der Breite b , der Blechstärke t und der Höhe h , ergeben sich die Kombinationen aus einem vollständigen Gitter. Um dieses zu erzeugen wird jede Eingangsachse in 30 äquidistante Werte aufgeteilt, die beim jeweiligen Minimum beginnen und bis zum entsprechenden Maximum reichen. Die gewählten Minima und Maxima für alle Eingangsgrößen sind in Abb. 2.2 dargestellt und ergeben sich aus technischen und konstruktiven Randbedingungen. Der Elastizitätsmodul E erhält lediglich drei Stufen, die den Werkstoffen Magnesium ($E_{Mg} = 48 \text{ kN/mm}^2$), Aluminium ($E_{Al} = 70 \text{ kN/mm}^2$) und Stahl ($E_{St} = 210 \text{ kN/mm}^2$) entsprechen. Die Gesamtanzahl an sich ergebenden Eingangskombinationen beläuft sich somit auf 81000 ($3 \cdot 30^3$), für die es Modellvorhersagen zu berechnen gibt. Mit den zuvor trainierten Metamodellen, d.h. den lokalen Modellnetzen, liegt die Berechnungszeit zwischen 0,04 Sekunden für das Modell der Masse m und 0,16 Sekunden für das Modell der Energieaufnahme W_E . In Abb. 4.1. (a) sind die Ergebnisse für alle Kombinationen im Raum, der durch die beiden Zielgrößen Herstellkosten HK und Leichtbaugüte L_E aufgespannt wird,

dargestellt. Aufgrund der Forderung einer Mindestenergieaufnahme $W_{E\text{ erf}} = 340,20 \text{ kNm}$, sind Eingangskombinationen, die diese Anforderung nicht erfüllen, in Abb. 4.1. (b) herausgefiltert. Es fällt auf, dass keine Magnesiumvariante übrig bleibt, welche die geforderte Mindestenergie aufnehmen kann. Auch viele Aluminiumvarianten fallen durch diese Nebenbedingung weg. Anhand der verbleibenden Lösungen kann nun eine gewünschte Pareto-optimale Kompromisslösung ausgewählt werden. Als Pareto-optimal gelten Punkte in den Darstellungen von Abb. 4.1, welche keine gleichzeitige Verbesserung beider Zielgrößen erlauben. Das heißt um eine der beiden Zielgrößen zu verbessern, lässt sich eine Verschlechterung in der anderen Zielgröße nicht vermeiden.



- 1 Niedrigste Leichtbaugüte aus Stahl
- 2 Geringsten Herstellungskosten
- 3 Referenzkonstruktion

Abb. 4.1: Zielgrößenwerte vor (a) und nach Filterung (b) der Mindestenergieaufnahme

In den möglichen Eingangskombinationen für Stahl aus Abb. 4.1 (b) sind drei Konstruktionsentwürfe hervorgehoben. Konstruktionsentwurf 1 entspricht der Eingangskombination mit der niedrigsten Leichtbaugüte L_E , Konstruktionsentwurf 2 besitzt die geringsten Herstellungskosten HK und Konstruktionsentwurf 3 entspricht der Referenzkonstruktion. Die exakten Werte für alle drei Konstruktionsentwürfe sind in Tab. 6.1 aufgelistet.

5 Sensitivitätsanalyse

Die Zusammenhänge zwischen den Eingangsgrößen und den zu präzisierenden Ausgangsgrößen sind während des Entwicklungsprozesses von hohem Interesse. Sind diese Zusammenhänge bekannt, können darauf basierend Entscheidungen im Entwicklungsprozess einfach und schnell getroffen werden. Bei Problemstellungen mit weniger als drei Eingangsgrößen lassen sich diese Zusammenhänge auf einfache Weise visualisieren, sofern ein Vorhersagemodell vorhanden ist. Bei steigender Anzahl an Eingangsgrößen stellt sich das Visualisieren zunehmend schwieriger dar. Ein üblicherweise angewendetes Vorgehen besteht darin sich lediglich Schnitte des Modells anzusehen. Das bedeutet alle bis auf ein oder zwei Eingangsgrößen des Modells werden auf jeweils einen festen Wert gesetzt, sodass eine Visualisierung über den nicht fixen Eingangsgrößen möglich ist. Solche Darstellungen können jedoch irreführend sein, da der Einfluss sämtlicher fixierter Eingangsgrößen komplett ignoriert wird. Es können durch dieses Vorgehen sogar Eingangskombinationen auftreten, die beim realen Prozess nicht möglich sind. Ein viel mächtigerer Ansatz zur Darstellung von Modellen mit vielen Eingangsgrößen sind die sogenannten Partial Dependence Visualisierungen [5]. Die grundsätzliche Idee bei dieser Visualisierungsmethode ist es die partielle Abhängigkeit des Modells von einer oder zwei Eingangsvariablen darzustellen [5]. Dabei wird über die Einflüsse aller verbleibenden Eingangsgrößen entsprechend des Vorkommens in den Trainingsdaten gemittelt.

Zugunsten einer besser verständlichen Erklärung sind die folgenden Ausführungen für den Fall maßgebend, in dem lediglich die partielle Modellabhängigkeit von einer einzigen Eingangsvariable betrachtet wird. Diese eine Eingangsvariable wird im Folgenden als Partial Dependence Variable (PDV) bezeichnet. Die Rechenvorschrift zur Berechnung der partiellen Abhängigkeit des Modells von einer PDV wird als Partial Dependence Funktion \bar{f}_p bezeichnet. Die partielle Abhängigkeit des Modells von einer PDV ist als Mittelwert über alle Trainingsdaten,

ohne die gerade betrachtete PDV, definiert. Zur mathematischen Beschreibung der Partial Dependence Funktion sind die folgend aufgeführten Definitionen nötig. Zu jeder PDV u_j gehört eine eigene Partial Dependence Funktion $\bar{f}_{p,j}$. Der Vektor $\underline{u}^{(-j)}(i)$ beinhaltet die Werte des i -ten Trainingsdatenpunktes mit Ausnahme des Wertes, den die gerade aktuelle PDV besitzt:

$$\underline{u}^{(-j)}(i) = [u_1(i) \quad u_2(i) \quad \dots \quad u_{j-1}(i) \quad u_{j+1}(i) \quad \dots \quad u_p(i)] \quad . \quad (5.1)$$

Für die ausgelassene PDV kann ein beliebiger Wert eingesetzt werden. Daher bezeichnet $\hat{y}(u_j, \underline{u}^{(-j)}(i))$ den Modellausgang für ein beliebiges u_j , wenn für die PDV die Werte des i -ten Trainingsdatenpunktes eingesetzt sind. Somit ergibt sich die j -te Partial Dependence Funktion zu:

$$\bar{f}_{p,j}(u_j) = \frac{1}{N_T} \sum_{i=1}^{N_T} \hat{y}(u_j, \underline{u}^{(-j)}(i)) \quad . \quad (5.2)$$

Für jeden festen Wert der PDV variiert der Modellausgang $\hat{y}(\cdot)$ lediglich aufgrund von Änderungen in den Trainingsdaten über alle N_T Datenpunkte. Der geschätzte Mittelwert ist das Ergebnis der Partial Dependence Funktion. Die Schätzung einer entsprechenden Varianz entspricht demnach:

$$\sigma_{p,j}^2 = \frac{1}{N_T - 1} \sum_{i=1}^{N_T} (\hat{y}(u_j, \underline{u}^{(-j)}(i)) - \bar{f}_{p,j}(u_j))^2 \quad . \quad (5.3)$$

Generell kann mehr als eine PDV definiert sein. Details dazu sind in [5] zu finden. Man sollte jedoch beachten, dass für Visualisierungszwecke mehr als zwei PDVs sinnlos sind.

Zur Verdeutlichung der Interpretationsmöglichkeiten der Partial Dependence Visualisierungen ist ein Demonstrationsbeispiel gewählt, bei dem die Ausgangsgröße von zwei Eingangsgrößen abhängt:

$$y = u_1 + u_1 u_2^2 \quad . \quad (5.4)$$

Dieser Beispielprozess wird durch ein lokales Modellnetz mit zehn lokalen Modellen approximiert. Das so entstandene Modell ist Basis für die Partial Dependence Funktionen $\bar{f}_{p,1}$ und $\bar{f}_{p,2}$. Der Prozess und die entsprechenden Partial Dependence Visualisierungen sind in Abb. 5.1 zu sehen.

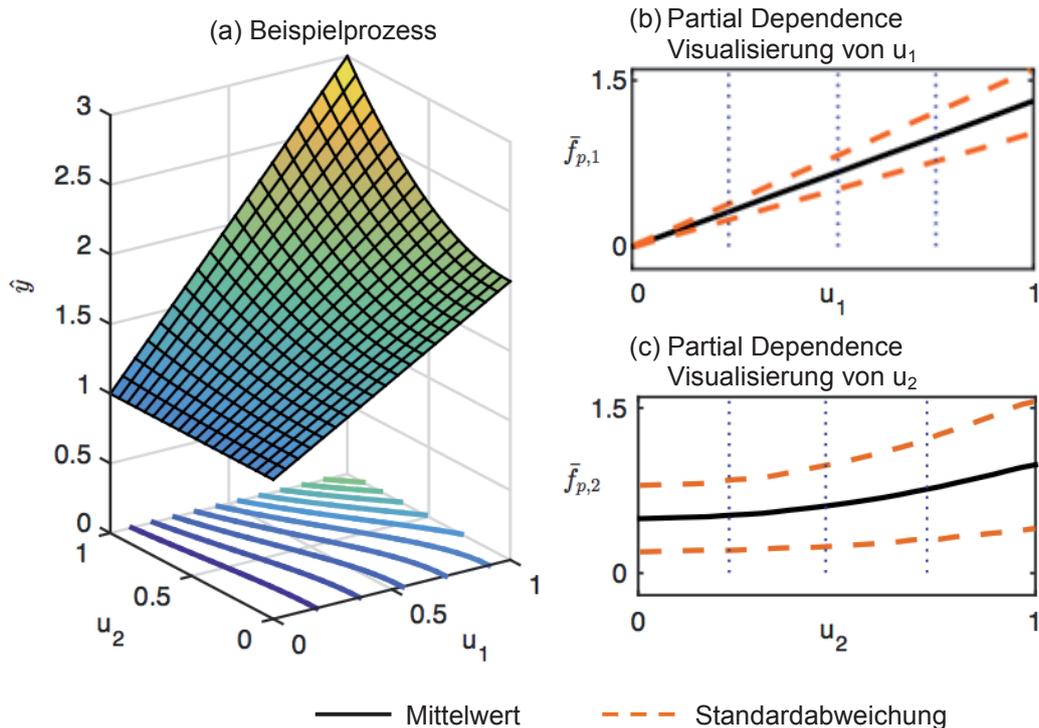


Abb. 5.1: Beispielprozess mit zwei Eingangsvariablen (a) und den entsprechenden Partial Dependence Visualisierungen der Eingänge u_1 (b) und u_2 (c)

Die Partial Dependence Visualisierungen beinhalten die Gesamtsensitivität jeder PDV, gemittelt über jeweils alle nicht-PDV. Die Sensitivität ist durch die Steigung der Mittelwertverläufe gegeben. Die wichtige Information ist nicht der Absolutwert eines jeden Gradienten an sich, sondern die relative Beziehung der Gradienten für unterschiedliche PDVs. Aus Abb. 5.1 (b) geht gut der lineare Einfluss der ersten Eingangsgröße u_1 hervor. Abb. 5.1 (c) zeigt den quadratischen Einfluss der zweiten Eingangsvariable u_2 . Große Standardabweichungen lassen auf einen großen Einfluss aller nicht-PDV schließen. Das bedeutet, dass der Einfluss von u_2 für große Werte von u_1 zunimmt, wie an der ansteigenden Standardabweichung abgelesen werden kann.

6 Schlussbemerkung und Ausblick

Einhergehend mit der multikriteriellen Optimierung besteht das Problem der Bedeutungsgewichtung einzelner Kriterien respektive Konstruktionseigenschaften. Dabei können Grenzzahlen für die Substitution einzelner Konstruktionseigenschaften nur abgeschätzt werden. Auf diesen Abschätzungen aufbauend werden dann Lösungen erarbeitet, welche durch die Abhängigkeit getroffener Prioritäten beeinflusst wird und dadurch eine z.T. große Streuung aufweist.

Mit der Hilfe von Partial Dependence Visualisierungen können die auf der Pareto-Front gefundenen Lösungen genauer analysiert und adaptiert werden. Dies geschieht durch die Visualisierung der Abhängigkeiten zwischen den Konstruktionsparametern und den Konstruktionseigenschaften, wodurch die relative Einflussnahme durch die Konstruktionsparameter deutlich wird. Zur Demonstration der Vorgehensweise wird der in Abb. 4.1 b) aufgeführte Konstruktionsentwurf 2 herangezogen, welcher die Pareto-optimale Lösung mit den geringsten Herstellungskosten HK darstellt. Mit Hilfe dieser Partial Dependence Visualisierungen können anschließend die zielführenden Konstruktionsparameter ermittelt werden. So zeigt sich der Einfluss jedes einzelnen Konstruktionsparameters auf bedeutende Konstruktionseigenschaften, um Konstruktionsentwürfe effektiv anzupassen.

6.1 Zielorientierte Produktentwicklung durch zielführende Konstruktionsparameter

Wie zuvor erwähnt, werden zwei sich an der Pareto-Front befindlichen Konstruktionsentwürfe zusammen mit ihren Konstruktionsparametern genauer untersucht. Tab. 6.1 stellt die Unterschiede der ausgewählten Konstruktionsentwürfe im Vergleich zur Referenzkonstruktion noch einmal heraus.

	Referenz- konstruktion	Konstruktions- entwurf 1	Konstruktions- entwurf 2
Höhe h in mm	63,83	79,79	77,81
Breite b in mm	133,13	158,42	121,14
Blechstärke t in mm	1,50	2,92	1,14
Elastizitätsmodul E in kN/mm ²	180	180	180
Leichtbaugüte L_E in 10 ⁹ ·kg/Nmm ⁴	6,09	4,14	4,78
Herstellungskosten HK in €	14,20	21,46	12,71
Masse m in kg	1,63	3,64	1,30
Energieaufnahme W_E in kNmm	340,20	1023,83	344,84

Tab. 6.1: Vergleich der Konstruktionsparameter und Konstruktionseigenschaften

Die Ergebnisse machen deutlich, worin sich die einzelnen Konstruktionsentwürfe unterscheiden und wie die Konstruktionsparameter variiert werden, um eine Pareto-optimale Lösung innerhalb der Randbedingungen zu finden.

Der Konstruktionsentwurf 1 besitzt die niedrigste Leichtbaugüte L_E aller aus Stahl gefertigten Konstruktionsentwürfe. Hierdurch wird erwartet, dass dieser Konstruktionsentwurf mit einer geringen Masse m einhergeht. Da es sich bei der Leichtbaugüte L_E jedoch um eine zusammengesetzte Kennzahl handelt, gibt diese Kennzahl eine interpretierte Aussage der zusammengesetzten Kennzahlen wieder. Dies zeigt beispielhaft eine der großen Problematiken in der Produktentwicklung. Um zielführend konstruieren zu können, werden Kennzahlen zur Orientierung benötigt. Diese Kennzahlen stellen jedoch keine absolute Wahrheit dar. Daher sind skalare Kennzahlen wie die Leichtbaugüte L_E nur bedingt geeignet, um Konstruktionsentwürfe zu bewerten. Solche Kennzahlen ermöglichen eine erste Abschätzung zwecks Orientierung, doch um die Konstruktionsentwürfe zu optimieren ist es notwendig eine differenziertere Betrachtungsweise der Problematik anzuwenden, wie in Abb. 6.1 anhand der Partial Dependence Visualisierungen für Konstruktionsentwurf 2 gezeigt.

Der Konstruktionsentwurf 2 besitzt die geringsten Herstellungskosten HK. Beginnend mit dieser Kombination der Konstruktionsparameter ist es notwendig zu wissen, wie die Konstruktionsparameter verändert werden können, um eine weiterhin arbitrare Lösung zu erhalten. In dieser Situation können die Partial Dependence Visualisierungen wie in Abb. 6.1 zu sehen zur Lösungsfindung herangezogen werden. Diese Visualisierungen zeigen in wie weit ein Konstruktionsparameter innerhalb der Randbedingungen variiert werden kann und wie sich diese Änderung auf die Konstruktionseigenschaften Herstellungskosten HK, Leichtbaugüte L_E und Masse m auswirkt. So führt z.B. eine Variation der Breite b und der Höhe h lediglich zu einer marginalen Änderung der Herstellungskosten HK und der Masse m, während eine Variation der Blechstärke t einen deutlich größeren Einfluss auf die beiden Konstruktionseigenschaften ausübt.

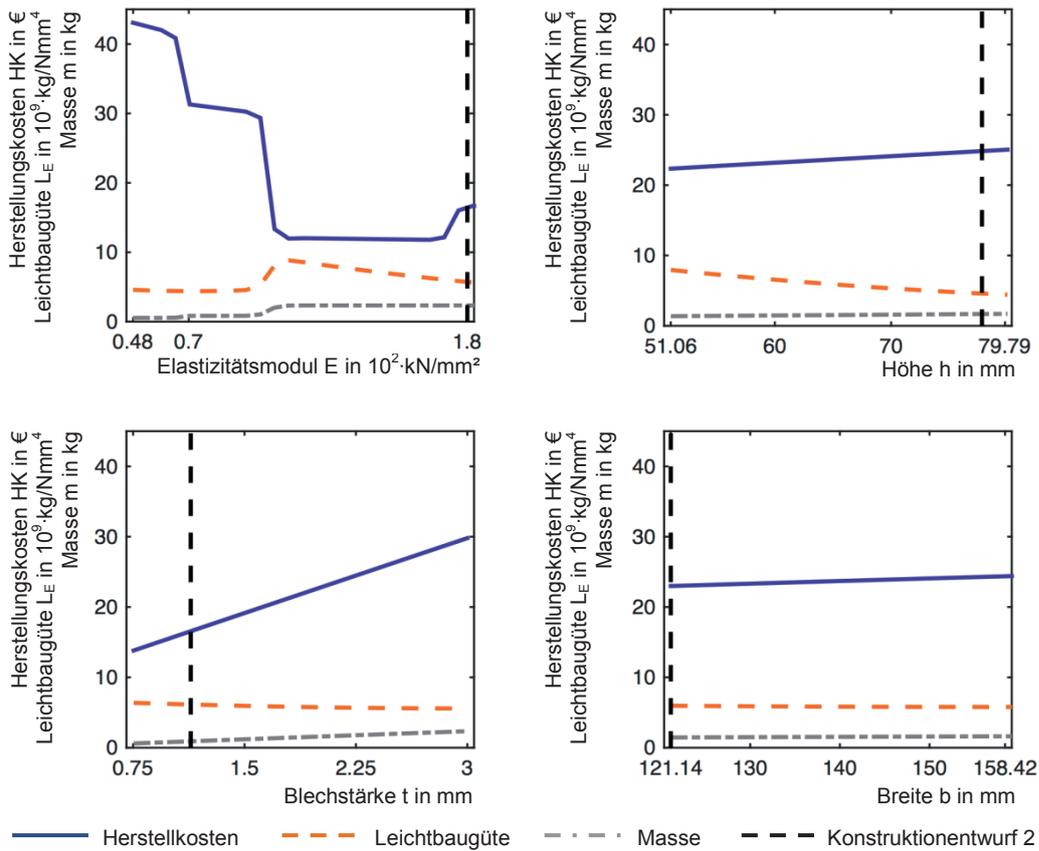


Abb. 6.1: Partial Dependence Visualisierungen aller Konstruktionsparameter

Berücksichtigt man diese Informationen, so können die Konstruktionsparameter zur zielführenden Veränderung der Konstruktion ermittelt werden und so Konstruktionseigenschaften effektiv umgesetzt werden. Um z.B. die Energieaufnahme W_E der Konstruktion zu erhöhen, gibt Abb. 6.2 eine gute Übersicht, welche Konstruktionsparameter dafür geeignet sind.

Die Bedeutsamkeit eines jeden Konstruktionsparameters für die Beeinflussung der Energieaufnahme W_E wird durch die Steigung in der Partial Dependence Visualisierung dargestellt. Je höher die Steigung ist, desto größer ist der Einfluss, den der Konstruktionsparameter besitzt. Betrachtet man den Konstruktionsparameter Breite b, so ist erkennbar dass eine Variation dieses Parameters zu keiner Verbesserung der Energieaufnahme W_E führt. Jedoch kann durch die Variation der Konstruktionsparameter Höhe h und Blechstärke t ein deutlicher Einfluss an der Energieaufnahme W_E genommen werden. Berücksichtigt man nun die Partial Dependence Visualisierungen von Masse m und Herstellungskosten HK bzgl. dieser Konstruktionsparameter, so ist eine deutliche Präferenz der Höhe h gegenüber der Blechstärke t zu erkennen. Zur leichtbaugerechten und kostenbewussten Variation des Konstruktionentwurfes 2 sollte in Bezug auf eine Erhöhung der Energieaufnahme W_E zunächst die Höhe h als Konstruktionsparameter herangezogen werden.

Ebenso liefert auch die Standardabweichung Informationen über die Bedeutsamkeit eines Konstruktionsparameters. Bei einer hohen Standardabweichung, wie sie der Konstruktionsparameter Breite b besitzt, bedeutet dies, dass es durch eine Variation der nicht betrachteten Konstruktionsparameter zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Energieaufnahme W_E kommt. Vice versa bedeutet dies, dass bei einer geringen Standardabweichung der betrachtete Konstruktionsparameter im Zusammenspiel mit den nicht betrachteten Konstruktionsparametern den hauptsächlichlichen Einfluss auf die Energieaufnahme W_E besitzt.

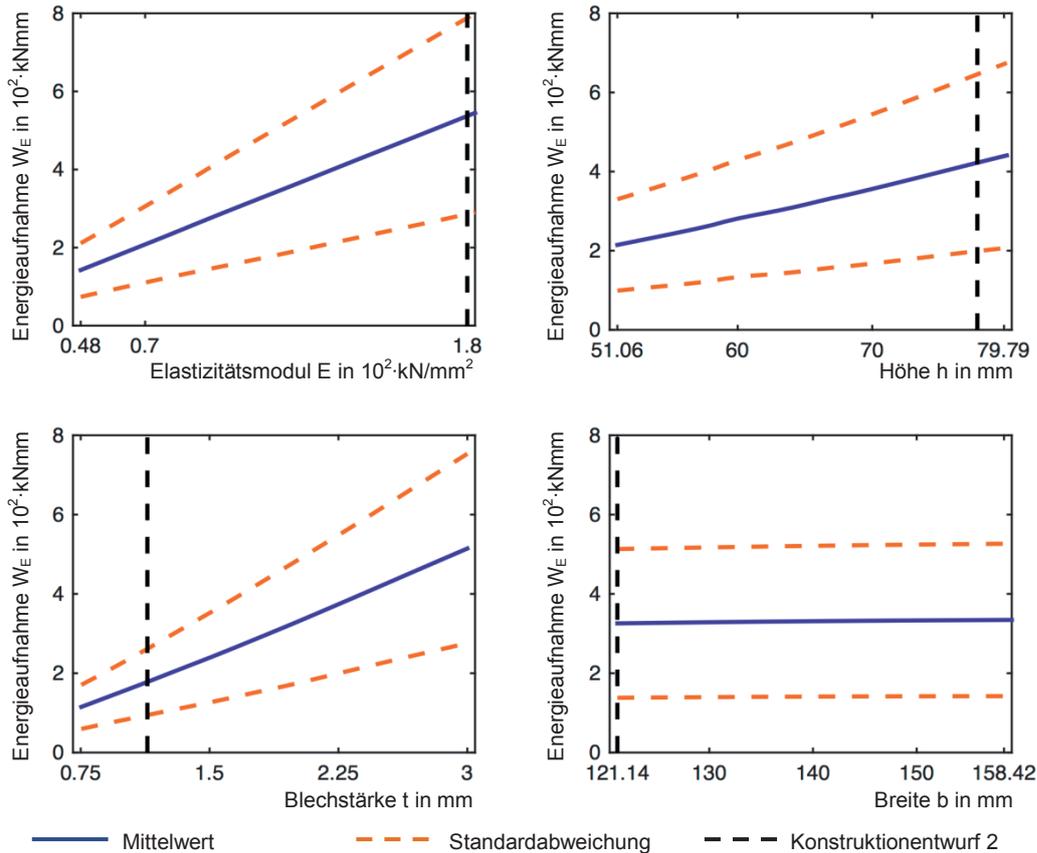


Abb.6.2: Beeinflussung der Energieaufnahme durch die Konstruktionsparameter

Hiermit ist der Konstrukteur in der Lage Konstruktionsentwürfe frei zu variieren und dabei stets die Auswirkungen seiner Konstruktionsanpassungen bzgl. der Konstruktionseigenschaften unter voller Kontrolle zu halten.

6.2 Ausblick

Für die weitere Verfolgung dieser Vorgehensweise zur Detektion zielführender Konstruktionsparameter, sollten die Engpässe dieser Methodik beachtet und hierauf genauer eingegangen werden. Zunächst ist anzumerken, dass es sich bei der beschriebenen Aufgabenstellung um eine deutliche Vereinfachung der tatsächlichen Problematik auf ein paar wenige Konstruktionsparameter und Konstruktionseigenschaften handelt. Gerade durch diese Vereinfachung ist es aber im Gegenzug möglich die sich daraus ergebenden Lösungen und deren Entstehen verständlich auf zu arbeiten. Wendet man diese Methodik jedoch bei einer multikriteriellen Optimierung mit einer größeren Komplexität an, so müssen Methoden gefunden werden, um eine Pareto-Front auch bei dieser höheren Komplexität zu finden. Dabei stellt sich die grundsätzliche Frage, ob es für den Konstruktionsprozess sinnvoll ist eine automatisierte Lösungsfindung zu erstreben oder ob der Konstrukteur nicht viel mehr durch eine Reduzierung der Problematik und der Visualisierung von Wirkzusammenhängen beim Konstruktionsprozess zielführender unterstützt wird.

7 Literatur

- [1] Breiman, L.: Hinging hyperplanes for regression, classification, and function approximation. *Information Theory, IEEE Transactions on*, 39(3):999–1013, 1993.
- [2] European New Car Assessment Programme (Hrsg.): Seitenaufprall. Download 12.02.2013. <http://de.euroncap.com/Content-Web-Page/0f2e8a66-38d6-4dae-8eeb-00b6b595b6d4/seitenaufprall.aspx>.
- [3] Götze, U.: *Kostenrechnung und Kostenmanagement*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
- [4] Grosso, A.; Jamali, A.; Locatelli, M.: Finding maximin latin hypercube designs by iterated local search heuristics. *European Journal of Operational Research*, 197(2):541–547, 2009.
- [5] Hastie, T.; Tibshirani, R.; Friedman J.: *The elements of statistical learning, volume 1*. Springer New York, 2001.
- [6] Horwath, M.; Idelberger, H.; Bensmann, M.: Cost management of a vehicle's b-pillar at an early stage of the product development process. In *NAFEMS Seminar: Concept Design Driven by Simulation*, 20-21 march 2013, pages 41-52, 2013.
- [7] Klein, B.: *Leichtbau-Konstruktion*. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, 2007.
- [8] Meckesheimer, M.; Booker, A.; Barton, R.; Simpson, T.: Computationally inexpensive metamodel assessment strategies. *AIAA journal*, 40(10):2053–2060, 2002.
- [9] Nelles, O.: *Nonlinear system identification: from classical approaches to neural networks and fuzzy models*. Springer, 2000.
- [10] Nelles, O.: Axes-oblique partitioning strategies for local model networks. In *International Symposium on Intelligent Control*, 2006 IEEE, pages 2378–2383. IEEE, 2006.
- [11] Pucar, P.; Sjöberg, J.: Parameterization and conditioning of hinging hyperplane models. In *Proceedings of the 13th IFAC World Congress*, San Francisco, CA, USA, volume 1, pages 227–232, 1995.
- [12] Rimmel, A.; Teytaud, F.: A Survey of Meta-heuristics Used for Computing Maximin Latin Hypercube. In *Evolutionary Computation in Combinatorial Optimisation*, pages 25–36. Springer, 2014.
- [13] Santner, T.; Williams, B. and Notz, W.: *The design and analysis of computer experiments*. Springer Science & Business Media, 2003.
- [14] Schmidt, J.: *Konstruktionsanalyse durch technisch-wirtschaftliche Metamodelle in der Produktentwicklung von Kraftfahrzeugkarosserien*. Unveröffentlichte Masterarbeit, Universität Siegen, Institut für Konstruktion, 2014.
- [15] Shan, S.; Wang, G.: Metamodeling for high dimensional simulation-based design problems. *Journal of Mechanical Design*, 132:051009, 2010.

Toleranzoptimierung eines Fahrzeugdesigns bezüglich Crashverhalten mit LS-OPT

Katharina Witowski
DYNAmore GmbH

Anirban Basudhar, Nielen Stander, Imtiaz Gandikota
Livermore Software Technology Corporation

Ein typisches Designoptimierungsproblem beinhaltet die Minimierung von Zielfunktionen unter Berücksichtigung von verschiedenen Nebenbedingungen. Das Ergebnis ist häufig ein Design, dessen Werte der Nebenbedingungen nahe an den Grenzen liegen. Somit könnte eine kleine Störung des Designs leicht dazu führen, dass Nebenbedingungen verletzt werden. Des Weiteren könnten auch die Zielfunktionen stark von Störungen abhängen – eine leichte Änderung des Designs könnte zu wesentlich schlechteren Werten führen als das errechnete Optimum.

Um solche Probleme zu vermeiden, können Unsicherheiten der Variablen in den Optimierungsprozess einbezogen werden. Häufig werden die Ansätze Reliability Based Design Optimization (RBDO) oder Robust Parameter Design (RDO) verwendet, die für jeden stochastischen Parameter eine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion benötigen, um die Unsicherheit zu beschreiben. Ist die Streuung der Variablen nicht bekannt, ermöglichen Toleranzen die Suche nach einem Worst-Case Design - ein optimales Design ohne Versagen innerhalb des Toleranzintervalls kann bestimmt werden. Bei einer Toleranzoptimierung wird, zusätzlich zur Minimierung oder Maximierung der Zielfunktionen des Designs, die Toleranz maximiert.

In diesem Beitrag werden die Möglichkeiten von LS-OPT zur Durchführung von Toleranzoptimierungen anhand eines Anwendungsbeispiels gezeigt. Das Finite-Elemente-Modell eines Kleintransporters wird bezüglich eines Crashlastfalls unter Berücksichtigung von Unsicherheiten optimiert. Die Finite-Elemente-Simulationen werden mit LS-DYNA durchgeführt. Die mehrkriterielle Optimierung wird mit LS-OPT über eine geschachtelte Optimierung gelöst. Die Ergebnisse werden unter Verwendung der Visualisierungsmöglichkeiten des Postprocessing-Tools von LS-OPT diskutiert. Der Schwerpunkt liegt auf den Darstellungsmöglichkeiten von statistischen Größen und Pareto-optimalen Lösungen.

1 Einleitung

In einer Simulation sind alle Parameter, z.B. Blechdicken oder Materialkenngrößen, vollständig kontrollierbar, wohingegen die meisten Parameter in der Realität mit Unsicherheiten belegt sind. Design Parameter variieren statistisch, beispielsweise aufgrund des Herstellungsprozesses oder aufgrund von Messfehlern. Deshalb sollte ein gutes Ergebnis nicht nur optimal sein, sondern auch robust.

Für die häufig verwendeten Methoden, um Unsicherheiten im Optimierungsprozess zu berücksichtigen, RBDO und RDO, werden Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (PDFs) verwendet, die die Streuung der stochastischen Parameter beschreiben. Die Ergebnisse dieser Methoden sind nur aussagekräftig, wenn geeignete PDFs verwendet werden, wobei diese Information unter Umständen nicht verfügbar ist.

Toleranzoptimierung bietet eine Möglichkeit, Unsicherheiten in einer Optimierung zu berücksichtigen, ohne vollständige Informationen über die Streuung der Variablen zu haben. Allerdings liefert das nur Informationen über mögliches Versagen, nicht über die Versagenswahrscheinlichkeit. Deshalb sollten unbedingt PDFs verwendet werden, falls diese vorhanden sind.

In dieser Arbeit werden beschränkte Normalverteilungen benutzt, um die Streuung einiger Blechdicken des Fahrzeugs zu beschreiben und eine Toleranzoptimierung durchzuführen. Die Sollmasse und die Toleranz werden optimiert. Über die PDFs können für die jeweilige Toleranz für alle Nebenbedingungen Versagenswahrscheinlichkeiten bestimmt werden. Das Optimierungsproblem wird so definiert, dass wie in [2]

keine Nebenbedingungen innerhalb der Toleranz verletzt werden, oder mit einer vorgegebenen kleinen Zielversagenswahrscheinlichkeit. Hier werden die Nebenbedingungen so definiert, dass kein Versagen innerhalb der Toleranz auftritt.

2 Problembeschreibung

Im Anwendungsbeispiel wird ein Frontcrash eines Chevrolet C2500 simuliert mit LS-DYNA betrachtet. Das Finite-Elemente-Modell des Fahrzeugs wurde vom National Crash Analysis Center [3] entwickelt. Das Ziel ist, die Masse des Fahrzeugs unter Einhaltung von Nebenbedingungen auf zwei Beschleunigungswerte und die Intrusion zu minimieren. Die Designvariablen sind Blechdicken ausgewählter Bauteile. Das Finite-Elemente-Modell des Kleinlastwagens und die Designvariablen sind in Abb. 1 dargestellt.

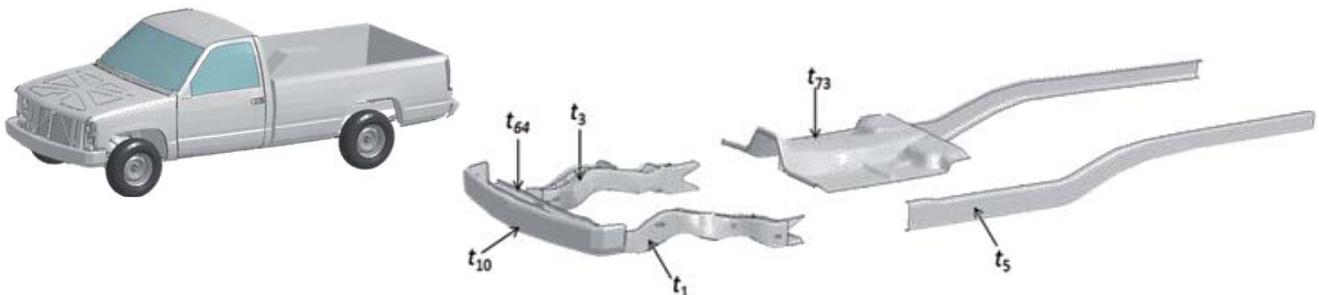


Abb. 1: FE Modell des Chevrolet C2500 (links) und Bauteile, deren Blechdicken optimiert werden (rechts).

Eine deterministische Optimierungsmethode könnte zu einem Optimum führen, das nicht robust ist, d.h. Unsicherheiten der Parameter, z.B. aufgrund der Herstellung der Bauteile, könnten zu Verletzungen der Nebenbedingungen oder sehr viel schlechteren Zielfunktionswerten führen. Um das zu vermeiden, wurde eine Toleranzoptimierung durchgeführt, d.h. zusätzlich zum oben beschriebenen Optimierungsproblem wurde die Toleranz maximiert.

3 Toleranzoptimierung

Eine Toleranzoptimierung erfordert viele Funktionsauswertungen, d.h. Finite-Elemente-Simulationen. Um hohe Rechenkosten zu vermeiden, wird die Toleranzoptimierung in zwei Schritten durchgeführt, die im Folgenden beschrieben werden.

3.1 Schritt 1

Im ersten Schritt wird eine deterministische Optimierung durchgeführt, um einerseits einen Zielwert für die Zielfunktion, in diesem Fall die Masse, und andererseits eine globale Metamodellapproximation zu erhalten. Die Masse des Fahrzeugs wird unter Berücksichtigung der Nebenbedingungen auf die Beschleunigungswerte und die Intrusion minimiert. Hierfür wird eine globale metamodell-basierte Methode verwendet. Abb. 2 zeigt die Prozesskette der Optimierung.

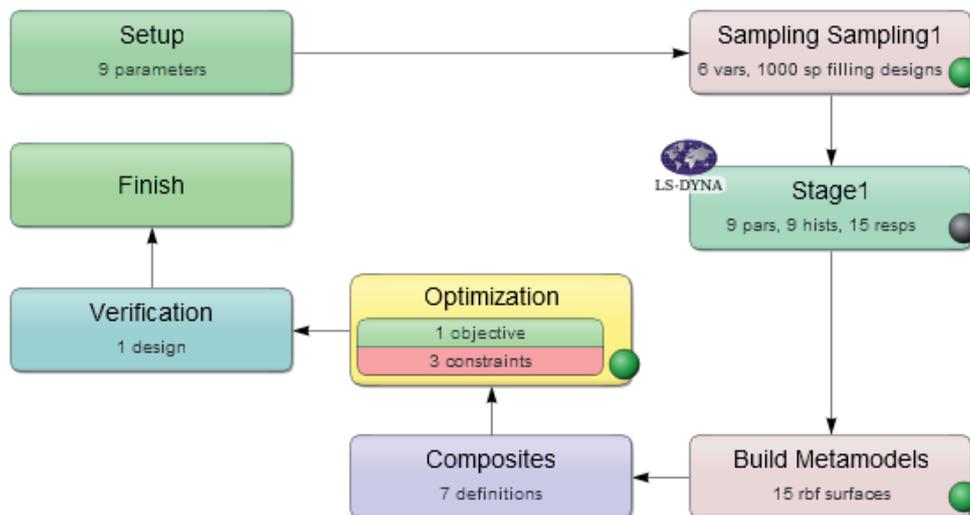


Abb. 2: Aufbau der deterministischen Optimierung in LS-OPT. Eine metamodel-basierte Methode mit Single-Iteration-Strategie und einer großen Anzahl von Simulationen wurde ausgewählt.

Eine relativ hohe Anzahl von 1000 Simulationen wurde benutzt, um ein Metamodell vom Typ Radial-Basis-Funktion (RBF) anzupassen. Da dieses Metamodell für alle weiteren Untersuchungen im zweiten Schritt benutzt wird, ist die Qualität des Metamodells entscheidend für die Qualität des Endergebnisses. Das durch die deterministische Optimierung erhaltene Optimum hat eine reduzierte skalierte Masse von 0.823 im Vergleich zum Startwert von 1. Dieser Wert wird im zweiten Schritt als zusätzliche Nebenbedingung verwendet.

3.2 Schritt 2

Im zweiten Schritt wird die Toleranzoptimierung unter Verwendung des in Schritt 1 erstellten Metamodells durchgeführt. Es sind also keine zusätzlichen LS-DYNA Simulationen notwendig. Die Toleranzoptimierung wurde als geschachtelte Optimierung mit zwei Stufen in LS-OPT aufgebaut, Abb. 3.

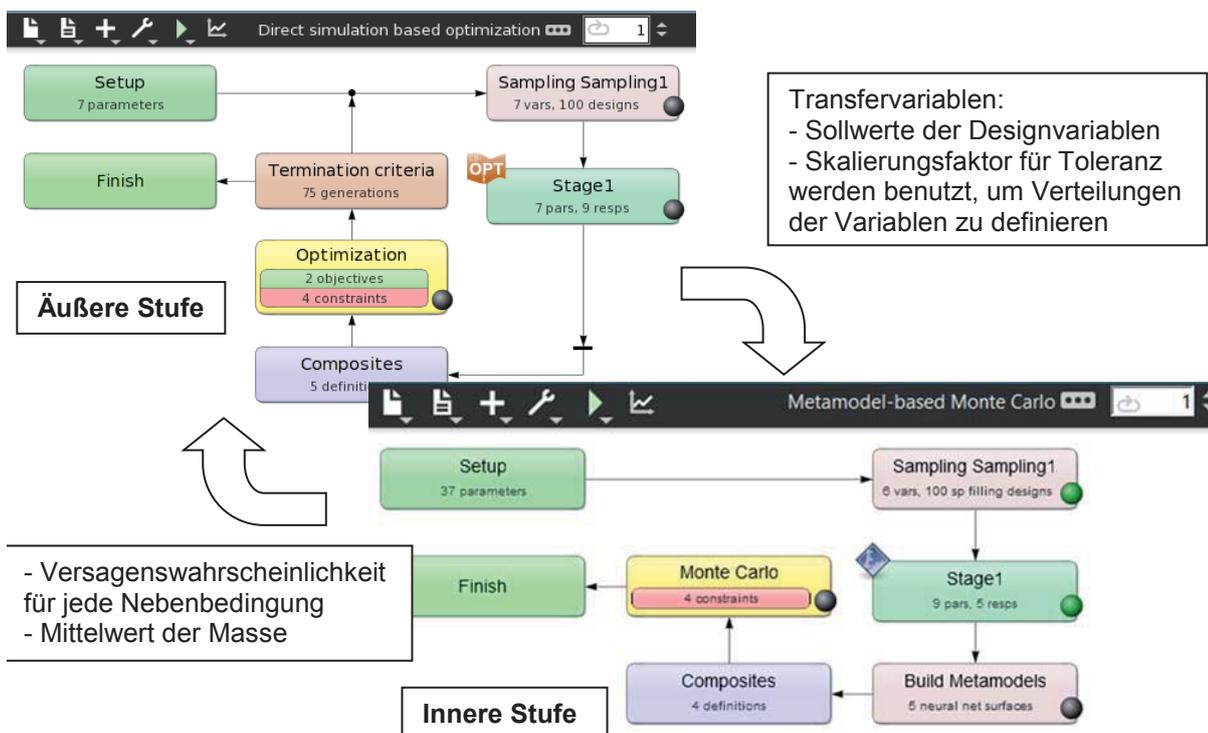


Abb. 3: Prozess der zweistufigen Optimierung, innere Stufe (unten rechts) und äußere Stufe (oben links)

Die äußere Schleife maximiert die Toleranz und minimiert die eigentlichen Zielfunktionen, in diesem Fall die Masse, in einer mehrkriteriellen Optimierung, Abb. 6. Hier wird der direkte, simulationsbasierte genetische Algorithmus NSGA-II verwendet. Das Ergebnis sind Pareto-optimale Lösungen.

Für jeden Samplingpunkt der äußeren Stufe wird in der inneren Stufe eine Monte-Carlo-Analyse durchgeführt. Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen für die Variablen werden über die Sollwerte und den Toleranzskalierungsfaktor bestimmt, die aus der äußeren Stufe übermittelt werden. In diesem Beispiel werden beschränkte Normalverteilungen verwendet. Der Mittelwert ist der jeweilige Sollwert der Variable, der aus der äußeren Stufe übermittelt wird, die Grenzen werden als Mittelwert \pm Toleranzskalierungsfaktor * Mittelwert definiert, und die Standardabweichung ist 0.02. Diese Werte definieren die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, Abb. 4.

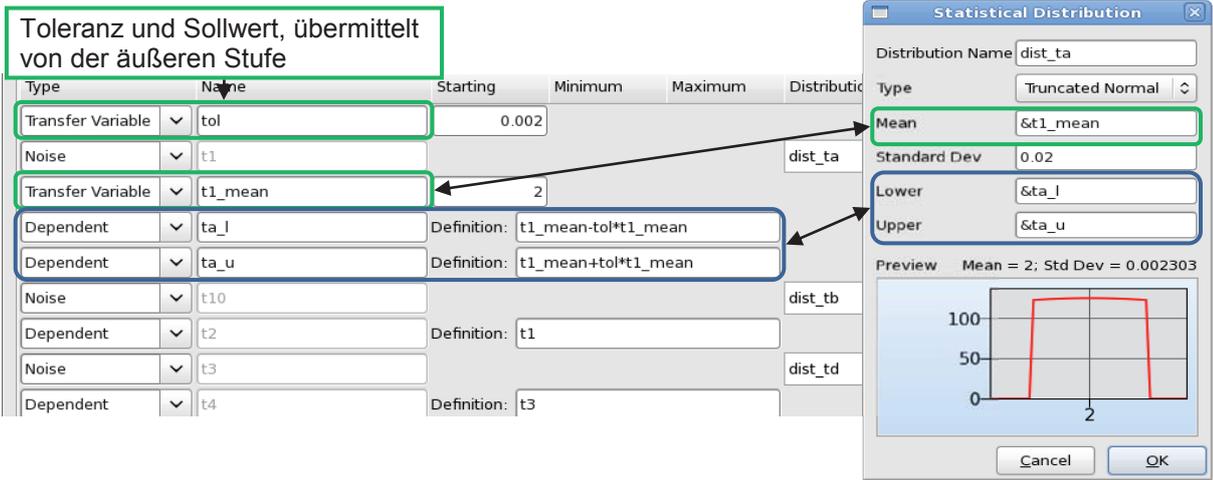


Abb. 4: Parameterdefinition der inneren Stufe (links) und Verteilung der Noise Variable (rechts). Die PDFs werden durch den Sollwert des Parameters, der aus der äußeren Stufe übermittelt wird, und dem Toleranzskalierungsfaktor bestimmt.

Die Nebenbedingungen, die in der Monte-Carlo-Analyse betrachtet werden, sind die ursprünglichen Nebenbedingungen auf die Intrusion und die Beschleunigungswerte. Zusätzlich wird eine Nebenbedingung auf die Masse definiert. Die Grenze ist ein aufgerundeter Wert des Optimums, das in Schritt 1 berechnet wurde, Abb. 5. Es ist wichtig, diese zusätzliche Nebenbedingung einzuführen, um im ganzen Toleranzintervall eine kleine Masse sicherzustellen. Die innere Stufe berechnet die Versagenswahrscheinlichkeit für jede Nebenbedingung mit Hilfe einer metamodel-basierten Monte-Carlo-Analyse. Das Metamodell, das in Schritt 1 erzeugt wurde, wird hier benutzt.

Das Ergebnis der Monte-Carlo-Analyse sind Versagenswahrscheinlichkeiten für alle Crashantworten. Diese Werte werden in der äußeren Stufe als Antworten extrahiert und als Nebenbedingung mit einer Zielversagenswahrscheinlichkeit von Null als obere Grenze definiert, Abb. 6. Das bedeutet, dass wir nach der größtmöglichen Toleranz suchen, so dass die Wahrscheinlichkeit, dass eine Nebenbedingung innerhalb der Toleranz verletzt wird, immer noch Null ist.

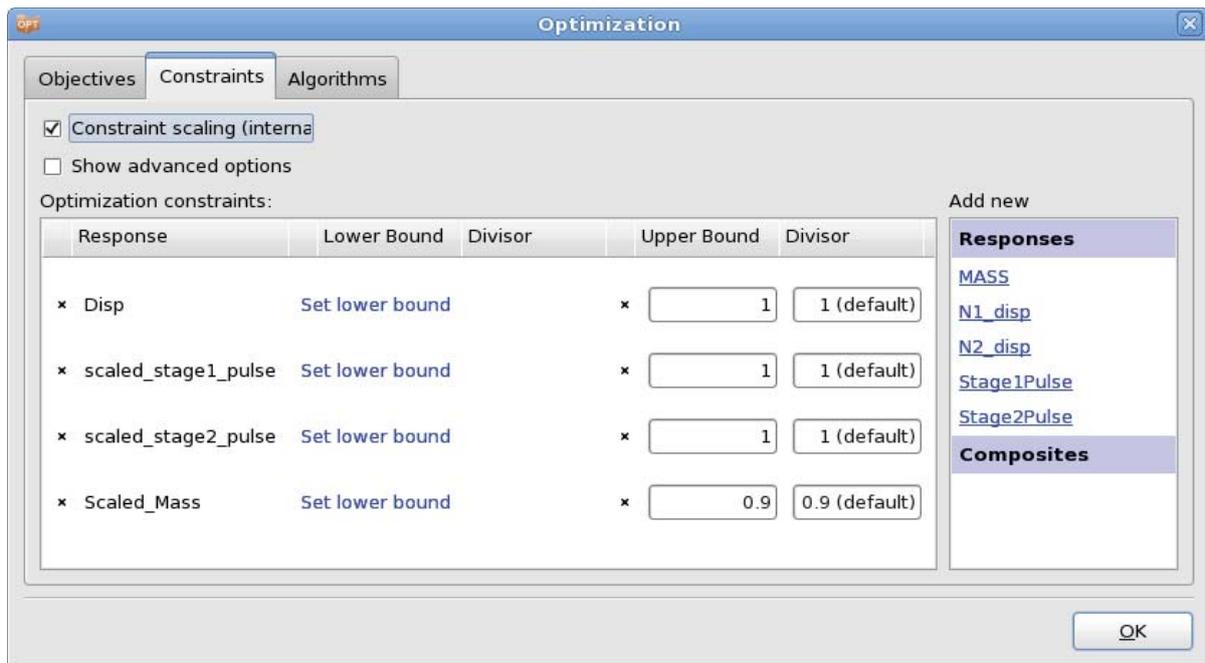


Abb. 5: Nebenbedingungsdefinitionen der inneren Stufe. Ursprüngliche Nebenbedingungen auf die Intrusion und die Beschleunigungswerte und zusätzliche Nebenbedingung auf die Masse, die Grenze ist das in Schritt 1 gefundene deterministische Optimum (aufgerundet).

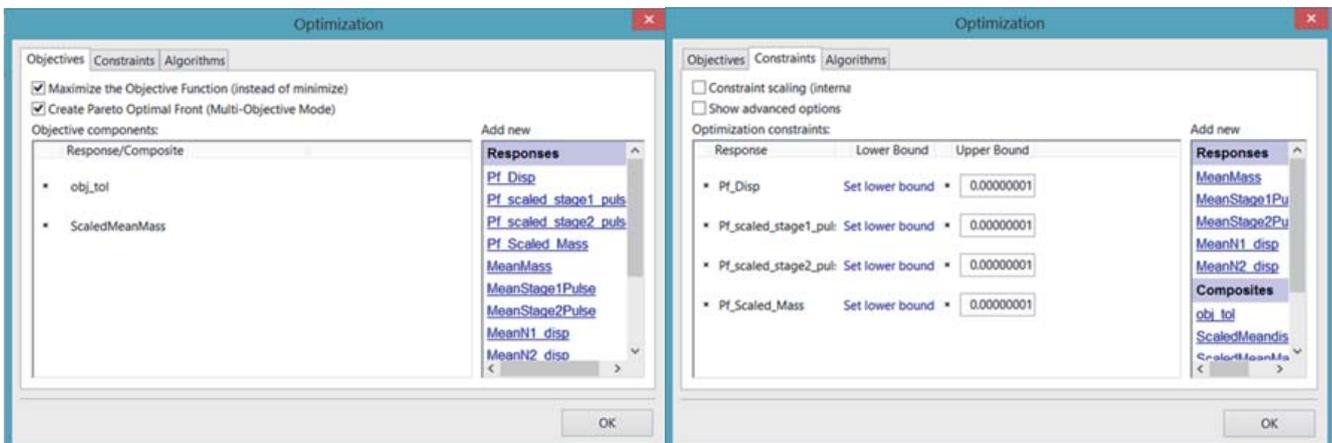


Abb. 6: Zielfunktionen der äußeren Stufe: Toleranzskalierungsfaktor und Masse (links) und Nebenbedingungen: Versagenswahrscheinlichkeiten aus der inneren Monte-Carlo-Analyse (rechts).

4 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Dicken- und Toleranzoptimierung des C2500 diskutiert. Zuerst werden in Abschnitt 0 die Ergebnisse der deterministischen Optimierung gezeigt, die die Berechnung eines globalen Metamodells für mit LS-DYNA gerechnete Punkte beinhaltet. Schritt 2 umfasst eine probabilistische Optimierung, bei der Sollwerte für die Blechdicken und die relative Toleranz optimiert werden. Die untere Grenze für die relative Toleranz ist 0.0005 oder 0.05% der Dicke. Dieser Schritt beinhaltet eine zweistufige Optimierung, wobei in der äußeren Stufe die Optimierung durchgeführt wird, und in der inneren Stufe die Versagenswahrscheinlichkeiten berechnet werden. Abschnitt 0 zeigt einige repräsentative Ergebnisse der inneren Stufe, und die Ergebnisse der äußeren Stufe sind in Abschnitt 0 dargestellt. Die folgende Notation wird benutzt:

- t_i : Dicke von Part i
- δ : relative Toleranz (gleicher Wert für alle Variablen)
- P_f : Versagenswahrscheinlichkeit
- M_s : skalierte Masse
- P_{1s} : skaliertes Stage 1 Pulse (berechnet aus Beschleunigung)
- P_{2s} : skaliertes Stage 2 Pulse (berechnet aus Beschleunigung)
- D_s : skalierte Verschiebung

4.1 Ergebnisse der deterministischen Optimierung (Schritt 1)

Im ersten Schritt wurde die deterministische Optimierung mit einer metamodell-basierten Optimierungsmethode in einer Iteration gelöst. Die unabhängigen Designvariablen waren die Blechdicken $t_1, t_3, t_5, t_{64}, t_{73}$ und t_{10} von 6 Parts, Abb. 1. Zusätzlich wurden aus Symmetriegründen drei abhängige Variablen definiert, $t_2 = t_1, t_4 = t_3$ und $t_6 = t_5$. Als Versuchsplan wurden 1000 Space-Filling-Punkte gewählt. Der Designraum war wie folgt definiert: $t_1, t_2 \in [2.5096, 3.7644]$, $t_3, t_4 \in [2.3976, 3.5964]$, $t_5, t_6 \in [2.7200, 4.0800]$, $t_{10} \in [2.1600, 3.2400]$, $t_{64} \in [1.0096, 1.5144]$ und $t_{73} \in [1.5920, 2.3880]$.

Das Ausgangsmodell und das deterministische Optimum werden in Tabelle 1 verglichen. Das globale Metamodell der Zielfunktion, d.h. die skalierte Masse, ist in Abb. 7 in Abhängigkeit von zwei Variablen dargestellt. Das Schaubild zeigt einen dreidimensionalen Schnitt durch das Metamodell. Alle Variablen, die nicht auf der x- bzw. y-Achse dargestellt sind, wurden auf den jeweiligen optimalen Wert gesetzt. Die Nebenbedingungen sind auf dem Metamodell visualisiert, und das Optimum ist dargestellt. Wie für eine deterministische Optimierung erwartet, sind die Werte der Nebenbedingungen für das Optimum nahe an den Grenzen. Eine kleine Störung des Designs könnte leicht zu Nebenbedingungsverletzungen führen. Deshalb wird im zweiten Schritt eine Toleranzoptimierung durchgeführt.

Die Accuracy Plots der Zielfunktion und der Nebenbedingung sind in Abb. 8 dargestellt. Da diese Metamodelle im zweiten Schritt an Stelle von tatsächlichen LS-DYNA Simulationen benutzt werden, sollte die Qualität der Metamodelle untersucht werden. Der Accuracy Plot stellt berechnete Werte gegen Metamodellwerte dar. Je näher die Punkte an der schwarzen Linie liegen, desto besser trifft das Metamodell die Simulationenpunkte. Zusätzlich werden verschiedene Fehlermaße im Titel des Plots dargestellt, die helfen, die Qualität des Metamodells zu beurteilen.

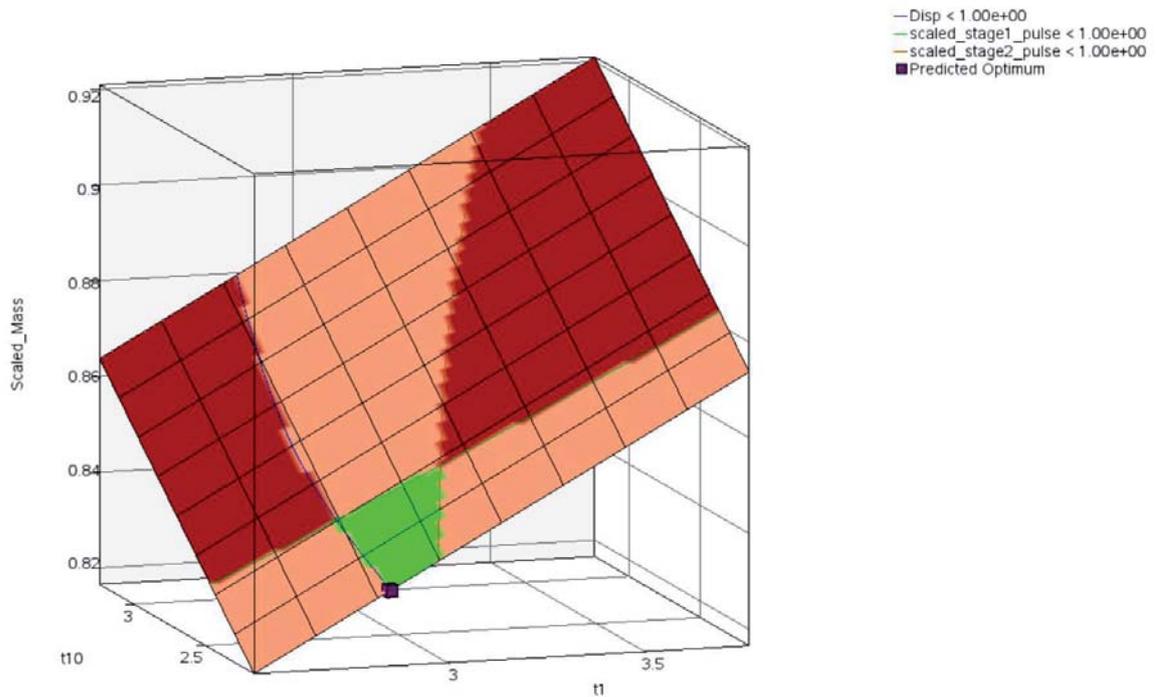


Abb. 7: 3D Metamodell der Zielfunktion (Masse), die Nebenbedingungen und das Optimum sind auf der Fläche dargestellt. Im grünen Bereich sind alle Nebenbedingungen erfüllt, je dunkler der Rotton, desto mehr Nebenbedingungen sind verletzt.

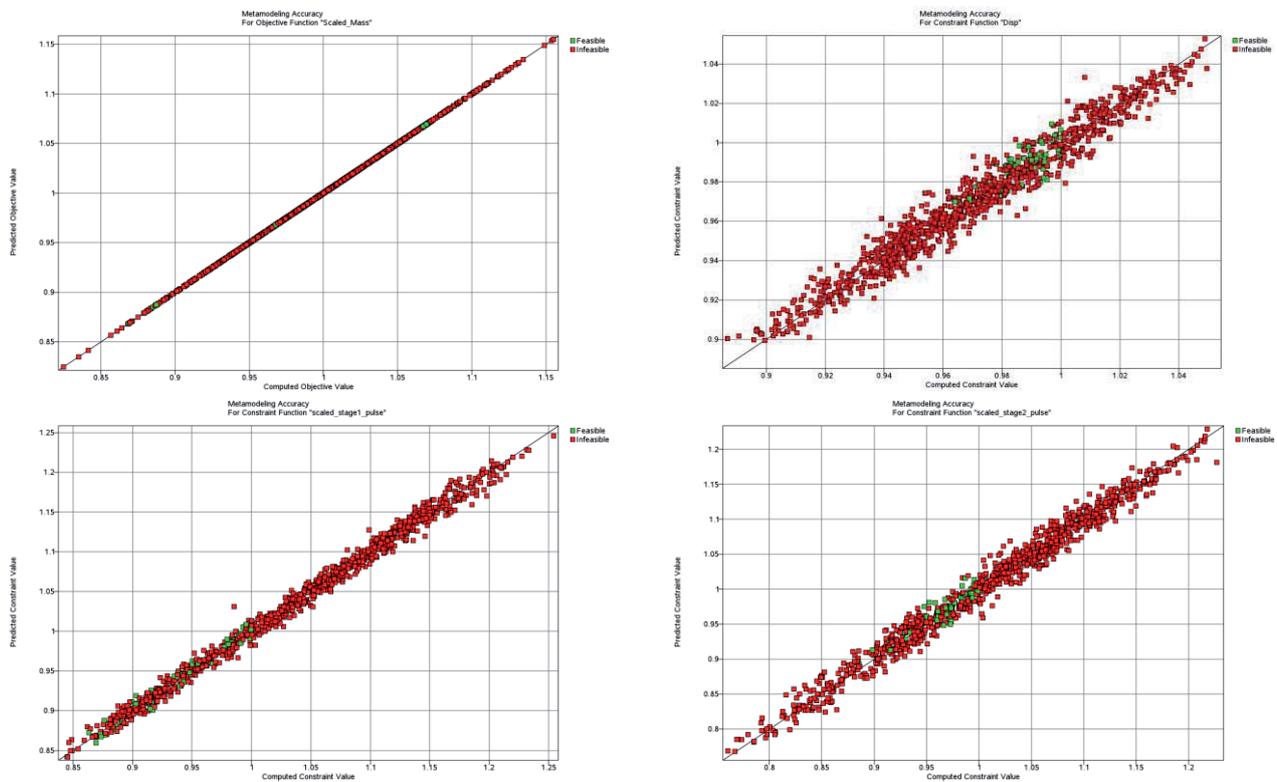


Abb. 8: Accuracy Plots des globalen Metamodells für die Zielfunktion und die Nebenbedingungen.

Tabelle 1: Vergleich des Ausgangsmodells mit dem deterministischen Optimum.

	t_1, t_2	t_3, t_4	t_5, t_6	t_{10}	t_{64}	t_{73}	M_s	D_s	P_{1s}	P_{2s}
Ausgangsmodell (berechnet)	3.137	2.997	3.400	2.700	1.262	1.990	1.000	0.979	1.035	1.013
Deterministisches Optimum (berechnet)	2.860	2.760	2.720	2.160	1.010	1.600	0.832	1.002	0.922	1.034
Deterministisches Optimum (Metamodell)	—	—	—	—	—	—	0.832	1.000	0.926	0.979

4.2 Ergebnisse der Toleranzoptimierung (Schritt 2)

In diesem Abschnitt sind Ergebnisse der Toleranzoptimierung dargestellt. In der Monte-Carlo-Analyse der inneren Stufe wurden Versagenswahrscheinlichkeiten berechnet, die dann in der äußeren Stufe als Nebenbedingung mit einer oberen Grenze von Null definiert wurden. Die Ergebnisse der beiden Stufen werden in den nächsten Abschnitten gezeigt.

4.2.1 Ergebnisse der inneren Monte-Carlo-Analyse

Für jeden Punkt der äußeren Stufe werden in der inneren Stufe die Versagenswahrscheinlichkeiten berechnet. 10^6 Monte-Carlo-Punkte wurden jeweils benutzt, um die P_f Werte zu berechnen. Die Blechdickenvariablen wurden als Noise Variablen mit beschränkten Normalverteilungen als PDFs definiert. Die Standardabweichung wurde auf den konstanten Wert 0.02mm gesetzt, während die Mittelwerte und die Grenzen für die Verteilung aus den Variablen, die aus der äußeren Stufe übermittelt wurden, berechnet wurden. Die statistischen Ergebnisse einiger ausgewählter Designs werden in diesem Abschnitt gezeigt, um die Bedeutung der Einflüsse von Unsicherheiten und somit den Sinn der Durchführung einer Toleranzoptimierung zu unterstreichen.

Die statistischen Ergebnisse des Ausgangsmodells, des deterministischen Optimums, und einer ausgewählten Pareto-optimalen Lösung sind in Tabelle 2 gegenübergestellt.

Das Histogramm (Abb. 9) und der Boxplot (Abb. 10) werden verwendet, um statistische Größen zu visualisieren. Sowohl die absolute also auch die relative Häufigkeitsverteilung (d.h. PDF) sind dargestellt. Der Mittelwert und die Standardabweichung werden auch visualisiert.

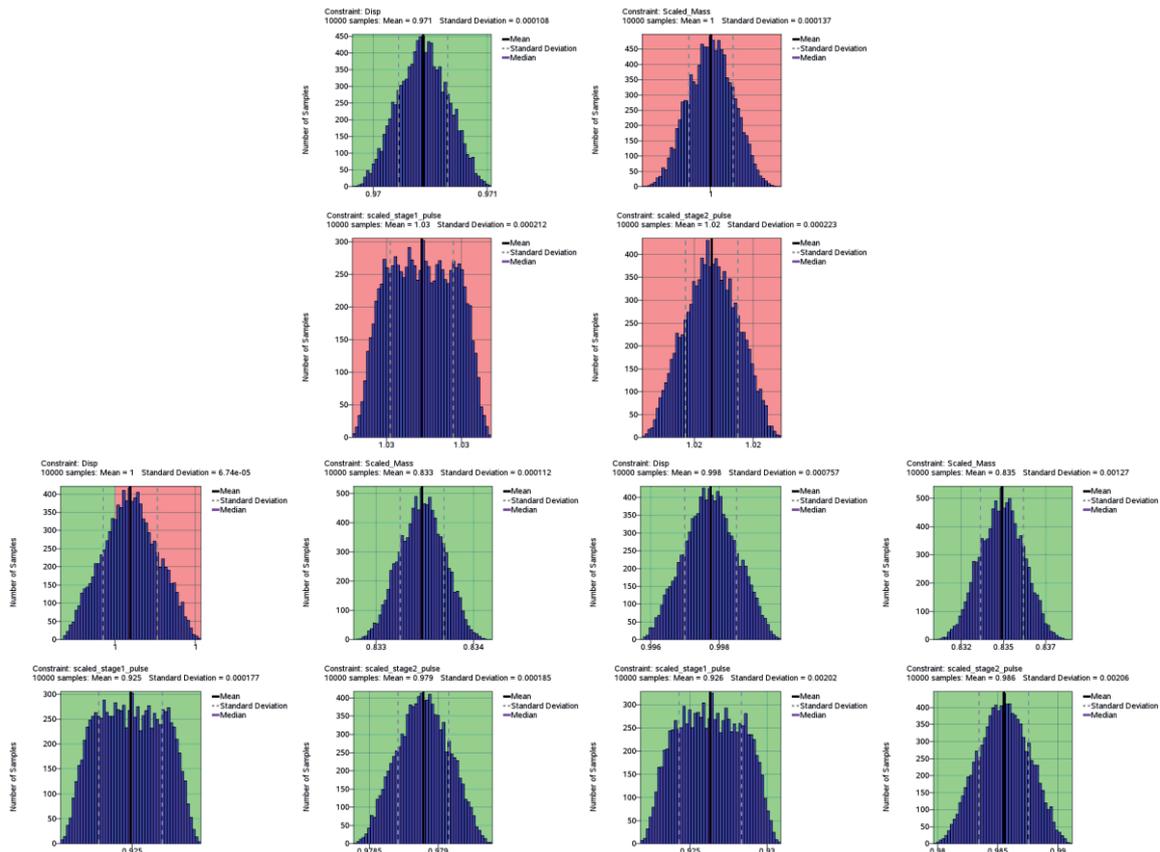


Abb. 9: Histogramm: Ausgangsmodell (oben), deterministisches Optimum (unten links) und Pareto optimale Lösungen (unten rechts).

Tabelle 2: Vergleich von Nebenbedingungen und Zielfunktion des Ausgangsmodells, deterministisches Optimum und ausgewählte Pareto-optimale Lösung.

	Ausgangsmodell			Ergebnis der deterministischen Optimierung			Ausgewählte Pareto-optimale Lösung		
	mean	std	P_f	mean	std	P_f	mean	std	P_f
Stage Pulse 1	1.03	0.000212	1	0.925	0.000177	0	0.926	0.00202	0
Stage Pulse 2	1.02	0.000223	1	0.979	0.000185	0	0.986	0.00206	0
Disp	0.971	0.000108	0	1	6.7e-05	0.707	0.998	0.000757	0
Scaled Mass	1	0.000137	1	0.833	0.000112	0	0.835	0.00127	0

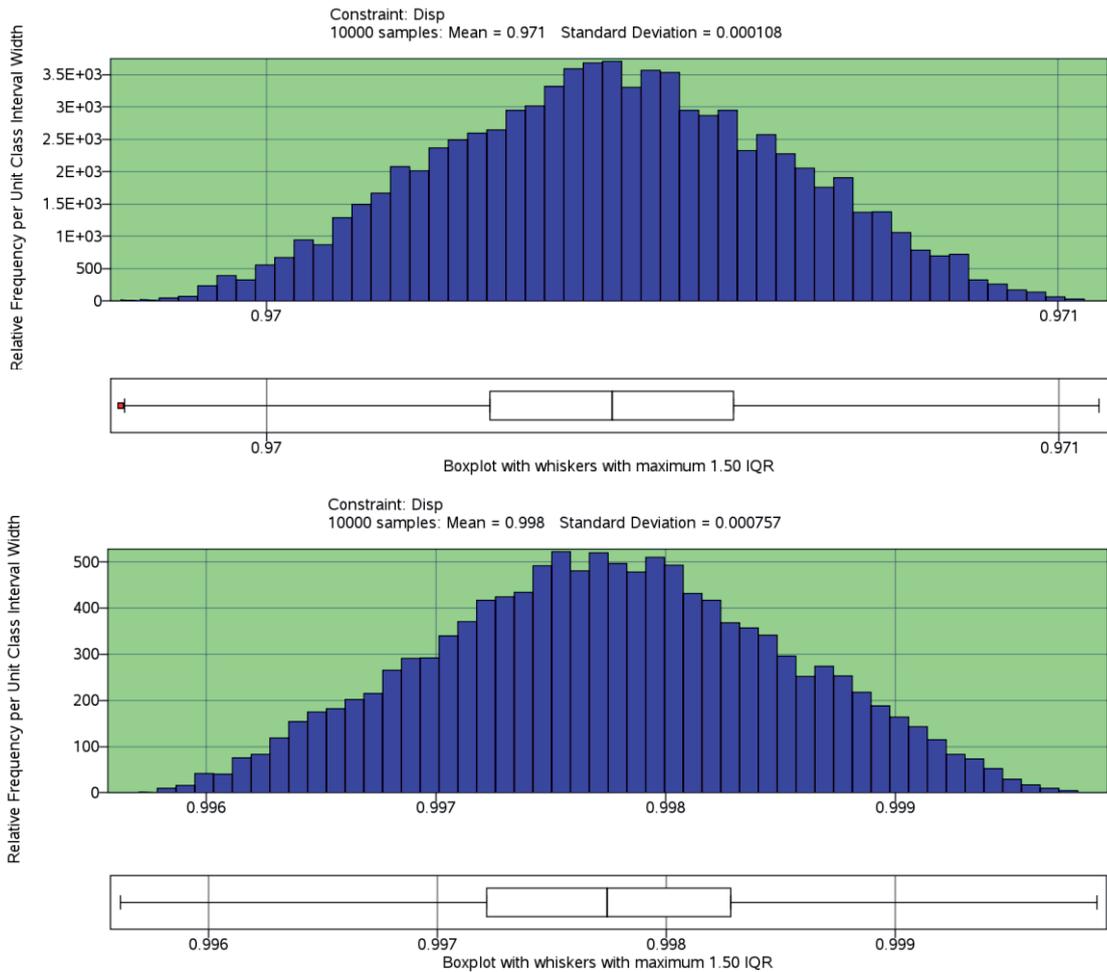


Abb. 10: Histogramm und Boxplot der Verschiebung, Ausgangsmodell (oben) und ausgewählte Pareto-optimale Lösung (unten).

4.2.2 Ergebnisse der äußeren Stufe

Das mehrkriterielle Optimierungsproblem der äußeren Stufe (Abschnitt 0) wurde mit der direkten simulationsbasierten Optimierungsmethode von LS-OPT, einem Genetischen Algorithmus (NSGA-II) gelöst. Zusätzlich zu den Blechdicken wurde die relative Toleranz δ optimiert. Den Wahrscheinlichkeitsnebenbedingungen, die in der inneren Schleife berechnet wurden, wurde eine obere Grenze von Null zugewiesen. Da die innere Schleife 10^6 Monte-Carlo-Punkte benutzt, um P_f zu berechnen, wurden die Grenzwerte auf 10^{-6} gesetzt. Es wurde in jeder Iteration eine Population von 100 Punkten betrachtet mit einer Maximalanzahl von 100 Iterationen. Somit wurden in jeder Iteration der äußeren Stufe 100 Punkte analysiert, wobei für jeden Punkt die innere Monte-Carlo-Analyse durchgeführt wurde.

Das Ergebnis einer mehrkriteriellen Optimierung gelöst mit dem NSGA-II ist keine eindeutige optimale Lösung, sondern, da die Zielfunktionen gegenläufig sind, viele Pareto optimale Lösungen. Der Tradeoff Plot kann verwendet werden, um aus allen Lösungen eine Lösung mit akzeptabler Toleranz und Masse auszuwählen, Abb. 11.

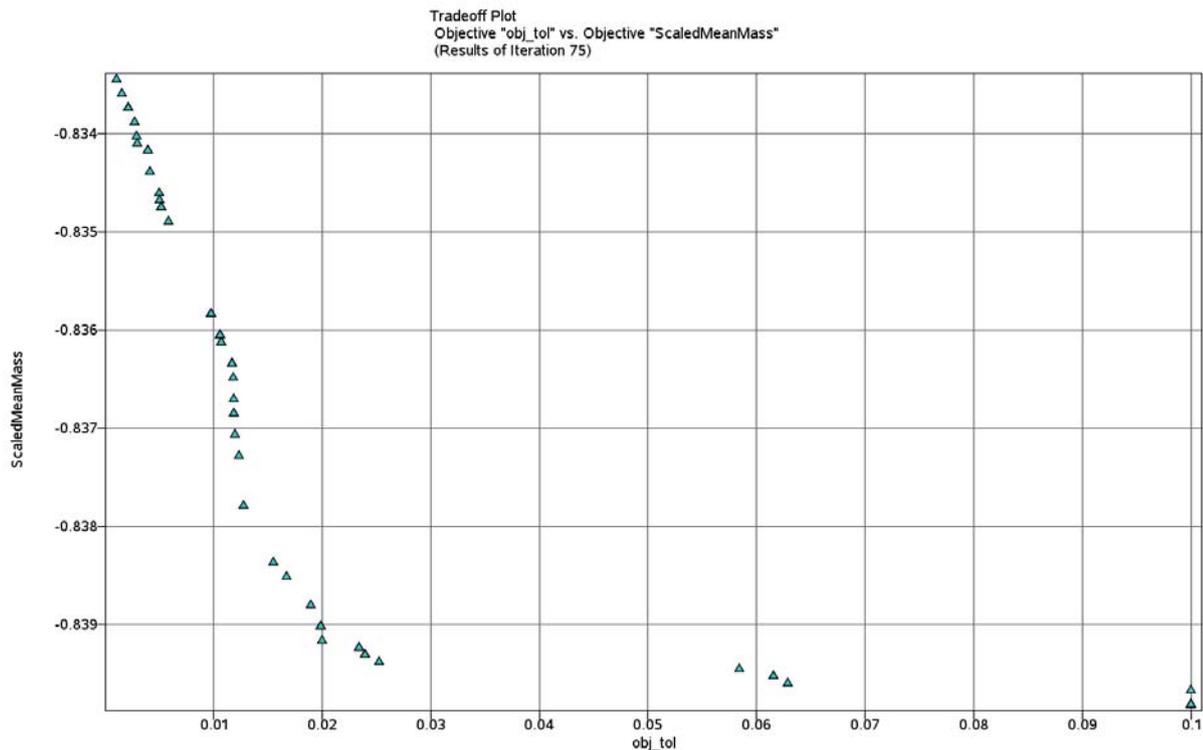


Abb. 11: Pareto optimale Lösungen, Toleranz gegen Masse.

Die Paretofront besteht aus drei getrennten Gebieten und zeigt, dass eine minimale skalierte Masse von ungefähr 0.8335 erreicht werden kann, wobei 1 die skalierte Masse des Ausgangsmodells ist. Das entspricht einer Massenreduktion um 23.1kg. Die Massenreduktion aller Pareto-optimaler Lösungen variiert zwischen 22.2kg und 23.1 kg, d.h. die Massen der Pareto optimalen Lösungen unterscheiden sich kaum, wohingegen große Unterschiede in den Toleranzwerte bestehen. Die maximale Toleranz ist ungefähr 0.1 bzw. 10%. Somit kann ohne großen Massenanstieg eine wesentlich höhere Toleranz erzielt werden, was einer robusteren Lösung entspricht.

5 Zusammenfassung

Eine mehrkriterielle Toleranz- und Massenoptimierung des Chevrolet C2500 wurde gezeigt. Da es aufgrund der gegenläufigen Ziele keine eindeutige Lösung dieses Problems gibt, erhält man viele Pareto-optimale Lösungen, aus denen der Ingenieur mit Hilfe seiner Erfahrung eine für das Problem geeignete Lösung auswählen kann. Die Robustheit des Designs wurde dadurch verbessert, dass eine toleranzbasierte Optimierung durchgeführt wurde. Für dieses Beispiel kann eine große Toleranz erzielt werden, ohne große Kompromisse bezüglich der Masse einzugehen. Trotzdem muss man mit dieser Lösung vorsichtig umgehen, wenn man die Toleranz zu stark erhöht, da etwas Streuung in der Antwort vorhanden ist. Somit kann das globale Metamodell lokale Ungenauigkeiten aufweisen. Das aus den Pareto-optimale Lösungen ausgewählte Design sollte auf alle Fälle validiert werden. Für die Zukunft ist angedacht, adaptive Samplingmethoden zu verwenden, um die Genauigkeit der Metamodelle und somit die Genauigkeit der Aussagen aus der Toleranzoptimierung zu verbessern.

6 Literatur

- [1] Stander, N, Roux WJ, Basudhar, A, Eggleston, T, Goel, T, Craig, K: "LS-OPT® User's Manual", Version 5.1, Livermore Software Technology Corporation, 2014
- [2] Basudhar, A, Stander, N, Gandikota, I, Svedin, Å, Witowski, K: "Design Tolerance Optimization using LS-OPT", 13th LS-DYNA Forum, 2014
- [3] National Crash Analysis Center. Finite element model archive, <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>. Nov 2008.

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 (4/2015)

Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

- NAFEMS Mitgliedschaft
- NAFEMS e-learning
- NAFEMS Magazin „Benchmark“
- Professional Simulation Engineer PSE
- NAFEMS Seminare
- Internationale Arbeitsgruppen
- NAFEMS Trainingskurse
- NAFEMS Regionalkonferenzen

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

Bitte senden Sie das NAFEMS Magazin auch an:

Firma: _____

Firma: _____

Abt.: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Tel.: _____

Fax: _____

Fax: _____

e-mail: _____

e-mail: _____

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 (4/2015)

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 Regionalkonferenzen |

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