



Online-Magazin

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

Fachartikel in dieser Ausgabe

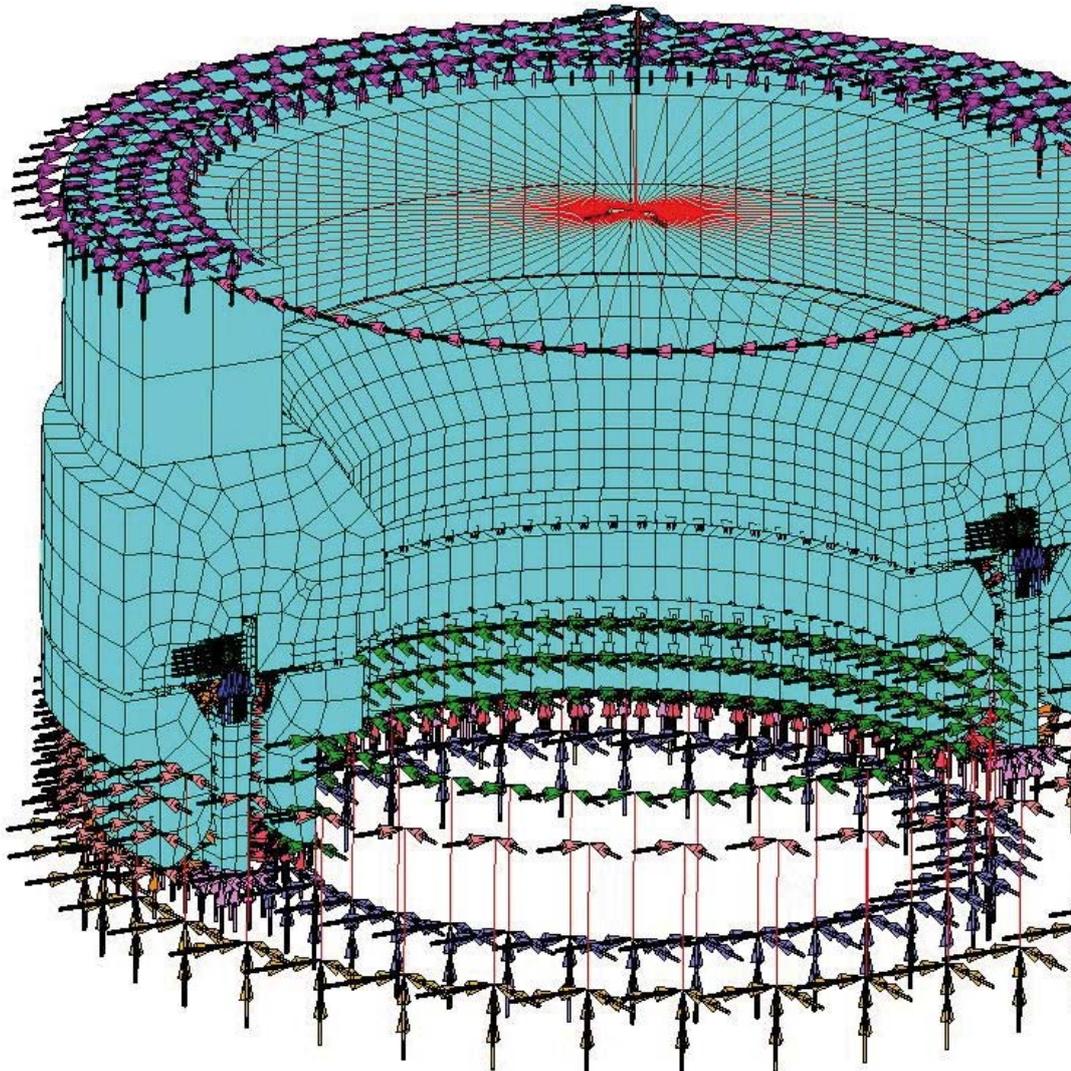
Strukturmechanik

- Simulation von Stick-Slip-Effekten an einer hydraulischen Drehkupplung für Radaranlagen
- Simulative und experimentelle Untersuchung der Steifigkeit von Epoxidklebstoff bei Schichtverbundbauteilen
- FEM-Berechnung der Spannungsintensitätsfaktoren von im Druckeigenstressfeld stehbleibender Risskonturen im Vergleich zu fraktographischen Befunden

Strömungsmechanik

- Neue Methode für die Simulation von Wasserströmungen, Dichtungsdesign und Tankschwappen

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




11-14 JUNE 2017
STOCKHOLM | SWEDEN
A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION



nafems.org/congress

NAFEMS World Congress
incorporating the
3rd International SPDM Conference

The only one independent, international conference dedicated exclusively to everyone involved in engineering analysis, simulation, modelling, and systems engineering.

- +470 abstracts submitted
- comprehensive hardware and software exhibition
- workshops
- discussion rounds
- trainings
- networking, ...

Don't miss it! Be part of it!

Sponsoren dieser Ausgabe:



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

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

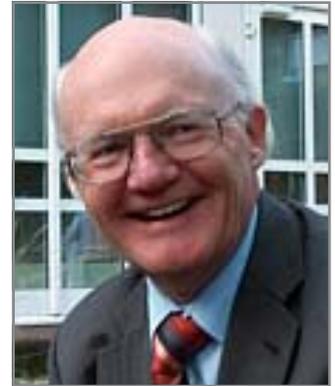
die Simulation hat sich in weiten Bereichen unseres Lebens als nützliches Hilfsmittel erwiesen. Als technische Simulationen sind Anwendungen in der Struktur- und der Strömungsmechanik sowie bei Fabrikationsprozessen und komplexen Schaltungen zu nennen. Auch in der Meteorologie sowie in der Chemie und Biologie kommt man heute ohne Simulationen nicht mehr aus. Um ein neues Flugzeug zu beherrschen, werden Piloten primär am Simulator geschult. Besonders eindrucksvoll sind die Einsichten, die man durch Simulationen in der Medizin und beim Durchspielen von Unternehmensentscheidungen gewinnt. In all diesen Bereichen kann man ohne übermäßigen Aufwand an Zeit und Ressourcen vorhersagen, wie sich bestimmte Bedingungen oder Änderungen von Parametern auswirken werden. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Simulation ein Modell untersucht, das nur ganz bestimmte Aspekte mit der Realität gemeinsam hat und nicht alle Randbedingungen erfasst. Modelle werden so einfach wie möglich gestaltet; deshalb ist es wichtig zu prüfen, wo seine Grenzen sind und ab wann wesentliche Effekte der Realität nicht mehr abgebildet werden. Besondere Vorsicht ist geboten, wenn die untersuchten Vorgänge chaotisch verlaufen, wenn also kleine Veränderungen der Eingangsgrößen große Auswirkungen auf das Ergebnis haben. Beispiel hierfür ist der sogenannte Schmetterlingseffekt, wonach der Flügelschlag eines Schmetterlings in Kalifornien einen Tornado in der Karibik auslösen kann.

Die vier Fachbeiträge in dem vorliegenden Heft unseres online Magazins behandeln ausnahmslos nicht-chaotische Vorgänge. Mit den behandelten Themen soll zum besseren Verständnis und damit zur möglichen Nutzung bestimmter Phänomene beigetragen werden. Aus dem Bereich Strukturmechanik untersucht der erste Artikel den Stick-Slip-Effekt hydraulischer Drehkupplungen, um den damit verbundenen Verschleiß zu verringern. Der zweite Beitrag behandelt schichtweise verklebte Stahlbleche und ermittelt den E-Modul der Klebschicht. In der dritten Arbeit wird die Autofrettage eines Common-Rails simuliert; Rissstoppkonturen werden in das Modell implementiert, und an der Rissfront werden Spannungsintensitätsfaktoren ermittelt, die Aussagen über das weitere Verhalten erlauben. Unter der Überschrift Strömungsmechanik wird schließlich eine Finite-Punkte-Methode vorgestellt, die freie Oberflächen, Oberflächenspannungen, Kontaktwinkel sowie bewegte und flexible Strukturen umfasst.

Ich hoffe und wünsche mir, dass aus diesem Strauß von Beiträgen auch diesmal wieder eine für Sie interessante Blume 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/products-services/simulia



www.dynamore.de



www.esi-group.com



www.intes.de



www.mscsoftware.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.

Das oberste Gremium bei NAFEMS ist das **Council of Management**. Deren Mitglieder sind:

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

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 (DACH)** sind:

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

Zur Unterstützung des NAFEMS DACH Steering Committees im Bereich Computational Fluid Dynamics (CFD) wurde das **CFD Advisory Board (CAB)** gegründet. Die Mitglieder sind:

- R. Banjac (Siemens PLM Software)
- W. Dirschmid (CAE Consulting)

- A. Frenk (Dassault Systèmes)
- A. Gill (Ansys Germany)
- T. Grahs (move-csc)
- U. Heck (Dr. Heck Consulting & Engineering)
- B. Hupertz (Ford)
- U. Janoske (Universität Wuppertal)
- G. Kohnen (DHBW Mosbach)
- R. Stauch (MahleBehr)
- M. Stephan (DHBW Mosbach)
- A. Stück (DLR)
- T. Weber (CD-adapco)
- K. Wolf (Fraunhofer SCAI)

Die technischen Bereiche bei NAFEMS werden durch spezialisierte **internationale Arbeitsgruppen (Working Groups)** koordiniert. Folgende Gruppen sind aktuell bei NAFEMS aktiv:

- Analysis Management
- Composites
- Computational Fluid Dynamics
- Computational Structural Mechanics
- Dynamics and Testing
- Education and Training
- Geotechnics
- High Performance Computing
- Manufacturing Process Simulation
- Multi Body Dynamics
- Multiphysics
- Optimisation
- Simulation Data Management
- Stochastics
- Systems Modeling & Simulation

Obleich NAFEMS eine unabhängigen Organisation ist, arbeitet, ist eine Kooperation mit Hard- und Softwarehäusern essentiell. Um dies zu gewährleisten, wurde eine sogenannte **NAFEMS Vendor Group** gebildet, der derzeit etwa 30 Unternehmen angehören.

Werden auch Sie – Ihre Firma – NAFEMS-Mitglied!

NAFEMS hat weltweit über **1.300 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 1.300 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
Griesstr. 20
D-85567 Grafing b. München
Germany
Tel. +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 01.01.2016

Verteilung / Bezug

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

Copyright © 2016, 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
Sponsoren3

NAFEMS

Über NAFEMS.....4
Inhalt / Impressum5

NAFEMS Events

Übersicht: Konferenzen/Seminare, Schulungen, e-learnig Kurse6
Seminar/Fachkonferenz
Call for Papers:
Virtual and Real: Wie Simulation helfen kann, additive Fertigungs-
maschinen leistungsfähiger und zuverlässiger zu machen.....7
Trainingskurse
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation.....8
Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung9
Verification and Validation in Engineering Simulation 10 - 11
Simulation und Analyse von Composites 12
Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis..... 13

NAFEMS World Congress 2017 & 3rd Int. SPDM Conference

– Save the date 14 - 20

Literatur

Internationale NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“21
Invitation 2 Tender22
e-library / Bestellvorgang23

Professional Simulation Engineer PSE & Membership24 - 25

Neuigkeiten26 - 37
Veranstaltungskalender.....38 - 39

Fachbeiträge Strukturmechanik

**Simulation von Stick-Slip-Effekten an einer hydraulischen
Drehkupplung für Radaranlagen**
M. Egloff, Y. Deger (Hochschule für Technik Rapperswil)40 - 46
**Simulative und experimentelle Untersuchung der Steifigkeit
von Epoxidklebstoff bei Schichtverbundbauteilen**
D. Krüger, M. Mottahedi, A. Lechler, A. Verl
(Universität Stuttgart)47 - 51
**FEM-Berechnung der Spannungsintensitätsfaktoren von
im Druckeigenspannungsfeld stehenbleibender Risskonturen
im Vergleich zu fraktographischen Befunden**
S. Rogowski, H. Hartung (Volkswagen);
R. Thumser (MAN Diesel & Turbo)52 - 61

Fachbeiträge Strömungsmechanik

**Eine neue Methode für die Simulation von Wasserströmungen,
Dichtungsdesign und Tankschwappen**
M. Schäfer (ESI Software Germany);
A. Trameçon (ESI Group).....62 - 69

Werbeanzeigen

DYNAmore33
esocet29
ISKO engineers27
x-technik Verlag31

Rückmeldeformulare70 - 71

Konferenzen und Seminare

Konferenz-/Seminartitel	Termin	Ort
Virtual and Real: Wie Simulation helfen kann, additive Fertigungsgangmaschinen leistungsfähiger und zuverlässiger zu machen www.nafems.org/am17 (ab Januar)	12. - 13. März	Wiesbaden
Simulation Driven Engineering www.nafems.org/sde17 (ab 2017)	Herbst 2017	Wiesbaden
Computational Fluid Dynamics www.nafems.org/cfd17 (ab 2017)	Herbst 2017	Wiesbaden

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

Schulungen

Schulungstitel	Termin	Ort	Teilnahmegebühr Regulär / Mitglied ¹⁾	
Inhaltsbeschreibung auf Seiten 8 - 13				
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation www.nafems.org/events	Q1/2 - tba	tba	1.490	1.100
CFD Analysis: Theory and Applications www.nafems.org/events	Q1/2 - tba	tba	990	700
Verification and Validation in Engineering Simulation www.nafems.org/events	Q1/2 - tba	tba	1.950	1.560
Simulation und Analyse von Composites www.nafems.org/events	Q1/2 - tba	tba	1.490	1.100
Non-Linear Finite Element Analysis www.nafems.org/events	Q1/2 - tba	tba	1.490	1.100

¹⁾ in Euro zzgl. ges. MwSt. je Teilnehmer

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

e-Learning Kurse

E-Learning ermöglicht schnelle, höchst effektive und kostengünstige Trainings. Folgende Themen werden regelmäßig angeboten:

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

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

NAFEMS Seminar - Ankündigung und Call for Papers

Virtual and Real: Wie Simulation helfen kann, additive Fertigungsmaschinen leistungsfähiger und zuverlässiger zu machen

13. - 14. März 2017, Wiesbaden

Additive Manufacturing (AM), auch bekannt als 3D-Druck, ist ein Überbegriff in der Fertigungstechnologie, unter dem unterschiedliche schichtweise Verfahren zusammengefasst werden, bei denen Material (Metall, Kunststoff oder eine Kombination) miteinander verschmolzen oder gebunden wird, um das gewünschte Teil zu erzeugen. Die Additive Fertigung hat sich seit den späten 1980er Jahren langsam entwickelt, bis sie sich durch das Auslaufen von mehreren wichtigen Patenten in jüngster Vergangenheit deutlich schneller verbreitet hat und ihren Mehrwert in einer Vielzahl industrieller Anwendungen unter Beweis stellen konnte. Bemerkenswert ist dabei insbesondere, dass der Anwendungsbereich der AM nun über Rapid Prototyping hinaus in die industrielle Fertigung expandiert, insbesondere dort, wo kleine Stückzahlen (bis hin zur individuellen Einzelfertigung) oder extremer Leichtbau gefragt sind.

Aktuell vergeht kaum ein Tag, ohne das ein Artikel in der einschlägigen Fachliteratur erscheint, in dem über eine neuartige Nutzung der Additiven Fertigung berichtet wird... ob es sich dabei um eine gedruckte Armprothese handelt, um die Herstellung einer Brücke vor Ort, oder den Druck eines ganzen Autos. Allerdings bestehen noch erhebliche Herausforderungen hinsichtlich der Geschwindigkeit, Zuverlässigkeit und Vorhersagbarkeit von AM-Prozessen, die eine breitere Akzeptanz bzw. eine Zertifizierung und damit eine noch häufigere Anwendung in der Industrie behindern.

Ziel des Seminars

Die zentrale Frage, für die wir im Dialog zwischen CAE-Experten, Maschinenherstellern sowie Forschern

und Wissenschaftlern im Rahmen dieses NAFEMS Seminars erörtern wollen, lautet daher: „Wie kann Simulation helfen, additive Fertigungsmaschinen leistungsfähiger und zuverlässiger zu machen?“

Wie bei fast allen Simulationsaufgaben spielt auch im AM-Prozess das zugrunde liegende Material und seine Beschreibung bzw. Modellierung eine zentrale Rolle. Im AM-Prozess ist das Thema Materialcharakterisierung besonders herausfordernd: So wird z.B. bei Metalllegierungen ein Laser mit hoher Intensität entlang eines CAD-softwaregeführten Wegs auf ein Pulverbett aufgebracht, wobei das Metall schichtweise aufgeschmolzen wird, um das Teil aufzubauen. Das Metall schmilzt lokal, verfestigt sich bei fortschreitender Wärmequelle und verbindet sich mit der vorherigen Schicht. Die Phasenumwandlungen, die Abkühlgeschwindigkeiten und andere maschinenspezifische Parameter wie die Druckgeschwindigkeit sind entscheidend für die sich entwickelnden Mikrostrukturen und damit die sich ergebenden Materialeigenschaften des fertigen Bauteils.

Im Ergebnis können diese Teile dann zwar leichter und effizienter sein als solche, die in herkömmlichen Verfahren hergestellt werden, aber die Schwankungen in den mechanischen Eigenschaften können ebenso signifikant sein. Hier bieten moderne Simulationsmethoden eine Möglichkeit, die vielschichtige und multiphysikalische Natur des Herstellungsverfahrens zu erfassen, resultierende Eigenspannungen, thermisches Verzugsverhalten und andere Eigenschaften zu beschreiben, sowie den Fertigungsprozess insgesamt zu optimieren.

Beiträge

Beiträge werden erbeten zur Prozesssimulation und -optimierung für die unterschiedlichen Herstellungsverfahren der „Additiven Fertigung“ (Additive Manufacturing, AM). Darunter fallen u.a. das Selektive Laserschmelzen (SLM), Elektronenstrahlschmelzen (EBM), Fused Deposition Modeling (FDM) und die Stereolithographie (SLA). Im diesem Rahmen dieser NAFEMS Veranstaltung soll durch Beiträge zur Prozessoptimierung auf Basis von CAE-Technologie der Dialog und Ideenaustausch mit führenden Maschinenherstellern intensiviert werden. Wichtige Aspekte in der Simulation des Fertigungsprozesses sind dabei die resultierenden Eigenspannungen und das thermische Verzugsverhalten ebenso wie potentielle Materialschädigung z.B. durch Überhitzung oder unzureichenden Verbund zwischen den einzelnen Materialschichten. Darüber hinaus spielt für die Optimierung des Fertigungsprozesses auch die Bestimmung von optimalen Stütz- und Latticestrukturen sowie die optimale Platzierung des zu produzierenden Bauteils in der Fertigungsmaschine eine zentrale Rolle für die Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt werden sollen. Auch die Darstellung von Schwierigkeiten und ungelösten Fällen aus der Praxis wird die Diskussion beleben und ist deshalb ausdrücklich erwünscht.

Wir freuen uns über Ihre Vortragseinreichung **bis 27. Januar 2017** an info@nafems.de.

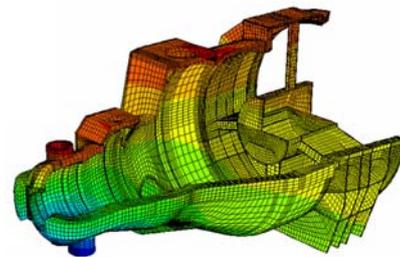
In Kooperation mit dem x-technik Verlag

x-technik
DER FACHVERLAG

Ab Januar 2017: www.nafems.org/am17

NAFEMS Schulung

Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation



Frühjahr 2017 / auch als Inhouse-Schulung buchbar

Die Schulung vermittelt praxisorientiert und programmunabhängig die notwendigen Grundlagen für den erfolgreichen und effizienten Einsatz der Finite-Elemente-Methode. Nach Auffrischung von strukturmechanischem Basiswissen, welches für das Verständnis und für die kompetente Auswertung von FE-Berechnungen unerlässlich ist, wird auf leicht verständliche Art erklärt, wie die FE-Programme arbeiten. Zahlreiche einfach gehaltene, anwendungsspezifische Beispiele aus der Industrie unterstützen die Diskussion um Voraussetzungen für adäquate Modellbildung und liefern wertvolle Tipps für die professionelle Darstellung und Interpretation der Ergebnisse. Ingenieure und Konstrukteure, welche ihre Kenntnisse in Technischer Mechanik bzw. Festigkeitslehre aus der Studienzeit im Hinblick auf die Anwendung bei FE-Simulationen auffrischen und ausbauen möchten, sind besonders angesprochen. Der Kurs wird in einer Workshop-Atmosphäre durchgeführt, wodurch eine aktive Mitwirkung gefördert wird.

Inhalte

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

Referent



Prof. Dr.-Ing. Armin Huß verfügt über mehr als 30 Jahre Erfahrung auf dem Gebiet der Technischen Mechanik,

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

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.

Informationen

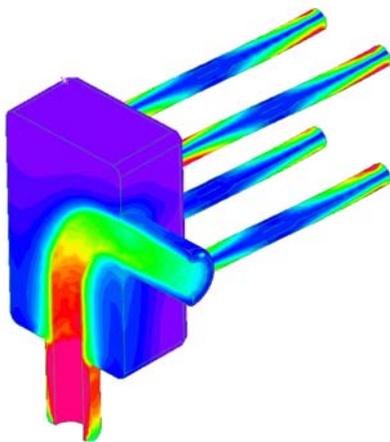
www.nafems.org/events

NAFEMS Schulung

Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung

Frühjahr 2017 / auch als Inhouse-Schulung buchbar

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



Inhalte

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

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

Kursprache

Englisch / Deutsch, falls nur deutschsprachige Teilnehmer.

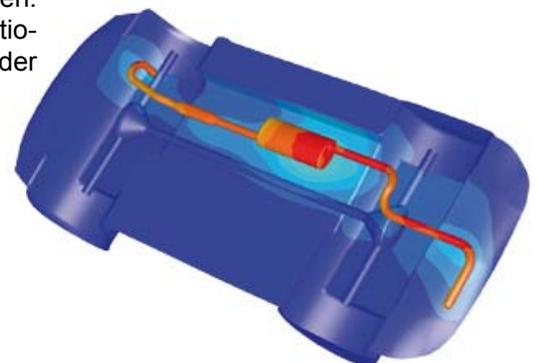
Inhouse-Kurs

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

Referent



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



Informationen

www.nafems.org/events

NAFEMS Schulung

Master Course V&V: Verification and Validation in Engineering Simulations

Frühjahr 2017 / auch als Inhouse-Schulung 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..

Informationen

www.nafems.org/events

NAFEMS Schulung

Simulation und Analyse von Composites

Frühjahr 2017 / auch als Inhouse-Schulung 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 Mikromechanik
- 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.

Informationen

www.nafems.org/events

NAFEMS Schulung

Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis

Frühjahr 2017 / auch als Inhouse-Schulung buchbar

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

The objectives of this Finite Element course are:

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

Who Should Attend

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

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

Technical Content

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

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

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

Tutor



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

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

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

Course Language

English

Inhouse-Kurs

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

Informationen

www.nafems.org/events



NWFC 2017

NAFEMS WORLD CONGRESS



NAFEMS

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

11 - 14 JUNE 2017
STOCKHOLM | SWEDEN

A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION

The only one independent, international conference dedicated exclusively to everyone involved in engineering analysis, simulation, modelling, and systems engineering.

+ 470 abstracts submitted + comprehensive hardware and software exhibition + workshops + discussion rounds + trainings + networking + ...

Don't miss it! Save the date!



nafems.org/congress



Engineering analysis, modelling, simulation, and systems engineering are becoming ever more embedded in the product development process across all industries in every part of the world. The technology is no longer seen as niche – we are moving into the mainstream at a rapid pace.

As manufacturing techniques and product lifecycle management processes develop and grow, the use of Finite Element Analysis (FEA), Computational Fluid Dynamics (CFD), Multibody Simulation (MBS) and all of the associated technologies is increasing exponentially. As a result, your community is expanding and evolving with the technology into a truly cross-industry, multi-skilled, global society, with its own unique perspectives, problems, and solutions.

We stand at a crossroad. In order for the technology to progress further and for us, the users, to keep pace with this development, collaboration and sharing of experience and knowledge is vital.

There is only one independent, international conference dedicated exclusively to everyone involved in engineering analysis, simulation, modelling, and systems engineering, and we want YOU to be a part of it.

The 2017 NAFEMS World Congress will take place from the 11th to 14th of June in Stockholm, Sweden, and will focus entirely on engineering analysis, modelling and simulation and its impact on industry and beyond. NAFEMS is the only independent voice of the CAE community, representing over 1300 member organizations worldwide from OEM's to suppliers, leading academic institutions, international research and development bodies, and prominent software vendors.

The NAFEMS World Congress is the premier international forum for everyone involved in the industry. With dedicated tracks on all aspects of simulation, free masterclasses, workshops and short training courses, an outstanding social program and an excellent line-up of keynote and invited speakers, this is one event you cannot afford to miss.

Two Conferences at One Location

The NAFEMS World Congress will also host the 3rd International Conference on Simulation Process and Data Management (SPDM). This industry-leading event will bring together industrial users, technology experts, academics and software vendors alike, allowing all those with an interest to take part in the only truly independent, international forum dedicated to SPDM. Attendees, speakers and exhibitors have free access to both events under one registration.

As well as the SPDM Conference, the NAFEMS World Congress will also host a dedicated symposium on Manufacturing Process Simulation & Additive Manufacturing, covering all virtual manufacturing tools within the product design and manufacturing cycle.



Congress Themes

The Congress will cover a wide range of topics, addressing every aspect of engineering simulation in a full 3-day program.

We invite papers from any area in simulation including, but not limited to, the following areas:

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)

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

Multiphysics

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

All industry sectors are encouraged to submit papers.
 Full details of the topics being considered, further information about the World Congress and SPDM conference and how to submit your paper can be found at nafems.org/congress

Electrical

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

Systems Modeling & Simulation

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

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

Methods

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

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

Simulation Data Management (Conference)

Papers related to SPDM will automatically be considered for the SPDM Conference.

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

Manufacturing Process Simulation & Additive Manufacturing (Symposium)

Relevant papers will automatically be considered for this symposium.

- Additive Manufacturing
- Molding
- Forming
- Casting
- Forging

Stockholm

The first city to be named “European Green Capital” in 2010, Stockholm is much more than green and clean. It’s vibrant. It’s laidback. It’s beautiful and it’s got something for everyone. The city is known for producing innovative IT and media businesses, sleek designs, edgy fashion and world-class nightclubs. It offers a cosmopolitan atmosphere with a bustling café and restaurant culture and has one of the highest concentrations of museums and galleries in the world.

Beyond the buzzing metropolis of the city centre’s boutiques and restaurants, Stockholm is laid out in a system of 14 interconnected islands, earning the city the nickname “Venice of the North”. Yet, the city centre is small enough to allow you to take it in on foot. The waters of Stockholm offer a stunning backdrop to everything else the city has to offer.

One of the most characteristically Swedish traditions of all is Midsummer, when the sky never darkens. In 2017 it’s celebrated on June 24, just a few days after the NAFEMS World Congress.

Venue

Stockholm Waterfront Congress Centre

Stockholm Waterfront Congress Centre is Sweden’s newest and most versatile venue for large-scale meetings and events. Located in the heart of Stockholm, across the water from the City Hall, the modern architecture is a spectacular addition to the city skyline. Located between the Central Railway Station and the City Hall – host to the annual Noble prize dinner – providing easy access to some of the best shops, restaurants and sights in Stockholm. Directly connected to the congress centre is the Radisson Blu Waterfront Hotel, a 414 room international first class hotel. The railway station and the Arlanda Express train platform are easily accessible by escalator right next to the congress centre.

stockholmwaterfront.com





Sponsorship & Exhibition

An Outstanding Opportunity

The NAFEMS 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 your organisation with NAFEMS

As the only international association dedicated to the engineering analysis, modelling, simulation, and systems engineering 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 at nafems.org/congress. 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 NAFEMS World 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

The NAFEMS World Congress Gala Dinner

As well as an excellent technical program, the NAFEMS World Congress has become renowned for its gala dinner, and 2017 will be no different!

Being held at The Vasa Museum, home of the only preserved seventeenth-century ship in the world, and a unique art treasure, you can be sure that this will be an evening to remember. More than 95 percent of the ship is original, and it is decorated with hundreds of carved sculptures.

The 69 meter-long warship Vasa sank on its maiden voyage in the middle of Stockholm in 1628, and was salvaged 333 years later in 1961. For nearly half a century the ship has been slowly, deliberately and painstakingly restored to a state approaching its original glory. The three masts on the roof outside the specially built museum show the height of the ship's original masts. Today the Vasa Museum is the most visited museum in Scandinavia, with over one million visitors a year.

nafems.org/vasa



Roger Oswald - NAFEMS Ltd
 Springwood • Booths Park • Chelford Road
 Knutsford • Cheshire • WA16 8QZ • United Kingdom
 t +44 (0) 1355 225688
 e nwc17@nafems.org

nafems.org/congress

Internationales NAFEMS Magazin

Benchmark Magazin, Ausgabe Oktober 2016

Die internationale NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“ erschien in der Druckauflage im Oktober 2016. Download (nur für Mitglieder) und Informationen zum Abonnement finden Sie unter:

www.nafems.org/publications/benchmark



BENCHMARK

THE INTERNATIONAL MAGAZINE FOR ENGINEERING DESIGNERS & ANALYSTS FROM **NAFEMS**

October 2016 issue . . .

- How to Systematically Reap The Business Benefits of Process Simulation
- Austenitic Steel Plate Groove Weld Simulation Benchmark
- Delivering Metal Forming Properties with Multi-Scale Modelling
- Stress-free Simulation: The Art of Accurate Polymer Modelling
- Novel Simulations for Predicting Fibre Path Defect Formation in Composites Manufacturing
- Simulation of Additive Manufacturing
- and more....

Moving Towards
Virtual Manufacturing

invitation²TENDER



NAFEMS CFD Benchmarks

NAFEMS' **Computational Fluid Dynamics Working Group (CFDWG)**, wishes to commission several new documents of CFD Benchmarks. The NAFEMS benchmarks form a resource for NAFEMS members and the wider engineering and simulation community. This set of published, neutral and independently defined cases is considered a valuable resource and where applicable is still widely used by simulation code vendors as part of their verification and validation activities. However, these benchmarks are primarily for structural analysis problems, often for which closed-form solutions are available; so while the existing NAFEMS benchmarks were highlighted as being valuable they are limited in scope and there was enthusiasm for further benchmarks tackling a wider range of problem types with more advanced physics.

The document will provide a set of benchmarks, presented in a standard format, consistent with other NAFEMS publications. Each benchmark will provide a full description of the case, such that it can be recreated by a simulation engineer using software of their choice, and good quality data, relevant to the purpose of the case, with which the results of a simulation can be compared. The data can come from either a closed-form solution or high quality physical measurements.

The benchmarks do not provide guidance on the simulation process to apply to any particular case although comments may be included. This is a deliberate decision due to the increasing variety of simulation techniques available and the growing computational capability which could render guidance given as obsolete or even misguided in a relatively short period of time. It is expected that where commercial software is applicable to a NAFEMS benchmark, the software vendor will then produce guidance on how best to tackle the case with their software, possibly also the results calculated by the software, for validation purposes. Benchmarking can be educational, in that a benchmark can be used as the basis for a demonstration or tutorial on how a specific case should be defined or run.

The benchmarks should be for the benefit of engineers and scientists in industry, whether users or developers of simulation tools.

Costs

The total cost of authoring a publication consisting of a set of benchmarks and addressing reviewer feedback, will be proportional to the number of cases proposed in the volume and is not expected to exceed £5000{GBP} for a volume of 10 cases.

Submission

Interested potential authors should view full submission details at nafems.org/publications/tender, or request additional information using the following email address: cfid@nafems.org

Deadline

There is no fixed deadline for submissions as there is an ongoing drive for material and several volumes by different authors or teams of authors can be in progress concurrently.



How To Model Crack Propagation using Finite Elements

The **NAFEMS Education and Training Working Group (ETWG)** wishes to commission a new document with the suggested title "How To Model Crack propagation Using Finite Elements". This book should be aimed at a graduate-level industrial user who is familiar with basic linear FE analysis, but is inexperienced in advanced FE simulations. The book should assume little or no knowledge of fracture mechanics theory or FE modelling of cracks.

The following topics are expected to be included:

- Fracture mechanics: Theoretical background
basic introduction to LEFM, stress intensity factors, J-Integral, etc.
- Crack propagation theory
Crack initiation, criteria for direction of crack growth, fatigue crack growth, etc.
- Modelling crack propagation using FEA
crack-tip elements, XFEM and other methods
- Benchmarks on FE simulation of crack propagation.
Benchmarks may include 2D and 3D crack growth, automatic re-meshing for modelling crack growth, plasticity around crack tip, multiple cracks, etc

Costs

The total cost of authoring, maintaining and producing a publication collating challenges, solutions and points to note from the submissions received will be proportional to the proposed content and is not expected to exceed £7000 {GBP}.

Submission

Interested potential authors should view full submission details at nafems.org/publications/tender, or request additional information using the following email address: etwg@nafems.org

Deadline

Interested parties are encouraged to submit proposals by December 31st 2016.

for full details visit nafems.org/publications/tender



NAFEMS reference library at the click of a button



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

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

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

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

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

Find out about subscription today

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

www.nafems.org/publications/e-library

NAFEMS Publikationen auch über NAFEMS GmbH bestellen

NAFEMS bietet für die Literaturbestellung die bequeme Möglichkeit über den Internet-Shop. Leider führt dies in manchen Unternehmen zu Schwierigkeiten, da eine Bestellung im Ausland umfangreichere Freigabeprozesse erfordert. Sollten Sie Probleme damit haben oder sollte es schlichtweg einfacher für Sie sein, können Sie gerne Ihre NAFEMS Literaturbestellung über die NAFEMS GmbH in Deutschland abwickeln.

Senden Sie uns einfach Ihre Bestellung mit Nennung entsprechenden Literaturnummern zu. Nach Erhalt der Bestellung senden wir Ihnen eine Rechnung zu. Nach Zahlungseingang wird die Literatur umgehend aus dem Zentrallager in UK an Sie versendet.

www.nafems.org/publications



PSE

Professional Simulation Engineer



A New Standard for Simulation Engineers

nafems.org/pse



Membership to suit you

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

Site membership

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

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

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

Corporate membership

Tailored membership for large companies with multiple locations

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

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

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

Small company membership

Cost-effective membership for small to medium sized enterprises

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

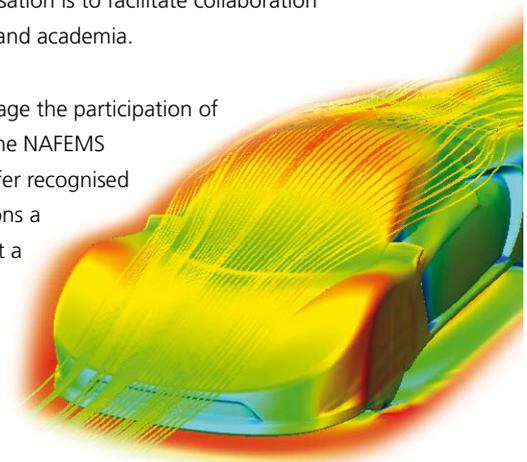
Small Company Membership is tailored to the specific needs of small to medium sized enterprises, and can also be appropriate in areas without a NAFEMS Regional Group.

Academic membership

Offering the benefits of site membership to recognised academic institutions

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

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



www.nafems.org/involved

ALTAIR ENGINEERING

HPCwire „Readers' Choice Award“ 2016

Altair hat den jährlich vergebenen HPCwire „Readers' and Editors' Choice Award“ in der Kategorie Manufacturing erhalten. Die Auszeichnung würdigt die gemeinsam mit Stanley Black & Decker durchgeführten Simulationsarbeiten, bei denen Altairs HyperWorks Unlimited Physical Appliance „powered by SGI“ zum Einsatz kam. Der Award wurde auf der internationalen Konferenz für High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis 2016 (SC16) in Salt Lake City, Utah überreicht. HyperWorks Unlimited Physical Appliance ist eine private Cloud-Lösung, die für Computer-Aided Engineering (CAE) Anwendungen optimiert ist und eine sichere private Cloud-Umgebung erstellt. Die Lösung wird vollständig von Altair verwaltet und bietet vorkonfigurierte Hard- und Softwarelösungen, mit denen entsprechende Leistungsanforderungen kosteneffizient erfüllt werden können. HyperWorks Unlimited Physical Appliance ermöglicht, innerhalb der Anwendung, eine unbegrenzte Nutzung der kompletten Altair CAE Software Suite und ist gleichzeitig eine offene Umgebung, der Werkzeuge von Drittanbietern hinzugefügt werden können, um so allen technischen Anforderungen zu genügen.

Enlighten Award 2017

Der Enlighten Award 2017, der gemeinsam von Altair und dem Center for Automotive Research (CAR) vergeben wird, lädt wieder ein, Beiträge einzureichen. Der Award zeichnet besondere Leistungen im automobilen Leichtbau aus und steht der gesamten Automobilindustrie offen. Der Award wird traditionell während des jährlichen CAR Management Briefing Seminars (MBS) in Traverse City, Michigan vergeben. Das 52. CAR Management Briefing Seminar (MBS) findet am 31. Juli 2017 statt. Der Award wird auch in diesem Jahr wieder in zwei Kategorien vergeben: „Full Vehicle“ und „Module“. Der „Full Vehicle“ Award wird für herausragende Leistungen im

Bereich Leichtbau von gesamten Fahrzeugen vergeben. Unter den Gewinnern dieser Kategorie in den letzten Jahren finden sich Unternehmen wie General Motors, Ford Motor Company und Jaguar Land Rover. Der Award in der Kategorie „Module“ wird für besondere Leistungen beim Leichtbau von Subsystemen oder Komponenten oder für die Entwicklung von innovationsfördernden Technologien, wie neue Leichtbaumaterialien oder Verbindungstechnologien, vergeben und richtet sich vornehmlich an Zulieferer. Diese Auszeichnung erhielten in den letzten Jahren Unternehmen wie BASF und ContiTech.

Extrusions-Simulations-Software Click2Extrude 2017

solidThinking freut sich, die Veröffentlichung der Click2Extrude Suite bekannt zu geben. Die Software Suite enthält Click2Extrude Metal und Click2Extrude Polymer und ist die neueste Ausführung der industrieführenden HyperXtrude Software. Die neue, anwenderfreundliche Version wird als Click2Extrude Suite weltweit über ein leistungsstarkes Netz von Resellern vertrieben und lizenziert. Dabei liegt der Fokus auf schnellen, einfachen, genauen und bezahlbaren Lösungen für die Fertigungsindustrie.

ProteusDS und ShipMo3D

Die Altair Partner Alliance (APA) hat heute die Erweiterung seines Softwareangebotes um die Werkzeuge ProteusDS und ShipMo3D von Dynamic Systems Analysis, Ltd. (DSA) angekündigt. ProteusDS wird dafür genutzt, virtuelle Prototypen von Systemen zu testen, die extremen Winden, Strömungen und Wellen ausgesetzt sind. Mit ShipMo3D kann die Wechselwirkung von Schiffen und Offshore-Strukturen mit Wellen und der Meeresumgebung modelliert werden.

SimData Manager von PDTec für HyperWorks Kunden verfügbar

Die Altair Partner Alliance (APA) hat ihrem Angebot die Lösung SimData Manager, ein Simulationsdatenmanagement System der PDTec AG, hinzugefügt. SimData Manager

ermöglicht den effizienten und systematischen Zugriff auf alle simulationsrelevanten Daten der gesamten Computer-Aided Engineering (CAE) Prozesskette.

www.altair.de

ARAS

IBM und Aras: Strategische Reseller-Vereinbarung

Aras ist ein strategisches Reseller-Agreement mit dem IBM Geschäftsbereich Watson IoT eingegangen. Im Rahmen der Vereinbarung wird IBM die PLM-Suite Aras Innovator auf Subscription-Basis vertreiben. Dabei ergänzt Aras Innovator entweder die Lösung für Application Lifecycle Management (ALM) von IBM oder kommt als eigenständiges PLM-System zum Einsatz.

Fujifilm wählt Aras als PLM-Plattform

Aras gab bekannt, dass Fujifilms Geschäftsbereich Medizinische Systeme sich für Aras Innovator entschieden hat. Der globale Anbieter von diagnostischen Bilderfassungstechnologien und Informationssystemen für medizinische Einrichtungen mit Hauptsitz in Tokyo, Japan, wird die Software als Qualitätsmanagement-Plattform für die Produktrealisierung einsetzen. Diese Realisierung umfasst Design, Produktion und Service der medizinischen Produkte des Unternehmens.

www.aras.com

BETA CAE SYSTEMS

Neues Releases verfügbar

Beta CAE Systems gab die Veröffentlichung von ANSA / Epsilon / µETA v16.2.4 suite und SPDRM v1.2.1. bekannt.

www.beta-cae.com

CADFEM

Software, Hardware und Dienstleistungen on Demand

Mit eCadm steht nicht nur ein flexibler, schneller, günstiger und sicherer Zugriff auf Software bereit, sondern jetzt auch Rechenpower und CAE-Dienstleistungen on Demand. Cadfem hat schon vor mehr als zehn Jahren eCadm (www.ecadm.com) im deutschsprachigen Simulationsmarkt als flexibles Softwareangebot im Ansys Umfeld eingeführt. Seitdem hat sich diese On-Demand-Lösung bei mehr als 1.000 Kunden erfolgreich etabliert und erfreut sich zunehmender Beliebtheit.

Mit dem Angebot „Software on Demand“ von eCadm wird mehr als eine schlichte Mietsoftware geliefert. Denn vorab sind keine fest vereinbarten Nutzungszeiten erforderlich, ebenso wenig eine fix definierte Anzahl gleichzeitiger Nutzer oder statisch vorgegebene Lizenzinhalte. Stattdessen stehen Ansys (Strukturmechanik, Strömungsmechanik, Elektromagnetik), optiSLang (Sensitivität, Optimierung, Robustheitsbewertung) und auch Rocky DEM (Partikelsimulation) an den jeweils aktuellen Bedarf anpassbar zur Verfügung.

Diese Art der Programmnutzung ist besonders dann sinnvoll, wenn CAE-Software oder bestimmte Ansys-Module nur sporadisch genutzt werden – oder zeitweise sehr intensiv, so dass der vorhandene Lizenzpool vorübergehend nicht ausreicht. Der Anwender ist während der gesamten Programmnutzung online mit dem Lizenzserver von Cadfem verbunden und hat die vollständige Kontrolle über die jeweilige Lizenznutzung. Anders als bei vielen anderen SaaS-Lösungen (Software as a Service) liegen die proprietären, schutzwürdigen Kundendaten direkt beim Kunden selbst.

Weil Simulation mehr als Software ist, ermöglicht eCadm darüber hinaus auch die unkomplizierte Nutzung von CAE-Rechenpower und CAE-Dienstleistungen von Cadfem. Die Cadfem Engineering Simulation Cloud bietet umfassende Einsatzmöglichkeiten für HPC (High Perfor-

mance Computing) und andere rechenintensive Anwendungen. Damit lassen sich die eigenen Rechenkapazitäten kurzfristig ausbauen, um Projektzeiten spürbar zu verringern, indem beispielsweise verschiedene Modellvarianten simultan berechnet werden. Fester Bestandteil aller On-Demand-Angebote ist der zuverlässige Support durch erfahrene Cadfem Spezialisten. Folglich profitieren die entsprechenden Kunden nicht nur von leistungsfähigen Software- und Hardwareprodukten, sondern auch von der Unterstützung durch ein großes Cadfem Team mit umfassender CAE- und Ansys-Expertise, unter anderem durch Seminare, Individualtrainings oder Engineering-Leistungen. Weitere Informationen: www.ecadm.com

www.ecadm.com

COMSOL

Erfolgreiche europäische Conference 2016 in München

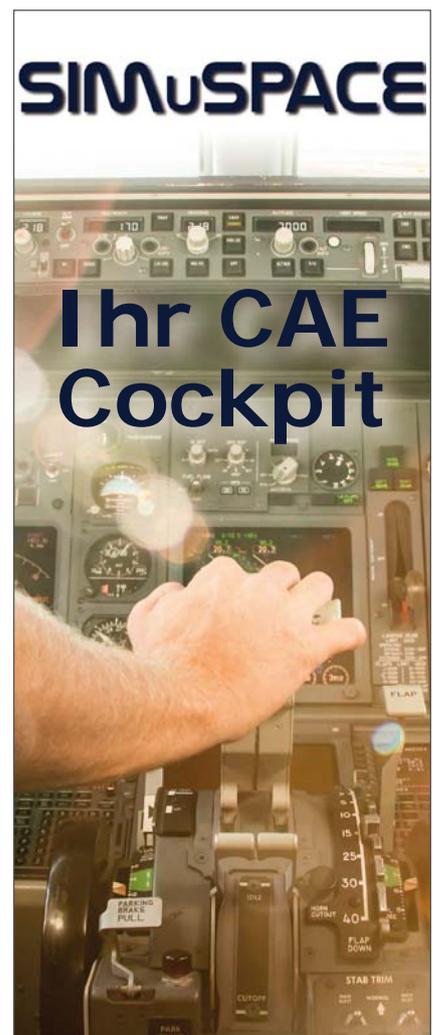
Die Comsol Conference 2016 hat über 300 Teilnehmer nach München gebracht, um sich über ihre Arbeiten und Erkenntnisse im Bereich Multiphysik-Simulation auszutauschen und sich durch neue Anregungen und Ideen inspirieren zu lassen. In mehr als 150 Präsentationen haben Ingenieure, Simulationsexperten und Forscher ihre Arbeiten mit Comsol Multiphysics vorgestellt. Die Veranstaltung bot eine hervorragende Plattform, um bestehende Kontakte zu pflegen, neue zu knüpfen und sich über die Entwicklungen der Comsol Multiphysics Software Suite und Industrietrends zu informieren.

www.comsol.com

CPU 24/7

CPU 24/7 Mitglied des Automotive Simulation Center Stuttgart e.V.

Der Potsdamer HPC-Cloud-Anbieter CPU 24/7 ist zum 1. November 2016 dem Kompetenznetzwerk asc(s) - Automotive Simulation Center Stuttgart e.V. beigetreten. Vor dem Hintergrund der weltweit steigen-



Die schlanke
SDM-Lösung

für den Mittelstand

Wir maximieren Ihre Effizienz:

- Bedarfsanalyse
- Konzeption
- Implementierung
- Training
- Support

Professional CAE Solutions
powered by



www.isko-engineers.de

Fon: +49 89 37062-0

den gesetzlichen Anforderungen an die Herstellung und Betrieb von Fahrzeugen, Kosten- und Zeitdruck, wachsenden Kundenwünschen und gesellschaftlichen Veränderungen gerät der Fahrzeugentwicklungsprozess weiter unter Druck. Ziel des asc(s ist es daher, die Erforschung und Entwicklung innovativer CAE- und HPC-Methoden voranzutreiben, Synergien zu fördern, Kosten zu sparen, neue Impulse für die Produktentwicklung zu schaffen und die Ergebnisse den Mitgliedern zugänglich zu machen. Das asc(s hat fünf Projektcluster geschaffen, die neben fahrzeugspezifischen Themenstellungen – Fahrzeugantrieb, Fahrzeugstruktur, Fahrzeugphysik, Fahrzeug-IKT – insbesondere den Bereich der numerischen Grundlagen und Digitalisierung aufgreifen. In diesen Projektarbeitsgruppen wird die virtuelle Fahrzeugentwicklung durch den Einsatz von CAE-Simulationen in Zusammenarbeit mit weiteren Mitgliedern, wie Daimler, Porsche, CRAY, DYNAMore und anderen namhaften Unternehmen zukunftsweisend vorangetrieben. CPU 24/7 sieht sich als Impulsgeber und Innovator im Bereich CAE Cloud Nutzung und bietet Antworten auf die wachsenden Anforderungen an Rechenleistung und Datenaufkommen. Die Mitarbeit im asc(s dient insbesondere dazu, die Wünsche und Erwartungen der Automobilhersteller, Zulieferer und Ingenieurdienstleister besser zu verstehen und gemeinsam an innovativen CAE- sowie HPC-Lösungen zu arbeiten. Weitere Informationen zum Automotive Simulation Center Stuttgart e.V. finden Sie unter www.asc-s.de

CPU 24/7 ist neuer Hauptsponsor des Formula Student Teams Weingarten

Der Potsdamer HPC-Cloud-Anbieter CPU 24//7 ist neuer Hauptsponsor des Formula Student Teams Weingarten. Mit insgesamt drei Servern unterstützt CPU 24/7 das engagierte Team der Hochschule Ravensburg-

Weingarten in der Entwicklung des Formelrennwagens für die Saison 2016/17. Die Formula Student ist ein internationaler Konstruktionswettbewerb für Hochschulteams, der seit 2006 jährlich ausgerichtet wird. Innerhalb eines Jahres konstruieren und fertigen Teams aus aller Welt einen einsitzigen, technisch anspruchsvollen Formelrennwagen und treten gegeneinander an. Allerdings gewinnt nicht das Team mit dem schnellsten Rennwagen, sondern das Team mit dem besten Gesamtpaket aus Konstruktion und Rennperformance, Finanzplanung und Verkaufsargumenten. Seit der ersten Austragung im Jahr 2006 nehmen ca. 100 deutsche und über 500 internationale Teams teil. Das Formula Student Team Weingarten ging 2008 erstmals an den Start und besteht nunmehr aus 60 Studenten. Mittels Kooperationen und Sponsoring wurde der Stinger 16 gebaut, der sich mit anderen Rennwagen der Kategorie FSG Combustion (Verbrennung) misst. Das Team heimste zuletzt bei der Formula Student Spain in Barcelona den 1. Platz in der Disziplin Acceleration (Beschleunigungstest) ein und schloss in der Gesamtwertung mit dem 8. Platz ab.

www.cpu-24-7.com

DASSAULT SYSTÈMES

Dassault Systèmes Deutschland unterstützt The Ocean Cleanup

Anlässlich des 3DExperience Forum vom 25.-26. Oktober in Berlin überreichte Andreas Barth (Geschäftsführer Dassault Systèmes Deutschland) dem Gründer und CEO von The Ocean Cleanup Boyan Slat einen Scheck i.H.v. 25.000 Euro. Das Projekt, die Weltmeere von Plastikmüll zu befreien ist teuer: Der erste Echtversuch mit zwei Kilometer Sperrlänge im Pazifik kostet 15 Mio. Euro! Riesige schwimmende Barrieren sammeln den Müll und konzentrieren ihn so weit, dass er abgeschöpft werden kann. Die Investition soll sich lohnen: 100km Sperre sind in der Lage, 50 Prozent des Müllwirbels in unter zehn Jahren

zu säubern. Die Barrieren und Sammelstationen werden mit Dassault Systèmes Solidworks konstruiert.

www.3ds.com

ESI-GROUP

Neue SimulationX 3.8 von ESI

Die ESI Group kündigte die neueste Version von SimulationX an, eine der bekanntesten Softwaremarken im Bereich der Systemmodellierung. SimulationX verstärkt ESIs Portfolio seit der Akquisition der deutschen ITI GmbH zu Beginn des Jahres und ist eine in der Industrie bewährte Softwareplattform für dynamische, multiphysikalische Systemsimulation, die auf die spezifischen Bedürfnisse in unterschiedlichen Branchen angepasst werden kann. Die neueste Version – SimulationX 3.8 – bietet erhebliche Verbesserungen und zusätzliche Funktionen für die Simulation von Antrieben, elektromechanischen, hydraulischen, mechanischen und pneumatischen Systemen in verschiedenen Industrien, wie im Transportwesen, in der Energietechnik, im Maschinenbau, bei mobilen Arbeitsmaschinen und im Bergbaubereich. Darüber hinaus ermöglichen völlig neue Funktionalitäten Anwendungen in der Entwicklung biomedizinischer Applikationen und intelligenter Green Cities.

Virtual Performance Solution Version 2016

Die ESI Group kündigte die Veröffentlichung der aktuellen Version von Virtual Performance Solution (VPS) an. ESIs Flaggschiff-Software ist eine einzigartige Lösung, die es Herstellern erlaubt, sich zukünftigen Herausforderungen zu stellen – einschließlich denen bei der Entwicklung von Leichtbau- und „grünen“ Fahrzeugen – bei gleichzeitiger Vermeidung eines Over-Engineering. VPS ermöglicht Entwicklungs- und Simulationsingenieuren, ihre Innovationen schnell an virtuellen, statt wie bisher an realen Prototypen zu testen und den Einfluss realer Fahrzustände zu untersuchen. VPS bietet auch einen unverwechselbaren Ansatz, der es erlaubt, das Produktverhalten über verschiedene Bereiche hinweg mit einem einzigen

Single-Core-Modell virtuell zu testen. Mit der neuen Veröffentlichung der ESI Virtual Performance Solution können Hersteller nun noch effizienter vorhersagen, wie sich der Einsatz von Verbundwerkstoff- und anderen, modernen Leichtbaumaterialien auf das Produktverhalten auswirkt. Auch können schwingungsinduzierte Geräusche simuliert werden.

Gießsimulationslösung ProCAST

Die ESI Group kündigte die neue Version seiner Gießsimulationslösung ProCAST an. Die Virtual Manufacturing-Lösung von ESI ermöglicht es Gießereien, die Entwicklung und Qualität der von ihnen produzierten Teile signifikant zu verbessern. Mit ESI ProCAST können sie Fertigungsfehler früh vorhersagen, ohne dass ein kostspieliger, physischer Probeguss notwendig ist. Bauteilentwicklung und Fertigungsprozesse können so weit vor dem Produktionsanlauf korrigiert werden. Dies resultiert in niedrigeren Ausschussraten und Bauteilen in gleichbleibend hoher Qualität. ProCAST 2016 verspricht mit neuen, dezidiert für den Kokillen- und Druckguss entwickelten Workflows, noch schnellere Durchlaufzeiten. Die Rüstzeiten für den Kokillenguss – dem am weitesten verbreiteten Sandgussprozess – können so auf wenige Minuten verkürzt werden. Der Workflow für den Druckguss adressiert nun auch die Maschinenauswahl und überbrückt die Lücke zwischen Entwicklung und Produktion, um so in der Produktion noch effizienter zu werden.

Safran Nacelles nutzt die Virtual Reality-Lösung ESI IC.IDO

Die ESI Group kündigte die Zusammenarbeit mit Safran Nacelles an, einem global agierenden Hersteller von Systemen und Komponenten für die Luft- und Raumfahrt. Das Unternehmen hat kürzlich ein F&E-Projekt initiiert, um zu zeigen, wie ESIs Virtual Reality-Lösung IC.IDO genutzt werden kann, um Entwurfsüberprüfungen (Design Reviews) und Validierungen durchzuführen, Fertigungs- und Montageprozesse zu konzipieren und interaktive Trainings für Wartungsaufgaben bereit-

esocaet
STUDIES



Upgrade your work,
upgrade your life.

Berufsbegleitendes Studium der Simulation Based Engineering Sciences

+ +
+ +

Studienrichtungen

- Applied Computational Mechanics
- Computational Fluid Dynamics
- Computational Medical Engineering

+ +
+ +
+ +

Partnerhochschulen

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



www.esocaet.com/studies

by CADFEM®

zustellen. Das Projekt lieferte bereits Erfolge für Safran Nacelles, die ihrerseits nun beabsichtigen, Virtual Reality im gesamten Unternehmen einzuführen. ESI IC.IDO stellte dabei seine Fähigkeit unter Beweis, Safran Nacelles eine größere Beweglichkeit und Flexibilität für ihre Entwicklungsprozesse zu bieten bei gleichzeitiger Unterstützung einer kollaborativen und interaktiven Arbeitsweise.

PAM-Composites 2016

Die ESI Group kündigte die neue Version seiner PAM-Composites2016-Softwarelösung an. Die Software bietet Prozess- und Entwicklungsingenieuren eine komplette Sammlung von Modulen zur Vorhersage, Analyse und Korrektur von Fertigungsfehlern bei Verbundwerkstoff-Komponenten über die gesamte Fertigungskette. Die kosteneffektive Lösung kombiniert existierende Module der ESI Group mit neuen, innovativen Erweiterungen, die es Prozess- und Entwicklungsingenieuren erlauben, den Ursprung und die Ursache von Fertigungsfehlern genau zu erkennen und Composite-Bauteile mit noch höherer Genauigkeit herzustellen. Dadurch wird der Materialeinsatz reduziert und die Notwendigkeit kostspieliger und zeitaufwändiger Trial-and-Error-Ansätze und damit verbundene Versuche obsolet.

www.esi-group.com

GRANTA DESIGN

Granta MI Version 10 – Digitalisieren Sie Ihr Werkstoffwissen

Granta Design hat die Veröffentlichung der Version 10 von Granta MI angekündigt. Das neueste Release der führenden Materialinformations-Managementsoftware umfasst ein neues Workflow-System sowie erweiterte und aktualisierte Werkzeuge, die auf den Erfahrungen und Rückmeldungen der Granta Anwender weltweit basieren. Version 10 ermöglicht Fertigungsunternehmen die vollständige Kontrolle beim Sammeln und Anwenden ihres Materialwissens und überwindet grundlegende Hürden bei der

Digitalisierung werkstoffbezogener Prozesse. Die neue Version wurde am 15. Dezember im Rahmen eines Web-Seminars vorgestellt.

Granta und PTC: Materialdaten in CREO 4.0

Granta Design hat angekündigt, dass Anwender der neuen PTC Creo 4.0 3D CAD Software Zugriff auf Materialkennwerte von Werkstoffproben haben werden. Diese Erweiterung bietet einen schnellen, einfachen Zugriff auf Kennwerte von 117 Materialproben, darunter häufig eingesetzte Metalle, Kunststoffe, Verbundmaterialien und Keramik. Creo Anwender können die Daten durchsuchen und den Bauteilen in ihrem Creo Modell zuweisen. Die Daten umfassen die Dichte und unterstützen damit Gewichtsberechnungen, sowie eine Reihe mechanischer und thermischer Kennwerte, die genaue Analysen und bessere Designentscheidungen ermöglichen können. Die Daten sind ein Auszug aus Grantas umfassender Materialdatenbibliothek.

Granta MI:Workflow

Granta Design hat eine wichtige Erweiterung des Granta MI Materialinformation-Management-Systems angekündigt. Diese ermöglicht Fertigungsunternehmen die vollständige Kontrolle beim Sammeln und Anwenden ihres Werkstoffwissens und überwindet grundlegende Hürden bei der unternehmensweiten Digitalisierung dieser Informationen. Granta MI:Workflow ermöglicht es Unternehmen, nicht nur die Materialinformationen sondern auch die erforderlichen internen Arbeitsprozesse zu verwalten. So wird sichergestellt, dass Informationen in einer kontrollierten Art und Weise angefordert, gesammelt, geprüft und freigegeben werden können. Das Werkzeug wurde basierend auf Rückmeldungen wichtiger Fertigungsunternehmen aus aller Welt, die Granta MI im Einsatz haben, entwickelt.

Granta und Jahm Software arbeiten zusammen

Granta Design und Jahm Software, Inc. haben eine Vereinbarung be-

kannt gegeben, im Rahmen derer die umfangreichen temperaturabhängigen Materialkennwerte von Jahm innerhalb Grantas branchenführender Materialsoftware Granta MI und CES Selector verfügbar sein werden. Die Daten umfassen über 2.800 Werkstoffe, darunter Metalle, Kunststoffe und Keramik, sowie 24.000 temperaturabhängige Datensätze für Elastizitätsmodule, thermische Ausdehnungen, thermische Leitfähigkeit, S-N Ermüdungskurven, Spannungs-Dehnungsdiagramme und mehr. Diese Erweiterung bietet den Anwendern der Granta Software Zugriff auf erheblich mehr Eingabedaten für die Simulation sowie auf eine erweiterte Bibliothek an Hochtemperatur-Kennwerten für die Werkstoffauswahl.

www.grantadesign.com

HOCHSCHULE RAPPERSWIL

Digitalisierung und Industrie 4.0: Prozess- und Produktsimulationen

Numerische Simulationen sind nichts anderes als Prozess- und Produktsimulationen und passen somit hervorragend zum Thema Digitalisierung. Dementsprechend werden sie auch immer wichtiger, was z. B. die jüngste Ankündigung einer Zusammenarbeit zwischen Ansys und GE deutlich zeigt. Momentan verändert sich die Simulationswelt sehr schnell. Durch die rasante Entwicklung der Cloud sind die reinen IT-Kosten für z.B. Hardware und Administration signifikant gesunken. Leistungsfähige Workstations oder ganze Rechencluster können einfach gemietet werden. Die Softwarehersteller sind dabei, ihre Lizenzmodelle dieser Entwicklung anzupassen, um flexible Simulationslösungen in der Cloud anbieten zu können, wie beispielsweise mit der Ansys Enterprise Cloud. Richtig spannend wird es natürlich, wenn Software direkt für die Cloud entwickelt wird. Beispiele solcher Lösungen sind Azure Machine Learning Suite und ESI Cloud. Da die Software nicht lokal installiert werden muss, kann sie schnell und flexibel weiterentwickelt und erwei-

tert werden. Somit steuern wir einer Zukunft entgegen, in der jeder mit einem Webbrowser praktisch unbegrenzten Zugang zu numerischen Simulationen, Datenanalysen und Rechenleistung hat. Wer diese Möglichkeiten nicht nutzt, riskiert von der Entwicklung abgehängt zu werden. In den letzten Monaten haben wir uns mit einigen sehr anspruchsvollen Modellierungsaufgaben auseinandergesetzt, wie die Simulation eines mit einem Schaltkreis gekoppelten Lichtbogens, Schallentstehung durch turbulente Strömung, Bewegung und Kollisionen von Teilchen in einem Fluid oder die Simulation einer kompletten Windkraftanlage. Die Aufgaben konnten alle mit einer Kombination aus den richtigen Modellierungsansätzen und den richtigen Simulationstools gemeistert werden. Wo es einen Willen gibt, gibt es auch einen Weg. Erfahrung und Wissen sind dabei durchaus hilfreich und wir sind gerne bereit, Sie bei komplexen Modellierungsaufgaben zu unterstützen. Weitere Projekte und Kontaktinfor-

mationen finden Sie wie immer auf unserer Webseite.

www.iet.hsr.ch

INTES

Permas bildet Herstellprozesse in der Optimierung ab

Bei der Entwicklung von Blechbauteilen spielen die verschiedenen Herstellprozesse wie Walzen (um Dickenänderungen zu realisieren), Stanzen (um das Blech in die gewünschte Form zu schneiden) und Sicken (um ein Blech zur Versteifung mit Sicken zu versehen) eine wichtige Rolle. Sollen also Blechbauteile auf Steifigkeit und Gewicht optimiert werden, dann müssen diese Herstellprozesse in der Optimierung entsprechend abgebildet werden. Die Einbindung dieser Optimierung in die Finite Elemente (FE) Berechnung ermöglicht die direkte Ermittlung der erforderlichen Prozessschritte. Dabei kann das Walzen zum Einbringen

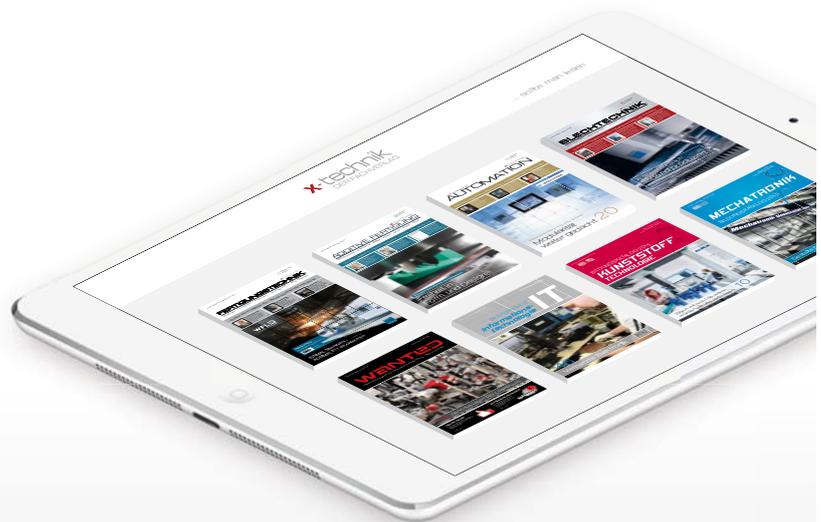
verschiedener Blechdicken mit dem Optimierungsverfahren des sog. Free-Sizing realisiert werden, das ähnlich wie die Topologie-Optimierung Elementeigenschaften wie hier die Dicke von Schalenelementen in weiten Bereichen variieren kann, um gewünschte Eigenschaften eines Blechs einzustellen. Das Stanzen zum Beschneiden eines Blechs wird mit der Topologie-Optimierung realisiert, wobei eine eindeutige Auswahl der benötigten Elemente erreicht wird. Für die Aussteifung des Blechs mit Sicken steht das Formoptimierungsverfahren der Sickengenerierung zur Verfügung, welche die Knoten des FE-Netzes normal zum Blech so verschiebt, dass dadurch eine aussteifende Prägung des Bleches entsteht. Mit der Multi-Modalen Optimierung (MMO) in Permas können alle diese verschiedenen Optimierungsverfahren in einer Optimierung gleichzeitig eingesetzt werden.

www.intes.de



Alle x-technik
Fachmagazine und
Ausgaben in einer App

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



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



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

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

INSTAL

Instal-News

Das Informations- und Expertenportal www.4innovative-engineers.com bietet interessante Informationen und einen regelmäßigen Newsletter. Schauen Sie mal vorbei.

www.4innovative-engineers.com

INSTITUT FÜR INTEGRIERTE PRODUKTION HANNOVER GGMBH

IPH-Zukunftspreis

Für seine Bachelorarbeit über evolutionäre Algorithmen hat Daniel Kampen den IPH-Zukunftspreis 2016 erhalten. Der Student der Leibniz Universität Hannover nahm die mit 500 Euro dotierte Auszeichnung bei der Preisverleihung am 31. Oktober entgegen. Das Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH) hat den Zukunftspreis in diesem Jahr zum ersten Mal verliehen. Künftig soll damit jedes Jahr die beste studentische Abschlussarbeit ausgezeichnet werden, die im Laufe des Jahres am IPH geschrieben wurde.

www.iph-hannover.de

MSC.SOFTWARE

Digmat gewinnt den R&D 100 Award

e-Xstream engineering, ein Unternehmen von MSC Software, gab bekannt, dass Digimat, die Plattform für die multiskalare Materialmodellierung, den R&D 100 Award 2016 gewonnen hat. Das von e-Xstream engineering entwickelte Digimat Virtual Allowables ("VA") bietet den Anwendern eine eingebettete vertikale Lösung, die speziell auf Faserverbundstrukturen für Luft- und Raumfahrt und Fahrzeugbau zugeschnitten ist. Die bahnbrechende Softwarelösung stellt hochentwickelte Technologien auf benutzerfreundliche Art zur Verfügung. Digimat VA revolutioniert den Designprozess von Faserverbundstrukturen, denn es erspart viele Materialtests zum Ermitteln der Faserverbund-Materi-

aleigenschaften und reduziert drastisch die Kosten und die benötigte Zeit. So können mehr Möglichkeiten für den Lagenaufbau ausprobiert werden. Mit diesem optimierten Prozess können die Anwender ihre Designziele effizienter erreichen.

"Wir waren sehr glücklich, unter den Finalisten zu sein, zu denen bedeutende Forschungseinrichtungen in den USA und renommierte Universitäten wie das MIT gehören. Der R&D 100 Award ist eine große Anerkennung für Digimat und das gesamte Team von e-Xstream für seine innovativen Lösungen zur Materialmodellierung", sagt Dr. Roger Assaker, CEO von e-Xstream engineering und Chefstrategie im Bereich Werkstoffe bei MSC Software.

Die R&D 100 Awards würdigen die besten 100 technologisch innovativen Produkte, die im vergangenen Jahr in den Markt eingeführt wurden. Die Finalisten wurden von einem unabhängigen Gremium aus über 70 Preisrichtern ausgewählt. Viele der diesjährigen Finalisten kommen aus führenden Industrieorganisationen und nationalen Forschungseinrichtungen, aber viele sind auch zum ersten Mal bei den R&D 100 Awards dabei. Die R&D 100 Awards werden oft als "Oscar der Erfindungen" bezeichnet.

Neue Materialmodelle in Marc 2016

MSC Software gab die Veröffentlichung der neuen Marc-Version 2016 bekannt. Auf die nichtlineare und multidisziplinäre Analyse mit Marc vertrauen Hersteller von hochentwickelten Produkten - Fahrzeugteilen aus Gummi, medizintechnischen Geräten, bis hin zu Unterhaltungselektronik und Faserverbundkomponenten in der Luft- und Raumfahrt. Bei der genauen Simulation komplexen Materialverhaltens kommt es nicht nur auf das gewählte Materialgesetz an, sondern auch auf die Tests am Prüfstand, welche die nötigen Eingabedaten liefern. Marc 2016 bringt vielfältige Möglichkeiten zur Materialmodellierung, unterstützt die Kurvenanpassung (Data Fitting) für zusätzliche Materialmodelle und ist produktiver z.B. durch Erweiterungen bei der Geometrieassozii-

alität in Mentat.

Highlights dieser Version:

Neue Materialmodelle für die Fertigungssimulation

- Mit einem guten Verständnis der Phasenumwandlung von Materialien können Fertigungsprozesse wie Schweißen, Gießen, Schmieden und Wärmebehandlung optimiert werden. Fertigungsingenieure können mit Marc 2016 bis zu 5 Phasen modellieren und Vorhersagen für Härte, Festigkeit, Verteilung der Eigenspannungen und resultierenden Verzug treffen.

- Es gibt fünf neue Methoden, die Fließspannung als Funktion von plastischer Dehnung, Formänderungsgeschwindigkeit, Temperatur und Benutzerparametern zu definieren. Dadurch wird der Anwender flexibler bei der Auswahl von Plastizitätsmodellen, besonders bei der Simulation von Fertigungsprozessen.

- Das Johnson-Cook-Versagensmodell verwenden Ingenieure häufig, um fortgesetzte Schädigung in Metallen bei hohen Temperaturen und Formänderungsgeschwindigkeiten abzubilden. Mit diesem Modell, das in Marc 2016 verfügbar ist, können auch Rissbildung oder Bruch von Metallen bei Verfahren wie dem Nieten vorhergesagt werden.

Kurvenanpassung für neue Materialmodelle zur Beschreibung hochentwickelter Elastomere

- Zur Materialcharakterisierung müssen spezielle Parameter aus den Testdaten hergeleitet werden, was für komplexe Modelle eine mühsame Aufgabe sein kann. In Marc 2016 wird die Kurvenanpassung für kürzlich eingeführte Elastomermodelle unterstützt, dazu gehören Bergström-Boyce, Payne und thermorheologisch einfache viskoelastische Materialien. Ingenieure aus Fahrzeugbau, Luft- und Raumfahrt, Maschinenbau sowie Öl- und Gasindustrie, die mit Elastomeren arbeiten, sparen nun Zeit und Aufwand beim Koppeln der Testdaten mit der Analyse.

Kontakterweiterungen für höhere Genauigkeit und Rechengeschwindigkeit

- Die Definition von Kontakten ist in Marc von jeher einfach, al-

lerdings hängen die vom Solver gefundenen Kontaktbereiche bei der traditionellen Knoten-Segment-Methode von der Reihenfolge der Kontaktkörper ab. Durch eine neue Funktionalität in der Segment-Segment-Kontaktmethode wählt das Programm automatisch die beste Reihenfolge, so dass der Anwender komplexe Kontaktprobleme schneller aufsetzen und lösen kann. Die Parallelprozessing-Technologie unterstützt jetzt auch die Segment-Segment-Kontaktmethode, wodurch Kontaktberechnungen auf einem System mit 4 Kernen doppelt so schnell laufen und die Produktivität gesteigert wird.

Erweiterte Methoden für die lokale adaptive Vernetzung verbessern die Genauigkeit

• Die lokale adaptive Vernetzung wird häufig verwendet, um Bereiche mit hohen Gradienten genauer abzubilden, indem das Netz in diesen Bereichen während der Rechnung

verfeinert wird. Die adaptive Vernetzung nach Kontaktkriterium wurde weiterentwickelt, um zusätzliche Flexibilität zu bieten und zwecks höherer Rechengeschwindigkeit weniger unnötige Verfeinerungen durchzuführen.

Verbesserungen der Benutzeroberfläche für mehr Bedienkomfort und Effizienz

• Mentat, die Benutzeroberfläche von Marc, enthält neue mobile Icons, um häufig benötigte Funktionen ergonomischer zugänglich zu machen.

• Die Geometrieassoziativität gilt jetzt auch für Material, geometrische Eigenschaften und Kontakt. Also besteht nun vollständige Assoziativität zwischen dem CAD-Modell und dem Finite-Elemente-Netz. Die Assoziation bleibt erhalten, wenn sich das CAD-Modell durch Boole'sche Operationen (Vereinigen, Abziehen) oder Geometriebearbeitungen wie das Anbringen von Verrundungen oder Fasen ändert.

• In Mentat 2016 ist es möglich, einen Abdruck der Geometrie von einem oder mehreren Objekten auf einem anderen Solid zu machen. Dadurch wird das Netz auf den beiden Solids kongruent, und die Ergebnisse in diesem Bereich haben bessere Qualität.

MSC Adams 2017

MSC Software gab die Veröffentlichung der neuesten Version von MSC Adams 2017 bekannt. MSC Adams 2017 weitet seine wegweisende Lösung für die Mehrkörpersimulation aus und bietet noch höhere Rechengeschwindigkeit. Die Version ist ab Dezember 2016 verfügbar.

Highlights dieser Version:

• Erweiterte 3D-Kontaktmethode für Zahnräder
Zahnradpaare werden in Adams/Machinery Gear bisher als starre Körper mit einem Nachgiebigkeitswert dazwischen modelliert. In Adams 2017



LS-DYNA – Ein Code für viele Anwendungen

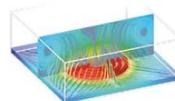
- Explizite und implizite Strukturberechnungen
- Thermo-mechanisch gekoppelte Simulationen
- Inkompressible Fluide und FSI
- Kompressible Fluide und FSI
- Elektromagnetismus
- Frequency Domain Analysen
- Partikelmethoden



Bild: Daimler AG



THUMS™



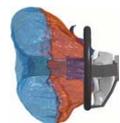
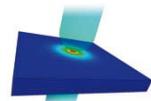
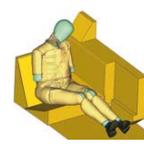
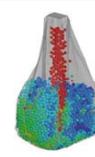


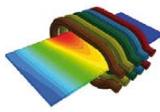
Bild: Daimler AG











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

präsentiert das Adams-Team mit der Advanced 3D Contact Methode flexible Zähne. Anwender können die Geometrie und Materialeigenschaften der Zahnräder definieren, daraus wird ein Finite-Elemente (FEM)-Modell erzeugt und im Hintergrund berechnet, welches die Nachgiebigkeit der Zähne abbildet. Die Benutzerführung ist intuitiv und erfordert keine Nastran-Kenntnisse, da die Vernetzung und Berechnung vollständig automatisiert sind.

„Die erweiterte 3D-Kontaktmethode für Zahnräder ist ein großartiges Werkzeug für die Entwicklung unserer Antriebskomponenten. Als Hersteller von Antriebsachsen für die Schwerlast-LKW-Industrie schauen wir immer, wie wir die Leistung und Lebensdauer unserer Produkte verbessern können. Die neueste Entwicklung für die Zahnradberechnung in Adams ist genau was wir gesucht haben!“ – Dr. Ragnar Ledesma, PE, Chefsingenieur, Abteilung für mechanische Berechnung bei Meritor

- Python-Skripting für die Modellierung

Durch Skripting können Ingenieure ihre Simulationsprozesse automatisieren, z.B. Modellierung und Postprocessing. Beginnend mit dieser Version werden über mehrere Versionen hinweg Python-Skripting-Möglichkeiten eingeführt, die eine Alternative zur Adams View Kommandosprache (cmd) bieten. In dieser Version kann zum ersten Mal natives Python verwendet werden, um Befehle an das Adams-Benutzerinterface zu übergeben. In dieser ersten Phase werden die meisten Modellierungsaktionen in Adams View abgedeckt.

- FE Part - Verbesserungen

FE Part ist die direkt in Adams eingebaute nichtlineare Technologie, mit der Anwender große Verformungen von Komponenten wie Balken und Seilen abbilden können. In Adams 2017 gibt es einige Erweiterungen, die sowohl die Rechengeschwindigkeit als auch die Benutzerfreundlichkeit des nichtlinearen Balkenelementes verbessern:

- FE Part

- o Knotenposition – Mit den neuen Parameteroptionen für Knoten können Anwender Kurvenkontrollpunk-

ten folgen. Auch das voreingestellte und vorhergegangene Verhalten des Abstandswertes „S“ wird berücksichtigt.

- FE Part Unterstützung

- o Die neue erweiterte Unterstützung, für mehrfache & einzelne große FE Parts, speziell für Multithreading (SMP), beschleunigt den Prozess für die 2-8 Threads bis zu 3fach. Dadurch wird der Ablauf für den Anwender effizienter.

- FE Part Erzeugung

- o In dieser neuesten Version wurde das Erzeugen von FE Parts 10-100fach beschleunigt, auch für Modelle mit vielen FE Parts. Dadurch reduziert sich die Rechenzeit für das Erzeugen von FE Parts drastisch. Es kann interaktiv oder beim cmd-Import durchgeführt werden, was einen sehr robusten Entwicklungsprozess ermöglicht.

- FMI-Modellimport

Adams Controls unterstützte bisher die Kopplung mit Programmen, die den Functional Mockup Interface (FMI) Standard einhalten, über Co-Simulation. Seit dieser Version unterstützt Adams Controls nun auch die Kopplung über Modellaustausch / Modellimport. Diese Möglichkeit ist für alle Programme verfügbar, die den FMI-Standard für Modellaustausch unterstützen.

www.mssoftware.com

SIEMENS PLM SOFTWARE

Siemens kauft Mentor Graphics

Siemens erweitert sein Portfolio für Industriesoftware weiter und treibt die Umsetzung der Vision 2020 weiter voran. Der Konzern kündigte die Übernahme von Mentor Graphics, einem Anbieter von Designautomatisierungs- und Industriesoftware, an. Siemens und Mentor Graphics haben eine Vereinbarung zur Übernahme von Mentor durch Siemens unterzeichnet.

Trumpf und Siemens treiben die Industrialisierung der additiven Fertigung voran

Der Lasersystemhersteller Trumpf und der führende Technologie-

konzern Siemens haben auf der Fachmesse Formnext in Frankfurt eine gemeinsame Partnerschaft bekannt gegeben. Ziel ist es, das Laserschmelzverfahren Laser Metal Fusion (LMF) zu industrialisieren und somit die additive Fertigung von Metallteilen fest im Produktionsprozess zu verankern. Die beiden Unternehmen bündeln ihre Kompetenzen und arbeiten gemeinsam an einer Softwarelösung für die Datenvorbereitung von Teilen für den 3D-Druck. Damit soll der Prozess für das pulverbettbasierte LMF-Verfahren für 3D-Drucker von Trumpf vereinfacht und in die Software NX von Siemens integriert werden. Die umfassende Lösung reicht von der Entwicklung und Konstruktion bis hin zur Datenvorbereitung von Bauteilen für den 3D-Druck mittels des integrierten Trumpf Build-Prozessors.

„Mit unserer gemeinsamen Softwarelösung bieten wir Kunden durch eine intelligente Prozesskette eine durchweg hohe Prozesssicherheit“, erläutert Tony Hemmelgarn, President und CEO von Siemens PLM Software. „Da die Tools für die Entwicklung, Simulation, den 3D-Druck und die NC-Programmierung für Metallteile in einem System zusammengefasst sind, wird keine Datenkonvertierung nötig sein.“

„Das sind ganz entscheidende Faktoren für die industrielle Anwendung der additiven Fertigung“, ergänzt Peter Leibinger, Vorsitzender der Trumpf Laser- und Systemtechnik GmbH. „Das Ergebnis unserer Partnerschaft ist ein optimales Zusammenspiel zwischen Maschine und Software, damit Kunden von AM-optimierten Designs und der additiven Fertigung profitieren.“

Einheitlicher Workflow von der Entwicklung bis zum fertigen Teil

Die Lösung vereint die kürzlich angekündigte NX-Software-Technologie für die additive Fertigung mit dem Trumpf Build-Prozessor und wird mit Trumpf TruPrint LMF-Druckern angeboten. Die neue Software bietet eine einheitliche Benutzeroberfläche für sämtliche Abläufe der additiven Fertigung. Sie deckt die gesamte digitale Prozesskette in einer einzigen, integrierten, assoziativen Softwareumgebung

ab. Für die Bauteilentwicklung und Datenvorbereitung sind keine Einzelanwendungen mehr notwendig. Das neue Softwarepaket TruTops Print mit NX vereint alle benötigten Funktionen in einer Lösung für die additive Fertigung von Teilen im Laserschmelzverfahren mit Trumpf Drucksystemen.

Siemens revolutioniert Produktentwicklung mit durchgängiger Lösung für additive Fertigung

Siemens PLM Software stellt eine neue, umfassende Lösung für die additive Fertigung vor. Sie erschließt das volle Potenzial der beginnenden Revolution dieser Fertigungsmethode. Die neue Lösung wird ab Januar 2017 erhältlich sein und besteht aus integrierter Software für Konstruktion, Simulation, digitale Fertigung sowie Daten- und Prozessmanagement. Mit dem Angebot können Unternehmen die Vorteile aktueller Technologie für additive Fertigung beziehungsweise 3D-Druck nutzen. Bei der neuen Lösung kommen über alle Phasen hinweg intelligente Produktmodelle zum Einsatz, ohne Daten zwischen Prozessen und Anwendungen konvertieren oder übersetzen zu müssen. Dadurch ist es möglich, ein Generative Design automatisiert zu erstellen, und zwar auf Basis neuer Funktionen für optimierte Topologien. So entstehen häufig organische Formen, auf die ein Konstrukteur von sich aus kaum käme und die mit herkömmlichen Fertigungsmethoden nur sehr kompliziert oder gar nicht zu fertigen wären. Diese Technologie in Kombination mit der neuen Software für additive Fertigung von Siemens könnte Unternehmen in die Lage versetzen, die Produktgestaltung völlig neu zu definieren und dadurch optimale Performance bei geringeren Kosten zu erreichen. Darüber hinaus könnte durch 3D-gedruckte, formoptimierte Bauteile die Anzahl der Teile in einer Baugruppe sinken. Das sorgt für geringeres Gewicht bei höherer Festigkeit. Im Endeffekt ergibt sich dadurch enormer Mehrwert für Branchen wie den Automobilbau, die Luftfahrtindustrie oder die Medizintechnik.

„Siemens PLM Software erweitert die Grenzen der additiven Fertigung mit Lösungen, die funktionsoptimierte Geometrie ermöglichen. Mit herkömmlichen Methoden für Konstruktion und Fertigung wäre das nicht vorstellbar“, sagt Dr. Ken Versprille, Executive Consultant bei CIMdata. „Bislang unlösbare Aufgaben bei Konstruktion und Fertigung sind mit diesen neuen Software- und Produktionstechnologien jetzt machbar. Siemens PLM Software hat eine Vision, wie diese Technologie durchgängig zusammenpasst und setzt sie um. Das bringt die Branche weiter.“

Konstrukteure entwickeln Bauteile aufgrund ihrer Ausbildung mit herkömmlichen Produktionstechnologien im Hinterkopf. Das schränkt Kreativität und Innovationsgeist ein. Heute werden Teile in der Fertigung noch gestanzt, tiefgezogen, gegossen oder maschinell hergestellt. Mit einer völlig neuen Art, Teile zu konstruieren und zu fertigen, hilft Siemens Ingenieuren und Konstrukteuren dabei, eine neue Generation von Produkten ganz neu zu denken. Unternehmen können einzigartige, leistungsfähigere Konstruktionen mit deutlich besserem Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht erstellen. Mit hochentwickelten, integrierten Technologien für Simulation und Analyse lässt sich das Verhalten der Konstruktion vorausberechnen. Diese neue Technologie mit ihrem hohen Veränderungspotential wird innovative Konstruktionsansätze fördern.

„Um die additive Fertigung zu einem echten industriellen Herstellungsprozess zu machen, brauchen Produzenten eine nahtlose digitale Integration, die Konstruktion, Produktion und Automation umfasst. Dazu gehören auch die Kontrolle und Überwachung der Maschinenleistung“, sagt Joachim Hoedtke, CEO der Hoedtke GmbH & Co. KG. Das Unternehmen treibt Innovationen bei der additiven Fertigung voran und ist Kunde von Siemens. „Siemens verbindet zahlreiche Software-Tools mit neuen Technologien, die auf additive Fertigung ausgerichtet sind und hilft Firmen so, dieses Ziel zu erreichen.“ Die neue Lösung für additive Ferti-

gung umfasst die Software NX™ von Siemens für integriertes Computer-Aided Design, Manufacturing und Engineering (CAD/CAM/CAE), das neu vorgestellte Simcenter™-Portfolio, ein stabiles Paket an Simulationssoftware und Testlösungen, das weltweit am häufigsten eingesetzte System für digitales Lifecycle-Management Teamcenter® sowie SIMATIC IT Unified Architecture Discrete Manufacturing und SIMATIC WinCC. Beide gehören zum Manufacturing Operations Management (MOM)-Portfolio von Siemens für Produktionsausführung und automatisierte Fertigung.

Zu den neuen Technologien, die in die Lösung eingeflossen sind, gehören auch Convergent Modeling und Topologieoptimierung. Beide Technologien ermöglichen automatisierte Konstruktionen bestehend auf dem Generative Design-Ansatz. Convergent Modeling wurde zusammen mit der aktuellen Version von NX angekündigt. Dabei handelt es sich um die erste Technologie ihrer Art. Ingenieure können damit Bauteilkonstruktionen optimal an den 3D-Druck anpassen und den gesamten Konstruktionsprozess beschleunigen. Mit einer Scan-to-Print Funktion wird Reverse Engineering noch effizienter. Dieses neue Modellierparadigma vereinfacht die Arbeit mit Geometrien deutlich, die aus einer Kombination von Facetten, Flächen und Volumenkörpern bestehen. Zeitaufwändiges Konvertieren von Daten entfällt. Die zweite neue Technologie ist die Topologieoptimierung. Damit sind Berechner in der Lage, den iterativen Prozess beim Konstruieren und Optimieren von Bauteilen für Multiphysik-Anwendungen zu automatisieren. Das umfasst Vibration, Strömungsdynamik und Wärmeübertragung. Die integrierten Funktionen für Simulation und Predictive Engineering machen es einfacher, die Konstruktion auf ihre Produzierbarkeit zu prüfen. Dadurch steigt das nötige Vertrauen, um Konstruktionen für die additive Fertigung weiterzuentwickeln.

Zusätzlich zu diesen Technologien stellt Siemens auch eine neue Lösung zum Vorbereiten von 3D-Drucken für Kunststoff- und Metallteile

vor. Sie verwendet dieselben intelligenten Produktmodelle, die schon in der Konstruktions- und Simulationsphase zum Einsatz kommen, um Änderungen an der Konstruktion zu automatisieren und den gesamten Prozess schlanker zu gestalten. Die neue Lösung unterstützt Operatoren beim Vorbereiten von Teilen für Pulverbett- und Multi-Jet Modeling-Verfahren. Für Metallteile aus dem 3D-Drucker bietet NX Möglichkeiten, Teile für das Laserauftragsschweißen und die NC-Programmierung vorzubereiten. Dazu gehört auch die Simulation hybrider additiver Maschinenwerkzeuge, die Metallauftrag und abtragende Verfahren in einer Maschine vereinen. Für extrudierte Werkstoffe, wie etwa Kunststoffe oder kohlefaserverstärktes Nylon, wurde eine neue Technologie für das Programmieren von robotergestütztem, mehrachsigen Auftragsschmelzen entwickelt. Sie wird derzeit in der Praxis erprobt. Nachdem die Teile gedruckt sind kommt wieder das NX-System für NC-Vorgänge nach dem Druck zum Einsatz. Dazu gehört, die Entfernung von Hilfsstrukturen intuitiv zu programmieren, Präzisionsoberflächen maschinell zu erzeugen und andere Verarbeitung- und Inspektionsvorgänge. „Das ist nur der Anfang einer neuen Generation von Produktionsfunktionen. Siemens konzentriert sich darauf, Software-Technologie für einen optimierten, durchgängigen Prozess bereitzustellen. Werkzeuge wie Convergent Modeling, Topologieoptimierung und 3D-Druckvorbereitung wurden entwickelt, um die additive Fertigung auf ein industrielles Level zu heben“, sagt Tony Hemmelgarn, President und CEO von Siemens PLM Software. „Siemens wird auch weiterhin in Innovation investieren und mit Technologiepartnern zusammenarbeiten, um neue Lösungen zu entwickeln, die für Fortschritte bei der additiven Fertigung sorgen und den 3D-Druck in der Teileproduktion Wirklichkeit werden lassen.“

www.siemens.com/plm

SCHNEIDER DIGITAL

3D PluraView

Wer bislang in seinem beruflichen Umfeld in der GEO-Informatik oder der Molekülforschung professionelle hochauflösende 3D-Stereo-Visualisierungen benötigte, kennt die Monitor-Serie mit der Beamsplitter-Technologie von Planar. Schneider Digital, der Spezialist für 3D-Stereo-, Virtual-Reality- (VR/AR), 4K- und High-End-Hardware, bringt mit dem weiterentwickelten, revolutionären 3D PluraView ein passives 3D-Stereo-Display als Nachfolger der eingestellten Planar-Serie auf den Markt.

www.3d-pluraview.com

SIMUFACT

Simufact Welding 6: Schweißen großer und komplexer Baugruppen

Mit Simufact Welding 6 bringt Simufact eine weiterentwickelte Version seiner Schweißsimulationslösung auf den Markt. Zu den wichtigsten Neuerungen der Simulationssoftware gehören zusätzliche vereinfachte Berechnungsmethoden, mit deren Hilfe thermische und thermisch-mechanische Schweißprozesse wesentlich schneller berechnet werden können. Damit ebnet die Software den Weg für eine Berechnung langer Schweißnähte, multipler Schweißpunkte und großer, komplexer Baugruppen innerhalb praxisnaher Simulationszeiten. Die kontinuierliche Weiterentwicklung des Solvers, der „Berechnungskern“ der Software, beschert den Anwendern von Simufact Welding 6 erheblich kürzere Simulationszeiten und legt auch hinsichtlich der Rechenstabilität weiter zu. Zusätzlich deckt die neue Version ein breiteres Anwendungsspektrum für die Simulation von Fügeverfahren ab: Simufact Welding unterscheidet nun die Verfahren Elektronenstrahl- und Laserstrahlschweißen und deckt über die bereits bekannten Prozesstypen Lichtbogen- und Widerstandspunktschweißen auch die Prozesse Löten und Spannungsarmglühen ab.

www.simufact.de

TECOSIM

Tecosim auf der Simvec 2016: Schnellere Simulation, mehr Fahrkomfort, weniger Gewicht

Mehr Fahrkomfort durch weniger Geräusche, die Verknüpfung von Leichtbau und Sicherheitsanforderungen sowie die modernen Entwicklungsprozesse TEC|Bench und TEC|Concept standen im Mittelpunkt des Tecosim-Auftritts auf dem diesjährigen VDI-Fachkongress Simvec. In einem Fachvortrag informierte das Unternehmen über ein aktuelles NVH-Gesamtfahrzeugprojekt. Dabei sollte die Prognosegenauigkeit von FE-Analysen für die Geräuschentwicklung verbessert werden. Da die Reifen mit ihren Feder- und Dämpfungseigenschaften das Fahrzeug tragen und so das Schwingungsverhalten maßgeblich beeinflussen, setzten die CAE-Spezialisten bei der Optimierung hier an. So konnten die Schwingungen des Reifens in der weiteren Entwicklung detaillierter abgebildet werden.

In der Fachausstellung zeigte Tecosim zusätzlich die Ergebnisse einer aktuellen CAE-Validationsstudie zum Einsatz eines neuen Plexiglas-Typen als Fahrzeugscheibe. Die Scheibe ist rund 50 Prozent leichter als vergleichbare Scheiben aus herkömmlichen Mineralglas. Im Auftrag von Evonik stellten die CAE-Experten die Einsatzmöglichkeiten mit Blick auf mögliche Crash-Szenarien dar. Weiterer Kooperationspartner war das Institut für Mechanik und Materialforschung (IMM) der Technischen Hochschule Mittelhessen. Mit den eigenentwickelten Produkten TEC|Concept und TEC|Bench präsentierte Tecosim zusätzlich zwei zukunftsorientierte virtuelle Entwicklungsprozesse. Mit TEC|Concept lassen sich komplexe und vielfältige Anforderungen wie Qualität, Gewicht, Steifigkeit, fertigungstechnische Machbarkeit, Strukturintegrität sowie Kosten in der frühen Konzeptphase der virtuellen Entwicklung vereinfachen bzw. reduzieren. Ein Kernelement ist eine bessere und schnellere Nutzung der Verknüpfungen von FEM-, CAD- sowie CAE-Daten. Die Methode bringt einen technologischen Vorsprung

bei gleichzeitigen Zeit- und Kostenersparungen.

TEC|Bench ist ein virtueller Benchmark-Prozess und stellt aus Hardware gewonnene Informationen direkt in der gewünschten virtuellen Entwicklungsumgebung als CAE-Modell bereit. „TEC|Bench repräsentiert unser Verständnis von Reverse Engineering und ermöglicht Herstellern, Zulieferern und anderen einen gezielten Einblick über den gewählten Einsatz von neuen Materialien und Techniken sowie deren Auswirkungen.“, so Martin Westerwald, Geschäftsführer bei Tecosim. Vor dem Hintergrund der steigenden Komplexität in der Material- und Fahrzeugentwicklung bei gleichzeitig sinkenden Entwicklungszeiträumen verweist das Unternehmen auf eine wachsende Nachfrage nach dieser Entwicklungslösung. Darauf reagiert Tecosim und präsentierte auf dem Kongress sein Portfolio an schnell verfügbaren und kostenoptimierten TEC|Bench-Bestandmodellen.

Auf der Simvec informierten sich knapp 400 Experten aus der Fahrzeugentwicklung über aktuelle Trends in den Bereichen Simulation und Erprobung in der Fahrzeugentwicklung. Der VDI-Kongress fand am 22. und 23. November in Baden-Baden statt. Unter dem Motto „25 Jahre CAE-Pionier“ stellte Tecosim sein Leistungsportfolio in der Struktur-, Mehrkörper-, Strömungs- und Systemsimulation vor und läutete gleichzeitig sein Firmenjubiläum ein.

www.tecosim.com

TESIS DYNWARE

„sim2gether: Plattform für interdisziplinäre Fahrzeugsimulation“

Startschuss für interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Systemsimulation: Tesis DYNAware startet gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik und dem Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen der TU München (TUM) das vom

Freistaat Bayern geförderte Forschungs- und Entwicklungsprojekt sim2gether. Das Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer Kollaborationsplattform für den Austausch und die übergreifende Nutzung von Simulationsmodellen zur Eigenschaftsentwicklung und -absicherung von Fahrzeugen, sowohl im universitären Umfeld als auch durch die Automobilindustrie. „Mit dem Projekt sim2gether haben wir die Chance, eine völlig neue Art der Zusammenarbeit in der eigenschaftsorientierten Systemsimulation zu schaffen. In Anbetracht der zunehmenden und disziplinübergreifenden Vernetzung von Fahrzeugfunktionen sehe ich dies als notwendigen Schritt zur Steigerung der Effizienz in der Entwicklung“, so Maximilian Chucholowski, Geschäftsführer der Tesis DYNAware. Auch für Prof. Markus Lienkamp (Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik) und Prof. Georg Wachtmeister (Lehrstuhl für Verbrennungskraftmaschinen) liegen die Vorteile auf der Hand: „Mit dem Projekt wird es gelingen, Simulationsmodelle gemeinsam zu nutzen und wiederverwendbar zu gestalten.“

www.thesis.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.

Star Global Conference

06.-08.03. Berlin, D www.star-global-conference.com Siemens

NAFEMS Seminar: Virtual and Real:

Wie Simulation helfen kann, additive Fertigungsmaschinen leistungsfähiger und zuverlässiger zu machen

13.-14.03. Wiesbaden, D www.nafems.org/am17 NAFEMS

4a Technologietag: Kunststoffe auf dem Prüfstand - Testen und Simulieren

23.-24.03. Schladming, A www.4a-engineering.at 4a engineering

Automotive CAE Grand Challenge

05.-06.04. Hanau, D www.carhs.de Carhs

Hannover Messe

24.-28.04. Hannover, D www.hannovermesse.de Messe Hannover

Ansys Conference & 11. Cadfem Austria Users' Meeting

27.-28.04. Linz, A www.usersmeeting.at Ansys/Cadfem

Europäische LS-Dyna Konferenz

09.-11.05. Salzburg, A www.dynamore.de/conf2017 DYNAMore

Permas Anwendertreffen

11.05. Stuttgart, D www.intes.de Intes

Int. Femfat User Meeting

10.-12.05. Steyr, A www.magna.com Magna

Symposium für Smarte Strukturen und Systeme – 4Smarts

21.-22.06. Braunschweig <http://4smarts2017.inventum.de/home/> DLR u.a.

NAFEMS World Congress & Int. SPDM Conference 2017

11.-14.06. Stockholm, S www.nafems.org/congress NAFEMS



Europäische Altair Technology Conference

26.-28.06. Frankenthal, D www.altairatc.com/europe Altair

GSVF - Graz Symposium Virtual Vehicle

27.-28.06. Graz, A www.gsvf.at VIF

Int. Conference on Low Cycle Fatigue (LCF8)

27.-29.06. Dresden, D www.lcf8.de DVM

Schulungen Q1/2 2017

NAFEMS Schulung: Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation

tba - Q1/2 Wiesbaden, D www.nafems.org/events NAFEMS

NAFEMS Schulung: CFD Analysis: Theory and Applications

tba - Q1/2 Wiesbaden, D www.nafems.org/events NAFEMS

NAFEMS Schulung: Simulation und Analyse von Composites

tba - Q1/2 Wiesbaden, D www.nafems.org/events NAFEMS

NAFEMS Schulung: Non-Linear Finite Element Analysis

tba - Q1/2 München, D www.nafems.org/events NAFEMS

NAFEMS Schulung: Verification and Validation in Engineering Simulation

tba - Q1/2 Wiesbaden, D www.nafems.org/events NAFEMS

Weitere Veranstaltungen: www.nafems.org/events

Simulation von Stick-Slip-Effekten an einer hydraulischen Drehkupplung für Radaranlagen

Michel Egloff (Hochschule für Technik Rapperswil)
Dr. Yasar Deger (Hochschule für Technik Rapperswil)

Der Stick-Slip-Effekt ist ein dynamischer Effekt, welcher durch das Zusammenspiel von Haft- und Gleitreibung zustande kommt. In den hydraulischen Drehkupplungen für Radaranlagen führt dieser Effekt zu hohem Verschleiß und zu vorzeitigem Ausfall der Anlagen.

In einer Studienarbeit an der Hochschule für Technik in Rapperswil wurden Modelle entwickelt, um diesen Effekt zu simulieren und somit ein Werkzeug zur Untersuchung, Optimierung und Weiterentwicklung der Drehkupplungen zu schaffen. Für die Modellierung veränderlicher Reibungsverhältnisse wurde ein Ansatz gewählt, welcher eine einfache Eingabe von gemessenen Reibungsparametern ins Simulationsmodell erlaubt.

1 Grundlage und Einleitung

Die Schweizer Firma RUAG DEFENCE setzt bei bestehenden Radaranlagen zur Luftüberwachung eine hydraulische Drehkupplung (hydraulic rotation joint - kurz HRJ) ein, welche zur Leitung eines Kühlmediums durch rotierende Komponenten dient. Dieses aus Wasser und Glykol bestehende Medium wird zur Kühlung der Leistungselektronik der Radaranlage benötigt, welche einen Großteil der Systemleistung in Wärme umsetzt. Der HRJ weist im Betrieb einen Stick-Slip-Effekt auf, dessen Ursache bisher nicht eindeutig festgestellt und somit auch nicht behoben werden konnte. Im Rahmen einer Studienarbeit der Hochschule Rapperswil wurde ein Finite-Elemente-Modell mithilfe der FE-Software MSC Marc, sowie ein analytisches Modell entwickelt, welche das dynamische Verhalten der realen Anlage abbilden. Die Modelle sollen künftig dazu verwendet werden, neue konstruktive Optimierungsansätze zu entwickeln, diese zu simulieren bzw. zu evaluieren und aufgrund der Simulationsresultate optimale Entscheidungen zu treffen.

2 Problemstellung und Ausgangslage

Der HRJ führt ein Kühlmedium unter Druck durch ein rotierendes System. Die Druckdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf verursacht unterschiedliche Kräfte auf die Gleitringdichtungen (primäre Dichtungselemente) und die Trenndichtung, welche Vor- und Rücklauf voneinander trennt. Die Kräfte an den zusätzlichen Leckwasserdichtungen (Sekundärdichtungen) werden nicht vom Fluiddruck beeinflusst. Gelagert wird der HRJ durch ein Kreuzrollenlager, das die axialen Kräfte aufnimmt, welche durch die Fluiddrücke verursacht werden. Die Antriebswelle, die das Antriebsmoment von der Radaranlage auf den HRJ überträgt, wirkt im System als Torsionsfeder. Die Antriebswelle kann konstruktionsbedingt geometrisch nicht verändert werden.

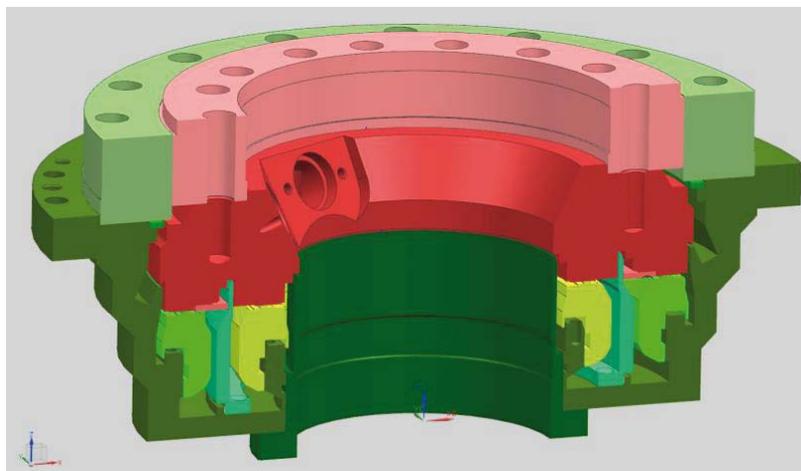


Abb. 1: Schnittansicht HRJ der Firma RUAG

3 Reibungssysteme und Stick-Slip-Effekt

Der Stick-Slip-Effekt ist eine Nichtlinearität, welche grundsätzlich auf unterschiedliche Reibungskräfte in Haft- und Gleitphasen zurück zu führen ist. In der Haftphase ist die Reibung zwischen zwei Festkörper höher als in der Gleitphase. Diese Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibkraft führt direkt zu einem zeitabhängigen Bremsmoment, welches auf das gesamte dynamische System wirkt. Dieser Effekt kann in der Praxis oftmals bei Pneumatikzylinder oder an Scheibenwischer beobachtet werden.

Die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit haben gezeigt, dass sich das System bis zu einer gewissen kritischen Antriebskreisfrequenz als tatsächliches „Stick-Slip-System“ verhält. Damit ist gemeint, dass die Geschwindigkeit des Gleitelements während einer kurzen Zeit null beträgt und sich auch nicht verändert. Der Körper steht während kurzer Zeit still. Wird jedoch die Antriebsfrequenz erhöht, wirken die geschwindigkeitsabhängigen Reibungskräfte als Anregung der Eigenfrequenz. Das System schwingt, falls die vorhandene Dämpfung dies nicht unterbinden kann, in seiner Eigenfrequenz.

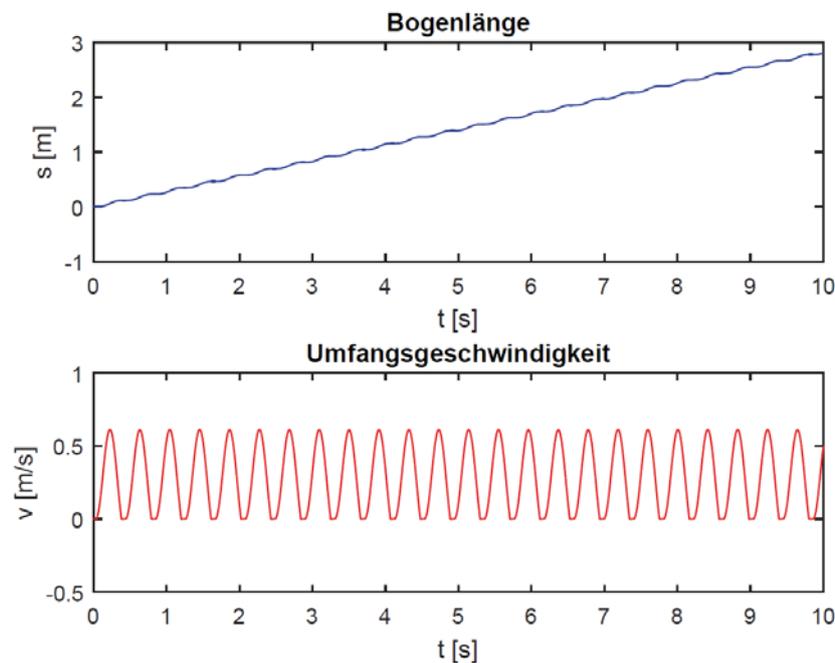


Abb. 2 Einfaches rotatives Stick-Slip-System kurz vor der kritischen Antriebsfrequenz

4 Implementiertes Reibungsmodell

Um einen Stick-Slip-Effekt in einer FE-Simulation zu berücksichtigen, muss ein geeignetes Reibungsmodell verwendet werden. Das Reibungsmodell muss in der Lage sein, aufgrund der ermittelten Haft- und Gleitreibungskoeffizienten die gleitgeschwindigkeitsabhängige Reibungskraft abzubilden. Dazu soll durch das Einführen eines weiteren Parameters, der Abklingkonstante, der geschwindigkeitsabhängige Übergang zwischen Haft- und Gleitreibung beeinflusst werden.

In MSC Marc sind bereits mehrere Reibungsmodelle implementiert, unter anderem die Reibungsmodelle *bilinear*, *arctangent* und *stickslip* [2]. Bei keinem dieser drei Modelle können jedoch die vorher beschriebenen Parameter direkt eingegeben oder das gewünschte exakte Übergangsverhalten modelliert werden. Aus diesem Grund wurde das Modell *stickslip* lediglich zur Steuerung des Vorzeichens benutzt, welches sich jeweils aufgrund der wechselnden Gleitrichtung des beweglichen Reibungspartners umkehrt (Abb. 3). Die Vorzeichenregelung per Funktion würde sich hingegen sehr aufwändig gestalten, da in MSC Marc keine Signum-Funktion verfügbar ist. Die Parameter der vordefinierten *stickslip*-Funktion werden also so gewählt, dass der Betrag der Reibungskraft nicht beeinflusst wird und somit bei veränderlicher Gleitgeschwindigkeit konstant bleibt. Um den Betrag der Reibungskraft, respektive des Reibungskoeffizienten zu beeinflussen, wurde ein exponentiell abklingender Ansatz gewählt, welcher in MSC Marc als Funktion (table) anstelle eines konstanten Reibungskoeffizienten eingefügt werden konnte.

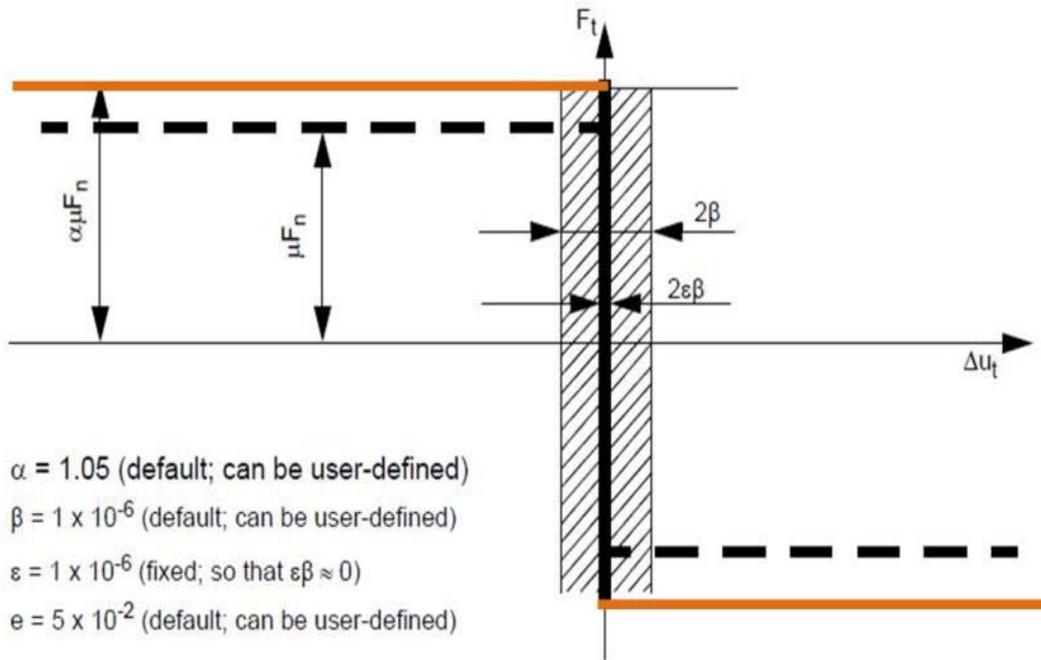


Abb. 3 stickslip Modell aus MSC Marc [2] mit angewendetem Verlauf, welcher durch geeignete Parameterwahl erreicht werden kann

In Abb. 5 ist der beschriebene Übergang eines Haftreibungskoeffizienten von 0.2 auf ein Gleitreibungskoeffizient von 0.1 mit verschiedenen Abklingkonstanten dargestellt.

$$\mu(\Delta v) = \mu_G + (\mu_H - \mu_G) * e^{-\frac{\Delta v}{T_v}}$$

- mit:
- Δv relative Gleitgeschwindigkeit
 - μ_G Gleitreibungskonstante
 - μ_H Haftreibungskonstante
 - T_v Abklingkonstante

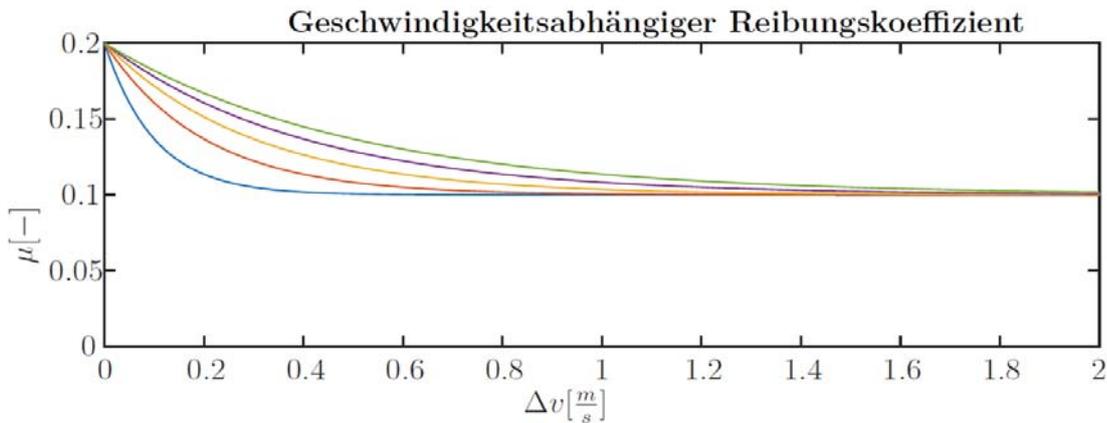


Abb. 4: Exponentiell abklingende Funktion der Reibungskoeffizienten

5 Vorstudien

Die dynamischen Effekte wurden zuerst an sehr stark vereinfachten Modellen betrachtet, welche einerseits als realer, physischer Aufbau hergestellt und andererseits auf analytischem Weg mathematisch beschrieben werden konnten. Diese Modelle wurden anschliessend in MSC Marc als FE-Modell aufgebaut und die Ergebnisse untereinander verglichen. Es zeigte sich, dass die beiden Modelle sehr gut mit der Realität übereinstimmen und sich der Stickslip-Effekt durch den gewählten Modellansatz abbilden lässt. Die Tatsache, dass gemessene Werte wie Haft- und Gleitreibungskoeffizienten direkt in die Simulation einfließen können, ermöglicht die realitätsnahe Simulation von mehreren Reibungssystemen gleichzeitig.

6 Reibungssysteme im HRJ

Da der HRJ über eine lange Stahlwelle angetrieben wird, welche im System als Torsionsfeder wirkt, führt zusammen mit der beweglichen Masse (Rotation) des HRJ's grundsätzlich zu einem schwingfähigen System. Da im HRJ mehrere verschiedene Reibsysteme wirken, welche teilweise zusätzlich durch den Fluidruck des Kühlmediums beeinflusst werden, überlagern sich die dynamischen Effekte und es entsteht eine Gesamtschwingung im System, welche sich im Betrieb durch ein „Stottern“ der gesamten Drehkupplung bemerkbar macht.

Diese Gesamtschwingung wird aufgrund der mehreren, miteinander wechselwirkenden Reibungssysteme des HRJ's, durch viele einzelne Parameter bestimmt, welche größtenteils durch Messungen und teilweise empirisch ermittelt werden mussten. Aufgrund der notwendigen Anpassbarkeit der einzelnen Reibungsmodelle im Gesamtsystem, wurde der in Abschnitt 4 beschriebene exponentiell abklingende Ansatz des Reibungskoeffizienten gewählt. Diese Funktion bietet die Möglichkeit Haft- und Gleitreibungskoeffizienten zu definieren und das Übergangverhalten anhand der Abklingkoeffizienten zu beeinflussen.

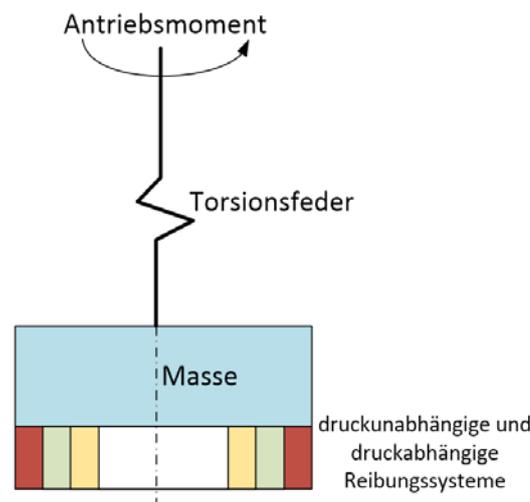


Abb. 5 Abstrahiertes Systemmodell

7 Finite Elemente Modell

Mit den Erkenntnissen aus den Vorstudien wurde der komplette HRJ als FE-Modell aufgebaut.

Das Modell besteht im Wesentlichen aus den folgenden Hauptbestandteilen:

- Rotierende Massenkörper (Rotationselement und Teile des Kreuzrollenlagers)
- Trennelement, welches den Vor- und Rücklauf über eine PTFE-Dichtung voneinander abtrennt
- Primärdichtungen – Durch Federn vorgespannte Gleitringdichtungen (Vor- und Rücklauf) bestehend aus Siliciumcarbid (SiC)
- Sekundärdichtung –Polytetrafluorethylen(PTFE)-Leckwasserdichtungen
- Kühlmittelkanalelemente, welche axial durch Federn vorgespannt und durch den Fluidruck zusätzlich belastet werden
- Kreuzrollenlager, welches durch einen konstanten und einen geschwindigkeitsabhängigen Reibungsmomentanteil modelliert wurde [3]
- Antriebswelle, welche als Torsionsstab (Drehstabfeder) modelliert wurde

Die PTFE-Leckwasserdichtungen wurden nicht als solid-Elemente modelliert, sondern lediglich deren Einfluss in Form einer Reibungskraftfunktion berücksichtigt. Dies kann so gehandhabt werden, da das Reibungssystem PTFE-Stahl identische Haft- und Gleitreibungskoeffizienten aufweisen und in diesem Bereich des Systems keine Deformationen zu erwarten sind.

Die reibungsbehafteten Kontakte zwischen den beiden Gleitringdichtungen (Primärdichtungen) wurden mit dem in Abschnitt 2 beschriebenen exponentiellen Ansatz modelliert. Für die Trenndichtung zwischen Vor- und Rücklauf wurde ebenfalls ein Kontakt eingeführt.

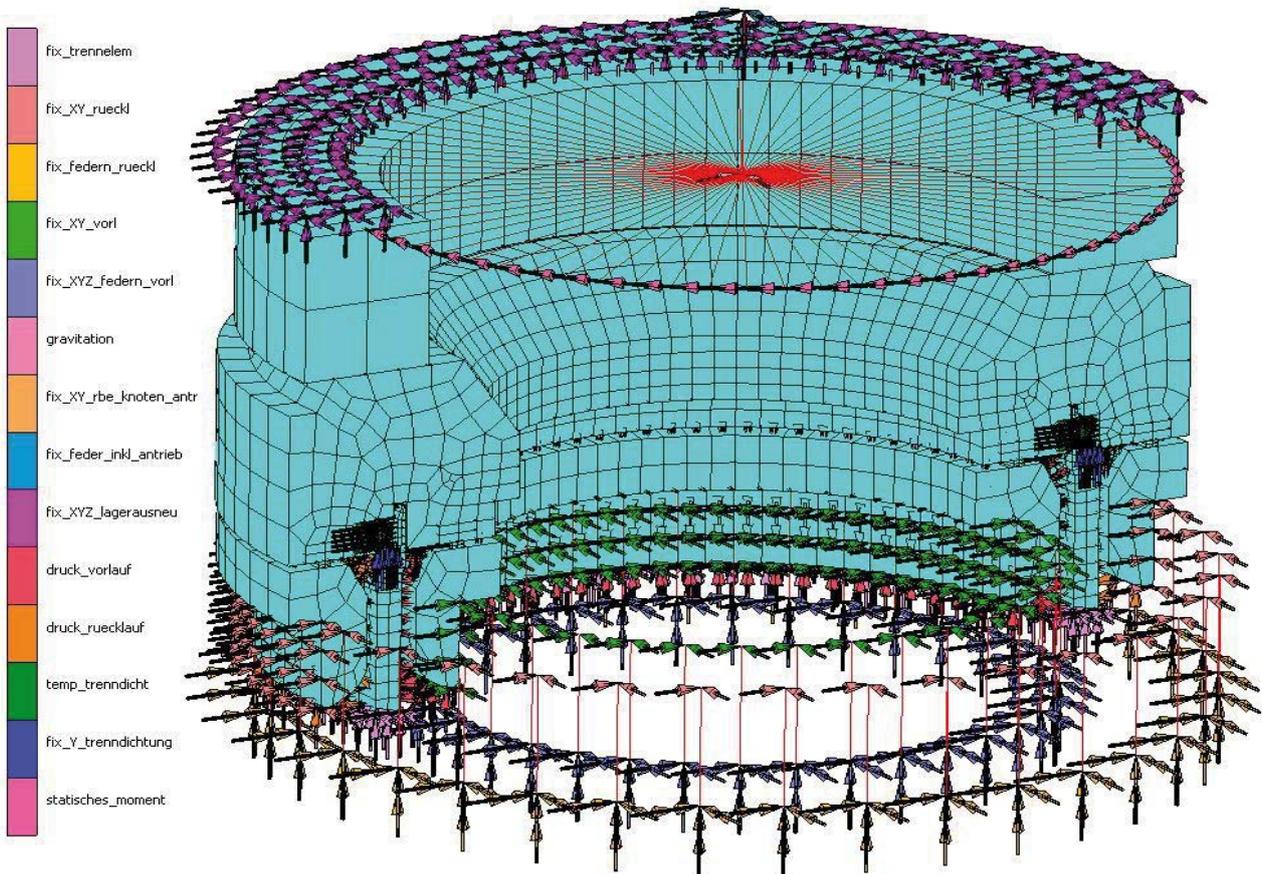


Abb. 6: FE-Modell (Schnittansicht)

In den meisten Bereichen des HRJ's (bis auf das dünne Trennelement zwischen Vor- und Rücklauf) sind die Deformationen sehr gering, da in diesen Bereichen die Struktur in Relation zu den auftretenden Lasten sehr steif ist. Aus diesem Grund konnten diese strukturell sehr steifen Bereiche mit einer groben Vernetzung aufgebaut werden, da dort die Spannungen und Dehnungen nicht von Bedeutung sind. Diese grobe Vernetzung bietet den Vorteil der Einsparung von Berechnungszeit, was bei dieser zeitaufwändigen Simulation, aufgrund der vielen Kontaktelemente in der transienten Analyse, von Vorteil ist.

8 Analytisches Modell

Zusätzlich wurde ein analytisches Modell entwickelt, welches die Resultate der FE-Simulation bestätigt und ebenfalls zu Analyse Zwecken eingesetzt werden kann. Zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens wurde eine Bewegungsgleichung aufgestellt, welche alle relevanten Einflüsse berücksichtigt. Die gleitgeschwindigkeitsabhängigen Reibungsmomente werden analog zur FE-Analyse mittels der in Abschnitt 4 erläuterten Reibungsfunktion beschrieben. Die Vorzeichenregelung wird im analytischen Modell jedoch mittels einer Signum-Funktion beschrieben.

$$M_R(\Delta v) = -sign(\Delta v) * \left(\mu_G + (\mu_H - \mu_G) * e^{-\frac{\Delta v}{T_v}} \right) * F_N * r$$

9 Wesentliche Ergebnisse

Aus dieser Arbeit sind zwei Werkzeuge zur Analyse des HRJ entstanden, welche die gleiche Aussagekraft besitzen. Mit den zwei Simulationsmodellen wurde die Grundlage zur weiteren Analyse des Systems geliefert, wobei die Modelle individuell auf eine bestimmte Betriebssituation oder Anlagenkonfiguration angepasst werden können. Sie bieten die Möglichkeit, materialtechnische (Reibungsparameter), verfahrenstechnische (Drücke, Drehzahlen, usw.) und geometrische Veränderungen am HRJ per Simulation zu testen. So entfallen in der Optimierung und Weiterentwicklung des HRJ's Iterationsschritte, wodurch Kosten eingespart werden können. Die Abweichungen vom FE-Modell zum analytischen Modell betragen weniger als 8%, dabei wurden die Stick-Slip-Frequenz, die Umfangsgeschwindigkeit und das nötige Antriebsmoment verglichen. Die simulierten Ergebnisse decken sich gut mit dem an der realen Anlage beobachteten und gemessenen Verhalten. Die Modelle können verwendet werden, um künftige Lösungsvarianten für die Eliminierung unerwünschter dynamischer Effekte zu erarbeiten, zu simulieren und zu überprüfen.

Die Simulationen zeigen, dass der Stick-Slip-Effekt maßgeblich durch die primären Gleitringdichtungen bestimmt wird. Die Stick-Slip-Frequenz liegt dabei unterhalb der ersten Eigenfrequenzen des Systems. Mit den Modellen konnte gezeigt werden, dass das Verhalten des HRJ durch verschiedene konstruktive Änderungen optimiert werden kann. Ein Beispiel dafür ist die gezielte geometrische Optimierung einzelner Bauteile, welche aktuell durch die Fluiddrücke zusätzliche Normalkräfte auf die Gleitringdichtungen verursachen.

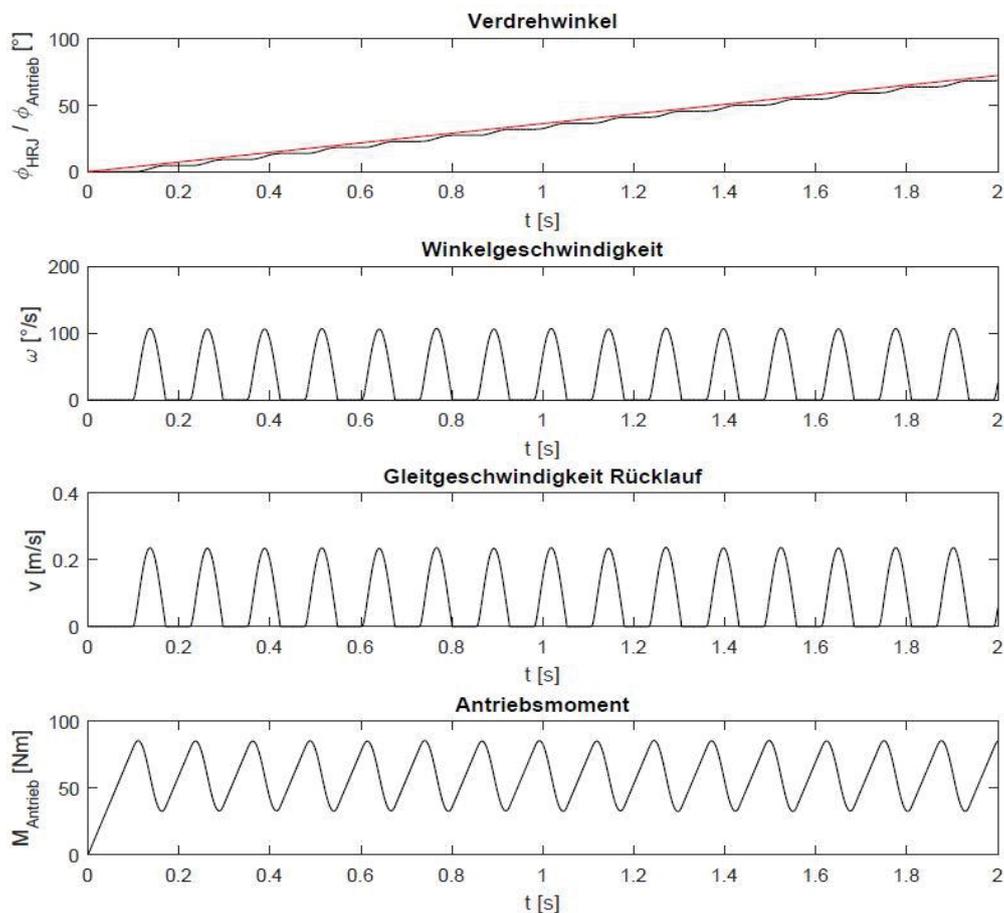


Abb. 8: Ausgabedaten einer HRJ-Simulation (Ausgangssituation)

10 Literatur

- [1] Scherf, E.: "Modellbildung und Simulation dynamischer Systeme ", 4. Auflage, 2010, 194 Seiten
- [2] MSC.Software Corporation: "MSC.Marc Volume – Theory and User Information", Version 2005
- [3] SKF: "SKF Lagerskript Reibung", http://www.boie.de/ftp/pub/skf/6000_I_DE_00_04_Friction.pdf, Version: 11 2015
- [4] Egloff, M., Deger, Y. (2016): FEM-Untersuchung von dynamischen Effekten an einer hydraulischen Drehkupplung für Radaranlagen. NAFEMS, DACH Regionalkonferenz 2016, 25.-27. April 2016, Bamberg, Deutschland.

Simulative und experimentelle Untersuchung der Steifigkeit von Epoxidklebstoff bei Schichtverbundbauteilen

David Krüger, Mahdi Mottahedi M.Sc., Dr.-Ing. Armin Lechler, Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl
Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen,
Universität Stuttgart

1. Einführung

Leichtbau hat sich inzwischen in vielen Bereichen der Industrie zu einem essentiellen Thema entwickelt. Es werden Bauteile gefordert, welche die statischen und dynamischen Anforderungen erfüllen und dabei gleichzeitig ein möglichst geringes Gewicht aufweisen. Durch die Methode der Topologieoptimierung ist es möglich, die Designtopologie eines Bauteils zu verbessern und somit ein optimales Verhältnis aus Gewicht, Steifigkeit und dynamischen Verhalten zu erzielen. Bei der Topologieoptimierung handelt es sich um ein computergestütztes Berechnungsverfahren, mit dem Optimierungspotentiale in der Bauteilgestaltung aufgedeckt werden können. Konventionelle Fertigungsverfahren besitzen die Einschränkung, dass sie keine variablen Materialdichten herstellen können. Um das volle Optimierungspotenzial der materiellen Topologieoptimierung ausnützen zu können, sind jedoch genau diese variablen Materialdichten unabkömmlich.

Als Lösungsansatz können hier die additiven (generativen) Fertigungsverfahren dienen, die nach DIN 8580 den urformenden Verfahren zuzuordnen sind. Im vorliegenden Artikel wird das additive Verfahren Laminated Object Manufacturing (LOM) zur Bauteilherstellung verwendet. Dabei werden Stahlbleche schichtweise durch Klebstoff miteinander verbunden, um die endgültige massive Bauteilgeometrie zu erhalten. Die Stahlbleche besitzen unterschiedliche geometrische Aussparungen, die an die jeweiligen Belastungen angepasst sind. Durch das Verkleben der einzelnen Stahlblechschichten entstehen Kavitäten in der Bauteilstruktur, womit eine annähernd variable Dichteverteilung erzeugt werden kann. Dadurch ist es möglich das Bauteilgewicht erheblich zu reduzieren, während der Steifigkeitsverlust im Vergleich zum Vollmaterial gering bleibt.

Um das Optimierungspotenzial von Bauteilen schon im Entwurfsstadium ausreichend bewerten zu können, sind zuverlässige Finite-Elemente-Simulationsmodelle notwendig, welche die schichtweise aufgebauten Bauteile realitätsnah abbilden können. Ziel ist es, Aussagen bezüglich der mechanischen Eigenschaften eines Bauteils treffen zu können während es sich noch in der Entwicklung befindet. Im vorliegenden Artikel werden solche Modelle aufgebaut. Die dabei benötigten Parameter des linear-elastischen Materialmodells des Epoxidklebstoffes werden mittels experimentellen Untersuchungen kalibriert sowie validiert.

2. Experimentelle Untersuchungen der Schichtverbundbauteile

Die durchgeführten experimentellen Untersuchungen lassen sich in statische und dynamische Untersuchungen unterteilen, die beide als Kragträbertest durchgeführt wurden. Hierfür wurden sechs unterschiedliche Bauteile mittels LOM-Verfahren hergestellt. Die Bauteile bestehen aus jeweils zehn Stahlblechschichten, die mit Epoxidklebstoff verbunden sind. Abb. 1 zeigt links eine Explosionsdarstellung der Stahlblechschichten des Bauteils DD01, bei der die unterschiedlichen Aussparungen der Bleche erkennbar sind. Rechts wird das fertig verklebte Bauteil DD01 dargestellt.

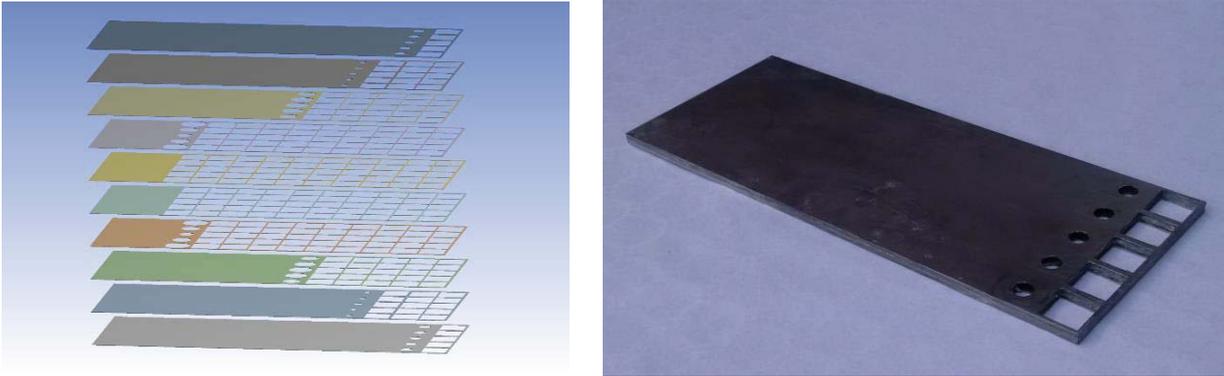


Abb. 1: Explosionsdarstellung der Metallschichten (links) und fertig verklebtes Bauteil (rechts)

Die sechs untersuchten Bauteile unterscheiden sich durch unterschiedliche Aussparungen in den Stahlblechschichten, die auf verschiedene Optimierungsalgorithmen zurückzuführen sind. Abb. 2 zeigt die unterschiedlichen geometrischen Aussparungen der Bauteile. Dabei ist jeweils die dritte Bauteilschicht dargestellt.

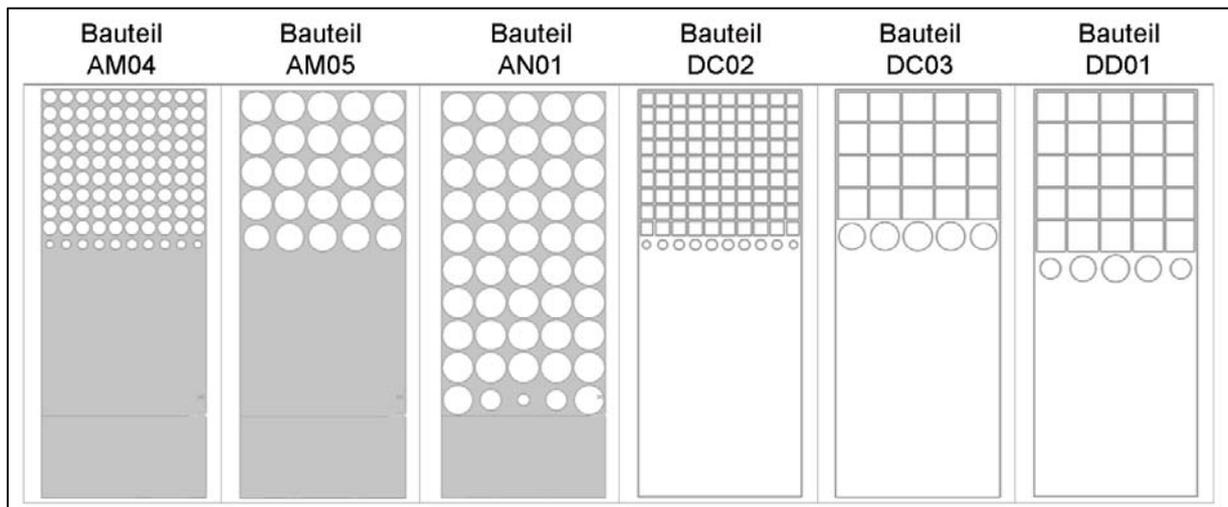


Abb. 2: Unterschiedliche Aussparungen der jeweiligen Bauteile (jeweils dritte Bauteilschicht)

Bei den statischen Untersuchungen wurden die Bauteile mit unterschiedlichen Belastungsstufen beansprucht und dabei jeweils die resultierende maximale Verformung der Bauteile gemessen. Dabei konnte ein nahezu linearer Anstieg der Verschiebung im Bezug zur Kraft festgestellt werden. Anhand der im Versuch gewonnenen Daten wurden die Bauteilsteifigkeiten für alle sechs Bauteile berechnet. Um mögliche Veränderungen der Klebstoffschicht festzustellen, wurde die statische Untersuchung nach einem Monat wiederholt. Die dabei ermittelten Bauteilsteifigkeiten waren bei allen Bauteilen höher als bei der ersten Untersuchung. Da von den Stahlblechen unter den vorliegenden Bedingungen keine Eigenschaftsveränderung zu erwarten war, wird von einer Nachvernetzung der Klebstoffschicht ausgegangen. Eine solche Nachvernetzung sorgt für eine Versprödung des Klebstoffes, während dabei gleichzeitig die Steifigkeit ansteigt. Die vom Hersteller angegebenen 24 Stunden bis zum Erreichen der endgültigen mechanischen Eigenschaften des Klebstoffes konnten somit nicht bestätigt werden.

Mithilfe einer experimentellen Modalanalyse konnten die dynamischen Eigenschaften der Bauteile ermittelt werden. Hierzu wurden die eingespannten Bauteile an sechs Punkten mit Beschleunigungssensoren versehen und mit einem Modalhammer impulsartig angeregt. Über eine Messsoftware wurden die Messdaten der Beschleunigungssensoren sowie des Modalhammers ausgewertet. Dadurch konnten die Eigenfrequenzen, die Eigenmoden sowie die modale Dämpfung der Bauteile ermittelt werden. Diese Daten dienen als Grundlage für die Validierung des Simulationsmodells.

3. Numerische Analyse der Schichtverbundbauteile

Für die numerische Analyse wurde für jedes einzelne Bauteil ein FE-Modell erstellt. Ausgehend von CAD-Daten wurden die Geometriemodelle aufgebaut und angepasst. Diskretisiert wurden die Geometriemodelle über Hexaeder-Elemente mit aktivierten Elementmittelpunkten. Die Kontaktdefinition zwischen den einzelnen Bauteilschichten erfolgte dabei über den MPC-Algorithmus.

Durch eine Sensitivitätsanalyse wurde der Einfluss der beiden Materialparameter der Klebstoffschicht (Elastizitätsmodul und Querkontraktionszahl) auf die, unter Belastung auftretende, maximale Verformung gemessen. Dabei hat sich gezeigt, dass die Querkontraktionszahl nur einen schwachen Einfluss auf die Zielgröße (Verformung) aufweist, weshalb dieser Parameter für nachfolgende Berechnungen als konstant ($\nu = 0,42$) angenommen wurde und somit nur der Elastizitätsmodul kalibriert werden musste.

Mittels einer Parameterkalibrierung wurde versucht, eine möglichst gute quantitative Übereinstimmung der Ergebnisse aus Experiment und Simulation zu erreichen. Hierfür wurde der Elastizitätsmodul durch ein Vergleich der experimentell und simulativ ermittelten Bauteilsteifigkeit kalibriert. Das Optimierungsproblem wurde durch eine Fehlerfunktion formuliert, die die prozentuale Abweichung der simulativen von der experimentell gemessenen Bauteilsteifigkeit angibt. Über das Adaptive-Single-Objective Verfahren wurde der Elastizitätsmodul so kalibriert, dass die Abweichung der Fehlerfunktion unter 0,1 Prozent lag. Diese Kalibrierung wurde für alle Bauteile durchgeführt. Als Datenbasis für die experimentellen Bauteilsteifigkeiten wurden einmal die Werte nach kurzer Aushärtedauer und für eine weite Kalibrierung die Werte nach langer Aushärtedauer verwendet. Abb. 3 zeigt die Ergebnisse der Parameterkalibrierung des Elastizitätsmoduls.

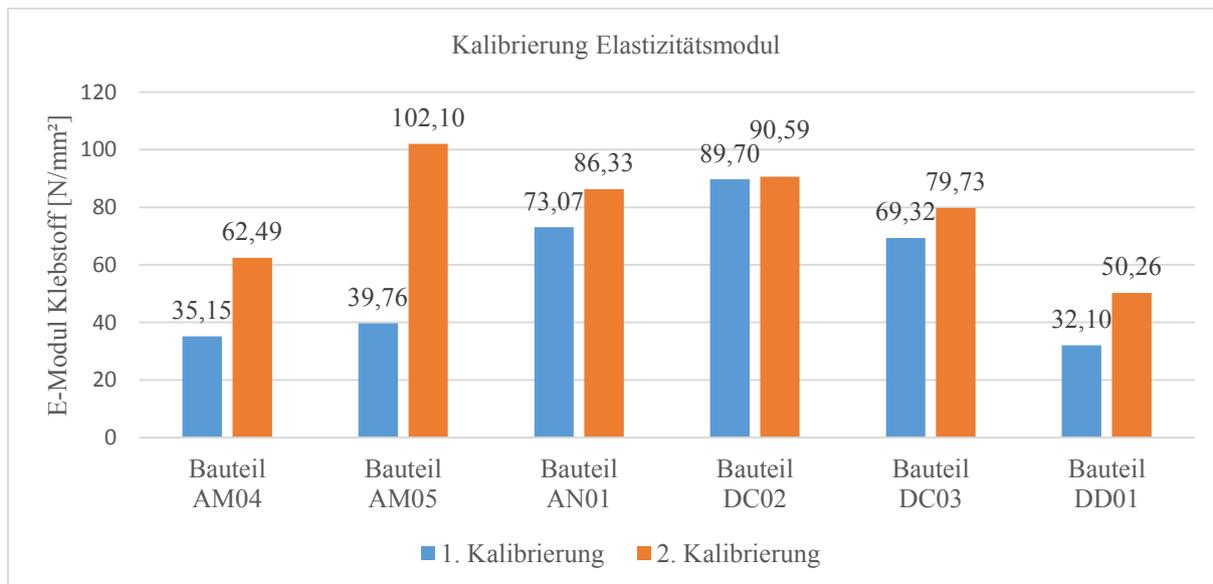


Abb. 3: Ergebnisse Parameterkalibrierung Elastizitätsmodul

Der Mittelwert der Elastizitätsmoduln auf Basis der kurzen Aushärtedauer (1. Kalibrierung) ergab einen Wert von 56,5 MPa mit einer verhältnismäßig großen Standardabweichung von 24 MPa. Nach langer Aushärtedauer (2. Kalibrierung) ergab sich ein Mittelwert von 78,6 MPa mit einer Standardabweichung von 19,1 MPa. Diese Zunahme an der Steifigkeit ist über die schon erwähnte Nachvernetzung des Klebstoffes zu erklären. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Nachvernetzung hauptsächlich in den ersten 30 Tagen nach der Bauteilherstellung auftritt und danach kein nennenswerter Anstieg des Elastizitätsmoduls mehr zu erwarten ist.

Um die Simulationsmodelle und somit die kalibrierten Mittelwerte des Elastizitätsmoduls zu validieren wurde eine simulative Modalanalyse durchgeführt und die Ergebnisse mit der zuvor durchgeführten experimentellen Modalanalyse verglichen. In Abb. 4 sind die Eigenmoden aus der Simulation und dem Experiment exemplarisch an einem Bauteil dargestellt.

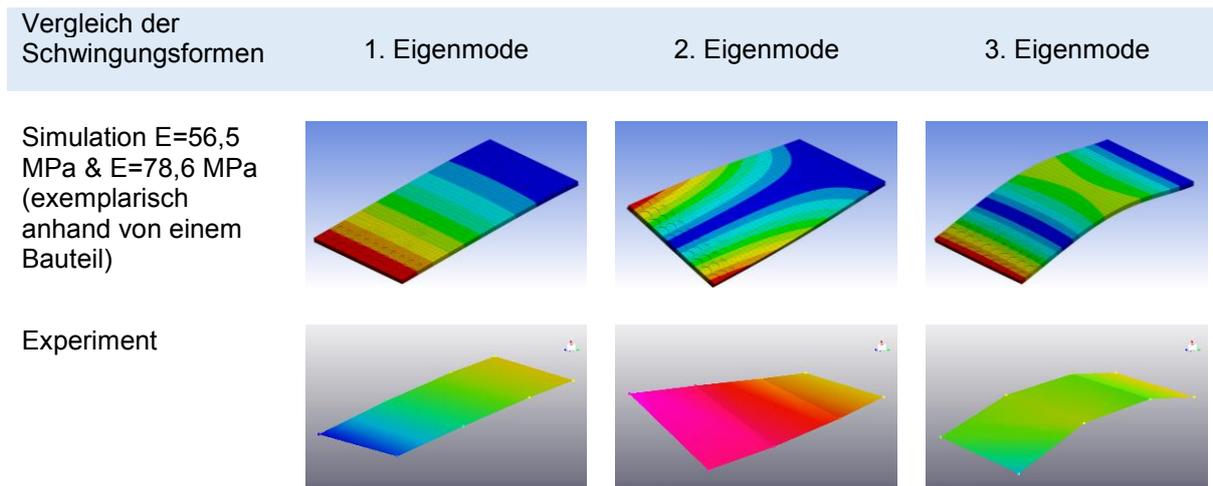


Abb. 4: Vergleich der Schwingungsmoden

Dabei hat sich eine sehr gute Übereinstimmung der simulativ und experimentell ermittelten Schwingungsformen der betrachteten Eigenfrequenzen gezeigt. Diese Übereinstimmung trifft für alle Bauteile zu. Die jeweilige Einfärbung der Bauteile dient lediglich der besseren Erkennbarkeit und lässt keine Rückschlüsse zu. Für weiterführende Untersuchungen könnte das Modal Assurance Criterion eingesetzt werden, um den Vergleich sowie die Modenidentifikation zu verbessern.

In Abb. 5 sind die jeweiligen experimentell ermittelten Eigenfrequenzen der Bauteile, sowie die aufgetretenen durchschnittlichen Abweichungen der simulierten Eigenfrequenzen dargestellt.

	Bauteil AM04	Bauteil AM05	Bauteil AN01	Bauteil DC02	Bauteil DC03	Bauteil DD01	Abweichung Simulation E=56,5 MPa	Abweichung Simulation E=78,6 MPa
1. Eigenfrequenz	60,9 Hz	63,4 Hz	66,3 Hz	63,6 Hz	72,2 Hz	73,3 Hz	-3,1 %	-5,8 %
2. Eigenfrequenz	253,5 Hz	257,7 Hz	244,6 Hz	189,3 Hz	275,4 Hz	262,0 Hz	+19,9 %	+12,7 %
3. Eigenfrequenz	312,1 Hz	353,4 Hz	358,4 Hz	277,2 Hz	324,8 Hz	313,5 Hz	+13,0 %	+6,4 %

Abb. 5: Vergleich der Eigenfrequenzen

Bei den ersten Eigenfrequenzen zeigte die Simulation mit einem Elastizitätsmodul von 56,5 MPa eine durchschnittliche Abweichung von -3,1 %. Bei einem Elastizitätsmodul von 78,6 MPa lagen die Abweichungen bei der ersten Eigenfrequenz durchschnittlich bei - 5,8 %. Bei allen Bauteilen war die simulativ ermittelte erste Eigenfrequenz höher als die im Experiment gemessene Frequenz. Dieses Verhalten lässt darauf schließen, dass die Klebstoffschicht als zu steif angenommen wurde. Für die zweite und dritte Eigenfrequenz ließ sich diese Beobachtung jedoch nicht bestätigen, da hier die simulierten Frequenzen geringer als die experimentell ermittelten Frequenzen waren. Zudem wurden höhere prozentuale Abweichungen festgestellt.

4. Fazit

Somit lässt sich festhalten, dass die Bestimmung eines einzigen exakten Wertes für den Elastizitätsmodul der Klebstoffschicht unter den gegebenen Bedingungen aufgrund der hohen Standardabweichung bei der Parameterkalibrierung nicht möglich war. Dies liegt an den vielen Einflussgrößen begründet, die für auftretende Abweichungen als Erklärung herangezogen werden können. Es wird angenommen, dass die Messgenauigkeit der Untersuchungen, die Temperaturabhängigkeit des Elastizitätsmoduls sowie die Vereinfachungen im FE-Modell die Haupteinflussgrößen für die Abweichungen waren. Aber auch Toleranzen bei der Bauteilherstellung

und Schwankungen beim Reinigungszustand der Oberflächen können entsprechende Abweichungen hervorrufen. Aufgrund dieser Abweichungen wird ein Wertebereich als Ergebnis der Parameterkalibrierung angegeben. Dieser erstreckt sich von 30 MPa bis 100 MPa was dem kleinsten und größten kalibrierten Elastizitätsmodul entspricht. Dieser Wertebereich erlaubt für nachfolgende Berechnungen eine Annäherung an das reale Verhalten einer dünnen Epoxidklebstoffschicht zwischen Stahlblechschichten.

Der somit festgelegte Wertebereich für den Elastizitätsmodul zeigt jedoch einen signifikanten Unterschied zu der Angabe des Herstellers, die bei 1718 MPa liegt. Hierbei gibt es jedoch zu beachten, dass eine nennenswerte Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften von der Klebschichtdicke besteht und sich die Herstellerangabe auf eine Schichtdicke von 1,2 mm bezieht, während die Schichtdicke bei den untersuchten Bauteilen bei rund 0,03 mm lag. Des Weiteren können die mechanischen Eigenschaften eines Klebstoffes nie als allgemein gültige Werkstoffkennwerte gesehen werden. Die mechanischen Eigenschaften ergeben sich immer aus der Kombination des Klebstoffes mit dem Material und der Oberflächenbeschaffenheit der Fügepartner sowie den Umweltbedingungen in denen der Klebstoff eingesetzt wird. Aufgrund dieser Tatsachen müssen die mechanischen Eigenschaften eines Klebstoffes in der Regel für jede Fügeverbindung individuell bewertet werden.

5. Acknowledgment

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung des Projektes.

6. Autoren

David Krüger, Mahdi Mottahedi M.Sc., Dr.-Ing. Armin Lechler, Prof. Dr.-Ing. Alexander Verl
Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen,
Seidenstraße 36, 70174 Stuttgart, Deutschland.
Aermin.Lechler@isw.uni-stuttgart.de
+49 711 685-82462

FEM-Berechnung der Spannungsintensitätsfaktoren von im Druckeigen Spannungsfeld stehbleibender Risskonturen im Vergleich zu fraktographischen Befunden

S. Rogowski, H. Hartung
Volkswagen AG, Component Development HME

R. Thumser, MAN Diesel & Turbo SE
Advanced Engineering & Exhaust Aftertreatment

In modernen Verbrennungsmotoren werden Einspritzdrücke von mehr als 2000 bar eingesetzt [1]. Ein Teil des Einspritzsystems ist das Common-Rail, das als Druckspeicher dient. Für die Steigerung der Innendruckschwellfestigkeit wird das Bauteil autofrettet. Während des Autofrettageprozesses wird das Bauteil einmalig mit einem Innendruck beaufschlagt, der deutlich über dem späteren Betriebsdruck liegt. Durch diese Überlastung plastifiziert der Bauteilwerkstoff ausgehend von den hochbeanspruchten inneren Bereichen, wobei äußere Bauteilbereiche elastisch verformt bleiben. So wird an den Verschneidungen der Bohrungen, ein Druckeigen Spannungsfeld erzeugt [2, 3].

Zur experimentellen Analyse der Schwingfestigkeit des Common-Rails werden diese der zyklischen Innendruckschwellprüfung unterzogen, wobei der obere Prüfdruck weit über dem realen Betriebsdruck liegt. Prüflinge, die bis zur gewählten Grenzlasterzahl von mehreren Millionen Lastwechseln kein Bauteilversagen zeigen, werden als Durchläufer bezeichnet. Diese Durchläuferbauteile zeigen stehbleibende Risse. Diese werden durch das eingebrachte Druckeigen Spannungsfeld ermöglicht [3]. In dieser Untersuchung werden Parameterkombinationen aus Autofrettage- und Prüfdruck betrachtet. Die FEM-Berechnung der Autofrettage des Common-Rails findet unter Anwendung eines plastischen Materialmodells (Lemaitre und Chaboche, 1990) mit kombinierter isotroper / kinematischer Verfestigung statt. Durch den Einsatz dieses Modells wird der Bauschinger Effekt berücksichtigt [4, 5]. Mittels Fraktographie sichtbar gemachter Rissstoppkonturen werden typische Charakteristiken dieser Konturen in ein FEM-Modell übertragen. Mit einer kommerziellen FEM-Software werden an der Rissfront Spannungsintensitätsfaktoren ermittelt. Die Spannungsintensitäten werden bezüglich des Rissfortschritts- und Thresholdverhaltens bewertet und mit den experimentellen Befunden verglichen.

1. Einleitung

In modernen Verbrennungsmotoren, insbesondere in der Dieselseite, kommt das Common-Rail Einspritzsystem zur Anwendung. Durch den Einsatz dieses Systems steht der Einspritzdruck, für die einzelnen Einspritzvorgänge, getrennt von der Druckerzeugung zur Verfügung. Die Kraftstoffverteilerleiste, das sogenannte Common-Rail, dient dabei als Druckspeicher. So ist nicht zuletzt durch die sehr hohen Einspritzdrücke eine sehr effiziente Kraftstoffverbrennung möglich [6]. Heutzutage werden in Dieselmotoren für Personenkraftwagen Einspritzdrücke von mehr als 2.000 bar verwendet [1]. Maßgebend für die Entwicklung des Bauteils ist die Innendruckschwellfestigkeit. Aus diesem Grund kommt unter Berücksichtigung des Einsatzes von Werkstoffen, welche für die Großserienproduktion geeignet sind, der Autofrettageprozess zur Anwendung. Dabei wird mittels einmaligen Aufbringens eines hohen Innendrucks, eine plastische Verformung in den hochbeanspruchten inneren Bereichen induziert. Weil nach Wegnahme des Autofrettagedrucks äußere Werkstoffbereiche rein elastisch verformt bleiben, resultiert in den plastifizierten Werkstoffbereichen ein Druckeigen Spannungsfeld. Durch diesen Vorgang wird die Innendruckschwellfestigkeit des Common-Rails erheblich gesteigert. Der Beginn der Plastifizierung findet an Kerbstellen, wie den Bohrungsverschneidungen statt. Das Druckeigen Spannungsfeld erstreckt sich über mehrere Millimeter in die Bauteiltiefe und ist von dem

Autofrettagedruck, der Bauteilgeometrie, dem Werkstoffverhalten und den bleibenden elastischen Materialzonen abhängig. Während des Autofrettageprozesses wird der Werkstoff einer zügigen, sowie stauchenden Belastung unterzogen. Dadurch wirkt der festigkeitsrelevante Bauschinger Effekt [2, 5, 7]. Daneben können Stähle aufgrund von in der Fertigungskette durchlaufenen Umformprozessen anisotropes Verhalten aufweisen [8]. Um eine korrekte Aussage zum Eigenspannungszustand nach der Autofrettage aus der FEM-Berechnung zu generieren muss das Materialmodell diese Effekte abbilden können. In dieser Untersuchung wird deshalb das isotrop kinematische Modell nach Lemaitre und Chaboche von 1990 verwendet [4].

Jede FEM-Berechnung in dieser Untersuchung wird mit der Abaqus Version 6.14-3 durchgeführt. Weil das in der FEM berechnete Druckeigenspannungsfeld maßgebend für die Größe des unter Prüfdruck wirkenden Spannungsintensitätsfaktors ist, muss der Spannungszustand aus dem Autofrettageprozess in die Rissrechnung übertragen werden. In dieser Untersuchung wird das aus der Autofrettage erzeugte Druckeigenspannungsfeld in das FEM-Modell für die Rissrechnung übertragen. Wobei mit dem erzeugten FEM-Modell sämtliche Methoden der Vernetzung um die Risspitze ausgeschöpft werden. Durch die Nutzung von degenerierten, kollabierten Hexaeder-Elementen werden bestmögliche Berechnungsergebnisse um die Singularität erzielt [9]. Das Ziel dieses Berechnungskonzepts ist es also Spannungsintensitätsfaktoren entlang der Rissfront auszugeben. Die Topologie des Risses resultiert dabei aus fraktographischen Untersuchungen am realen Bauteil aus der Innendruckschwellprüfung. Zur Bewertung dieses Berechnungskonzepts wurde für diese Untersuchung eine Parameterkombination aus Autofrettage- und Betriebsdruck gewählt für die keine Durchläuferbauteile erzeugt werden konnten. So kann das Rissfortschritt- beziehungsweise Thresholdverhalten anhand des an der Rissfront berechneten Spannungsintensitätsfaktors klar bewertet werden. Hierzu werden Thresholdwerte aus einschlägigen Literaturquellen herangezogen.

2. Methoden

2.1 Autofrettage-Prozess, Versuchswerkstoff

Durch den Autofrettage-Prozess wird ein ausgeprägtes Druckeigenspannungsfeld in innenhochdruckbelasteten, dickwandigen Bauteilen erzeugt. Das Bauteil wird durch einmalige gezielte plastische Verformung mittels Aufbringen eines sehr hohen Innendrucks überlastet. Durch Kerbwirkungen startet die Plastifizierung an versagenskritischen Bereichen, wie Bohrungsverschneidungen. Also erfahren diese Bereiche die höchste Plastifizierung und es ist in deren Umgebung das am stärksten ausgeprägte Druckeigenspannungsfeld zu erwarten. Ergebnis dieses Prozesses in einem dickwandigen Bauteil ist eine äußere elastisch gedehnte Zone, welche in der inneren plastisch gedehnten Zone Druck verursacht [10, 11]. Anhand eines 1D Elements ist der Spannungs-Dehnungs-Ablauf während des Autofrettage-Prozesses in Abbildung 1 dargestellt.

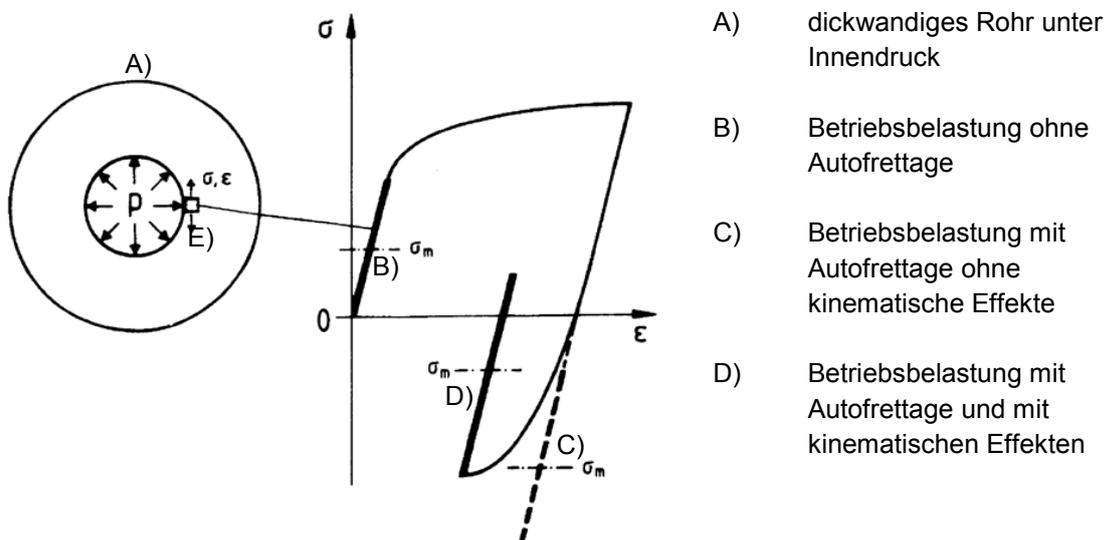


Abb. 1: Spannungs-Dehnungs-Ablauf für 1D Element E) während der Autofrettage [11].

Somit verlagert sich die Mittelspannung σ_m verursacht durch die Betriebslast von dem Zug- in den Druckspannungsbereich. Das wirkt sich vorteilhaft auf die Bauteillebensdauer aus [2, 10, 11].

In dieser Untersuchung wurden für die fraktographischen Untersuchungen, sowie für die im Vorfeld absolvierten Innendruckschwellprüfungen, Versuchsbauteile aus warmumgeformten, hochfestem Stahl verwendet. Siehe zur Werkstoffcharakterisierung Tabelle 1.

Tabelle 1: Werkstoffdaten des hochfesten Stahls (Halbzeug)

[12]

Chemische Zusammensetzung in Massenprozent:						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0,28 – 0,36	<0,50	1,40 – 1,80	<0,025	<0,040	0,80 – 1,20	0,25 – 0,40
Mechanisch-technologische Eigenschaften:						
Streckgrenze $R_{p0,2}$ [N/mm ²]				>800		
Zugfestigkeit R_m [N/mm ²]				>1.150		
Bruchdehnung A [%]				min. 12		
E-Modul [MPa]				210.000		

2.2 Experimentelle Untersuchungen

In dieser Untersuchung wurden zwei unterschiedliche Experimente durchgeführt.

Erstens die Innendruckschwellprüfung unter Anwendung zweier unterschiedlicher oberer Prüfdrücke. Nämlich 3.675 bar und 4.150 bar mit jeweils einer unteren Prüflast von 50 bar. Die Belastungs-Zeit-Verläufe der Prüfung sind sinusförmig, wobei die Dauerschwingfestigkeit für das Common-Rail für 10 Millionen Lastwechsel definiert wurde. Die Frequenz des sinusförmig schwingenden Hydrauliköls betrug dabei 8 Hz. Die Durchführung der Prüfung fand auf einem Hochdruckprüfstand der Materialforschungs- und Prüfanstalt Weimar statt. Das Ziel dieser Prüfung ist es Versuchsbauteile aus Kombinationen von Autofrettage- und Betriebsdruck zu erzeugen, die als dauerfest gelten und solche die nicht dauerfest sind.

Das zweite Experiment in dieser Untersuchung ist die Fraktographie eines sogenannten Durchläuferbauteils. Das Ziel dieser Bruchflächenanalyse, ist das Detektieren von sogenannten Rissstoppkonturen. Das Vorhandensein solcher Konturen von stehengebliebenen Rissen im Druckeigen Spannungsfeld autofrettierter Bohrungsverschneidungen wurde unter anderem von Lechmann in [13] und Thumser in [2] veröffentlicht. Allerdings beinhaltet das in dieser Untersuchung betrachtete Bauteil (Common-Rail) Änderungen der Topologie der Innenoberfläche im Bereich der Bohrungsverschneidungen (Drosselbohrung), siehe Abbildung 2 a). Aus diesem Grund und im Allgemeinen zur Detektion der Lage der Rissstoppkonturen für das FEM-Berechnungskonzept wurde die verhältnismäßig aufwendige fraktographische Analyse durchgeführt.

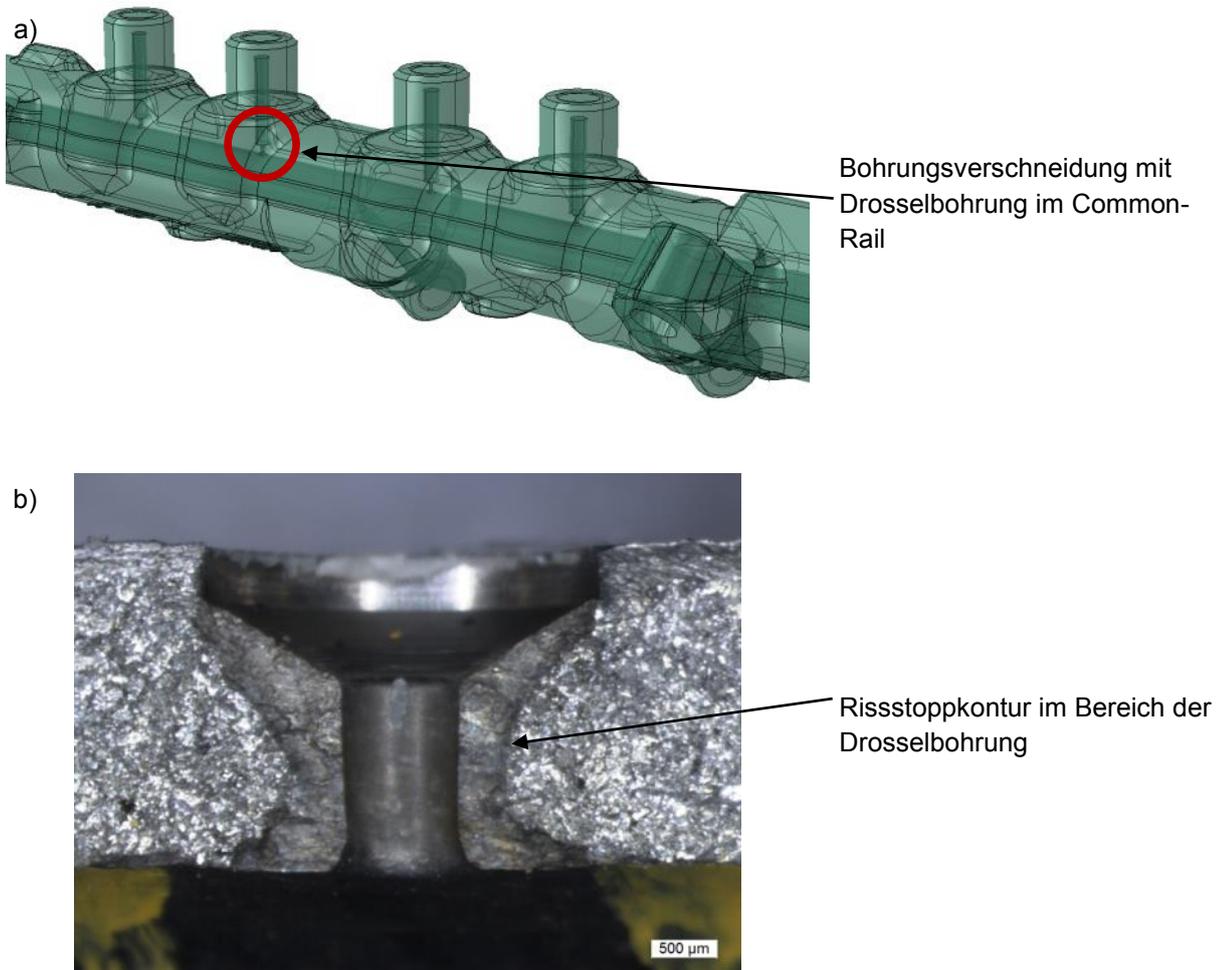


Abb. 2: Lage einer Bohrungsverschneidung (a) und Rissstoppkontur im Bereich einer Drosselbohrung (b)

Die in Abbildung 2 b) dargestellte Kontur eines stehengebliebenen Risses resultiert aus folgender Parameterkombination: Autofrettagedruck $p_{AF} = 11.000 \text{ bar}$, Prüfdruckbreite $dp = 3.625 \text{ bar}$, Lastspielzahl $N = 10^6$.

2.2 Finite Elemente Berechnungen

In dieser Untersuchung werden ausschließlich statische und implizite FEM Berechnungen durchgeführt. Das Ziel der Berechnungen ist die Ausgabe von Spannungsintensitätsfaktoren entlang der Rissfront unter statisch wirkender Belastung. Dafür ist es notwendig die mittels Fraktographie sichtbar gemachte Rissstoppkontur, siehe Abbildung 2, in das FEM-Modell zu übertragen. Die Modelle sind geometrisch derart vorbereitet, dass ein Segment aus dem Common-Rail als Symmetriemodell mit einer Bohrungsverschneidung verwendet wird, siehe Abbildung 3 a). Aus der Nutzung des symmetrischen Modells resultiert auch die Verwendung eines half-crack Rissmodells nach [14].

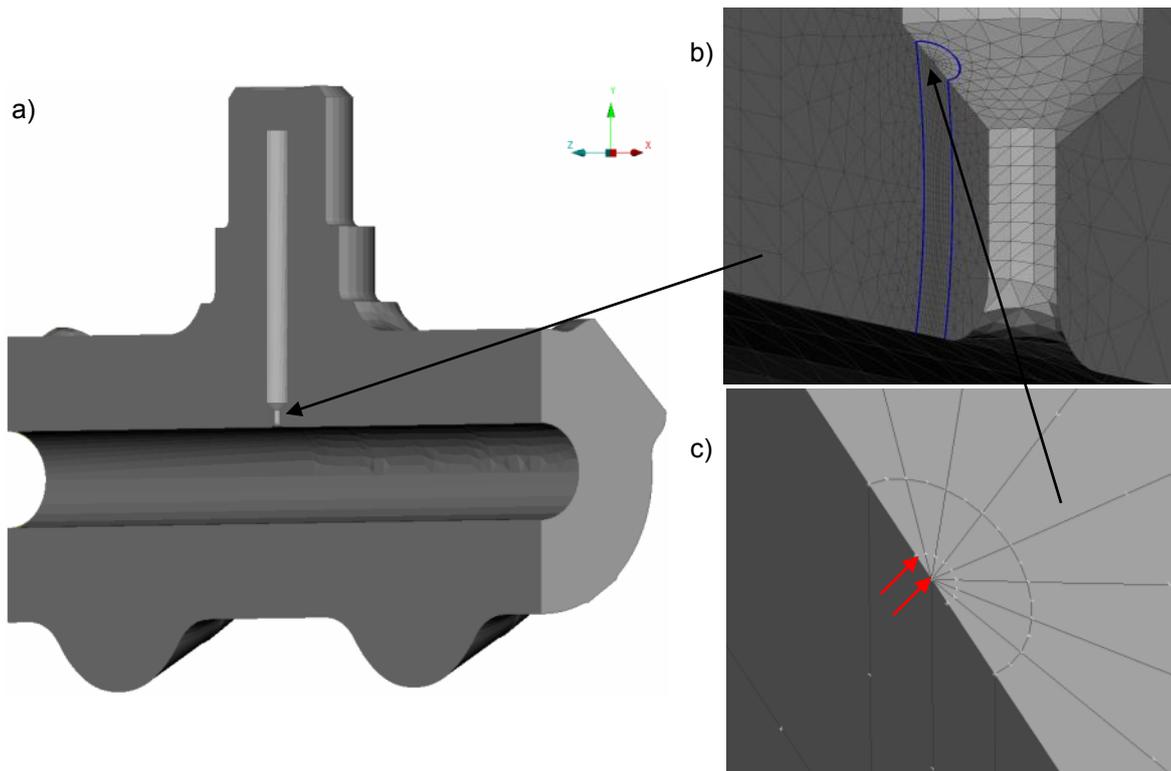


Abb. 3: FEM-Berechnungsmodell; a) Gesamtes FEM Modell, b) und c) Detail der Bohrungsverschneidung mit Rissfront

Das gesamte Modell umfaßt mehr als 210.000 Tetraeder zweiter Ordnung (C3D10) und mehr als 2.000 Hexaeder zweiter Ordnung (C3D20R) im Bereich der Rissfront. Wobei die Elementreihe, welche die Knoten der Rissfront direkt beinhaltet, degeneriert und kollabiert ist. Als Degenerationstyp wird Duplicate Nodes verwendet. Dadurch wird die $1/\sqrt{r}$ -Singularität der Rissfront seitens der FEM bestmöglich berücksichtigt [14]. In diesem Modell sind die Mittenknoten der Elemente an der Rissfront auf ein Viertel der Elementkantenlänge ($t = 0,25$) in Richtung der Rissfront verschoben, siehe Kennzeichnungen in Abbildung 3 c). Das Besondere bei den Berechnungen an der Rissfront ist, dass das aus der Autofrettage entstandene Druckeigenstressfeld berücksichtigt werden muss. Hierfür werden zwei FEM-Berechnungsmodelle erstellt. Eines unter Verwendung plastischen Materialverhaltens mit dem Einsatz des Modells von Lemaitre und Chaboche von 1990 [4] und ein weiteres Modell für die Anwendung der Bruchmodellierungsfunktionen der verwendeten Berechnungssoftware. In dieser Untersuchung ist dafür die Verwendung eines elastischen Materialverhaltens notwendig. Wobei das Spannungsfeld als Predefined Field in das Bruchmodell übertragen wird [15].

Der Teil des FEM-Berechnungsablaufs zur Ermittlung der minimalen und maximalen Spannungsintensitätsfaktoren K_{min} und K_{max} , ist in drei Berechnungsschritte eingeteilt. Nämlich in das Aufbringen der Unterlast von 50 bar Innendruck und zweier Oberlasten, 3.675 bar und 4.150 bar, siehe Abbildung 4 a). Daneben wird der Einheitslastfall ohne Eigenspannungen aus dem Autofrettageprozess, mit 10 bar Innendruck ausschließlich auf die Bruchflächen, berechnet. Daraus folgt der sogenannte Spannungsintensitätsfaktor für das Rissufer K_{ru} [2] in dieser Untersuchung zur Überprüfung des Berechnungsmodells.

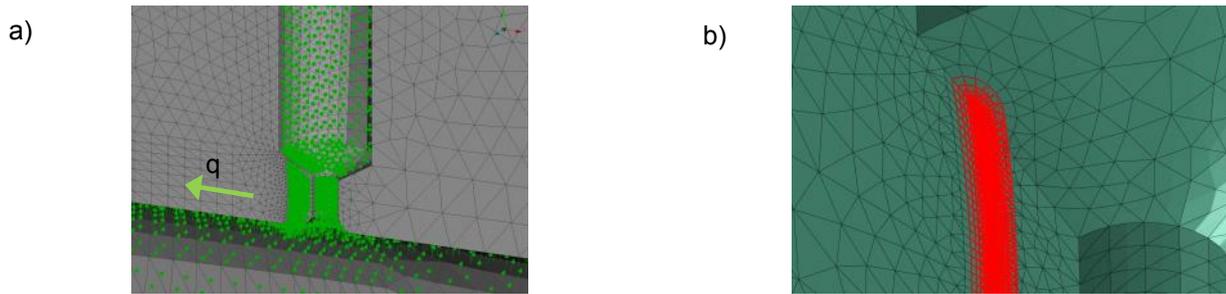


Abb. 4: Belastung (grün) und Konturen um die Rissfront (rot) im FEM Modell

Die Ausgabe der Spannungsintensitätsfaktoren wird als History Output für den Rissmode 1 angefordert. Die Ausgaben von K1 erfolgen für die sechste Kontur um die Risspitze. In Abbildung 4 b) sind einige FEM-Knoten nahe der Bohrungsverschneidung des Common-Rails, die sich innerhalb der sechsten Kontur befinden, dargestellt. Die Berechnung der K1-Werte erfolgt im Postprocessing unter der gewählten Annahme: Maximum Energy Release Rate nach [16, 17, 18]. Weiter ist zur vollständigen Definition des Risses, die Vorgabe der virtuellen Risswachstumsrichtung (q vector) notwendig. Dieser Vektor befindet sich in der Symmetrieebene des Bauteils und ist exemplarisch in Abbildung 4 a) dargestellt.

3. Ergebnisse

3.1 Innendruckschwellprüfung

Die Ergebnisse der Innendruckschwellprüfungen von den insgesamt 32 Bauteilen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt:

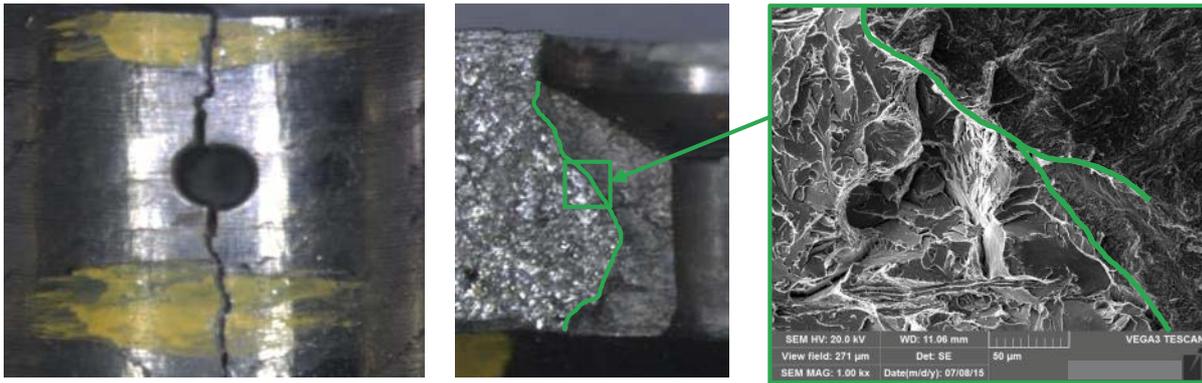
Tabelle 2: Ergebnisse der Innendruckschwellprüfung der Common-Rails

Autofrettagedruck [bar]	Oberlast [bar]	Unterlast [bar]	Anzahl der Durchläufer (10 ⁶ LW) [-]	Anzahl der Prüflinge [-]
11.000	3.675	50	5	16
11.000	4.150	50	0	16

Daraus ergibt sich, dass für die niedrigere Oberlast von 3.675 bar 31,25 % der Bauteile mindestens 10 Millionen Lastwechsel ertragen haben. Beaufschlagt mit einer Oberlast von 4.150 bar hat keines der Bauteile 10 Millionen Lastwechsel erreicht.

3.2 Fraktographie

Die Ergebnisse der fraktographischen Untersuchungen an dem Durchläuferbauteil mit einer Oberlast von 3.675 bar und 10 Millionen Lastwechseln sind im Wesentlichen in Abbildung 2 b) dargestellt. Die Abbildung zeigt zwei unterschiedliche Bruchflächen im Bereich der Drosselbohrung der Bohrungsverschneidung des Common-Rails. Der Übergang von der Ermüdungsbruchfläche zum Gewaltbruch wird als Rissstoppkontur bezeichnet, siehe REM-Aufnahme in Abbildung 5 c).



a) Draufsicht (präparierte Probe) b) Bruchflächen c) Übergangsbereich (REM)

Abb. 5: Mikroskopie der Bruchflächen an der Bohrungsverschneidung des Common-Rails und Bruchflächengrenze (grün)

In Abbildung 5 b) und c) grenzt die Rissstoppkontur den Restgewaltbruch (helle Bruchfläche) von der übrigen Bruchfläche ab. Aufgrund der dunklen Bruchfläche welche an die Bohrungsverschneidung grenzt und der Tatsache, dass dieser Bruchbereich während der 10 Millionen Lastwechsel bei der Innendruckschwellprüfung nicht wuchs, wird von einem stehengebliebenen Riss ausgegangen.

3.3 Finite Elemente Berechnungen

Das Ergebnis der aufwendigen FEM-Berechnungen sind die Spannungsintensitätsfaktoren für jede Risskoordinate (Nr. 1 bis Nr. 85). Die K1-Werte sind dabei jeweils abhängig von der wirkenden Oberlast, 3.675 bar oder 4.150 bar statischem Innendruck, aus der FEM generiert. Dabei handelt es sich insgesamt um 170 K1-Werte, siehe Abbildung 6 b). Aufgrund von Randzoneneinflüssen können einige Werte nicht betrachtet werden, weil diese offensichtlich nicht realistisch sind.

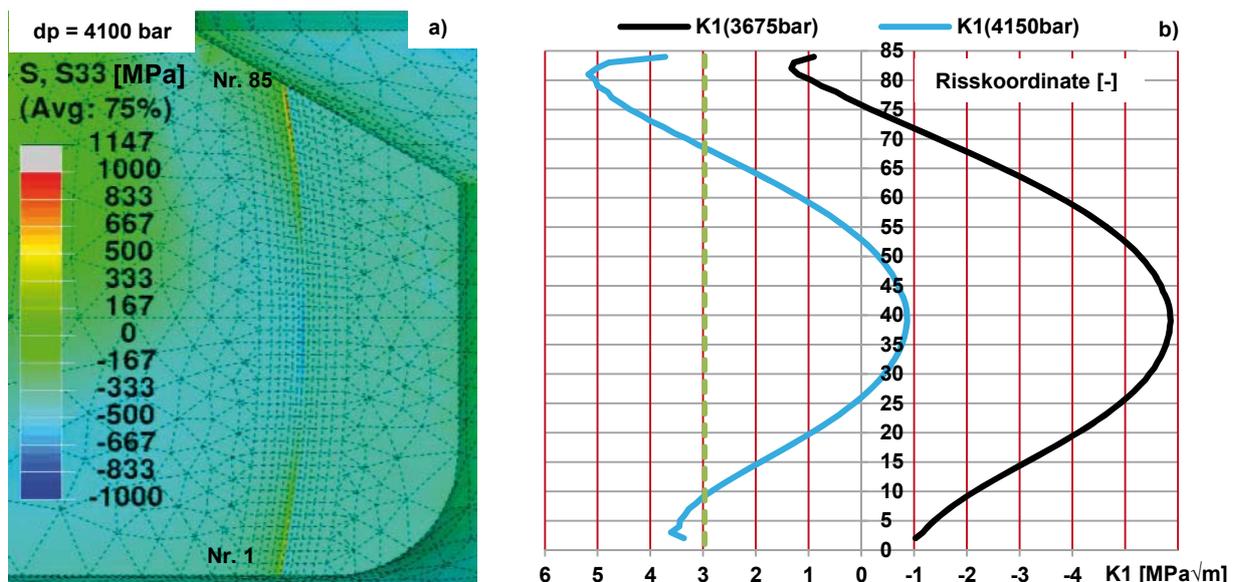


Abb. 6: Tangentialspannungen (S33) in der Bruchebene a), Spannungsintensitätsfaktoren aus unterschiedlichen Parameterkombinationen b)

In Abbildung 6 b) wird deutlich, dass die K1-Werte mit steigendem Innendruck von 3.675 bar auf 4.150 bar deutlich in den positiven Bereich wandern. Für das K1 von 3.675 bar werden erst ab der Risskoordinate 76 real interpretierbare Ergebnisse erreicht, weil negative Spannungsintensitätsfaktoren nicht existieren können. Außerdem werden durch die graphische Darstellung in Abbildung 6 a) Bereiche an der Rissfront mit positiven Tangentialspannungen sichtbar. In dem Bereich um die Risskoordinate 80 erreicht der K1-Wert für 4.150 bar bis zu 5,2 MPa√m. Der zweite Maximalbereich befindet sich bei Risskoordinate 3 wobei der zugehörige K1-Wert 3,6 MPa√m ist. Für den Innendruck von 3.675 bar ist der größte K1-Wert 1,3 MPa√m.

4. Diskussion

Offensichtlich resultiert aus der FEM-Berechnung (Abbildung 6) ein über die Risskoordinate veränderlicher Spannungsintensitätsfaktor K1. Hin zu den freien Oberflächen werden die maximalen Werte erreicht. Diese Tatsache widerspricht dem exakten Abbild einer Rissstoppkontur durch die FEM-Berechnung, siehe vergleichend Abbildung 7.

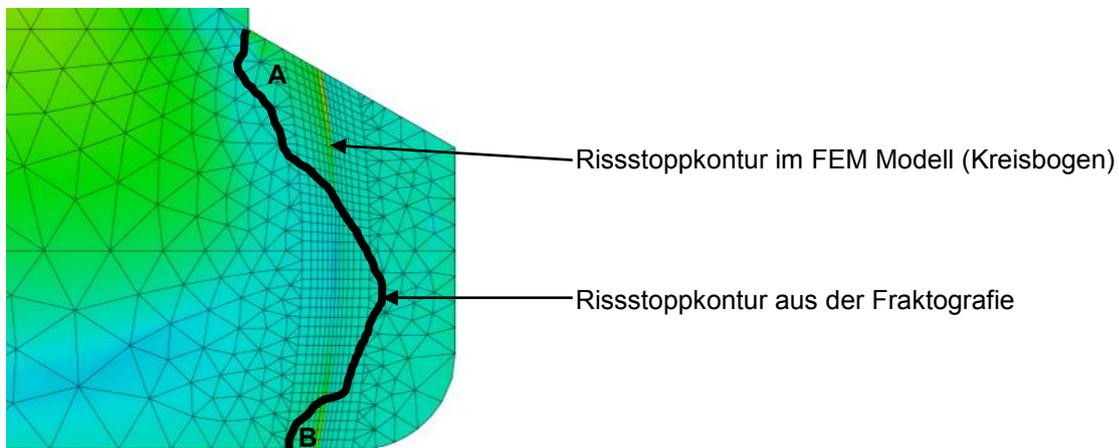


Abb. 7: Vergleich der Rissstoppkonturen des FEM Modells und der Fraktographie

Nach [20] lässt sich ein effektiver Schwellwert des Spannungsintensitätsfaktors K1 für den Rissfortschritt durch eine schwingende Belastung nach folgender Gleichung angeben:

$$dK_{eff,th} = 1,414 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{m} \cdot E - Modul$$

Für den in dieser Untersuchung verwendeten Werkstoff ergibt sich danach ein $dK_{eff,th}$ von 2,96 MPa√m, siehe Abbildung 6 b). Führt man den direkten Vergleich zwischen der Innendruckschwellprüfung und den SIF aus der FEM an, wird deutlich, dass ein plausibler Zusammenhang zwischen realer Rissstoppkontur und dem Verlauf der, in der FEM berechneten SIF vorhanden ist. Also wird verdeutlicht, dass eben in jenen Bereichen K1 Maxima aufweist, in denen die Rissstoppkontur im FEM-Modell die reale Bruchfläche begrenzen würde. Siehe vergleichend Bereiche A und B in Abbildung 7. Aus diesem Zusammenhang lässt sich ableiten, dass die verwendete Berechnungsmethode für Spannungsintensitätsfaktoren aussagekräftige Ergebnisse erzielen kann. Jedoch kommt der geometrischen Modellierung der Rissfront / Rissstoppkontur besondere Bedeutung zu. Daneben muss die Angabe eines Schwellwertes $dK_{eff,th}$ näher untersucht werden. Der Schwellwert ist für den in dieser Untersuchung verwendeten Werkstoff vermutlich zu hoch.

5. Zusammenfassung

Diese Untersuchung zeigt ein methodisches Vorgehen zur Generierung von Spannungsintensitätsfaktoren entlang einer Rissfront, welche sich im Druckeigenspannungsfeld eines autofrettierten Common-Rails befindet. Zu diesem Zweck wurden mittels Fraktographie Rissstoppkonturen im Inneren des Bauteils sichtbar gemacht. Angelehnt an die Kontur aus der Fraktographie wurde eine Rissfront in das FEM-Modell des Common-Rails modelliert. Und die mit der FEM berechneten Spannungsintensitätsfaktoren durch einen zyklischen Schwellwert für Rissfortschritt nach [19] bewertet. Das Ergebnis weist deutlich darauf hin, dass die exakte Abbildung der Rissstoppkontur im FEM-Modell ausschlaggebend für die Aussage über Rissfortschritt bzw. –stopp ist.

6. Literatur

- [1] Robert Bosch GmbH: Diesel Systems – Common Rail Systems CRSN3 with 2,000 to 2,500 bar, www.future-with-diesel.com, 292000P0WJ-C/CCA-201302-En, Stuttgart, 2013
- [2] R. Thumser: Simulation des Rissfortschritts in autofrettierten und nicht autofrettierten Bohrungsverschneidungen auf der Grundlage der linear-elastischen Bruchmechanik. Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar, 2009
- [3] S. Greuling, T. Seeger: A model of endurance limit calculation of autofrettaged pressurized components considering crack arrest, Proceeding of the 8th International Conference on Fatigue, Vol. 2, Stockholm, Sweden, 2002, pp. 1223-1230
- [4] J. Lemaitre, J.-L. Chaboche: Mechanics of Solid Materials, Cambridge University Press, 1990
- [5] J. Bauschinger: Ueber die Veränderung der Elasticitätsgrenze und der Festigkeit des Eisens und Stahls durch Strecken und Quetschen, durch Erwärmen und Abkühlen und durch oftmal wiederholte Beanspruchung, Mitth. aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der K. technischen Hochschule, München, 1886
- [6] K. Reif: Dieselmotor-Management, Systeme, Komponenten, Steuerung und Regelung, Heidelberg, Springer-Verlag, 2012
- [7] H. Brünnet, I. Yi, D. Bähre: Modeling of Residual Stresses and Shape Deviations along the Process Chain of Autofrettaged Components. Journal of Materials Science and Engineering, A 1:915-936, 2011
- [8] H.-J. Bargel, G. Schulze: Werkstoffkunde. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 2012
- [9] Dassault Systemes, Abaqus 6.14 – Example Problems Guide, 2014
- [10] H. Brünnet, I. Yi, D. Bähre, Modeling of Residual Stresses and Shape Deviations along the Process Chain of Autofrettaged Components. Journal of Materials Science and Engineering, A 1:915-936, 2011
- [11] T. Seeger, Autofrettage 1, Vorhaben Nr. 478, Dauerfestigkeitssteigerung durch Autofrettage, Abschlussbericht. FVV Forschungsheft, 1993
- [12] Saarstahl AG, Produktinformation, Werkstoff-Datenblatt, 2014
- [13] M. Lechmann: Entwicklung eines schwingbruchmechanischen Auslegungskonzepts für innendruckbeanspruchte Bauteile mit ausgeprägten Druckeigenspannungsfeldern. Dissertation, Universität Stuttgart, 2007
- [14] Dassault Systemes, Abaqus 6.14 – Abaqus/CAE User's Guide, 2014
- [15] Dassault Systemes, Abaqus 6.14 – Analysis User's Guide, 2014
- [16] Dassault Systemes, Abaqus 6.14 – Abaqus Theory Guide, 2014
- [17] Hayashi, K., S. Nemat-Nasser: Energy-Release Rate and Crack Kinking under Combined Loading. Journal of Applied Mechanics, vol. 48, pp. 520–524, 1981
- [18] He, M.-Y., J. W. Hutchinson: Kinking of a Crack out of an Interface: Tabulated Solution Coefficients. Harvard University, Cambridge, Massachusetts, Division of Applied Mechanics, 1989
- [19] Vormwald, M.: Anrisslebensdauervorhersage auf der Basis der Schwingbruchmechanik für kurze Risse. Dissertation, TH Darmstadt, 1989

7. Danksagung

Der Dank der Autoren gilt insbesondere für die inspirierenden Diskussionen Dr. A. Gitt-Gehrke von der Volkswagen AG und Priv.-Doz. Dr. M. Bäker von der Technischen Universität Braunschweig. Für die technische Unterstützung bedanken sich die Autoren ganz besonders bei Herr J. Funke, Herr A. Janke und Frau N. Zigic von der Volkswagen AG und Herr Dr. B. Maier von der MAN Diesel & Turbo SE.

8. Autoren

S. Rogowski, H. Hartung
Volkswagen AG
Component Development HME
Letter box 7359, P. O. box 311176, 38231 Salzgitter, Germany
E-Mail: sebastian.rogowski@volkswagen.de, henry.hartung@volkswagen.de

R. Thumser
MAN Diesel & Turbo SE
Advanced Engineering & Exhaust Aftertreatment
Stadtbachstr. 1, 86153 Augsburg, Germany
E-Mail: rayk.thumser@man.eu

Eine neue Methode für die Simulation von Wasserströmungen, Dichtungsdesign und Tankschwappen

Dr. Matthias Schäfer
ESI Software Germany GmbH

Alain Trameçon
ESI Group

Analyse und Kontrolle von Wasserströmungen im Fahrzeugumfeld sind zunehmend wichtige Themen. Insbesondere während der Neuentwicklung von Fahrzeugen können Kosten eingespart werden, wenn durch Simulationen frühzeitig z.B. das Management von Regenwasser oder die Effizienz von Dichtungen untersucht werden können. Ziel ist in beiden Fällen die Vorhersage, ob in bestimmten Bereichen des Fahrzeugs mit dem Eindringen von Wasser zu rechnen ist, um dann geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Da das Ablaufverhalten von Wasser stark durch das Design des Fahrzeugs geprägt ist, erfordert dies ein frühzeitiges Erkennen von problematischen Konfigurationen noch vor der Konstruktion von ersten Prototypen. Einen ähnlich gelagerten Anwendungsfall stellt die Simulation von Tankschwappen dar. Während eines Crashes erfährt der Tank eines Fahrzeugs aufgrund von starken Beschleunigungen der enthaltenen Flüssigkeiten eine zusätzliche Belastung. Trotzdem muss die Hülle des Tanks diesen Kräften standhalten.

In diesen Szenarien kann man mit geeigneten Simulationen Kosten und Entwicklungszeit sparen. Im ESI „Virtual Performance Solution“ (VPS) Framework bietet das neue Modul für die Simulation von Wasserströmungen eine Lösung für solche Fragestellungen. Es basiert auf der „Finiten Punkte Methode“ (FPM) die als gitterfreie Methode zur Simulation von Strömungen besonders gut geeignet ist. Sie berücksichtigt freie Oberflächen, Oberflächenspannungen, Kontaktwinkel sowie bewegte und flexible Strukturen, ohne dabei den Aufwand für eine komplette 3D Vernetzung des Strömungsvolumens zu erfordern.



Abb. 1: Simulation eines Heckaufpralls mit Schwappverhalten der Flüssigkeiten im Tank durchgeführt mit dem Wasserströmungsmodul in ESI-VPS. (Mit freundlicher Genehmigung von EP Tender)

1 Methode

Um Wasserströmungssimulationen für die genannten Anwendungen sinnvoll durchführen zu können, benötigt man Softwaretools, die sich mit zwei verschiedenen Simulationsbereichen beschäftigen. Auf der einen Seite muss die Bewegung und die Verformung der Struktur abgebildet werden. Auf der anderen Seite stehen die strömungsdynamischen Zusammenhänge. Da sich Bewegungen und Verformungen in einem der beiden Bereiche auf den anderen auswirken, ist eine Kopplung unvermeidbar. Im einfachsten Fall hat die Strömungsdynamik keinen Einfluss auf die Geometriebewegung. Dann reicht eine Kopplung in eine Richtung: Veränderungen der Geometrie werden an die Strömungssimulation weiter gereicht. Änderungen der Strömung haben jedoch keinen Einfluss auf die Bewegung/Verformung der Geometrie. Das ist zum Beispiel der Fall, wenn man einen einzelnen Wassertropfen auf einer sich öffnenden Fahrzeugtür betrachtet. In vielen Fällen hat die Strömung allerdings auch einen Einfluss auf die Geometrie. Dann ist eine Kopplung in beide Richtungen nötig. Beispiele hierfür sind: Dichtungen, die sich unter dem Einfluss von Wasserstrahlen aus Hochdruckreinigern verformen, aber auch schwimmende Boote, deren Bewegung von den Wellen beeinflusst wird.

In dieser Arbeit werden die Struktursimulationen mittels der ESI Lösung „Virtual Performance Solution“ (VPS) behandelt. Für die Strömungssimulationen wird das neue VPS-Modul für Wasserströmungen eingesetzt. Es basiert auf der ESI-Implementierung der gitterfreien „Finite Pointset Methode“ (FPM). Sie ist schon seit langem für kompressible Gassimulationen verfügbar und seit der Version VPS 2015 auch für inkompressible Wasserströmungen anwendbar. VPS und FPM haben eine gemeinsame Schnittstelle zum Datenaustausch. Für einen Einblick in das Thema rund um VPS verweisen wir auf [4], [5] und [8]. Ein kurzer Überblick zur FPM folgt im nächsten Abschnitt.

1.1 Finite Pointset Methode

Die Finite Pointset Methode (FPM) ist ein gitterfreier Ansatz zum Lösen von kontinuumsmechanischen Problemen. In unserem Rahmen beschränken wir uns auf fluiddynamische Anwendungen die auf den inkompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen basieren. Eine theoretische Einführung in das Thema findet sich z.B. in [1], [2] oder [6]. Im Prinzip ist die Methode jedoch auch auf beliebige andere partielle Differentialgleichungen anwendbar. Insbesondere hat ESI seit vielen Jahren Erfahrungen im Bereich der kompressiblen Gasströmungen gesammelt wie in [3], [7] und [9] aufgezeigt (siehe Abb. 2). Auch für Simulationen von Aufschäumvorgängen und von nicht-newtonschen Fluiden wurde die Methode schon erfolgreich verwendet.

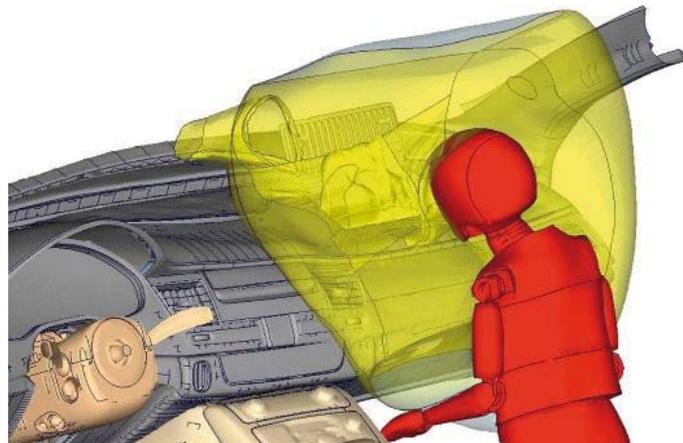


Abb. 2: „Out of Position“ Beifahrer Airbag
(Mit freundlicher Genehmigung der AUDI AG)

Als gitterfreie Methode diskretisiert FPM das Strömungsvolumen mit einer Menge nicht verbundener Punkte. Im Laufe einer Simulation bewegen sich diese Punkte mit der lokalen Strömungsgeschwindigkeit (Lagrange-Ansatz). Da im Gegensatz zu einer gitterbasierten Methode keine Kanten/Verbindungen mit benachbarten Punkten existieren, entfällt dabei der Aufwand, ein konsistentes Netz zu erhalten (siehe Abb. 3 und Abb. 4). Deswegen kann die FPM auch ohne Probleme auf Fälle mit großen lokalen Deformationen des Strömungsgebietes angewendet werden. Rechenintensive Neuvernetzungen oder Gitteranpassungen entfallen. Man muss nur lokal dafür sorgen, dass die Punktwolke nicht degeneriert. D.h. Löcher sollten gefüllt werden und Stellen, in denen die Punkte zu dicht zusammen strömen ausgedünnt werden. Aber da man an diesen

Stellen nicht auf die Netzqualität achten muss, sind diese Schritte im Allgemeinen weniger rechenintensiv als Vernetzungsoperationen. Die FPM kümmert sich in jedem Schritt selbständig um die Qualität der Punktwolke, ohne dass der Anwender manuell eingreifen muss.

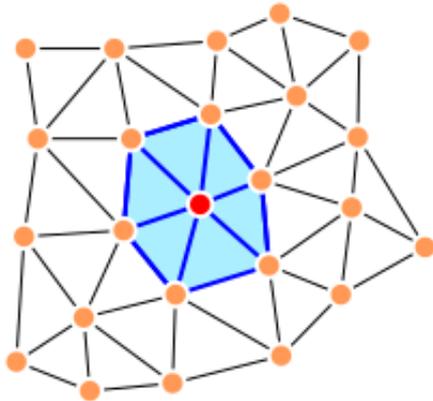


Abb. 3: Klassisches finite Elemente Netz für Nachbarschaftsrelationen

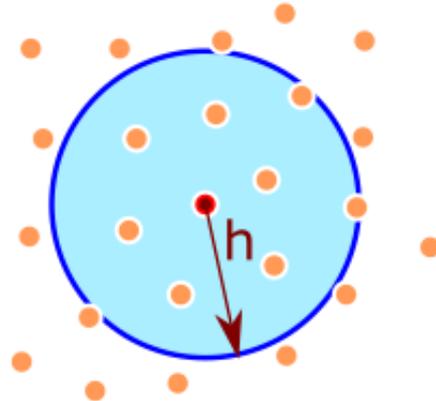


Abb. 4: Gitterfreie Nachbarschaftsbeziehung basierend auf einem Einflussgebiet mit Radius „h“

Ein weiterer Vorteil der FPM liegt in der Modellvorbereitung. Bei gitterbasierten Verfahren muss das Strömungsvolumen komplett mit einem 3D Netz versehen werden. Der FPM genügt ein Oberflächennetz (2D), das eine Begrenzung des Strömungsvolumens bildet. Das Füllen des durch diese Oberflächen entstehenden Strömungsvolumens mit einer konsistenten Punktwolke geschieht durch die FPM automatisch. Dabei ist es ohne Probleme möglich, lokale und zeitlich variable Verfeinerungen der Punktwolke zu berücksichtigen, um geometrische oder strömungsdynamische Details ausreichend aufzulösen.

Im Gegensatz zu anderen gitterfreien Methoden (z.B. Smooth-Particle-Hydrodynamics) sind die Lagrange Punkte bei FPM nicht massebehaftet. Sie dienen als reine Diskretisierungspunkte für die zu lösenden partiellen Differentialgleichungen. Eine verallgemeinerte finite Differenzenmethode aufbauend auf „Moving Least Squares“ (MLS) Verfahren ermöglicht das Bilden lokaler Approximationen von Funktionswerten und Ableitungen. Der Vorteil dieses Ansatzes ist, dass man direkt die partiellen Differentialgleichungen löst und entsprechend mit den üblichen Randbedingungen und Materialparametern arbeitet. Für Parameter wie Viskosität, Dichte, Oberflächenspannung, Wärmeleitkoeffizient etc. kann man ohne weitere Anpassungen die üblichen tabellierten Werte aus der Literatur verwenden.

Ihre Stärken spielt die FPM bei bewegten Geometrien, freien Oberflächen und großen lokalen Deformationen des Strömungsvolumens aus. Da direkt die partiellen Differentialgleichungen gelöst werden und auch Randbedingungen direkt implementiert sind, kann die Methode ohne größere Probleme um weitere physikalische Effekte erweitert werden. Im Rahmen der ESI FPM Implementierung sind dies unter anderem Oberflächenspannungen an freien Oberflächen und die Berücksichtigung von Kontaktwinkeln zwischen Luft, Fluid und einer Struktur. Jede Simulation ist flexibel um weitere parallel lösbare Gleichungen (auch gewöhnliche Differentialgleichungen) erweiterbar, die zur Beschreibung komplexer Abhängigkeiten von Materialparametern dienen können (z.B. Scherraten- oder temperaturabhängige Viskosität).

1.2 Fluid-Struktur-Interaktion

Die Lösung der Struktursimulation in VPS und die FPM sind bei ESI explizit gekoppelt. Dabei findet immer eine Kopplung in beide Richtungen statt. Koordinaten und Geschwindigkeiten der Geometrie werden von VPS an FPM durchgereicht und in die andere Richtung werden lokale Kräfte, die von der Strömung auf die Struktur wirken, von FPM an VPS weitergereicht. In wie weit die Struktur auf die lokalen Kräfte aus der Strömungssimulation reagiert, kann man im VPS-Modell detailliert einstellen. Damit lassen sich unterschiedliche Effekte realisieren. Je nach Anwendungsfall kann man jegliche Wirkung der Strömung auf die Struktur unterbinden oder die Kräfte berücksichtigen, basierend auf diesen dann aber nur Starrkörperänderungen an der Geometrie zulassen (Translation/Rotation von ganzen Bauteilen). Die vollständige Kopplung ermöglicht schließlich lokale Verformungen an der Geometrie (z.B. bei elastischen oder plastischen Materialien)

hervorgerufen durch die von der Strömung ausgeübten Kräfte. Je komplexer die Kopplung mit VPS ausfällt, desto detaillierter sollte die Materialmodellierung auf Seiten der Struktursimulation ausfallen. Prinzipiell ist die Materialauswahl für Interaktionen mit FPM auf Seiten von VPS nicht eingeschränkt, und alle Materialtypen stehen für die Simulation zur Verfügung.



Abb. 5: Interaktion zwischen einem Wasserstrahl und einer flexiblen Struktur. Simuliert mit dem Wasserströmungsmodul in ESI-VPS.

2 Anwendungen

Wie weiter oben schon erwähnt, spielt das VPS Modul für die Simulation von Wasserströmungen auf der Basis von FPM seine Stärken vor allem in Anwendungen mit bewegten Geometrien und freien Oberflächen aus. An dieser Stelle sei der Fokus exemplarisch auf ein paar Bereiche gelegt.

2.1 Analyse von Dichtungen

Im Fahrzeugumfeld werden an verschiedensten Stellen Dichtungen aus Gummi eingebaut. Wenn das Fahrzeug gereinigt wird, kommen nicht selten Hochdruckreiniger zum Einsatz. Bei ungünstigen Winkeln und kleinen Abständen der Düse des Hochdruckstrahls zum Gummi werden die Dichtungen extremen Belastungen ausgesetzt. Eine Untersuchung, ob die Dichtung unter dem Einfluss des Wasserstrahls nachgibt, ist von großem Interesse für alle Fahrzeughersteller und Zulieferer. Können diese Untersuchungen an Hand von Simulationen schon vor der Prototypenphase durchgeführt werden, so spart das Kosten.

Bei dieser Anwendung ist die Fluid-Struktur-Kopplung äußerst wichtig. Die Geometrie der Gummidichtung ist im Allgemeinen in Form von CAD Daten im undeforinierten Zustand gegeben. D.h. um den Einbauzustand zu erreichen, benötigt man als erstes eine Simulation, die den Montageprozess der Dichtung nachbildet. Das Ergebnis daraus ist eine Gummidichtung im verbauten Zustand inklusive aller Deformationen und internen Spannungen. Diese kann dann für eine Simulation eines Wasserstrahls mittels des Wasserströmungsmoduls von VPS verwendet werden. Wichtig ist, dass die Struktur des Gummis dabei weiterhin als flexibles Model in der Simulation erhalten bleibt und sich entsprechend der einwirkenden Wasserkräfte deformieren kann.

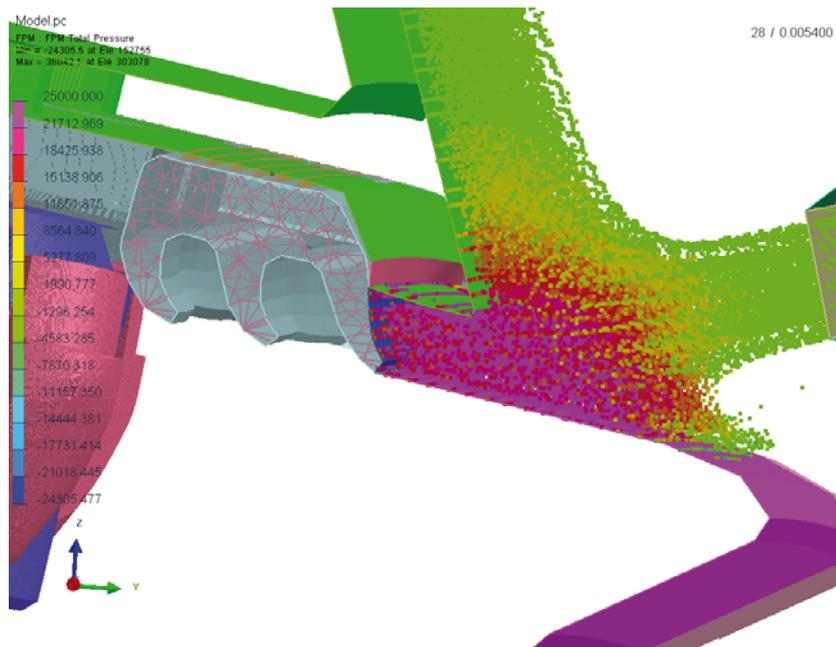


Abb. 6: Simulation einer flexiblen Gummidichtung unter dem Einfluss eines Wasserstrahls mittels ESI-VPS und dem Wasserströmungsmodul.

Für solche Anwendungen spielt die Kopplung von VPS und dem neuen Wasserströmungsmodul ihre volle Stärke aus. In VPS sind weitreichende Materialmodelle hinterlegt, und die Modellierung der Struktur kann auf 2D-Elementen oder aber 3D-Strukturen basieren. Ein einfaches Blech kann durch weniger rechenaufwendige 2D-Elemente repräsentiert werden, während die komplexe Struktur des Dichtungsgummis detailliert über 3D-Elemente abgebildet werden sollte. Die endgültige Strukturmodellierung kann dann vollständig ohne weitere Modifikationen mit dem VPS-Wasserströmungsmodul gekoppelt werden.

2.2 Wasserströmungssimulationen für Seitenscheiben

Wasserablaufsimulationen sind in der Fahrzeugentwicklung von großem Interesse. Das Verhalten von Wasserströmen hängt hauptsächlich von der Geometrie bzw. dem Design des Fahrzeugs ab. Je früher im Entwicklungsprozess Probleme erkannt werden können, desto eher kann man Designänderungen vornehmen und somit Kosten sparen, bevor man in die Prototypenphase eintritt. Fragen, die sich stellen sind zum Beispiel, wohin sich Wassertropfen bewegen, wenn man Fenster, Türen oder Heckklappen öffnet. Es sollte so weit wie möglich vermieden werden, dass sie ins Fahrzeuginnere tropfen. Außerdem stellt sich die Frage, ob bei Regen Wasser von der Frontscheibe ungünstig abgelenkt wird und über die Seitenscheibe ablaufen kann, wo es dann unter Umständen die Sicht auf den Seitenspiegel verdeckt.

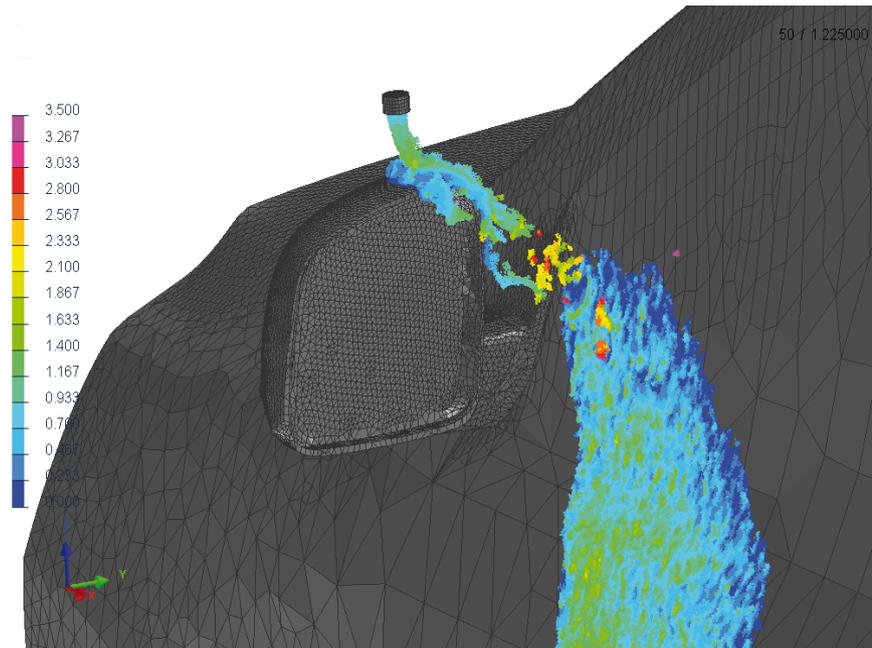


Abb. 7: Wasserstrahl unter dem Einfluss von Wind- und Gravitationskräften simuliert mit dem Wasserströmungsmodul in ESI-VPS.

Die Herausforderung bei solchen Simulationen ist, dass sich das Strömungsvolumen sehr stark mit der Zeit verändert. Außerdem sind physikalische Effekte wie Oberflächenspannungen und Kontaktwinkel des Wassers zu berücksichtigen. Bewegte Geometrien spielen eine entscheidende Rolle (z.B. beim Türen öffnen), auch wenn man meist keine Verformung der Geometrie aufgrund der Wasserströmung berücksichtigen muss. Insbesondere wegen des stark veränderlichen Strömungsvolumens kann das neue VPS-Wasserströmungsmodul auf der Basis der FPM in diesem Anwendungsszenarien effektiv eingesetzt werden. Es muss nicht die gesamte Geometrie mit einem 3D-Netz versehen werden, das dann entsprechend der tatsächlichen Position der Flüssigkeiten lokal verfeinert werden muss. Stattdessen sind die Diskretisierungspunkte der FPM nur dort zu finden, wo sich auch Flüssigkeiten befinden. Aufgrund des Lagrange-Ansatzes bewegen sich die FPM Punkte mit der Strömung. Freie Oberflächen werden so auf einem natürlichen Weg verfolgt bzw. detektiert.

2.3 Tankschwappen

Das Schwappen von Flüssigkeiten in Tanks von Fahrzeugen ist eine weitere Fragestellung bei der Fluid-Struktur-Interaktionen von Bedeutung sind. Dabei kann man sich auf unterschiedliche Aspekte konzentrieren.

Eine Frage ist, wie sich die Flüssigkeit im Tank bei alltäglichen Fahrten mit dem Fahrzeug verhält. Bedingt durch unregelmäßige Tankgeometrien kann nicht immer sichergestellt werden, dass im Bereich der Ansaugung genug Treibstoff vorhanden ist. Dieses Problem kann z.B. nach Kurvenfahrten auftreten, wenn der Treibstoff sich in den falschen Regionen des Tanks gesammelt hat. Außerdem möchte man Geräuschbildung im Tank durch schwappende Flüssigkeiten z.B. beim Anhalten vermeiden. Simulationen können hier helfen Geometrie-optimierungen zu finden oder ideale Positionierungen für flexible Trennwände zu definieren, die dann mit der Tankflüssigkeit interagieren. Falls dies nicht möglich ist, kann man auf der Basis der Simulationen alternativ Strategien für Umverteilungen der Flüssigkeiten basierend auf Pumpen entwickeln.

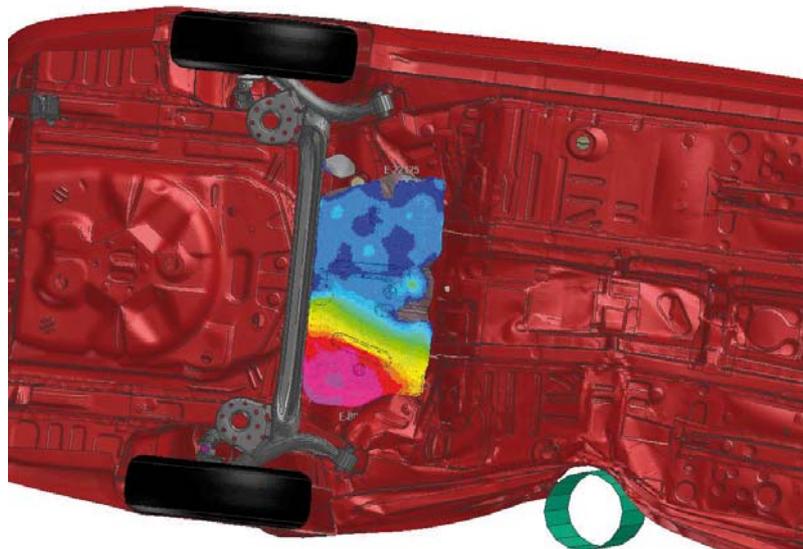


Abb. 8: Druckverteilung einer schwappenden Flüssigkeit in einem Fahrzeugtank während einer Crash-Simulation (Ergebnisse erzeugt mit dem Wasserströmungsmodul von ESI-VPS)

Ein weiteres Anwendungsfeld findet sich im Bereich der Crash-Untersuchungen. Die sich dort stellende Frage ist, ob bei einem Crash durch die Bewegung der Flüssigkeiten im Tank zusätzliche Kräfte auftreten, die zum Versagen der Tankstruktur und somit zum Auslaufen des Treibstoffs führen können. Dies sollte unter allen Umständen vermieden werden. Dabei sind unterschiedliche Crashszenarien und Tankfüllstände zu berücksichtigen. Das Abbilden all dieser Lastfälle in Experimenten ist extrem zeitaufwändig und teuer. Simulationen bieten hier einen deutlich flexibleren und ressourcenschonenderen Ansatz.

Aufgrund der Ähnlichkeit der Flüssigkeiten in einem Tank im Vergleich zu Wasser bietet sich für all diese Simulationsfragen das Wasserströmungsmodul in ESI-VPS an. Das komplette Fahrzeugmodell ist oftmals schon in der VPS Umgebung abgebildet und berücksichtigt dabei alle Materialien, Bewegungen und Verformungen der Struktur. Mit relativ geringem Arbeitsaufwand lässt sich das Modell um die Strömungssimulation der Flüssigkeiten im Tank erweitern. Dank der Kopplung der beiden Löser für Strömungsdynamik und Struktur werden Informationen direkt übertragen, und der Einfluss der Komponenten aufeinander ist in den Ergebnissen sichtbar.

3 Zusammenfassung

Zusammenfassend zeigt sich das Wasserströmungsmodul von ESI-VPS als starke Methode für Strömungssimulationen mit bewegten und flexiblen Strukturen. Die einfache Modellerweiterung der Struktursimulation um die Strömungskomponente ist ideal, um bestehende Modell ohne zu großen Aufwand weiter zu verwenden. Insbesondere kann man alle Materialmodellierungen und Bewegungsdefinitionen aus dem Strukturmodell beibehalten. Die FPM als Ansatz für die Strömungssimulation spielt in diesem Umfeld ihre Stärken in der Behandlung von freien Oberflächen und bewegten/flexiblen Strukturen voll aus. Das direkte Lösen der Navier-Stokes-Gleichungen ermöglicht dabei die Verwendung der üblichen Materialparameter ohne modellbedingte Anpassungen.

4 Literatur

- [1] Tiwari, Sudarshan and Kuhnert: "A meshfree method for incompressible fluid flows with incorporated surface tension", *Revue Européenne des Elements*, 2002
- [2] Tiwari, Sudarshan and Kuhnert: "Finite pointset method based on the projection method for simulations of the incompressible Navier-Stokes equations", *Meshfree Methods for Partial Differential Equations*, Springer, 2003, S. 373-387
- [3] Kuhnert: "An upwind finite pointset method (FPM) for compressible Euler and Navier-Stokes equations", *Meshfree methods for partial differential equations*, Springer, 2003, S. 239-249
- [4] Haug, Scharnhorst, Du Bois: "FEM-Crash, Berechnung eines Fahrzeugfrontalaufpralls", *VDI Berichte* 613, S. 479–505
- [5] Pickett, Hoeck, Poth, Sehrepfer: "Crashworthiness analysis of a full automotive rollover test using a mixed rigid body and explicit finite element approach", *VDI Berichte* 816, S. 167-179
- [6] Trameçon, Kuhnert, Mouchette, Perrin: "New Trends in Accurate Simulations for the Verification of Safety Margins in the Nuclear Power Plant Industry: Application of Virtual Performance Solution™ for the Response of Immersed Structures Subjected to Earthquakes", *ASME 2011 Pressure Vessels and Piping Conference*, S. 409-419
- [7] Kuhnert, Trameçon, Ullrich: "Advanced air bag fluid structure coupled simulations applied to out-of position cases", *EUROPAM conference proceedings 2000*
- [8] Haug, Ulrich: "The PAM-CRASH code as an efficient tool for crashworthiness simulation and design", *Second European Cars/trucks Simulation Symposium 1989*, S. 22-24
- [9] Hoffman, Pickett, Ulrich, Haug, Lasry, Clinkemäillie: "A finite element approach to occupant simulation: the PAM-crash airbag model", *SAE Technical Paper* 1989

Bitte per Post oder E-Mail an:
magazin@nafems.de

Adresse für Fensterkuvert



NAFEMS Deutschland,
Österreich, Schweiz GmbH
Griesstr. 20
D-85567 Grafing b. München,
Germany

Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (4/2016)

- Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:
 - NAFEMS Mitgliedschaft
 - NAFEMS e-learning
 - NAFEMS Magazin „Benchmark“
 - Professional Simulation Engineer PSE
 - NAFEMS Seminare
 - Internationale Arbeitsgruppen
 - NAFEMS Trainingskurse
 - NAFEMS World Congress / Int. SPDM Conf. 2017
- 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: _____

Bitte per Post oder E-Mail an:
magazin@nafems.de

Adresse für Fensterkuvert



NAFEMS Deutschland,
 Österreich, Schweiz GmbH
 Griesstr. 20
 D-85567 Grafing b. München,
 Germany

Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (4/2016)

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 / Int. SPDM Conf. 2017 |

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
Griesstr. 20
D-85567 Grafing b. München, Germany

Tel. +49 (0) 176 217 984 01
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