



Online-Magazin

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

Fachbeiträge in dieser Ausgabe

Strömungsmechanik:

Konservative Interpolation von CFD Ergebnissen mit einer kalibrierten Finite Volumen Methode

Strukturmechanik:

Bewertung und Optimierung der Faserverbundeignung von Leichtbaustrukturen in den frühen Phasen der Produktentwicklung

Zur Simulation der Volumenquellung von Gummi

Ganzheitliche simulationsgestützte Produktentwicklung – Wunsch oder Wirklichkeit?

Hochleistungsrechnen:

Hochleistungsrechnen auf Grafikkarten für innovative Anwendungen in der Automobilindustrie

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

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

Trainingskurse – Quick-Info

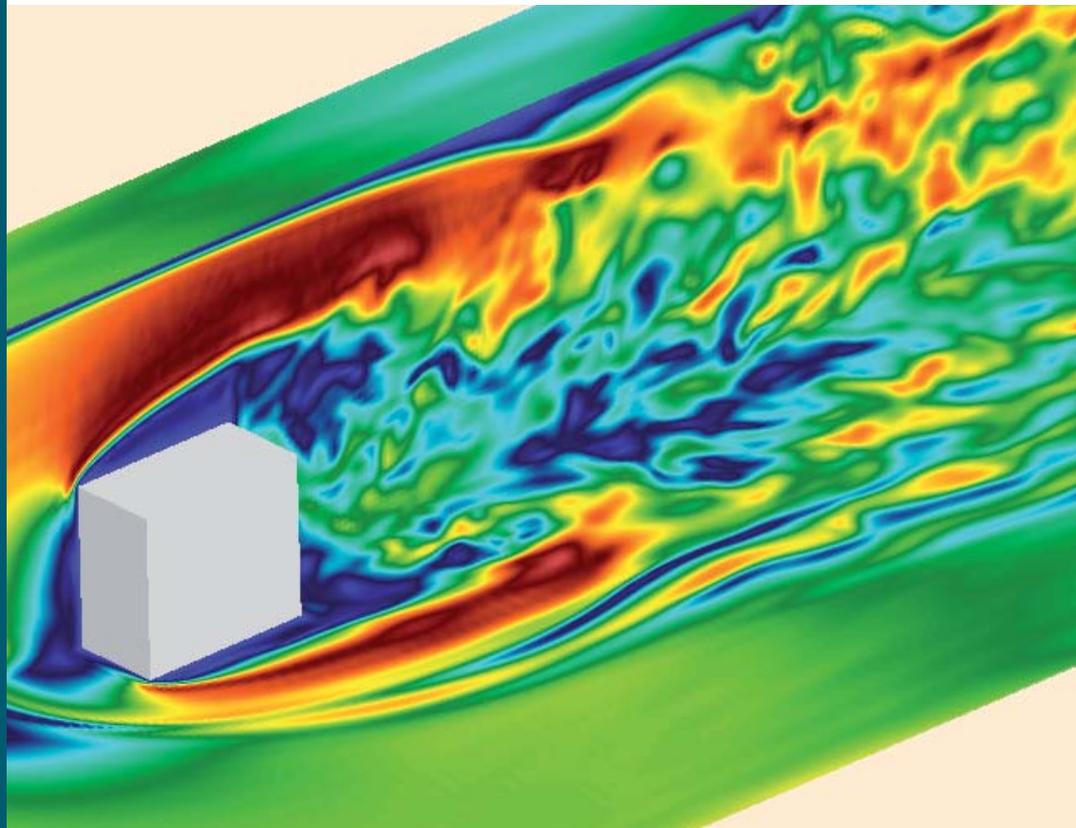
- Einführung FEM**
26. - 28. Januar, Wiesbaden
- Verification & Validation of Models and Analyses**
3. - 4. März, Wiesbaden
- Einführung CFD**
21. - 22. April, Wiesbaden
- Simulation von Composites**
05.-06. Mai, Wiesbaden
- Weitere Kurstermine für 2015 finden Sie in Kürze unter www.nafems.org/events
- e-Learning-Kurse**
u. a. zu Turbulence Modeling, Fatigue & Fracture, Modelling of Joints and Connections

Kostenlose Stellenanzeigen für NAFEMS Mitgliedsunternehmen



CAEJobsite.com
 The NAFEMS online jobsite for CAE Engineers

Das internationale Stellenportal für CAE-Ingenieure - jetzt online!!!



Mehr als 400 Abstracts eingereicht – Forum „Additive Fertigung / 3d-Druck“ geplant



NWC NAFEMS
NAFEMSWORLD CONGRESS 2015
 21-24 JUNE | SAN DIEGO | CALIFORNIA | USA

spdm
 INTERNATIONAL CONFERENCE
 Simulation Process & Data Management

A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION

www.nafems.org/congress

Werden Sie Mitglied in unserer NAFEMS-Gruppe bei XING!

Sponsoren dieser Ausgabe:



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

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

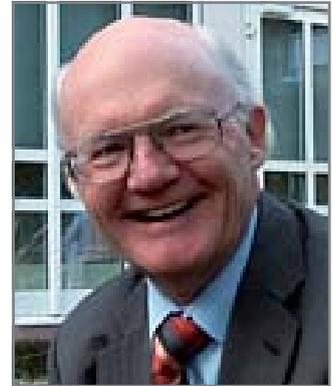
in den vergangenen Tagen und Wochen konnte sich die Mission Rosetta der Europäischen Weltraumorganisation ESA über eine hervorragende Medienpräsenz freuen. Die Landung auf einem Kometen wurde sogar in den Hauptnachrichten der Tagesschau gewürdigt. Sie hat zwar nicht ganz so geklappt, wie die Forscher und Ingenieure es geplant hatten; die Verankerungsmechanismen haben nicht wie vorgesehen funktioniert. Dennoch konnten wichtige wissenschaftliche Erkenntnisse erzielt und interessante Bilder erzeugt werden, und die Mission ist ja noch nicht beendet. Neben der verständlichen Freude über den grandiosen Erfolg sollte auch bedacht werden, welche geistigen Leistungen in dem gesamten Prozess von den ersten Ideen über die Planung und Entwicklung bis zur Fertigung, dem Austesten und schließlich dem Start nötig waren. Viele Konfigurationen und unterschiedliche Vorgehensweisen wurden erdacht und unter Einbeziehung vorhandenen Wissens getestet. Simulationen spielten dabei eine entscheidende Rolle. Zwar hat sich auch hier gezeigt, dass selbst die ausgefeiltesten Modelle die Realität nicht mit allen Aspekten vollständig widerspiegeln können. Aber der Nutzen der Simulation ist unbestritten. NAFEMS hat es sich zum Ziel gesetzt, die sichere und verlässliche Nutzung der numerischen Simulation zu fördern; dazu dient auch dieses Online-Magazin.

Sie lesen gerade im Heft 32 des Magazins; die Fachbeiträge darin behandeln Themen aus den Bereichen Strömungsmechanik, Strukturmechanik und Hochleistungsrechnen. Der erste Beitrag behandelt eine Strömungsberechnung mit kalibrierter Volumenmethode, wobei der Rechenaufwand durch Interpolation reduziert wird bei hoher Genauigkeit für jene Ergebnisse, die für eine Entscheidung wesentlich sind, aber geringerer Genauigkeit für Nebensächliches. Danach wird ein Bewertungsalgorithmus vorgestellt, mit dem die generelle Eignung einer Struktur für die Fertigung aus einem Faser-Kunststoffverbund festgestellt und Bereiche identifiziert werden, die noch optimiert werden müssen. Durch Einwirkung von Gasen oder Flüssigkeiten können Elastomere aufquellen und damit auch ihre mechanischen Eigenschaften erheblich ändern. Im dritten Beitrag wird an einem Beispiel aus der Dichtungstechnik gezeigt, wie diese Änderungen im Rahmen einer FE-Analyse berücksichtigt werden können. Danach werden die hervorragenden Möglichkeiten der simulationsgestützten Entwicklung von Bauteilen aus Faserverbunden für die Automobilindustrie herausgestellt. Der Beitrag weist aber auch auf Schwächen in der Prozesskette hin. Schließlich wird am Beispiel der Simulation einer Mehrphasenströmung in Verbindung mit einem sich bewegenden Körper gezeigt, dass sich durch Einsatz von universalen Graphik-Prozessoren die Rechenzeit drastisch reduzieren lässt.

Diese fünf Fachbeiträge sind vielleicht nicht so spektakulär wie die Rosetta-Mission. Sie bieten jedoch einen kleinen Einblick in die vielen Möglichkeiten der numerischen Simulation. Ich wünsche mir, dass auch für Sie etwas Interessantes dabei ist.

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.3ds.com/simulia



www.esi-group.com



www.intes.de



www.mscsoftware.com



www.simpack.com

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

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

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

Mitglieder des internationalen NAFEMS Councils

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

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

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

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

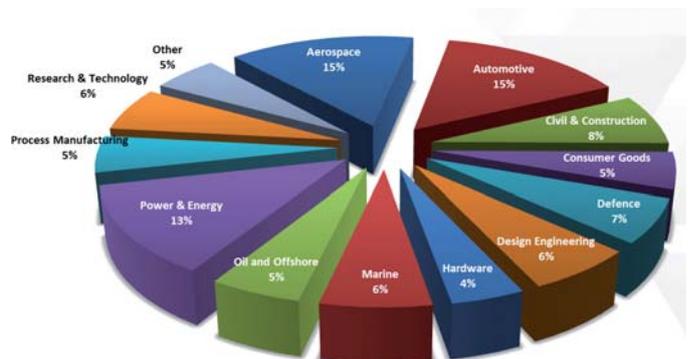
Die Mitglieder des NAFEMS Steering Committees für Deutschland, Österreich und Schweiz sind:

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

Mitglied bei NAFEMS?

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

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



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



Impressum

Editor-in-Chief

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

Redaktioneller Beirat

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

Redaktion

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

Gestaltung / Layout / Anzeigen

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

Bezugspreis / Aboservice

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

Anzeigenpreise

Preisliste vom 01.01.2014

Verteilung / Bezug

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

Copyright © 2014, Werbos GbR.

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

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

ISSN 2311-522X

Vorwort des Editor-in-Chief..... 2
Sponsoren 3
Über NAFEMS..... 4
Inhalt / Impressum 5
NAFEMS CAEjobsite.com..... 6
NAFEMS Events
Schulungen, Seminare, Konferenzen, e-Learning, Trainer 7
Trainingskurse
Einführung in die praktische Anwendung der FEM 8
Introduction to CFD Analysis: Theory & Applications 9
Verifikation und Validierung (V&V) 10
Simulation und Analyse von Composites 12
Seminar
Multi-Objective Optimization and Robustness 13
Stellenanzeige..... 14
NAFEMS World Congress / Int. SPDM Conference 2015 15
Literatur
e-library / Bestellvorgang / Neue NAFEMS Publikationen 19
Professional Simulation Engineer PSE 20
Neuigkeiten 26
Veranstaltungskalender..... 42
Fachbeiträge
Strömungsmechanik
Konservative Interpolation von CFD Ergebnissen mit einer kalibrierten Finite Volumen Methode..... 44
B. Somogyi, R. A. Almbauer (TU Graz); A. Domaingo (Virtual Vehicle Research Center); N. Peller (Audi AG); A. Lichtenberger (Magna Powertrain Engineering Center Steyr GmbH & CoKG)
Strukturmechanik
Bewertung und Optimierung der Faserverbundeignung von Leichtbaustrukturen in den frühen Phasen der Produktentwicklung 55
D. Klein, C. Witzgall, S. Wartzack (Universität Erlangen-Nürnberg)
Zur Simulation der Volumenquellung von Gummi 67
M. Achenbach (Ingenieur- und Sachverständigenbüro Achenbach)
Ganzheitliche simulationsgestützte Produktentwicklung – Wunsch oder Wirklichkeit? 75
T. Burkart, P. Schilling, M. Kreutzmann (P+Z Engineering GmbH)
Hochleistungsrechnen
Hochleistungsrechnen auf Grafikkarten für innovative Anwendungen in der Automobilindustrie 86
C. F. Janßen (TU Hamburg-Harburg);
T. Grahs (TU Braunschweig / move-csc)
Werbeanzeigen
Altair Engineering 27, 29
Cadferm 31
esocet 33
DYNAmore 35
www.CAEjobsite.com 39
NAFEMS Mitgliedschaft im Detail / BENCHmark 37, 43
Rückmeldeformular 97

NEU!

Der internationale Stellenmarkt für CAE-Ingenieure.
– NAFEMS Mitgliedsunternehmen schalten kostenlos!

Ein neuer Service von



▶ CAEJobsite.com

The NAFEMS online jobsite for CAE Engineers

CAEJobsite.com

focuses on engineers working in numerical simulation methods and related fields (FEA, CFD, MBS, VR, etc.).

Recruiters

can place their adverts and reach out to thousands of CAE engineers across the globe, from experts to the newly-qualified.

Jobhunters

can easily find new opportunities by using our simple browse & search systems.

NAFEMS member companies

can promote their vacancies free of charge, as part of their membership package.



Schulungen

- Einführung in die praktische Anwendung der FEM** 26. - 28. Januar
Wiesbaden, D – Inhalte und Infos auf Seite 8
www.nafems.org/events/nafeems/2015/dach-fea2b
- Verification & Validation of Models and Analyses (V&V)** 03. - 04. März
Wiesbaden, D – Inhalte und Infos auf Seiten 10-11
www.nafems.org/events/nafeems/2015/vandv1
- Introduction to CFD Analysis: Theory and Applications** 21. - 22. April
Wiesbaden, D – Inhalte und Infos auf Seite 9
www.nafems.org/events/nafeems/2015/comp-course1
- Simulation und Analyse von Composites** 05. - 06. Mai
Wiesbaden, D – Inhalte und Infos auf Seite 12
www.nafems.org/events/nafeems/2015/comp-course1

Seminare

- Multi-Objective Optimization and Robustness - Call for Papers** 23. - 24. März
Wiesbaden, D – Inhalte und Infos auf Seite 13
www.nafems.org/2015-opt

NAFEMS World Congress 2015

21. - 24. Juni



San Diego, USA, – Inhalte und Infos auf Seiten 15 - 19
www.nafems.org/congress

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

Fatigue & Fracture Mechanics	Practical CFD	Advanced Dynamic FE Analysis
Non-Linear Analysis	Structural Optimization	Basic FE Analysis
Elements of Turbulence Modeling	Joints and Connections	Fluid Dynamics Review for CFD

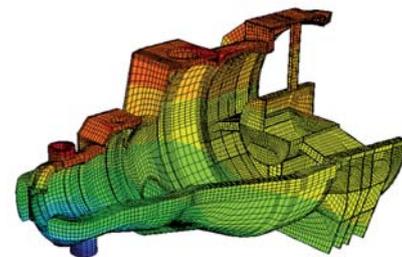
Aktuelle Termine und weitere Infos unter www.nafems.org/e-learning

Werden Sie NAFEMS Trainer

NAFEMS wird das Kursangebot regional und international ausbauen und sucht Ingenieure aus Industrie und Hochschule, die gerne (nebenbei) als Referenten arbeiten möchten. Bei Interesse senden Sie bitte eine e-mail an info@nafems.de.

NAFEMS Trainingskurse FEM

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



26. - 28. Januar 2015 in Wiesbaden / auch als Inhouse-Kurs buchbar

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

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

Inhalte

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

Referent



Dr. sc. techn. ETH/SIA Yasar Deger hat langjährige, breitgefächerte Erfahrung in der Praxis der FEM und in der Angewandten Mechanik. Er ist als Dozent für Technische Mechanik und FEM an der HSR, Hochschule für Technik Rapperswil, in der Schweiz tätig und erteilt ausserdem seit 1992 Weiterbildungskurse / Workshops für Konstrukteure und Ingenieure in der Industrie. Sein Buch „Die Methode der Finiten Elemente“ erscheint beim Expert Verlag und ist Teil der Kursunterlagen.

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.

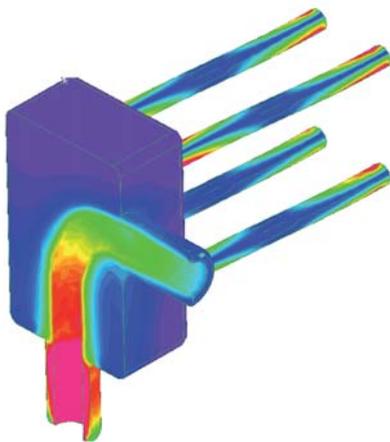
www.nafems.org/events/nafems/2015/dach-fea2b

NAFEMS Trainingskurs CFD

Introduction to CFD Analysis: Theory and Applications

21. - 22. April 2015 in Wiesbaden / auch als Inhouse-Kurs buchbar

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



Inhalte

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

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

Kurssprache

Englisch / Deutsch, falls nur deutschsprachige Teilnehmer.

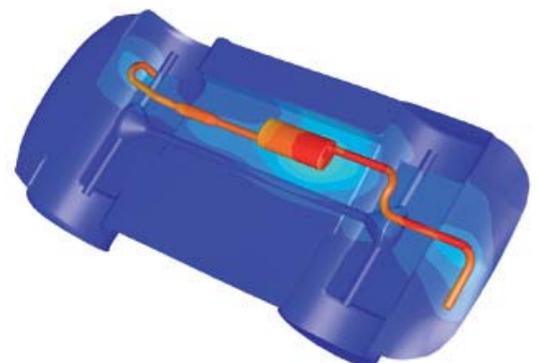
Inhouse-Kurs

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.



www.nafems.org/events/nafems/2015/comp-course1

NAFEMS Trainingskurs V&V (englischsprachig)

Verification & Validation of Models and Analyses

3. - 4. März 2015 / auch als Inhouse-Kurs buchbar

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

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

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

The Course

Participants of this master class will:

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

Who Should Attend?

This master class course is designed for:

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

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

Program

Introduction

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

Validation, Qualification & Certification of Industrial Products

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

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

V&V and Simulation Management

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

Realistic Simulation

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

V&V Fundamentals and Standards

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

Verification

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

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

Uncertainty Quantification

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

V&V Implementation Strategies

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

Course Language

Englisch

Tutors



Jean-Francois Imbert

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



Philippe Pasquet

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

www.nafems.org/events/nafems/2015/vandv1

NAFEMS Trainingskurs

Simulation und Analyse von Composites

5. - 6. Mai 2015 in Wiesbaden / auch als Inhouse-Kurs buchbar

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

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

Training

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

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

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

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

Wer sollte teilnehmen

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

Inhalte

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

Referent



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

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

Kurssprache

Deutsch

Inhouse-Kurs

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

www.nafems.org/events/nafems/2015/comp-course1

NAFEMS Seminar – Call for Papers

Multi-Objective Optimization and Robustness

23. - 24. März 2015 in Wiesbadeng

Bereits seit über 20 Jahren spielt Computer Aided Engineering (CAE), basierend auf Simulation und Analyse der funktionalen Performance von Produkten eine Schlüsselrolle in vielen Industriezweigen. Zum einen kann dadurch prinzipiell die Effizienz der Produktentwicklung verbessert werden, zum anderen können insbesondere Produkteigenschaften und damit auch Produktkosten gezielt optimiert werden.

Die Anforderung an die Produktentwicklung ist, nicht nur ein gutes Produkt zu entwickeln, vielmehr soll es optimal sein. Bedeutung für optimal laut Duden (unter den gegebenen Voraussetzungen, im Hinblick auf ein zu erreichendes Ziel): bestmöglich; so günstig wie nur möglich. Also auch laut Duden sind Kosten ein wesentlicher Bestandteil eines optimalen Produktes. An der Optimierung in der Produktentwicklung führt folglich kein Weg vorbei.

Schon mit dem Beginn der virtuellen Produktentwicklung wurden daher mathematische Optimierungsmodelle für die Entwicklung von optimalen Produkten eingesetzt. Mit dem Erfolg und dem damit steigenden Einsatz entstanden neue Anforderungen an Optimierungsstrategien. Es sollen nicht nur eine, sondern gleichzeitig mehrere Eigenschaften optimiert werden – man spricht von multikriterieller oder Pareto-Optimierung. Dem nicht genug, befinden wir uns heute in einem multiphysikalischen/multidisziplinären Umfeld, das natürlich auch in der Findung optimaler Produkte berücksichtigt werden muss.

Optimierungsverfahren sind zu einer wesentlichen Stütze in den Entwicklungsprozessen geworden.

Mit fortschreitendem Einsatz erhöht sich allerdings der Bedarf nach einer Erweiterung dieser Methoden. Die sich aus einer numerischen Optimierung ergebenden Strukturen erfordern oft aus verschiedenen Gründen umfangreiche konstruktive Nacharbeit, wodurch der Gewinn aus dem Optimierungsprozess unter Umständen verloren geht. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die Simulation zu einer Struktur führt, deren Eigenschaften sensibel bezüglich nicht zu beeinflussender Effekte sind (Toleranzen der Konstruktion und Fertigung, äußere Belastungen usw.). Ein solches Produkt wird in der Praxis nicht akzeptiert. Anzustreben sind daher „robuste“ Konstruktionen, die derartige Eigenschaften ausschließen.

Innerhalb von CAE hat sich das sogenannte „Robust Design“ als Spezialdisziplin entwickelt, mit der Bauteilentwürfe bezüglich unerwünschter Sensitivitäten abgesichert werden können. Diese Methodik wird in unterschiedlichen Ausprägungen mit steigender Intensität eingesetzt. Für die Anforderungen aus der Praxis im Sinne eines kosten-effizienten Designs ist die Beherrschung derartiger moderner, aber komplexer Technologien von wesentlicher Bedeutung.

Durch den nahezu kometenhaften Aufstieg der additiven Fertigungsverfahren und der 3D Drucktechnologie im industriellen Einsatz ergibt sich auch für die Optimierung ein neuer, starker Impuls. Durch mehr Freiheiten hinsichtlich herstellbarer Formen wird eventuell ein Nachteil zum strategischen Vorteil? Jedenfalls können „optimale“ Formen heutzutage durch Hilfe der 3D-Druck Technologie leichter hergestellt werden.

Unser Seminar möchte den aktuellen Stand industrieller Anwendungen in der Optimierung und dem Robust Design aufzeigen und am Markt verfügbare Softwaretools und insbesondere deren Einsatz in der Praxis demonstrieren.

Gewünscht sind Vorträge, deren Inhalt auf multikriterielle und multidisziplinäre Optimierung sowie die Robustheit, Anwenderfreundlichkeit und – nicht zuletzt – auf die Integration in den Entwicklungsprozess ausgerichtet ist. Natürlich sind Beiträge besonders willkommen, wenn sie auf Erfahrungen aus der Praxis und auf Korrelationen mit realen Versuchen zurückgreifen und die Grenzen der jeweiligen Optimierungsmethode aufzeigen.

Veranstaltungsort

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

Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder: 590 Euro
NAFEMS-Mitglieder: frei*

* NAFEMS Mitglieder erhalten sechs „seminar credits“ pro Jahr. Für dieses Seminar werden drei credits je Teilnehmer benötigt.

Falls bereits verwendet, können NAFEMS Mitglieder zu einem reduzierten Preis teilnehmen: 410 Euro
Vortragende entrichten die reguläre Teilnahmegebühr.

Hard- und Softwareausstellung

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

Konferenzwebsite

www.nafems.org/2015-opt



Für den Bereich Zentrale Technische Berechnung innerhalb der Viessmann Werke GmbH & Co. KG suchen wir einen

Berechnungsingenieur CFD (m/w)

Die Viessmann Group ist einer der international führenden Hersteller von Systemen der Heiz-, Kälte- und Klimatechnik. Das 1917 gegründete Familienunternehmen beschäftigt 11.400 Mitarbeiter, der Gruppenumsatz beträgt 2,1 Milliarden Euro.

Mit 27 Produktionsgesellschaften in 11 Ländern, mit Vertriebsgesellschaften und Vertretungen in 74 Ländern sowie weltweit 120 Verkaufsniederlassungen ist Viessmann international ausgerichtet.

Ihre Aufgaben

- Entwicklungsbegleitenden Strömungssimulationen von der frühen Konzeptphase bis hin zur Serieneinführung
- Methodenentwicklung in den Kompetenzschwerpunkten Mehrphasenströmung und Verbrennungssimulation
- aktive Mitarbeit in Entwicklungsprojekten aus allen Bereichen der Viessmann Gruppe
- Betreuung von externen Partnern sowie von Diplomanden und Praktikanten

Ihr Profil

- abgeschlossenes Studium als Ingenieur, vorzugsweise im Bereich Maschinenbau oder ein vergleichbares ingenieurwissenschaftliches Studium
- Erfahrungen in der numerischen Strömungssimulation mit Fluent im Bereich Mehrphasenströmung und/oder Verbrennungssimulation erwünscht
- Kenntnisse in den Programmiersprachen Fortran oder C++ sowie im 3D CAD System NX
- gute Englischkenntnisse
- engagiert, flexibel, teamfähig
- eigenverantwortliches Arbeiten

Unser Angebot – Ihre Chancen

- fundierte Einarbeitung in Produktprogramm und Arbeitsabläufe
- Aufnahme in ein engagiertes Team
- vielseitige und abwechslungsreiche Tätigkeit
- unbefristete Anstellung
- nachhaltig operierendes Familienunternehmen
- persönliche Weiterentwicklung und berufliche Perspektiven für eine langjährige Zusammenarbeit
- Mitwirken an Erfolg und Wachstum der Viessmann Group

Für eine erste Kontaktaufnahme sowie weitergehende Informationen steht Ihnen Frau Evelyn Sierke unter der Durchwahl 06452 / 70 - 3488 zur Verfügung. Ihre Bewerbung senden Sie uns bitte schriftlich oder per E-Mail an SieE@viessmann.com Anlagen bitte im Format RTF, PDF, DOC oder ODT.

Viessmann Werke GmbH & Co. KG
Personalmanagement
Frau Evelyn Sierke
35107 Allendorf (Eder)

Homepage: jobs.viessmann.de

VIESSMANN

climate of innovation



NWC

NAFEMS
NAFEMSWORLDCONGRESS 2015

21-24 JUNE | SAN DIEGO | CALIFORNIA | USA

A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION

incorporating **spdm** INTERNATIONAL CONFERENCE
 Simulation Process & Data Management



Wir freuen uns über mehr als 400 eingereichte Abstracts und über ein spezielles Forum zum Thema: „Additive Fertigung und 3-d Printing in Design und Engineering.“

Engineering analysis, modeling and simulation never stands still. The pace of change in software, hardware, techniques and best practice has been staggering in the past ten years alone, and the community driving that change continues to grow and develop to encompass every part of the product development process.

How do we, as a community, keep up with this growth? How do we ensure that our knowledge, processes, tools and corporate culture are best placed to take advantage of the continued evolution in simulation technology?

There is a new world of simulation out there, and its home is at the NAFEMS World Congress 2015. NAFEMS is the only independent, international organization dedicated exclusively to everyone involved in engineering analysis, simulation, modeling, and we want you to be a part of it.

The 2015 World Congress will take place from June 21st-24th 2015 in San Diego, California, and will focus entirely on simulation and its impact on industry and beyond. NAFEMS is the independent voice of the CAE community, representing over 1100 member organizations worldwide including prominent software vendors, global manufacturing industry and leading academic institutions.

With over 600 attendees at the last event in 2013, the 2015 Congress promises to be the premier international forum for everyone involved in the industry. With dedicated tracks on all aspects of simulation, free masterclasses, workshops and training courses, an outstanding social program and an excellent lineup of keynote and invited speakers, this is one event you cannot afford to miss.



Congress Themes

The Congress will cover a wide range of topics, addressing every aspect of engineering. Papers related to SPDM will automatically be considered for the SPDM Conference.

Structural Analysis

- Linear and Nonlinear Analysis
- Joints, Connections & Welding
- Contact
- Durability, Fatigue & Fracture
- Thermal Structural Analysis

Computational Fluid Dynamics

- Turbulence
- Conjugate Heat Transfer
- Multiphase and Phase Change
- Acoustics
- Mesh Solutions & Mesh Adaption

Dynamics & Testing

- Crash Simulation
- Seismic
- Linear Dynamics
- Non-linear Dynamics
- Combining Physical & Virtual Testing
- Impact
- Droptest

Multi-body Simulation

- MBS, FE, and the Co-simulation of Both

Analysis Management

- Quality Assurance
- Measures of Agreement
- Automation of Analysis
- Virtual Testing in a Regulatory Environment

Business Issues

- The Business Case for Simulation
- The World Market for Simulation
- Strategies for Determining Investment in Simulation
- Return on investment (ROI)

Simulation Data Management

- SDM Requirements
- SDM Strategies
- Scope of SDM
- Experience of SDM Systems
- Simulation Process Management
- Data Standards

CAD CAE Integration

- CAE Interoperability
- Simulation Driven Design
- Meshing
- Integration of Analysis into the Design Process
- The Semantic Web
- CAD Representation of Manufacturing Features

Materials

- Materials Characterisation
- Plastics
- Elastomers/Polymers
- Parameter Identification
- Material Data
- Nanomaterials

Composites

- Layer Optimisation
- Draping
- Composite Manufacture and Assembly
- Simulating As-Built and In-Service Conditions
- Multi-scale, Multi-fidelity Modeling
- Damage and Failure Criteria

Life Sciences

- Biomedical
- Biomechanics
- Medical Devices
- Medicine

Geotechnical & Foundation Engineering

- Constitutive Models for Civil Engineering
- Input Parameters for Geotechnical Models
- Using FEA with Eurocode 7
- Soil-Structure Interaction

Confidence in Results

- Verification & Validation
- Benchmarks & Test Cases
- Lessons Learnt from Round Robins
- High Confidence FEA and CFD
- Uncertainty Quantification

venue

Manchester Grand Hyatt, San Diego

1 Market Place, San Diego, California, USA, 92101
manchestergrand.hyatt.com



Experience San Diego hotel living on a grand scale at the Manchester Grand Hyatt San Diego. The best of San Diego is right outside your door. Wake to the sun sparkling off San Diego Bay, indulge in breakfast on the boardwalk, then head out to Seaport Village or enjoy a coastal cruise, a walk through the Gaslamp Quarter or a day at San Diego Zoo, SeaWorld or Balboa Park.

And when it's time to get down to business at the NAFEMS World Congress, no hotel does it better than Manchester Grand Hyatt. This award-winning luxury hotel in San Diego was recently named one of the "Best Meeting & Conference Hotels in the U.S." by Groups International, and has garnered over 36 awards for excellence.



Engineering simulation in a full 3-day program. We invite papers from any area in simulation including, but not limited to, the following areas:



Multiphysics

- Coupled Simulations
- Fluid-Structure Interaction
- Structure-acoustics
- Vibro-acoustics
- Thermo-mechanical
- Multi-physics, Multi-scale, Multi-fidelity
- Benchmarking and Validation of Multiphysics

Electrical

- Electromechanical
- Electromagnetical
- Electrochemical
- EMV
- Electronics
- Electronics Cooling
- e-Mobility

Systems Modeling & Simulation

- Systems Simulation
- Systems Engineering
- Requirements Management
- Model-Based Systems Engineering (MBSE)

Methods

- Discrete Element Method (DEM)
- Meshfree Methods (EFG, SPH, ...)
- New Methods
- Pre- and Postprocessing

Emerging Issues

- Current Industrial Applications
- Future Industrial Needs
- Business Benefits of CAE

Computing

- High Performance Computing
- Open Source Codes
- Cloud Computing
- Software as a Service (SaaS)
- Solver Technology
- Visualization
- Virtual Reality

Optimisation

- Topology, Shape, Sizing
- Structural
- Fluid
- Multidisciplinary/Multiphysics/Multiobjective
- Algorithms
- Design/Process Integration

Manufacturing Processes

- Molding
- Forming
- Casting
- Forging

Stochastics

- Sensitivity Analysis
- Taguchi Methods
- Variational Studies
- Robust Design

Education & Training

- Qualifying the Analysts
- Meshing
- Element Selection
- Methods Development
- Modeling Techniques
- Simulation Skills Management
- Results Interpretation
- Using FEA and CFD for Code Compliance

Forum:

Additive Manufacturing and 3d-Printing in Design and Engineering

Opportunities, Challenges, Benefits, Applications, Constraints

As part of the NAFEMS World Congress 2015, plans are in place to hold a dedicated forum on 3D Printing and Additive Manufacturing in Design and Engineering. The forum will bring together the best in class in this field for dedicated workshops, discussion forums and product showcases, providing attendees and participants with an overview of the cutting-edge technology in this field, including opportunities, challenges, benefits, applications and constraints, as part of the Congress.

Please contact us if you wish to present (case studies, best practices, experiences), contribute to discussions, workshops, product showcases and exhibits, discussion rounds, or in any other way.

Please send an e-mail to roger.oswald@nafems.org.



A Gala Dinner Like no Other

The official NAFEMS World Congress 2015 Gala Dinner will be held onboard the USS Midway on the evening of June 23rd.

The longest-serving US Navy aircraft carrier of the 20th century will provide a truly spectacular setting for what is sure to be a once in a lifetime gala occasion, and guests will have the opportunity to explore more than 60 exhibits with a collection of 29 restored aircraft. The Midway was the largest ship in the world until 1955, with a revolutionary hull design giving her better maneuverability than previous carriers. She served for an unprecedented 47 years, before taking up position in 2004 as the world's largest museum devoted to carriers and naval aviation.

 nafems.org/congress

Sponsorship & Exhibition

a unique opportunity

The World Congress presents a unique opportunity, as delegates are primarily high-level decision makers working in industry across the globe. The exhibition area will be a central point at the Congress, ensuring that there is a consistent level of "traffic" at all times – refreshments, announcements, events and competitions will focus on this area, giving you the chance to meet as many of our delegates as possible.

Align yourself with the NAFEMS Brand

As the only International Association for the Engineering Analysis Community, NAFEMS is widely held to be the leading independent source of information and training for engineering analysts and designers of all levels. Sponsors and exhibitors will have the chance to promote their attendance prior to the event, through the various packages outlined here. Being seen to be participating in the NAFEMS World Congress gives the analysis world a positive impression of your company's commitment to best practice, standards and continued professional development.

Benefits

So what are the benefits of sponsoring and exhibiting at the Congress?

- Promote your company to a large but highly focused group of individuals who have a pre-qualified interest in your product
- Establish important contacts within the industry
- Keep an eye on the activities of your direct competition
- Increase your company's visibility and standing in the analysis community
- Showcase your latest product releases and service offerings
- Discover exactly what your target market needs, and what trends are emerging across the industry

For more information or to secure your sponsorship package, visit nafems.org/congress



eLibrary

Corporate Subscription

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

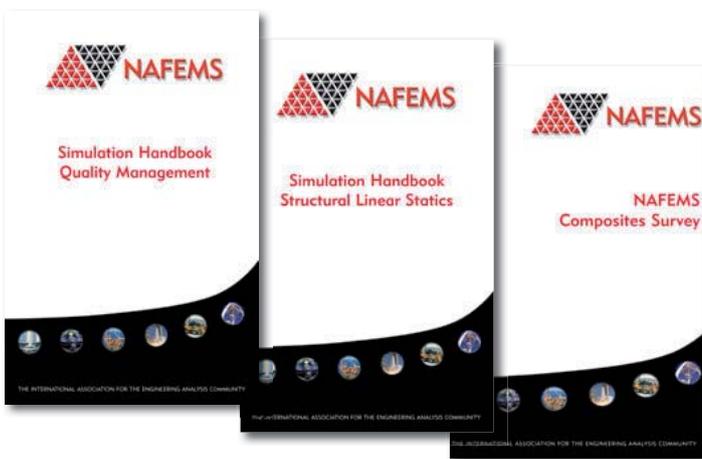
via the NAFEMS website, there is no limit to how often publications can be downloaded, making subscription a solution for the entire team.

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



Neue NAFEMS Publikationen:

NAFEMS Simulation Handbook – Quality Management
ISBN 978-1-874376-95-8
Paperback, A5, 43 Pages

NAFEMS Simulation Handbook – Structural Linear Statics
ISBN 978-1-874376-96-5
Paperback, A5, 87 Pages

The NAFEMS Composites Survey
NAFEMS Composites Working Group
Softback, A4, 42 pages

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.

Wir hoffen, Ihnen damit den Bestellvorgang zu erleichtern.

Eine Übersicht über alle Publikationen finden Sie unter 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

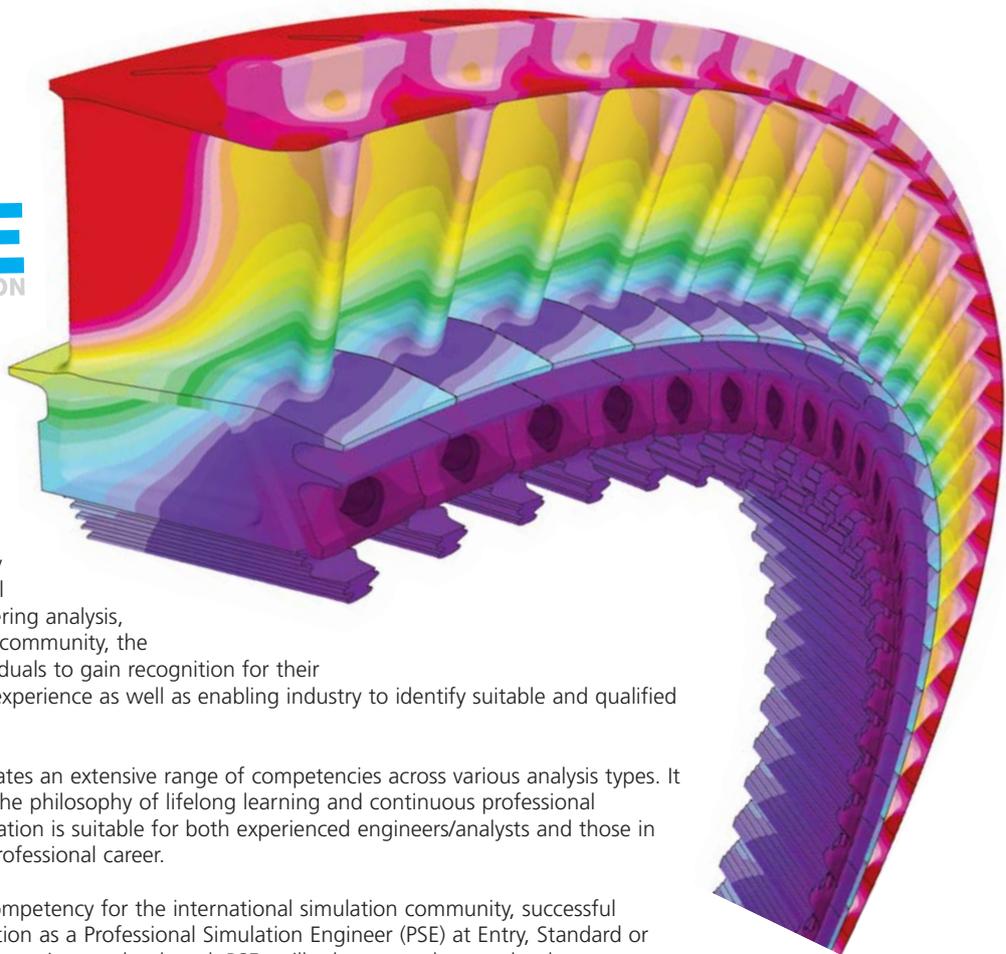
PSE Certification is based on the simple concept that the 'Professional Simulation Engineer' certificate is achieved by an independent assessment of workplace competency.

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.

ALTAIR ENGINEERING

Extrusionssimulation mit HyperXtrude 2015

Altair gab die Veröffentlichung von HyperXtrude 2015, einer neuen Version des populären Simulationsstools für das Strangpressen, bekannt. Zum ersten Mal können Ingenieure aus der Fertigung, mittels in Computer-Aided Design (CAD) Modellen eingebundener Computer-Aided Engineering (CAE) Techniken, neue Designs validieren. Dies ist eine enorme Verbesserung des Arbeitsablaufes.

Hersteller extrudierter Halbzeuge müssen heutzutage einen noch größeren Mix an komplexen Profilen in noch kürzerer Zeit erstellen als jemals zuvor. Gleichzeitig sehen sie sich einem wachsenden Kostendruck in der Produktion gegenüber. Mit HyperXtrude 2015 können Ingenieure nun den Materialfluss und die Wärmeübertragung im Extrusionswerkzeug während der Umformung analysieren. Dadurch können die Entwürfe validiert, Kosten gesenkt und zeitaufwendige Versuche eingespart werden.

Eine völlig neue Benutzeroberfläche unterscheidet HyperXtrude 2015 von allen Vorgängerversionen des führenden Strangpresstools. HyperXtrude 2015 automatisiert Routinearbeiten beim Modellaufbau ohne dabei Genauigkeit bei der Netzqualität einzubüßen. Dies ermöglicht es dem Konstrukteur, Simulationen durchzuführen, ohne viel Zeit für Einarbeitung oder Modellerstellung investieren zu müssen. Der Aufbau der Analyse erfolgt direkt im CAD-Modell, während das Netz und die komplexen Details im Hintergrund ablaufen. Dadurch können auch die Nutzer ihre Entwürfe validieren und optimieren, die über weniger oder keine Erfahrung mit der Finiten-Elemente Analyse verfügen. Während die Experten mit den bisherigen Werkzeugen bis zu vier Stunden darauf verwendet haben, ein Modell zu vernetzen, gelingt dies mit HyperXtrude nun in nur 15 Minuten.

HyperXtrude 2015 unterstützt die statische Extrusionsanalyse von Metall und umfasst die Analyse von Voll- und Hohlprofilen, direkter und indirekter Extrusion und von Einfach- und Mehrfachloch Matrizen. Importierte CAD Modelle können ausgerichtet und positioniert werden. Die Funktion Flow-Volume Creation ermöglicht die Erstellung des Volumenflusses (negatives Volumen) aus dem Volumenmodell des Formwerkzeuges. Der Volumenfluss kann aus der Formwerkzeugbaugruppe mit einem Mausklick direkt extrahiert werden. HyperXtrude 2015 umfasst mit Werkzeugen zur Erstellung von Punkten, Linien, Oberflächen, Volumenkörpern und anderen geometrischen Formen auch Funktionen, mit denen Entwürfe von Grund auf erstellt werden können.

Zu den nützlichsten Funktionen in HyperXtrude 2015 gehören die leistungsstarken Simplify/Patch Werkzeuge, mit denen der Anwender Problemzonen in bestimmten Bereichen der Modellgeometrie verbessern kann, bevor er die Analyse startet. Diese Werkzeuge entfernen Prägungen, Radien und Stege. Sie können genutzt werden, um Bohrungen oder Taschen einzufügen oder um Patches und Übergänge zu erstellen. Darüber hinaus enthält die Version auch Werkzeuge zum Messen, für Masseberechnungen und sie unterstützt verschiedene Einheitensysteme.

HPC für Simulanten

– **HyperWorks Unlimited - Virtual**
Altair gab die Veröffentlichung von HyperWorks Unlimited - Virtual (HWUL-V) auf Amazon Web Services (AWS) bekannt. Das Unternehmen präsentiert die Technologie auf dem Intel Stand der internationalen AWS Anwenderkonferenz „re:Invent“ vom 11.-14. November in Las Vegas, USA. HWUL-V kombiniert die unlimitierte Nutzung der HyperWorks Computer-Aided Engineering (CAE) Suite mit PBS Professional, einem führenden HPC Workload Managementwerkzeug, und anwendungssensiblen Portalen für den Zugriff auf HPC sowie der Remote-Datenvisualisierung großer Daten.

Diese Lösung ermöglicht es Unternehmen, den gesamten Simulationszyklus in der Cloud zu verwalten. Darüber hinaus bietet Altairs industrieweit einzigartiges Lizenzierungsmodell großen, mittleren und kleinen Unternehmen einen unschätzbaren Wert beim Zugriff auf die Simulationssoftware. HWUL-V wird in allen von AWS abgedeckten Regionen weltweit angeboten, darunter den USA, Europa (hier vor allem über die Rechenzentren in Irland und Deutschland), Brasilien, Japan, Singapur und Australien, und bietet somit allen Unternehmen, unabhängig von ihrem Standort, Zugriff auf HPC-getriebenes CAE.

„Die Nutzung von HPC-Ressourcen für CAE-Anwendungen stand traditionell nur den Unternehmen offen, die groß genug waren, eigene und oft sehr teure Hardwareressourcen zur Verfügung zu haben“, sagte Sam Mahalingam, Chief Technical Officer bei Altair. „Mit HyperWorks Unlimited - Virtual ist dies nun nicht mehr notwendig, da es den Aufbau und Support von eigenen HPC Infrastrukturen unnötig macht. Diese Lösung bietet Zugriff auf eine Vielzahl sehr genauer Solver, mit denen Ingenieure viele physikalische Phänomene simulieren können. Darüber hinaus bietet sie einen erstklassigen Workload Manager, die Visualisierung von Remote-Daten und Datenmanagementlösungen, mit denen unbegrenzte Designuntersuchungen bezahlbar, einfach und komfortabel durchführbar werden.“

„Altairs Cloud Lösung HyperWorks Unlimited – Virtual auf AWS ermöglicht es uns, unseren CAE Bedarf über einen einfachen Webbrowser nahtlos zu skalieren. Wir nutzen die HyperWorks Produkte in der Cloud genauso, wie wir sie auf unseren Desktoprechnern nutzen würden. Zusätzlich haben wir nun auch die Möglichkeit, sehr rechenintensive Aufgaben über die HPC Infrastruktur zu lösen und das Postprocessing auf dem Server laufen zu lassen, ohne große Ergebnisdateien herunterladen zu müssen. Für Unternehmen wie unseres ist es ein großer Vorteil, wenn wir auf alle CAE und HPC Lösungen Zugriff haben, ohne die hohen Kosten und den großen

Aufwand einer Integration selbst tragen zu müssen. Altair öffnet mit seinen Technologien und seinem Geschäftsmodell den Zugang zu HPC für alle“, sagte Martin Öman, Chief Operating Officer bei Leanova, Schweden.

Aus dem 3D-Drucker ins All

Altair gab bekannt, dass RUAG Space in einem Pilotprojekt eine Antennenhalterung für einen Erdbeobachtungssatelliten gebaut hat, die nun in Zusammenarbeit mit den Ingenieuren von Altair ProductDesign komplett überarbeitet und für die Herstellung im industriellen 3D-Druckverfahren optimiert wurde. Ziel war es, das neue Aluminium Bauteil bei gleicher Festigkeit deutlich leichter zu machen und die Gestaltungsfreiheit, die das additive Ferti-

gungsverfahren bietet, bestmöglich auszunutzen.

Für die Neuentwicklung und die Optimierung der Antenne verwendeten die Ingenieure Altairs Optimierungssoftware OptiStruct, mit der eine belastungsgerechte Materialverteilung sichergestellt werden konnte. Für die Konstruktion wurde das Tool solidThinking Evolve verwendet. Das Surface Modeling Tool ermöglicht durch seine Gestaltungsfreiheit im Gegensatz zu klassischen CAD Systemen eine deutlich schnellere Umsetzung. So konnte der Design Freeze binnen vier Wochen nach Projektstart erfolgen. Das Design wurde anschließend, ohne dass weitere Anpassungen erforderlich waren, im 3D-Druckverfahren hergestellt. So konnten, dank der Technologiesymbiose aus Topologieopti-

mierung und additiver Fertigung, bisher ungekannte Leistungsmerkmale hinsichtlich Gewicht und Steifigkeit erzielt werden.

EOS, der Marktführer für industriellen 3D-Druck aus Krailling bei München, trug das Wissen über den additiven Produktionsprozess bei und fertigte im Rahmen des Projektes die Aluminium Bauteile. Im Ergebnis war das fertiggestellte Bauteil nur halb so schwer wie das bisherige und gleichzeitig wesentlich steifer. Vor allem die Gewichtsersparnis ist in der Raumfahrt ein entscheidender Faktor, denn je leichter ein Satellit ist, umso kostengünstiger kann er ins All gebracht werden. Mit rund 40 cm Länge ist die Antennenhalterung eines der längsten jemals im Pulverbett-Verfahren hergestellten Metall Bauteile. Derzeit wird die

Simulation mit Altair HyperWorks Infotage 2015



Infotag CFD

Hannover	Di. 03.03.
Graz	Di. 10.03.
Böblingen	Di. 17.03.
Köln	Mi. 18.03.
München	Di. 24.03.

Infotag Strukturmechanik

Hannover	Mi. 04.03.
Graz	Mi. 11.03.
Böblingen	Mi. 18.03.
Köln	Do. 19.03.
München	Mi. 25.03.

Infotag Elektromagnetismus

Hannover	Do. 05.03.
Graz	Do. 12.03.
Böblingen	Do. 19.03.
Köln	Di. 17.03.
München	Do. 26.03.

www.altair.de/infotage_2015

 Altair | HyperWorks®

neue Halterung intensiven Tests unterzogen, um sie für den Einsatz im Weltall zu qualifizieren. Ende des Jahres sollen diese Qualifikationstests abgeschlossen sein.

„Unser Ziel ist es, einen der zukünftigen Sentinel-1-Satelliten, mit Antennen-Halterungen auszurüsten, die im industriellen 3D-Druck hergestellt worden sind“, erklärt Michael Pavloff, Chief Technical Officer der RUAG Space. Die jetzt gebaute Antennenhalterung wird kein Einzelfall bleiben: „Der 3D-Druck hat ein gigantisches Potenzial für die Raumfahrt. Wir entwickeln derzeit weitere Anwendungen. Zukünftig wird es möglich sein, ganze Satellitenstrukturen im 3D-Druck zu erstellen. Baugruppen, die heute noch getrennt gefertigt werden, beispielsweise Kabelbäume, Reflektoren oder Heizrohre, können dann direkt in die Strukturelemente integriert werden“, führt Pavloff weiter aus.

RUAG Space beschäftigt sich seit 2013 intensiv mit der Forschung & Entwicklung im Bereich der additiven Fertigung. Bei der additiven Fertigung oder dem industriellen 3D-Druck wird ein Pulver schichtweise aufgetragen und in der gewünschten Form verbunden, etwa, indem es durch Laser automatisch an den entsprechenden Stellen geschmolzen wird.

„Wir bei Altair sind begeistert, mit unseren Softwarelösungen und unseren Dienstleistungen, Teil dieses innovativen Projektes zu sein. Es ist ein echter Meilenstein im Satellitendesign“, sagte Pietro Cervellera, Managing Director Altair GmbH. „Die Zusammenarbeit mit RUAG Space und EOS wird es uns ermöglichen, noch innovativere End-to-End Design- und Optimierungsprozesse zu liefern, mit denen man alle Vorteile der additiven Fertigung voll ausschöpfen kann.“

www.altair.de

ANSYS

Neue Version von SpaceClaim

Ingenieure können Produktgeometrien nun einfacher als je zuvor beeinflussen – und dank der wichtigen Fortschritte, die Ansys in ihrer neuen Version SpaceClaim 2015 ausliefert, die Zykluszeiten der Produktentwicklung verkürzen.

Die Version 2015 von SpaceClaim revolutioniert Arbeitsabläufe in Produktentwicklung und Fertigung. Konstrukteure freuen sich über Innovationen wie expansive Bearbeitung und Management facetierter Modelle; NC-Programmierer erhalten verbesserte Funktionen zur Erstellung von Werkzeugwegen und alle, die 3D-Modelle erstellen oder bearbeiten wollen, genießen mehr Unterstützung bei der Erstellung komplexerer Geometrien.

„Wir liefern fortlaufend bahnbrechende Fortschritte, um Geometrien für alle Ingenieure zugänglicher und einsetzbarer zu machen“, sagt Frank DeSimone, Vizepräsident für Software-Entwicklung bei Ansys. „Mit den Ressourcen von Ansys im Rücken, einschließlich einer intensiven Zusammenarbeit mit anderen Entwicklungsteams von Ansys, erleichtern wir unseren Kunden mehr denn je, vollständige virtuelle Prototypen und komplexe 3D-Drucke zu erzeugen.“

Weitere Verbesserungen umfassen Aufdrucks- und Verpackungswerkzeuge für einfachere Simulationseingriffe sowie Bereinigungs- und Erkennungs-Funktionalitäten. Eine bessere Integration in Ansys-Workbench™ versetzt Ingenieure in die Lage, ihre Zeit und Erfahrung auf Simulation zu konzentrieren und nicht auf die Geometrie-Vorbereitung. Bei der Berechnung des Fließverhaltens am Computer nutzen sie zum Beispiel die Vorteile neuer Features in SpaceClaim, um schnell die Volumen aus Konstruktionen zu extrahieren, ohne dafür auf Konstrukteure angewiesen zu sein. Das SpaceClaim-Modul für 3D-Druck enthält nun mehr Werkzeuge, um Modelle zu reparieren und den Druckerfolg zu analysieren. Zusätzlich können Anwender mit der Version 2015 die Netze mit intuiti-

ven „Pull- and move“-Werkzeugen direkt bearbeiten und damit Modelle schneller und einfacher druckfertig machen.

Ansys hat eine Vielzahl von weiteren Verbesserungen zur Konzeptentwicklung, Fertigungsvorbereitung, Detaillierung und Interoperabilität entwickelt. Mit diesen Erweiterungen können Anwender ihre Zeit, ihr Können und ihr Material effizienter einsetzen, um mit besseren Konstruktionen in kürzerer Zeit zur Marktreife zu gelangen. Eine vollständige Liste der neuen Funktionen findet sich hier.

„Die neuen Erweiterungen von SpaceClaim haben mir ermöglicht, die komplexeste Version meines preisgekrönten Spieles Perplexus 3D-Labyrinth in Rekordzeit zu entwickeln“, sagt Mike McGinnis, Erfinder von Perplexus. „Die Werkzeuge wurden wesentlich verbessert, besonders das Relief-Werkzeug, das mir bei der Vorbereitung von Dateien für CAM ganze Tage erspart hat.“

Ansys und NCSA realisieren Meilenstein im Supercomputing

Ansys und das National Center for Supercomputing Applications (NCSA) gaben heute die Skalierung von Ansys Fluent für 36.000 Rechnerkerne (Cores) bekannt – eine Premiere in der Industrie, die wegberreitend ist für die Realisierung wesentlich effizienterer Abläufe und verstärkter Innovationen in den Produktentwicklungsprozessen der Hersteller.

Unternehmen setzen technische Simulationen ein, um den Zeit-, Qualitäts- und Kostendruck in der Produktentwicklung zu minimieren, wobei die Möglichkeiten bisher durch die verfügbare Rechenleistung begrenzt wurden. Abhilfe schafft hier das High-Performance Computing (HPC), eine strategische Kerntechnologie, die verbesserte Einblicke in das Produktverhalten ermöglicht und die Produktivität erhöht, da mehr Design-Varianten untersucht werden können.

Durch die Kombination des Blue Waters-Supercomputer mit den Leistungen des Entwicklungsteams von Cray Inc., des technischen Teams des „Private Sector Program“

des NCSA und neuester Verbesserungen im Fluent-Code wurde es möglich gemacht, dass Unternehmen jetzt Simulationsfälle höchster Komplexität untersuchen können. Der Blue Waters-Rechner erzielt mit mehreren tausend Rechnerkernen eine Spitzenleistung von über 13 Billionen Rechenschritten pro Sekunde. Diese massive Rechenleistung steht jetzt für Anwendungen wie die Fluent-Software zur Verfügung, eine branchenführende Computational Fluid Dynamics-Lösung, die von Unternehmen in aller Welt genutzt wird. „Wir haben alle wichtigen Dinge miteinander kombiniert“, sagte Ahmed Taha, Senior Computational Resource Coordinator beim NCSA, der dieses außergewöhnliche Benchmarking-Projekt leitete. „Das NCSA bringt auf einzigartige

Weise die industriellen Anwender, die Hardware und Software-Anbieter und die Branchenerfahrung unserer Mitarbeiter zusammen. Wir haben auf unserem System einen bisher unerreichten Grad an Skalierbarkeit für einen kommerziellen Fluid Dynamics-Löser erreicht, insbesondere angesichts der Komplexität der physikalischen Modellmerkmale mit transienten, turbulenten Strömungen, dem Übergang von chemischen Spezies und verschiedenen nicht-reaktiven Strömungen.“

„Die Rechenleistung hat sich innerhalb der letzten zehn Jahre um den Faktor tausend erhöht, und hierdurch können die Entwickler heute Probleme lösen, die bisher als unlösbar galten“, sagte Wim Slagter, Ansys HPC Product Manager. „Zwar haben die meisten

Unternehmen heute noch keinen Zugang zu 36.000 Rechnerkernen, aber über kurz oder lang werden auch solche extremen Rechnerkernzahlen allgemein verfügbar sein. Und auch diejenigen Anwender, die heute Rechner mit wesentlich weniger Kernen einsetzen, können direkt von einer erheblich gesteigerten Effizienz profitieren. Hierdurch können hervorragende Produkte so schnell wie nie zuvor für die Kunden realisiert werden.“

Ansys und NCSA planen eine weitere Untersuchung der Grenzen des Computing mit hohem Skalierungsgrad, wobei die Skalierung von Ansys Fluid Dynamics-Modellen mit noch höherer Physics-Komplexität getestet und verbessert werden soll. Weitere Gemeinschaftsprojekte sind der Einsatz der Fluent-Software auf

Infinite Design Exploration for CAE – ATCx cloud

Was ist die Grundlage für eine gute Idee?

Hunderte von guten Ideen! (Linus Pauling)

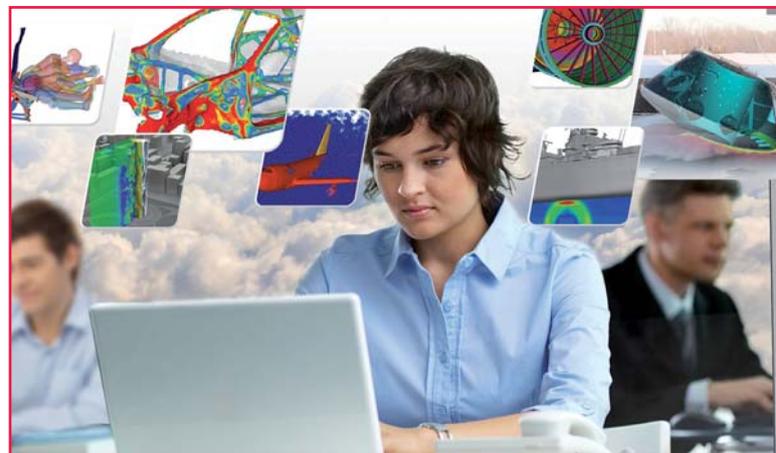
Produktvarianten, Funktionsintegration, Homologation und kürzere Produktlebenszyklen stellen die Produktentwicklung vor immer größere Herausforderungen. Um diesen Herausforderungen durch eine zunehmende Virtualisierung gerecht zu werden, bietet Ihnen Altair **Design Exploration** Softwarelösungen, mit denen Sie Ihre Produkte bereits in frühen Entwicklungsphasen schneller und präziser untersuchen können. Die **Altair Cloud** Lösungen ermöglichen Ihnen dabei den Zugriff auf unbegrenzte HPC Ressourcen – und somit Ihre Design- und Entwicklungsprozesse maßgeblich zu verkürzen.

Erfahren Sie von unseren Kunden **Stanley Black & Decker** und **Vertu** sowie von **Amazon Web Services**, **Intel** und **Altair** im Rahmen der Veranstaltung **Infinite Design Exploration for CAE – ATCx Cloud** mehr darüber, wie Sie durch simulationsgetriebenes Design und die Nutzung von HPC Ressourcen wie HyperWorks Unlimited noch erfolgreicher innovativere Produkte entwickeln können.

Kommen Sie am **26. Februar** nach Frankfurt! Die Teilnahme ist kostenfrei!

Weitere Informationen sowie ein Anmeldeformular finden Sie hier:

www.altairatc.com/europe



Infinite Design Exploration for CAE – ATCx Cloud

Wann: 26. Februar 2015

Wo: Steigenberger Frankfurter Hof, Frankfurt

Veranstalter: Altair Engineering GmbH

Teilnahme: Kostenfrei

Altair Engineering GmbH
Calwer Straße 7 | D-71034 Böblingen | Germany
Tel.: +49.7031.6208.0
information@altair.de



Nvidia-Grafikprozessoren (GPUs) sowie das Testen der Grenzen des Supercomputing für Anwendungen wie Turbomaschinen mit Ansys CFX.

Virtuelles Prototyping von Systemen

Ansys revolutioniert die modellbasierte Entwicklung durch Kombination von Modelica Bibliotheken und Modellen mit VHDL-AMS, Embedded-Software und detaillierter 3D-Multiphysics-Funktionalität.

Ansys und Modelon haben eine Vereinbarung geschlossen, die das Potenzial hat, die Produktentwicklung grundlegend zu verbessern. So sollen Fehler bei der Integration in einem späten Stadium verhindert, die Produktentwicklungskosten gesenkt und die Markteinführungszeit verkürzt werden. Die Kombination aus den führenden Behavioral-Modellierungstools und -Lösungen von Modelon, die auf der Open-Standard-Modellierungssprache Modelica basieren, mit der Systemsimulationsplattform, der breit gefächerten 3D-Multiphysics-Funktionalität und der Embedded-Software von Ansys, ermöglicht den Anwendern, Produktdesigns ausgehend vom Komplettsystem bis in die Details hinunter zu untersuchen. Dieser multidisziplinäre, integrierte Ansatz wird Unternehmen dabei helfen, bessere Designs schneller zu realisieren, die Abhängigkeit vom kostspieligen Prototyping zu reduzieren und Systemintegrationsfehler praktisch auszuschließen.

Das modellbasierte Design konzentriert sich traditionell auf eine einzige System-Modellierungssprache. Jetzt hat ANSYS diese Definition jedoch auf die Entwicklung von Elektronik, Mechanik und Embedded-Software erweitert. Ansys wird Modelica, einen von breiten Kreisen akzeptierten, offenen Standard für die Behavioral-Modellierung von Mechanik-, Thermo- und Thermofluid-Systemen, mit der vorhandenen VHDL-AMS-Modellierungstechnologie auf IEEE-Basis für elektrische Systeme und seiner Scade-Technologie für Embedded-Software koppeln.

www.ansys-germany.com

BETA CAE

Neue Versionen verfügbar

Beta CAE gab die Veröffentlichung der Releases Spdrn v1.1.0, ANSA & µETA v15.2.0 bekannt.

www.beta-cae.gr

CADFEM

Neues Schulungsangebot 2015 und Kundenjournal

Das auf numerische Berechnungen spezialisierte Unternehmen Cadfem hat jetzt in seiner neuen Seminar-Broschüre das Schulungsangebot für das Jahr 2015 veröffentlicht. Gleichzeitig ist auch die zweite Ausgabe 2015 des Cadfem Journals, das Kundenmagazin des Unternehmens, erschienen. Beide Publikationen zeigen auf, welche umfassenden Möglichkeiten die numerische Simulation in der Produktentwicklung eröffnet, und dass Software allein noch keinen Simulationserfolg garantiert.

Das Schulungsangebot von Cadfem reicht von der Strukturmechanik, Temperaturfeldern und der Akustik über die Elektromagnetik bis zur Multiphysik und Systemsimulation. Ferner werden spezielle Veranstaltungen zu Sensitivitätsstudien und Optimierung, zu IT-Service und Simulation in der Cloud, zu kundenspezifischen Anpassungen und Automatisierungen des Simulationsprozesses sowie zu Qualitätsmanagement und Risikominimierung durchgeführt. Neben Präsenz-Seminaren wird das tiefgreifende Know-how auch in Individualtrainings (wenn gewünscht, auch in englischer Sprache), durch einen Quick-Start Service sowie Beratungstage und Update-Seminare vermittelt. Dazu stehen in Deutschland sieben Cadfem Schulungszentren zur Verfügung, die durch fünf weitere in der Schweiz und Österreich ergänzt werden. Mehr Infos: www.cadfem.de/seminare

Die zusätzlichen Weiterbildungsmöglichkeiten von Cadfem esocae (European School of Computer Aided Engineering Technology) umfassen unter anderem e-Learning-Konzepte, bei-

spielsweise für den Einstieg in die FEM-Simulation, aber auch ein berufsbegleitendes Masterstudium, das gemeinsam mit Hochschulen in Ingolstadt und Landshut durchgeführt wird. Details dazu unter: www.escaet.com

Das Cadfem Journal, das zweimal im Jahr in einer Auflage von 35.000 Exemplaren erscheint, präsentiert in der Herbstausgabe 2014 eine Fülle von Themen: angefangen bei einer dreiteiligen Serie zur Simulation in der Verbindungstechnik mit den Schwerpunkten Kleben, Schweißen und Schrauben, über HF-Simulationen bei Antennen und Leiterplatten, bis zur optimierten Produktentwicklung durch gekoppelte Feld- und Systemsimulation am Beispiel eines elektromagnetischen Relais. Weitere Berichte verdeutlichen wie die Simulation bei Kundenprojekten erfolgreich eingesetzt wird. Unter anderem simuliert der Automobilzulieferer TRW das Verhalten von Ventilen in Verbrennungsmotoren und beim Allianz-Zentrum für Technik (AZT) wird die Schadensanalyse unterstützt. Ferner informiert das Journal über die Zusammenarbeit von CAD-FEM mit der Steinbeis Technology Group. Weitere Infos: www.cadfem.de/cadfem-journal

www.cadfem.de

CD-ADAPCO

FS Dynamics bindet sich für drei weitere Jahre an CD-adapco

CD-adapco, der größte in privater Hand befindliche CFD-fokussierte Anbieter im Bereich Computer Aided Engineering Software, hat kürzlich einen Drei-Jahresvertrag mit FS Dynamics (www.fsdynamics.se) im Wert von über einer Million US Dollar unterzeichnet.

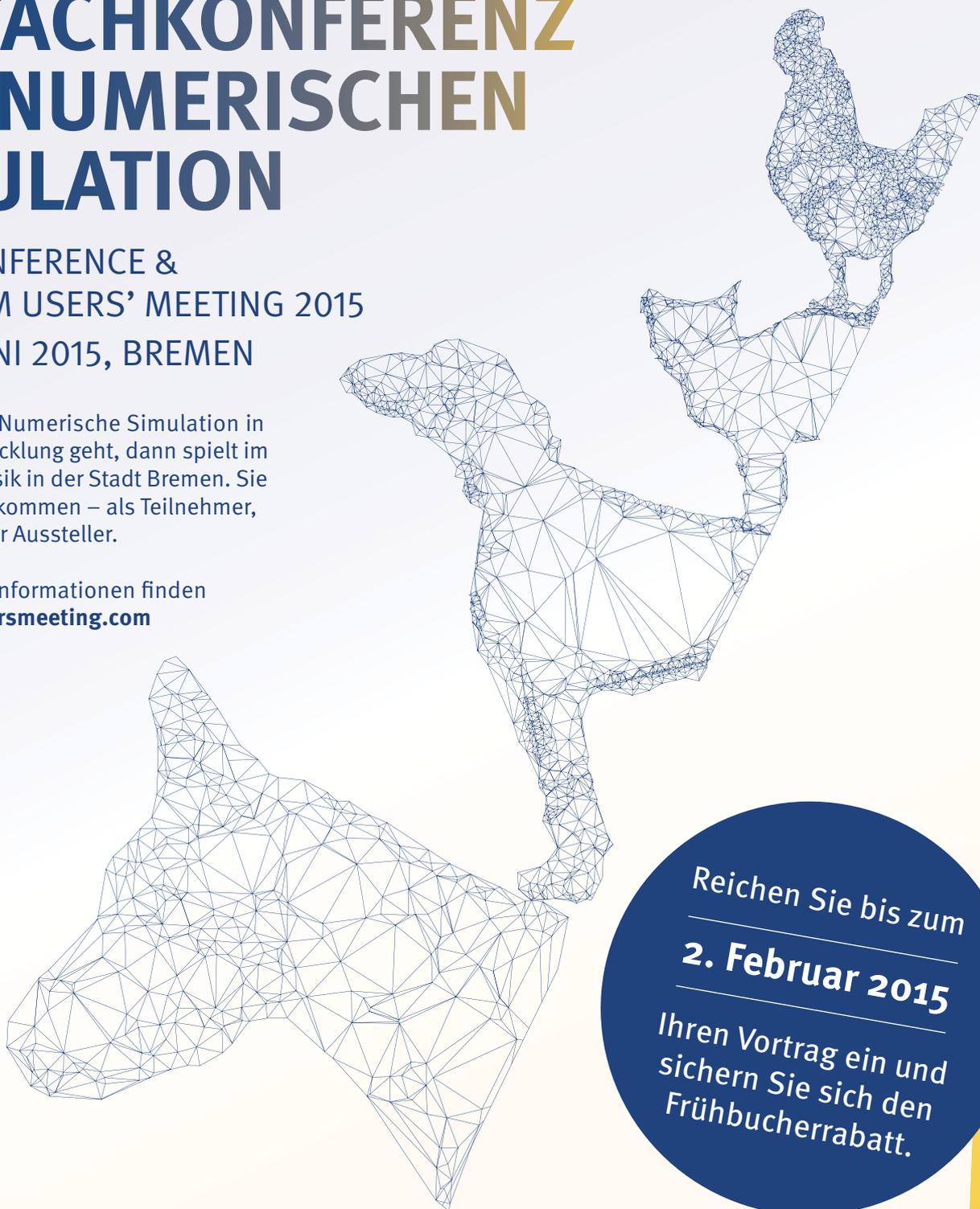
Die Firma FS Dynamics, welche vor über 10 Jahren gegründet wurde, hat sich in den letzten Jahren zu einem der führenden Anbieter für CAE-Dienstleistungen in der skandinavischen Region entwickelt und richtet ihr Hauptaugenmerk dabei auf die Anwendung von CFD (Computational Fluid Dynamics) sowie Finite-Elemente-Methoden, um verschiedenste industrietechnisch

DIE FACHKONFERENZ ZUR NUMERISCHEN SIMULATION

ANSYS CONFERENCE &
33. CADFEM USERS' MEETING 2015
24.–26. JUNI 2015, BREMEN

Wenn es um die Numerische Simulation in der Produktentwicklung geht, dann spielt im Juni 2015 die Musik in der Stadt Bremen. Sie sind herzlich willkommen – als Teilnehmer, Vortragender oder Aussteller.

Weiterführende Informationen finden Sie auf www.usersmeeting.com



Reichen Sie bis zum

2. Februar 2015

Ihren Vortrag ein und
sichern Sie sich den
Frühbucherrabatt.

Besuchen Sie auch unsere Veranstaltungen
in Österreich und in der Schweiz

Wien 29. / 30. April 2015,
www.usersmeeting.at

Zürich, 10. September 2015,
www.usersmeeting.ch



CADFEM

ANSYS

herausfordernde Problemen zu lösen. Von Anfang an benutzte FS Dynamics die CFD-Software von CD-adapco und hat sich mit der Zeit zu einem der größten und höchst kompetentesten Teams von CFD-Ingenieuren in Europa entwickelt.

“CAE-Spitzenleistungen, hausinterne Lieferungen sowie langjährige Geschäftsbeziehungen sind alles grundlegende Bestandteile von FS Dynamics. Die aktuelle Langzeitvereinbarung manifestiert unser tägliches Streben nach jedem einzelnen dieser Werte. Im letzten Jahrzehnt hat sich unser Geschäft dazu entwickelt, eine große Bandbreite verschiedenster Software abzudecken; wie auch immer, als ein selbst langfristiger STAR-User ist ein Abkommen mit CD-adapco in dieser Größenordnung auch für mich ein besonderer Moment.“, sagt Roger Blom, Managing Director FS Dynamics.

“CD-adapcos Firmenerfolg liegt unter anderem an Partnerschaften mit Kunden, die unsere Software bis zu den Grenzen des Möglichen ausreizen. Ich bin stolz darauf, FS Dynamics als solch einen Kunden bezeichnen zu können. Durch die Zusammenarbeit in den ersten zehn Jahren ihrer Geschäftsexistenz, hoffe ich, dass diese langfristige Vereinbarung eine weitere, über die nächsten zehn Jahre hinausreichende Zusammenarbeit signalisiert.“, meint Steve MacDonald, CD-adapcos Präsident

www.cd-adapco.com

COMSOL

Partner bei „Sachen-Machen“

Seit dem 01. September 2014 ist Comsol Multiphysics nun Partner der Initiative „Sachen-Machen“ des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI). Ziel der Initiative ist es, Deutschland wieder zur führenden Technologienation zu machen. Daher stehen insbesondere eine Steigerung der Popularität des Ingenieurberufes, die Nachwuchsförderung sowie die weitere Verbreitung und Steigerung der Faszination für neue Technologien in der Gesellschaft im Mittelpunkt der Initiative. Die Initiative

dient außerdem als Plattform, um die einzelnen Aktivitäten der Partner zur Erreichung dieser Ziele zu bündeln und in der Öffentlichkeit zu präsentieren.

Comsol Multiphysics 5.0

Comsol Multiphysics kündigte die neue Version 5.0 von Comsol Multiphysics an. Das Release definiert den Bereich der technischen Simulation völlig neu und umfasst umfangreiche Produktaktualisierungen, drei neue Zusatzmodule sowie den neuen, revolutionären Application Builder. Mit dem Application Builder steht die Leistungsfähigkeit und Präzision von Comsol Multiphysics ab sofort jedermann durch die Nutzung spezifischer Anwendungen zur Verfügung. Comsol User können nun selbst spezifische Anwendungsprogramme für den Einsatz in Konstruktions- und Fertigungsabteilungen erstellen, was die Zugriffsmöglichkeit auf ihr Know-how und auf innovative Simulationslösungen erheblich erweitert.

www.comsol.com

CPU24/7

Anwenderorientierter Ausbau der On-Demand-Angebote

Mit einer Exportquote von 40 Prozent (Angaben des Statistischen Bundesamts 2014) ist Deutschland weltweit erfolgreichster Technologielieferant. Als Hochlohnland kann Deutschland langfristig nur durch eine wettbewerbsfähige Bündelung von Innovationsfähigkeit und höchster Qualität bestehen.

Leistungsfähigkeit, Qualität, Energieeffizienz, Umwelteigenschaften und industrielle Kosten technologisch anspruchsvoller Produkte – z.B. in der Luft- und Raumfahrt, Automobil- und Energiewirtschaft, im Wasser- oder Schiffbau – werden entscheidend durch Faktoren wie den Einsatz innovativer Werkstoffe, Oberflächenauslegungen oder Strömungsoptimierung beeinflusst. Rechnergestützte Methoden der Simulation (Computer-Aided Engineering) haben sich sowohl in der Wissenschaft als auch in der Industrie als Standard-Werkzeug

bei der Entwicklung und Erprobung solcher wettbewerbsentscheidender Produktparameter etabliert. Im Bereich Forschung und Entwicklung ersparen derartige Verfahren eine Menge Zeit und Geld. Mussten vorher aufwendige Prototypen zur realistischen Übersetzung von Forschungsergebnissen gebaut werden, können heute mittels anspruchsvoller Rechenverfahren weitaus komplexere Modelle und diversere Design-Varianten zeiteffizient analytisch erprobt werden, was nicht zuletzt auch die Time-to-Market der zu entwickelnden Lösung entscheidend optimiert.

Dennoch werden dafür vergleichsweise kostenintensive Hardware und spezifische Softwarelösungen benötigt. Diese sind auf Anwenderseite mit hohen Investitionen verbunden und binden Kapital, Know-how und Arbeitskraft außerhalb der Kernkompetenzen des eigentlichen Geschäftsfeldes von Unternehmen. Anwender – egal ob im Mittelstand oder in der Entwicklungsabteilung eines internationalen Konzerns – benötigen im Grunde situativ skalierbare Simulationslösungen, die absolut bedarfsgerecht aktiviert und intensiv genutzt werden können. HPC On Demand ist hierfür die Lösung.

CPU 24/7 stellt der Industrie nunmehr im neunten Jahr skalierbare High Performance Computing-Infrastrukturen zur Verfügung. Dr. Ing. Matthias Reyer, CEO bei CPU 24/7: „Wir bieten heute, je nach Projekt- und Unternehmensgröße unserer Kunden, zwei Anwendermodelle an. Neben exklusiv angepassten und optimierten, modernsten HPC-Systemen – wir nennen sie Tailored Configurations – bieten wir auch zeitlich begrenzte Rechenzeitkapazitäten für Standardfälle im Rahmen unserer Resource Area an. Damit finden auch kleinste Ingenieurbüros bei CPU 24/7 ebenso adäquate und vor allem finanzierbare Angebote für Server- und Rechenleistungen wie unsere Key Accounts im Rahmen ihrer Langfristverträge.“ CPU 24/7 arbeitet an den Standorten Potsdam, Berlin und Hamburg mit einem Team hochspezialisierter Mitarbeiter, Ingenieure und Informatiker aus Industrie, Wissenschaft, Forschung

und Lehre. Alexander Heine, Dipl.-Informatiker und Projektleiter bei CPU 24/7: „Unsere Kernkompetenz liegt im Bereich numerischer computergestützter Simulationen von physikalischen Prozessen wie sie z.B. in der Strömungsdynamik (CFD, Computational Fluid Dynamics) und Strukturmechanik (CSM, Computational Structural Mechanics), etc. genutzt werden. Die Anforderungen an die dafür notwendigen Rechenressourcen sind extrem hoch, vor allem wenn es um Performance und Sicherheit geht. Die derzeit größte Herausforderung sehen wir, speziell in Deutschland, in der Überzeugungsarbeit dafür, dass wir unseren Kunden die höchsten marktverfügbaren Sicherheits- und Verfügbarkeitsstandards garantieren und diese auch, auf Wunsch, individuell an den jeweiligen Kunden anpassen können. Der Begriff „Cloud“ ist hierzulande im industriellen Umfeld noch immer mit Skepsis behaftet. Weltweit ist die Akzeptanz bereits eine andere.“

Neben renommierten Softwareanbietern wie Ansys, Numeca, CD-adapco arbeitet der Potsdamer Dienstleister CPU 24/7 auch mit ausgesuchten und profilierten Hardwareentwicklern, Rechenzentren und Hosts. Alexander Heine: „Über unsere langjährigen und zuverlässigen Kooperationsverträge können wir sicherstellen, dass unsere Kunden mit tausendfach erprobter Applikationssoftware arbeiten. Mit unserem Credo „Hosted in Germany“ gewährleisten wir höchste physische und technische Sicherheit und Verfügbarkeit und stellen gleichzeitig eine optimale Auslastungsplanung sicher, wovon unsere Kunden unmittelbar profitieren.“ „Gerade kleine und mittlere Ingenieurbüros können von CPU 24/7 profitieren. Sowohl in punkto Kosten als auch kapazitätsseitig gibt es kein „zu kleines“ oder „zu großes“ Unternehmen für den erfolgreichen Einsatz unserer HPC-Dienstleistungen. Wir finden immer für jeden die richtige Core-Lösung: wirtschaftlich, transparent und auf höchster Sicherheitsstufe“, so Heine.

www.cpu-24-7.com



Grafik: dpa/Agentur für Foto: iStock - Fotolia

Berufsbegleitend zum Master of Engineering

Applied Computational Mechanics

- Sie sind** ▶ Berechnungsingenieur, Konstrukteur oder Bachelorstudent
- Sie wollen** ▶ sich fachlich weiterqualifizieren oder mehr über die Theorie und Anwendung der computergestützten Simulation lernen
- Wir bieten** ▶ Ihnen ein zweijähriges berufsbegleitendes, akkreditiertes Studium. Sie erwerben praxisorientiertes Wissen in allen CAE-Disziplinen und profitieren von einer intensiven Lernatmosphäre in kleinen, internationalen Studiengruppen.
- Wir sind** ▶ zwei profilierte deutsche Hochschulen mit dem Fokus auf angewandte Wissenschaften im Verbund mit einem renommierten Anbieter für CAE-Weiterbildung
- Mehr Infos** ▶ Anja Vogel
Tel. +49 (0) 80 92 / 70 05 - 52
oder www.esocaet.com/studium


Technische Hochschule
Ingolstadt



esocaet
european school of
computer aided engineering
technology

DASSAULT SIMULIA

Simulia beteiligt sich am Forschungsprojekt MAI Form

Im Rahmen seiner Mitgliedschaft im Carbon Composites e.V. beteiligt sich SIMULIA am Forschungsprojekt MAI Form (MAI= München-Augsburg-Ingolstadt). Dabei sollen Material und Formgebungsverfahren von faserverstärkten Thermoplasten für die Großserienanwendung im Automobilbereich untersucht werden. SIMULIA wird dazu Abaqus-Unterprogramme zur Beschreibung des komplexen Materialverhaltens entwickeln, um mittels der Simulation das Umform-, aber auch das Crashverhalten vorhersagen zu können. Am Forschungsprojekt beteiligt sind außerdem BMW, Voith Composites, TU München, SGL-Group und Automation W+R GmbH. Das Projekt hat eine Laufzeit von 30 Monaten und wird gefördert durch das BMBF.

www.3ds.com

DYNAMORE

DYNAMore gründet Scale als Tochterunternehmen für SDM-Softwarelösungen

-siehe auch Scale -

Die DYNAMore GmbH hat mit der Scale GmbH ein neues, 100%iges Tochterunternehmen gegründet. Das Ziel ist es, Softwarelösungen und IT-Dienstleistung für Prozess- und Datenmanagement sowie FE-Methodenentwicklung in der Automobilindustrie anzubieten. Im Auftrag der AUDI AG sind so bei DYNAMore und Scale in den vergangenen Jahren verschiedene Softwareprodukte entstanden:

LoCo: Verwaltung von Simulationsmodellen, Variantenmanagement, Modellaufbau und Lastfallerzeugung, Abbildung von CAE-Prozessen.

CAViT: Integrierte Bereitstellung und Vergleich von Simulations- und Testergebnisse.

Status.E: Monitoring des Entwicklungsstandes von Fahrzeugprojekten inkl. Dokumentenmanagement. Insbesondere das Produkt LoCo mit derzeit über 400 Benutzern bei

Audi und einer großen Anzahl an externen Dienstleistern wird derzeit in vielen unterschiedlichen Simulationsabteilungen intensiv genutzt. Aktuell wird LoCo auch bei anderen Marken der Volkswagen Aktiengesellschaft eingeführt.

Für den Zweck der Weiterentwicklung und Vermarktung dieser und weiterer Softwareprodukte im und außerhalb des Volkswagen Konzerns wurde die Scale GmbH gegründet. Der Firmenname Scale steht dabei für „Skalierbare Lösungen im Bereich des Simulationsdaten- und Prozessmanagements“, die auch als Kooperationsplattform für externe Entwicklungspartner eingesetzt werden können.

Damit die mit den Softwareprodukten LoCo, CAViT und Status.E verbundenen Verpflichtungen im Bereich Betrieb, Support und Weiterentwicklung geleistet werden können, wechseln 20 Mitarbeiter aus dem Bereich Simulations- und Prozessmanagement von DYNAMore Dresden und Ingolstadt zur neu gegründeten Scale GmbH mit Sitz in Ingolstadt. Die Aktivitäten im Bereich Crashberechnung mit LS-Dyna bleiben von diesem Personalwechsel gänzlich unberührt und werden bei DYNAMore unverändert weitergeführt. Dr. Heiner Müllerschön, Geschäftsführer der Scale GmbH betont: „Uns war es wichtig, dass wir in diesem stark wachsenden Bereich Simulations- und Prozessmanagement unsere Software nun einfacher zu Standardprodukten entwickeln können. Mit der AUDI AG haben wir einen starken Partner, der unsere Visionen teilt und mit uns weiterentwickelt. Gleichzeitig haben wir nun auch die Möglichkeit, unsere Lösungen anderen Kunden im und außerhalb des Volkswagen-Konzerns anzubieten. Wir sehen großes Interesse und sind überzeugt, dass die Anwenderbasis in den nächsten Jahren stark wachsen wird.“

Die Firma DYNAMore steht für exzellente Unterstützung bei der numerischen Lösung nichtlinearer physikalischer Problemstellungen. Das Produktportfolio umfasst die Finite-Elemente-Software LS-Dyna, den Pre- und Postprozessor LS-PrePost und die Optimierungssoft-

ware LS-OPT sowie zahlreiche FE-Modelle für die Crashsimulation (Dummies, Barrieren, Fußgänger, Menschmodelle, ...). Schwerpunkte sind Support, Vertrieb, Schulung, Ingenieurdienstleistung, Software-Entwicklung und Systemintegration. DYNAMore ist eine der ersten Adressen für Pilot- und Entwicklungsprojekte zur Simulation nichtlinearer dynamischer Problemstellungen.

www.dynamore.de

ESI

Virtual Performance Solution für herausragende architektonische Lösungen in Medina und Mekka

ESI Group informiert über die jüngsten Erfolge des ESI-Kunden SL Rasch. Das deutsche Architekturbüro – spezialisiert auf innovative Gebäude und Leichtbaustrukturen – stellte kürzlich zwei komplexe architektonische Projekte in den heiligen Stätten Medina und Mekka fertig. Das erste Projekt umfasste die Entwicklung von faltbaren Schirmen, die nun Pilger am Medina Haram Piazza vor der Sonne schützen. Beim zweiten Projekt ging es um die Konstruktion der Uhr für den Mecca Royal Hotel Clock Tower, den höchsten Uhrturm der Welt. SL Rasch konnte durch Nutzung von ESIs Virtual Performance Solution innovative Designs erforschen und physische Modelle durch virtuelle Tests ersetzen. Heutzutage werden Millionen Pilger, die jedes Jahr zur Großen Moschee von Medina in Saudi Arabien reisen, von über 250 hydraulisch angetriebenen, faltbaren Schirmen geschützt, wobei jeder dieser Schirme 26x26 Meter misst. Die lichtdurchlässigen Schirme werden bei Nacht zusammengefaltet und öffnen sich bei Tag, um unter ihnen ein Mikroklima zu erzeugen, dass bis zu 8 Grad kühler ist als die Umgebung. Pilger, die das zentrale Heiligtum in Mekka besuchen, können die Uhr des Mecca Royal Hotel Clock Towers bewundern. Der Tower war mit 601 Metern nach seiner Fertigstellung 2012 das zweithöchste Gebäude der Welt. Um die Schirmkonstruktion

für Medina zu testen, verwendete SL Rasch zuerst verkleinerte physikalische Maßstabsmodelle, stellte aber schnell fest, dass dieser Ansatz zu große Einschränkungen mit sich brachte. Dr. Mahmoud Bodo Rasch, CEO von SL Rasch, nahm daher Kontakt mit Dr. Eberhard Haug, Mitbegründer von ESI Group und Autor des Lightweight Structure Analysis Codes „LISA“ auf, um beim Einsatz von Simulationsmethoden in der Entwicklung ausgefeilterer Designs für diese komplexen Konstruktionen zusammenzuarbeiten. SL Rasch hat anschließend verschiedene Konstruktionen mit ESIs Virtual Performance Solution, die eine Prüfung aller Produkteigenschaften auf Basis eines gemeinsamen Single Core-Modell ermöglicht, virtuell gebaut und getestet. Dies erforderte aufgrund der komplexen Geometrie und der gewünschten architektonischen Wirkung der zweifach gewölbten Schirmkonstruktion höchste Sorgfalt.

Ein Optimierungsprozess zur Formfindung half dabei, eine Form zu ermitteln, die eine optimale, minimierte Energie zur Folge hätte – notwendig, um die lange Lebensdauer der Bespannung unter extremen Wetterbedingungen zu garantieren. Für die Strukturanalyse von turbulenten Windlasten bei solchen Leichtbaukonstruktionen nutzte das Team Simulationen zur Fluid-Struktur-Kopplung (FSI), wobei die numerische Strömungssimulation (CFD) mit der Strukturmechanik (CSD) gekoppelt wird. Beide sind als Bestandteil der Virtual Performance Solution verfügbar. SL Rasch und ESI haben gemeinsam spezielle maßgeschneiderte Module entwickelt, um natürliche turbulente Windbelastungen zu modellieren und die Form und Struktur der Schirme zu optimieren. Diese wurden dann für Computersimulationen genutzt, in denen das sichere Falten und Verstauen der gigantischen Schirme unter Berücksichtigung von Schwerkraft, Überlappungen und Windlasten untersucht wurde. ESIs herausragende Expertise bei der Simulation der Airbagfaltung für die Automobilindustrie erwies sich für



Call for Papers

10. Europäische

LS-DYNA Konferenz

15. - 17. Juni 2015 in Würzburg



Bild: Daimler AG

Sie sind sehr herzlich eingeladen, Ihre Berechnungen an der 10. Europäischen LS-DYNA Konferenz vorzustellen. In Ihrem Vortrag können Sie über Ihre Anwendung mit LS-DYNA, LS-OPT, LS-TaSC oder LS-PrePost berichten. Auch Vorträge, die noch ungelöste Probleme behandeln, sind willkommen.

Nutzen Sie diese Gelegenheit für den Austausch mit anderen Anwendern und den Software-Entwicklern. Wir freuen uns auf Ihren Vortrag.

Vortrag einreichen unter:

www.dynamore.de/paper2015

Informationen zur Konferenz:

www.dynamore.de/ls-dyna2015

In Kooperation mit



diese Untersuchungen als ausgesprochen hilfreich.

www.esi-group.com

FUNCTIONBAY

Erfolgreiche RecurDyn TechnologieTage 2014

FunctionBay GmbH organisierte auch dieses Jahr wieder die RecurDyn TechnologieTage, bei denen Anwender und Interessenten alles rund um RecurDyn erfahren konnten. RecurDyn ist eine Software für dynamische Mehrkörpersimulation, welche zudem eine nahtlose Einbindung von nicht linearen Finiten Elementen sowie Regelungstechnik in einem Solver anbietet. Die RecurDynTechnologieTage fanden am 5. & 6. November 2014 im Leonardo Royal Hotel in München statt. Nahezu 100 Teilnehmer konnten sich am ersten Tag durch interessante Anwendervorträge darüber informieren, in welchen Bereichen RecurDyn bei diesen Firmen bzw. Forschungsinstituten verwendet wird. Die Vortragsreihe wurde durch Präsentationen von FunctionBay Inc. abgerundet, die die weitere Entwicklungsstrategie, insbesondere das neue G-Modeling Konzept, von RecurDyn beschrieben. Eine gelungene Abendveranstaltung frei nach dem Motto „Bayerischer Abend für Analysten“ ließ den ersten Tag relaxt ausklingen. Am zweiten Tag wurden wieder verschiedene Workshops zu bekannten RecurDyn Modulen angeboten.

www.functionbay.de

GRANTA DESIGN

Granta aktualisiert Metall- und Kunststoffkennwerte

Granta Design kündigte die Veröffentlichung von sechs aktualisierten Materialreferenz-Datenmodulen. Die Module umfassen Kennwerte und damit verbundene Informationen aus führenden Datenquellen für Metalle (MI-21, StahlDat SX und NIMS) oder Kunststoffe (Prospector Plastics, Campus und M-Base). Ingenieure benötigen diese verlässlichen Referenzdaten für materialbezogene

Aufgaben wie z. B. die Werkstoffauswahl, Substitutions- und Äquivalenzuntersuchungen, Simulation, Zertifizierung und bei der Spezifizierung der einzusetzende Materialsorte. Die Granta Softwareprodukte bieten Zugriff auf eine regelmäßig aktualisierte, umfassende und zentral abgelegte Bibliothek dieser und anderer Werkstoff-Referenzdaten. Dies unterstützt die Anwendung von Werkstoffen in der Entwicklung, hilft dabei, Zeit einzusparen und die stellt die Verwendung der besten und aktuellsten Daten sicher.

Nutzung neuester Erkenntnisse des EMIT Konsortiums

Das Environmental Materials Information Technology (EMIT) Konsortium hat Verbesserungen der in Granta MI enthaltenen Technologie für Compliance-Anwendungen angekündigt. Die Neuerungen werden mit der kommenden Version der Granta MI:Restricted Substances Software ausgeliefert. Diese umfassen vor allem die Erkenntnisse der Konsortium-Mitglieder über angepasste, grundlegende Datenstrukturen (Datenbankschema) des Systems. Die resultierende Template-Datenbank kann von allen Anwendern der Software genutzt werden, um existierende Implementierungen zu verbessern oder neue Projekte zur Einführung von Nachhaltigkeitsuntersuchungen durchzuführen.

MI:Materials Gateway für HyperMesh

Granta Design hat die Veröffentlichung von Granta MI:Materials Gateway für HyperMesh bekannt gegeben. Die neue Anwendung bietet einen schnellen und rückverfolgbaren Zugriff auf Materialdaten und Anwendungen innerhalb von HyperMesh, dem CAE-Preprocessor der Altair HyperWorks Suite. Das neue Werkzeug für HyperMesh bestätigt die MI:Materials Gateway Produktfamilie als Standardlösung für den Zugriff und die Anwendung unternehmensweiter Werkstoffdaten für eine große Bandbreite an CAD-, CAE- und PLM-Software.

Automotive Material Intelligence Consortium (AutoMatIC)

Granta Design hat den erfolgreichen Abschluss des ersten AutoMatIC-Treffens bekannt gegeben, das am 23. Oktober 2014 bei PSA Peugeot Citroën in Paris stattfand. Die Gründungsmitglieder General Motors, Jaguar Land Rover, KSPG AG und PSA Peugeot Citroën erhielten dabei Verstärkung vom neuesten Mitglied, Honeywell Turbo Technologies. Im Verlauf des Treffens diskutierten die Mitglieder, wie man mit Werkzeugen zur Verwaltung und Anwendung von Materialinformationen den Werkstoff-Herausforderungen, z. B. im Leichtbau, bei der Emissionsreduzierung, bei Beschaffungsrisiken und bei der Integration von Werkstoffinformationen in Konstruktions-, Simulations- und PLM-Strategien, begegnen kann. Durch den gegenseitigen Austausch von Erfahrungen und Ratschlägen stellen die Mitglieder sicher, dass sie sich diesen Herausforderungen stellen und ihre Strategien bezüglich Materialdatenmanagement einer sich weiterentwickelnden Industrie anpassen können. Ein zweites Treffen ist für Frühjahr 2015 geplant.

www.grantadesign.com

INSTAL

Instal-News erschienen

Die Ausgabe 12/2014 des Instal Newsletters ist vor kurzem erschienen.

www.instal-online.de

ISKO ENGINEERS

Neue SDM-Software „Simu-space“ für den Mittelstand

Das Produktdatenmanagement (PDM) ist längst zu einem strategischen Werkzeug einer effizienten Produktentwicklung geworden, auch in mittelständischen Unternehmen. Für das Simulationsdatenmanagement (SDM) gilt dies so noch nicht. Dies liegt im Wesentlichen daran, dass die heutigen SDM-Systeme in Funktionalität und Komplexität vorrangig an den Bedürfnissen und auch den Hard- und Software-Res-

sources großer Hersteller ausgerichtet sind. Der Münchner CAE-Experte ISKO engineers vertreibt mit Simuspace nun eine SDM-Lösung, die konsequent auf mittelständische Entwicklungs- und Fertigungsunternehmen zugeschnitten ist.

Als großer Engineering-Dienstleister besitzt ISKO langjährige Erfahrung in Simulationsanwendungen, der Optimierung und dem systematischen Anforderungsmanagement, sowohl bei Projekten großer OEMs als auch in mittelständischen Betrieben. Diese Expertise fließt in die neue SDM-Plattform Simuspace ein. Das System ermöglicht eine strukturierte und konsistente Verwaltung aller Prozesse und Daten, die bei der Neu- oder Weiterentwicklung von Produkten und während ihres gesamten Produktlebenszyklus anfallen. Im Design ist es optimal an die Anforderungen in mittelständischen Unternehmen angepasst:

- Die SDM-Anwendung mit Simuspace lässt sich einfach skalieren und wächst bedarfsgerecht mit.
- Simuspace lässt sich den proprietären Prozessen und der vorhandenen unternehmensspezifischen Hard- und Software-Infrastruktur flexibel anpassen.
- Wartung und Systemanpassungen können vom Nutzer nach kurzer Einarbeitungszeit selbst durchgeführt werden.
- Die Lizenzverwaltung und das Monitoring der im Simulationsprozess genutzten Software ermöglicht eine Optimierung der benötigten Software-Pakete.
- Die offene Struktur von Simuspace ermöglicht den Anschluss an PLM-Systeme.

Simuspace optimiert auf unterschiedlichen Wegen die Wertschöpfung mittelständischer Entwicklungs- und Fertigungsbetriebe. Die Automatisierung von Aufgaben sowie die schnelle und strukturierte Bereitstellung von Daten entlastet den Berechnungsingenieur und geben ihm die Möglichkeit, sich voll auf seine kreative Ingenieurleistung zu fokussieren. Die vorhandenen technischen Ressourcen werden bestmöglich genutzt und die Standardisierung von Prozessen begünstigt. Simuspace bringt die Effizienz groß-



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

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

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

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

Subscribe now!

formatiger Ressourcenverwaltung in die Welt des Mittelstandes. Zugleich fördert Simuspace den Aufbau eines konsistenten Wissensmanagements. Solange in Unternehmen Erfahrung und Wissen an Personen gekoppelt sind, droht mit jeder Personalveränderung ein erheblicher Wissensverlust. Simuspace hält Wissen systematisch im Unternehmen und macht es personenunabhängig zugänglich. Auch die standortübergreifende Kooperation gewinnt durch systematisches SDM an Effizienz und Qualität.

www.isko-engineers.de

MSC SOFTWARE

Simulations-Knowhow für Studenten, Professoren, Forscher

MSC Software gab die Veröffentlichung des MSC Academic Learning Center bekannt. Dabei handelt es sich um eine Online-Plattform, die ein breites Spektrum für Training und interaktives Lernen im Internet bietet. Das Angebot richtet sich explizit an Studenten, Professoren und Forscher und soll die Ausbildung im Bereich Computer Aided Engineering (CAE) erleichtern. Das MSC Academic Learning Center bietet die gleichen Möglichkeiten wie das kommerzielle MSC Learning Center. Anwender können bequem und flexibel an jedem Ort und zu jeder Zeit lernen und an Seminaren teilnehmen.

Im Moment bietet das MSC Academic Learning Center Kurse und Lernmaterialien für MSC Nastran und Adams. MSC Nastran ist der weltweit am häufigsten eingesetzte Finite Elemente (FE)-Solver für Strukturanalysen in den Bereichen Statik, Dynamik und Akustik. Mit Adams können Ingenieure die Dynamik beweglicher Teile sowie die Verteilung von Lasten und Kräften in mechanischen System untersuchen und berechnen.

Zu den Lernmaterialien gehören Präsentationen, Skripte, Übungen und Testfragen. Außerdem sind verschiedene Workshops mit einfachen Beispielen bis hin zur Lösung konkreter, praxisnaher Problemstel-

lungen anhand von Modelldateien verfügbar. Durch den Austausch mit Seminarleitern und Simulationsexperten in Foren wird das Lernen interaktiv.

Die verschiedenen Seminare und alle Foren sind jederzeit über Laptop, Tablet und Smartphone zugänglich. Die Kurse beinhalten Themen wie die Grundlagen der Mehrkörperdynamik, fortgeschrittene Modellierungstechniken oder lineare statische Analysen. Durch die Einteilung in verschiedene Themen können sich Teilnehmer gezielt auf bestimmte Fragestellungen konzentrieren und das Lerntempo selbst bestimmen. Dadurch kann der Wissensstand individuell vertieft oder bei Bedarf aufgefrischt werden. Studenten und Professoren müssen sich für das MSC Academic Learning Center einschreiben. Die jährliche Gebühr beträgt 99 Euro. Weitere Informationen unter www.mscsoftware.com/de/msc-academic-learning-center.

MSC Software präsentiert SimManager 2014

MSC Software hat SimManager 2014 vorgestellt. SimManager ist ein System für Simulationsdaten- und Prozessmanagement. Die neue Version enthält Prozess-Verbesserungen, innovative Funktionalitäten und eine überarbeitete Benutzeroberfläche, um Anwendern die Arbeit mit SimManager noch einfacher zu machen. Zudem werden viele häufig verwendete Computer Aided Engineering (CAE)-Programme integriert. Dazu gehören Adams, Patran und Marc von MSC Software, aber auch ANSA von Beta CAE Systems. Die Highlights der neuen Version: Adams/Car Portal und Integration: Die Integration von Adams/Car in SimManager adressiert eine zentrale Herausforderung der Automobilindustrie. Dank dieser Integration besitzen Entwicklerteams nun eine Plattform, auf der sie global zusammen an der Simulation des Gesamtfahrzeuges im Bereich Mehrkörperdynamik arbeiten können. Die Integration wird durch eine Client-Plug-In-Installation erreicht. Direkt von der Adams/Car-Oberfläche kann auf SimManager zugegriffen

werden. Das Plug-In bietet Anwendern die Möglichkeit, Modelle von SimManager abzurufen, zu bearbeiten und wieder in SimManager zu veröffentlichen.

SimManager Client Integration: Mit der neuen Version werden viele häufig genutzte CAE Pre- und Postprozessoren direkt in SimManager integriert. Diese Integration ermöglicht es in den Applikationen, Modelle zu öffnen, Input- und Ergebnisdateien von SimManager abzurufen, Änderungen vorzunehmen und wieder in SimManager einzuspielen. Integriert sind die Programme Patran 2010-2014, SimXpert 2012-2013, Marc Mentat 2012-2014, Adams/Car 2011-2013 und ANSA 15.

Explorer Desktop Client: Dank des neuen Windows Desktop Explorers kann auf SimManager direkt vom Desktop aus zugegriffen werden. Der Explorer unterstützt Anwender, Modelle und die zugehörigen Dateien abzurufen und Aktualisierungen vorzunehmen, die wieder in SimManager hochgeladen werden können. Verbesserungen des Work Request Workflow: In vorhergegangenen Versionen wurde ein 'Work Request' implementiert, mit dem Anwender Standard-Aufgaben definieren können und immer über den aktuellen Status und Fortschritt der Aufgaben informiert sind. Dieser 'Work Request' wurde verbessert, um ein robustes Workflow-Management-System zu bieten.

Integrierter VCollab 3D Model Viewer: Der Model Viewer ermöglicht die Visualisierung von CAD- und CAE-Modellen und Ergebnissen. SimManager 2014 integriert VCollab und VMove direkt als optionale Module. VCollab ist ein herstellerneutraler, kompakter und webfreundlicher Viewer für Finite Elemente (FE)-Analysen und CAD-Daten. SimManager in Verbindung mit VCollab erzeugt leichte webfreundliche 3D-Momentaufnahmen und 2D-Bilder. Ergebnisse können für eine interaktive Nachbearbeitung auch im Web-Browser angezeigt werden.

CAE-Software MSC Apex revolutioniert Berechnungsprozess

MSC Software hat mit MSC Apex die neue Computer Aided Enginee-

ring (CAE)-Plattform der nächsten Generation vorgestellt. MSC Apex ist das weltweit erste auf Computational Parts basierende CAE-System und wird als Plattform für ein breites physikalisches Spektrum und viele zukünftige Anwendungen von MSC dienen. MSC Apex wird die Arbeitsweise von Ingenieuren ändern, da sich die Zeit für CAE-Modellierung und aufwendige Entwicklungsprozesse von Tagen auf wenige Stunden reduziert. Die Plattform liefert in der ersten Version innovative Technologien zur Geometriaufbereitung und Vernetzung.

„Die Arbeitsmuster, die vor mehr als 30 Jahren für die Simulation entwickelt wurden, haben sich nicht weiterentwickelt. Sie können nicht mit den heutigen Herausforderungen der Industrie Schritt halten“, kommentiert Dominic Gallelo, President & CEO von MSC. „Wir haben den Prozess überarbeitet und viele Möglichkeiten gefunden, wie Ingenieure und Berechnungsexperten die Produktivität verbessern können. Unser Team hat einen neuen Weg gefunden, wie Geometriemodellierung, Gleichungslösung und Aufbereitung der Ergebnisse interagieren können. Preprozessing, Solver und Postprozessing werden neu zueinander in Beziehung gebracht. Der Weg geht weg von einem seriellen Prozess hin zu einem interaktiven Prozess. Das alles basiert auf einer neuen Ansicht auf Komponenten und Baugruppen.“

MSC Apex ist eine neu programmierte, vollständig integrierte und generative Simulationsumgebung:

- Paradigmenwechsel weg vom klassischen Ansatz „Pre-Solve-Post“ mit isolierten Insellösungen.
- Durchgängiger Simulationsprozess mit voller Assoziativität zwischen Geometrie- und Simulationsdaten.
- Berücksichtigung des generativen Verhaltens, um die Konsistenz der

Modelle und Daten zu garantieren. Das bedeutet, ändert der Anwender ein Geometriefeature, ändert sich das gesamte Modell inklusive Netz, aufgebracht Lasten und Analyse-daten entsprechend mit.

MSC Apex bietet Funktionen zur direkten CAE-spezifischen Modellierung und Vernetzung:

- Der Prozess vom CAD-Modell zum fertigen Netz wird um einen Faktor von bis zu 50 beschleunigt.

- Die Geometrie von CAD-Modellen muss für die Simulation aufbereitet werden. Die Bereinigung der Geometrie und Validierung des Netzes sind oft mühsam, fehleranfällig und dauern sehr lange. MSC Apex bietet für diesen aufwendigen Prozess ein komplettes Set an Werkzeugen, die die Vernetzung und Geometriaufbereitung schnell und einfach machen.

MSC Apex verfügt über integrierte Solver-Methoden:

- Integrierte Solver-Methoden erlauben es Anwendern, Teile und Subsystem-Modelle interaktiv zu validieren. Daraus ergeben sich bei der Modellerstellung bis zu 10-fache Produktivitätsgewinne.

- Das traditionelle Verfahren zur Validierung eines Finite-Elemente (FE)-Modells ist iterativ und zeitaufwendig. Häufig müssen Rechnungen von vorn gestartet und Fehlermeldungen interpretiert werden. Dank des generativen Verhaltens von MSC Apex können sich Anwender von diesem alten „Pre-Solve-Post“-Paradigma befreien. Modelle werden schrittweise validiert und viele zeitraubende Iterationen entfallen.

MSC Apex ist das weltweit erste auf „Computational Parts“ basierende CAE-System:

- Computational Parts sind mathematische Modelle, die das Verhalten eines Bauteils unabhängig von den anderen Teilen in einer Baugruppe darstellen. Anwender müssen daher

mit der Validierung einzelner Teile nicht mehr bis zur Validierungsphase der gesamten Baugruppe warten. In der gleichen Zeit können sehr viel mehr Konzept- und Variantenstudien durchgeführt werden.

- Computational Parts können beliebig ausgetauscht und zusammengesetzt werden. Dabei können individuelle Sicherheitsstufen definiert werden, die geistiges Eigentum schützen. Das garantiert eine reibungslose Zusammenarbeit nicht nur in einem Team, sondern entlang der gesamten Lieferkette.

MSC Apex ist kompatibel mit Patran und MSC Nastran:

- MSC Apex™ unterstützt den Industriestandard .bdf, um Daten zu importieren und zu exportieren. Das macht die Migration und Integration der Software in bestehende Prozessketten mit Patran und MSC Nastran sehr einfach.

- Zukünftige Versionen werden weitere Produkte unterstützen.

MSC Apex bietet eine einzigartige, benutzerfreundliche Arbeitsumgebung, die auch von Nicht-CAE-Experten in nur einem Tag gelernt werden kann. Die intuitiv gestaltete Oberfläche enthält viele Tutorials, Schritt-für-Schritt-Anleitungen und eine Mausführung, die es Anwendern einfach machen, schnell produktiv mit der Software zu arbeiten.

www.mssoftware.com

NVIDIA

Nvidia stärkt Management für den europäischen Markt

Nvidia ernennt zwei neue Vice Presidents für die Märkte Europa, Mittlerer Osten und Indien (Emeai) benannt wurden.

Jaap Zuiderveld wurde in der Region berufen zum neuen Vice President of Sales and Marketing und Xochilt

M. Balzola-Widmann zum Vice President of Consumer Business. Zuiderveld war vor Nvidia bei Colt Technology Services in London beschäftigt. Dort leitete er den globalen Direktvertrieb der Enterprise Services. Zuvor arbeitete er als Chief Operations Officer und europäischer Managing Director bei ACN sowie als Chief Executive Officer bei Active 24 – wo er zunächst die Position des Chief Operations Officer für Europa einnahm. Zuiderveld bringt über 20 Jahre Erfahrung in der IT- und Telekommunikationsbranche mit. Früher bekleidete er bereits Positionen bei Versatel Telecom International, KPN Telecom und British Telecom.

Bei Nvidia lenkt er sämtliche Unternehmensaktivitäten in Europa, dem Mittleren Osten und Indien (Emeai), inklusive Russland. Er trägt die Verantwortung für das Wachstum des Consumer-, Enterprise-, Automotive- und Embedded-Geschäfts. Vor Nvidia war Balzola-Widmann bei Amazon für die Kindle-Produktlinie in Zentraleuropa verantwortlich. Die Grande Dame der Gaming-Industrie arbeitete über Jahre in leitenden Positionen bei Activision Blizzard sowie Electronic Arts. Balzola-Widmann übernahm während ihrer 20-jährigen Karriere außerdem Aufgaben im Management- und Sales-Bereich für die europäischen Abteilungen von Ingram Micro und Symantec. Sie ist bei Nvidia für das Consumer Channel Business in Emeai verantwortlich, mit Fokus auf die Marken GeForce und Shield.

www.nvidia.com

PDTEC

Gemeinsame Cloud-basierte Datenaustausch-Lösung mit SSC-Services

Die beiden mittelständischen IT-Unternehmen PDTEC AG aus Karlsruhe und SSC-Services GmbH aus Böblingen haben eine Zusammenarbeit vereinbart und bieten eine gemeinsame, cloud-basierte Lösung für den effektiven Datenaustausch zwischen Automobilherstellern, Lieferanten und Engineering Dienstleistern an. CAD Portal von PDTEC und SWAN-

cloud von SSC ergänzen sich hervorragend zu einer durchgehenden Prozesskette, die mit einem automatisierten und effizienten Datenaustausch zu erheblichen Einsparungen führen kann und gleichzeitig durch den sicheren Ablauf wesentliche Qualitätsverbesserungen beim PDM und CAD-Datenaustausch mit sich bringt.

In der neuen, cloud-basierten Lösung können Kunden sehr einfach und schnell einen Datenaustauschprozess zwischen OEM und Dienstleister oder Zulieferer aufsetzen, da bereits wesentliche Komponenten vorkonfiguriert vorhanden sind. Die Anbindung an die OEM-spezifischen PDM-Systeme wie z.B. Smaragd, KVS, Prisma, oder TeamCenter werden von PDTECs CAD Portal standardmäßig unterstützt. SWAN sorgt für den schnellen und sicheren Datentransfer zwischen den Entwicklungspartnern. Die Entwicklungsprojekte werden so ohne großen Konfigurationsaufwand in der Cloud verwaltet und der Kunde kann sich auf die wesentlichen Inhalte - seine Entwicklungsleistung - konzentrieren.

www.pdtec.de

SCALE

DYNAMore gründet Scale als Tochterunternehmen für SDM-Softwarelösungen

-siehe auch DYNAMore -

Die DYNAMore GmbH hat mit der Scale GmbH ein neues, 100%iges Tochterunternehmen gegründet. Das Ziel ist es, Softwarelösungen und IT-Dienstleistung für Prozess- und Datenmanagement sowie FE-Methodenentwicklung in der Automobilindustrie anzubieten. Im Auftrag der AUDI AG sind so bei DYNAMore und Scale in den vergangenen Jahren verschiedene Softwareprodukte entstanden:

LoCo: Verwaltung von Simulationsmodellen, Variantenmanagement, Modellaufbau und Lastfallerzeugung, Abbildung von CAE-Prozessen.

CAViT: Integrierte Bereitstellung und Vergleich von Simulations- und Testergebnissen.

Status.E: Monitoring des Entwicklungsstandes von Fahrzeugprojekten inkl. Dokumentenmanagement. Insbesondere das Produkt LoCo mit derzeit über 400 Benutzern bei Audi und einer großen Anzahl an externen Dienstleistern wird derzeit in vielen unterschiedlichen Simulationsabteilungen intensiv genutzt. Aktuell wird LoCo auch bei anderen Marken der Volkswagen Aktiengesellschaft eingeführt.

Für den Zweck der Weiterentwicklung und Vermarktung dieser und weiterer Softwareprodukte im und außerhalb des Volkswagen Konzerns wurde die Scale GmbH gegründet. Der Firmenname Scale steht dabei für „Skalierbare Lösungen im Bereich des Simulationsdaten- und Prozessmanagements“, die auch als Kooperationsplattform für externe Entwicklungspartner eingesetzt werden können.

Damit die mit den Softwareprodukten LoCo, CAViT und Status.E verbundenen Verpflichtungen im Bereich Betrieb, Support und Weiterentwicklung geleistet werden können, wechseln 20 Mitarbeiter aus dem Bereich Simulations- und Prozessmanagement von DYNAMore Dresden und Ingolstadt zur neu gegründeten Scale GmbH mit Sitz in Ingolstadt. Die Aktivitäten im Bereich Crashberechnung mit LS-Dyna bleiben von diesem Personalwechsel gänzlich unberührt und werden bei DYNAMore unverändert weitergeführt.

Dr. Heiner Müllerschön, Geschäftsführer der Scale GmbH betont: „Uns war es wichtig, dass wir in diesem stark wachsenden Bereich Simulations- und Prozessmanagement unsere Software nun einfacher zu Standardprodukten entwickeln können. Mit der AUDI AG haben wir einen starken Partner, der unsere Visionen teilt und mit uns weiterentwickelt. Gleichzeitig haben wir nun auch die Möglichkeit, unsere Lösungen anderen Kunden im und außerhalb des Volkswagen-Konzerns anzubieten. Wir sehen großes Interesse und sind überzeugt, dass die Anwenderbasis in den nächsten Jahren stark wachsen wird.“

Die Firma DYNAMore steht für exzellente Unterstützung bei der

numerischen Lösung nichtlinearer physikalischer Problemstellungen. Das Produktportfolio umfasst die Finite-Elemente-Software LS-Dyna, den Pre- und Postprozessor LS-PrePost und die Optimierungsoftware LS-OPT sowie zahlreiche FE-Modelle für die Crashesimulation (Dummies, Barrieren, Fußgänger, Menschmodelle, ...). Schwerpunkte sind Support, Vertrieb, Schulung, Ingenieurdienstleistung, Software-Entwicklung und Systemintegration. DYNAMORE ist eine der ersten Adressen für Pilot- und Entwicklungsprojekte zur Simulation nichtlinearer dynamischer Problemstellungen.

www.scale.eu

SCILAB-ENTERPRISES

Open Source Software Scilab

Mit mehr als 100 000 Downloads pro Monat auf www.scilab.org wird eine weltweite Open Source Referenz im Bereich der numerischen Berechnung und Simulation.

Die Firma Scilab Enterprises wurde im Juni 2010 gegründet und ist heute offiziell für die Entwicklung von der Software Scilab und die dazugehörigen Dienstleistungen zuständig.

Die Software Scilab stammt aus dem französischen Forschungsinstitut Inria und wird in allen hauptstrategischen wissenschaftlichen Bereichen der Industrie benutzt, wie Luft- und Raumfahrt-, Automobil-, Energie-, Verteidigungs- und Finanzindustrie. Das Ziel von Scilab Enterprises ist es, seine Expertise in der Einsetzung von optimalen Lösungen rund um seine Berechnungs- und Simulationstools anzubieten. Scilab Enterprises betreut die Firmen mit einem Angebot von Schulung, Beratung, Migration, Unterstützung in der Anwendung und Administration, Entwicklung von kundenspezifischen Applikationen.

Scilab Enterprises basiert auf die historischen und technischen Kenntnisse von dem Scilab Consortium, das seit 2003 die Software Scilab entwickelt. Wir waren bei der ursprünglichen Onlineschaltung von der ersten Version von Scilab in 1994 dabei. Unser Team von Inge-

nieuren und Doktoren der Ingenieurwissenschaften sind Spezialisten in den Bereichen der Mathematik, der Physik, der Automatisierungstechnik, der Telekommunikationstechnik, der Signalverarbeitung und der Informatik. Diese Kompetenzen über Scilab und sein Umfeld stehen heute auch in Deutschland zu Ihrer Verfügung.

www.scilab-enterprises.com

SIEMENS PLM SOFTWARE

Neue Version von Solid Edge

Das aktuelle Release der Solid Edge Software von Siemens, Solid Edge ST7, beschleunigt mit neuen Funktionen die Produktkonstruktion erheblich. Verbesserungen bei der 3D-Modellierung und beim Rendering machen es möglich, bestimmte Aufgaben bis zu fünfmal schneller zu erledigen als mit der Vorgängerversion. Die zusätzliche Produktivität und Effizienz wird durch eine verbesserte und optimierte Benutzeroberfläche erreicht.

Im Zusammenhang mit der Veröffentlichung von Solid Edge ST7 erweitert Siemens PLM Software auch sein Portfolio an selbst entwickelten Apps und Anwendungen von Drittanbietern. Mit diesen Apps wächst der Funktionsumfang von Solid Edge über den Kernbereich Konstruktion hinaus. Die Software verfügt damit über integrierte Lösungen für Standardbauteilbibliotheken, Simulation, Fertigung und die Unterstützung von mobilen Endgeräten.

www.siemens.com/plm

SILICON GRAPHICS

Exaflop-Bereich schon bald in Reichweite

Mit der jüngsten Generation seiner Supercomputer, ausgefeilter Software und verbessertem Service ist SGI schon ein gutes Stück vorangekommen auf dem Weg zum Exaflop. SGI bietet heute bereits Systeme im zweistelligen Petaflop-Bereich, innerhalb der nächsten zwei Jahre werden es 100 Petaflops sein und

bis 2020 sollten die 1.000 Petaflops, also ein Exaflop, erreicht werden.

www.sgi.com

SIMUFACT ENGINEERING

Simufact.welding als eines der innovativsten Exponate bei der EuroBlech 2014 ausgezeichnet

Die Schweißsimulationssoftware Simufact.welding, ein Softwareprodukt der Simufact Engineering, ist als eines der drei innovativsten Exponate für die Shortlist des Awards zur EuroBlech - Kategorie Verbinden - nominiert worden. Der Award zur EuroBlech, der internationalen Technologiemesse für Blechbearbeitung, wurde von den Fachmedien blechnet und MM MaschinenMarkt, beides Publikationen des Vogel-Verlags, in diesem Jahr in sechs Kategorien verliehen. Bei der Preisverleihung am vergangenen Dienstag durfte sich Simufact mit den ebenfalls für die Verbindungstechnik nominierten Unternehmen Grenzebach Maschinenbau, dem späteren Awardgewinner, und Fronius Deutschland über die Auszeichnung freuen.

„Auch wenn wir den Award letztlich nicht gewonnen haben, ist die Nominierung und das Erreichen der Shortlist ein toller Erfolg für unser Unternehmen“, sagt Michael Wohlmuth, Geschäftsführer und CEO der Simufact.

„Wir sind davon überzeugt, dass wir mit Simufact.welding ein Softwareprodukt entwickelt haben, das sich in der Industrie durchsetzen wird. Die Simulation von Schweißprozessen ist ein Verfahren, das wichtige Fragen beim industriellen Einsatz und bei der Optimierung von Schweißprozessen beantworten kann.“

www.simufact.de

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

NAFEMS e-Learning Kurs: Elements of Turbulence Modeling	10.12.2014	Internet	www.nafems.org/e-learning	
NAFEMS Trainingskurs: Einführung in FEM	26.-28.01.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/events/nafems/2015/dach-fea2b	
Ansys Electronics Simulation Conference	10.-11.02.	München, D	www.ansys.com/Ansys/de_de/aese	Ansys
NAFEMS Trainingskurs: Verification & Validation of Models and Analyses (V&V)	03.-04.03.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/events/nafems/2015/vandv1	
Granta Anwendertreffen	03.-05.03.	München, D	www.grantadesign.com	Granta Design
4a Technologietag	05.-06.03.	Schladming, A	www.technologietag.4a.co.at	4a Engineering
NAFEMS Seminar: Multi-Objective Optimization and Robustness	23.-24.03.	Wiesbaden, D	www.nafems.org	
Buckling and Postbuckling Behaviour of Composite Laminated Shell Structures	25.-27.03.	Braunschweig, D	www.desicos.eu	Desicos
Saxsim	31.03.	Chemnitz, D	www.tu-chemnitz.de	TU Chemnitz
Automotive CAE Grand Challenge	31.03.-01.04.	Hanau, D	www.carhs.de	Carhs
European Vehicle Performance Engineering Conference	15.-16.04.	München, D	www.siemens.com/plm	Siemens PLM
ESAFORM Conference on Material Forming – ESAFORM	15.-17.04.	Graz, A	www.esaform2015.at	TU Graz
NAFEMS Trainingskurs: Einführung in CFD	21.-22.04.	Wiesbaden, D	http://www.nafems.org/events/nafems/2015/cfd-course1	
NAFEMS Trainingskurs: Simulation und Analyse von Composites	05.-06.05.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/events/nafems/2015/comp-course1	
Permas Technologietag	07.05	Stuttgart, D	www.intes.de	Intes
GSVF: Interdisziplinäre Entwicklung des Fahrzeugs 2020+	18.-20.05.	Graz, A	www.gsvf.at	ViF
Simulia Community Conference	18.-21.05.	Berlin, D	www.3ds.com/SCC	DS Simulia
European LS-DYNA Conference	15.-17.06.	Würzburg, D	www.ls-dyna2015	DYNAMore/LSTC
MSC User Konferenz	16.-17.06.	München, D	www.mscsoftware.com	MSC Software
Ansys Conference & Cadfem Users Meeting	24.-26.06.	Bremen, D	www.usersmeeting.com	Ansys/Cadfem

NAFEMS World Congress 2015



NWFC NAFEMS
NAFEMS WORLD CONGRESS 2015
 21-24 JUNE | SAN DIEGO | CALIFORNIA | USA

A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION

incorporating
spdm
 INTERNATIONAL CONFERENCE
 Simulation Process & Data Management

www.nafems.org/congress

Weitere NAFEMS Veranstaltungen: www.nafems.org/events



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.

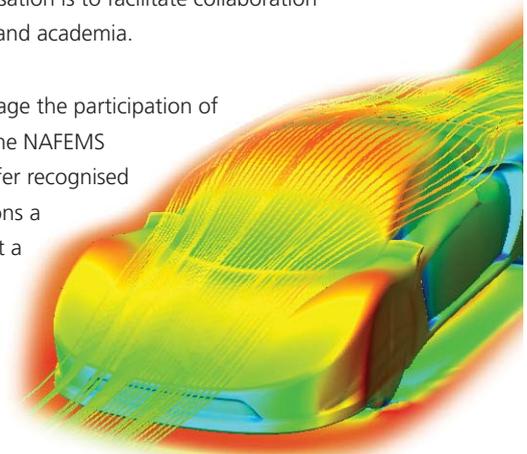
Small Company Membership is tailored to the specific needs of small to medium sized enterprises, and can also be appropriate in areas without a NAFEMS Regional Group.

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

Konservative Interpolation von CFD Ergebnissen mit einer kalibrierten Finite Volumen Methode

Bence Somogyi, Raimund A. Almbauer (Technische Universität Graz)

Andreas Domaingo (Virtual Vehicle Research Center)

Nikolaus Peller (Audi AG)

Alexander Lichtenberger (Magna Powertrain Engineering Center Steyr GmbH & CoKG)

Die Produktauslegung mit Unterstützung durch CFD Simulation ist mittlerweile Standard in vielen industriellen Prozessen. Die Entwicklungszeiten können durch die virtuelle Entwicklung verkürzt werden, und die Vielzahl an gewonnenen CFD Ergebnissen kann Erkenntnisse bieten, die rein experimentell nicht zugänglich sind.

Bei steigender Komplexität der Berechnungsaufgabe (z. B. chemische Reaktionen in bewegten Geometrien) und/oder wenn sehr viele Berechnungen durchgeführt werden müssen, können allerdings schnell die Grenzen der verfügbaren Mittel oder der verfügbaren Zeit erreicht werden. Für solche Probleme müssen vereinfachte Berechnungsmethoden mit geringerer Berechnungszeit gefunden werden. Das Hauptziel solcher Methoden ist es, genau jenen Anteil der Gesamtergebnisse, der für die Entscheidungsfindung notwendig ist, in hoher Qualität zu liefern, während bei den restlichen Anteilen auch Abstriche bei der Qualität gemacht werden können.

In diesem Artikel wird eine Methode vorgestellt, die es ermöglicht vorhandene CFD Ergebnisse zu interpolieren und gleichzeitig die physikalischen Erhaltungsgleichungen zu erfüllen. Dazu werden die Navier-Stokes Gleichungen auf einem groben Kartesischen Gitter mit der Finite Volumen Methode gelöst. Durch Kalibration mittels CFD Ergebnissen für einen fixen Betriebspunkt wird erreicht, dass die am groben Gitter gemittelten CFD Ergebnisse denen des vereinfachten Modells entsprechen.

Durch eine anschließende geeignete Interpolation der Korrekturfaktoren für verschiedene Stützpunkte können beliebige andere Stützpunkte berechnet werden. Die Qualität der Ergebnisse kann durch die Wahl der Auflösung und die Anzahl und Position der gewählten Stützpunkte angepasst werden.

Als Anwendungsbeispiel wird die Luftströmung durch eine vereinfachte Geometrie mit Hindernissen und porösem Medium betrachtet. Dabei wird besonderes Augenmerk auf die korrekte Wiedergabe des Massenstroms durch das poröse Medium geachtet. Zusätzlich werden die Auswirkungen kleiner Geometrieänderungen untersucht.

1 Einleitung

Im industriellen Umfeld steht die CFD Berechnung im Spannungsfeld zwischen benötigter Genauigkeit und Berechnungszeit. Obwohl die Rechnerkapazitäten exponentiell wachsen, sind detaillierte Berechnungen von Strömungseffekten noch immer schwer leistbar. DNS Berechnungen werden hauptsächlich zu Forschungszwecken eingesetzt, und auch LES Berechnungen haben sich noch nicht zum Standard entwickelt. Das „Arbeitspferd“ im industriellen Umfeld – insbesondere der Automobilindustrie – sind nach wie vor RANS-Modelle.

Und auch RANS kann in manchen Prozessen nicht gleichzeitig die Anforderungen an Genauigkeit und Berechnungszeit erfüllen. Zum Beispiel erfordert die ausreichend genaue Abbildung der Luftströmung für die Kühlerauslegung im Motorraum Modelle mit Gittern zwischen 15 und 20 Millionen Zellen. Der enorme Zeitaufwand der für jede einzelne Berechnung notwendig ist, erlaubt es nicht, für jeden Betriebspunkt eine CFD Berechnung durchzuführen. Man begnügt sich üblicherweise damit ein auf der Bernoulligleichung basierendes Ersatz-1D-Modell zu erstellen, dessen freie Parameter dann mit den wenigen verfügbaren CFD Daten kalibriert werden.

Die in diesem Artikel vorgestellte Methode versucht die 3D mit der 1D Welt zu verbinden. Im Prinzip werden dazu die Navier-Stokes Gleichungen auf einem sehr groben Gitter mit weniger als tausend Zellen mit dem Fini-

ten Volumen Verfahren gelöst. Durch Hinzufügen geeigneter Korrekturfaktoren – die aus CFD Ergebnissen an ausgesuchten Stützpunkten ermittelt werden können – ist es möglich, dass auch auf dem groben Gitter im Mittel die gleichen Ergebnisse gewonnen werden, wie mit der hochauflösenden CFD Berechnung [1]. Aufgrund des groben Gitters und der zusätzlichen Kalibrierungsfaktoren wird diese Methode auch als Calibrated Coarse Grid Method (CCGM) bezeichnet. Ähnliche Ansätze werden erfolgreich angewendet, um die Kühlung von Brennstäben in Atommeilern auszulegen [2].

Das verfolgte Ziel ist dabei immer das Gleiche: es werden wenige Betriebspunkte ausgesucht, für die eine detaillierte CFD Berechnung durchgeführt wird. Dann werden die Korrekturfaktoren so bestimmt, dass an ausgewählten Schnitten mit CCGM die gleichen Flüsse berechnet werden, wie mit CFD. Danach können mit CCGM beliebige Betriebspunkte durch geeignete Interpolation der Korrekturfaktoren berechnet werden – wobei die erhaltenen Lösungen noch immer den zugrundeliegenden Erhaltungsgleichungen genügen. Da durch die Korrekturfaktoren nicht aufgelöste Effekte berücksichtigt werden, können sie auch als einfache Sub-Grid Modelle interpretiert werden. Zusätzlich zur Variation von Randbedingungen des Strömungsfeldes durch Interpolation können kleine Geometrieänderungen bewertet werden. Dies kann als Extrapolation bei einem bekannten Stützpunkt verstanden werden.

Durch die sehr grobe Auflösung bei gleichzeitiger guter Abbildung der Massenflüsse bietet sich CCGM sehr gut zur Kopplung mit 1D Thermalsimulationsprogrammen an. Dadurch ergibt sich ein hohes Potential zum Einsatz der CCGM in Thermomanagement-Simulationen (TMS) für Fahrzeuge.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Mathematische Grundgleichungen

Das Strömungsfeld wird durch die Navier-Stokes Gleichungen für Medien konstanter Dichte ρ beschrieben [3]:

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho \nabla \cdot (\vec{v} \otimes \vec{v}) = -\nabla p + \mu_t \Delta \vec{v}$$

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0$$

Dabei stellen \vec{v} und p das gesuchte Geschwindigkeits- und Druckfeld dar. Der Diffusionsterm in der Impulserhaltungsgleichung mit der effektiven Viskosität μ_t soll die Turbulenzeffekte im Rahmen eines 0-Gleichungs Turbulenzmodells approximieren. Für den Druck gibt es keine Bestimmungsgleichung, er ergibt sich vielmehr durch die Massenerhaltung mittels der Kontinuitätsgleichung. Die Gleichgewichtslösung wird durch Relaxation eines beliebigen Anfangszustandes erzeugt, wobei die Druck-Geschwindigkeitskopplung durch den SIMPLE-Algorithmus [4] abgebildet wird. Da nur die stationäre Lösung von Interesse ist, muss bei der Berechnung nur bedingt auf eine genaue Modellierung des (Quasi)-Zeitoperators geachtet werden.

2.2 Korrekturen der Basisgleichungen

2.2.1 Überführung von CFD in CCGM

Im Folgenden werden Größen aus einer hochauflösenden CFD Berechnung in ein grobes kartesisches CCGM Gitter überführt. Eine typische CCGM Zelle ist in Abb. 1 dargestellt.

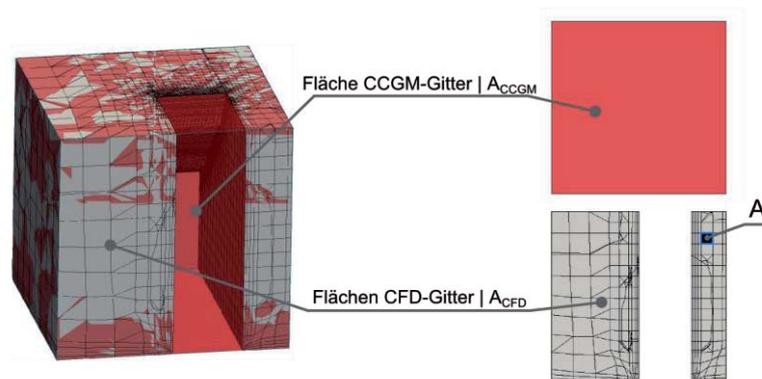


Abb. 1: Zusammenhang zwischen CFD und CCGM Gitter. CFD Zellen sind grau und CCGM Zellen rot dargestellt.

Da sich jede CCGM Zelle oder Fläche als Summe der beinhalteten CFD Zellen und Flächen betrachten lässt, gilt für extensive Größen Φ :

$$\langle \Phi \rangle_{CFD} := \sum \Phi_{CFD}$$

Bei volumen- oder flächenbezogener Mittelung gilt analog für intensive Größen φ :

$$\langle \varphi \rangle_{CFD} := \frac{\sum \varphi_{CFD} V_{CFD}}{\sum V_{CFD}} \quad \text{oder} \quad \langle \varphi \rangle_{CFD} := \frac{\sum \varphi_{CFD} A_{CFD}}{\sum A_{CFD}}$$

2.2.2 Formfaktoren

Ein Merkmal der CCGM ist die Berechnung auf einem sehr groben Gitter. Um dabei nicht aufgelöste Geometriedetails dennoch annähernd berücksichtigen zu können, werden für Integrationen im Finite-Volumen-Sinn Gewichtsfaktoren für Volumen und Begrenzungsflächen der CCGM Zellen eingeführt:

$$\int_{V_{real}} \dots dV \approx F_V \int_{V_{CCGM}} \dots dV$$

$$\int_{A_{real}} \dots dA \approx F_A \int_{A_{CCGM}} \dots dA$$

Dabei lassen sich die Formfaktoren F_V und F_A leicht durch folgende Vorschrift bestimmen:

$$F_V = \frac{\langle V \rangle_{CFD}}{V_{CCGM}}, \quad F_A = \frac{\langle A \rangle_{CFD}}{A_{CCGM}}$$

2.2.3 Fluss-Korrekturen

Für den Konvektionsterm in der Impulserhaltungs- und Kontinuitätsgleichung müssen die Flüsse durch verschiedene CCGM Flächen bestimmt werden. Um dabei auf gegebene CFD Ergebnisse zu kalibrieren, werden Fluss-Korrekturen eingeführt.

Für den Fluss einer Größe φ durch eine Fläche A gilt:

$$j_\varphi := \dot{m} \cdot \varphi = (A \rho u_\perp) \cdot \varphi,$$

wobei u_\perp die Geschwindigkeitskomponente normal zur Fläche ist. Im Rahmen der CCGM wird der Fluss am groben Gitter angenähert durch

$$\bar{j}_\varphi := j_\varphi + C_{j,\varphi}.$$

Um den Flusskorrekturfaktor $C_{j,\varphi}$ zu bestimmen, werden die gemittelten CFD Ergebnisse dem CCGM Gitter aufgebracht, und dann der simulierte Fluss mit dem CFD-Fluss verglichen:

$$C_{j,\varphi} = \langle j_\varphi \rangle_{CFD} - \hat{j}_\varphi = \langle j_\varphi \rangle_{CFD} - (F_A A \rho \hat{u}_\perp) \cdot \hat{\varphi}.$$

Die Verwendung des Hut-Symbols über den Feldgrößen deutet an, dass gemittelte CFD Größen eingesetzt werden, z. B. $\hat{u} := \langle u \rangle_{CFD}$.

Durch die Verwendung des Flusskorrektors in dieser Form wird sichergestellt, dass die CCGM-Flüsse genau den CFD-Flüssen entsprechen, wenn die CCGM-Lösung für die Feldgrößen der mittleren CFD-Lösung entspricht. Dadurch kann vor allem erreicht werden, dass eine kalibrierte CCGM Berechnung genau die gleichen Massenströme durch das poröse Medium liefert, wie die hochaufgelöste CFD Berechnung.

2.2.4 Σ -Korrekturen

Wie im vorigen Abschnitt ausgeführt, werden durch Anwendung der Fluss-Korrekturen die gleichen mittleren Flüsse wie in der zugrundeliegenden CFD Berechnung. Alle anderen Effekte, die dadurch noch nicht abgebildet

werden, können durch einen zusätzlichen additiven und/oder multiplikativen Term in den Modellgleichungen – den sogenannten Σ -Korrekturen – berücksichtigt werden.

Im Fall der Impulserhaltungsgleichung können dadurch zum Beispiel Turbulenzeffekte modelliert werden. Für die u -Komponente der Geschwindigkeit ergibt sich als vereinfachte Bestimmungsgleichung für den u - Σ -Korrektor im stationären Zustand:

$$c(\hat{u}) + \mu_t \mathcal{D}(\hat{u}) - \frac{\partial \hat{p}}{\partial x} \Delta V + C_{\Sigma,u} = 0.$$

Dabei ist $c(\hat{u})$ der diskretisierte Konvektionsterm, $\mathcal{D}(\hat{u})$ der diskretisierte Diffusionsterm, und $\Delta V = F_V V_{CCGM} = \langle V \rangle_{CFD}$. Der Konvektionsterm beinhaltet bereits die Fluss-Korrekturen und liefert dadurch genau dieselben Werte, wie die gemittelten CFD Ergebnisse. Wie klar ersichtlich ist, kann der Diffusionsterm mit der „künstlichen“ Viskosität μ_t nicht alle viskosen und turbulenten Effekte detailgetreu wiedergeben. Diese Information wird daher vom Σ -Korrektor $C_{\Sigma,u}$ getragen, der somit alle nicht aufgelösten Effekte beinhaltet.

Auch in der Kontinuitätsgleichung können nicht aufgelöste Effekte auftauchen, wie zum Beispiel Leckagen. In analoger Weise zur Impulsgleichung können solche Effekte durch einen entsprechenden Σ -Korrektor abgebildet werden. Als Bestimmungsgleichung ergibt sich in diesem Fall

$$c(\hat{1}) + C_{\Sigma,1} = 0.$$

Hier steht $c(\hat{1})$ für die diskretisierte Geschwindigkeitsdivergenz im Finiten Volumen Sinn, die wiederum bereits die korrigierten Massenflüsse beinhaltet.

3 Anwendungsbeispiele

3.1 Interpolation der Korrekturfaktoren für verschiedene CFD Berechnungen

3.1.1 Geometrie und Randbedingungen

Das Beispiel soll die Durchströmung eines sehr vereinfachten Motorraums repräsentieren, der folgende Eigenschaften abbildet:

- Ein Hindernis in der Strömung mit Strömungsabriss und Rezirkulationszone
- Ein poröses Medium als Platzhalter für einen Wärmetauscher

Die Abmessungen des Berechnungsgebietes sind in *Abb. 2* dargestellt.

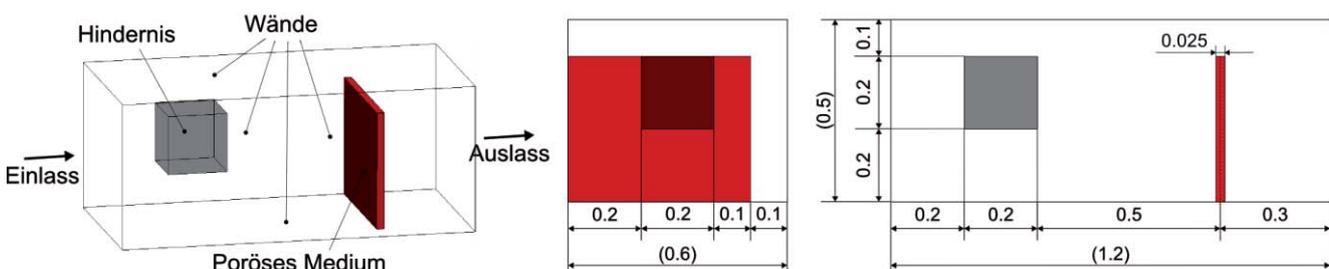


Abb. 2: Abmessungen und Randbedingungen des Berechnungsgebietes (alle Maße in m)

3.1.2 CFD Berechnungen

Die CFD Berechnungen für die Bedatung der CCGM Korrekturfaktoren wurden mit OpenFOAM 2.1.1 durchgeführt. Dabei wurde das Berechnungsgebiet mit rund einer Million Zellen aufgelöst. Es wurden fünf verschiedene Fälle mit unterschiedlichen Randbedingungen berechnet. Drei von ihnen dienen als Stützpunkte für die Berechnung der Korrekturfaktoren, zwei als Vergleichsbasis zu den ermittelten CCGM Ergebnissen. Die Randbedingungen sind in *Tab. 1* zusammengefasst.

Fall #	Einlass			Auslass	Wand	Stützpunkt?
	Geschw. [m/s]	TKE [m ² /s ²]	ω [1/s]	Stat. Druck [bar]		
1	1	0,003	0,014	1,1	no-slip	Ja
2	5	0,044	0,058	1,1	no-slip	Nein
3	10	0,149	0,106	1,1	no-slip	Ja
4	15	0,304	0,151	1,1	no-slip	Nein
5	20	0,503	0,194	1,1	no-slip	Ja

Tab. 1: Randbedingungen für die CFD Berechnung

Das poröse Medium wurde mittels des Darcy-Forchheimer Modells abgebildet. Die verwendeten Koeffizienten werden in Tab. 2 angegeben.

	Darcy [1/m ²]	Forchheimer [1/m]
x Richtung	2,00E+07	3,00E+02
y/z Richtung	2,00E+09	3,00E+04

Tab. 2: Porositätsparameter für die CFD Berechnung

Als exemplarisches Ergebnis der CFD Berechnungen sind in Abb. 3 das stationäre Geschwindigkeits- und Druckfeld für Fall 3 abgebildet.

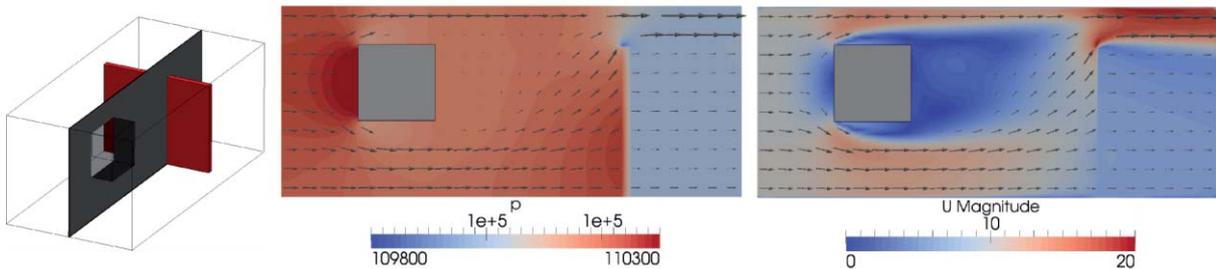


Abb. 3: Druck und Geschwindigkeitsbetrag in der mittleren Schnittebene für Fall 3 mit Einlassgeschwindigkeit 10 m/s.

3.1.3 CCGM Berechnungen

Die Berechnungen wurden auf einem Kartesischen Gitter mit Zellen der Abmessung (0,1 x 0,1 x 0,1) m - also nur 360 Zellen - durchgeführt (vgl. Abb. 4).

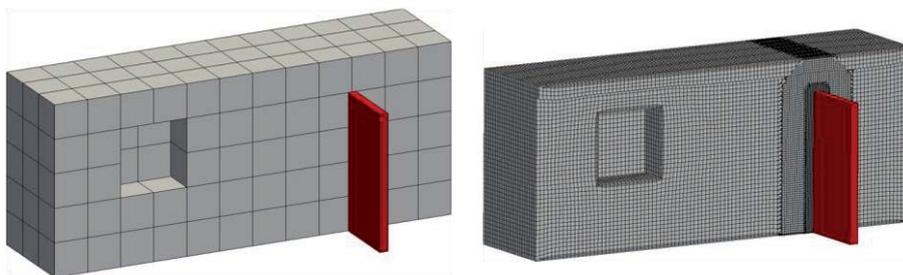


Abb. 4: Vergleich zwischen CCGM Gitter (links) und CFD Gitter (rechts).

Die CCGM Berechnungen wurden mit denselben Randbedingungen wie die CFD Berechnungen durchgeführt. Nur wurde anstelle des k - ω -Turbulenzmodells in der CFD Rechnung für die CCGM Rechnung das bereits erwähnte 0-Gleichungs Turbulenzmodell mit einer konstanten effektiven Viskosität von $0,1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ herangezogen. An den Wänden wurde deshalb anstatt der no-slip eine slip-Randbedingung angesetzt.

Für die Untersuchung wurden für die Fälle 1, 3 und 5 die Korrekturfaktoren ermittelt und direkt die CCGM Berechnung durchgeführt. Für die Fälle 2 und 4 wurden zuerst in jeder Zelle und Fläche die Korrekturfaktoren interpoliert. Basis für die Interpolation war dabei die quadrierte Einlassgeschwindigkeit.

Der Einfluss der Korrekturfaktoren auf die Ergebnisse für Fall 1 ist in *Abb. 5* dargestellt. Wie erwartet kann durch die Berücksichtigung der Korrekturen erreicht werden, dass die CCGM Ergebnisse den gemittelten CFD Ergebnissen entsprechen.

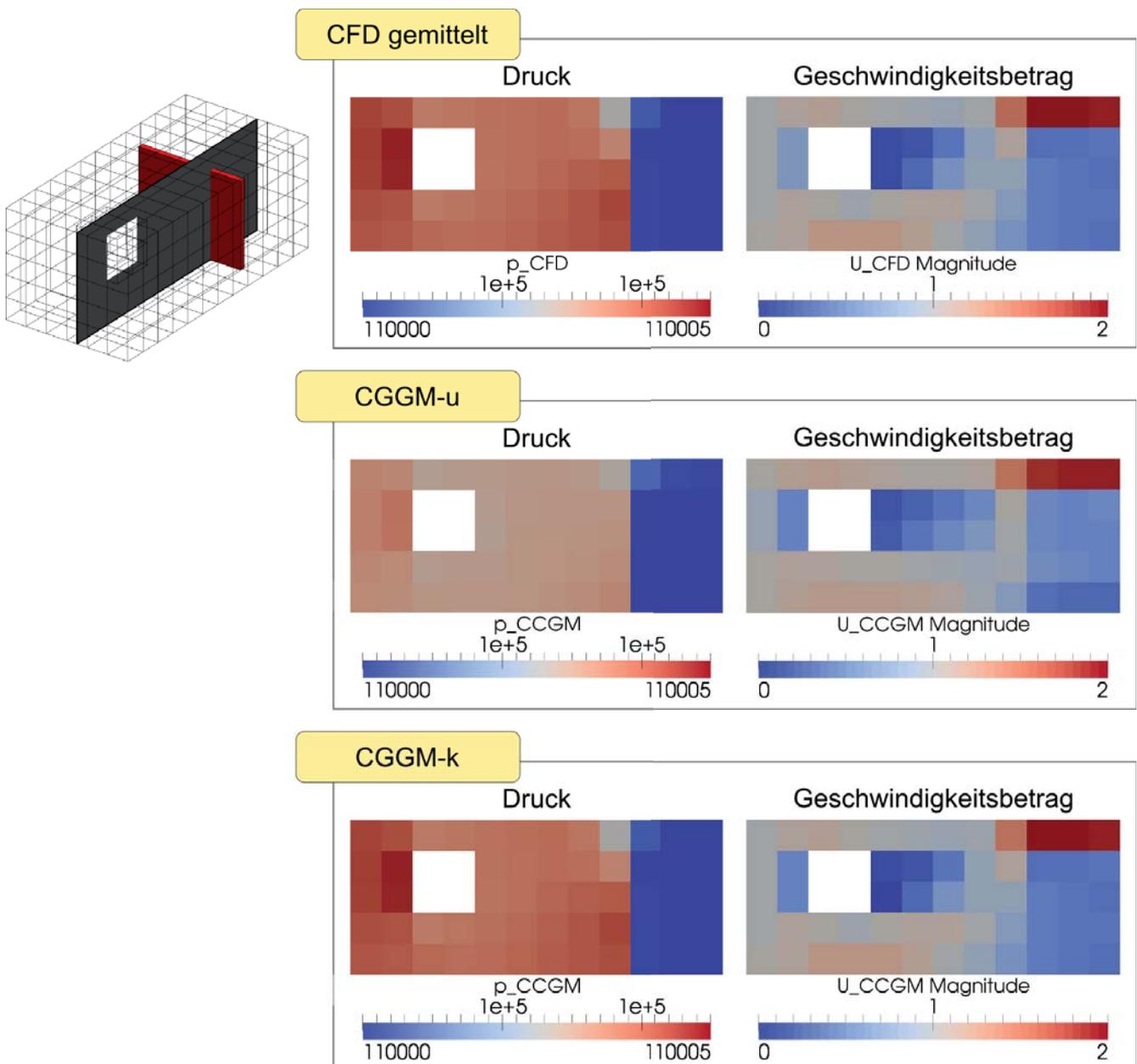


Abb. 5: Einfluss der Korrekturfaktoren auf Druck- und Geschwindigkeitsfeld für Fall 1. In der ersten Zeile sind die am CCGM Gitter gemittelten CFD Ergebnisse dargestellt. Die CCGM Ergebnisse ohne (CCGM-u) und mit Korrektur (CCGM-k) folgen in Zeile zwei und drei. Bei Anwendung der Korrektur stimmen gemittelte CFD und CCGM Ergebnisse überein.

Die ermittelten Gesamtmassenflüsse durch das poröse Medium für die verschiedenen Fälle sind in *Abb. 6* zusammengefasst. Wie erwartet gibt es eine fast perfekte Übereinstimmung zwischen CFD und CCGM für die kalibrierten Fälle 1, 3 und 5. Für die interpolierten Fälle 2 und 4 konnte durch die Anwendung der Korrekturfaktoren eine deutliche Verringerung der Unterschiede zwischen CFD und CCGM erzielt werden. Die maximale Abweichung liegt bei der kalibrierten CCGM nun auch für die interpolierten Fälle deutlich unter 5%.

In *Abb. 7* ist die Verteilung der Massenflüsse in der Porosität für Fall 1 bei 1 m/s Einlassgeschwindigkeit dargestellt. Hier werden im Vergleich zum Gesamtmassenfluss für den unkorrigierten Fall höhere Abweichungen zu den CFD Ergebnissen festgestellt (bis zu 54%). Da Abweichungen nach oben und unten auftreten, kommt es zur in *Abb. 6* angeführten Gesamtabweichung von ca. 27%. Durch Anwendung der Korrekturfaktoren kann nicht nur der Gesamtmassenfluss mit den CFD Ergebnissen in Einklang gebracht werden, sondern auch der Massenfluss in jeder CCGM-Zelle (mit einer Abweichung kleiner als 1 ‰), wie ebenfalls aus *Abb. 7* ersichtlich.

Eine Zusammenfassung der minimalen und maximalen Abweichungen für die restlichen Fälle ist in *Tab. 3* angegeben. Wie bereits für den Gesamtmassenfluss beobachtet, kann auch für interpolierte Fälle die Genauigkeit der Berechnung durch Anwendung Korrekturfaktoren zumindest um einen Faktor 3 verbessert werden. Die lokalen Abweichungen sind dabei höher als die des Gesamtmassenflusses (z.B. 9,4% lokal gegenüber 3,8% gesamt für Fall 2), können aber dennoch unter 10% gedrückt werden.

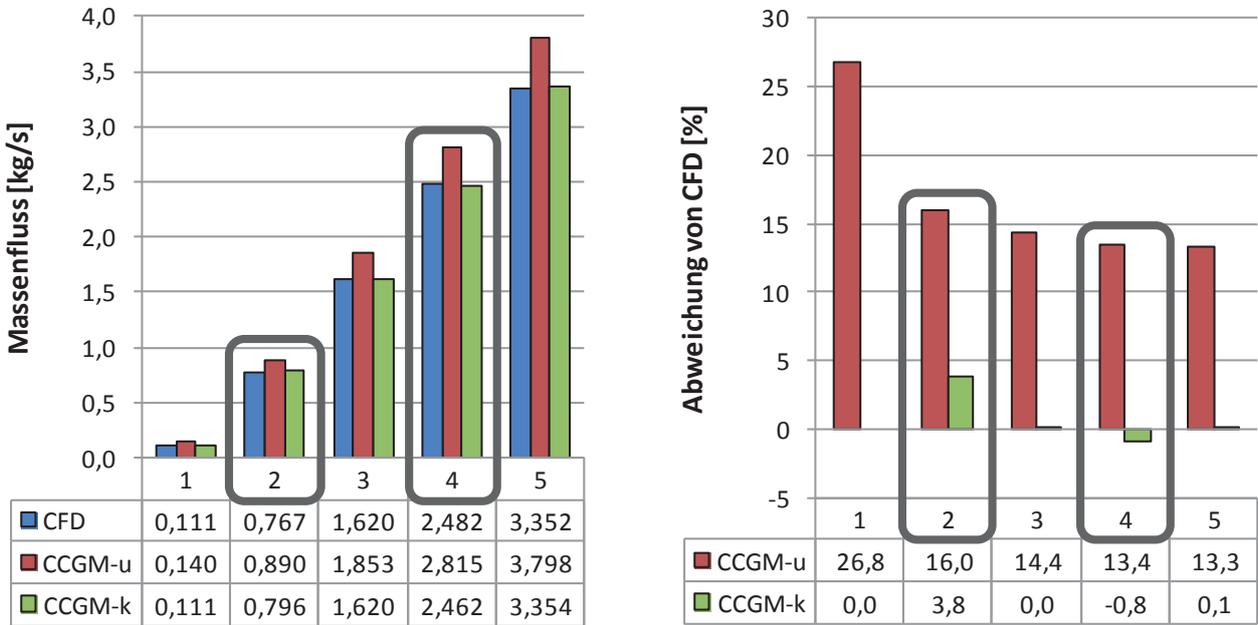
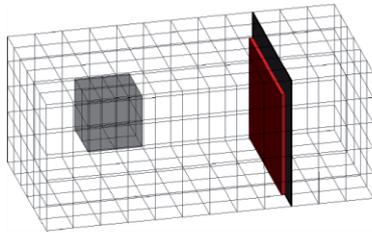
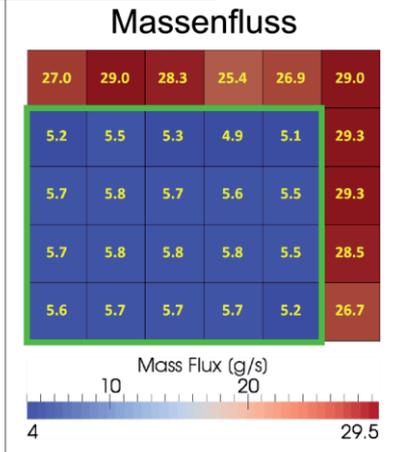


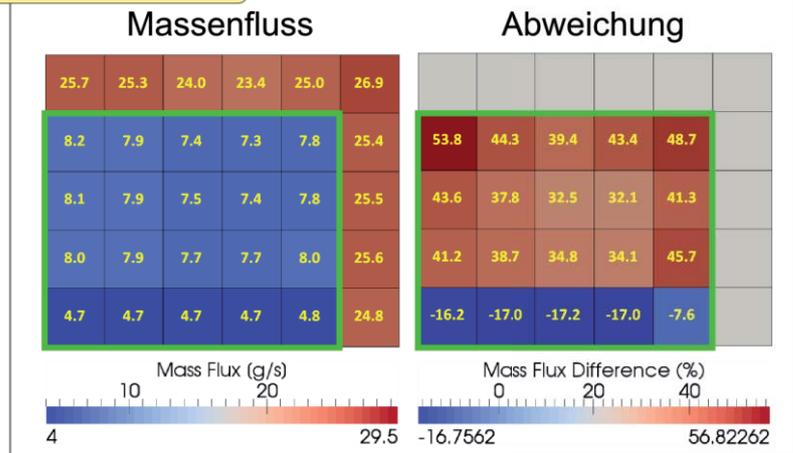
Abb. 6: Vergleich zwischen CFD, CCGM ohne (CCGM-u) und mit Kalibrierung (CCGM-k). Totaler Massenfluss durch das poröse Medium (links) und Abweichung von den CFD Ergebnissen (rechts) für die betrachteten Fälle 1 bis 5.



CFD gemittelt



CCGM-u



CCGM-k

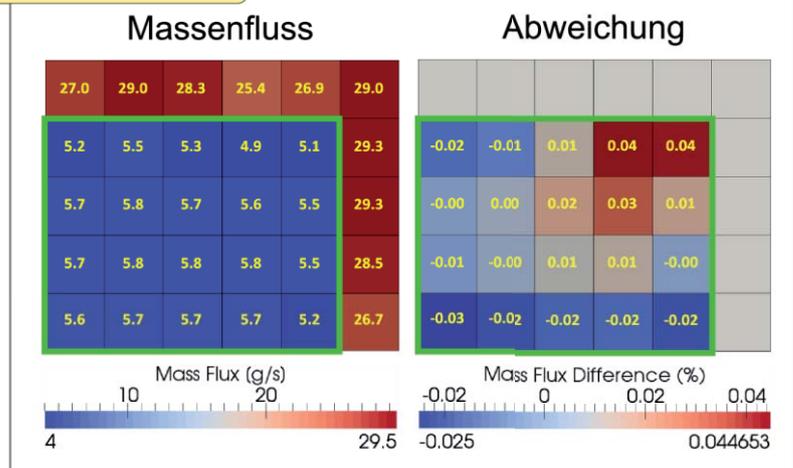


Abb. 7: Verteilung des Massenflusses durch die Porosität für Fall 1. Die Abweichung der unkorrigierten (CCGM-u) und korrigierten (CCGM-k) Ergebnisse auf die gemittelten CFD Daten wird auf den mittleren CFD-Fluss (5.5 g/s) bezogen.

Fall #	Geschw. [m/s]	CCGM-u		CCGM-k		Mittlerer Fluss CFD [g/s]
		Max. neg. Abw. [%]	Max pos. Abw. [%]	Max. neg. Abw. [%]	Max. pos. Abw. [%]	
1	1	-17,2	53,8	-0,025	0,039	5,5
2	5	-12,9	34,8	-0,044	9,400	38,3
3	10	-11,3	31,4	-0,005	0,060	81,0
4	15	-10,7	31,3	-2,500	0,600	124,1
5	20	-10,6	29,2	0,038	0,104	167,6

Tab. 3: Statistik zur Abweichung der Massenflüsse von den CFD Ergebnissen in einzelnen CCGM-Zellen der Porosität für die betrachteten Fälle ohne (CCGM-u) und mit (CCGM-k) Korrekturfaktoren.

3.2 Extrapolation bei Veränderung der Geometrie

Die betrachtete Basisgeometrie entspricht der im ersten Beispiel. Für die Variante mit geänderter Geometrie wurde die Dicke der Porosität um 60% von 25 mm auf 40 mm gesteigert. Diese modifizierte Variante wurde als Fall 6 bezeichnet. Die Randbedingungen sind in Tab. 4 nochmals zusammengefasst.

Fall #	Einlass			Auslass	Wand	Stützpunkt?	Dicke Porosität [m]
	Geschw. [m/s]	TKE [m ² /s ²]	ω [1/s]	Stat. Druck [bar]			
3	10	0,149	0,106	1,1	no-slip	Ja	0.025
6	10	0,149	0,106	1,1	no-slip	Nein	0.04

Tab. 4: Randbedingungen für extrapolierte CCGM Berechnung

Da die in der Porosität wirkenden Kräfte in CCGM durch explizite Quellterme erfasst werden, müssen sie nicht – oder nur zu einem geringen Anteil – von den Σ -Korrekturen abgebildet werden. Dadurch sind diese im Bereich der Porosität klein im Vergleich zum Bereich direkt hinter dem Hindernis. Dies ermöglicht im lokalen Umfeld der Porosität eine Änderung der Parameter, in diesem Fall der Ausdehnung der Porosität, vorzunehmen, und trotzdem die Σ -Korrekturen des ursprünglichen Falls anzuwenden. Beispielsweise könnte man auch den Widerstand der Porosität modifizieren.

In Abb. 8 sind die Ergebnisse für die Berechnung der Fälle 3 und 6 mit und ohne Berücksichtigung der Korrekturfaktoren zusammengefasst. Da auf Fall 3 kalibriert wurde, ergibt sich bei Anwendung der Korrekturen nur ein verschwindend kleiner Fehler im Vergleich zu den CFD Ergebnissen. Und auch bei Fall 6 konnte der Fehler durch die Anwendung der Korrekturen von 17,4% auf 2,1% reduziert werden.

Die lokale Verteilung der Massenflüsse für den extrapolierten Fall ist in Abb. 9 dargestellt. Wie bereits für die interpolierten Fälle festgestellt wurde, ist dabei die lokale Abweichung zwischen CCGM und CFD Massenflüssen höher, als die des Gesamtmassenflusses. Aber auch die beobachtete Abweichung von ca. 6,4% kann angesichts der sehr groben Auflösung als ausgezeichnetes Ergebnis erachtet werden.

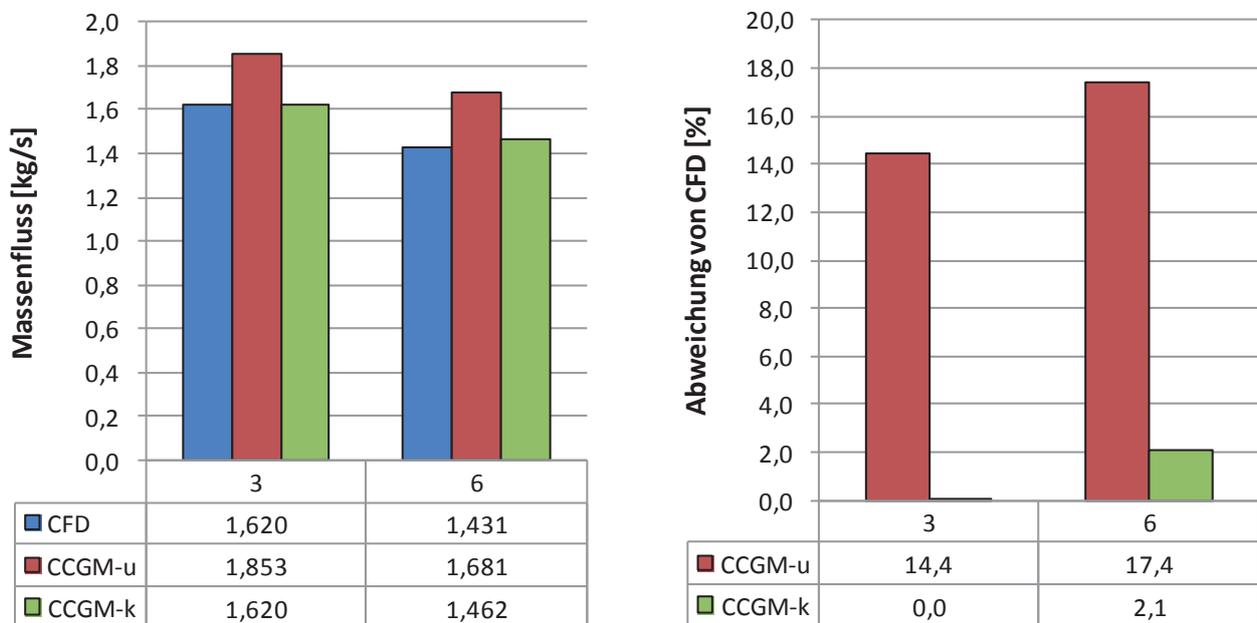
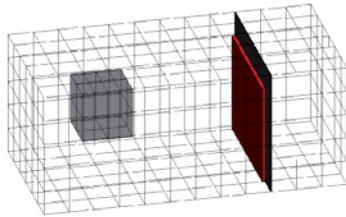
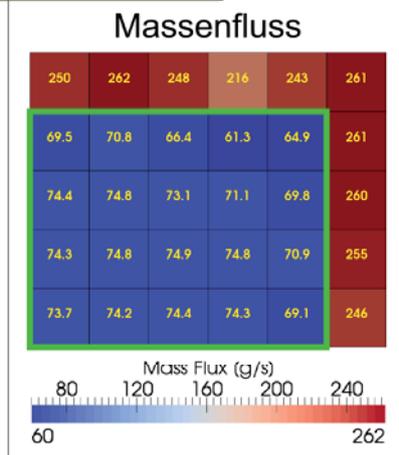


Abb. 8: Vergleich zwischen CFD, CCGM ohne (CCGM-u) und mit Kalibrierung (CCGM-k). Totaler Massenfluss durch das poröse Medium (oben) und Abweichung von den CFD Ergebnissen (unten) für die betrachteten Fälle 3 und 6.



CFD gemittelt



CCGM-k

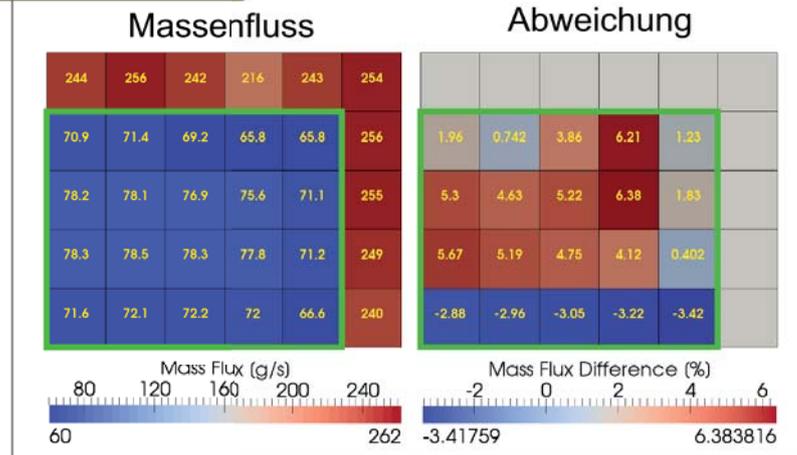


Abb. 9: Verteilung der Massenflüsse aus gemittelter CFD Berechnung und kalibrierter CCGM Berechnung für Testfall 6. Der Bezugswert für die Abweichung ist der mittlere Massenfluss aus der CFD Berechnung (71,6 g/s).

4 Zusammenfassung

Das Prinzip und die Anwendbarkeit der CCGM wurden anhand von zwei einfachen Testbeispielen demonstriert. Für den ersten Test wurden die Korrekturfaktoren aus CFD Ergebnissen abgeleitet und danach für einen beliebigen Stützpunkt interpoliert. Die Ergebnisse wurden mit den gemittelten Ergebnissen einer CFD Kontrollrechnung überprüft. Dabei wurden als Vergleichskriterien der Gesamtmassenstrom durch das poröse Medium und dessen relative Verteilung herangezogen. Es wurde eine Abweichung des Gesamtmassenstromes von deutlich unter 5% an den interpolierten Stützstellen ermittelt. Für die lokalen Abweichungen wurde eine obere Abweichung von 10% festgestellt.

Im zweiten Test wurde für einen gegebenen Stützpunkt die Dicke des porösen Mediums um 60% erhöht. Verglichen mit der CFD Kontrollrechnung konnte der Gesamtmassenfluss durch die Porosität mit einer Abweichung von nur 2,1% reproduziert werden. Die maximale lokale Abweichung lag bei 6,4%.

Angesichts der groben Auflösung der Methode, um schnelle Rechenzeiten zu erzielen, zeigen die CCGM eine ausgezeichnete Übereinstimmung mit den CFD Kontrollrechnungen.

Weitere Untersuchungen werden sich mit der Freisetzung von Wärme, aktiver Kontrolle der Strömung durch Lüfter und nicht aufgelösten Geometrieänderungen durch Anpassung der Formfaktoren beschäftigen.

5 Danksagung

Die Autoren danken dem „COMET – Competence Centers for Excellent Technologies Programme“ des Österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit), des Österreichischen Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (bmwfw), der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG), des Landes Steiermark sowie der Steirischen Wirtschaftsförderung (SFG) für die finanzielle Unterstützung.

Ebenfalls danken wir den unterstützenden Firmen und Projektpartnern Audi AG und Magna Powertrain Engineering Center Steyr GmbH & CoKG sowie der Technischen Universität Graz.

6 Literatur

- [1] Langmayr, D., Almbauer, R. A., Peller, N., Puntigam, W., Lichtenberger, A., „Calibrated Coarse Grid-Finite Volume Method for the Fast Calculation of the Underhood Flow of a Vehicle“, J. Fluids Eng., Vol. 135(10), 2013. S. 104502-1 – 104502-5.
- [2] Roelofs, F., Gopala, V. R., Chandra, L., Viellieber, M. and Class, A., „Simulating fuel assemblies with low resolution CFD approaches“, Nuclear Engineering and Design, Vol. 250, 2012, S. 548 – 559.
- [3] Ferziger, J. H., Peric, M., „Computational Methods for Fluid Dynamics“, Berlin: Springer, 2002.
- [4] Patankar, S. H., „Numerical Heat Transfer and Fluid Flow“, Washington: McGraw-Hill, 1980.

Bewertung und Optimierung der Faserverbundeignung von Leichtbaustrukturen in den frühen Phasen der Produktentwicklung

Daniel Klein, Christian Witzgall, Sandro Wartzack (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg)

Die Auslegung von Produkten aus faserverstärktem Kunststoff (FVK) stellt an Produktentwickler besonders hohe Anforderungen, denn nur wenn es gelingt, die Fasern richtig zu belasten, kann das Leichtbaupotential von FVK ausgenutzt werden. Dabei ist es zwingend erforderlich, dass bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung das Bauteildesign kritisch in Bezug auf dessen Eignung für FVK hinterfragt wird. Eignet sich ein Bauteil aufgrund seiner Geometrie oder der Belastungsart nicht, kann dies selbst durch die beste Auslegung und Simulation nicht mehr ausgeglichen werden.

In dem folgenden Beitrag wird ein erster Algorithmus vorgestellt, der es erlaubt, basierend auf einfachen FE-Simulationen mit isotropem Materialmodell, die Faserverbundeignung von Leichtbaustrukturen zu berechnen und zu visualisieren. Dazu werden über bewährte Theorien, wie etwa der klassischen Laminattheorie, Kriterien hergeleitet und diskutiert, die zusammen die Bewertung eines Bauteils zulassen. Ziel des Bewertungsalgorithmus ist es, zum einen eine Aussage über die generelle Eignung der Struktur für einen FVK zu geben und zum anderen auch Bereiche anzudeuten, die noch optimiert werden müssen. Am Ende des Beitrags wird gezeigt, dass so Verbesserungspotentiale abgeleitet werden können, die zu einer signifikanten Optimierung der Bauteileigenschaften führen.

Es ist an dieser Stelle unbedingt zu erwähnen, dass das Hauptaugenmerk dieses Beitrags auf endloskohlefaserverstärktem Kunststoff (CFK) liegt. Weite Teile des Beitrags können aber direkt auf viele unterschiedliche FVK übertragen werden.

1 Faserverbundwerkstoffe – Fluch und Segen zugleich

Striktere gesetzliche Richtlinien, ein gesteigertes ökologisches Bewusstsein, aber auch die geringer werdenden Rohstoffvorkommen und die damit ansteigenden Rohstoffpreise gehören zu den Gründen, warum der Leichtbau in vielen unterschiedlichen Branchen enorm an Bedeutung gewonnen hat. Insbesondere Faserverbundwerkstoffen kommt in diesem Kontext eine besondere Bedeutung zu, da sie durch ihre herausragenden mechanischen Eigenschaften bei geringem Gewicht ein großes Leichtbaupotential versprechen. Sehr eindrucksvoll lässt sich der Bedeutungsgewinn von Faserverbundwerkstoffen und insbesondere von CFK anhand des Markts für Carbon-Fasern zeigen, welcher von 24.000 t im Jahr 2009 auf ganze 42.000 t im Jahr 2012 angewachsen ist. Zahlreiche Zukunftsprognosen gehen bis zum Jahr 2020 sogar von einem Marktvolumen von 130.000 t aus, das sich bis 2030 auf 500.000 t vergrößern soll [1].

Trotz dieser erstaunlichen Wachstumszahlen konnte CFK sich bisher nicht weitreichend durchsetzen und Experten gehen davon aus, dass CFK auch in Zukunft nur für sehr spezielle Anwendungen eingesetzt werden wird. So wird der Anteil von CFK am Markt der Automobilwerkstoffe im Jahr 2030 nach derzeitigen Einschätzungen maximal 0,5 % betragen – was dennoch als eine enorme Entwicklung zu sehen ist, da der derzeitige Anteil kaum wahrnehmbar ist [2].

Die Ursachen, warum sich der Einsatz von CFK in Massenprodukten eher schwierig gestaltet, sind vielschichtig und reichen von zu langen Zykluszeiten in der Fertigung [3] über vergleichsweise hohe Werkstoffkosten [4] bis hin zur bisher nicht abschließend geklärten Frage des Recyclings am Ende der Nutzungsdauer. Aber vor allem auch die mangelnde Ausnutzung der mechanischen Eigenschaften schränkt den Einsatz von CFK-Werkstoffen ein [5]. Nur bei einer beanspruchungsgerechten Faserorientierung werden hauptsächlich die Fasern und nicht die Matrix belastet, die aufgrund ihrer deutlich niedrigeren Festigkeits- und Steifigkeitswerte die „Achillesferse“ von Verbundwerkstoffen darstellt.

Zwar kann durch eine Verstärkung in unterschiedliche Richtungen dieses Defizit teilweise umgangen werden, das Leichtbaupotential von endlosfaserverstärkten Kunststoffen wird bei der Anwendung von quasi-isotropen Laminaten aber nicht mehr ausgenutzt, was einen sinnvollen Einsatz fraglich macht. Aus diesem Grund spricht

MICHAELI in [6] gar von einer „Pflicht zu einer gezielten Ausnutzung der anisotropen Werkstoffeigenschaften“. Doch die Ausnutzung der anisotropen Werkstoffeigenschaften stellt Produktentwickler vor eine große Herausforderung wie im Folgenden gezeigt wird.

2 Die Crux der Faserorientierung bei der Auslegung von Faserverbundstrukturen

Um das Problem der Faserorientierung bei der Auslegung von FVK-Bauteilen zu verdeutlichen, wird zunächst eine ebene Platte unter reiner Zugbeanspruchung betrachtet, wie in *Abb. 1* gezeigt. Zu Beginn der Betrachtung wird eine Faserorientierung parallel zur Kraftachse, d.h. $\alpha = 0$, angenommen und die Dehnung ϵ_0 bei dieser „idealen“ Faserausrichtung über die klassische Laminattheorie ermittelt. In weiteren Schritten wird der Abweichungswinkel α von der Bezugsachse vergrößert und bei jedem Schritt die neu auftretende Dehnung ϵ_n berechnet. Wird diese Dehnung ϵ_n in Beziehung zur Ausgangsdehnung ϵ_0 gesetzt, so ergibt sich ein Wert für die relative Steifigkeit der Platte, der in *Abb. 1* über dem Abweichungswinkel α angetragen ist.

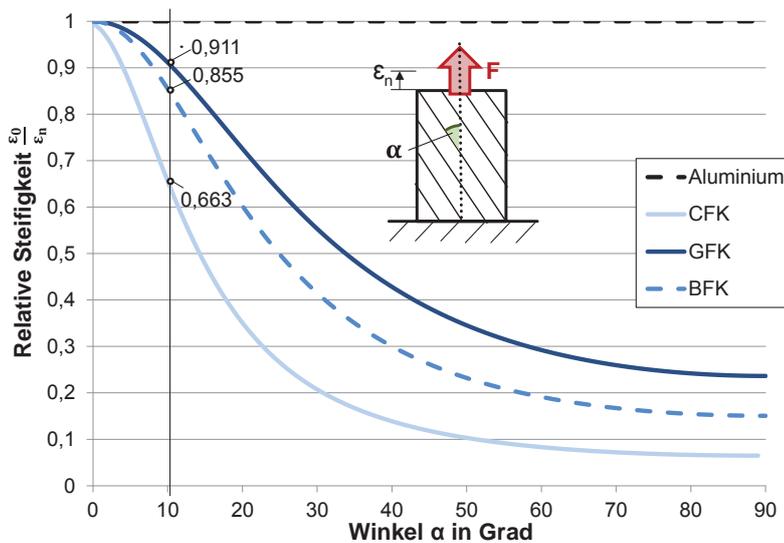


Abb. 1: Abhängigkeit der relativen Steifigkeit von der Faserorientierung auf Basis der klassischen Laminattheorie

Es zeigt sich, dass sowohl bei kohle- (CFK) als auch bei glas- (GFK) und basaltfaserverstärkten Kunststoffen (BFK) die relative Steifigkeit stark nicht-linear abnimmt, wenn die Faserorientierung von der idealen Ausrichtung abweicht. Bereits bei einer Abweichung von nur 10° fällt die relative Steifigkeit bei CFK auf 66,3 % der Ausgangssteifigkeit ab. Bei GFK und BFK fällt der Abfall der relativen Steifigkeit etwas geringer aus, da sich die E-Moduln der Matrix und der Faser nicht so stark unterscheiden wie bei CFK, es ist aber dennoch bei einer ungünstigen Faserorientierung mit einer stark eingeschränkten Ausnutzung der mechanischen Eigenschaften zu rechnen [7].

Anhand dieser einfachen Beispielrechnung kann gezeigt werden, wie wichtig es ist, dass Produktentwickler der Faserorientierung ein besonderes Augenmerk über den gesamten Entwicklungsprozess schenken. Zum einen gilt es, Schwachstellen beim Produkt-Design zu vermeiden, auf der anderen Seite müssen die anisotropen Eigenschaften aber auch gezielt ausgenutzt werden, um das Leichtbaupotential von faserverstärkten Kunststoffen auszuschöpfen und die zum Teil deutlich erhöhten Kosten rechtfertigen zu können.

Eine optimale Ausnutzung der mechanischen Eigenschaften ist allerdings nur möglich, wenn bereits beim Gestalten und Entwerfen der Bauteilgeometrie die anisotropen Materialeigenschaften berücksichtigt werden. Selbst die beste und aufwendigste Berechnung kann einen schlechten Bauteilentwurf nicht mehr ausgleichen [6]. Zudem gibt es Bauteile, die sich aufgrund diverser Anforderungen nicht für eine Faserverbundbauweise eignen. Im Rahmen des Beitrags wird daher eine neuartige Möglichkeit vorgestellt, wie basierend auf einfachen FE-Simulationen mit isotropem Materialmodell das Bauteildesign hinsichtlich Faserverbundeignung bewertet und gegebenenfalls optimiert werden kann.

3 Bestehende Ansätze zur Bewertung von Faserverbundstrukturen

Ein erster Ansatz zur Bewertung der Faserverbundeignung von Bauteilen speziell im Fahrzeugbau wurde von DURST in [8] entwickelt und in [11] um einige Funktionalitäten erweitert. Dabei wird auf Basis eines einfachen FE-Modells für jedes Bauteil einer Baugruppe ein Bauteilkennwert zwischen 0 für eine geringe und 1 für eine hohe Faserverbundeignung berechnet. Zusammengesetzt wird der Kennwert aus dem sog. Hauptnormalspannungsfaktor für die Berücksichtigung des Anisotropiezustandes im Element, dem Orientierungsfaktor für eine Bewertung lastfallbedingter Abweichungen der Hauptspannungen von einer gewählten Faserorientierung und dem Gewichtungsfaktor, der je nach Betrag des Spannungszustandes jeden Lastfall gewichtet. Allerdings werden für die Berechnung noch Annahmen getroffen, die nach den Erkenntnissen aus *Abb. 1* zu optimistisch bewerten und es wird generell davon ausgegangen, dass es nur eine einzige Faserorientierung im Bauteil geben kann, was in den frühen Phasen der Produktentwicklung und nach aktuellem Stand der Technik nicht generell angenommen werden kann. Zudem werden in diesem ersten Ansatz noch keine Festigkeitseigenschaften berücksichtigt und es wird auch keine direkte Möglichkeit gezeigt, wie die Ergebnisse bei der Produktentwicklung eingesetzt werden können. Deshalb wird, aufbauend auf der in [8] vorgestellten Idee, im Folgenden ein neuer Ansatz vorgestellt, dessen Bewertungskriterien rein auf Basis analytischer Gesetze hergeleitet werden und neben einer reinen Bewertung auch eine Optimierung des Bauteildesigns zulassen.

Daneben existieren einige Ansätze, die gezielt eine Topologieoptimierung von Faserverbundstrukturen fokussieren (siehe [9] und [10]). Der Aufwand für Modellierung und Berechnung ist bei diesen Algorithmen aber deutlich höher, als dies bei dem vorgestellten Algorithmus ist, was eine einfache und unkomplizierte Anwendung in den frühen Phasen der Produktentwicklung erschwert.

4 Das Bewertungskriterium zur simulationsbasierten Bewertung in den frühen Phasen der Produktentwicklung

Wie bereits in [8] vorgeschlagen, werden zunächst einfache FE-Modelle für jeden der n Lastfälle eines Bauteils erstellt, um die Spannungszustände im Bauteil zu erhalten (siehe *Abb. 2*). Es reicht in den frühen Phasen der Produktentwicklung dabei aus ein isotropes Materialmodell zu verwenden.

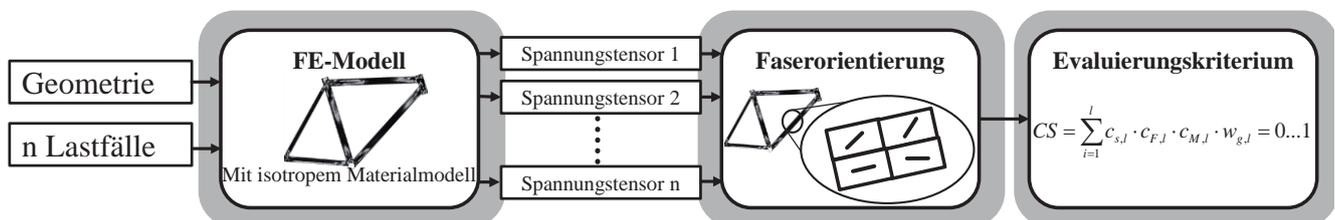


Abb. 2: Übersicht über den Ablauf der Bewertung

Das Ergebnis dieser FE-Modelle sind n Spannungstensoren für jedes Element auf deren Basis es möglich wird eine resultierende Faserorientierung im Element zu berechnen. Damit kann bei n Lastfällen für jedes Element das Evaluierungskriterium

$$(1) \quad CS = \sum_{i=1}^n c_{s,i} \cdot c_{f,i} \cdot c_{m,i} \cdot w_{g,i} = 0 \dots 1$$

mit dem Steifigkeitskoeffizienten c_s , den Festigkeitskoeffizienten c_f und c_m , sowie dem Gewichtungsfaktor w_g berechnet werden. Als Ergebnis ergibt sich, entsprechend dem Vorschlag in [8], ein Wert zwischen 0 für eine geringe und 1 für eine sehr hohe Faserverbundeignung. Wie und auf welchen Grundlagen die einzelnen Koeffizienten berechnet werden, wird im Folgenden erklärt.

4.1 Berechnung einer resultierenden Faserorientierung

Der Berechnung einer resultierenden Faserorientierung kommt eine besondere Bedeutung zu, da alle weiteren Schritte in gewisser Weise von der Faserorientierung im Bauteil abhängen. Anders als in [8] und [11] wird allerdings nicht von einer einzigen konstanten Faserorientierung im Bauteil ausgegangen, da dies aus Sicht der

Autoren eine zu starke Einschränkung der Gestaltungsfreiheit bedeuten würde. Vor allem in Hinblick auf Fertigungstechnologien wie etwa das Tailored-Fiber-Placement [12] oder die Fiber-Patch-Preforming-Technologie [13] sind in Zukunft noch deutlich größere Gestaltungsfreiheiten für Komposit-Bauteile zu erwarten, als dies aktuell der Fall ist. Zudem sollen Fertigungsverfahren mit höherer Gestaltungsfreiheit nicht bereits in der Phase der Konzeptfindung ausgeschlossen und nur die prinzipielle Machbarkeit einer Kompositbauweise überprüft werden.

Grundlage der Berechnung der resultierenden Faserorientierung ist die Erkenntnis, dass Bäume ihre Fasern iterativ entlang der Hauptspannungstrajektorien ausrichten und so die mechanischen Eigenschaften der Struktur verbessern [14]. In einigen Studien konnten die zum Teil erheblichen Verbesserungen des mechanischen Verhaltens von FVK-Bauteilen bei einer Ausrichtung nach den Hauptspannungstrajektorien aufgezeigt werden (z.B. in [7] und [15]). Deshalb werden auch für die Berechnung einer resultierenden Faserorientierung die Hauptspannungstrajektorien als Ausgangspunkt verwendet.

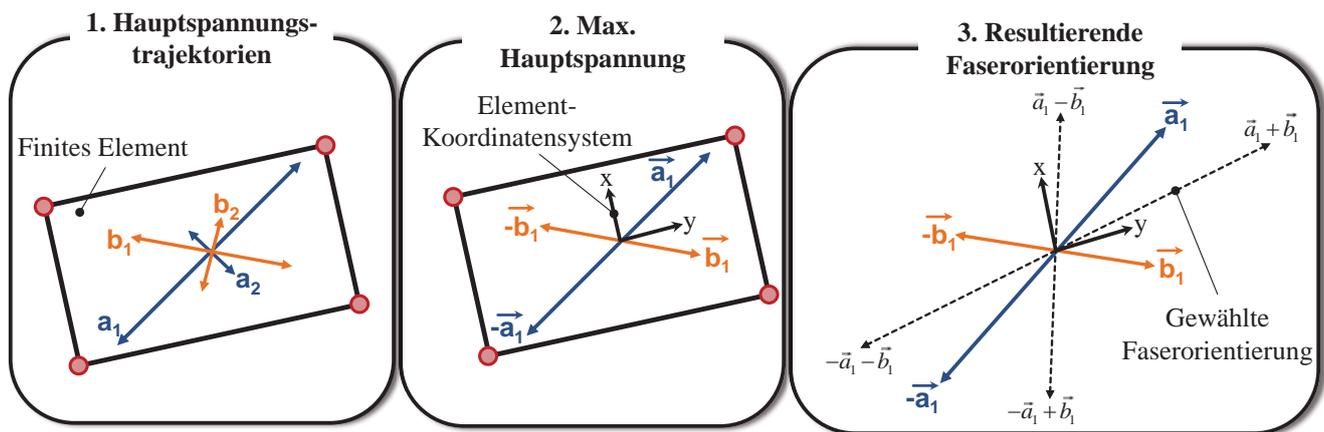


Abb. 3: Schritte bei der Berechnung einer resultierenden Faserorientierung

In Abb. 3 wird zur Erklärung des Berechnungsablaufs angenommen, dass für die Struktur zwei Lastfälle existieren und dass es sich um ebene Schalenelemente handelt, weshalb nur zwei Hauptspannungsrichtungen pro Lastfall, a_1 und a_2 für Lastfall 1 sowie b_1 und b_2 für Lastfall 2, existieren (1). Im zweiten Schritt wird die betragsmäßig maximale Hauptspannungsrichtung ausgewählt und diese Richtung in zwei Vektoren umgewandelt (2). Werden die so entstandenen Vektoren jeweils addiert, so können vier resultierende Vektoren erzeugt werden, die auf zwei mögliche Faserrichtungen hinweisen (3). Wird wiederum die Richtung gewählt, in die die betragsmäßig größten Vektoren deuten, so ist eine resultierende Faserorientierung für das Element gefunden.

Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass es bei der Auslegung von Faserverbundstrukturen in der Regel nicht zulässig ist, die kleinere Hauptspannung bei jedem Lastfall zu vernachlässigen. Bei einem nahezu isotropen Spannungszustand, bei dem die maximale Spannung nur geringfügig größer ist als die minimale Hauptspannung, würde es dabei nämlich zu einer signifikanten Belastung in orthogonaler Faserrichtung kommen. Im Rahmen dieses Bewertungsalgorithmus ist die Vernachlässigung der kleineren Hauptspannung nur dadurch möglich, dass Elemente, die einen quasi-isotropen Spannungszustand aufweisen, ohnehin durch den Steifigkeitskoeffizienten c_s degradiert werden, wie im anschließenden Kapitel gezeigt wird.

4.2 Bewertung der Steifigkeit auf Basis des Koeffizienten c_s

Einer der Vorteile von Faserverbundwerkstoffen sind die vergleichsweise hohen Steifigkeitswerte bei niedrigem Gewicht. Es ist daher ein Hauptinteresse von Produktentwicklern, diese entscheidenden Steifigkeitsvorteile auch für das Produkt nutzen zu können. Doch FVK weisen, wie in Abb. 1 gezeigt, nur in Richtung der Fasern eine hohe Steifigkeit auf. Wird die Matrix belastet, vermindert sich die Steifigkeit des Bauteils erheblich. Dabei gilt es zwei grundlegende Ursachen zu berücksichtigen, die zu einer Belastung der Matrix und damit einer reduzierten Ausnutzung der Steifigkeitseigenschaften führen.

4.2.1 Ursachen für ein reduzierte Ausnutzung der Steifigkeitseigenschaften

Zunächst können bei einem ungünstigen Bauteildesign isotrope Spannungszustände auftreten, welche sich dadurch definieren, dass der Betrag der minimalen und maximalen Hauptspannung in einem Schalenelement identisch bzw. nahezu identisch ist (siehe Abb. 4).

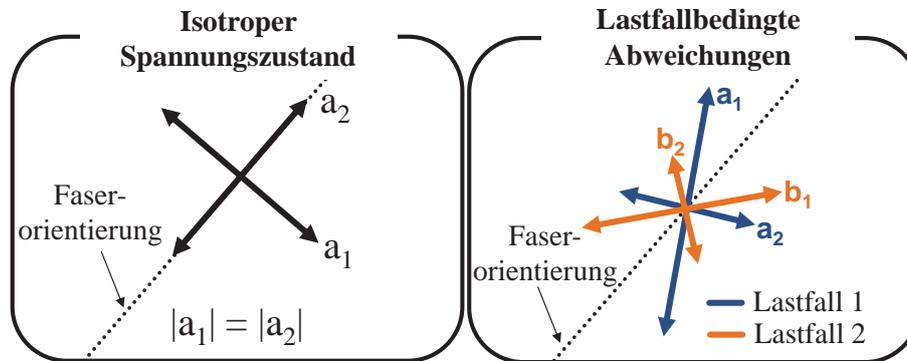


Abb. 4: Ursachen für eine verminderte Ausnutzung der Steifigkeitseigenschaften von FVK

Solche isotropen Spannungszustände sind sehr häufig bei flächigen Bauteilen, ohne klar festgelegte Hauptlastpfade zu finden und führen häufig zu einer signifikanten Belastung der Matrix, was mit einer mangelhaften Ausnutzung der Steifigkeitseigenschaften des FVK-Werkstoffs einhergeht. Zwar kann ein zweites Layer mit einer Faserorientierung in Richtung der zweiten Hauptspannungsrichtung eingeführt werden, doch dies entspricht in strengem Sinne nicht einer maximalen Ausnutzung der Leichtbaueigenschaften von FVK. Da ein zweites Layer in der Realität aber häufig unvermeidbar ist, ist es eines der Ziele der Autoren, die Methode zur Berechnung der Faserorientierung (siehe Kapitel 4.1) für mehrere Layer zu erweitern. Damit wird es möglich, nicht nur die Faserorientierung sondern auch die benötigte Layeranzahl abzuschätzen und das gesamte Laminat zu bewerten. Nichtsdestotrotz können durch eine gezielte Änderung am Bauteildesign isotrope Spannungszustände häufig beseitigt oder drastisch reduziert werden, was ein zusätzliches Layer unnötig macht.

Eine weitere Ursache für eine verminderte Ausnutzung der Steifigkeitseigenschaften ist eine lastfallbedingte Abweichung der Hauptspannungen von der resultierende Faserorientierung, da auch ein solcher Spannungszustand immer zu einer Belastung der Matrix führt (siehe Abb. 4, rechts). Eine gänzliche Vermeidung lastfallbedingter Abweichungen ist bei sehr unterschiedlichen Lastfällen kaum möglich, sie können jedoch durch ein optimiertes Bauteildesign oft erheblich reduziert werden.

4.2.2 Herleitung des Steifigkeitskoeffizienten c_s

Die große Problematik bei der Herleitung eines geeigneten Koeffizienten zur Bewertung der Steifigkeit ist es, einen Bezug zur analytisch hergeleiteten Kurve aus Abb. 1 und den Ursachen für eine unzureichende Ausnutzung der Steifigkeitseigenschaften aus Abb. 4 herzustellen. Eine Lösung für dieses Problem kann jedoch unter Verwendung eines dreistufigen Vorgehens gefunden werden.

Schritt 1 – Spannungstransformation in das Faser-Koordinatensystem

Zunächst einmal ist es wichtig zu wissen, welche Anteile der ermittelten Hauptspannungen die Faser und welche die Matrix belasten. Deshalb ist eine Spannungstransformation der Hauptspannungen in das Faser-Koordinatensystem erforderlich, die über die Gleichung

$$(2) \quad \underbrace{\begin{bmatrix} \sigma_{1, \text{fib}} & \tau_{12, \text{fib}} \\ \tau_{12, \text{fib}} & \sigma_{2, \text{fib}} \end{bmatrix}}_{\sigma^*} = \underbrace{\begin{bmatrix} \cos(\gamma) & \sin(\gamma) \\ -\sin(\gamma) & \cos(\gamma) \end{bmatrix}}_{T'} \underbrace{\begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 \\ 0 & \sigma_2 \end{bmatrix}}_{\sigma} \underbrace{\begin{bmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) \end{bmatrix}}_{T}$$

durchgeführt werden kann. Hierbei wird der Hauptspannungstensor σ aus der FE-Simulation mit den Transformationsmatrizen T und T' multipliziert, wodurch sich der transformierte Spannungstensor σ^* ergibt.

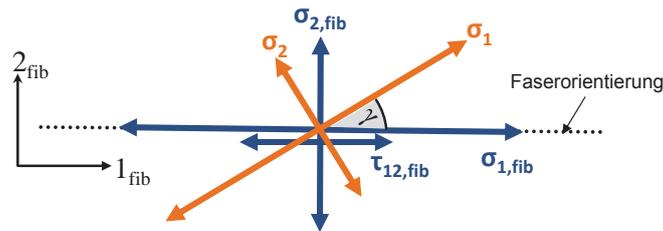


Abb. 5: Geometrische Darstellung der Spannungstransformation

Damit ist die in Faserrichtung wirkende Spannung $\sigma_{1, fib}$ und auch die in Matrixrichtung wirkende Spannung $\sigma_{2, fib}$ bekannt (siehe Abb. 5). Neben diesen Normalspannungen in Faser- und Matrixrichtung ergibt sich dabei auch die wirkende Schubspannung $\tau_{12, fib}$, die vor allem in Bezug auf die Festigkeitseigenschaften problematisch sein kann.

Schritt 2 – Errechnen des Spannungswinkels δ

Bei Betrachtung der Spannungstrajektorien dieses transformierten Spannungszustands (siehe Abb. 6) lässt sich eine Größe finden, die den Brückenschlag zwischen berechnetem Steifigkeitsabfall und dem transformierten Spannungszustand schafft. Diese Größe ist der Winkel δ , der von der Spannung in Faserrichtung $\sigma_{1, fib}$ und $\sigma_{2, fib}$ eingeschlossen wird.

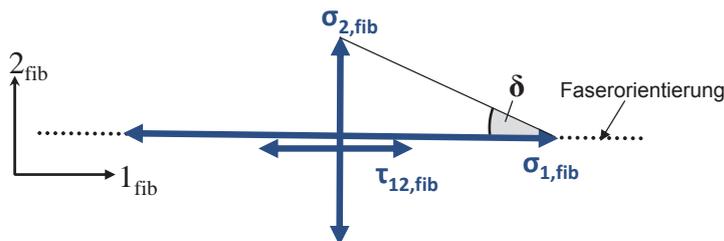


Abb. 6: Grafische Darstellung des Spannungswinkels δ

Mit einer kleinen Herleitung kann gezeigt werden, dass dieser Winkel δ exakt dem Abweichungswinkel α aus Abb. 1 entspricht. Betrachtet wird hierzu wieder eine einfache Platte mit einer unidirektionalen Faserorientierung, die um den Winkel α von der Kraftachse abweicht (vgl. Abb. 7). Durch diese Abweichung ergibt sich sowohl eine Belastung der Faser F_x als auch der Matrix F_y , die ganz einfach über den Sinus- und Cosinus-Anteil berechnet werden können.

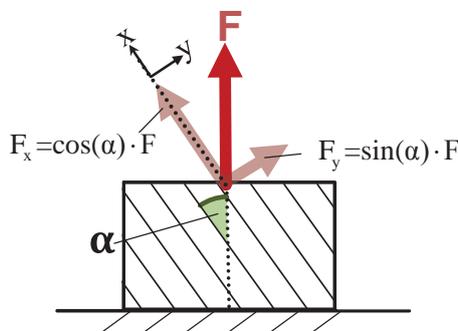


Abb. 7: Platte unter Zugbeanspruchung

Damit kann folgende Gleichung formuliert werden:

$$(3) \quad \tan(\delta) = \frac{\sigma_{2,\text{fib}}}{\sigma_{1,\text{fib}}} = \frac{F_y}{\sigma_{\frac{F}{A}} \cdot F_x} = \frac{\sin(\alpha) \cdot F}{\cos(\alpha) \cdot F} = \tan(\alpha)$$

Der Spannungswinkel δ wird einfach über den Tangens der Spannungen $\sigma_{1,\text{fib}}$ und $\sigma_{2,\text{fib}}$ berechnet. Durch Einsetzen der Definition der Spannung bleibt lediglich der Quotient aus der Querbewertung der Faser F_y und der Kraft in Faserrichtung F_x stehen, die in Abb. 7 dargestellt sind. Die Kraft F kann damit gekürzt werden und es bleibt der Tangens des Abweichungswinkels α stehen. Somit zeigt sich, dass dieser Spannungswinkel δ gleich dem Abweichungswinkel α ist.

Schritt 3 – Einsetzen in die analytische Gleichung für den Steifigkeitsabfall

Der letzte Schritt schließt den Kreis zwischen dem bei einem Lastfall auftretenden Spannungszustand und der Ausnutzung der relativen Steifigkeit. Dazu wird die analytische Gleichung formuliert, die die Abhängigkeit der relativen Steifigkeit von dem Abweichungswinkel α aus Abb. 1 beschreibt:

$$(4) \quad S = \frac{1 - \nu_{12}}{\cos^2(\alpha) + \frac{E_1 \sin^2(\alpha)}{E_2} - \nu_{12} (\cos^6(\alpha) + \sin^6(\alpha) + 3 \sin^2(\alpha) \cdot \cos^2(\alpha))} = 0..1$$

In diese Gleichung kann der Spannungswinkel δ , der den Spannungszustand bei einem Lastfall beschreibt, eingesetzt werden, da über Gleichung 3 gezeigt werden konnte, dass dieser genau dem Abweichungswinkel α entspricht [7]. Für niedrige Spannungswinkel δ , d.h. die Querbewertung der Faser ist sehr klein im Vergleich zur Normalbelastung, ergibt sich nach dem Einsetzen in Gleichung 4 ein Wert nahe 1, was auf eine hohe Ausnutzung der Steifigkeitseigenschaften hinweist, für hohe Spannungswinkel ergibt sich hingegen ein Wert nahe 0, für eine geringe Ausnutzung der Steifigkeitseigenschaften.

Der große Vorteil dieses Steifigkeitskennwerts ist, dass sowohl anisotrope Spannungszustände als auch lastfallbedingte Abweichungen mit einem einzigen Kriterium und auf Basis einer analytischen Gleichung bewertet werden können. Zudem ist der rechnerische Aufwand für dieses Kriterium als gering anzusehen.

Als Nachteil des Steifigkeitskriteriums kann zunächst gesehen werden, dass selbst sehr hohe Schubspannungen keinen Einfluss auf die Steifigkeitsbewertung haben, da der Spannungswinkel nur aus den Normalspannungen berechnet wird. Hohe Schubspannungen führen jedoch zu einer Abwertung des Festigkeitskriteriums für die Matrix c_M , weshalb auch dieser Fall abgedeckt ist.

4.3 Bewertung der Festigkeit über c_F und c_M

Eine weitere wichtige Eigenschaft von FVK sind die guten Festigkeitseigenschaften, die Produktentwickler für ihr Produkt nutzen möchten. Insbesondere bei CFK können in Faserrichtung beachtliche Festigkeitswerte erreicht werden. Doch wie die Steifigkeit hängen auch die Festigkeitseigenschaften stark von einer beanspruchungsgerechten Faserorientierung ab und eine signifikante Belastung der Matrix ist aufgrund der deutlich geringeren Festigkeitswerte dringend zu vermeiden.

Um die Festigkeit von FVK zu bewerten, wurden in der Vergangenheit zahlreiche unterschiedliche Kriterien formuliert, deren Aussagekraft und Anwendungsbereiche zum Teil noch sehr umstritten sind. Einer der wichtigsten Unterschiede der Kriterien ist die Unterscheidung zwischen den einzelnen Versagensarten von FVK, die für unidirektionale Layer auftreten können. Hier gilt es grundsätzlich, den Faserbruch, d.h. eine Trennung der Fasern durch hohe Spannungen in Faserrichtung, und den Zwischenfaserbruch, einen Bruch der Matrix parallel zu Faserlängsrichtung, in der Regel verursacht durch einen überlagerten Spannungszustand, zu unterscheiden [16]. Nicht-differenzierende Kriterien, wie etwas das TSAI-WU-Kriterium, unterscheiden nicht zwischen diesen Versagensarten, sondern geben lediglich eine Rückmeldung, ob ein Versagen auftritt oder nicht. Ein solches Kriterium scheidet aus Sicht der Autoren für die Bewertung aus, da die Information, ob Faser- oder Zwischenfaserbruch kritisch ist, entscheidend zur Anpassung und Optimierung des Produkts beitragen kann.

Ein differenzierendes Kriterium hingegen ist das Versagenskriterium nach PUCK (siehe hierzu [17] und [18]), das eine Erweiterung der MOHR-COULOMB'SCHEN Hypothese auf Komposit-Werkstoffe darstellt. Bei diesem Versagenskriterium wird sowohl ein Versagenswert für Faser- als auch Zwischenfaserbruch berechnet, weshalb es sich für den Bewertungsalgorithmus deutlich besser eignet als ein nicht-differenzierendes Kriterium.

Dabei wird zur Bewertung der Matrixfestigkeit der Zusammenhang

$$(5) \quad p_{IFF} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{12, \text{fib}}}{R_{12}}\right)^2 + \left(1 - p_{12} \frac{R_2}{R_{12}}\right)^2 \left(\frac{\sigma_{2, \text{fib}}}{R_2}\right)^2} + p_{12} \frac{\sigma_{2, \text{fib}}}{R_{12}} \leq 1$$

verwendet. Darin enthalten sind die Festigkeitswerte R_2 für die Matrix und R_{12} für die Schubfestigkeit, der Inklinationsparameter p_{12} , der für CFK näherungsweise mit einem Wert zwischen 0,3 bis 0,35 versehen werden kann, und die Spannungen $\sigma_{2, \text{fib}}$ und $\tau_{12, \text{fib}}$, die über Gleichung 2 ermittelt wurden. Der Faserbruch kann hingegen über

$$(6) \quad p_{FF} = \frac{R_1}{\sigma_{1, \text{fib}}} \leq 1$$

bewertet werden, wofür lediglich die Faserfestigkeit R_1 sowie die auftretende Spannung in Faserrichtung $\sigma_{1, \text{fib}}$ aus Gleichung 2 benötigt werden [17]. Das Ergebnis der Gleichungen 5 und 6 ist jeweils ein Wert zwischen 0 und 1, wobei ein Wert größer gleich 1 ein Versagen kennzeichnet und damit zu vermeiden ist. Um diese Skalierung an das Bewertungskriterium anzupassen, bei dem ein Wert von 1 einer hohen Faserverbundeignung entspricht, müssen die Werte p_{IFF} und p_{FF} von 1 subtrahiert werden. Zudem sollen nur Werte nahe an der Versagensgrenze die Faserverbundeignung reduzieren, weshalb die Versagenswerte quadriert werden. Es ergeben sich damit die Gleichungen

$$(7) \quad c_M = 1 - (p_{IFF})^2 = 0 \dots 1$$

und

$$(8) \quad c_F = 1 - (p_{FF})^2 = 0 \dots 1$$

für die Bewertung der Matrixfestigkeit c_M und der Faserfestigkeit c_F .

Es ist dabei unbedingt anzumerken, dass bei der Bewertung der Matrixfestigkeit (siehe Gleichung 5) nur ein Teil des Versagenskriteriums nach PUCK verwendet wird. Ursprünglich unterscheidet PUCK beim Zwischenfaserbruch nämlich drei unterschiedlichen Bruchmoden, die abhängig vom vorherrschenden Spannungszustand entstehen können (siehe Abb. 8).

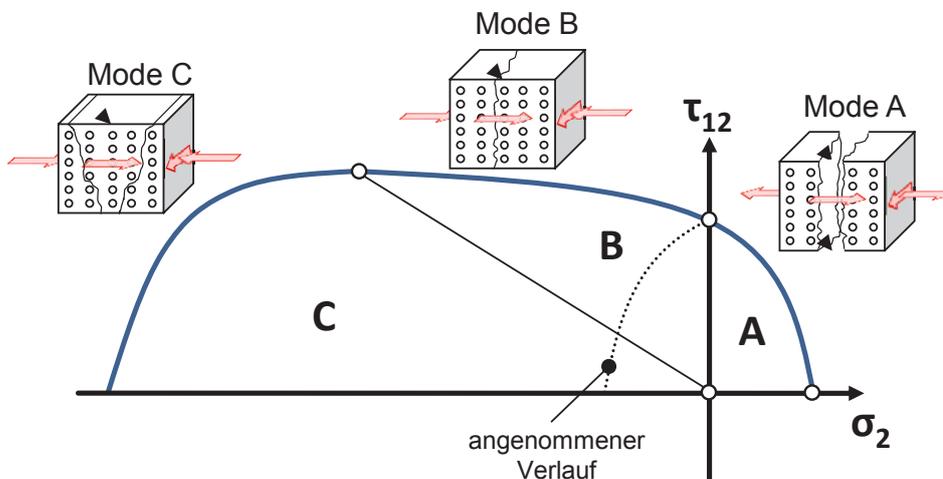


Abb. 8: Darstellung des Versagenskriteriums von PUCK für Zwischenfaserbruch (nach [17]) (ebener Spannungszustand)

Verwendet wird allerdings nur die Gleichung für die Bruchmode A und diese wird auch für den negativen Bereich der σ_2 -Achse angenommen, was zu dem gepunktet dargestellten Verlauf führt. Zwar führt diese Annahme zu einer deutlich konservativeren Abschätzung als ursprünglich beim Versagenskriterium nach PUCK angedacht, dadurch kann aber der Berechnungsaufwand in den frühen Phasen reduziert werden. Abgeschwächt wird diese Annahme durch die Quadrierung des Versagenswertes p_{IFF} in Gleichung 7, da damit nur besonders hohe Versagenswerte einen signifikanten Einfluss auf das Bewertungskriterium haben.

4.4 Gewichtung unterschiedlicher Lastfälle mit dem Faktor w_g

Der letzte Faktor, der in den Bewertungsalgorithmus mit eingeht, ist der sogenannte Gewichtungsfaktor w_g . Bisher werden nämlich in jedem Element nur der Steifigkeitskoeffizient c_s sowie die Festigkeitskoeffizienten c_F und c_M berechnet und aufsummiert, ohne dabei in irgendeiner Form die Lastfälle nach ihrer Bedeutung für das Element bzw. die Struktur zu gewichten. Deshalb wird ein Gewichtungsfaktor eingeführt, der sich über

$$(9) \quad w_g = \frac{|\sigma_n|}{\left| \sum_{i=1}^n \sigma_i \right|} = 0 \dots 1$$

beschreiben lässt. Über diese Beziehung wird der Betrag der Spannung beim Lastfall n durch die Summe aller in den Lastfällen auftretenden Spannungen geteilt, was quasi die „Beteiligung“ der Spannung σ_n an der Summe aller Spannungen als Wert zwischen 0 und 1 ergibt. Basis dieses Gewichtungsfaktors ist damit die Annahme, dass Lastfälle, die zu hohen Spannungen führen, auch eine entsprechend hohe Bedeutung für das Element haben.

5 Praktische Anwendung des Bewertungskriteriums

Der beabsichtigte Einsatzzeitpunkt des Bewertungskriteriums ist die frühe Phase der Produktentwicklung, d.h. zu einem Zeitpunkt, zu dem Änderungen an der Geometrie noch vergleichsweise kostengünstig und mit geringen Aufwand vorzunehmen sind. Ziel ist es Hinweise zu geben, ob das Bauteil sich generell für eine Faserverbundbauweise eignet und ob es eventuell Bereiche gibt, die umgestaltet werden müssen, um die Faserverbundeignung zu erhöhen.

Ein erstes, sehr interessantes Beispiel, stellt hier ein Fahrradrahmen dar, da solche Rahmen bereits seit langer Zeit erfolgreich aus CFK gebaut werden und so ein geringes Gewicht bei sehr guten Steifigkeitseigenschaften erreicht werden kann.

5.1 Bewertung eines Fahrradrahmens

Für den zu untersuchenden Fahrradrahmen werden zwei unterschiedliche Lastfälle angenommen. Der erste Lastfall soll das Überfahren eines Hindernisses mit dem Vorderrad abbilden, der zweite hingegen eine normale Fahrt auf einer ebenen Fahrbahn (siehe Abb. 9). Als Geometrie wurde ein Rahmen verwendet, wie er auch bei herkömmlichen Metallrahmen zum Einsatz kommt.

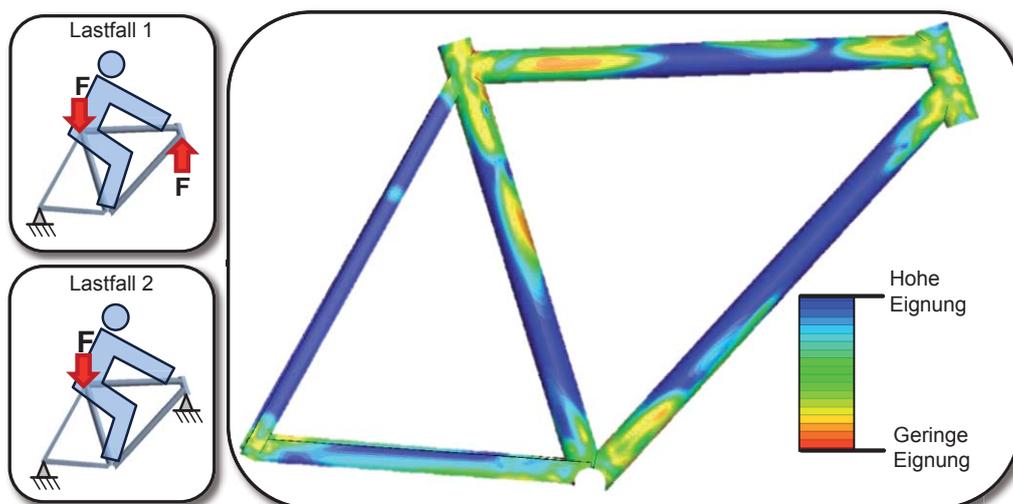


Abb. 9: Ergebnis des Bewertungskriteriums für einen Fahrradrahmen mit zwei Lastfällen

Es zeigt sich, dass große Bereiche vor allem im Bereich der Querstreben eine gute bis sehr gute Faserverbundeignung aufweisen. Lediglich im Bereich der Knotenpunkte ergibt sich eine etwas reduzierte Faserverbundeignung. Zu begründen ist solch ein Ergebnis mit der Tatsache, dass sich bei einer Rahmenstruktur Zug- und Druckstäbe einstellen, bei denen es zu stark anisotropen Spannungszuständen kommt. Die Spannungstrajektorien, die Basis der Faserausrichtung und letztendlich der Bewertung sind, orientieren sich dabei vorzüglich in axialer Richtung, was zu einer idealen Belastung der Fasern führt. Damit können sowohl die Steifigkeits- als auch die Festigkeitseigenschaften des Werkstoffs ausgenutzt werden. In den Knotenpunkten hingegen sind die Beanspruchungen nicht mehr so eindeutig auf Zug- und Druckbelastungen zurückzuführen. Hier kommt es zum Teil zu stark isotropen Spannungszuständen, die sich von Element zu Element zudem noch unterscheiden können. Als Folge werden weder die Steifigkeits- noch die Festigkeitseigenschaften des Faserwerkstoffs vollständig ausgenutzt.

Dennoch spricht das Ergebnis der Bewertung eindeutig für eine Faserverbundbauweise. Allerdings würde es sich empfehlen, in den Knotenbereichen die Konstruktion so abzuändern, dass die mehrachsigen Spannungszustände etwas reduziert werden und sich so die Faserverbundeignung erhöht. Dies deckt sich mit der Beobachtung aus der Praxis, dass für CFK-Rahmen oftmals genau diese Knotenbereiche entweder in ihrer Form verändert oder durch eine geschickte Konstruktion komplett umgangen werden.

5.2 Optimierung eines Winkels auf Basis des Bewertungskriterium

Ein Beispiel, wie deutlich die mechanischen Eigenschaften eines Bauteils verbessert werden können, wenn die Faserverbundeignung entsprechend dem Bewertungskriterium erhöht wird, soll im Folgenden vorgestellt werden. Betrachtet wird dazu ein einfacher Winkel unter einer Biegebelastung.

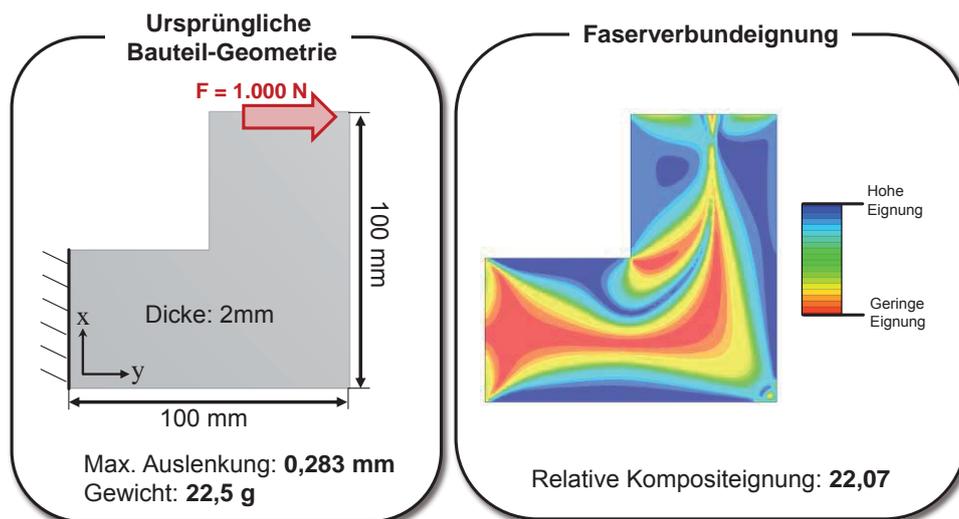


Abb. 10: Darstellung der nicht-optimierten Ausgangsgeometrie

Für diesen Winkel kann unter Annahme eines Materialmodells für CFK und einer idealen Faserorientierung (d.h. die Faserorientierung wurde vorher für jedes Element iterativ mit Hilfe der sogenannten CAIO-Methode berechnet (siehe [7] und [19])) eine maximale Auslenkung in y-Richtung von 0,283 mm bei einem Gewicht von 22,5 g berechnet werden. Die Anwendung des Bewertungskriteriums zeigt, dass sich das Bauteil in großen Bereichen nicht für einen Faserverbundwerkstoff eignet. Im Bereich der Kerbe treten erhöhte, mehrachsige Spannungszustände auf, die zu einer ungünstigen Belastung der Matrix führen, im Bereich der neutralen Faser der Biegung führen isotrope Spannungszustände zu einer reduzierten Ausnutzung der Materialeigenschaften.

Um die Faserverbundeignung des Bauteils zu verbessern, ergeben sich damit zwei Handlungsempfehlungen. Zum einen muss die Kerbe, die zu sehr hohen und mehrachsigen Spannungen führt, entfernt werden, und zum anderen müssen die isotropen Spannungszustände im Inneren des Bauteils beseitigt werden. Die Kerbe kann durch ein einfaches Abrunden des Bauteiles entfernt werden, zur Beseitigung der isotropen Spannungszustände eignet sich eine Topologieoptimierung in vielen Fällen sehr gut, wie im Folgenden noch gezeigt wird.

Damit ein Vergleich unterschiedlicher Varianten eines Bauteils möglich ist, kann aus den Einzelwerten der Elemente ein Bauteilkennwert, die sogenannte relative Kompositeignung

$$(10) \quad \text{RCS} = \frac{\sum_{i=1}^1 \sum_{l=1}^{n_e} \text{CS} \cdot \sigma_{\max}}{n_e}$$

errechnet werden. Dabei wird für jedes Element und jeden Lastfall der Kennwert für die Faserverbundeignung CS mit der maximal auftretenden Hauptspannung im Element σ_{\max} multipliziert, für alle Element aufsummiert und durch die Anzahl an Elementen n_e dividiert. Es ergibt sich damit quasi ein nach Spannungszustand gewichteter Durchschnittswert über alle Lastfälle und Elemente, bei dem Elementen mit einem betragsmäßig hohen Spannungszustand eine größere Bedeutung zukommt. Im Falle des Winkels errechnet sich so ein Wert von 22,07 für die relative Kompositeignung.

Durch die Berücksichtigung der Verbesserungsvorschläge, die bei der Auswertung des Bewertungskriteriums entdeckt wurden, können die mechanischen Eigenschaften des Winkels deutlich verbessert werden, wie *Abb. 11* zeigt. Werden erneut die gleichen Annahmen in Bezug auf Faserorientierung, Materialmodell und Randbedingungen genommen, wie in *Abb. 10*, so kann bei nahezu gleich bleibender Steifigkeit das Gewicht um 57,6 % reduziert werden. Die verbesserte Ausnutzung der Materialeigenschaften zeigt sich auch bei Anwendung des Bewertungskriteriums. Nach der Optimierung kann für große Bereiche des Bauteils eine sehr hohe Faserverbundeignung berechnet werden. Durch die Topologieoptimierung konnte eine Struktur gefunden werden, bei der die Lasten hauptsächlich über Zug- und Druckstäbe übertragen werden. Wie bereits beim Fahrrad im vorherigen Kapitel gezeigt werden konnte, werden bei solchen Stabsystemen die anisotropen Werkstoffeigenschaften sehr gut ausgenutzt.

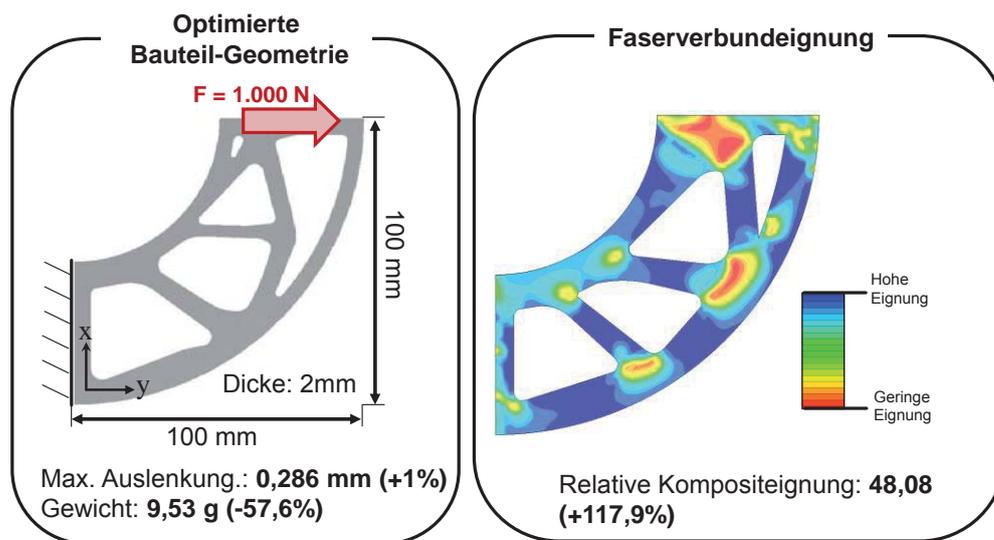


Abb. 11: Bewertung der optimierten Geometrie

Folglich nimmt auch die relative Faserverbundeignung des Bauteils signifikant um 117,9 % zu. Lediglich in den Knotenbereichen gibt es noch Stellen, die zum Teil eine relativ niedrige Faserverbundeignung aufweisen, da an den Knotenpunkten die Zug- und Druckstäbe aufeinandertreffen, was zu komplexen und mehrachsigen Beanspruchungen führt. Als Folge wird die Matrix in diesen Bereichen signifikant belastet.

Prinzipiell eignet sich dieses Bauteil nach der Optimierung aber sehr gut für eine Faserverbundbauweise, allerdings gilt es zu prüfen, ob die Knotenpunkte in einer weiteren Iteration noch optimiert werden müssen.

Damit kann gezeigt werden, dass der Bewertungsalgorithmus nicht nur anzeigt, ob ein Bauteil für einen Faserverbundwerkstoff geeignet ist oder nicht, sondern es können auch Verbesserungsvorschläge abgeleitet werden, um die Faserverbundeignung weiter zu erhöhen.

6 Literatur

- [1] Trechow, P.: "Leichtbauingenieure helfen Autos beim Abspecken", VDI Nachrichten, 22.02.2013
- [2] Kraus, J.: „CCeV-Automotive Forum – Automobilbau geht mit unterschiedlichen Strategien den CFK-Leichtbau an“, <http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanale/konstruktion/werkstoffe/articles/373134/>, 15.05.2013
- [3] Müller-Wondorf, R.: „CFK punktet mit Leichtigkeit“, VDI-Nachrichten, 15.05.2013
- [4] Trechow, P.: „Leichtbau wird Materialmix von Autos massiv verändern“, VDI-Nachrichten, 06.01.2013
- [5] Wiedemann, M.: „CFK-Status der Anwendung und Produktionstechnik im Flugzeugbau“, Faszination Karosserie, Braunschweig, 25. – 26. März 2009
- [6] Michaeli, W.: „Dimensionieren mit Faserverbundkunststoffen“, Carl Hanser Verlag, München, 1994
- [7] Klein, D.; Caballero, S.; Wartzack, S.: „Evaluierung unterschiedlicher Theorien zur Berechnung beanspruchungsgerechter Faserorientierungen in CFK-Strukturen“, 24. Dfx-Symposium, Jesteburg, 2013
- [8] Durst, K. G.: „Beitrag zur systematischen Bewertung der Eignung anisotroper Faserverbundwerkstoffe im Fahrzeugbau“, Dissertation, Universität Stuttgart, 2008
- [9] Kober, M.: „Ein Beitrag zur strukturmechanischen Optimierung realer Bauteile in metallischer und Faserverbundbauweise unter Verwendung von wirkebenenbasierten Bruchkriterien“, Dissertation, TU Cottbus, 2011
- [10] Köke, H.: „Form- und Materialparameteroptimierung von Faserverbundstrukturen“, Dissertation Universität Magdeburg, 2013
- [11] Albers, A.; Schmid, A.; Zhang, Q.; Grönheim, O.; Schipperges, J.: „Ein CAE-basiertes Konzept zur automatisierten Identifikation von Leichtbauteilen im Gesamtsystem“, NAFEMS Online Magazin, Nr. 3/2012, 23. Ausgabe, September 2012
- [12] Eichhoff, J.; Wendland, B.; Gries, T.: „Tailored-Fiber-Placement: direktes dreidimensionales Sticken für bessere mechanische Bauteileigenschaften“, Technische Textilien 3/2011, S.156-158
- [13] Meyer, O.: „Kurzfaser-Preform-Technologie zur kraftflussgerechten Herstellung von Faserverbundbauteilen“, Dissertation, Institut für Flugzeugbau, Universität Stuttgart, 2008
- [14] Mattheck, C.; Bethge, K.: „The Structural Optimization of Trees“, Naturwissenschaften 85 1-10, Springer Verlag, 1998
- [15] Li, R.; Kelly, D; Crosky, A.: „Strength improvement by fibre steering around a pin loaded hole“, Composite Structures 57, 2002, S. 377-383
- [16] Schürmann, H.: „Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden“, Springer Verlag, Heidelberg, 2007
- [17] Puck, A.; Kopp, J.; Knops, M.: „Guidelines for the determination of the parameters in Puck's action plane strength criterion“, Composite Science and Technology 62, 2002, S. 371-378
- [18] Puck, A.: „Festigkeitsanalyse von Faser-Matrix-Laminaten“, Hanser Verlag, München, 1996
- [19] Kriechbaum, R.: „Ein Verfahren zur Optimierung der Faserverläufe in Verbundwerkstoffen durch Minimierung der Schubspannungen nach den Vorbildern der Natur“, Bericht KfK 5406, Kernforschungszentrum, 1994

7 Kontakt

Dipl.-Ing. Daniel Klein
 Büroanschrift: Paul-Gordan-Straße 5, D-91052 Erlangen
 Postanschrift: Martensstraße 9, D-91058 Erlangen
 Tel: +49 (0)9131/85-23216
 Fax: +49 (0)9131/85-23223
 E-Mail: klein@mfk.uni-erlangen.de
 Web: www.mfk.uni-erlangen.de

Zur Simulation der Volumenquellung von Gummi

Dr. Manfred Achenbach

(ehemals Mitarbeiter der Parker Hannifin GmbH und jetzt Ingenieur- und Sachverständigenbüro Achenbach)

Elastomere Materialien können in flüssigen oder gasförmigen Medien aufquellen. Dabei ändern sie ihre Eigenschaften zum Teil erheblich. Obwohl gequollene Elastomere häufig in den Anwendungen anzutreffen sind, ist eine rechnerische Behandlung selten durchgeführt worden. So findet man in einschlägigen technischen Berechnungen und Computersimulationen kaum einen Bezug auf das Quellen von Elastomeren.

Der vorliegende Beitrag will diesem Mangel abhelfen, indem gezeigt wird, wie der Effekt der Quellung in strukturmechanische Berechnungen eingebettet werden kann. Dabei gehen wir zunächst auf einige grundsätzliche Dinge ein, die den Vorgang des Quellens erklären können [1, 2, 3, 4]. Im Anschluss daran übertragen wir das Wesentliche in ein Finite Elemente Modell und geben ein Beispiel.

1 Phänomen

Bekanntlich bestehen Elastomere aus langkettigen Molekülen, die zu einem Netzwerk verknüpft sind; wir betrachten im Folgenden ein Modellsystem, welches wichtige Eigenschaften vieler, teilweise sehr unterschiedlicher, Systeme umfasst. In einem solchen System treten gelöste Moleküle des umgebenden Mediums im molekularen Netzwerk des Elastomeren auf. Diese können aus Molekülen bestehen, die nur aus wenigen Atomen zusammengesetzt sind, oder aber selbst wieder aus kurzkettigen Molekülen bestehen, welche zwischen den langkettigen Molekülen des Netzwerkes im Verlauf eines thermodynamischen Mischungsprozesses „eingelagert“ werden.

Elastomere quellen in Medien, indem sie vorzugsweise die Komponente aufnehmen, die sich mit den Molekülen des polymeren Netzwerkes gut „verträgt“ und sie schrumpfen durch Ausstoßen von Komponenten, die eine geringere Verträglichkeit zeigen. Diese Volumenänderungen können verursacht werden durch

- eine Temperaturänderung
- unterschiedliche Netzwerkdichte
- das Anbringen einer äußeren mechanischen Kraft
- oder durch Veränderung der Zusammensetzung des umgebenden Mediums

In einem typischen Zustand besteht das gequollene Elastomer aus zwei Teilchensorten: Kettenglieder der Polymerelemente des Netzwerkes und mindestens einer Komponente des umgebenden Mediums. Die beobachteten Erscheinungen kann man in einem (T, ν) - Diagramm darstellen, wo T die Temperatur ist und ν der Schrumpfgrad (Quellgrad $q := 1/\nu$). Dieser ist definiert als Verhältnis der Zahl der Polymerglieder zur Gesamtzahl der Teilchen im Elastomeren. Darum gilt $\nu=1$, wenn das Elastomer vollständig geschrumpft ist; andernfalls ist $\nu < 1$.

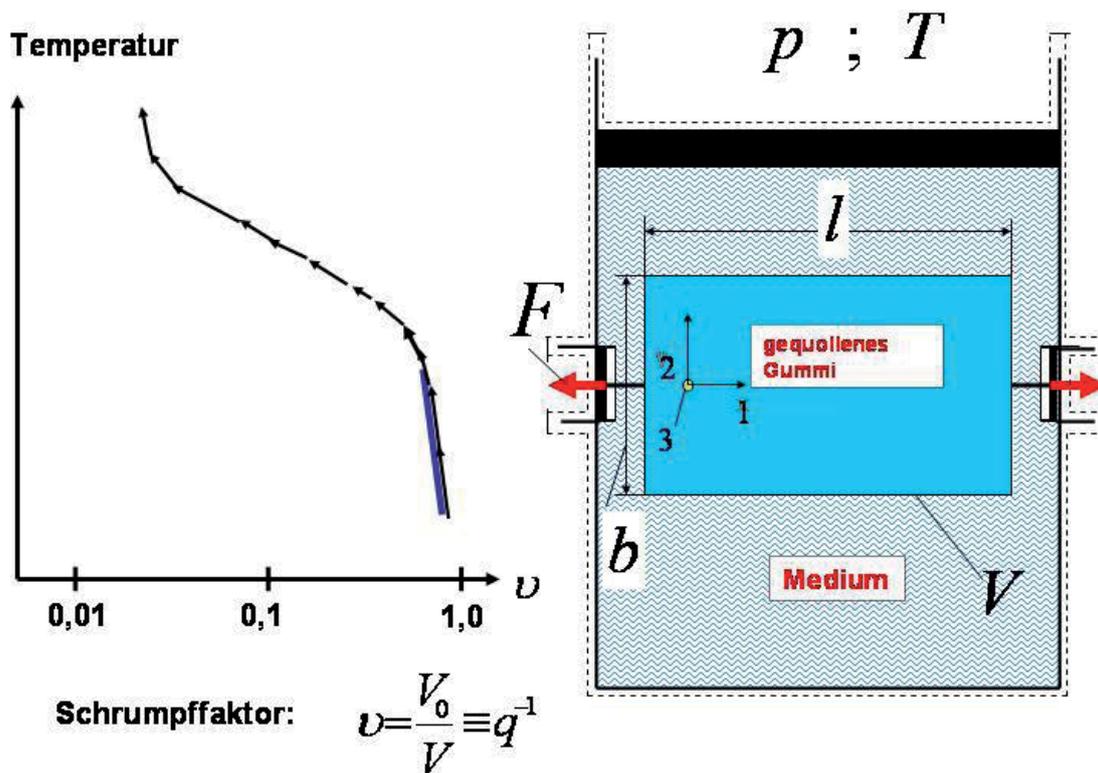


Abb.1: Ein Elastomer in einem quellenden Medium.

Links: (T, ν) -Diagramm für ein gequollenes Elastomer

Rechts: Elastomer im Medium (Lösungsbad) belastet mit einer Zugkraft F

Abb.1 zeigt ein schematisches Diagramm dieser Art. Bei niedriger Temperatur ist das Elastomer geschrumpft und es quillt bei Temperaturerhöhung mehr oder weniger und in der Tat kann man das Quellen und Schrumpfen als Ergebnis einer Konkurrenz dreier thermodynamischer Kräfte beschreiben - zwei von ihnen entropisch und eine energetisch. Diese Kräfte sind:

- der osmotische Druck der gelösten Moleküle im elastomeren Netzwerk
- eine *entropisch expandierende Kraft*
- die Netzwerk-Elastizität
- eine *entropisch kontrahierende Kraft*
- die molekulare Wechselwirkung
- diese kann für das Elastomer eine *energetisch kontrahierende*
- oder aber auch eine *energetisch expandierende Kraft* sein.

Liegt eine drastische Veränderung des Volumens vor, gewinnt die expandierende Tendenz des osmotischen Drucks die Oberhand über die kontrahierenden Tendenzen. Im Folgenden werden diese Kräfte genauer beschrieben und wir diskutieren die Gründe für ihr Auftreten.

Die gelösten Moleküle sind praktisch freie Teilchen, und als solche haben sie die Tendenz, das ganze System homogen auszufüllen. Deshalb drücken sie von innen gegen die Oberfläche der quellenden Elastomere und expandieren dieses durch eine teilweise Entschlafung seiner langkettigen vernetzten Moleküle. Der Raum, der dadurch im Elastomeren geschaffen wird, wird von „passenden“ Molekülen des Mediums (Quellmittel) ausgefüllt; diese können in das quellende Elastomere ein- und austreten.

Die Expansion des Elastomeren bringt die langen Kettenmoleküle in den unwahrscheinlichen entknäuelten Zustand. Sie haben die Tendenz, sich zu verknäueln und erzeugen so die Netzwerkelastizität, eine entropische Kraft, die dem osmotischen Druck entgegengerichtet ist. Beide Kräfte sind linear abhängig von der Temperatur.

Das Netzwerk ist in der Regel energetisch in der günstigsten Lage, wenn nur Glieder des Netzwerkes nächste Nachbarpaare bilden. Es gibt dann einen Energiemalus für die Bildung eines Paares aus Kettenglied und Fremdmolekül (Molekül aus dem Medium); gelegentlich aber auch einen Bonus bei der Bildung eines ungleichen Paares. Dieser Effekt ist weitgehend unabhängig von der Temperatur und daher bestimmt er das Verhalten bei tiefer Temperatur - wo die beiden anderen Kräfte klein sind - und dies führt zum Schrumpfen.

Das System aus Elastomeren und Medium kann als inkompressibel angesehen werden, und das soll auch in der folgenden Rechnung angenommen werden.

2 Freie Energie

Wir betrachten das in Abb. 1 gezeigte System und führen eine thermodynamische Stabilitätsbetrachtung durch. Daraus folgt wegen der angenommenen Inkompressibilität, dass die verfügbare freie Energie die Form hat

$$\hat{\phi} = E - TS - F\Delta l \tag{1}$$

Die konstante Kraft F verändert die Länge L des Elastomeren. Um das System zu charakterisieren, führen wir die folgenden Bezeichnungen ein:

- n_1 = Zahl der Lösungsmoleküle (Moleküle aus dem Medium)
- n_1^I = Zahl der Lösungsmittelmoleküle im Elastomeren
- n_1^{II} = Zahl der Lösungsmittelmoleküle im Medium

- n_2 = Zahl der Polymerketten
- Nn_2 = Zahl der Kettenglieder „von Molekülgröße“

- n^I = $n_1^I + Nn_2$ = Zahl der Teilchen „von Molekülgröße“ im Elastomeren.

Die Einführung von N-Kettengliedern „von Molekülgröße“ in einer Kette ist bestimmt von dem Wunsch, sich Teilchen gleicher Größe vorstellen zu können, die das Elastomer bilden: gelöste Moleküle und Kettenglieder des Netzwerkes. Dann ist der Schrumpfgrad

$$\nu = \frac{Nn_2}{n_1^I} \tag{2}$$

auch gleich dem Volumenverhältnis des geschrumpften und des gequollenen Elastomeren. Der Deformationsgradient schreibt sich als

$$F_{ij} = \begin{pmatrix} \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 \\ 0 & 0 & \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{l}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{b}{B} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{b}{B} \end{pmatrix}, \tag{3}$$

wo l, b und L, B Länge und Breite des prismatisch angenommenen Elastomeren im gequollenen belasteten bzw. im geschrumpften lastfreien Zustand sind (siehe auch Abb.1). Daraus folgt, dass $\alpha\beta^2$ gleich dem Verhältnis der Volumina des gequollenen und des geschrumpften Elastomeren sind und es gilt:

$$\alpha\beta^2 = \frac{1}{\nu} \equiv q \tag{4}$$

Die Größen N , n_2 werden als durch die Herstellung des Elastomeren gegebene konstante Größen angesehen. Darum gibt es nur zwei Variablen, nämlich

$$n_1^I \text{ (oder } \nu) \text{ und } \alpha \tag{5}$$

ν hat den Wert 1, wenn sich im Elastomeren kein Lösungsmittelmolekül befindet, d.h., wenn das Elastomer vollständig geschrumpft ist. Andernfalls ist es kleiner als 1.

Nun folgt die Berechnung der verfügbaren freien Energie als Funktion der Variablen ν und α . Als erstes betrachten wir das Elastomer. Dieses enthält die zwei Komponenten: Lösungsmittelmoleküle und Kettenglieder des Netzwerkes. Die Temperatur ist T , und der Druck ist p .

Die freie Energie $E-TS$ des Elastomeren ist gleich der freien Energien der ungemischten Komponenten bei T und p plus freie Energie der Vermischung. Man kann schreiben:

$$\begin{aligned} (E - TS)_{\substack{\text{gequollenes} \\ \text{Elastomer}}} &= n_1^I f_1(T, p) + Nn_2 f_2(T, p) + \\ &+ e_{12} n_1^I \frac{Nn_2}{n^I} + \\ &+ kT \left(n_1^I \ln \frac{n_1^I}{n^I} + n_2 \ln \frac{Nn_2}{n^I} \right) \end{aligned} \tag{6}$$

f_α ($\alpha=1,2$) sind die spezifischen freien Energien der Komponenten (freie Energie pro Teilchen). Die zweite Zeile bestimmt die Mischungswärme, dabei ist e_{12} der Energiemalus für die Bildung eines Nachbarpaars Molekül-Kettenglied. Es soll angenommen werden, dass die Zahl der ungleichen Nachbarpaare gleich ihrem Erwartungswert ist, nämlich

$$n_1^I \frac{Nn_2}{n^I}$$

Die dritte Zeile in (6) ist die Mischungsentropie. Das ist jedoch noch nicht alles, denn auch das Netzwerk mit seinen verknäuelten Ketten trägt zur Entropie bei. Dieser Beitrag entspricht dem aus der kinetischen Theorie der idealen Gummielastizität [5] bekannten Term

$$S_{\text{Netzwerk}} = k \frac{n_2}{2} (\alpha^2 + 2\beta^2 - 3) \tag{7}$$

Die freie Energie $E-TS$ des Mediums außerhalb des Elastomeren ist gegeben durch

$$(E - TS)_{\text{Medium}} = n_1^{II} f_1(T, p) \tag{8}$$

Nachfolgend kombinieren wir (6) bis (8) und erhalten für die verfügbare freie Energie (1) des Systems

$$\begin{aligned} \hat{\phi} &= n_1^I f_1(T, p) + Nn_2 f_2(T, p) + \\ &+ e_{12} n_1^I \frac{Nn_2}{n^I} + \\ &+ kT \left\{ n_1^I \ln \frac{n_1^I}{n^I} + n_2 \ln \frac{Nn_2}{n^I} \right\} + \\ &+ \frac{n_2}{2} kT (\alpha^2 + 2\beta^2 - 3) - \\ &- FL(\alpha - 1) \end{aligned} \tag{9}$$

n_1 , n_2 und N sind Konstanten und somit hängt $\hat{\phi}$ nur von zwei Variablen ab, nämlich von ν und α . Wir dividieren durch Nn_2kT und schieben alle konstanten Werte in (9) auf die linke Seite. Dann führen wir noch die dimensionslose Kraft

$$f = \frac{FL}{n_2 kT}$$

ein und erhalten

$$\begin{aligned} \Delta \hat{\varphi} = & \frac{1-\nu}{\nu} \ln[1-\nu] - \frac{e}{kT} [\nu] + \\ & + \frac{1}{2N} \left(\alpha^2 + \frac{2}{\alpha\nu} + 2 \ln \nu \right) - \frac{1}{N} f \alpha \end{aligned} \quad (10),$$

wo $\Delta \hat{\varphi}$ der variable Teil von φ ist, dimensionslos gemacht durch Division mit Nn_2kT . Der Anteil der freien Energie aus der Netzwerkentropie enthält in (10) einen zusätzlichen Term, der sich mit dem Schrumpfgrad verändert (siehe zur Erklärung hierzu auch [1]).

3 Quellen und Schrumpfen als Funktion der Temperatur

Zunächst betrachten wir das unbelastete Elastomer und setzen $f=0$. Wegen der Isotropie der (gequollenen) Elastomere sind die Komponenten des Deformationsgradienten (3) alle gleich und aus (4) schließen wir

$$\alpha = \nu^{-\frac{1}{3}} \quad (11)$$

Dann wird (10) eine Funktion der einzigen Variablen ν , des Schrumpfgrades. Man findet das Minimum der Funktion durch Differentiation nach ν und erhält:

$$\frac{kT}{e} = - \frac{\nu^2}{\ln[1-\nu] + \left(1 + \frac{1}{N}\right)\nu + \frac{1}{N}\nu^{\frac{1}{3}}} \quad (12)$$

Nun betrachten wir das einachsigt belastete Elastomer, d.h. wir setzen $f \neq 0$. Dann ist die verfügbare freie Energie (10) eine Funktion von ν und α , und die Minima ergeben sich durch Ableitung von $\Delta \hat{\varphi}$ nach diesen Variablen. Wir erhalten:

$$\frac{kT}{e} = - \frac{\nu^2}{\ln[1-\nu] + \left(1 - \frac{1}{N}\right)\nu + \frac{1}{N} \cdot \frac{1}{\alpha}} \quad \text{und} \quad f = \alpha - \frac{1}{\nu} \cdot \frac{1}{\alpha^2} \quad (13)$$

Für gegebene Werte von f und T sind dies zwei Gleichungen für die beiden Unbekannten ν und α . (13)₂ ist eine kubische Gleichung für α , die nur eine reelle Lösung besitzt, die man leicht numerisch finden kann (Newton-Verfahren).

Wir wollen hier aber nicht die Diskussion dieser Gleichungen und deren Lösungen weiter verfolgen, obwohl dies eine reizvolle Aufgabe ist, sondern wir werden im nächsten Abschnitt die Umsetzung der Modellideen in ein FEM-Modell motivieren und ein Beispiel aus der Dichtungstechnik geben.

4 Finite Elemente Analyse

Ein anschauliches Beispiel für Quellen und Schrumpfen eines elastomeren Werkstoffes kann aus der Dichtungstechnik geliefert werden. Abb. 2 zeigt einen O-Ring (Halbschnitt), der ein flüssiges oder gasförmiges Medium nach außen abdichtet.

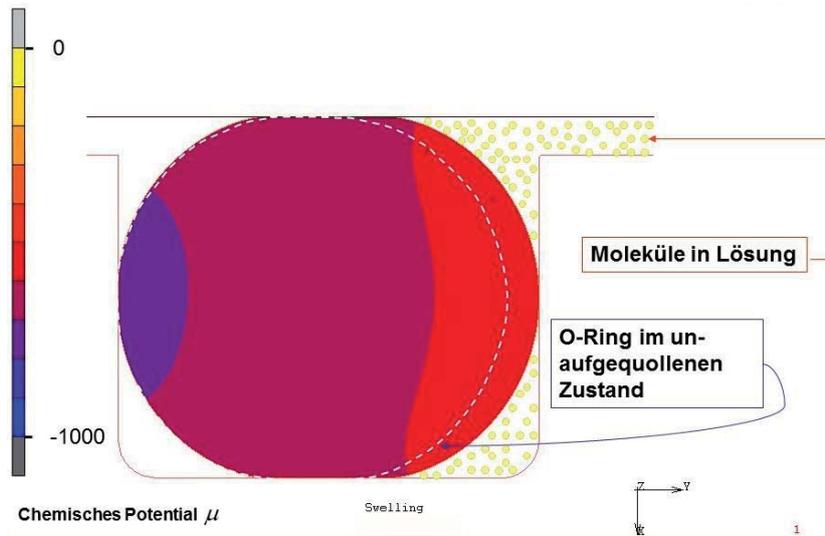


Abb. 2: Eine Abdichtung (O-Ring). Moleküle des in Kontakt stehenden Mediums lösen sich in den elastomeren Dichtungswerkstoff ein und quellen in auf; gezeigt ist das chemische Potential (Farbkontour-Plot).

Zunächst ergibt sich ein Gefälle in der Konzentration der gelösten Moleküle mit der Konsequenz, dass auch die dem Medium zugewandten Bereiche der Dichtung stärker quellen als die weiter entfernten Bereiche. Der Quellvorgang kommt zu seinem Ende, wenn das chemische Potential μ in der Dichtung homogen verteilt ist (siehe Abb.3)

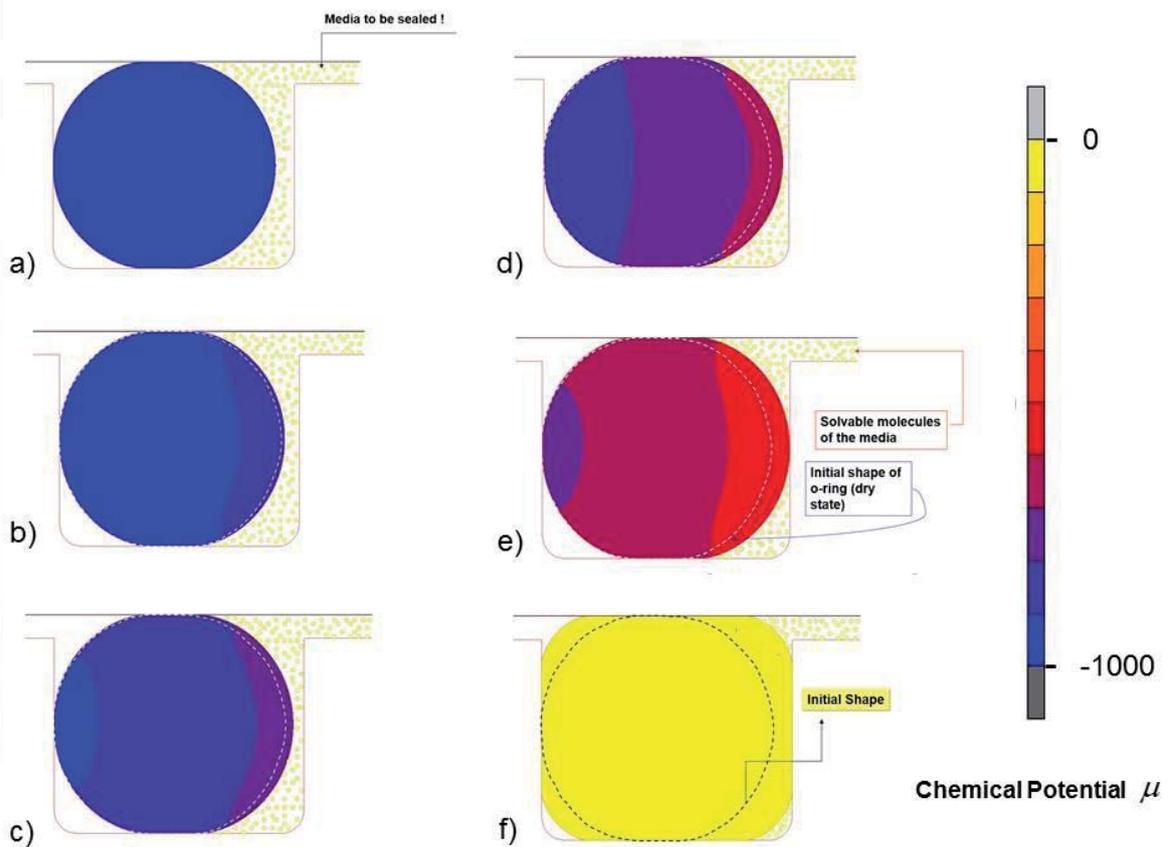


Abb. 3: Der Quellvorgang hört auf (f), wenn das chemische Potential im ganzen Querschnitt der Dichtung gleich ist (Gleichgewichtsquellung). a) bis f) zeigt das allmähliche Aufquellen des O-Ringes

Zur Verwendung eines passenden Materialgesetzes für ein quellendes Elastomer in einer Finiten Elemente Analyse hat man zunächst die freie Energie-Funktion (10) auf die Bedürfnisse eines mehrachsigen Spannungszustandes umzuschreiben:

$$\hat{W} \equiv \Delta\hat{\phi} = kTn_2 \left[(q-1) \ln \frac{q-1}{q} + \chi \frac{q-1}{q} \right] - \mu \frac{q-1}{\gamma} - \sigma_{iA} [(F^T F)_{kA} - \delta_{kA}] + \frac{kT}{2} n_2 [tr(F^T F) - 2 \ln q - 3] \tag{14}$$

Hierin ist q der Quellgrad (reziproker Schrumpfgrad v), χ der Wechselwirkungsparameter, der proportional ist zu e_{12} (siehe weiter oben); μ das chemische Potential; γ das Volumen eines gelösten Moleküls und σ_{iA} der Spannungstensor in der unverformten Konfiguration sowie F steht für den Deformationsgradienten. Die freie Energie in (14) hat zwei Variable, nämlich F (mechanisch) und q (physiko-chemisch). Gleichgewicht herrscht, wenn die Ableitung der freien Energie in (14) abgeleitet nach jeweils einer der beiden Variablen für sich verschwindet. Die dualen Größen, deren Bestimmung hierdurch möglich wird, sind der Spannungszustand t_{ij} und das chemische Potential μ .

Physiko-chemisches Modell:

Freie Energie eines quellenden Elastomeren :

$$\hat{W} \equiv \Delta\hat{\phi} = kTn_2 \left[(q-1) \ln \frac{q-1}{q} + \chi \frac{q-1}{q} \right] - \frac{\mu}{\gamma} (q-1) - \sigma_{iK} (C_{jK} - \delta_{jK}) + \frac{kTn_2}{2} (tr(F^T F) - 2 \ln q - 3)$$

$$I_1 = tr(F^T F) = \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2;$$

$$\sqrt{I_3} = J = q = v_2^{-1} = \frac{V}{V_0} = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 = 1 + \gamma C$$

„klassisch“, aber modifiziert

Materialgleichung der Spannung:

$$t_{ij} = n_2 kT \left[q^{-1/3} \bar{B}_{ij} + \delta_{ij} \left\{ \frac{1}{n_2 \gamma} \left(\ln \frac{q-1}{q} \right) + \frac{1-n_2 \gamma}{q} + \frac{\chi}{q^2} - \frac{\mu}{kT} \right\} \right]$$

NEU !!!

„klassisch“

Osmotischer Druck!

Abb. 4: Zusammenfassung der wichtigsten Formeln zur Beschreibung der Materialeigenschaften und Zustandsänderungen von gequollenen Elastomeren

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die im letzten Abschnitt gemachten Ergänzungen bieten nun die Möglichkeit innerhalb strukturmechanischer Finite Elemente Programme auch physiko-chemische Effekte wie die Quellung sowie ihre Rückwirkungen auf das mechanische Verhalten von Elastomerbauteilen im Detail zu analysieren wie dies bereits in Fig 3 anhand einer Anwendung aus der Dichtungstechnik gezeigt wurde. In Abb.4 sind noch mal die wichtigsten Materialgleichungen des vorgestellten Modells aufgelistet worden. Diese müssen in einem konkreten Anfangs-Randwert-Problem, auf welches eine technische Fragestellung im Allgemeinen führt, gelöst werden.

Eine Reihe von Voraussetzungen und Vereinfachungen, die in diesem Beitrag gemacht wurden, um eine einführende Darstellung nicht unnötig zu komplizieren, können bei Bedarf wieder aufgehoben werden. Dazu gehört z.B. die Annahme, dass das Elastomer keine Weichmacher besitzt, oder der Verzicht auf stoffliche Umsetzungen in Form von chemischen Reaktionen zwischen gelösten Molekülen und dem polymeren Netzwerk; Beispiele dieser Art findet man in [6].

6 Danksagung

Diese Arbeit, insbesondere die Implementation des „Swelling-Moduls“ in das nichtlineare FEM-Programm MARC/MENTAT, ist durch die großzügige Unterstützung der Parker Hannifin Corporation, Engineered Materials Group Europe entstanden. Dafür möchte ich mich an dieser Stelle bei dem Management der Packing Division Europa in Bietigheim-Bissingen bedanken. Aber ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Professor Dr. rer. nat. Dr. h. c. Ingo Müller bedanken, der mich einst in die Gedankenwelt und Geheimnisse der Statistischen Mechanik und Thermodynamik eingeführt hat.

7 Literatur

- [1] P.J. Flory, „Principles of Polymer Chemistry“, Cornell University Press, Ithaca and London, 12. Auflage 1983
- [2] I. Müller, „Thermodynamics“, Pitman Advanced Publishing Program 1986
I. Müller, Grundzüge der Thermodynamik, 3.Auflage, Springer Verlag, 2001
- [3] T. Tanaka, „Gele“, Spektrum der Wissenschaft 3/1981 S.78 ff.
- [4] A. Morro, I. Müller „A study of swelling and collapse in polyelectrolyte gels“ Rheologica Acta 27, 44 (1988)
- [5] L.R.G. Treloar, „The Physics of Rubber Elasticity“, 3rd ed., Oxford University Press, London 1975.
- [6] M. Achenbach, „Methodology to predict age-related mechanical properties of seals“ MARC/MENTAT User Meeting, München 2002

Ganzheitliche simulationsgestützte Produktentwicklung – Wunsch oder Wirklichkeit?

Dr. Thomas Burkart, Petra Schilling, Monika Kreutzmann (P+Z Engineering GmbH)

1 Motivation

Notwendige Voraussetzung für den Einsatz endlosfaserverstärkter Produkte in Strukturanwendungen im Fahrzeug ist, neben den Herausforderungen in der Serienfertigung von Composite Bauteilen, auch die Vorhersagegenauigkeit für die Bauteilbeanspruchung. Innovative Bauteile, bei denen eine lastpfadgerechte Gestaltung sowie ggf. neue Konstruktionsmethoden und weiterentwickelte Herstellungsprozesse zur Anwendung kommen, führen zu nötigen Anpassungen entlang der Prozesskette in der virtuellen Produktentwicklung. Mit dem breiten Einsatz von Composite Strukturbauteilen in der Automobilindustrie steht die Simulation der Herausforderung gegenüber, den Entwicklungsprozess auf die Anforderungen eines Composite Strukturbauteils anzupassen und effiziente Methoden zur Verfügung zu stellen, die die Auslegung und Entwicklung derartiger Strukturbauteile unter den Randbedingungen einer faseroptimierten Struktur ermöglichen.

Mit Hilfe der Simulation von der Idee zum Produkt – dieser Ansatz soll für die Konzeptphase, Entwicklungsphase sowie Detaillierungsphase nachfolgend näher betrachtet, seine Möglichkeiten aufgezeigt, aber auch seine Schwächen benannt werden.

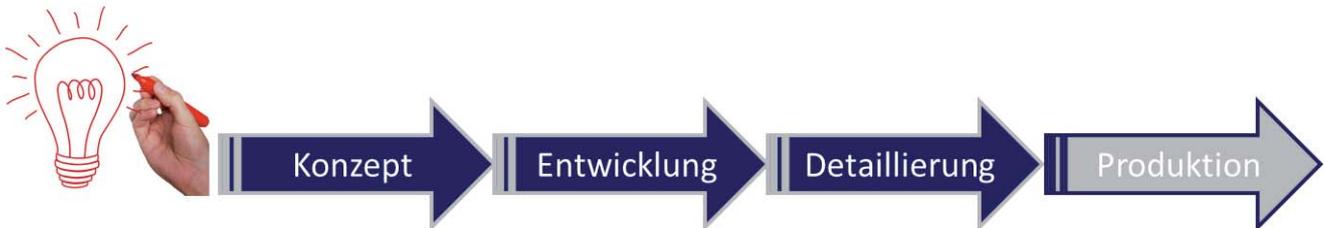


Abb. 1: Entwicklungsprozess (schematisch)

Um Composite Strukturbauteile in ähnlich adäquaten Entwicklungszeiten, wie herkömmliche Bauteile umzusetzen, bedarf es Anpassungen und Erfahrungen in jedem einzelnen Entwicklungsschritt. Vergangene Entwicklungen derartiger Strukturen wurden maßgeblich nach dem Prinzip „Try & Error“ durchgeführt, da aufgrund der mangelnden Erfahrungen sowie beschränkten Möglichkeiten der Engineeringtools kein nachhaltiger, weitestgehend virtueller Entwicklungsprozess umsetzbar war. Durch die Triebfeder Automobilindustrie finden sich heute einige neue Tools in der Systemlandschaft, deren Möglichkeiten sehr umfangreich sind, deren Anwendung bzw. Ergebnishöhe aber weiterhin stark abhängig von den Erfahrungswerten des Entwicklungsingenieurs ist. Dadurch, dass bei Produkten aus Composites der Werkstoff erst bei der Fertigung des Bauteils entsteht und nicht als „homogenes“ immer gleichwertiges Ausgangsmaterial vorliegt, ergibt sich eine weitere Dimension in der Auslegung von Strukturbauteilen, welche zudem je nach Fertigungsprozess und Reifegrad als Variable anzusehen ist.

Als Entwicklungsunternehmen mit Schwerpunkt der Technischen Berechnung und Simulation ist es uns daher ein Anliegen, die bestmöglichen Lösungen für ein industrialisiertes Engineering mit möglichst geringem „Try & Error“-Aufwand zu bieten. Dazu ist es einerseits nötig, die Tools und deren Möglichkeiten sowie Restriktionen zu kennen und anwenden zu können, andererseits aber auch das bereits angeführte Erfahrungswissen an den richtigen Stellen zielführend mit einfließen zu lassen.

2 Simulationsgestützter Entwicklungsprozess

Nachfolgend wird der virtuelle simulationsgestützte Produktentwicklungsprozess, seine Möglichkeiten in jeder Entwicklungsphase, aber auch seine Grenzen aufgezeigt.

2.1 Konzeptphase

Automobile Strukturkomponenten sind einer Vielzahl an Belastungsszenarien ausgesetzt und müssen zudem weiteren Anforderungen gerecht werden, die ggf. auch nur wenige Male im Bauteilleben auftreten, wie sog. Missbrauchslasten, z.B. das Überfahren eines Hindernis mit erhöhter Geschwindigkeit oder auch Crashfälle. Häufig soll auf Basis von bestehenden Geometrien eine reine Werkstoffsubstitution durchgeführt werden. Durch derartige Substitutionen können die Vorteile von Verbundwerkstoffen allerdings nur unzureichend bis gar nicht genutzt werden, da aus faserverbundtechnischer Sicht dann meist eine Überdimensionierung aufgrund nicht-optimal ausgestalteter Geometrien und Lagen- bzw. Faserorientierungen vorgenommen werden muss. Um diese Effekte zu umgehen und einen tatsächlichen Mehrwert durch den Einsatz von Faserverbunden zu erzielen, startet man idealerweise „vom weißen Blatt Papier“ mit dem Entwurf.

Dabei ist in erster Linie das Entwicklungsziel zu beachten: Soll ein Verbundwerkstoff eingesetzt werden, weil das Bauteil auf maximalen Leichtbau auszulegen ist, geht es vorrangig um Designfragen oder sollen vor allem akustische Ziele oder eine hohe Funktionsintegration erreicht werden? Selbstverständlich können auch mehrere dieser Punkte zu erreichende Ziele sein.

2.1.1 Topologieanalyse

In der simulationsgestützten Produktentwicklung liegt der erste Schritt in der Topologieanalyse zur Festlegung der Hauptlastpfade und eines ersten angenäherten Designentwurfs anhand der gesetzten maßgebenden Restriktionen (Anforderungen).

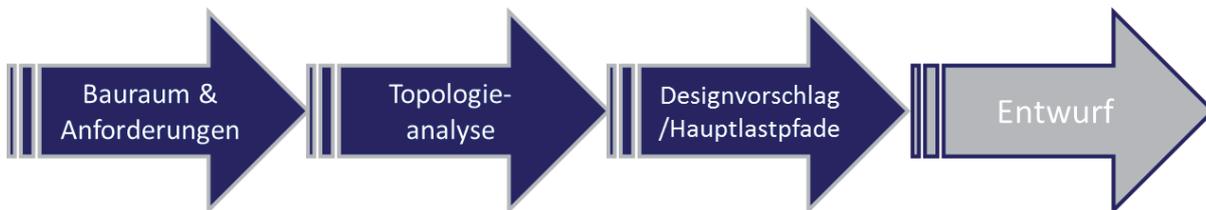


Abb. 2: Erstentwurf in der Konzeptphase

Die Topologieoptimierung ist eine der bekanntesten Optimierungsmethoden und liefert die optimale Materialverteilung für ein Bauteil in einem definierten Bauraum. Zu den wichtigsten Eingabegrößen zählen zu diesem Zeitpunkt der zur Verfügung stehende Entwurfsraum (entspricht dem möglichen Bauraum im Fahrzeug) sowie die Lager- bzw. Anbindungsstellen und die dimensionierenden mechanischen Belastungsgrößen/Lastfälle.

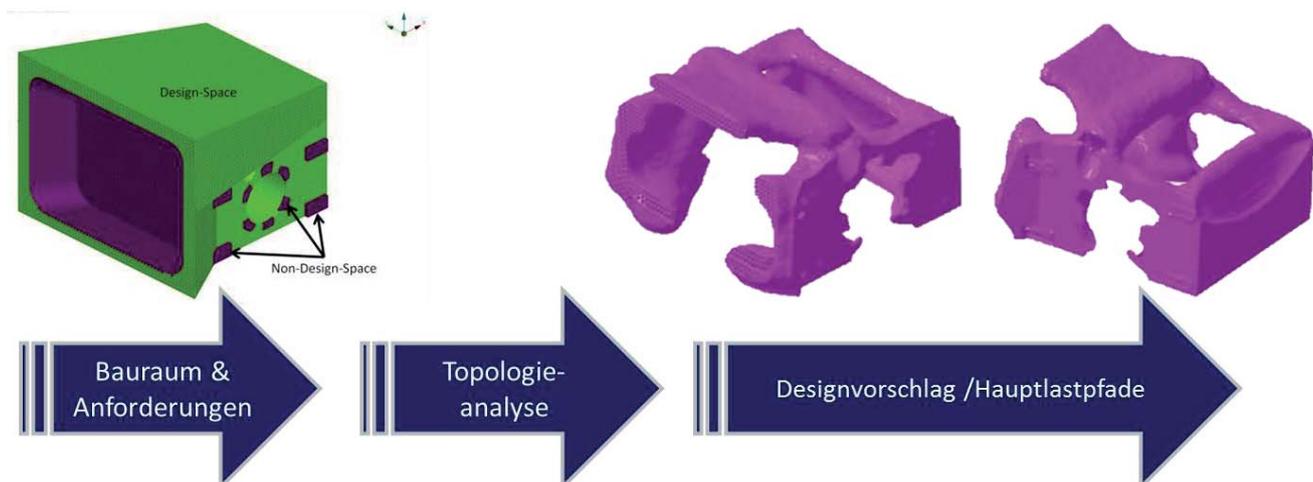


Abb. 3: Ablauf der Topologieanalyse am Beispiel eines E-Motorenträgers

In der Composite Produktentwicklung wird diese Methode heute noch selten benutzt, da sie von einem isotropen Werkstoffgesetz ausgeht. In dem hier vorgestellten Prozess dient die Analyse maßgeblich der ersten Geometriefindung sowie der Identifikation der Hauptlastpfade, die später nicht, wie bei isotropen Werkstoffen durch dickere Wandstärken und/oder Rippengeometrien umgesetzt werden sollen, sondern durch einen möglichst idealen Faserwerkstoff und -verlauf abgebildet werden.

2.1.2 Entwurf

Aus dem Ergebnis der Analyse kann nun eine erste „realistische“ Geometrie abgeleitet sowie eine erste Materialauswahl und der Entscheid hinsichtlich möglicher Bauweisen getroffen werden.

Allerdings ist bereits an dieser Stelle die Einbindung der Disziplinen Konstruktion, Versuch sowie Fertigung nötig, um bereits zu diesem frühen Zeitpunkt zielführende Entscheidungen zu treffen. D.h. obwohl die Entwicklung hier noch ganz am Anfang steht, ist bereits das Erfahrungswissen der anderen Disziplinen essentiell, um zu einem ausgewogenen und erfolgreichen Konzept zu kommen. Dies kann heute noch nicht durch entsprechende Tools im industriellen Maßstab ersetzt werden.

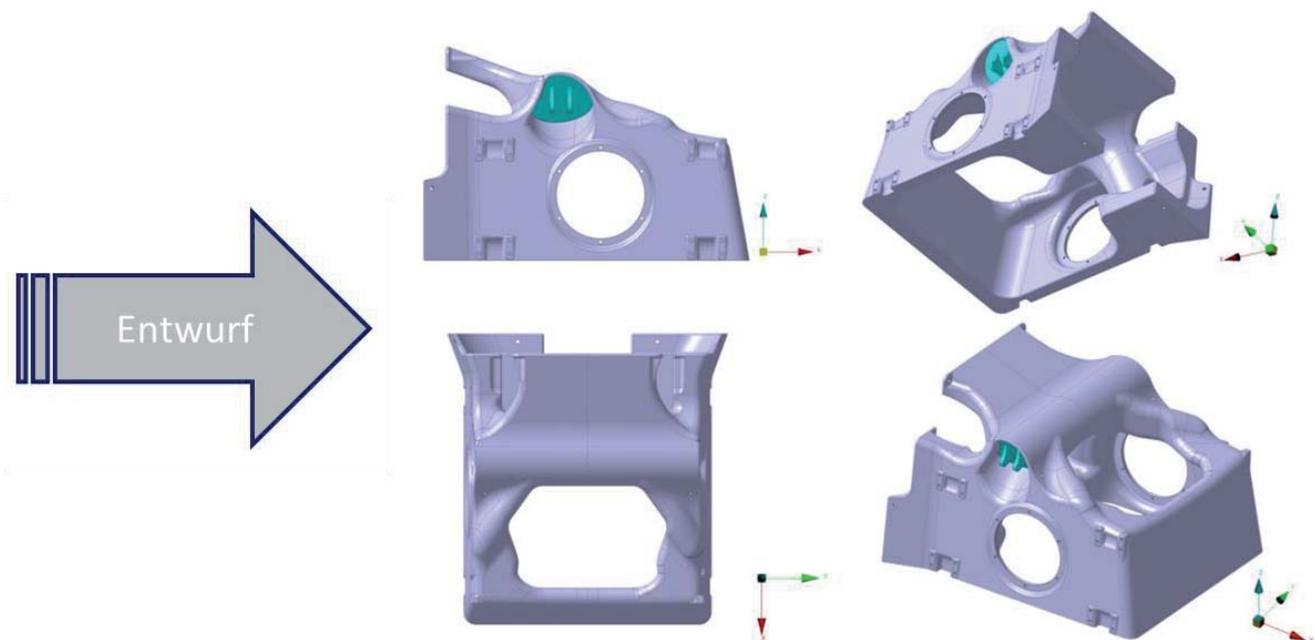


Abb. 4: Erster Konzeptentwurf auf Basis der Topologieanalyse

Materialauswahl:

Neben der Faserauswahl ist zunächst die Frage nach der geeigneten Matrix zu beantworten. Hierbei spielen zusätzlich zu den mechanischen Anforderungen auch weitere Aspekte, wie die Bauweise, angestrebte Stückzahlen, Umwelteinflüsse (Medienbeständigkeit), Recycling, etc. eine Rolle. Bei Strukturbauteilen steht die mechanische Performance meist im Vordergrund. Natürlich erfolgt die Auswahl hier auch anhand des gesteckten Entwicklungsziels.

Hinsichtlich der Faserauswahl sind maßgeblich zwei Entscheidungen zu treffen – die Frage nach dem Fasertyp (Kohlenstofffaser, Glasfaser,...) und die Frage nach dem Faserhalbzeug (UD, Gelege, Gewebe, Geflecht,...). In der Entwurfsphase werden unterschiedliche Ansätze diskutiert, aber in der simulativen Umsetzung wird meistens unter der Verwendung von UD-Fasermaterial begonnen. Hierbei liegt eine große Herausforderung in der Kenntnis der zu verwendenden Materialdaten. Wie bereits erwähnt, entstehen der Werkstoff und damit seine Eigenschaften erst während des Bauteilfertigungsprozesses. Dieser wiederum ist zum Zeitpunkt des Bauteilentwurfs noch nicht zwingend definiert, bzw. es können noch keine Muster zur Materialkennwertermittlung erzeugt werden. Dieser Umstand liegt nicht in den Herausforderungen der Simulation, sondern ist der Composite Produktentwicklung an sich geschuldet. Allerdings benötigt man bereits in der jetzigen Phase Materialdaten, die nahe an den später zu erwartenden liegen, um im simulationsgestützten Entwicklungsprozess voranzuschreiten. Diese Materialdaten sowie ggf. entsprechende Faktoren zur Berücksichtigung von Fertigungseinflüssen

basieren heute ebenfalls auf Erfahrungswissen – weder die Daten an sich, noch Richtlinien zur Berücksichtigung von Fertigungseinflüssen sind heute in der Simulationslandschaft gesetzt.

Bauweise:

In der frühen Entwurfsphase fällt meist die Entscheidung hinsichtlich der Sandwich-, Schalen- oder Plattenbauweise. Können weitere Funktionen integriert werden und die Systemgrenzen des Produkts entsprechend angepasst werden, beeinflusst dies ebenfalls die Entscheidungen hinsichtlich der Bauweise und die parallelen Überlegungen hinsichtlich der Verbindungstechniken.

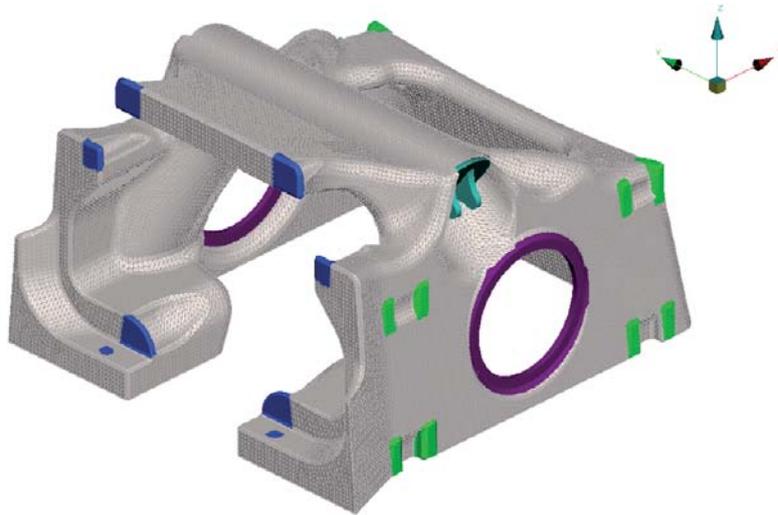


Abb. 5: Schaumkern des E-Motorenträgers mit eingebetteten Laminatplatten und Inserts

Für das vorgestellte Konzept erwies sich aufgrund der Anforderungen hinsichtlich

- des Leichtbaus
- der faserverbundgerechten Umsetzung
- des maximalen Integrationsgrades

die Sandwichbauweise als besonders vorteilhaft. Diese Entscheidung bringt natürlich weitere Besonderheiten in der Bauteilsimulation mit sich, wie in Kapitel 2.2 dargestellt ist.

Verbindungstechnik:

Beim Thema Verbindungstechnik sind an dieser Stelle zwei „Verbindungsarten“ zu betrachten:

Zum einen die Verbindungen, die benötigt werden, um die einzelnen Elemente zu einem Bauteil zu verbinden. Zum anderen, die Verbindung, besser gesagt Anbindungen, an umliegende Strukturen. Für den ersten Fall geht man dazu wieder in die Ergebnisbetrachtung der Topologieanalyse, da idealerweise die Bauteiltrennung in wenig bis kaum belastete Regionen gelegt wird. Dabei ist ein weiteres Mal das Erfahrungswissen der Konstruktion gefordert, da die Wahl der Trennebenen nicht nur abhängig von Lastpfaden erfolgen kann, sondern natürlich auch unter dem Aspekt der Fertigbarkeit stattfinden muss. Meistens werden Klebeverbindungen für den Bauteilverbund herangezogen. Die vorgestellte Baugruppe wird unter Verwendung eines geeigneten Werkzeugkonzepts in einem Stück, also ohne Bauteiltrennungen gefertigt. Dies ist aufgrund der gewählten Bauweise in diesem Fall möglich.

Meistens werden Bolzenverbindungen in verschiedensten Ausführungen als Anbindungstechnologie an angrenzende Strukturen verwendet. Hier gilt es, bereits im Konzeptentwurf zu berücksichtigen, dass Schäl- und Biegebeanspruchungen weitestgehend in derartigen Verbindungen vermieden werden sollten. Auch eventuelles Setzverhalten ist bei der Wahl der Verschraubungsanordnung zu berücksichtigen.

Nachdem für alle dimensionierenden sowie entwurfsrelevanten Faktoren Konzepte erarbeitet wurden, folgt der Konzeptentscheid hinsichtlich Machbarkeit, TRL (Technology Readiness Level), Entwicklungszielerfüllung, usw. Idealerweise liegt nun ein erster Gesamtkonzeptentwurf unter Verwendung der jeweils besten Teillösungen vor, welcher als Ausgangspunkt für die Entwicklungsphase dient.

2.2 Entwicklungsphase

Zu Beginn der Entwicklungsphase wird auf Basis des Gesamtkonzeptentwurfs ein erster vollständiger CAD-Datensatz aufbereitet und es erfolgt die Festlegung der hauptsächlich zu verwendenden Werkstoffe. Diese beiden „Daten“ bilden die Eingangsgrößen für jede weitere simulative Betrachtung.

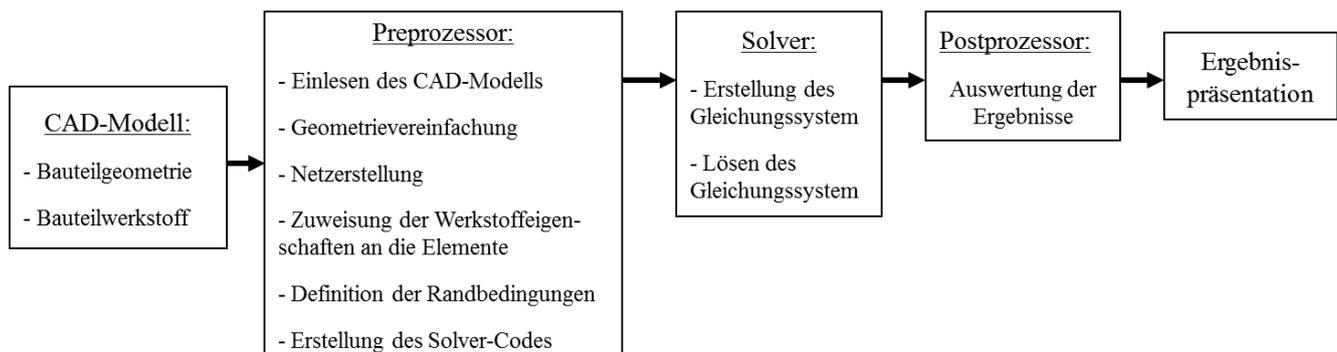


Abb. 6: Übersicht Simulationsprozess

Bei jedem einzelnen dieser dargestellten Prozessschritte müssen faserverbundwerkstoffspezifische Anpassungen bzw. Einstellungen berücksichtigt werden, um zu sinnvollen und realitätsnahen Aussagen zu kommen.

2.2.1 Preprocessing

Einlesen des CAD- Modells & Geometrievereinfachung:

Je nach Reifegrad der CAD-Daten können oder auch sollten in der Simulation Geometrievereinfachungen vorgenommen werden. Dabei handelt es sich um Vereinfachungen, die keinen oder nur einen nicht nennenswerten Einfluss auf das zu untersuchende „Problem“ haben. Für erste Simulationsläufe können so z.B. kleine Bohrungen geschlossen werden, Radien und Fasen entfernt werden sowie mögliche Verbindungselemente anhand entsprechender Elemente „nachgeahmt“ werden, bzw. Verbindungen idealisiert werden. Man sollte die getroffenen Vereinfachungen allerdings für die später folgende Detaillierungsphase im Hinterkopf behalten, denn es gibt hier keine Standards, welche Vereinfachungen hinsichtlich der Ergebnisgüte tragbar sind.

Netzerstellung / Modellierung:

Es erfolgen nicht nur Vereinfachungen hinsichtlich der Geometrien, sondern auch die Elemente können auf eine bestimmte Größe angepasst werden. Hierzu wurde in einer eigenen internen Studie der Einfluss der Elementgröße auf die „Richtigkeit“ des Ergebnisses in Form des Tsai-Wu Versagensindex untersucht. Dabei konnte festgehalten werden, dass

- der Tsai-Wu-Versagensindex mit zunehmender Netzfeinheit steigt, bis die Konvergenz eintritt
- der Anstieg nicht konstant verläuft

Bei einer Bauteilanalyse mittels FEM sollte daher die Ergebnisgenauigkeit immer hinterfragt werden.

Im Rahmen der Entwicklungsphase wird daher folgende Vorgehensweise empfohlen:

- Die Modellierung erfolgt weitestgehend mit Shell-Elementen und nur bei besonderen Gegebenheiten mit Solid- oder anderen Elementen
- Die Netzfeinheit sollte so gewählt werden, dass eine gleichmäßige Verteilung der Spannungen gewährleistet ist.
- Im Allgemeinen beginnt man mit einer Elementkantenlänge von 4-8mm (je nach Modellgröße) und verfeinert anschließend Bereiche für Detailbetrachtungen, nachdem versagenskritische Stellen im Modell lokalisiert wurden.
- Die erzielte Ergebnisgenauigkeit muss nach jedem Verfeinerungsschritt erneut beurteilt werden.

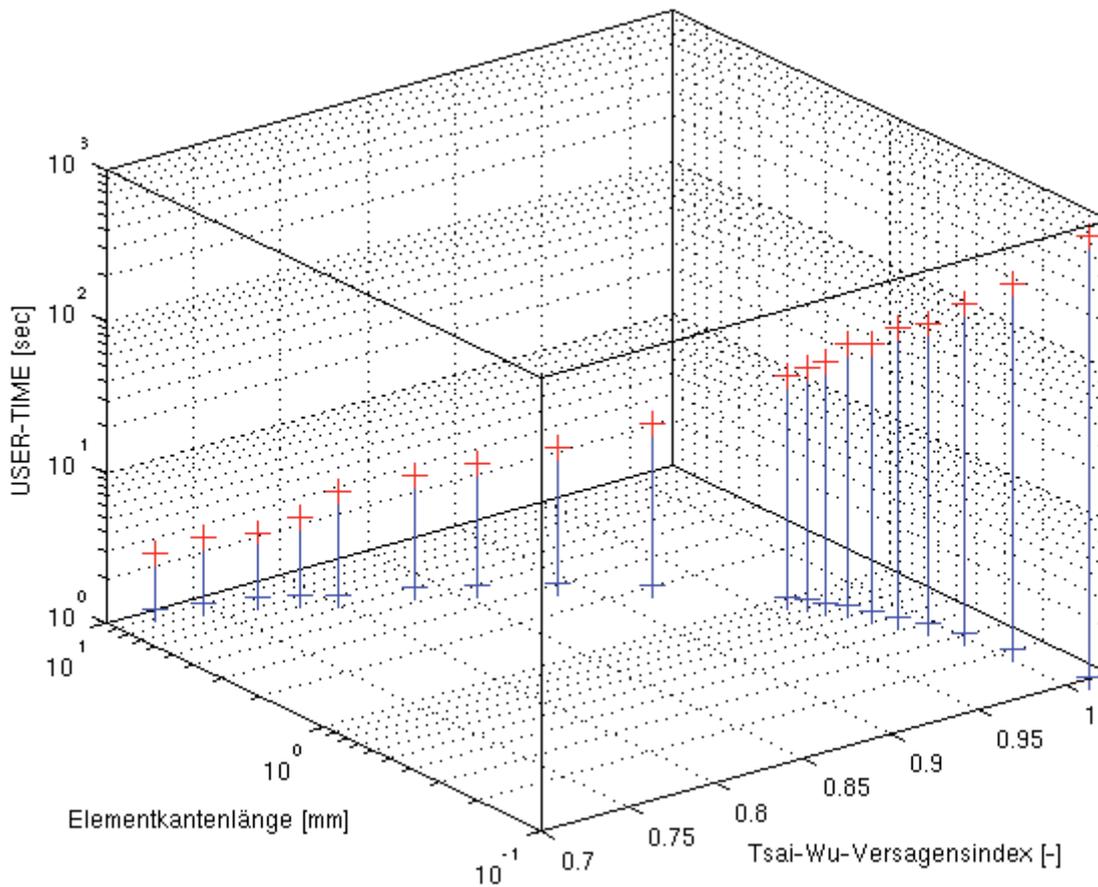


Abb. 7: Tsai-Wu Versagensindex in Abhängigkeit der Netzfeinheit und in Relation zur Rechenzeit

Für die Modellierung von Sandwichbauteilen sind zudem weitere Besonderheiten zu berücksichtigen, um zu aussagekräftigen Ergebnissen zu kommen. Bis zu einer Kerndicke von 10mm wird eine Sandwichstruktur nur mit einer Schalenelementebene vernetzt. Der Kern entspricht dann einer oder mehrerer Lage(n) in der Laminatdefinition (abhängig von der Position über die Dicke an der Spannungen und Dehnungen ausgegeben werden sollen). Ab einer Dicke von 10mm (oder wenn die Kerngeometrie zu komplex ist) wird der Kern mit Solid-Elementen vernetzt, die Deckschichten mittels Shell-Elementen. Hierbei sind besonders die Elementorientierung und der Lagenaufbau zu beachten (s.u.). Im Idealfall sind die Schalen-Elemente homogen (also mit koinzidenten Knoten) an die Volumen-Elemente anzubinden. Des Weiteren muss man entscheiden, auf welchen Ebenen die Schalenelemente vernetzt werden. Normalerweise wird auf der Werkzeugseite (Tooling Side) die Ebene der Vernetzung des monolithischen Bereichs übernommen. Natürlich ändert sich im Sandwich aber die Mittelebene. Auf der Sackseite (Bag Side) kann man auf der Mittelfläche oder direkt auf der Klebeebene zwischen Kern und Decklagen vernetzen. Insgesamt muss man also sowohl die Höhe des Kerns (Solids) anpassen als auch für die Decklagen entsprechende Offsets vergeben.

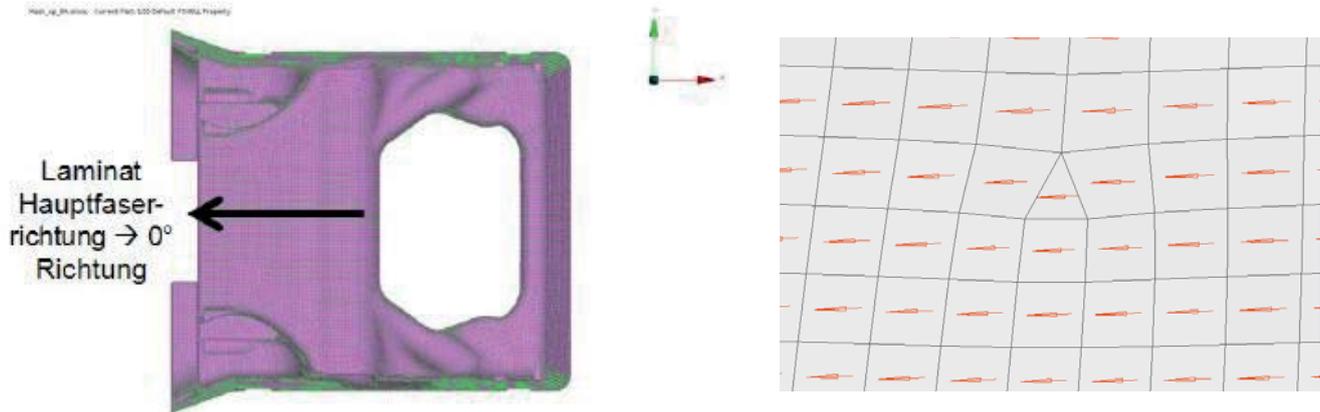


Abb. 8: Hauptfaserrichtung des Laminats (links);
Definition der Materialorientierung anhand der Einzelelemente (rechts)

Zuweisen der Werkstoffeigenschaften und zusätzlicher Randbedingungen:

Bei der Wahl der zu verwendenden Materialdaten müssen der Einsatzbereich des Bauteils und mögliche Sicherheitsstrategien berücksichtigt werden. Liegen einzelne Ingenieurskonstanten vor, so können mit einem eigenen Programm (P+Z-intern) die fehlenden ermittelt werden. Auch Ingenieurskonstanten für Verbundwerkstoffe verschiedener Faservolumenanteile können auf Basis der Mischungsregel aus den Materialparametern für Faser und Matrix berechnet werden. Für diese „einfachen“ Berechnungen gibt es heute zwar Lösungen – eigene oder auch z.B. von Universitäten oder Instituten programmierte Tools – aber noch keine etablierten Anwendungen, die in den gängigen Tools implementiert sind.

Abilden der Verbindungstechnik:

Die Abbildung der Verbindungstechnik unterscheidet sich im Normalfall kaum von der Modellierung bei isotropen Materialien. Für erste überschlägige Analysen werden Schrauben/Bolzen/Niete mit sog. Rigid Body Elementen (RBE2) an den zu verbindenden Bauteilen sowie einem Balkenelement (CBAR/RBAR/CBUSH/BEAM) abgebildet, so dass die Schraubenkräfte ausgelesen werden können. In einer Detailmodellierung sollten die Form der Schraube/des Bolzen/Niet möglichst realitätsnah mit einem Volumenmodell abgebildet werden und die Verbindungsverhältnisse mit Kontakten und Vorspannungen modelliert werden.

Die Abbildung von Klebeverbindungen für diese ersten Untersuchungen wird meist mit einer Kombination aus Solid-Elementen für den Kleber und RBE3-Elementen für die Verbindung modelliert. Auf diese Weise können Klebereigenschaften mit berücksichtigt werden und es entstehen keine Spannungsüberhöhungen in den Composite-Bauteilen. Für Detailbetrachtungen gilt auch hier die Anpassung der Modellierung, ggf. mit anderen Elementtypen, denen ein Versagensmodell hinterlegt werden kann, z.B. Cohesive-Elemente.

Alleine diese Übersicht der wichtigsten zu berücksichtigenden Themen hinsichtlich der Modellierung spiegelt wider, worin die Grenzen der Preprozessoren heute liegen. D.h. aussagekräftige Ergebnisse können nur durch die geeignete Modellierung erzeugt werden, wobei Rechenzeiten und solverspezifische Randbedingungen nicht außer Acht gelassen werden dürfen. Abschließend sollte immer eine Modellvalidierung im Preprocessing nach folgenden Kriterien erfolgen:

- Elementqualität
- Freie Kanten / Konnektivität der Elemente
- Koinzidente Knoten
- Doppelte Elemente
- Elementorientierung
- Elementoffsets
- Materialorientierung

2.2.2 Solver

In der Wahl des Solvers ist man heute bei der Simulation von Composite-Bauteilen kaum mehr eingeschränkt, da so gut wie alle gängigen Tools mit Faserverbundstrukturen und den daraus resultierenden Herausforderungen umgehen können. Bei P+Z Engineering wird eine Vielzahl unterschiedlicher Solver für verschiedene Zwecke und Simulationsarten eingesetzt. So wird zum Beispiel für lineare Simulationen zur Steifigkeitsbewertung MSC Nastran, für Festigkeitsbewertungen oder nichtlineare Simulationen Abaqus Standard oder ANSYS eingesetzt, für explizite (Crash-) Berechnungen kommen unter anderem Abaqus Explicit, PAMCrash und LS-Dyna zum Einsatz. Für die angesprochene Topologieoptimierung kann zum Beispiel OptiStruct verwendet werden.

2.2.3 Postprocessing

Allein durch die vielen Einstellungsmöglichkeiten der Postprozessoren werden verschiedenste Ergebnisse geliefert. Eine mögliche Einstellung ist beispielsweise die Definition, ob erst die Werte eines Elements in den Knoten ermittelt werden und dann die Summe derer gemittelt wird, oder die gemittelten Knotenwerte summiert werden. Wie auch bei isotropen Materialien ist darauf zu achten, in welchem Koordinatensystem Spannungs- und Dehnungswerte dargestellt werden. Composites sollten immer im Materialkoordinatensystem – oder einen daran ausgerichteten Elementkoordinatensystem – ausgewertet werden. Bei Schalenelementen ist darauf zu achten, an welcher Stelle diese ausgewertet werden. Der Solver berechnet die Werte in den Integrations- oder auch Gaußpunkten. Damit werden die Werte für das Element (Centroid) oder die Knoten (Corner) errechnet; diese Interpolation wird entweder schon durch den Solver oder erst im Postprocessor ausgeführt.

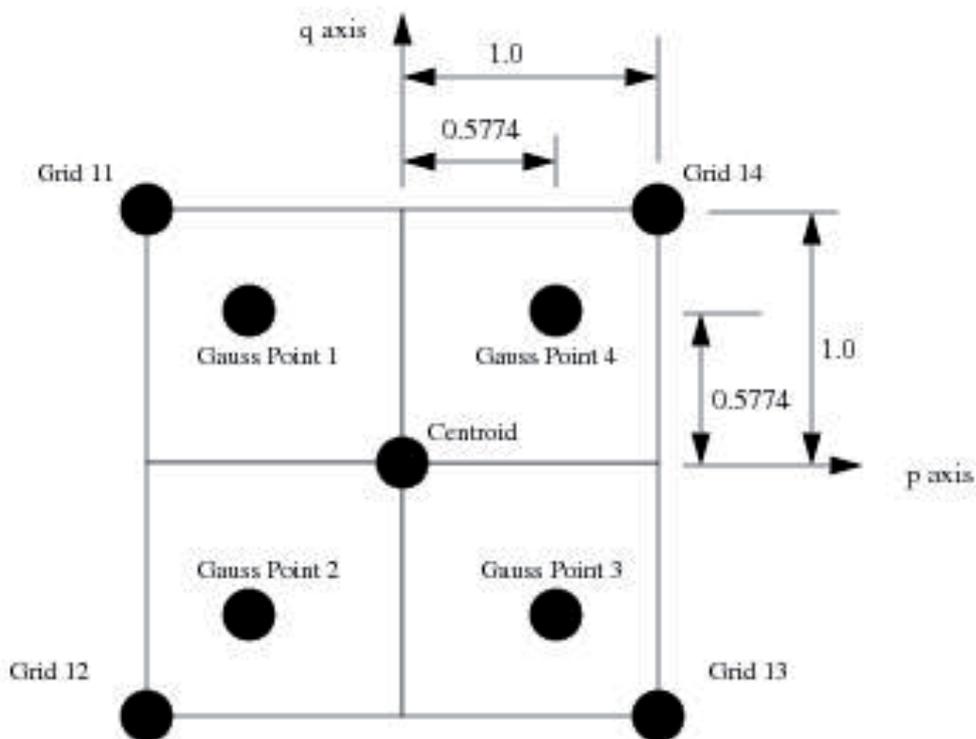


Abb. 9: Auswertung von Schalenelementen

Über die Dicke der einzelnen Lage kann in Abaqus die Anzahl der Auswertepunkte definiert werden. Es können die Werte auf der Unter-, Oberseite und Mitte ausgegeben werden. Es empfiehlt sich die Werte auf Unter- und Oberseite jeder einzelnen Lage auszugeben und auszuwerten. Nastran gibt die Spannung nur in der Lagenmitte aus. Bei Rechnungen mit wenigen, dicken Lagen ist darauf im Speziellen zu achten, wie z.B. bei der hier vorliegenden Sandwichbauweise.

Generell sollten zur Auswertung Anstrengungen gegenüber den Fehlerindizes bevorzugt werden, da sie eine linear skalierbare Aussage über die Belastung treffen (doppelte Last → doppelte Anstrengung). Bei Versagensindizes kann eine solche Aussage nicht getroffen werden. Beim Dehnungskriterium entspricht der Versagensindex der Anstrengung. Einige Postprozessoren stellen „Composite Tools“ zu Verfügung, welche alle Spannungen automatisch einlesen und darstellen können. Dadurch können Plots erzeugt werden, welche die kritische Lage oder Richtung für diverse Versagenstheorien (u.a. Puck) bestimmen oder aber auch den Spannungs- oder Dehnungsverlauf über die Dicke zeigen.

2.3 Detaillierungsphase

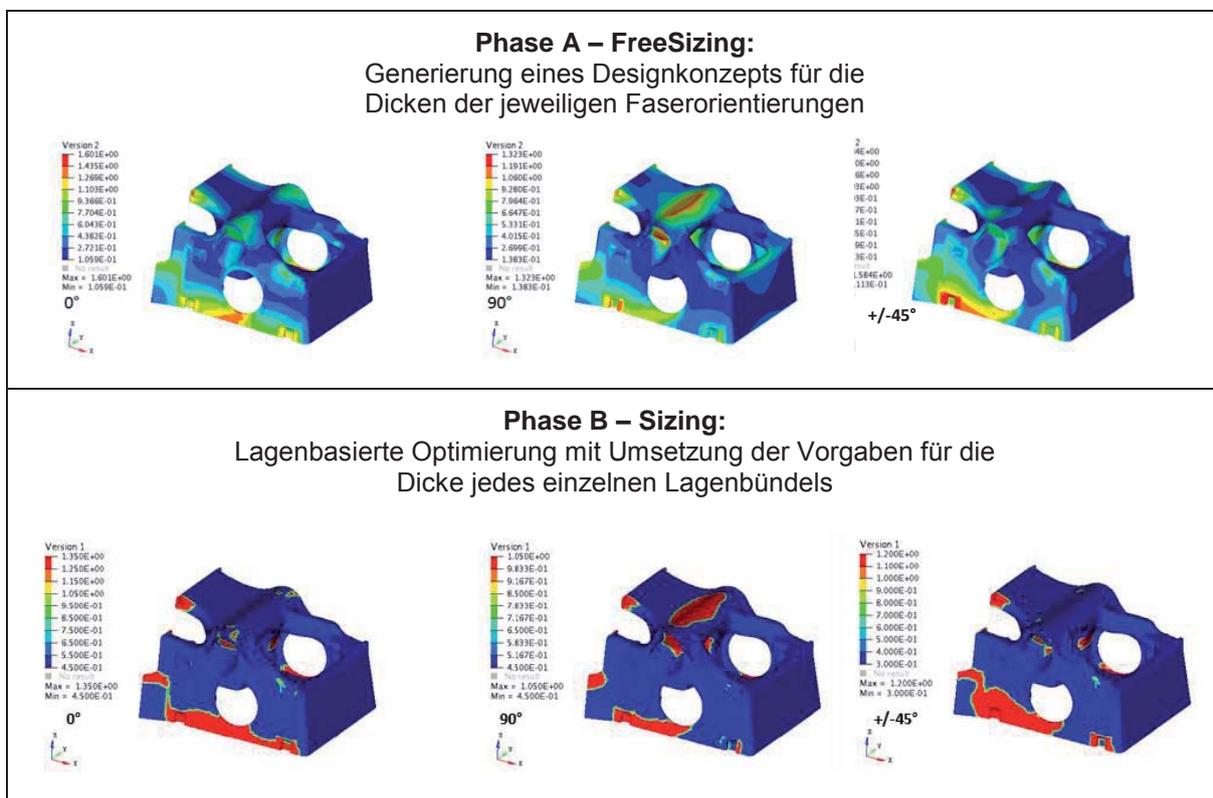
In der Detaillierungsphase geht es in mehreren Iterationsschleifen um den optimalen Lagenaufbau, das Einbringen von lokalen Verstärkungen, die Ausgestaltung von Verbindungen, Drapierbarkeit, etc. Neben der Betrachtung der dimensionierenden Lastfälle muss zu diesem Zeitpunkt auch der Nachweis über die Performance in allen weiteren oder auch resultierenden Anforderungen erbracht werden. Je nach Entwicklungsziel (Oberfläche, Steifigkeit, Gewicht, Crashperformance, Kosten, etc.) steht man entsprechenden Herausforderungen in der Simulation gegenüber.

2.3.1 Optimierung

Aktuelle Optimierungstools sind zwar in der Lage die Faserverstärkung belastungsoptimiert in Orientierung und Platzierung im Laminat anzupassen, das Ergebnis ist allerdings im Hinblick auf die Bauteilfertigung meist nicht ideal, so dass hier weiterhin viel Knowhow und „Handarbeit“ gefordert sind. Nachfolgend wird als eine mögliche Optimierungsmethodik die dreiphasige Composite-Optimierung mit OptiStruct vorgestellt.

Für lineare Problemstellungen in denen Composite-Bauteile mit lagenbasiertem Aufbau hinsichtlich gewisser Zielwerte (z.B. Gewicht, Steifigkeit, Festigkeit) optimiert werden sollen, bietet OptiStruct eine gute Möglichkeit dies durchzuführen. Dabei sollen die vorgegebenen Faserorientierungen (z.B. 0°/45°/-45° und 90°) sowie die Lagendicke und –abmessungen bezüglich der Lastpfade optimal genutzt und angeordnet werden. Das Ziel der 3-phasigen Optimierung ist es, mit möglichst geringem Materialaufwand bestehende Randbedingungen, wie z.B. Steifigkeitszielwerte oder Versagenskriterien, zu erfüllen.

Im Folgenden werden die 3 Phasen am Beispiel der Optimierung des E-Motorenträgers kurz vorgestellt:



Phase C – Shuffling:
Anordnung der Abfolge der einzelnen Lagen

Iteration 0	Iteration 1	Iteration 2	Legend
1001101	1002102	1002102	90.0 degrees
1001102	1001102	1001102	45.0 degrees
1002101	1004102	1004102	0.0 degrees
1002102	1003102	1003102	-45.0 degrees
1003101	1008201	1008201	
1003102	1007201	1007201	
1004101	1005201	1005201	
1004102	1006101	1006101	
1006101	1005202	1005202	
1005201	1006201	1006201	
1005202	1005203	1005203	
1005203	1006202	1006202	
1005204	1005204	1005204	
1005205	1006203	1006203	
1005206	1005205	1005205	
1005207	1005206	1005206	
1006201	1005207	1005207	
1006202	1003101	1003101	
1006203	1004101	1004101	
1007201	1001101	1001101	
1008201	1002101	1002101	

In Phase A wird deutlich, dass je nach Belastungsart und -zone unterschiedliche Mengen an Material der belastungszugehörigen Faserorientierung benötigt werden. Aufgrund der auftretenden Schubbelastungen an den unteren Verschraubungspunkten bildet sich beispielsweise ein Schubfeld aus, was den Bedarf an +/-45°-Lagen in dieser Zone erhöht. Im Anschluss erfolgt nun mit der Composite Size Optimierung die Dimensionierung des Laminats, bei der die Fertigungsdicken der Einzellagen und die Versagenskriterien des MSV (Mehrschichtverbund) mit einbezogen werden. Ein besonderes Augenmerk muss dabei auf die Umsetzbarkeit in der Fertigung gelegt werden. Das Programm erlaubt zwar Vorgaben hinsichtlich der minimal erlaubten Patchgröße, hält diese Restriktionen allerdings nicht zwingend ein. Der Solver arbeitet hier mit einer integrierten automatischen Patchgrößendefinition auf Basis der Elementgrößen. Häufig sind daher z.B. manuelle Anpassungen der „Superplies“ nötig. Dazu ist allerdings entsprechendes Fertigungswissen erforderlich, bzw. müssen die Möglichkeiten mit dieser Fachdisziplin abgestimmt werden.

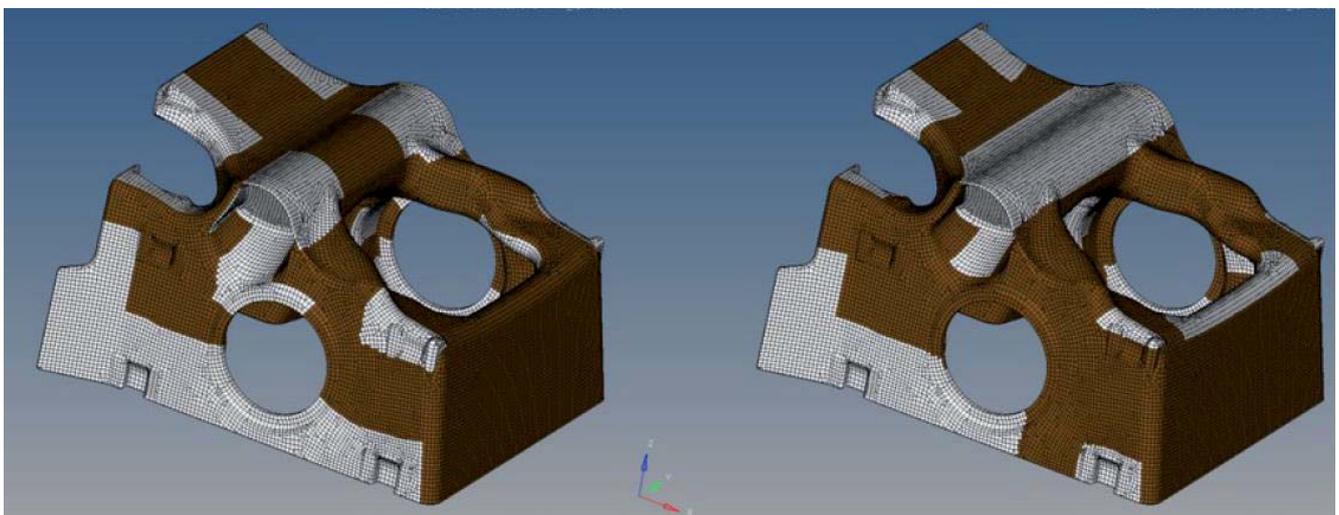


Abb. 10: Beispiel von manuell angepassten Superplies der 0°- (links) und 90° (rechts) -Lagen

Im letzten Schritt, Phase C, erfolgt die Optimierung der Stapelreihenfolge der Einzellagen im Laminat. Werden die Randbedingungen (z.B. Definition der Stapelreihenfolge der äußeren Lagen) an dieser Stelle sinnvoll gewählt, erfolgt eine „richtige“ Ausführung der „Cover“ und „Core“ Funktionen durch den Solver. Ein großes Problem an dieser Stelle entsteht dadurch, dass allgemein gültige Richtlinien hinsichtlich eines symmetrischen und ausgewogenen Lagenaufbaus durch den Solver nicht berücksichtigt werden. Dies muss ebenfalls im Nachhinein manuell ausgeglichen werden. Nachdem diese Phase der Optimierung wenig Unterstützung im Auslegungsprozess des Laminataufbaus bietet, empfiehlt es sich, den Laminataufbau nach gängigen Richtlinien und Erfahrungswerten basierend manuell zu generieren.

2.3.2 Verbindungstechnik in der Simulation

Bereits in der Entwurfs- und Entwicklungsphase wurde auf die unterschiedlichen Verbindungstechniken und –arten hingewiesen. In der Simulation bringen diese Möglichkeiten weitere Besonderheiten mit sich, wie z.B. die geeigneten Modellierungstechniken zu finden, oder aber auch die Fragestellung, ab wann eine spezielle Kleberabbildung erfolgen muss, bzw. bis wohin man noch vom Materialverbund ausgehen kann.

Die Detailgenauigkeit, mit der Verbindungselemente in der Simulation abgebildet werden müssen, kann jedoch nicht pauschalisiert werden, dies muss situativ entschieden werden. Die Fragen, die man sich hier stellen muss, sind zum Beispiel folgende: Wird das Bauteil noch über einen Versuch abgesichert oder alleinig über die Simulation? Ist die maximale Gewichtsreduktion das höchste Entwicklungsziel, so dass jede Verbindung „auf den Punkt genau“ ausgelegt werden muss? Sind alle nötigen Kennwerte der Verbindungselemente vorhanden, so dass diese mit ihrem jeweiligen Versagensmodus abgebildet werden können?

2.3.3 Nachweis

Nachdem in den bisherigen Entwicklungsschritten nun das Bauteil maßgeblich anhand der dimensionierenden Lastfälle hinsichtlich des Entwicklungsziels ausgelegt wurde, erfolgen in der Detaillierungsphase Berechnungen und Betrachtungen aller zu erfüllender Anforderungen. Häufig wird an dieser Stelle das Bauteil wieder ein wenig „schwerer“, da zusätzliche Maßnahmen zur Zielerreichung ergriffen werden müssen. Meistens finden sich in dieser Phase auch Zielkonflikte wieder: z.B. fordert der dimensionierende Lastfall an einer bestimmten Stelle im Bauteil eine erhöhte Steifigkeit, andere Anforderungen erfordern eine erhöhte Duktilität in diesem Bereich. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Frontklappe eines Fahrzeugs (Steifigkeit gegen Verwindung gegenüber der Duktilität für den Fußgängerschutz). Hier ist durch geschickte Kombination aus Design, Bauraumausnutzung, Materialwahl und Faserorientierung die bestmögliche Lösung für alle Anforderungen zu finden.

Alle einzuhaltenden Lastfälle müssen nun abschließend noch einmal detailgetreu simuliert und anschließend dokumentiert werden, um schließlich alle geforderten Nachweis-Dokumente an den Kunden übergeben zu können.

3 Resümee

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass der simulationsgestützte Entwicklungsprozess mittlerweile eine hervorragende Möglichkeit bietet, Faserverbund-Produkte schnell und dynamisch mit Unterstützung aller anderen Disziplinen (Konstruktion, Fertigung, Erprobung und Versuch) den steigenden Anforderungen nach zu entwickeln. Die gängigen Simulationstools sind dabei eine große Hilfe, lassen jedoch unserer Meinung nach noch keine komplett geschlossene Prozesskette in der Entwicklung zu – dazu ist auch weiterhin eine große Portion Erfahrung und Fingerspitzengefühl der Entwickler gefragt.

Dennoch werden die Tools, die von den Softwareherstellern mit jedem Release weiter an die Bedürfnisse der Composite-Produktentwicklung angepasst werden, eine immer größere Hilfe und sind so in der Lage, immer mehr Arbeitsschritte automatisiert zu übernehmen, wengleich die Anwendbarkeit dieser neuen Features in den verwendeten Tools im Arbeitsalltag meist erst relativ aufwändig erprobt, geprüft und validiert werden müssen.

Hochleistungsrechnen auf Grafikkarten für innovative Anwendungen in der Automobilindustrie

Christian F. Janßen (Technische Universität Hamburg-Harburg)

Thorsten Grahs (Technische Universität Braunschweig / move-csc)

Die Nachfrage nach schnellen und gleichzeitig verlässlichen numerischen Simulationen für komplexe Fragestellungen in Forschung und Entwicklung in der automobilen Industrie hat in den vergangenen Jahren stetig zugenommen. In gleichem Maße sind die verfügbaren Hardware-Ressourcen gestiegen und die Preise für Hochleistungshardware gesunken. Dennoch existieren weiterhin zahlreiche komplexe Fragestellungen, z.B. im Bereich von Aeroakustik, Mehrphasenströmungen oder Fluid-Struktur-Interaktionen, deren numerische Simulation in Hinblick auf Rechenzeiten und verfügbare Ressourcen weiterhin zu anspruchsvoll ist, um direkt in einen Produktentwicklungszyklus eingebettet zu werden.

In diesem Beitrag stellen wir eine Machbarkeitsstudie zur direkten Integration hochentwickelter, optimierter CFD-Verfahren in den automobilen Entwicklungsprozess vor. Um kurze Simulationszyklen sicherzustellen, werden besonders effiziente numerische Simulationswerkzeuge in Kombination mit spezieller Grafikkarten-Hardware eingesetzt. Der verwendete Löser elbe ist eine Simulationsumgebung zur numerischen Simulation zwei- und dreidimensionaler Strömungen mit freien Oberflächen und basiert auf einem innovativen Gitter-Boltzmann-Verfahren.

Die numerische Methode wird anhand der Simulation der Wasserdurchfahrt eines Serienfahrzeuges untersucht. Der gewählte Simulationstestfall ist dabei beabsichtigt anspruchsvoll: einerseits ist das transiente, nicht-lineare Strömungsverhalten inklusive der Bewegung der freien Wasseroberfläche zu simulieren, andererseits erfordert die sich bewegende komplexe dreidimensionale Fahrzeuggeometrie eine gleichzeitige Gitteranpassung in jedem Zeitschritt der numerischen Berechnung. Entsprechende numerische Simulationen mit klassischen Finite-Volumen-Verfahren auf HPC-Clustern mittlerer Größe benötigen einige Tage oder gar Wochen Rechenzeit. Die elbe-Umgebung, in Kombination mit aktueller Hochleistungs-GPU-Hardware von NVIDIA, ermöglicht vergleichbare Simulationen innerhalb weniger Stunden, auf einer einzelnen Grafikkarte in einer gewöhnlichen Workstation.

1 Einleitung

Die rasante Zunahme der verfügbaren Rechenleistungen im Bereich des Hochleistungsrechnens (engl. High Performance Computing, HPC) in den letzten Jahren hat insbesondere in Kombination mit der drastischen Kostensenkung der Hardware zu einer starken Nachfrage nach numerischen Simulationen und deren Integration in die Entwicklungsprozesse geführt. Dabei führt die hohe Komplexität der realen technischen Anwendungen jedoch unverändert zu hohen Rechen- bzw. Antwortzeiten der Simulationsumgebung, wodurch sich die Integration der Simulationen in die Prozesskette der Produktentwicklung schwierig gestaltet. Die Simulationsergebnisse sind üblicherweise erst nach Tagen oder Wochen verfügbar, während eine nahtlose Integration in die schnelllebige Produktentwicklung von bspw. Fahrzeugen Simulationsantwortzeiten von einigen Stunden bis hin zu maximal einem Tag erfordert. Abgesehen von dieser Diskrepanz der Zeitskalen sind die Kosten für eigene innerbetriebliche Hardware und insbesondere für die kommerziellen Software-Lizenzen enorm, so dass die Simulationen solcher komplexen Anwendungen insgesamt oft zu anspruchsvoll sind, um sie in das Design und den Produktentwicklungszyklus zu integrieren.

Dem gegenüber steht eine neue Entwicklung im HPC-Bereich: das wissenschaftliche Rechnen auf Grafikkarten. Ursprünglich entwickelt für die massiv-parallelen Bedürfnisse von hochauflösenden Videospielen, entstanden daraus leistungsstarke grafische Verarbeitungseinheiten, die für den massiven Durchsatz von numerischen Daten maßgeschneidert sind. Hierbei spielt es keine Rolle, ob Grafikdaten (Pixel/Textures) oder Simulationsdaten verarbeitet werden sollen. Erste bahnbrechende Arbeiten im CFD-Bereich nutzten dabei direkt die Rendering-Pipeline und versteckten die eigentlichen numerischen Operationen in Visualisierungs-Anweisungen. Durch die Bereitstellung von Software Development Kits (SDKs) durch die Grafikkartenhersteller und eine zunehmende Anpassungen der Hardware-Architekturen ist die Programmierung jedoch nach und nach einfacher geworden, so dass mittlerweile zahlreiche Veröffentlichungen zum GPU-Computing existieren, bspw. [1,2,3].

Das aktuelle NVIDIA Flaggschiff, die in Abb. 1 (links) dargestellte NVIDIA Tesla K40 Grafikkarte, ist speziell für wissenschaftliches Rechnen optimiert worden, bietet zu einem Preis von etwa 3000€ insgesamt 2880 Rechenkern sowie 12 GB Grafikkartenspeicher und verzichtet gänzlich auf die Möglichkeit, einen Bildschirm anzuschließen. Geblieben ist der durch die Massenproduktion bedingte relativ geringe Preis sowie der einfache Zugriff auf die Rechenressourcen, da solche Karten in nahezu jedem Standard-PC mit PCI-Express-Schnittstelle installiert werden können. Werden wie in Abb. 1 (rechts) dargestellt mehrere Karten zu einem kleinen Multi-GPU-Cluster zusammenschaltet, erhöht sich dementsprechend die Rechenleistung. Eine ideale Basis für lokale Simulationen und *Supercomputing on the Desktop*.

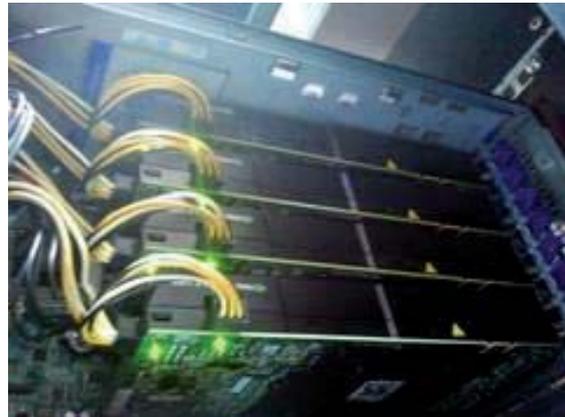


Abb. 1: NVIDIA Tesla K40 GPU mit 2880 Rechenkernen und 12 GB Speicher (links).
Multi-GPU Rechenserver mit 4 NVIDIA Tesla C2075 GPUs (rechts).

Der in diesem Artikel untersuchte Ansatz zur Integration komplexer Multi-Physik-Anwendungen in den Produktentwicklungszyklus kombiniert die hohe Rechenleistung von durchsatzorientierten GPUs mit einem speziell für diese Hardware geeigneten numerischen Verfahren, der Gitter-Boltzmann-Methode (engl. Lattice Boltzmann Method, LBM). Der Algorithmus ist aufgrund seiner lokalen Natur besonders gut auf Vektor-Prozessoren und Grafikkarten-Hardware einsetzbar. Im Vergleich zu Standard-CFD-Lösern auf Basis von Finite-Volumen-Methoden (FVM), lassen sich Rechenzeitvorteile von bis zu einem Faktor 5 bis 10 (abhängig von der Anwendung und den Implementierungsdetails der jeweiligen Codes) feststellen.

Im Folgenden präsentieren wir die Anwendung des LBM-GPU-Lösers *elbe* auf die Simulation der Wasserdurchfahrt eines Serien-PKW. Die Simulationsergebnisse stammen aus einer Machbarkeitsstudie in Zusammenarbeit mit einem Autohersteller, deren Ziel es war, zu überprüfen, ob die Integration von komplexen Anwendungen (wie einer Wasserdurchfahrt) in den Produktentwicklungszyklus möglich ist. Der Schwerpunkt wurde hierbei sowohl auf die Antwortzeit der numerischen Simulation als auch auf die Genauigkeit der Ergebnisse gelegt. Im weiteren Verlauf dieses Beitrags geben wir zunächst einen kurzen Überblick über die verwendete numerische Methode zur Simulation des Strömungsfeldes und der Bewegung der freien Wasseroberfläche und präsentieren abschließend Simulationsergebnisse sowie Informationen über die verwendete Hardware und die Rechenzeit.

2 *elbe* – eine effiziente Gitter-Boltzmann Entwicklungsumgebung

Der numerische Löser *elbe* [4] ist ein effizientes Werkzeug zur numerischen Simulation komplexer zwei- und dreidimensionaler Strömungsprobleme. Der Löser berücksichtigt nicht-lineare Strömungsphänomene sowie den Einfluss freier Oberflächen, Viskosität und Turbulenz. *elbe* basiert auf einem Gitter-Boltzmann-Verfahren auf äquidistanten kartesischen Gittern und ist von zweiter Ordnung genau in Raum und Zeit. Die Methode ist explizit in der Zeit und erfordert lediglich Interaktionen zwischen direkt benachbarten Gitterknoten, so dass die Methode besonders effizient im Kontext aktueller Hochleistungs-Hardware wie beispielsweise Grafikkarten anwendbar ist [5]. Dies wurde schon lange vor der Entwicklung grafikartenorientierter SDKs deutlich und hat sich in den letzten Jahren mit der zunehmenden Popularisierung von grafikartenorientierten wissenschaftlichen Berechnungen weiter manifestiert. Die Wahl einer effizienten Methode wie der LBM ermöglicht dabei bereits einige

numerische Simulationen in Echtzeit. Die in Abbildung 2 dargestellte Innenraumströmung in einem A380 Cabin Mockup ließ sich trotz einer Gitterknotenanzahl von 2,14 Millionen mit *elbe* bereits in Echtzeit simulieren und visualisieren. Die Berechnung von 120 Sekunden Strömungsverhalten benötigte dabei auf einer Grafikkarte in etwa 120 Sekunden Rechenzeit. Der folgende Abschnitt gibt einen stark gekürzten Überblick über die Gitter-Boltzmann-Methode. Für weitere Informationen sei auf [5,6] verwiesen.

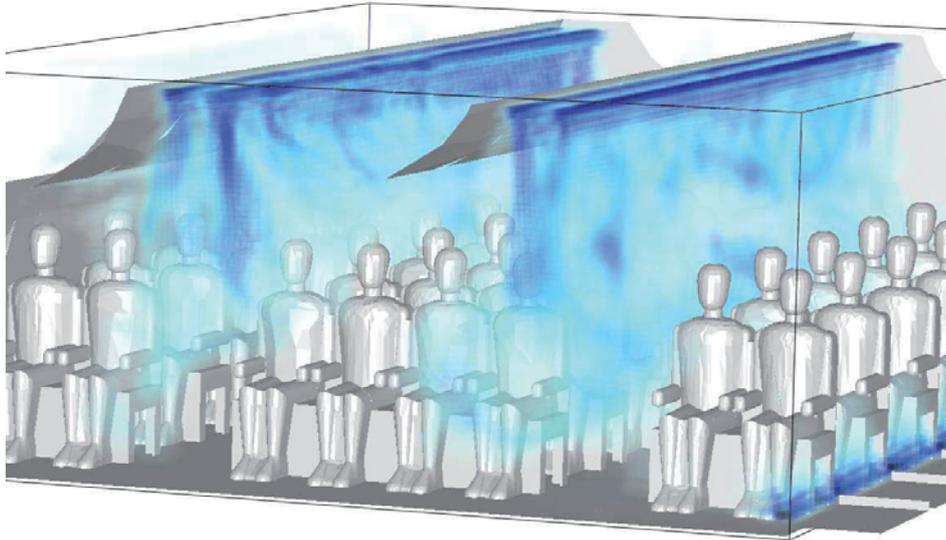


Abb. 2: Echtzeit-Simulation und –Visualisierung der Strömung in einem A380 Cabin Mockup mit *elbe* und *elbeVIS*. Simulationszeit 120 Sekunden, Rechenzeit etwa 120 Sekunden.

2.1 Grundlagen

Gitter-Boltzmann-Verfahren gehen auf das stochastische Verhalten hypothetischer Gasteilchen zurück. Kernstück dieser Betrachtungen auf mikroskopischer Ebene sind die Teilchenaufenthaltswahrscheinlichkeiten $f(t, \mathbf{x}, \boldsymbol{\xi})$, die angeben, mit welcher Wahrscheinlichkeit man ein Teilchen am Ort \mathbf{x} zum Zeitpunkt t mit Geschwindigkeit $\boldsymbol{\xi}$ antrifft. Die 1872 von Ludwig Boltzmann aufgestellte Boltzmann Gleichung beschreibt die Entwicklung dieser Verteilungsfunktionen in der Zeit:

$$\frac{Df}{Dt} = \frac{\partial f(t, \mathbf{x}, \boldsymbol{\xi})}{\partial t} + \boldsymbol{\xi} \cdot \frac{\partial f(t, \mathbf{x}, \boldsymbol{\xi})}{\partial \mathbf{x}} = \Omega. \quad (2.1.1)$$

Die rechte Seite der Gleichung beinhaltet den Kollisionsoperator, der die Wechselwirkungen der Teilchen modelliert. Zur Vereinfachung des Problems werden diskrete Geschwindigkeiten eingeführt. In dieser Arbeit wird hierzu das D3Q19-Modell verwendet, welches 19 diskrete Geschwindigkeiten e_i einführt [7] und so zur diskreten Boltzmann-Gleichung führt:

$$\frac{Df_i}{Dt} = \frac{\partial f_i(t, \mathbf{x})}{\partial t} + e_i \cdot \frac{\partial f_i(t, \mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}} = \Omega, \quad (2.1.2)$$

Eine klassische Finite-Differenzen-Diskretisierung in Raum und Zeit auf einem Gitter mit $c = \Delta x / \Delta t = 1$ (Gitterweite Δx , Zeitschritt Δt) führt zur sogenannten Gitter-Boltzmann-Gleichung,

$$f_i(t + \Delta t, \mathbf{x} + e_i \Delta t) - f_i(t, \mathbf{x}) = \Omega, \quad (2.1.3)$$

die in eine lokale Kollision zur Modellierung der Teilcheninteraktion und einen anschließenden nicht-lokalen Propagationsschritt zur Advektion unterteilt wird. Lösungen der Gitter-Boltzmann-Gleichung (Gl. (2.1.3)) erfüllen die inkompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen mit Diskretisierungsfehlern von $\mathcal{O}(\Delta x^2)$ und $\mathcal{O}(Ma^2)$ [8]. Die anwendungstechnisch relevanten makroskopischen Größen für Dichteschwankung und Impuls ergeben sich aus den ersten beiden hydrodynamischen Momenten der Teilchenaufenthaltswahrscheinlichkeiten zu

$$\rho = \sum_{i=0}^{18} f_i, \quad \text{and} \quad \rho_0 \mathbf{u} = \sum_{i=0}^{18} e_i f_i. \quad (2.1.4)$$

Interaktionen zwischen den Partikeln werden über den Kollisionsoperator Ω_i abgebildet, für den verschiedenste Modelle unterschiedlicher Komplexität existieren. Der einfachste Ansatz besteht in der Verwendung eines *single relaxation time* (SRT) Modells [9], in welchem die Teilchenaufenthaltswahrscheinlichkeiten mit einer viskositätsabhängigen Relaxationszeit zu einem lokalen Gleichgewichtszustand relaxiert werden. In komplexeren Modellen wie dem *multiple relaxation time* (MRT) Ansatz [10] werden die Teilchenaufenthaltswahrscheinlichkeiten zunächst in einen wohldefinierten Momentenraum transformiert, in dem sie mit verschiedenen Relaxationsraten relaxiert werden. Dies erhöht die numerische Stabilität und ermöglicht gleichzeitig die Verwendung höherwertiger Randbedingungen bei nahezu gleichbleibendem Rechenbedarf.

Da die untersuchten Strömungen Reynoldszahlen im Bereich mehrerer Millionen aufweisen, muss der Strömungslöser in der Lage sein, turbulente Strukturen aufzulösen und/oder zu modellieren. In elbe wird hierzu ein Grobstrukturansatz (large eddy simulation, LES) verwendet: die großskaligen Wirbel werden vom numerischen Gitter aufgelöst, während die Auswirkungen kleinskaliger Wirbel unterhalb einer Gitterweite auf das Strömungsfeld modelliert werden. Im gewählten Smagorinsky Modell fließt dies über eine zusätzliche turbulente Viskosität ν_t und eine angepasste Relaxationszeit in den Kollisionsoperator ein [11].

Randbedingungen werden in Gitter-Boltzmann-Verfahren direkt für die Teilchenaufenthaltswahrscheinlichkeiten vorgegeben. Exemplarisch wird dies im Folgenden kurz für die Umsetzung von Wandrandbedingungen dargestellt. Zur Realisierung von reibungsbehafteten Wandrandbedingungen und Geschwindigkeitsrändern wird ein Bounce-Back-Schema benutzt (Abb. 3.a), in dem die über den jeweiligen Rand austretenden Teilchenaufenthaltswahrscheinlichkeiten zurück ins Gebiet reflektiert werden:

$$f_I^{t+1}(\mathbf{x}) = f_i^t(\mathbf{x}) + 2\rho_0 w_i \frac{e_i \mathbf{u}}{c_s^2}. \quad (2.2.1)$$

Dabei bezeichnet i die inverse Richtung zu I , $\bar{\mathbf{u}}$ die vorgegebene Rand-Geschwindigkeit und der Faktor w_i modellspezifischen Wichtungskonstanten. An reibungsfreien Rändern wird analog dazu ein Bounce-Forward-Schema (Abb. 3.b) eingesetzt, das sicherstellt das kein Impuls in tangentialer Richtung ausgetauscht wird. Die fehlenden Wahrscheinlichkeiten f_I werden rekonstruiert zu

$$f_I^{t+1}(\mathbf{x} + e_i \mathbf{t} = f_i^t(\mathbf{x}) \quad (2.2.2)$$

wobei i die an der Wand gespiegelte Richtung I bezeichnet, mit $e_i \mathbf{t} = e_I \mathbf{t}$ und $e_i \mathbf{n} = e_I \mathbf{n}$ für den Wand-Normalenvektor \mathbf{n} und den Tangentialvektor \mathbf{t} .

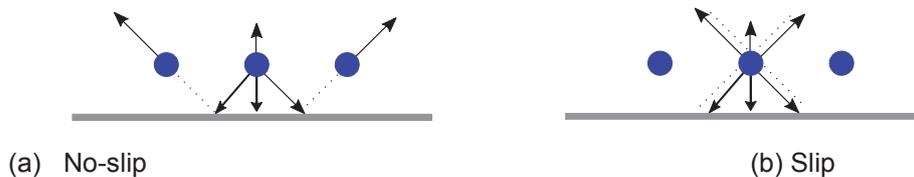


Abb. 3: Eine einfache Möglichkeit zur Umsetzung von Wandrandbedingungen in LBM-Verfahren

Analog können zahlreiche weitere Randbedingungen definiert werden. An der freien Oberfläche stellt z.B. die Anti-Bounce-Back Vorschrift [12] das Gleichgewicht von Fluid-Druck und Umgebungsdruck ρ_B sicher. Gradientenfreie Ränder werden durch Kopieren der Werte des vorletzten auf den letzten Knoten realisiert. Gravitation und weitere Volumenkräfte \mathbf{F} werden über den Term

$$\Delta f_i = 3\omega_i \rho e_i \cdot \mathbf{F}. \quad (2.2.3)$$

in jedem Zeitschritt unmittelbar auf die Verteilungsfunktionen eingebracht.

2.2 Erfassung der freien Oberfläche

In diesem Beitrag wird die LBM beispielhaft zur Simulation einer Mehrphasenströmung im Kontext der Wasserdurchfahrt eines Kraftfahrzeugs eingesetzt. Hierbei steht neben dem eigentlichen Strömungsberechnungsverfahren besonders der Algorithmus zum Verfolgen der freien Oberfläche zwischen Wasser- und Luftphase im Vordergrund, da sich komplexe Strömungs- und Oberflächenstrukturen ergeben können. Wasserdurchfahrten werden typischerweise durch die schwere Wasserphase dominiert, so dass der Einfluss der Luft auf die numerische Simulation durch geeignete kinematische und dynamische Randbedingungen an der freien Wasseroberfläche modelliert werden kann und die Simulation der Wasserphase ausreichend ist.

2.2.1 Volume-of-Fluid Ansatz

Zur Erfassung der Lage der freien Oberfläche existieren zahlreiche Methoden, beispielsweise Volume-of-Fluid (VOF), Level-Set (LS) oder Moment-of-Fluid (MOF) Methoden. In elbe wurde aufgrund der Konservativität und Robustheit ein VOF-Ansatz gewählt, der die Oberfläche auf Basis der relativen Phasenvolumina in den Interfacezellen rekonstruiert [13]. Im Falle des vorliegenden Luft-Wasser-Interfaces wird der Füllstand einer Zelle durch den Wasseranteil charakterisiert:

$$\varepsilon = \frac{V_{fluid}}{V_{cell}} \quad (3.1.1)$$

Ein Füllstand von 0.0 markiert eine leere Zelle in der inaktiven Luft-Domäne, ein Füllstand von 1.0 entspricht einer komplett gefüllten Zelle unter Wasser. Luft- und Wasserzellen sind durch eine geschlossene Interface-Schicht voneinander abgegrenzt (Abb. 4, links), die einen Füllstand zwischen 0.0 und 1.0 aufweist. Um das transiente Verhalten der freien Oberfläche abzubilden wird eine zusätzliche Advektionsgleichung gelöst. Diskretisierungen in Raum und Zeit führen letztendlich auf die Bestimmungsgleichung für die Masse in einer VOF-Zelle,

$$m^{t+1} = m^t - \sum_i \Phi_i \cdot \Delta t. \quad (3.1.2)$$

Der Flussterm Φ umfasst hierbei den generischen Fluss durch die i-te Oberfläche der Zelle. Die bisherige Herleitung enthält noch keine LBM-spezifischen Erweiterungen und ist in dieser Form die Grundlage für zahlreiche VOF-Methoden.

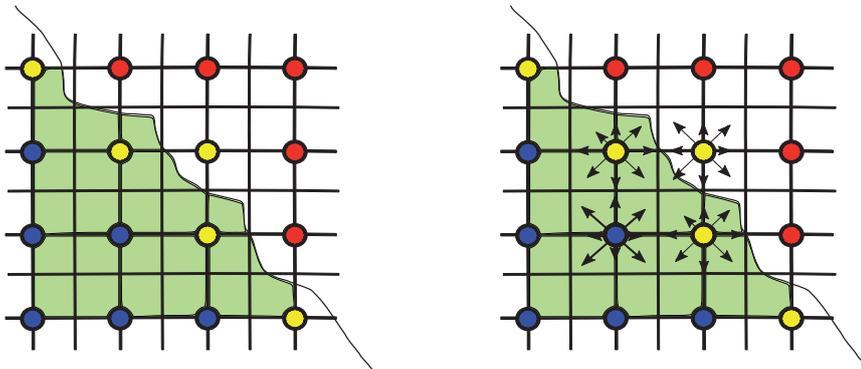


Abb. 4: Unterteilung des Rechengebietes in Fluid-, Interface- und Gasknoten (links); Flussberechnung zwischen Interfacezellen anhand der ausgetauschten Teilchenaufenthaltswahrscheinlichkeiten

2.2.2 LBM-Flussterm-Bestimmung

Zur Bestimmung des Flussterms wird in elbe eine an LBM-Methoden adaptierte Variante gewählt, in der die Flüsse zwischen zwei benachbarten Interfacezellen Φ_i durch die zwischen den Zellen ausgetauschten Teilchenaufenthaltswahrscheinlichkeiten approximiert werden:

$$\Phi_i = [f_I(\mathbf{x}, t) - f_i(\mathbf{x}, t)] \cdot A_i \quad (3.1.3)$$

mit den beiden antiparallelen Teilchenaufenthaltswahrscheinlichkeiten $f_{i,I}$, die das betrachtete Kontrollvolumen verlassen bzw. in das betrachtete Kontrollvolumen eintreten. A_i bezeichnet hierbei die benetzte Fläche zwischen den Kontrollvolumina und wird anhand einer einfachen Oberflächenrekonstruktion als arithmetisches Mittel der Füllstände der beiden am Austauschprozess beteiligten Zellen abgeschätzt. Sobald die Flussterme bestimmt worden sind, wird nun der neue Zellfüllstand mittels

$$\varepsilon^{n+1} = \frac{m^{n+1}}{\rho^{n+1}} = \frac{\rho^n \varepsilon^n + \sum_i \Delta m_i}{\rho^{n+1}} \quad (3.1.4)$$

und mit Fluidichte $\rho^{n|n+1}$ zum Zeitpunkt n bzw. $n+1$ (Gl. (2.1.4)) mit dem Füllstand ε^n des vorherigen Zeitschrittes berechnet [12-14].

2.2.3 Advektionsalgorithmus

Nach der Aktualisierung der Füllstände ε ist die Konsistenz von Knotenstatus und neuem Füllstand sicherzustellen. Während der Advektion können aufgrund des expliziten Zeitschrittverfahrens Füllstände über 1.0 oder unter 0.0 entstehen, die konsequenterweise den Knotenstatus wechseln müssen: leerlaufende Zellen wechseln ihren Status von Interface zu Gas und konvertieren ihre benachbarten Fluidknoten in den Interfacestatus. Analog werden vollgelaufene Interfacezellen zu Fluidzellen, die wiederum ihre bisherigen Gasnachbarn aktivieren und in den Interfacestatus versetzen.

Abschließend müssen neu aktivierte Knoten mit gültigen Anfangsbedingungen versehen werden, da sie keine gültigen Teilchenaufenthaltswahrscheinlichkeiten aufweisen. Hierzu werden die makroskopischen Größen für Dichte und Geschwindigkeit (Gl. (2.1.4)) der Nachbarknoten extrapoliert. Basierend auf diesen Informationen werden im Anschluss die Teilchenaufenthaltswahrscheinlichkeiten mit Maxwell'schen Gleichgewichtsfunktionen initialisiert, die auch in der Anfangsinitialisierung des Rechengitters bei $t=0$ verwendet werden. Zur weiteren Verbesserung der Anfangsbedingungen wird derzeit eine lokale, LB-spezifische, Poisson-artige Iteration entwickelt und in elbe implementiert, um die Nichtgleichgewichtsanteile weiter zu verbessern [15].

2.2.4 Validierung

Das so aufgebaute und in elbe implementierte Verfahren wurde bereits auf zahlreiche Testfälle angewendet und erfolgreich validiert, bspw. für Szenarien mit freien Oberflächen (Dammbruch, Wellenschlag und Schlaglasten, Flüssigkeitsschwall in teilgefüllten Tanks, Fluid-Struktur-Interaktionen, siehe Abb. 5) und für Einphasenströmungen ohne freie Oberflächen (numerischer Windkanal, siehe Abb. 6).

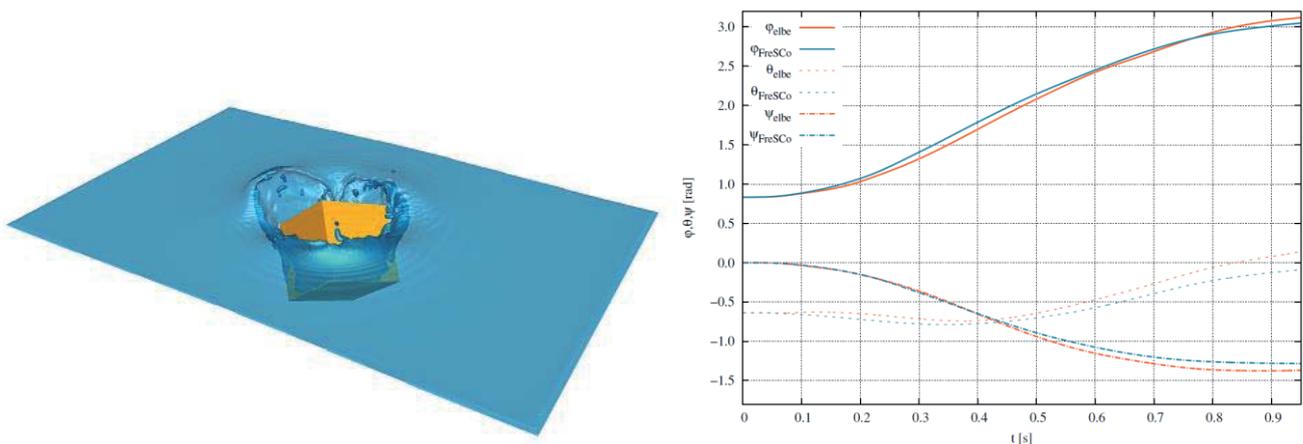


Abb. 5: Simulation des Eintauchens eines Würfels. Snapshot der numerischen Simulation und Vergleich der Würfel-Verdrehwinkel mit numerischen Referenzdaten.

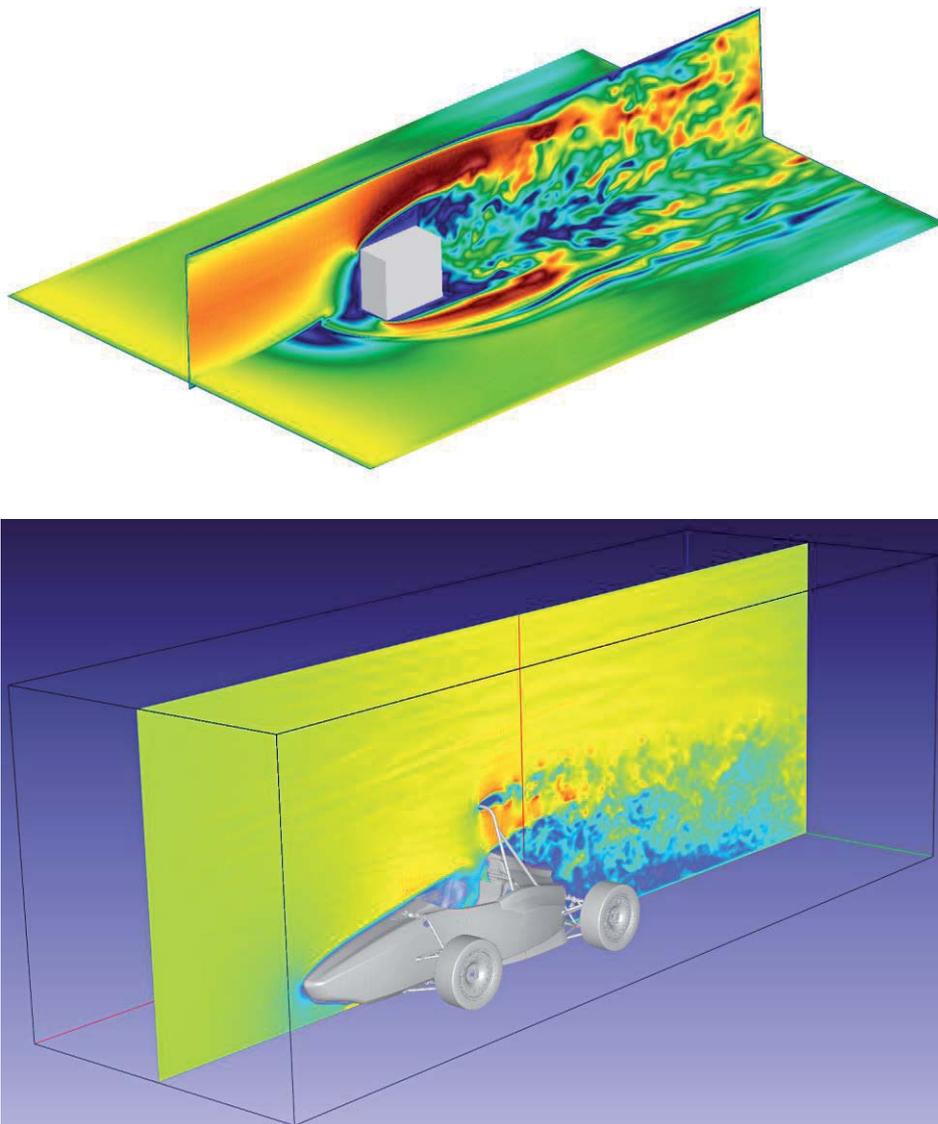


Abb. 6: Numerischer Windkanal in elbe. Validierung anhand klassischer Testfälle aus der Literatur (surface mounted cube, links). Anwendung am Beispiel des Formula Student Racers EGN2014 der TUHH (rechts).

2.3 Gitter-Aktualisierung

Transiente Simulationen mit bewegten Objekten erfordern entweder eine komplette Neuvernetzung der Geometrie, wie in klassischen FV-Lösern, oder ein Remapping der verschobenen Geometrie auf das Rechengitter, wie in der LBM und elbe. Hierbei werden wie in Abbildung 7 schematisch dargestellt die Gitterknoten, die sich innerhalb der Geometrie befinden, deaktiviert und aus der Simulation ausgeschlossen. Bewegt sich das Objekt nun, treten Gitterknoten aus der Geometrie aus (hellere Rottöne) und werden mit den für freie Oberflächen beschriebenen Techniken neu initialisiert. Für die vorliegende Arbeit wurde zunächst die im IGES-Format vorliegende Fahrzeuggeometrie voxelisiert. Die Voxelrepräsentation diente dann zur Gitteraktualisierung während der numerischen Simulation.

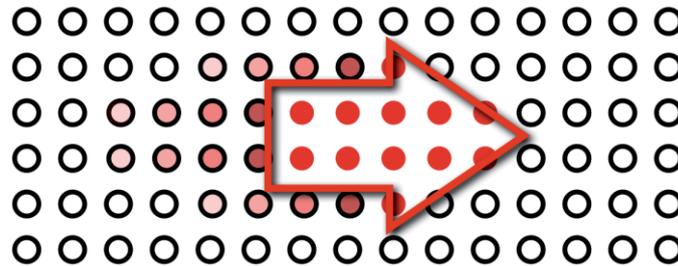


Abb. 7: Schematische Darstellung des LBM-Gitteraktualisierungsprozesses.

Derzeit werden innovative, neue Algorithmen in elbe entwickelt, die auch eine dynamische Voxelisierung der Fahrzeuggeometrie auf der GPU und zur Laufzeit der Simulation ermöglichen und somit die Ordnung der Geometrierepräsentation weiter erhöhen.

2.4 Gesamtalgorithmus

Die vorgestellten Teilschritte zur Berechnung des Strömungsfeldes, zur Berechnung der Bewegung der freien Oberfläche und zur Aktualisierung des Gitters werden sequentiell aneinandergereiht und kombiniert. Die Simulation läuft somit wie folgt ab:

1. Initialisierung
 - a. Voxelisierung der Fahrzeuggeometrie
 - b. Erzeugung des initialen Gitters basierend auf der Anfangsposition des Fahrzeugs
 - c. Initialisierung der Wasser- und Luftphase und der Randbedingungen
 - d. Transfer der Daten auf die Grafikkarten
2. Zeitschleife
 - a. LBM
 - i. Kollision
 - ii. Propagation
 - iii. Aktualisierung der Randbedingungen
 - b. VOF
 - i. Berechnung der neuen Zellfüllstände
 - ii. Aktualisierung der Knotenzustände
 - iii. Initialisierung neu aktivierter Fluidknoten
 - iv. Kondensation gefangener Interfacezellen
 - c. Aktualisierung des Rechengitters
 - i. Identifizierung der Knoten innerhalb des Fahrzeugs und der ausgetauchten Knoten
 - ii. Aktualisierung der Randbedingungen an der Fahrzeug-Oberfläche
 - iii. Initialisierung neu aktivierter Fluidknoten
 - d. Ggf. Ausgabe der Ergebnisdateien

Der resultierende Gesamtalgorithmus und die detaillierten Informationen über die Implementierung auf GPU-Hardware mittels des NVIDIA CUDA Toolkits sind ausführlich in [5,6] beschrieben.

3 Simulation einer Wasserdurchfahrt

Der vorgestellte Algorithmus wird nun auf die numerische Simulation der Wasserdurchfahrt eines PKW angewendet. Bedingt durch die stetig steigende Nachfrage nach SUVs und geländegängigen Fahrzeugen wächst die Bedeutung der Wasserdurchfahrts-Szenarien zur Beurteilung der Designqualität eines Fahrzeugentwurfs. Numerisch betrachtet ist der Testfall besonders anspruchsvoll, da er sowohl eine Mehrphasenströmung und eine komplexe dreidimensionale, als auch eine bewegte Geometrie beinhaltet.

Aus lizenztechnischen Gründen sind für diese Veröffentlichung vergleichbare Berechnungen auf Basis der DrivAer Geometrie [16] der TU München durchgeführt worden, die in Bezug auf Abmessungen, Form und Detailgrad mit einem realen Serienfahrzeug vergleichbar ist. Die DrivAer Geometrien sind frei verfügbar und wurden explizit als Validierungsmodelle für automobiler Applikationen erstellt. Für die im Folgenden präsentierten Simulationen wurde die DrivAer Estate Back Geometry inklusive detailliertem Unterboden, Außenspiegeln und Rädern (E_D_wM_wW), wie in Abbildung 8 dargestellt, ausgewählt.



Abb. 8: DrivAer Fahrzeuggeometrie [16]

3.1 Details der numerischen Simulation

Die Simulation wird für einen numerischen Wasserkanal einer Länge von 20 Metern, einer Breite von 5 Metern und einer Höhe von 3.75 Metern durchgeführt. Der Glattwasserspiegel beträgt 0.4 Meter. Die Maschenweite des äquidistanten kartesischen Gitters beträgt $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.025$, was einer Gesamtgittergröße von 24 Millionen Gitterknoten entspricht. Die Simulationszeit von 3 Sekunden wird mit einem Zeitschritt von $\Delta t = 0.0000325$ Sekunden diskretisiert. Die Fahrzeuggeschwindigkeit beträgt 4 m/s, was in etwa einer Froudezahl von 2 entspricht.

Durchgeführt wurde die Berechnung auf einer NVIDIA Quadro 6000 Grafikkarte. Diese leistungsstarke Karte auf Basis der Fermi-Architektur bietet 6 GB GDDR5 Grafikkartenspeicher, der mit einer Bandbreite von 144 GB/s benutzt werden kann. Die Quadro 6000 bietet darüber hinaus 448 CUDA Rechenkerne, die mit einer Taktfrequenz von 574 MHz arbeiten und insgesamt eine theoretische Peak Performance von 1030.4 GFLOPS (für Berechnungen mit einfacher Genauigkeit) oder 515.2 GFLOPS (für Berechnungen mit doppelter Genauigkeit) ermöglichen. Die Berechnungszeit für 3 Sekunden Strömungsverhalten auf einem Gitter mit 24 Millionen Gitterzellen betrug lediglich 6 Stunden. Dies entspricht ungefähr 100 Millionen Knotenaktualisierungen je Sekunde (node updates per second, NUPS).

3.2 Ergebnisse

In Abbildung 9 ist die Lage der freien Oberfläche für ausgewählte Zeitpunkte dargestellt. Zum Zeitpunkt $t=0s$ ist die ungestörte Wasseroberfläche zu erkennen. Mit Beginn der Fahrzeugbewegung wird die freie Wasseroberfläche entsprechend ausgelenkt. Vor dem Fahrzeug bildet sich ein Wellenberg, hinter dem Fahrzeug erkennt man durch den Sog eine Absenkung der Wasseroberfläche. Aufgrund der fehlenden Berücksichtigung von Oberflächenspannungseffekten in dem verwendeten Modell bildet sich vor dem Wagen ein geschlossener Flüssigkeitsfilm anstelle der zu erwartenden Tröpfchenbildung. Dennoch entsprechen die Berechnungsergebnisse der Lage der freien Oberfläche in weiten Teilen den Referenz-Ergebnissen.

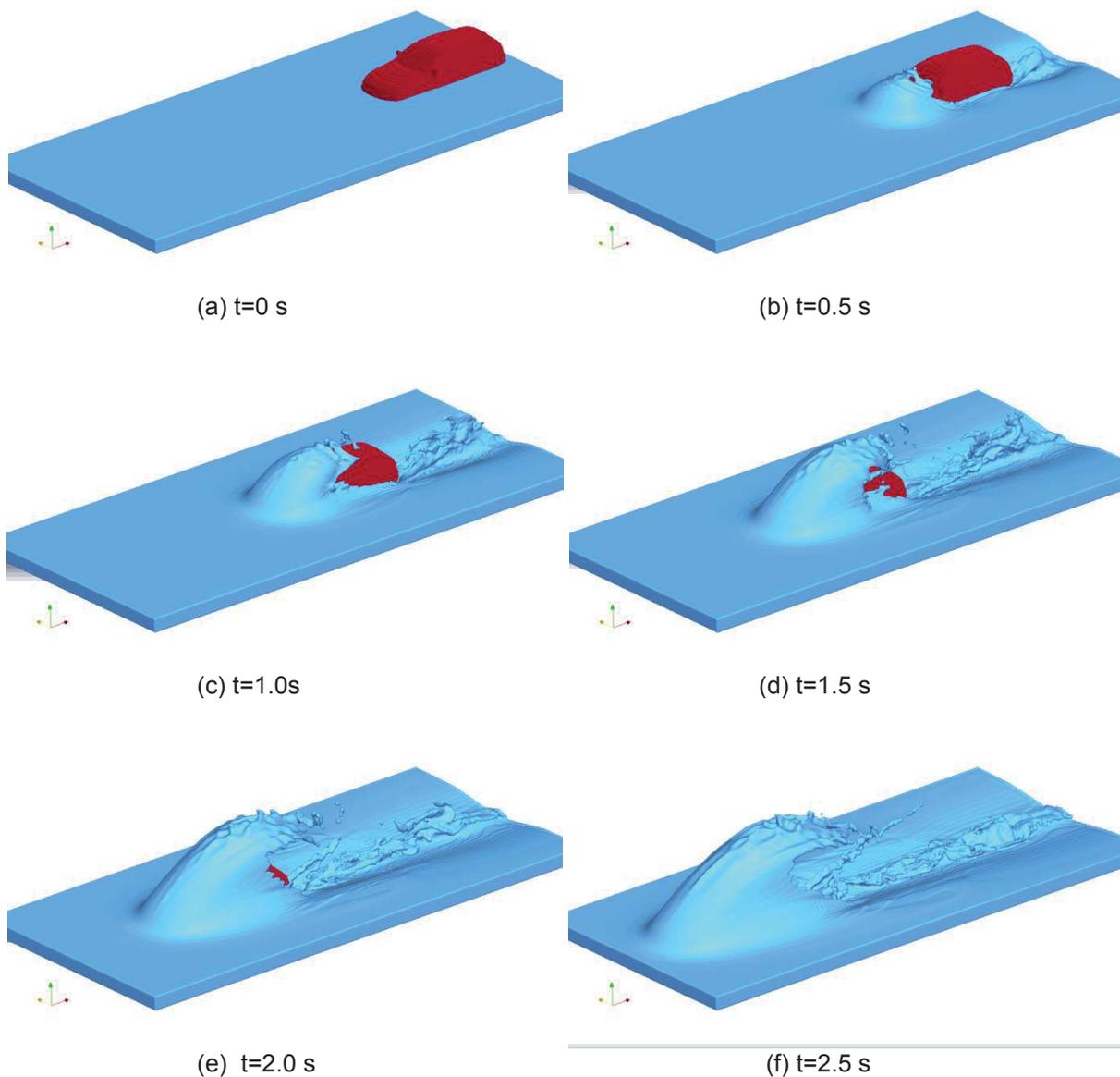


Abb. 9: Zeitliche Entwicklung der Oberflächenauslenkung von $t=0s$ (a) bis $t=2.5s$ (f)

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde die numerische Simulation der Wasserdurchfahrt eines Fahrzeugs vorgestellt, die als Teil einer Machbarkeitsstudie für einen Automobilhersteller untersucht wurde. Abgesehen von der Güte der numerischen Ergebnisse standen dabei die Rechenzeiten der numerischen Simulationen auf Grafik-Hardware im Vordergrund und insbesondere die Fragestellung ob es mittlerweile möglich ist, solche komplexen Ingenieur Anwendungen komplexer Strömungen mit freien Oberflächen und bewegter Geometrien in vertretbarer Rechenzeit zu adressieren. Letzteres ist besonders für konventionelle CFD-Löser und FVM-Verfahren eine Herausforderung, da die Netzaktualisierung bzw. Bewegung zu einer hohen Anzahl Gitterzellen, kleinen Zeitschritten und hohen Rechenzeiten selbst auf CPU-Clustern führt. Im Gegensatz dazu kann elbe hier seine Vorteile ausspielen: der massiv-parallele Berechnungsansatz führt gemeinsam mit der Grafikhardware zu Rechenzeiten und Hardwarekosten, die nur ein Bruchteil des Ressourceneinsatzes konventioneller Löser betragen. Die Rechenzeiten des hier vorgestellten Falls (ca. 6 Stunden für ein Gitter mittlerer Auflösung) bestätigen das Potential des gewählten Verfahrens. Numerische Simulationen mit dem elbe-Verfahren ermöglichen somit, komplexe numerische Simulationen direkt in den Produkt-Entwicklungsprozess zu integrieren.

In zukünftigen Arbeiten wird ein adaptiver Gitterverfeinerungsansatz entwickelt und implementiert, in dem die relevanten Gitter-Regionen identifiziert und mit einer höheren Auflösung versehen werden, während weniger relevante Teilgebiete des Rechengebiets adaptiv gröber aufgelöst werden. Ergänzend wird darüber hinaus momentan ein GPU-basierter Gittergenerator sowie eine Visualisierungs-Umgebung entwickelt, die sämtliche Aufgaben des Pre- und Postprocessings auf die GPU auslagern und somit den Datenaustausch über das leistungsschwacheschwache CPU-GPU Interface zu minimieren oder komplett zu vermeiden.

5 Literatur

- [1] Kirk, D. B., Hwu, W.-m. W.: "Programming Massively Parallel Processors: A Hands-on Approach", Morgan Kaufmann, 2010.
- [2] GPGPU. General-Purpose Computation on Graphics Hardware. [Online] 2013. <http://gpgpu.org/>.
- [3] Grahs, T., Janßen, C.: "Parallel Computing II - High Performance Computing on GPUs (Lecture Winter Term 2012/13)", Institute Scientific Computing, TU Braunschweig http://www.wire.tu-bs.de/lehre/ws12/e_gpu.html.
- [4] Janßen, C.: "elbe - efficient lattice boltzmann environment", Hamburg University of Technology, Institute for Fluid Dynamics and Ship Theory, 2014. <http://www.tuhh.de/fds/research/current-projects/elbe.html>.
- [5] Janßen, C.: "Kinetic approaches for the simulation of non-linear free surface flow problems in civil and environmental engineering", PhD Thesis, TU Braunschweig, 2010.
- [6] Janßen, C., Krafczyk, M.: "Free surface flow simulation on GPGPUs using the LBM", Computers and Mathematics with Applications, 2011, Bd. 61, 12.
- [7] Quian, Y. H., d'Humieres, D., Lallemand, P.: "Lattice BGK models for Navier-Stokes equations", Europhysics Letter. 1992, Bd. 17, S. 479-484.
- [8] Junk, M., Yang, Z.: "Pressure boundary conditions for the lattice boltzmann method", Computers and Mathematics with Applications, 2009, Bd. 58, 5, S. 922-929.
- [9] Bhatnagar, P. L., Gross, E.P., Krook, M.: "A model for collision processes in gases. i. small amplitude processes in charged and neutral one-component systems", Phys. Rev. 1954, Bd. 94, 3, S. 511-525.
- [10] d'Humiers, D., Ginzburg, I., Krafczyk, M., Lallemand, P., Luo, L.-S.: "Multiple Relaxation-Time Lattice Boltzmann models in three-dimensions", Royal Society of London Philosophical Transactions Series. A 360, 2002, S. 437-451.
- [11] Krafczyk, M., Tölke, J., Luo, L.-S.: "Large-eddy simulation with a multiple-relaxation-time LBE model", Int. J. Mod. Phys. 2003, Bd. B 17, S. 33-39.
- [12] Körner, C., Thies, M., Hofmann, T., Thürey, N., Rüde, U.: "Lattice Boltzmann model for free surface flow for modeling foaming", J. Stat. Physics. 2005, Bd. 121, 1-2, S. 179-196.
- [13] Hirt, C. W., Nichols, B. D.: "Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries", Journal of Computational Physics, 1981, Bd. 39, 1, S. 201-255.
- [14] Thürey, N., Rüde, U.: "Stable free surface flows with the lattice Boltzmann method on adaptively coarsend grids", Computing and Visualization in Science. 2008.
- [15] Mei, R., Luo, L.-S., Lallemand, P., d'Huminiere, D.: "Consistent initial conditions for lattice boltzmann simulations", Computers & Fluids. 2006, Bd. 35, 8-9, S. 855-862.
- [16] Heft, A. I., Indinger, T., Adams, N. A.: "Introduction of a New Realistic Generic Car Model for Aerodynamic", Michigan, USA, : Paper 2012-01-1068, 2012.

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 (4/2014)

Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Mitgliedschaft | <input type="checkbox"/> NAFEMS e-learning |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Magazin „Benchmark“ | <input type="checkbox"/> Professional Simulation Engineer PSE |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Seminare | <input type="checkbox"/> Internationale Arbeitsgruppen |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Trainingskurse | <input type="checkbox"/> NAFEMS World Congress 2015 |

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