



Zeitschrift für numerische Simulationsmethoden und angrenzende Gebiete

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

Fachbeiträge:

Verbindungstechnische Aspekte

Analyse der prozessbedingten Verformungen einer versteiften CFK Composite-Schale unter der Anwendung von kohäsiven Elementen

C. Brauner (Faserinstitut Bremen e.V.);

A. Herrmann (Universität Bremen)

Betriebsfestigkeit

Kurbelwellen in Großdieselmotoren

R. Krivachy, A. Linke, D. Pinkernell (MAN Diesel & Turbo SE)

Sichere Dichtungen – Alterungsmodell für Gummi

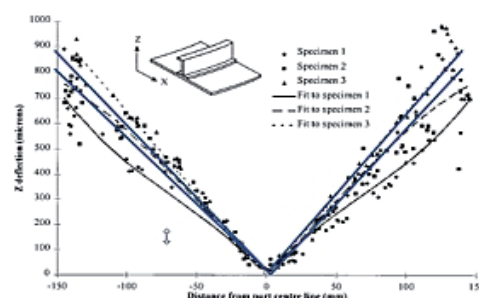
M. Achenbach (Parker Hannifin GmbH)

Thermomechanische Ermüdung – Simulation von Thermoschocks

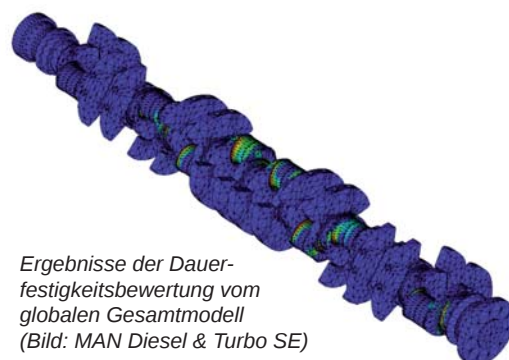
D. Šeruga, M. Nagode (University of Ljubljana);

M. Hack (LMS International N.V.);

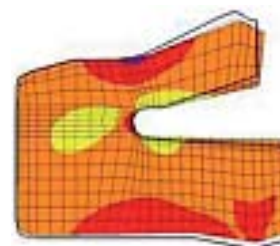
E. Hansenne (BOSAL Research N.V.)



Experimentelle Ergebnisse im Vergleich zur Simulation (Bild: Faserinstitut Bremen e.V.)



Ergebnisse der Dauerfestigkeitsbewertung vom globalen Gesamtmodell (Bild: MAN Diesel & Turbo SE)



FEM-Resultat zur Alterung von Lippendichtungen (Bild: Parker Hannifin GmbH)



Abgasrohr - kritische Stelle (Bild: LMS International N.V.)

FEM Trainingskurs:

Einführung in die praktische Anwendung der FEM

6. - 8. Juni 2011, Wiesbaden

Seminar:

Die Rolle des CAE in Systems Simulation

8. - 9. November 2011, Wiesbaden

2nd European Conference:

Simulation Data Management (SDM)

15. - 16. November 2011, München



NWC
NAFEMS WORLD CONGRESS 2011

23-26 MAY | BOSTON | USA

Alle bisherigen Ausgaben kostenlos downloaden
unter: <http://www.nafems.org/magazin>



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

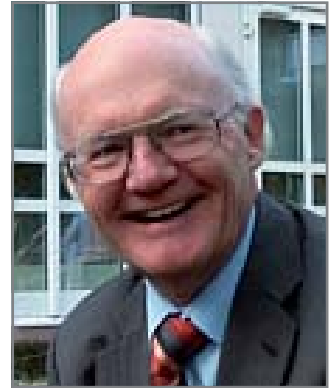
Sehr geehrte Leserin,
sehr geehrter Leser,

sorgfältige wissenschaftliche Arbeit erschöpft sich nicht darin, die Herkunft aller Zitate nachvollziehbar zu benennen. Mindestens ebenso wichtig ist es, dass Autoren sich vorab über den Stand der Forschung auf dem zu untersuchenden Gebiet ausführlich informieren. Dazu ist umfangreiches Literaturstudium unerlässlich, eine Aufgabe, die durch die Möglichkeiten des Internets erheblich erleichtert wurde. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass Literaturstudium und eigene kreative Arbeit ergänzt werden müssen durch eine kritische Auseinandersetzung mit Fachkollegen. Erst in intensiven Gesprächen und Diskussionen werden unterschiedliche Aspekte des Themas ausgeleuchtet: Man stößt auf neue Gesichtspunkte, andere Lösungswege werden deutlich oder Parallelarbeiten werden benannt; vielleicht wird man aber auch in seinen Vorstellungen bestätigt. Als neutrale, von Software- und Hardwareanbietern unabhängige Institution bietet NAFEMS für solche Diskussionen mit den Seminaren und Kongressen zu Problemen der numerischen Simulation hervorragend geeignete Plattformen. So haben Anfang April in Wiesbaden zwei Seminare zu den Themen "Integration von Strömungsberechnungen (CFD) in den Produktentwicklungsprozess" (4. - 5. April) und "Fortschritte in der Simulation von Composites" (6. - 7. April) stattgefunden. Vom 23. bis zum 26. Mai veranstaltet NAFEMS zudem seinen alle zwei Jahre stattfindenden World Congress in Boston, USA, auf dem Simulationstechnologie und deren Einfluss auf Industrie und Gesellschaft in großer Bandbreite behandelt werden (www.nafems.org/congress). Vom 8. - 9. November ist in Wiesbaden ein Seminar zum Thema "Die Rolle der CAE in der Systemsimulation" vorgesehen. Einladungen und detaillierte Programme dazu finden Sie demnächst unter <http://www.nafems.org/events/nafeoms/2011/>.

Das vorliegende Heft 18 des Magazins bietet in seinem wissenschaftlichen Teil einen Einblick in die Vielfalt und die Qualität der Seminarbeiträge. Im April 2010 fand in Wiesbaden eine Seminar über verbindungstechnische Aspekte bei Finite-Elemente-Berechnungen statt; daraus stammt ein Beitrag, der mit kohäsiven Elementen die Verbindung zwischen der Haut und Versteifungen einer Schalenstruktur aus dem Flugzeugbau simuliert. Drei Beiträge haben Themen aus dem Seminar über Betriebsfestigkeit und Lebensdauer im November 2010 zum Inhalt. Hier werden das Alterungsverhalten von Gummidichtungen, die Dauerfestigkeit von Kurbelwellen großvolumiger Dieselmotoren und die Auswirkungen von Thermalschocks auf die Lebensdauer von Auspuffrohren behandelt. Ich wünsche mir, dass Sie beim Lesen dieser Beiträge Anregungen für eine sachgerechte Modellierung erhalten und vielleicht auch einen Anstoß zur Teilnahme an den NAFEMS Seminaren im Sinne einer offenen und sachorientierten Diskussion mit Fachkollegen.

Mit freundlichen Grüßen

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.altair.com



www.simulia.com/de



www.esi-group.com



www.intes.de



www.mscsoftware.com



Leading MBS Technology
for Technology Leaders

www.simpack.com

Über NAFEMS

NAFEMS ist eine gemeinnützige Organisation zur Förderung der sicheren und zuverlässigen Anwendung von Simulationsmethoden wie FEM und CFD.

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

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

Mitglieder des internationalen NAFEMS Councils

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

Um die Aktivitäten von NAFEMS im deutschsprachigen Raum neutral zu leiten und die nationalen Belange innerhalb der NAFEMS zu vertreten, wurde ein Lenkungsausschuss etabliert.

Mitglieder des deutschen NAFEMS Steering Committees

Dr.-Ing. W. Dirschmid (Consultant), Chairman
 Dr.-Ing. A. Gill (Ansys Germany GmbH)
 Dr.-Ing. R. Helfrich (Intes GmbH)
 Dipl.-Ing. G. Müller (Siemens AG)
 Dr.-Ing. G. Müller (CADFEM GmbH)
 Dipl.-Ing. W. Moretti (Schindler Elevator Ltd)
 Dipl.-Ing. F. A. Muggli (Sulzer Innotec)
 Dipl.-Ing. F. J. H. Peeters (Abaqus Europe BV)
 Dipl.-Ing. A. Pfaff (MSC Software GmbH)
 Prof. Dr.-Ing. K. Rohwer (DLR)
 Dr. A. Svobodnik (Harman/Becker Automotive Systems)
 Prof. Dr.-Ing. habil. M. Zehn (TU Berlin / Femcos mbH)

Mitglied bei NAFEMS?

NAFEMS hat weltweit über **950 Mitgliedsunternehmen und -Institutionen**.

NAFEMS Mitglieder erhalten unter anderem:

- Benchmark (Internationales FEM-Magazin)
- Literatur
- Freie Seminarplätze
- Ermäßigungen für Trainingskurse, Kongresse und Literatur
- Zugriff auf passwortgeschützten Webbereich mit Kontaktmöglichkeiten und Informationen
- Kontakt zu über 950 Organisationen weltweit

Werden auch Sie Mitglied !



Die Zeitschrift „Benchmark“

Benchmark, das internationale NAFEMS Magazin, behandelte in der aktuellen April-Ausgabe unter anderem folgende Themen:

- Adaptive Re-Meshing in Structural Analysis - Part 1
- Practice of Design against Fatigue in Power Plant Technology - Part 1
- Analyst Competences – Industry Needs
- u.v.m. ...

Die nächste Ausgabe erscheint im Juli 2011.

Jetzt abonnieren – für Mitglieder natürlich frei!

www.nafems.org

Impressum

Editor-in-Chief

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

Redaktioneller Beirat

Dr. Yasar Deger (HSR, CH)
Gerhard Müller (Siemens AG, D)
Dr. Alfred Svobodnik (Harman/Becker
Automotive Systems, A)
Prof. Dr. Manfred Zehn (TU Berlin /
Femcos mbH, D)

Redaktion

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

Gestaltung / Layout / Anzeigen

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

Bezugspreis / Aboservice

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

Anzeigenpreise

Preisliste vom 01.01.2011

Verteilung / Bezug

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

Copyright © 2011, 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.

Vorwort des Editor-in-Chief.....	2
Sponsoren	3
Über NAFEMS / Mitgliedschaft.....	4
NAFEMS DACH Aktuell.....	6 - 9
Die nächsten Trainingskurse / Seminare / Konferenzen	7
Werden Sie NAFEMS Trainer	7
Aktuelle Umfragen – machen Sie mit.....	7
Schreiben Sie ein Buch - Invitation 2 Tender	7
Literatur / e-Library.....	7
Trainingskurs: Einführung in die praktische Anwendung der FEM.....	8
Trainingskurs: Introduction to CFD Analysis: Theory & Applications.....	9
Rückblick: NAFEMS Seminar Strömungsberechnungen - CFD	10
Rückblick: NAFEMS Seminar Composites	11
e-Learning Trainingskurse.....	11
Stellenanzeigen (s.u.).....	12 - 18
Neuigkeiten.....	19 - 29
Veranstaltungskalender.....	30 - 31
NAFEMS World Congress 2011 - Einladung und Agenda.....	32 - 43
Fachbeiträge (s.u.)	44 - 87
Rückmeldeformular	88 - 89

Fachbeiträge

Verbindungstechnische Aspekte bei FEM-Berechnungen

Analyse der prozessbedingten Verformungen einer versteiften CFK Composite-Schale unter der Anwendung von kohäsiven Elementen	44 - 54
C. Brauner (Faserinstitut Bremen e.V.); A. Herrmann (Univ. Bremen)	

Betriebsfestigkeit

Eine numerische Festigkeitsberechnung von Kurbelwellen in Großdieselmotoren	55 - 63
R. Krivachy, A. Linke, D. Pinkernell (MAN Diesel & Turbo SE)	
Sichere Dichtungen – Alterungsmodell für Gummi	64 - 78
M. Achenbach (Parker Hannifin GmbH)	
Thermomechanische Ermüdung – Simulation von Thermoschocks	79 - 87
D. Šeruga, M. Nagode (Univ. of Ljubljana); M. Hack (LMS International N.V.); E. Hansenne (BOSAL Research N.V.)	

Stellenanzeigen

Altair Engineering GmbH.....	12 - 13
AVL Deutschland GmbH.....	14
Dassault Systemes Deutschland GmbH	15
Dräxlmaier Group	18
FE-Design GmbH	17
ISKO engineers AG	17
NAFEMS.....	18
Simpack GmbH	16

Werbeanzeigen

CADFEM GmbH.....	26
CADnetwork e. K.	28
Mentor Graphics GmbH.....	25
NAFEMS.....	6
Pike Engineering	25
Simpack GmbH	21
transtec ag.....	23
TU Darmstadt	27



Creating Awareness | Delivering Education | Stimulating Standards



NAFEMS is the International Association for the Engineering Analysis Community: an independent, not-for-profit, international membership association, owned by its members. The scope of its activities encompasses all simulation technology, including Finite Element Analysis and Computational Fluid Dynamics. As new application areas and techniques constantly evolve, NAFEMS becomes involved to create awareness and deliver appropriate education and training.

NAFEMS publications and benchmarks are widely regarded within the engineering analysis community as the most authoritative source of information available. The areas covered by NAFEMS are expanding year by year with the growth in membership, and people increasingly view NAFEMS as a one-stop shop for all aspects of information on engineering analysis.

For engineering analysts, NAFEMS offers an excellent platform for continuous professional development.

**Get Involved.
Join NAFEMS Today.**

www.nafems.org

Die nächsten NAFEMS Trainingskurse

Einführung in die praktische Anwendung der FEM

Wiesbaden - Inhalte und Infos auf Seite 8

06. - 08. Juni 2011

Introduction to CFD Analysis: Theory and Applications

Inhalte und Infos auf Seite 9

in-house

Das nächsten NAFEMS Seminare / Konferenzen

Die Rolle des CAE in Systems Simulation

Wiesbaden

08. - 09. Nov. 2011

2nd European Conference: Simulation Data Management (SDM)

München

15. - 16. Nov. 2011

Werden Sie NAFEMS Trainer

NAFEMS wird das Angebot an Trainingskursen regional und international ausbauen und sucht Ingenieure aus Industrie und Hochschule, die gerne (nebenbei) als Referenten arbeiten möchten:

- FEM, CFD, MBS etc. – Grundlagen und Advanced
- Classroom und/oder e-learning
- Deutschsprachig und/oder englischsprachig

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

www.nafems.org/tutors

Aktuelle Umfragen - machen Sie mit

Understanding the Behavior of Product Designs

www.aberdeen.com/survey/0308-NAFEMS-FINAL/

DEVELOP3D's Simulation and Analysis Survey 2011

www.surveymonkey.com/s/D3DxNAFEMSSimulationsurvey11

Digital Habits Survey – Simulation Professional

https://www.surveymonkey.com/s/NAFEMS_Digital_Habits

Schreiben Sie ein Buch – Invitation 2 Tender

- How to Model Composite Materials
- Why Do Validation
- How to Analyse and Process CFD Output
- How to Perform Dynamic FE Analysis
- Determination and Use of Material Properties for FE

www.nafems.org/publications/tender/

Literatur

NAFEMS bietet mit über 200 Publikationen eine umfangreiche Auswahl an Fachliteratur im Berechnungsumfeld an. Die zur Zeit häufig bestellten Publikationen sind zum Beispiel:

- International Journal of CFD Case Studies
- Why Do Electromagnetic Finite Element Analysis?
- Knowledge Base - Don't Forget the Basics

www.nafems.org/publications

e-Library

NAFEMS bietet für Mitglieder Literatur - zunächst im Versuch - zum Download an.

Folgende Publikationen sind zurzeit erhältlich:

- How To Understand CFD Jargon
- A Roadmap of NAFEMS documents
- State of the Art Review - Weld Simulation Using Finite Element Methods
- Procedural Benchmarks for Common Fabrication Details in Plate and Shell Structures
- Advanced Finite Element Contact Benchmarks
- An Introduction to Modelling Buckling and Collapse - Second Edition

www.nafems.org/publications/e-library

3-tägiger NAFEMS Trainingskurs FEM

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

06. - 08. Juni 2011 in Wiesbaden / Inhouse-Kurs

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

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

Inhalte

- Einführung, Grundbegriffe und Prinzipien
 - Freiheitsgrade / Lagerung / Freischneiden / Gleichgewichtsbetrachtung
 - Innere Kräfte / Beanspruchung / Schnittgrößen
 - Spannungszustände / Hauptspannungen
- Typische Beanspruchungsfälle
- Werkstoffparameter / Versagenshypothesen / Sicherheitsfaktor
- Wechsel- und Dauerfestigkeit, Ermüdung und Kerbwirkung

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

Referent



Dr. sc. techn. ETH/SIA
Yasar Deger

Herr Deger hat langjährige, breitgefächerte Erfahrung in der Praxis der Methode der Finiten Elemente und in der Angewandten Mechanik. Zugleich ist er als Dozent für Technische Mechanik und Methode der Finiten Elemente an der HSR, Hochschule für Technik Rapperswil, in der Schweiz tätig und erteilt ausserdem seit 1992 Weiterbildungskurse / Workshops für Konstrukteure und Ingenieure in der Industrie. Sein Buch „Die Methode der Finiten Elemente“ erscheint beim Expert Verlag in der 5. Auflage und ist Teil der Kursunterlagen.

Kurssprache

Deutsch

Inhouse-Kurs

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

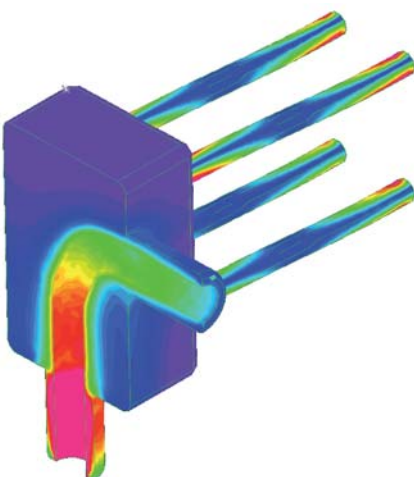
www.nafems.org/events/

2-tägiger NAFEMS Trainingskurs CFD

Introduction to CFD Analysis: Theory and Applications

Inhouse-Kurs

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



Inhalte

- Einleitung / Übersicht
- Welche Gleichungen werden in einem CFD-Programm gelöst?
- Beschreibung der Finite-Volumen Methode zur Lösung der Gleichungen anhand von Beispielen, Darstellung von Problemen / Fehlerquellen beim Lösungsprozess
- Tipps und Hinweise zur CFD-Vernetzung
- Praktische Umsetzung: Vom realen Bauteil zum Simulationsmodell
 - Überlegungen vor der Simulation
 - Annahmen und Voraussetzungen
 - Randbedingungen
 - Gittergenerierung
 - Erläuterung der Probleme an einem Praxisbeispiel
- Qualität von CFD-Berechnungen
 - Überprüfung von CFD-Ergebnissen / Kontrollmöglichkeiten
 - Bewertung der Ergebnisse von CFD-Berechnungen
- Ausblick auf weitere Entwicklungen / Tendenzen in der CFD-Welt (FSI, Optimierung,...)
- Fallbeispiele / Workshop / Diskussionen

Referent



Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Uwe Janoske

Herr Janoske hat langjährige, breitgefächerte Erfahrung in der Praxis auf dem Gebiet der Strömungsberechnung. An der Bergischen Universität Wuppertal vertritt er das Fachgebiet für Strömungsmechanik und ist über zahlreiche Forschungsprojekte und Industriekooperationen in unterschiedlichsten Anwendungen der Strömungsberechnung aktiv.

Kurssprache

Englisch

Inhouse-Kurs

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

www.nafems.org/events/

NAFEMS Seminar - Rückblick

Die Integration von Strömungsberechnungen (CFD) in den Produktentwicklungsprozess

04. - 05. April 2011 in Wiesbaden

Produktentwickler müssen heute in der Lage sein, in kurzer Zeit verschiedene Varianten zu generieren und zu testen. Dabei müssen die Kundenspezifikationen, das Entwicklungsbudget und die oft engen Zeitvorgaben berücksichtigt werden. Um im Konkurrenzkampf mithalten zu können, werden immer leistungsfähigere und effizientere Produkte verlangt. Im Weiteren muss der Entwicklungsprozess auch flexibel genug sein, um auf kurzfristige Änderungen von Kundenwünschen reagieren zu können.

Für viele Anwendungen leistet die numerische Strömungssimulation (CFD) einen wichtigen Beitrag. Sei es bei der Entwicklung neuer Produkte oder bei der Optimierung von bestehenden Anlagen. Oft geht es auch darum, einen vorhandenen Prozess im Bezug auf die Stabilität des Ablaufs zu verbessern.

Aus diesem Hintergrund heraus ergibt sich eine zunehmende Tendenz hin zu einer engen Kopplung von Simulationswerkzeugen mit den Produktentwicklungsabläufen und zum Einsatz von fortschrittlichen Optimierungsmethoden. Wurden früher numerische Strömungssimulationen vorwiegend als eigenständige Disziplin zu einem eher späten Zeitpunkt in der Produktentwicklung durchgeführt, so sind diese Tools heute schon bei der Konzeptionierung eines Produktes gefragt. In einem frühen Stadium der Entwicklung können diverse Szenarien durchgespielt werden und deren Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Produktes sowie das Zusammenspiel verschiedener physikalischer Prozesse in einem Gesamtsystem untersucht werden.

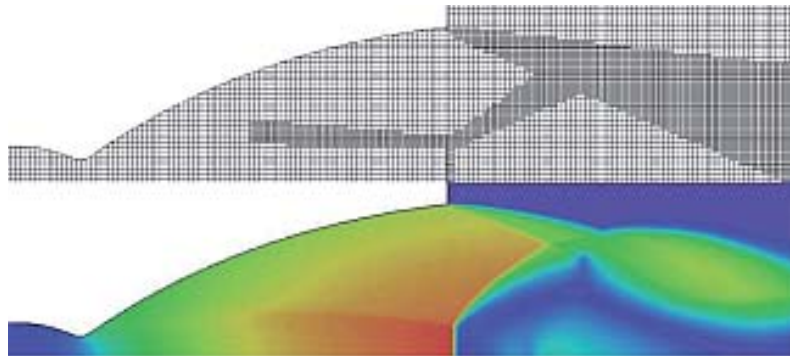


Bild: Mentor Graphics GmbH

Diese Integration von Simulationswerkzeugen in einen Entwicklungsablauf stellt ganz spezielle Anforderungen an die Software und deren Anwender. Bei der Auslegung einer Strömungsmaschine zum Beispiel steht zwar immer noch CFD im Vordergrund, aber auch das Zusammenspiel mit der Strukturmechanik und Thermodynamik muss gewährleistet sein. Somit gewinnt die sogenannte Multiphysics Simulation immer mehr an Bedeutung. Für den Anwender bedeutet dies, dass er über ein breites Wissen über diese vielfältigen Simulationsprozesse verfügen muss, um sicherzustellen, dass diese Werkzeuge innerhalb der zulässigen Grenzen verwendet und die Resultate korrekt interpretiert werden.

Auch die Anforderungen an die Softwarehersteller sind hoch. Um die Codes im industriellen Umfeld einsetzen zu können, müssen die physikalischen Modelle effizient implementiert und die Handhabung relativ einfach sein. Von großer Bedeutung ist die Validierung der Software, da immer mehr im virtuellen Rahmen entwickelt wird und Experimente nur noch punktuell oder gar nicht mehr durchgeführt werden.

Spezialisten auf dem Gebiet der Computersimulation von Strömungs-

vorgängen gaben in dieser Veranstaltung einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand, über Trends und über zukünftige Herausforderungen.

Die Beiträge zeigten anhand konkreter Anwendungen die Möglichkeiten und auch Grenzen der im Produktentwicklungsprozess integrierten Strömungssimulation auf. Auch die Interaktion von Strömungsmechanik mit anderen physikalischen Disziplinen innerhalb des Entwicklungsablaufes wurde eingegangen.

Wir danken allen Vortragenden sowie den technischen Koordinatoren Herrn Felix Muggli (Sulzer Innotec) und Herrn Dr.-Ing. Albrecht Gill (ANSYS Germany GmbH), beide Mitglieder des deutschen NAFEMS Steering Committees. Unser Dank gilt ebenfalls den Ausstellern ANSYS Germany, ISKO engineers, Mentor Graphics, Siemens Industry Software, CADnetwork, CEI, Dassault Systemes Simulia und Fraunhofer Institut SCAI.

Besonders danken möchten wir den Hauptsponsoren Mentor Graphics, Siemens Industry Software, Dassault Systemes Simulia und Fraunhofer Institut SCAI sowie ANSYS Germany als Event Sponsor für Ihre Unterstützung.

Fortschritte in der Simulation von Composites

06. - 07. April 2011 in Wiesbaden

Wenn unterschiedliche Werkstoffe geschickt kombiniert und sicher miteinander verbunden werden, können hervorragende Eigenschaften erreicht werden. Das gilt insbesondere für langfaserverstärkte Kunststoffe. Anerkannt und vielseitig genutzt werden die hohen gewichtsbezogenen Festigkeiten und Steifigkeiten von Strukturen aus Glas- oder Kohlenstofffasern, eingebettet in eine Kunstharzmatrix.

Der Schlüssel für eine erfolgreiche Composite-Struktur ist eine numerische Simulation; erst durch sie können aufwändige Testreihen und hohe Ausschussraten vermieden werden. Das beginnt bereits bei der Auswahl der beteiligten Materialien und der Konzeption für deren Zusammenwirken. Welche Fasern sind mit welchem Matrixmaterial zu kombinieren, und können vielleicht bestimmte Partikel zur Materialverbesserung beitragen?

Die Vielzahl der Möglichkeiten erfordert eine rechnerische Vorhersage der Eigenschaften sowohl auf der mikroskopischen als auch auf der makroskopischen Ebene. Auch die Herstellungsprozesse können durch Simulation optimiert werden. Schrumpfung und Spannungen aus dem Aushärtungsprozess können zu

unerwünschten Verformungen führen, die vorab berechnet und in der Formgebung kompensiert werden müssen. Schließlich zeigen fertige Strukturen aus Verbundwerkstoffen spezielle Eigenschaften, Verhaltensweisen und Schädigungsmechanismen, die besondere Modelle und Analysetechniken erfordern.

In einer Reihe richtungsweisender Beiträge hat dieses Seminar deutlich gemacht, welche Fortschritte in der Simulation von Composites in den letzten Jahren erreicht wurden. Das gilt nicht nur für die Verbundwerkstoffe selber, sondern auch für die Fertigung von Strukturen und die Werkzeuge zur Simulation. Anwenden wurde damit eine umfassende Übersicht über die vorhandenen Möglichkeiten gegeben, aber auch die Entwickler erhielten Anregungen, wo noch Lücken sind und wie diese vielleicht geschlossen werden können.

Wir danken allen Vortragenden, dem technischen Koordinator Herrn Professor Klaus Rohwer (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.), Mitglied des deutschen NAFEMS Steering Committees, sowie den Ausstellern CADFEM, Dassault Systemes Simulia, DYNAmore, Engineering Systems International, ISKO engineers, Intes, Samtech und Siemens Industry Software.

Besonders danken möchten wir dem Hauptsponsor Siemens Industry Software für die Unterstützung.

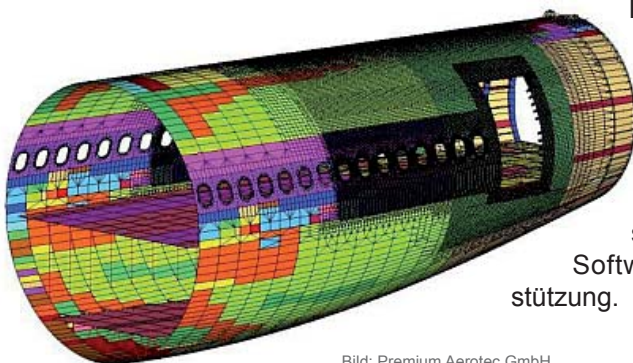


Bild: Premium Aerotec GmbH

e-Learning

Die NAFEMS e-Learning Trainingskurse ermöglichen eine schnelle, höchst effektive und kostengünstige Einführung in die entsprechenden Fachthemen. Sie dienen vor allem dazu, Grundlagen zu vermitteln, die wichtig für die sichere und zuverlässige Anwendung kommerzieller Softwareprogramme sind.

• Basic FE Analysis

Nächster Termin: siehe Internet
Der e-Learning-Kurs eignet sich für Konstrukteure, die sich FEM-Grundlagen aneignen möchten. Der Kurs kann auch als Basis für den 3-tägigen NAFEMS Trainingskurs „Einführung in die praktische Anwendung der FEM“ dienen. Bei gleichzeitiger Buchung des „Basic FE Analysis“ e-Learning-Kurses mit einem „live“ FEM-Trainingskurs erhalten Sie 10 % Ermäßigung auf den Gesamtpreis.

• Composite FE Analysis

Nächster Termin: 02. - 30. Juni

• Fatigue & Fracture Mechanics in FE Analysis

Nächster Termin: 07. - 28. Juni

• Structural Optimization in FE Analysis

Nächster Termin: 05. - 26. Juli

• Dynamic FE Analysis

Nächster Termin: siehe Internet

• Non-Linear Analysis

Nächster Termin: siehe Internet

Referent

Der Referent Tony Abbey hat über 30 Jahre praktische Erfahrung in der Anwendung der Finite-Elemente-Methode. Seit über 15 Jahren beschäftigt er sich mit der Entwicklung von Trainingsunterlagen und der Durchführung von Trainingskursen.

www.nafems.org/e-learning



Altair steht seit mehr als 25 Jahren für Innovation und zukunftsweisende CAE-Technologien. Mit HyperWorks entwickelt Altair eine umfassende und offene CAE-Plattform, welche weltweit von mehr als 4.000 Kunden aus allen bedeutenden Industriezweigen als zentrales Werkzeug bei der virtuellen Produktentwicklung eingesetzt wird. Durch unser international agierendes Vertriebs- und Support-Netzwerk, bestehend aus mehr als 1.000 qualifizierten Ingenieuren, stellen wir hierzu die optimale Betreuung unserer Kunden sicher.

Zur Verstärkung unseres Teams suchen wir Sie!
Wir freuen uns auch über Ihre Initiativbewerbung.



Application Engineers CAE (w/m) **alle Standorte**

Product Specialist CFD (w/m) **alle Standorte**

Technical Consultants (w/m) **alle Standorte**

Application Engineers Aerospace (w/m) **München & Hamburg**

Was macht Altair für Sie so interessant?

Nutzen Sie die Möglichkeit, täglich mit modernsten CAE-Technologien zu arbeiten und sich darin anhand aktueller und praxisrelevanter Fragestellungen kontinuierlich weiterzubilden. Nehmen Sie die Herausforderung an, unsere Kunden beim Einsatz dieser Technologien zu betreuen und zu unterstützen.

Wir sind ein international erfolgreiches Unternehmen, in dem die Zufriedenheit der Mitarbeiter einen hohen Stellenwert hat. Ein gutes Betriebsklima, offene Türen, Flexibilität und sehr gute Entwicklungsmöglichkeiten zeichnen uns aus. Zu Beginn durchlaufen Sie ein intensives firmeninternes Trainee-Programm. Ihre Stärken und Interessen fördern wir und bieten Ihnen weltweite Karrieremöglichkeiten.

Haben wir Ihr Interesse geweckt?

Dann freuen wir uns auf Ihre aussagekräftigen Bewerbungsunterlagen inkl. Ihrer Gehaltsvorstellung und Ihrem möglichen Eintrittstermin. Freuen Sie sich auf ein motivierendes Arbeitsklima in einem dynamischen Team!

Die ausführlichen Stellenbeschreibungen und weitere Positionen finden Sie bei uns im Internet.

Join the Altair-Team – bewerben Sie sich bei Altair! Bevorzugt über unser Online-Bewerbungsportal oder per E-Mail.

Kontakt:

Altair Engineering GmbH | Human Resources | Claudia Zeh-Purificato | Calwer Str. 7 | 71034 Böblingen
E-Mail: recruiting@altair.de | Tel.: +49(0)7031.6208.0 | Fax: +49(0)7031.6208.99
www.altair.de | www.altairhyperworks.de

Altair finden Sie in Böblingen, Köln, Hannover, Hamburg, München & Graz





Altair Join the PD-Team!

Altair ProductDesign steht für Innovation und Kreativität sowie für modernste und zukunftsweisende Technologien bei der Produktentwicklung. Namhafte Firmen aus allen Industrien bauen seit mehr als 25 Jahren auf unser Know-how und vertrauen auf unsere zuverlässigen Ergebnisse und Lösungen. Unser Leistungsspektrum umfasst die komplette Produktentwicklungskette vom Konzept bis zur Produktzertifizierung. Bringen Sie für Ihre Kunden und Altair ProductDesign-Projekte zum Erfolg mit Ihrem Verständnis für Kundenanforderungen und Ihrer Flexibilität.

Um unsere Kunden noch besser unterstützen zu können, suchen wir Sie!

Wir freuen uns auch über Ihre Initiativbewerbung.



CAE Project Manager (w/m) Köln

Entwicklungsingenieure Crash / Occupant Safety (w/m) Böblingen, München & vor Ort beim Kunden

Entwicklungsingenieure Strukturoptimierung Automobil- sowie Luft- und Raumfahrtindustrie (w/m) alle Standorte & vor Ort beim Kunden

Was macht Altair für Sie so interessant?

Nutzen Sie die Möglichkeit, täglich mit modernsten CAE-Technologien zu arbeiten und sich darin anhand aktueller und praxisrelevanter Fragestellungen kontinuierlich weiterzubilden. Nehmen Sie die Herausforderung an, unsere Kunden beim Einsatz dieser Technologien zu betreuen und zu unterstützen.

Wir sind ein international erfolgreiches Unternehmen, in dem die Zufriedenheit der Mitarbeiter einen hohen Stellenwert hat. Ein gutes Betriebsklima, offene Türen, Flexibilität und sehr gute Entwicklungsmöglichkeiten zeichnen uns aus. Zu Beginn durchlaufen Sie ein intensives firmeninternes Trainee-Programm. Ihre Stärken und Interessen fördern wir und bieten Ihnen weltweite Karrieremöglichkeiten.

Haben wir Ihr Interesse geweckt?

Dann freuen wir uns auf Ihre aussagekräftigen Bewerbungsunterlagen inkl. Ihrer Gehaltsvorstellung und Ihrem möglichen Eintrittstermin. Freuen Sie sich auf ein motivierendes Arbeitsklima in einem dynamischen Team!

Die ausführlichen Stellenbeschreibungen und weitere Positionen finden Sie bei uns im Internet.

Join the Altair-Team – bewerben Sie sich bei Altair! Bevorzugt über unser Online-Bewerbungsportal oder per E-Mail.

Kontakt:

Altair Engineering GmbH | Human Resources | Claudia Zeh-Purificato | Calwer Str. 7 | 71034 Böblingen
E-Mail: recruiting@altair.de | Tel.: +49(0)7031.6208.0 | Fax: +49(0)7031.6208.99
www.altair.de | www.altairproductdesign.de

Altair finden Sie in Böblingen, Köln, Hannover, Hamburg, München & Graz





AVL ADVANCED SIMULATION TECHNOLOGIES

Methods and Tools for Next Level Simulation Solutions

AVL ist das weltweit größte private und unabhängige Unternehmen für die Entwicklung von Antriebssystemen mit Verbrennungsmotoren und Mess- und Prüftechnik. 1948 von Prof. Dr. Hans List in Graz gegründet, wird die AVL Gruppe mit ihren 4.300 Mitarbeitern und ihren 45 Gesellschaften weltweit heute von seinem Sohn Prof. Dr. h.c. Helmut List geführt.

Die für die Entwicklungsarbeiten notwendigen Simulationen werden innerhalb des Geschäftsbereiches Advanced Simulation Technology (AST) entwickelt, angewendet und vermarktet. Um unsere Kunden in Deutschland noch besser mit Dienstleistungen und Support bedienen zu können, suchen wir Verstärkung für unser Simulationsteam in München.

Für folgende Anwendungsgebiete suchen wir erfahrene Berechnungsingenieure (m/w):

-  **AVL BOOST** / 1D Ladungswechsel
-  **AVL CRUISE** / Systemsimulation
-  **AVL EXCITE** / Mehrkörpersimulation
-  **AVL FIRE®** / 3D CFD

Haben wir Ihr Interesse geweckt und bringen Sie Erfahrung auf dem Gebiet mit? Dann bewerben Sie sich online auf unserem Karriere Portal:

www.willkommen-bei-avl.de

Weitere Informationen unter:
Telefon: +49 6134 7179 8009
Internet: www.avl.com/

AVL Deutschland GmbH, Peter-Sander-Str. 32, D-55252 Mainz-Kastel



DASSAULT SYSTEMES ist der weltweit führende Anbieter von 3D- und PLM-Lösungen. Mit seinen sechs innovativen Marken CATIA, SIMULIA, DELMIA, ENOVIA, 3DVIA und SolidWorks ist jedermann in der Lage, Ideen sowie Produkte in 3D zu entwickeln, auszutauschen und zu erleben. Einen Überblick über die Entwicklungen, Anwendungen und internationalen Aktivitäten erhalten Sie unter www.3ds.com.

Neue Dimensionen für Ihre Zukunft!

Für unser SIMULIA Team in Wien, das sich mit der Entwicklung und dem Vertrieb der Simulationssoftware ABAQUS beschäftigt, suchen wir Sie als

Technical Specialist (m/w)

ABAQUS gilt als das führende Softwaresystem im Bereich **Computer-Aided-Engineering (CAE)**. Aufgrund seiner Robustheit und der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten wird Abaqus seit Jahren in den verschiedensten Branchen für ein weitgefächertes Anwendungsspektrum eingesetzt.

Ihre Aufgaben:

- technischer Support für Abaqus Anwender
- Durchführung von Seminaren in unserem Büro oder direkt beim Kunden
- Präsentation der Abaqus Funktionalität bei potentiellen Neukunden
- Durchführung von linear und nichtlinear dynamischen und statischen Analysen aus den verschiedensten Anwendungsgebieten
- Programmierung in der Skriptsprache Python oder der Programmiersprache Fortran zur Erweiterung und Automatisierung von Abaqus nach Kundenwünschen
- Kommunikation mit Abaqus Büros weltweit

Wir bieten aufgeschlossenen Persönlichkeiten eine abwechslungsreiche Tätigkeit in einem innovativen Umfeld mit individuellen Wachstumsperspektiven.

Ihr Profil:

- abgeschlossenes ingenieurwissenschaftliches Studium (TU/FH) im Maschinenbau o.ä. Fachrichtung, Vertiefung in „Finite Elemente Methode“
- Kenntnisse im Einsatz kommerzieller FE-Software, vorzugsweise Abaqus Erfahrung
- Idealerweise verfügen Sie bereits über 2-3 Jahre Erfahrung im Einsatz kommerzieller CAE-Tools
- hohe Kundenorientierung
- gute Englischkenntnisse in Wort und Schrift
- großes Maß an Lernbereitschaft und Selbstständigkeit
- geringfügige Reisebereitschaft im In- und Ausland

Eine neue Dimension für Sie?

Wir freuen uns auf Ihre vollständige Bewerbung mit Angabe Ihres möglichen Eintrittstermins sowie Ihrer Gehaltsvorstellung.

Dassault Systemes Deutschland GmbH
Human Resources · Christin Ross
Wankelstraße 3 · 70563 Stuttgart
DE.recruit@3ds.com



Die SIMPACK AG ist ein international tätiges und stark expandierendes Unternehmen im Bereich Mehrkörperdynamik. Für unsere Kunden aus der Fahrzeugtechnik, Windenergie und dem allgemeinen Maschinenbau entwickeln und vermarkten wir die weltweit führende Mehrkörper-Simulationssoftware SIMPACK. Mit SIMPACK wird das Bewegungsverhalten und die Belastung von mechanischen und mechatronischen Systemen simuliert (www.SIMPACK.com). SIMPACK wird weltweit von Premiumherstellern aus der Automobil- und Nutzfahrzeug-industrie eingesetzt.



Leading MBS Technology
for Technology Leaders

Zum weiteren Ausbau unseres technologischen Vorsprungs suchen wir einen

Projekt- und Supportingenieur (m/w) mit Universitäts- oder vergleichbarem Abschluss

Allgemein:

Die Stelle wird als Vollzeitstelle (40h/Woche) angeboten und ist ab sofort zu besetzen.

Tätigkeiten:

- Konzeption, Erstellung und Dokumentation von SIMPACK Simulationsmodellen und Analyseprozessen in dem Bereich Motorsimulationen in der Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie
- Durchführung von anspruchsvollen Simulationsprojekten im Auftrag unserer Kunden, v.a. im Bereich Motorsimulation bei Automobil- und Nutzfahrzeugen, aber auch im allgemeinen Maschinenbau, Windenergie und Antriebstechnik
- Qualifizierter technischer Support unserer Kunden, Durchführung von Anwendertrainings

Qualifikationen:

- Abgeschlossenes Hochschulstudium im Bereich Maschinen-/Fahrzeugbau oder Mechatronik oder Techno-Mathematik
- Freude an Modellierung und Simulation im Bereich der Technischen Mechanik
- Idealerweise Kenntnisse im Bereich Kraftfahrzeugfahrzeugdynamik, Motormechanik und / oder Maschinendynamik
- Idealerweise Kenntnisse in der Anwendung von Software zur Mehrkörpersimulation (SIMPACK, ADAMS, VL-Motion), FE-Programmen (z.B. ABAQUS, ANSYS, NASTRAN), CAD Programmen (CATIA) und MATLAB® und Simulink®
- Idealerweise Programmierkenntnisse (Vorzugsweise Fortran, C / C++) und/oder Kenntnisse in Scriptsprachen (z.B. QT Script)
- Gute bis sehr gute Kenntnisse in Englisch
- Deutsch auf Muttersprachenniveau
- Offenes und präzises Kommunikationsverhalten

Das bieten wir:

- Kundenorientiertes Arbeiten
- Ein technologisch spannendes und abwechslungsreiches Betätigungsfeld
- Gute Atmosphäre, angenehmes und leistungsorientiertes Klima
- Herausfordernde Projekte im Auftrag unserer innovativen Kunden im deutschsprachigen Raum sowie europa- und weltweit
- Sorgfältige Einarbeitung und Vorbereitung auf Ihre Aufgaben
- Hohe Eigenverantwortung in einem dynamischen Unternehmen
- Leistungsgerechtes Gehalt

Wenn dieses Profil auf Sie zutrifft, senden Sie bitte Ihre Bewerbungsunterlagen in elektronischer Form an Herrn Axel Dewes: axel.dewes@SIMPACK.de.

Wir freuen uns, Sie kennen zu lernen.



SIMPACK AG, Friedrichshafener Straße 1, D-82205 Gilching, Tel.: +49 (0)8105 77266-0, Fax: +49 (0)8105 77266-11,
info@SIMPACK.de, www.SIMPACK.com



ISKO engineers

Wir bieten folgende vakante Positionen an:

Standort München:

- Senior CAE Consultant (m/w)
- Berechnungsingenieure (m/w)

Standort Gaimersheim:

- Berechnungsingenieur Fahrzeugcrash/Insassenschutz (m/w)
- Diplom-/Masterarbeit: Simulation Hagelschlag mittels FEM – Erarbeitung einer validierten Methode (m/w)

Standort Empfingen:

- Berechnungsingenieure (m/w)

Haben Sie Interesse?

Dann finden Sie alle Details auf unserer Homepage: www.isko-engineers.de

Die ISKO engineers AG ist auf innovative Lösungen im CAE Umfeld spezialisiert.

Wir bieten unseren Kunden von der hochwertigen Simulation sowie Prozeßabbildung und -optimierung bis hin zur effizienten Software ein umfassendes Leistungspaket im Bereich der virtuellen Entwicklung an.

ISKO engineers AG • Frau Lang • Taunusstr. 42 • 80807 München
Tel. +49(0)89 370 62-0 • jobs@isko-engineers.de • www.isko-engineers.de



the optimization company

Natürlich optimiert.



Heben Sie ab und kommen Sie weiter – mit FE-DESIGN.

Wir, die Optimierungsspezialisten im CAE-Umfeld, bieten Ihnen spannende Aufgaben aus allen Bereichen des Ingenieurwesens. Bei uns finden Sie den richtigen Platz zur Entfaltung Ihres Potentials, egal ob in **Karlsruhe, München, Hamburg, Sofia** oder **Chicago**.

Projektleiter – CAE und Optimierung (m/w)
Projektingenieur – CAE und Optimierung (m/w)
Projektingenieur – CFD Simulation (m/w)
Senior Softwareentwickler (m/w)

Alle Informationen zu den ausgeschriebenen Stellen finden Sie unter www.fe-design.de oder kontaktieren Sie uns direkt unter info@fe-design.de. Wir freuen uns auf Sie.



Moderne Bordnetzsysteme und exklusives Fahrzeuginterieur: Der Name Dräxlmaier steht für automobiler Innovationen – Leistung, die man erfahren kann. Daran arbeiten rund um den Globus etwa 36.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit ihrer Einsatzbereitschaft, Kooperationsfähigkeit und automobilen Passion. Menschen, die Verantwortung übernehmen, Freiräume nutzen und mit ihren eigenen Ideen zum gemeinsamen Erfolg beitragen wollen. Menschen wie Sie!

Berechnungsingenieur Automotive (m/w)

Als Mitglied in unserem Entwicklungsteam führen Sie Crash-, Statik- und Dynamikberechnungen im Bereich Interieurkomponenten durch. Die Systemauslegung zur passiven Sicherheit über numerische Simulation auf Basis der Kundenanforderungen gehört ebenfalls zu Ihren Aufgaben. Diesbezüglich sind Sie der kompetente Ansprechpartner, der regelmäßig Abstimmungsgespräche mit den zuständigen Bereichen und dem Kunden führt.

Sie verfügen über ein abgeschlossenes, technisches Studium und haben idealerweise erste Berufserfahrung als Berechnungsingenieur gesammelt. Gute Kenntnisse in Simulationsprogrammen, wie zum Beispiel LS-Dyna, ABAQUS, NASTRAN und Altair HyperWorks setzen wir voraus. Sie überzeugen durch Ihre guten Englischkenntnisse und die Bereitschaft zu Dienstreisen. Ihre Stärken sehen Sie in Ihrer Team- und Kommunikationsfähigkeit, Ihrem Verhandlungsgeschick und in Ihrer guten Organisationsfähigkeit. Selbständige, zielorientierte Arbeitsweise und sicheres Auftreten runden Ihr Profil ab.

Weitere Stellen finden Sie unter: www.draexlmaier.com.



Sie möchten Freiräume gestalten und Verantwortung übernehmen – wenn Sie Kompetenz und Engagement mitbringen, zeigen wir Ihnen, wie wir gemeinsam erfolgreich sein können.

Ihre Bewerbung sollte neben der Kennziffer 50026758N alles Wichtige enthalten, was wir von Ihnen wissen müssen, zum Beispiel auch den nächstmöglichen Eintrittstermin und Ihre Gehaltsvorstellung.

Dräxlmaier Group, Personalwesen, Stephanie Hintereicher, Landshuter Str. 100, 84137 Vilsbiburg, Telefon 08741 47-1712, bewerbung@draexlmaier.de

www.draexlmaier.com

MOVING AHEAD THE AUTOMOTIVE FUTURE



NAFEMS
Course
Tutors
Required

Due to an expansion in training activities at NAFEMS, we currently require additional tutors to work with our current team on presenting and running a number of NAFEMS FEA training courses.

A typical tutor will be well-experienced in FEA across a range of Industrial sectors. The tutor will be able to draw on direct experience to relate to the training material and the way it is presented. The Tutor should have a background in teaching in either Industry or Academia. The right candidate will have a passion for FEA and have the ability to impart that to attendees.

Full details are available at
www.nafems.org/tutors

ALTAIR ENGINEERING

Überschallfahrzeug Bloodhound

Altair gab bekannt, dass das Bloodhound SuperSonic Car (SSC) Team bei der Entwicklung ihres strahl- und raketentriebenen Fahrzeuges die CAE-Werkzeuge der HyperWorks Suite eingesetzt hat. Die futuristische Geschwindigkeitsmaschine ist darauf ausgelegt, bei seiner Jagd nach dem Geschwindigkeitsrekord für Landfahrzeuge Mach 1,4 (ca. 1.700 km/h) zu erreichen. Während das Chassis eher an ein Flugzeug erinnert, hat das Fahrzeug genauso wie ein normaler Rennwagen Räder, Fahrwerk, Lenkung und Bremsen. Abgesehen von seinen Strahl- und F1-Triebwerken wurde jede einzelne seiner Komponenten maßgeschneidert entwickelt. OptiStruct, die Struktur-optimierungstechnologie der HyperWorks CAE Suite von Altair, spielt bei diesem Designprozess eine entscheidende Rolle.

Veröffentlichung von MindManager

Altair gab die offizielle Veröffentlichung von MindManager, dem visuellen Informations-Mapping Werkzeug von Mindjet, über die HyperWorks Partner Alliance (HWP) bekannt. Diese Partnerschaft verdeutlicht Altairs Engagement, eine große Bandbreite führender Softwarewerkzeuge anzubieten sowohl aus dem traditionellen Computer-Aided Engineering (CAE) Umfeld als auch aus anderen Bereichen. Mit ihren vorher erworbenen HyperWorks Units haben HyperWorks Nutzer über den Unit basierten Lizenzierungsmechanismus Zugang zu der neuesten Version von MindManager. Weitere Informationen zum MindManager erhalten Sie auf der HWP Webseite www.hyperworksalliance.com.

Neues Büro in Madrid

Altair gab die Eröffnung der ersten spanische Niederlassung in Madrid bekannt. Vom Madrider Büro aus wird Altair seinen Kunden aus Luft- und Raumfahrt, Automobilbau und Energieversorgung regionale

Consultingdienstleistungen anbieten und in diesen Industriebereichen gemeinsam mit dem Vertriebspartner DSP, Tarragona, Spanien, die Software des Unternehmens vertreiben. Die Ingenieure der neuen Tochtergesellschaft „Altair Software and Services“ werden von Madrid aus direkt mit den Kunden arbeiten, um Design und CAE Projekte mit der Altair HyperWorks Suite auszuführen. Das Team wird von Stefano Deiana als „Managing Director, Altair Spain“ geleitet.

Gordon Murray Design nutzt HyperWorks

Altair Engineering gab bekannt, dass Gordon Murray Design, Surrey, UK, sich bei der Entwicklung des Stadtautomobils T.25 City Car für die HyperWorks Produktsuite entschieden hat.

Übernahme von ACUSIM

Altair Engineering gab die Übernahme von ACUSIM Software, Inc. (ACUSIM) bekannt. ACUSIM, 1994 gegründet, mit Hauptsitz in Mountain View, Kalifornien, ist ein führender Entwickler von hoch skalierbaren, hochpräzisen Solver Lösungen für die Strömungssimulation (CFD). Altair wird die ACUSIM Technologie und das Entwicklungsteam des Unternehmens in das Entwicklungsteam der HyperWorks Computer-Aided Engineering (CAE) Software integrieren. ACUSIMs AcuSolve ist ein etablierter universeller CFD Solver, welcher weltweit und von vielen der umsatzstärksten US Unternehmen (Fortune 500) wie Bechtel, Chevron, John Deere, Procter & Gamble, Toyota, Vestas, Visteon und Whirlpool eingesetzt wird. Im Unterschied zu anderen kommerziellen CFD Anwendungen basiert AcuSolve auf der Finiten-Elemente Methode (FEM), was eine enge Integration mit anderen FEM basierenden Technologien ermöglicht, um so komplexe Fluid-Struktur-Interaktionen und multiphysikalische Aufgaben zu lösen, beides schnell wachsende Trends auf dem weltweiten Simulationsmarkt.

www.altair.de

AUTODESK

Autodesk gehört zu Deutschlands besten Arbeitgebern 2011

Autodesk wurde im Rahmen des Wettbewerbs „Deutschlands Beste Arbeitgeber 2011“, der vom Forschungs- und Beratungsunternehmen Great Place to Work Institute Deutschland durchgeführt wurde, bereits zum zweiten Mal in Folge prämiert. Autodesk belegt unter den Firmen mit bis zu 500 Mitarbeitern Rang 14. In den befragten Kategorien Glaubwürdigkeit, Respekt, Fairness, Stolz und Teamgeist wurde das Unternehmen durchgängig mit sehr gut bewertet. Das ist das Ergebnis einer Benchmarkstudie, die das Vertrauen und die Qualität der Beziehungen zwischen den Angestellten und dem Management beurteilt hat. Maßgeblich für die Wertung war das Votum der Mitarbeiter.

iPad App - schafft Lust aufs Konstruieren für Teenager

Autodesk präsentierte das neue iPad-Spiel TinkerBox. Die App steht im App Store kostenlos zum Download zur Verfügung. Das Spiel wurde entwickelt, um auf spielerische Art das Interesse von Jugendlichen für mechanische Zusammenhänge zu wecken. Durch die App werden der Spaß und die Faszination, die von eigenen Erfindungen ausgehen, für den Spieler erlebbar. Gleichzeitig wird die Angst vor Ingenieursthemen genommen.

Kostenloser online „CAD-Berater“

Auf der Autodesk Website hilft seit Anfang Februar ein kostenloser digitaler CAD-Berater das CAD-System zu finden, das die eigenen Anforderungen am besten erfüllt. Konstrukteure, Konstruktionsleiter, CAD-Verantwortliche und Entwicklungsleiter finden darin nützliche Entscheidungshilfen für die Umstellung auf die digitale Produktentwicklung. Der CAD Berater steht unter www.autodesk.de/cadberater zum Download bereit.

Übernahme von Blue Ridge Numerics, Inc.

Autodesk gab den Abschluss eines Abkommens zur Übernahme von Blue Ridge Numerics, Inc., einem führenden Anbieter von Simulationssoftware, bekannt. Der Übernahmepreis liegt bei rund 39 Millionen USD in bar. Die Transaktion unterliegt den üblichen Abschlussbedingungen und soll im ersten Quartal des Geschäftsjahrs 2012 von Autodesk (welches am 30. April 2011 endet) abgeschlossen werden. Die CFdesign-Technologie des in Charlottesville im US-Bundesstaat Virginia ansässigen Unternehmens Blue Ridge Numerics stellt für Autodesk eine wichtige Ergänzung seines Portfolios an Simulationssoftware für die Fertigungsindustrie dar. Dieses umfasst derzeit die Produkte Autodesk Inventor, Autodesk Algor Simulation und Autodesk Moldflow. Mit der CFdesign-Technologie erweitert Autodesk seine Lösung für die digitale Erstellung von Prototypen und bietet den Kunden eine Reihe von CFD-Berechnungsfunktionen (Computational Fluid Dynamics) an, welche die Simulation und Berechnung von Gas- oder Flüssigkeitsströmung und Wärmeübertragung am Computer ermöglichen und somit helfen, teure physische Prototypen zu vermeiden.

Umfrage zeigt Schlüsselfaktoren

Eine Umfrage von Redshift Research, die im Auftrag von Autodesk durchgeführt wurde, ergab, dass 90 Prozent der Konsumgüterhersteller Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung als zentrale Herausforderung für ihren Erfolg ansehen. Für die Umfrage wurden über 300 Entscheider und Meinungsbilder in Großbritannien, Deutschland und Frankreich befragt. Konsumgüterhersteller müssen ständig neue, innovative und ansprechende Produkte entwickeln und diese ihren Kunden zur richtigen Zeit zum richtigen Preis anbieten. Dadurch steigt die Notwendigkeit eines Qualitätsmanagements.

www.autodesk.de

BETA CAE SYSTEMS

Neue ANSA und µETA Versionen
BETA CAE Systems hat die Verfügbarkeit der neuen Versionen µETA v6.6.4 und ANSA v13.1.2 bekannt gegeben.

www.beta-cae.gr

CADNETWORK

CAD Workstation für Solidworks, Inventor ...

Die Workstation ProViz X29 mit den neuen Intel Xeon Prozessoren ist die schnelle Workstation für Solidworks, Inventor, ProEngineer, CATIA und viele mehr. Die ProViz X29 eignet sich durch die neuen PNY Quadro Grafikkarten für anspruchsvollste CAD und CAM Anwendungen, bei denen höchste Präzision gefordert wird. Dank der NVIDIA Quadro Grafikkarten gehört ruckeln der Vergangenheit an. Bearbeiten Sie Ihre 3D Modelle und Baugruppen in Echtzeit und erwecken Sie Ihre Konstruktionen zum Leben. Spezielle Features wie die Vollbild-Kantenglättung lassen Modelle flüssiger und eleganter erscheinen. Erhöhen Sie Ihre Produktivität und beeindrucken Sie Ihre Kunden. Bis zu 24GB Arbeitsspeicher sorgen dafür, dass selbst größte Baugruppen und Projekte geöffnet und flüssig bearbeitet werden können.

www.cadnetwork.de

CD-ADAPCO

STAR European Conference 2011 von CD-adapco – ein technischer Erfolg

Nach zwei Jahrzehnten in London zog die STAR European Conference von CD-adapco an eine Küstenstadt, nur 20 Minuten vom Amsterdamer Flughafen Schiphol entfernt. Noordwijk erwies sich für die diesjährige Konferenz als idealer Ort. Die Fahrt zum und vom Grand Hotel Huis ter Duin war für die europäischen

Kunden von CD-adapco ein Spaziergang und der Strandblick schadete ebenfalls nicht. Bei seiner Begrüßungsrede sagte der stellvertretende Geschäftsführer von CD-adapco, Bill Clark, „Das Ziel von CD-adapco liegt darin, Erneuerungen anzuregen, wobei durch die Anwendung technischer Simulationen Kosten reduziert werden sollen“. Er führte aus: „Wir sind auf dem Weg, unser Ziel von 135 Millionen USD bei den Ausgaben der Endverbraucher zu erreichen, unser organisches Wachstum lag in den letzten 5 Jahren bei 17-20%. Die neueste Umfrage zur Kundenzufriedenheit zeigt, dass 95% der CD-adapco-Kunden mit der Software und den Dienstleistungen von CD-adapco zufrieden sind und 97% der Kunden würden CD-adapco weiterempfehlen.“ Diese Zahlen sind sehr ermutigend und unterstützen das kontinuierliche Wachstum und Neuinvestitionen in das Unternehmen.

Team für Verbrennungsmotoren

CD-adapco gab die Bildung eines neuen Teams für Verbrennungsmotoren unter der Leitung von Dr. Richard Johns bekannt, einem weltweit anerkannten Fachmann, der seit über 35 Jahren moderne Strömungsmechanik (CFD) für Kraftfahrzeugmotoren in die Industrie einbringt.

SPEED-Software für elektrische Maschinen ergänzt STAR-CCM+

CD-adapco gab auf der STAR European Conference 2011 bekannt, dass es mit der Universität Glasgow eine grundsätzliche Vereinbarung für den Erwerb von SPEED-Software, einem Design Code für elektrische Maschinen, getroffen habe.

Version STAR-CCM+ v6.02

CD-adapco hat die Verfügbarkeit der Version STAR-CCM+ v6.02 bekannt gegeben.

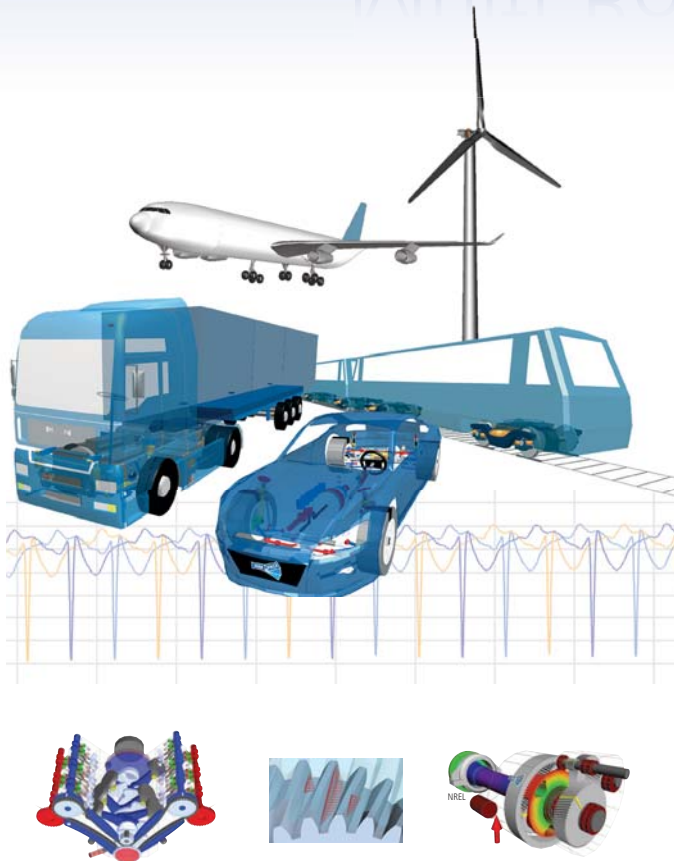
www.cd-adapco.com



Leading MBS Technology
for Technology Leaders

SIMPACK

Multi-Body Simulation



SIMPACK is a general purpose Multi-Body Simulation (MBS) software which is used for the dynamic analysis of any mechanical or mechatronic system. This simulation tool enables engineers to generate and solve virtual 3D models in order to predict and visualize motion, coupling forces and stresses.

SIMPACK — used primarily within the automotive, engine, HiL/SiL, power transmission, railway, and wind energy industrial sectors — can be applied to any branch of mechanical engineering.

Highlights:

- Simulation of any design
- Optimization
- Extreme non-linear system behavior
- Analyses up into the acoustic range
- Stress and durability
- Batch jobs
- Automatic report generation

User Meeting 2011

May 18th and 19th, 2011, at the Salzburg Congress, Salzburg, Austria

Debut of SIMPACK 9000 and SIMPACK User Presentations

The next generation SIMPACK, which includes a completely new graphical user interface and a host of other new major developments, will be introduced. The SIMPACK User Meeting also offers a great opportunity to hear about other users' experiences with SIMPACK and is an excellent source of information for modeling solutions, new ideas and potential SIMPACK applications.

For further information about the User Meeting visit www.SIMPACK.com/UM2011.html



SIMPACK AG, Friedrichshafener Strasse 1, 82205 Gilching, Germany

Phone: +49 (0)8105 77266-0, Fax: +49 (0)8105 77266-11, info@SIMPACK.de, www.SIMPACK.com

DASSAULT SYSTEMES SIMULIA

Internetauftritt in neuem Aussehen - neue Farben, neues Logo

SIMULIA folgt damit dem Design der Mutterfirma Dassault Systèmes, die Ihre Marken nun konsistent darstellt: CATIA - Abdeckung des virtuellen Produktentwicklungsprozesses von der Idee über die Konstruktion bis hin zur Wartung; SIMULIA - Skalierbares Produktportfolio, welches realistische Simulationen zum integralen Bestandteil bei der Entwicklung anspruchsvoller Bauteile macht; DELMIA - Virtuelle Definition, Planung, Überwachung und Steuerung des gesamten Fertigungsprozesses von der frühen Prozessplanung und Montagesimulation bis hin zu einer vollständigen Definition der Fertigungsanlage und Ausrüstung; ENOVIA - PLM 2.0: Zentrale, vernetzte Innovationsplattform zur weltweiten Verwaltung von Entwicklung, Anforderungen, Programmen, Produktportfolios, Compliance und Beschaffung sowie des vorhandenen Wissens aller Anwender; SOLIDWORKS - 3D-Lösungen für die Produktentwicklung, -analyse und das Datenmanagement; 3DVIA „Lifelike Experience“ - Erstellen und Betrachten von interaktiven 3D-Dokumenten wie beispielsweise Montageanleitungen und Produktbeschreibungen oder der Visualisierung von virtuellen Räumen; EXALEAD - ein „Daten-Finde-Werkzeug“ statt einem „Daten-Such-Werkzeug“, an jeweilige Kundenbedürfnisse anpassbar; 3dswym - eine Plattform zur Kommunikation innerhalb von Firmen.

www.simulia.com/de

DYNAMORE

BMBF-Förderung für Forschungsvorhaben Topologieoptimierung für Crash

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat beschlossen, das Forschungsprojekt „Methodische und software-technische Umsetzung der Topologieoptimierung crashbeanspruchter Fahrzeugstrukturen“

im Rahmen des Förderprogrammes KMU-Innovativ zu fördern. Bei dem Projekt handelt es sich um ein Verbundprojekt mit den Partnern asc(s e. V., DYNAMore GmbH, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg und SFE GmbH. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines industriell einsetzfähigen Verfahrens zur Topologieoptimierung der Querschnitte von Strangpressprofilen unter Berücksichtigung von Crash-Lastfällen. Solche Profile kommen im Karosseriebau für besonders crashbeanspruchte Strukturen zum Einsatz, z. B. für Schwellen, A-Säulen und B-Säulen. Die Querschnitte dieser Profile werden sehr zeitaufwendig, oft mit einfachen Probierv Verfahren entwickelt. Eine numerische Optimierung der Topologie würde hier den Entwicklungsprozess deutlich beschleunigen, damit effizienter machen und zugleich oft zu völlig neuen, besseren Konzepten für Querschnittsgestaltungen und Leichtbauansätzen führen. Während für lineare Anwendungen die Topologieoptimierung im Fahrzeugentwicklungsprozess bereits etabliert ist, gibt es für nicht-lineare Anwendungen bisher keine Lösungen, die für den industriellen Einsatz geeignet sind. Projektkoordinator Prof. Dr. Erich Schelkle vom asc(s merkt an: „Mit diesem Projekt haben wir uns hohe Ziele gesetzt, die wir aber als Herausforderung begreifen. Mit dem Know-How der Verbundpartner und der Unterstützung von OEM-Industriepartnern, die ihr Interesse an einer Mitarbeit bereits bekundet haben, sind wir zuversichtlich, diese Aufgaben lösen zu können.“

DYNAMore erhält Förderung vom Freistaat Sachsen

Die DYNAMore GmbH gibt bekannt, dass die Sächsische Aufbaubank (SAB) des Freistaates Sachsen die Förderzusage für das Projekt „Erforschung und Entwicklung von Methoden zur effizienten globalen Sensitivitätsanalyse als Grundlage eines innovativen Software-Produktes für die Fahrzeugentwicklung“ erteilt hat. Ziel dieses vom Freistaat Sachsen und der Europäischen Union geför-

derten Projektes ist die Erforschung und Entwicklung von Methoden zur Sensitivitätsanalyse nichtlinearer Systeme. Es handelt sich hierbei um ein gemeinschaftliches Projekt von DYNAMore mit der Technischen Universität Dresden, die auf diesem Gebiet zahlreiche Vorarbeiten geleistet hat. Die Ergebnisse der Grundlagenuntersuchungen werden in einem Software-Prototypen implementiert, der den Berechnungsingenieur in der simulationsbasierten Auslegung von Fahrzeugen unterstützen soll. Der Fokus liegt insbesondere auf der Unterstützung bei der Auslegung von Crash-Lastfällen durch die Ermittlung der signifikanten Konstruktionsparameter. Der Entwicklungsprozess soll durch diese Software vereinfacht und beschleunigt bzw. in sehr komplexen Fällen überhaupt erst ermöglicht werden. Die Bearbeitung des Projektes wird in der DYNAMore Niederlassung Dresden in enger Kooperation mit der TU Dresden erfolgen.

www.dynamore.de

ESI GROUP

Anwenderkonferenzen in Indien

Die ESI Group meldete den Erfolg seiner Anwenderkonferenzen in Bangalore und Puna, Indien. Die Konferenzen boten den Teilnehmern eine hervorragende Möglichkeit, neue, von ESI-Kunden durchgeführte, Projekte kennenzulernen und untermauerten gleichzeitig die wachsende Bedeutung eines durchgängigen Virtual Prototyping sowie dessen maßgeblichen Vorteile. Der Einladung zu den Anwenderkonferenzen folgten über 100 ESI-Kunden in Puna und 90 Kunden in Bangalore.

ESI tritt französischem Software-Verband AFDEL bei

Die ESI Group gab seine Mitgliedschaft im französischen Software-Verband AFDEL (Association Française des Editeurs de Logiciels) bekannt. Als einer der Hauptprotagonisten im Virtual Prototyping-Markt ist ESI der AFDEL



TRANSTEC HPC LÖSUNGEN

Performance Turns Into Productivity

- II Ease of Management
- II High Productivity & Efficiency
- II Linux und Windows HPC Lösungen
- II Skalierbar und einfach zu verwaltende HPC-Storage Lösungen
- II GPU-Computing Lösungen
- II HPC-Lösungen:
well-engineered und high-quality



WIR HÖREN AUF UNSERE KUNDEN

Was bringt mir das schnellste HPC-System, wenn ich nicht damit umgehen kann?

„Leistungsstarke und einfach zu verwaltende Lösungen, das erwarten Kunden heute und genau das bildet die Grundlage einer transtec HPC-Lösung.“

transtec AG • Waldhörnlestraße 18 • 72072 Tübingen • Tel +49 (0) 7071/703-400 • transtec@transtec.de • www.transtec.de

beigetreten, um seinen Beitrag zur Förderung der Softwareindustrie zu leisten. Nummer sechs unter den Simulationsanbietern weltweit, elftgrößter Softwareanbieter insgesamt in Frankreich und Nummer 67 in Europa, befindet sich ESI in einer guten Ausgangsposition, um wertvolle Einblicke in Entwicklung und Fortschritte auf dem Gebiet der numerischen Simulation zu bieten, die Nutzung von Best Practices zu forcieren sowie aufzuzeigen, was zukünftig auf diesem Gebiet zu erwarten ist. Die Allianz von ESI mit der AFDEL wird dabei helfen, die vom Virtual Prototyping-Markt geforderte Aufmerksamkeit und Marktdarstellung zu schaffen und zu veranschaulichen, wie Unternehmen die neuesten Entwicklungen der Simulationstechnologie am besten nutzen können.

Verstärkung durch Prof. Genki Yagawa

ESIs Scientific Committee, ein wissenschaftliches Gremium, das seit Dezember 2005 besteht, zielt darauf ab, ein akademisches Netzwerk aus Experten aufzubauen und so eine wichtige Verbindung zwischen der Wissenschaft und dem hochinnovativen und sich ständig ändernden Markt des Virtual Prototyping herzustellen. Während der letzten fünf Jahre hat das Scientific Committee Verbindungen mit der Wissenschaft und Industriepartnern auf der ganzen Welt gefördert und gepflegt – für ESI eine Herausforderung und wichtiger Einflussfaktor zugleich, die innovative Forschungs- und Entwicklungsarbeit fortzuführen. Professor Genki Yagawa, Präsident der International Association for Computational Mechanics (Internationale Vereinigung für numerische Mechanik), Mitglied der Japanischen Akademie der Ingenieurwissenschaften, Mitglied des Wissenschaftsrats von Japan und Mitglied des Fachbeirats der CEA (Französische Atomenergiebehörde), nahm vor kurzem die Einladung von ESI an, dem Scientific Committee als Experte für nukleare Sicherheit und Nukleartechnik beizutreten.

Biofidelity für die Fahrzeugsicherheit

Die positiven Erfahrungen bei der Entwicklung eines qualitativ hochwertigen Dummys innerhalb der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT) haben fünf deutsche Automobilhersteller, organisiert im PDB (Partnership for Dummy Technology and Biomechanics), sowie verschiedene Softwareanbieter, inklusive ESI, veranlasst, bei der Entwicklung eines WorldSID 50th Finite Element (FE)-Modells zusammenzuarbeiten. Dabei handelt es sich um einen neuen, weltweit anerkannten, Dummy mit einer verbesserten Biofidelity (Darstellung des menschlichen Belastungsverhaltens), mit dem sich das Verletzungsrisiko von Fahrzeugpassagieren bei einem Seitenaufprall bewerten lässt.

www.esi-group.com

FE-DESIGN

General Motors verwendet TOSCA

General Motors und mehrere Tochtergesellschaften weltweit (z.B. Opel) verwenden TOSCA Structure und TOSCA Fluid in der Vorentwicklung, um ihre Fahrzeugteile und Komponenten zu optimieren.

Neu: TOSCA Structure 7.1

FE-DESIGN hat die Verfügbarkeit von TOSCA Structure 7.1 bekannt gegeben. Damit steht die neueste Version des marktführenden Werkzeugs zur schnellen und zuverlässigen Auslegung von leichten, steifen und langlebigen Komponenten und Systemen zur Verfügung. TOSCA Structure 7.1 ermöglicht durch sein einzigartiges Konzept den durchgängigen Einsatz von existierenden Simulationstools und -modellen auch in der Optimierung. Hierzu wurden für die Version 7.1 alle unterstützten Solver-Interfaces aktualisiert: Abaqus 6.10, ANSYS 13, NX Nastran 2010 als auch MD und MSC.Nastran 2010 können nun genutzt werden. Details zu den Permas und MARC Interfaces findet man in den aktuellen Release Notes.

Neu: GLview Inova 9.0-29

FE-DESIGN hat die Verfügbarkeit von GLview Inova 9.0-29 bekannt gegeben. Die wichtigsten Neuerungen sind: vollständige Unicode-Unterstützung inkl. Übernahme lokaler Spracheinstellungen für den GUI, die zusätzlichen Objekteigenschaften zur Einstellung von Beleuchtungsparametern (ambiente, diffuse, spiegelnde, reflektierte Komponenten, Glanz) im „Advanced tab“ des Eigenschaftenfensters und die neue Version der VdmTools mit aktualisierten Schnittstellen zu ABAQUS 6.10, ANSYS 12, FEMAP 10, FLUENT 12.1.

www.fe-design.de

FRAUNHOFER SCAI

Rechnen auf mehreren Grafikkarten beschleunigt numerische Simulationen um Größenordnungen

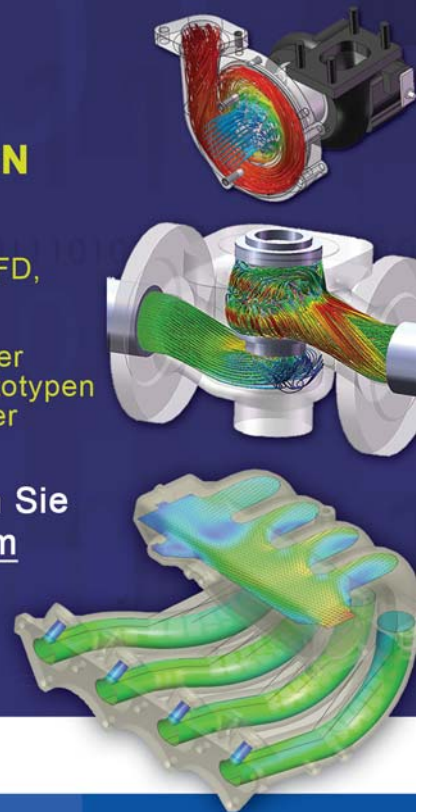
Aufgrund ihrer führenden Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der numerischen Simulation und Parallelisierung von Simulationscodes sind das Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI und das Institut für Numerische Simulation (INS) der Universität Bonn von NVIDIA als eines der ersten deutschen CUDA-Forschungszentren ausgewählt worden. Die Forschungsarbeiten zur Parallelisierung bereits vorhandener Simulationscodes zur Ausführung auf Rechnern mit mehreren Grafikkarten (GPUs) leitet Prof. Dr. Michael Griebel, Direktor des INS und Institutsleiter des Fraunhofer SCAI.

www.scai.fraunhofer.de

ZEIT IST GELD - REDUZIEREN SIE DIE SIMULATIONSZEIT FÜR STRÖMUNGS- UND WÄRMETECHNISCHE SIMULATIONEN UM 65 BIS 75%

Testen Sie die mehrfach ausgezeichnete CFD Software FloEFD, das einzige vollintegrierte Simulationspaket für strömungs- und wärmetechnische Vorgänge für Pro/ENGINEER Wildfire und CATIA V5. Optimieren Sie die Effizienz und Qualität Ihrer Produkte und reduzieren Sie gleichzeitig die Anzahl der Prototypen und Ihre Entwicklungskosten in viel kürzerer Zeit als mit jeder anderen Software.

Möchten Sie FloEFD selber testen? Dann senden Sie eine Email an questions_mechanical@mentor.com oder rufen Sie uns an unter +49-69-130 253 0. Sie erhalten dann eine kostenlose Testversion für Pro/ENGINEER Wildfire oder CATIA V5.

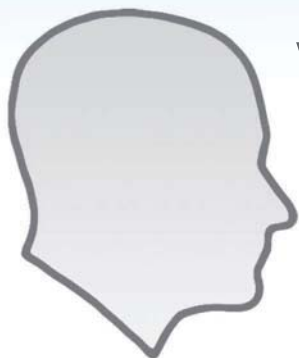


www.mentor.com/mechanical

Mentor Graphics (Deutschland) GmbH
Hanauer Landstrasse 114-116, 60314 Frankfurt am Main
Tel: +49-69-130 253 0 Email: questions_mechanical@mentor.com

**Mentor
Graphics®**

CAE-FORUM.DE



WISSENSTRANSFER

JOB-BÖRSE

DISKUSSIONEN



DAS FORUM FÜR BERECHNER



Gestaltung: anfil.com / Foto: iStockphoto - Fotolia

Berufsbegleitend zum Master of Engineering

Applied Computational Mechanics

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

 HOCHSCHULE
FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN FH
INGOLSTADT

esocaet
european school of
computer aided engineering
technology

IBM

IBM erweitert Mainframe-Unterstützung auf Windows-basierte Bladeserver

IBM gibt im Rahmen der heutigen IT-Infrastruktur-Ankündigungen zur neuen Smarter Computing-Initiative die Erweiterung des Statements of Direction (SOD) für die Unterstützung x86-basierter Bladesysteme im Umfeld der zEnterprise-Großrechner bekannt. Damit wird es zum Zeitpunkt der Verfügbarkeit - voraussichtlich Ende 2011 - möglich sein, neben x86-basierten Blade-Servern mit Linux auch solche mit Windows als Betriebssystem durch den Mainframe als zentrale Systems Management-Instanz zu steuern und zu verwalten. Das jetzige Statement of Direction ergänzt das ursprüngliche SOD vom 22.7.2010, das sich auf Linux/x86 bezog. Damit erweitert sich die Hybrid-Eigenschaft des IBM zEnterprise-Großrechners erneut: Die Möglichkeit, jede Workload auf der jeweils wirtschaftlichsten Plattform laufen zu lassen, und dennoch die Innovations- und Systems-Management-Vorteile der Mainframe-Plattform zu nutzen, wird umfassender.

Cloud Computing für Unternehmen: neue Services und Technologien von IBM

Auf dem Cloud Forum in San Francisco zeigte IBM am 7. April erstmalig, wie Unternehmen mit neuen SmartCloud Services unternehmenskritische Prozesse einfacher in Cloud-basierte IT-Umgebungen verlagern können. Dafür baut IBM ihr Cloud Portfolio mit neuen Enterprise Cloud-Technologien sowie mit Services für private, öffentliche und hybride Cloud-Angebote aus. IBM SmartCloud Services umfassen Hardware, Software, Services und Best Practices, die den Übergang vom Entwicklungs- und Testbetrieb hin zum täglichen Einsatz von Cloud Computing in Unternehmen beschleunigen. Unternehmen können damit Kosten sparen, flexibler auf veränderte Anforderungen reagieren und innovativer sein.

www.ibm.com

MSC.SOFTWARE

Partner von MSC.Software entwickelt Applikationen für nichtlineare Berechnungen mit Marc

MSC.Software stellt für sein Finite Elemente (FE)-Berechnungsprogramm Marc einen Satz von Zusatzapplikationen vor. Diese Applikationen steigern die Effizienz des CAE-Einsatzes deutlich. Entwickelt und verkauft werden die Programme vom IWF Ingenieurbüro Großmann, Partner und Reseller von MSC.Software. Marc gehört seit Jahren zu den führenden Lösungen für implizite nichtlineare FE-Analysen. Zusammen mit dem Pre-/Postprozessor Mentat bietet das Programm eine Komplettlösung, die hochkomplexe nichtlineare Aufgabenstellungen lösen kann. Die Abarbeitung dieser komplexen Aufgaben oder umfangreicher Variantenrechnungen kann jedoch sehr viel Zeit in Anspruch

nehmen. Um dabei vorhandene Hard- und Software-Ressourcen optimal zu nutzen, werden zeitintensive Simulationen möglichst in arbeitsfreien Zeiten abgearbeitet, zum Beispiel nachts oder an Wochenenden. Ziel ist, nach einem Wochenende am Montagmorgen möglichst viele Ergebnisse vorzufinden. Allerdings kommt es nicht selten zu vorzeitigen Programmabbrüchen. Diese Unterbrechungen werden durch Eingabefehler in der Input-Datei oder durch das Erreichen bestimmter Abbruchkriterien verursacht. Die Erstellung der entsprechenden Input-Dateien ist recht aufwändig. Dies trifft besonders auf Variantenrechnungen mit vielen Variationsparametern zu. Deshalb hat IWF, selbst seit 15 Jahren Marc-Anwender, entsprechende Applikationen entwickelt.

IWF DAT-File Value Change: Automatisierte, mausgesteuerte Erstellung von DAT-Files für Parameteruntersuchungen. Berücksichtigt alle im Input verarbeiteten numerischen Parameter wie Belastungen, Umgebungsvariablen, Werkstoffdaten, Geometrien oder Bruchdehnungen. Insgesamt können, unabhängig von Preprozessoren, bis zu einhundert DAT-Files mit äquidistanten Werten erzeugt werden. Dabei besteht eine direkte Projekt-Anbindung an IWF Launch.

IWF Launch: Mausgesteuerte Erstellung einer Aufgabenliste von durchzuführenden Simulationen und deren Abarbeitung während arbeitsfreier Zeiten. Die Marc-Aufrufparameter für jede ausgewählte Input-Datei können einzeln editiert werden. Ausführung von Routinen nach Beendigung des Programms und Ausgabe eines Ergebnisprotokolls. Benachrichtigung über Email mit beigelegtem Ergebnisprotokoll. Erleichterte Fehlerfindung durch integrierten IWF OUT-File Viewer. IWF Out-File Viewer: Auflistung aller Fehlermeldungen in der Reihenfolge ihres Auftretens. Bewertung der eventuell aufgetretenen Fehler in der vollständigen Datei-Übersicht.

Adams/Gear Advanced Technology für detaillierte Berechnung von Getrieben

MSC.Software kündigte Adams/Gear Advanced Technology (AT) an. Adams/Gear AT ist ein neues Simulationswerkzeug für die Berechnung von Getrieben. Ingenieure können mit dem Werkzeug das statische und dynamische Systemverhalten von Getrieben virtuell testen. Der Kontaktalgorithmus berücksichtigt die Mikrogeometrie der Zahnflanken, so können Zahnräder und Kugellager detailliert berechnet werden. Adams/Gear AT ist vollkommen kompatibel

mit allen Optionen von Adams inklusive der flexiblen Körper.

www.mscsoftware.com

PROSTEP

Whitepaper zu neutralen 3D-Formaten

Die PROSTEP AG hat ein Whitepaper mit dem Titel „3D-Formate im Engineering-Umfeld - ein Vergleich“ herausgegeben. Es bietet einen Überblick und eine Orientierungshilfe für Unternehmen, die vor der Auswahl eines neutralen 3D-Formats für bestimmte, in der Praxis häufig vorkommende Anwendungsszenarien stehen. Neutrale 3D-Formate sind unverzichtbar für die Verteilung und den Austausch von 3D-Modellen im Engineering und in vor- und nachgelagerten Unternehmensbereichen, wenn das Originalsystem nicht zur Verfügung steht, eine Verteilung von nativen Daten zu kostenintensiv und eine vollständige Detailgenauigkeit nicht erforderlich ist oder der Schutz des geistigen Eigentums eines Unternehmens gewährleistet werden soll. Die Auswahl eines Formats bestimmt unter anderem die Bandbreite der möglichen Anwendungen und die entstehenden Folgekosten. Welches neutrale 3D-Format für ein



Graduate School of Computational Engineering
ICCE 2011

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

2nd International Conference on Computational Engineering

October 4–6, 2011, Darmstadt

Submission of abstracts until April 30, 2011



Contact: Dr. Markus Lazanowski, +49 6151 16 4461, lazano@gsc.tu-darmstadt.de

www.conference-ce.de



CADnetwork

CFD Workstation ProViz™ X59

Die perfekte Lösung für CFD und FEM Simulationen

CADnetwork
www.cadnetwork.de
 Beratung +49 (0) 2236 / 39 379 10

Unternehmen das Richtige ist, wird von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt. Mit Fragestellungen in diesem Spannungsfeld ist PROSTEP tagtäglich konfrontiert und bietet mit dem Whitepaper eine Hilfestellung für die Identifizierung des richtigen 3D-Formats für konkrete Anwendungsszenarien. Das Whitepaper ist ab sofort erhältlich auf <http://www.pdfgenerator3d.com/nc/de/produkt/whitepaper.html>.

www.prostep.com

SCIENCE + COMPUTING

s+c ist Mitglied im HPC Advisory Council

science + computing ist seit einiger Zeit Mitglied des HPC Advisory Council. Dieses Gremium versteht sich als Netzwerk für HPC-Expertise: Best-in-class OEMs, strategische Technologielieferanten,

Softwareanbieter und ausgewählte Anwender aus allen Bereichen des HPC haben sich dort zusammengeschlossen. Unter anderem wirken mit HPC-Anwender wie das Lawrence Livermore National Laboratory oder das Schweizer Supercomputing-Zentrum CSCS, Hardware-Herstellern wie NVIDIA und Intel oder Software-Herstellern wie ANSYS oder Platform Computing. Ziel des HPC Advisory Council ist es, die Kluft zwischen der derzeitigen Verwendung von HPC und seinem tatsächlichen Potential zu überbrücken. Das HPC Council will mithelfen, den Nutzen von HPC für neue Anwendergruppen zu erschließen, um Forschung, Bildung, Innovation und Produktentwicklung weiter zu verbessern, HPC-Anwendern die Expertise zu vermitteln, die für den Betrieb eines HPC-Systems nötig ist, Applikationsentwickler mit Werkzeugen zu versorgen, um parallele Berechnungen zu ermöglichen

und die Fähigkeiten und die Integration von HPC-Produkten zu stärken.

Kostenloses Know-how von s+c für Ihren Oracle-Betrieb

Seit kurzem publiziert s+c den TechLetter „Oracle Admin- und Entwicklungstipps“. Dies ist ein kostenloser Info-Dienst, der Sie mit aktuellem praktischem Know-how zu Administration und Entwicklung von Oracle-Umgebungen versorgt. Der TechLetter erscheint mehrmals im Jahr und behandelt jeweils eingehend eine technische Fragestellung.

s+c betreibt Blog zu High Performance Computing

Unter www.hpc-wissen.de betreibt science + computing, einer der führenden deutschen Anbieter von Konzepten, Services und Consulting für passgenaue High-Performance-Computing-Lösungen, seit Juni 2010 einen Blog. Dort schreiben verschiedene Experten des Unter-

nehmens zu allen Aspekten rund um das Themenfeld HPC: Linux-Cluster, Windows HPC, ...

www.science-computing.de

SIEMENS PLM SOFTWARE

Peguform setzt auf Teamcenter von Siemens PLM Software

Siemens PLM Software rüstet Peguform mit der PLM-Plattform Teamcenter aus. Peguform, ein führender Zulieferer der Automobilindustrie, wird künftig seine gesamten Produktlebenszyklen inklusive aller Daten und Dokumente über Teamcenter verwalten. Bis zum ersten Quartal des Jahres 2013 wird die Software nun schrittweise in vier Phasen an allen Standorten weltweit eingeführt. Peguform stellt in insgesamt 16 Werken Einzelteile, Systeme und komplette Module aus Kunststoff für die Automobilindustrie her. Um die PLM-Prozesse durchgängig und einheitlich zu gestalten, werden sie nun über Teamcenter als zentrale Plattform laufen. Damit ersetzt Peguform seine größtenteils heterogene, zum Teil selbst entwickelte Systemlandschaft. Die in Frage kommenden Lösungen mussten aber zunächst in den Crashtest: Ein sechsmonatiger Benchmark-Prozess war der Entscheidung vorausgegangen. Im Rahmen dieses Probelaufes mussten die Anbieter ihre Lösungen unter anderem in der Praxis bei Peguform zeigen und bei einem fiktiven Projekt einen festgelegten Katalog an Aufgaben erfüllen.

NX um zusätzliche CAM-Funktionen erweitert

Siemens PLM Software hat NX, seine integrierte Lösung für Computer-Aided Design (CAD), Manufacturing (CAM) und Konstruktionsanalyse (CAE), um zusätzliche CAM-Funktionen erweitert. Dazu gehören die Anwendungen Turbomachinery Milling, das die Fräsbearbeitung für Turbomaschinen vereinfacht, sowie CMM Inspection Programming zur Erstellung von Prüfprogrammen und Messplanungen.

www.siemens.com/plm

TRANSTEC

Produktive Server- und Grafiklösungen für den Mittelstand

transtec bietet speziell an die Anforderungen von kleinen Unternehmen angepasste Lösungen für IT-Infrastruktur und Grafikanwendungen. Basis ist die neue Intel Sandy Bridge Prozessorarchitektur, die in den neuen CALLEO Servern und den Workstations der Marke Lynx verbaut werden. transtec stellt damit Kunden mit einem kleinen Budget IT-Lösungen zur Verfügung, die hohen Anforderungen an Systemstabilität, Sicherheit und Produktivität gerecht werden. Um die Sicherheit und Stabilität ihrer IT-Infrastruktur zu gewährleisten, arbeiten viele Unternehmen mit Hardware, die im Prinzip zu groß für sie ausgelegt ist. Die neuen transtec Lösungen auf der Basis von Lynx CALLEO Servern setzen hier an: Je nach Anforderungsprofil bekommt der Kunde nur die Hardware-Komponenten, die notwendig sind. Dank der neuen Intel-Prozessorarchitektur sind nun Serverlösungen möglich,

die im Vergleich von Leistungsfähigkeit, Systemstabilität und Produktivität besser abschneiden als Vorgängerlösungen, aber weniger Investitions- und Betriebskosten verursachen. Systemvergleiche haben eine Leistungssteigerung um bis zu 30 Prozent zur vorhergehenden Prozessorgeneration ergeben. Die neuen transtec Lösungen richten sich vor allem an Unternehmen, die nach einer nachhaltigen Lösung für die klassischen IT-Aufgaben wie Workgroup-Anwendungen oder Infrastruktur-Aufgaben suchen. Besondere Anforderungen wie beschränkte Raumkapazitäten oder minimaler Geräuschpegel lassen sich problemlos verwirklichen. Während Server in kleinen und mittleren Unternehmen häufig technisch überausgestattet sind, scheitert die Bereitstellung der notwendigen Rechenleistung für anspruchsvolle Grafikanwendungen wie 3D-Visualisierungen, Imaging oder Entwurfssoftware oft am Budget. Auf der Basis der leistungsoptimierten Intel Xeon-Prozessortechnologie lassen sich nun Grafik-Lösungen realisieren, die auch bei engen Kostenrahmen den produktiven Einsatz von Grafikanwendungen ermöglichen.

Maritta Hartl wird Vice President bei der transtec AG

Maritta Hartl verantwortet ab sofort das deutsche IT-Lösungsgeschäft der transtec AG. Mit der neu geschaffenen Position „Country Manager Deutschland“ verstärkt der Lösungsanbieter seine oberste Führungsebene. Maritta Hartl berichtet als Vice President direkt an Alleinvorstand Hans-Jürgen Bahde.

www.transtec.de

Bitte senden Sie uns Ihre Pressemitteilungen an magazin@nafems.de.

Die hier veröffentlichten Texte wurden nicht redaktionell redigiert und weitgehend unverändert von den jeweiligen Firmen übernommen.

Grazer Symposium Virtuelles Fahrzeug (GSVF)

12.-13.05. Graz, A www.gsvf.at

Virtuelles Fahrzeug

CATIA-FEM Usermeeting

12.05. Karlsruhe, D www.transcat-plm.com/femum2011

Transcat PLM

Forming Technology Forum

17.-18.05. Zürich, CH www.ivp.ethz.ch/ftf11

ETH Zürich

Nastran User Meeting

17.-18.05. München, D www.mscsoftware.com

MSC.Software

Adams User Meeting

18.-19.05. München, D www.mscsoftware.com

MSC.Software

SIMPACK User Meeting

18.-19.05. Salzburg, A www.simpack.com

SIMPACK



NWC
NAFEMS WORLD CONGRESS 2011

23-26 MAY | BOSTON | USA

www.nafems.org/congress

Agenda auf Seiten 32 - 43

FLUIDON Conference

24.-25.05. Aachen, D www.fluidon.com

Fluidon

PAM-CRASH Forum

25.05. Aschaffenburg, D www.esi-group.com

ESI

Int. Symposium „Human Modelling and Simulation in Automotive Engineering

26.-27.05. Aschaffenburg, D www.carhs.de

carhs.training

NAFEMS e-Learning Kurs: Composite FE Analysis

02.06. (4 Wo) Internet www.nafems.org/e-learning

NAFEMS

Blechexpo Stuttgart

06.-09.06. Stuttgart, D www.blechexpo-messe.de

Messe Stuttgart

NAFEMS e-Learning Kurs: Fatigue & Fracture Mechanics in FE Analysis

07.06. (4 Wo) Internet www.nafems.org/e-learning

NAFEMS

NAFEMS Trainingskurs: Einführung in die praktische Anwendung der FEM

06.-08.06. Wiesbaden, D www.nafems.org

NAFEMS

Int. Conference on Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel

13.-16.06. Kassel, D <http://www.chs2.eu/>

Universität Kassel

Int. Supercomputing Conference (ISC)

20.-22.06. Hamburg, D www.supercomp.de/isc11/

ISC

AVL AST Int. User Conference

28.-30.06. Graz, A www.avl-ast-uc2011.com

AVL List

ANSYS Conference & Schweizer CADFEM Users' Meeting

30.06.-01.07. Zürich, CH www.usersmeeting.ch

CADFEM Schweiz

NAFEMS e-Learning Kurs: Structural Optimization in FE Analysis

05.07. (4 Wo) Internet www.nafems.org/e-learning

NAFEMS

FEM-MBS Interfacing

11.-12.07. Andechs, D www.simpack.com

SIMPACK

Daimler EDM CAE Forum

12.-13.07 Stuttgart, D www.daimler.com/edm-cae-forum

Daimler

Dassault Systemes PLM-Forum

13.-14.07. Mannheim, D <http://www.plmforum-2011.de/>

Dassault Systemes

Symposium on Computational Biomechanics

25.-26.07. Ulm, D www.uni-ulm.de/misc/cbu

Universität Ulm

NAFEMS e-Learning Kurs: Nonlinear Analysis

02.08. (4 Wo) Internet www.nafems.org/e-learning

NAFEMS

GACM Colloquium on Computational Mechanics

31.08.-02.09. Dresden, D www.gacm2011.bau.tu-dresden.de

TU Dresden

Deutsche SIMULIA-Konferenz

19.-20.09. Bamberg, D www.simulia.com/de

Dassault Simulia

LS-DYNA Forum

13.10. Filderstadt, D www.dynamore.de

DYNAmore

ANSYS Conference & CADFEM Users' Meeting

19.-21.10 Stuttgart, D www.usersmeeting.com

ANSYS/CADFEM

SYSWELD Forum

25.10. Weimar, D www.esi-group.com

ESI

COMSOL Conference

26.-28.10. Stuttgart, D www.comsol.eu/conference

Comsol Multiphysics

Marc User Meeting

27.-28.10. München, D www.mscsoftware.com

MSC.Software

Int. Conference on Computational Engineering

4.-6.10. Darmstadt, D www.conference-ce.de

TU Darmstadt

Europ. HyperWorks Technology Conference

07.-09.11. Bonn, D www.altairhtc.com/europe

Altair Engineering

NAFEMS Seminar: Die Rolle des CAE in Systems Simulation

08.-09.11.. Wiesbaden, D www.nafems.org

NAFEMS

European NAFEMS Conference: Simulation Data Management (SDM)

15.-16.11. München, D www.nafems.org

NAFEMS

Euromold

30.11.-03.12. Frankfurt, D www.euromold.com

Demat GmbH

Weitere NAFEMS Veranstaltungen finden Sie unter www.nafems.org/events



NWC 2011

NAFEMS WORLD CONGRESS

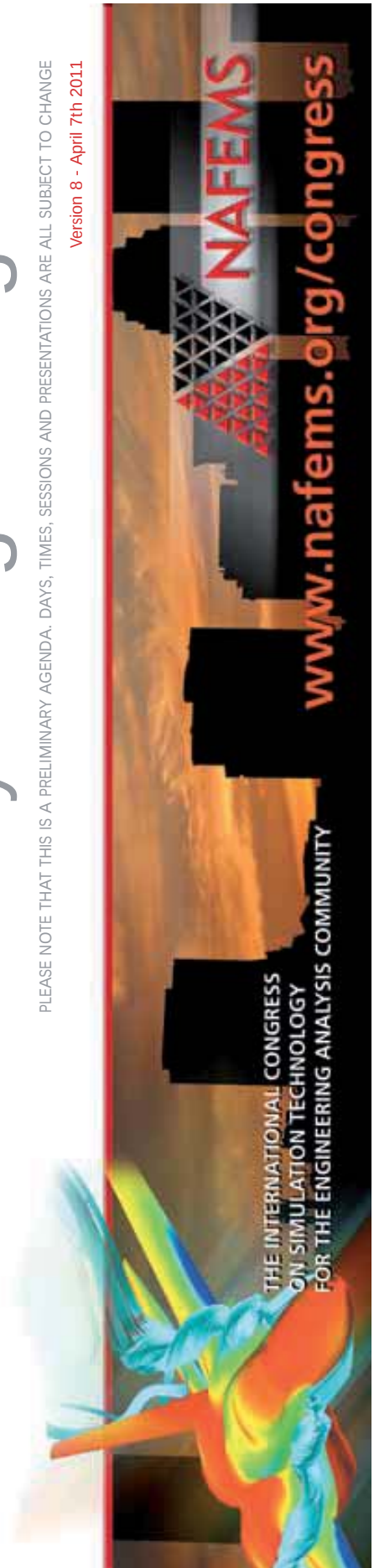
23-26 MAY | BOSTON | USA

A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION
INDUSTRIAL NEEDS | BEST PRACTICE | VISIONS FOR THE FUTURE

Preliminary Congress Agenda

PLEASE NOTE THAT THIS IS A PRELIMINARY AGENDA. DAYS, TIMES, SESSIONS AND PRESENTATIONS ARE ALL SUBJECT TO CHANGE

Version 8 - April 7th 2011





23-26 MAY | BOSTON | USA

A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION

INDUSTRIAL NEEDS | BEST PRACTICE | VISIONS FOR THE FUTURE

The world of simulation is changing. Technology has moved at an astonishing pace since NAFEMS was founded in 1984, with computing power and application complexity increasing exponentially as time passes.

2011 presents a much different landscape to the world of analysis and simulation than in previous years. Dwindling natural resources combined with the catastrophic financial environment have put engineering analysis and simulation in a key role in today's product development and research market.

Companies need to find new solutions, new technologies, and new processes in order to cut costs and preserve natural resources, all the time maintaining focus on the delivery of profitable, efficient products.

The NAFEMS World Congress 2011, being held in Boston, MA, USA from May 23rd-26th 2011, will be the only independent, international conference focusing on all aspects of simulation technology and their impacts on society and industry as a whole.

As the most respected and long-standing association dedicated to FEA, CFD and associated technologies, NAFEMS is the independent voice of the CAE world, representing a collective of over 950 organizations worldwide, from the major analysis software vendors, global manufacturing industry and eminent educational establishments.

The NAFEMS World Congress is the only event dedicated to showcasing the state-of-the-art and state-of-practice in the simulation world in an impartial forum, open to everyone with an interest in how to get the most from their use of simulation.

Register TODAY at www.nafems.org/congress

MONDAY 23RD MAY 2011

Short Training Courses

09:30 - 11:00

Non-Linear Analysis

Lecturer: T. Abbey, NAFEMS, USA;
Costs: Free of charge for NWC11 delegates
80 USD for non delegates

11:30 - 13:00

Composite FE Analysis

Lecturer: T. Abbey, NAFEMS, USA;
Costs: Free of charge for NWC11 delegates
80 USD for non delegates

14:00 - 15:30

Dynamic FE Analysis

Lecturer: T. Abbey, NAFEMS, USA;
Costs: Free of charge for NWC11 delegates
80 USD for non delegates

16:00 - 17:30

Fatigue & Fracture Mechanics in FE Analysis

Lecturer: T. Abbey, NAFEMS, USA;
Costs: Free of charge for NWC11 delegates
80 USD for non delegates

15:00 - 19:00

Author & Delegate Registration

19:00 - 21:00

Cocktail Reception & Exhibition Opening

PLEASE NOTE THAT THIS IS A PRELIMINARY AGENDA. DAYS, TIMES, SESSIONS AND PRESENTATIONS ARE ALL SUBJECT TO CHANGE. * subject to final approval

TUESDAY 24TH MAY 2011

Plenary Session

08:30 Opening the Congress

C. Stavrinidis, European Space Agency, NED; Chairman of the NAFEMS Council

08:45 NAFEMS World Congress 2011: Three Days to Remember

T. Morris, NAFEMS CEO

09:00 Keynote Presentation: Development of Benchmark Examples for Delamination Onset and Fatigue Growth Prediction

R. Krüger, National Institute of Aerospace, USA

09:30 Keynote Presentation: Failure Criteria in Fibre Reinforced Polymer Composites: Can any of the Predictive Theories be Trusted?

M. Hinton, QinetiQ, GBR

10:00 - REFRESHMENT BREAK

EXHIBITION STAGE - PRODUCT SHOWCASE: DASSAULT SYSTEMES SIMULIA PRODUCT SHOWCASE: AUTODESK

1A Optimisation 1	10:55	1B Analysis Management	10:55	1C Connections 1	10:55	1D Composites 1	10:55	1E SDM 1	10:55
Optimization of Structures Exposed to High Velocity/Energy Impact Events A. Norton, Altair Engineering, USA		Code Verification by the Method of Manufactured Solutions J. Meulemans, Saint-Gobain Recherche, FRA		Structural Damping in Bolted Joints Simulation and Measurement L. Gaul, University of Stuttgart, GER		Simulation of the Hole Size Effect in Carbon/Epoxy Composites E. Nelson, Firehole Technologies, USA		Learning from Our Past M. Tomlin, Siemens PLM Software, USA	
Integrated Multi-Variable Probabilistic Design Application of Robust Design in Gas Turbine Components B. Farris, Rolls-Royce, USA		Obstacles and Restrictions while Verifying Finite Element Analyses on Slewing Rings T. Meyer, IMO Holding, GER		Advancements in Connection Analysis Methods T. Dams, Siemens PLM Software, USA		Recent Results in Damage Modelling of Composites M. Bruyneel, Santech, BEL		Behavioural Digital Aircraft and Virtual Certification O. Tabaste, MSC Software, FRA	
A Multidisciplinary Simulation Framework for Optimization of Rotocraft Operations and Environment Impact B. Van Der Heggen, Noesis Solutions, BEL		Simple Convergence-Divergence Checks for Stress Analysis with Finite Elements J. Beisheim, Ansys, USA		Contact Stress Accuracy with Robust and Broadly-Applicable Implicit Contact Algorithm H. Harkness, Dassault Systemes Simulia, USA		Progressive Ply Failure Analysis of Laminated Composite Structures - An Analytical Approach C. Panda, TATA Consultancy Services Limited, USA		Simulation Data Management - A Decade of Business Value M. Norris, MSC Software, UK	
Recent Advances made in Optimization for CFD C. Hill, Ansys, GBR		Evolution from Realistic Simulation to New Paradigm of Collaborative Interactive Virtual Engineering F. El-Khalidi, ESI Group, FRA		Effective and Realistic Simulation through Nonlinear Contact Elements * K. Raghavan, Infotech Enterprises, IND		Physics-Based Fatigue Life Prediction of Composite Structures R. Fertig, Firehole Technologies, USA		Advances in Data and Process Management Technology and Methods for Coupling Physical and Virtual Testing F. Merceron, Simulia, USA	
Optimisation of Nuclear Reactor Components using Modern Methods * D. Rice, Rolls Royce, GBR				Solving Stick-Slip Problems of Ball Bearings R. Helfrich, Intes, GER		Finite Element Simulations of the Manufacturing of Woven-Fabric Composite Draping during Thermostamping J. Stenwood, Umas-Lowell, USA		Virtual Testing for Highlift Systems T. Ulmer, Airbus Operations, GER	



12:40 - LUNCH BREAK

PLEASE NOTE THAT THIS IS A PRELIMINARY AGENDA. DAYS, TIMES, SESSIONS AND PRESENTATIONS ARE ALL SUBJECT TO CHANGE. * subject to final approval

2A	13:35	2B	13:35	2C	13:35	2D	13:35	2E	13:35
CFD 1	Fatigue and Fracture 1	Civil / Geotechnics 1	Multi Body Systems	Industrial Applications 1					
Aerodynamic Analysis Involving Moving Parts with a Particle-Based CFD Solution D. Holman, Next Limit Technologies, ESP	Robust Tools for Crack Insertion and Propagation O. Klass, Simmetrix, USA	NL-FEA Guideline for Concrete Girder Analysis A. de Boer, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, NED	Geometrical Nonlinearities in Elastic Body Behaviour for Multi-Body System Dynamics D. Marinovic, Technical University Berlin, GER	Virtual Engine Development of PSA L41 SI Engine M. Stephenson, Mahle Powertrain, GER					
Evaluate and Model the Efficiency of a Blast Furnace Gas Cleaning Plant D. Winfield, Swansea University, GBR	Automated Methodology for Modeling Crack Extension in Finite Element Models J. Koslowski, Computer Aided Engineering Associates, USA	Nonlinear Finite Element Modelling of the Fibre-bridging-pullout Mechanism Under Static Load C. Seong Chin, London South Bank University, GBR	Multi-Objective Optimal Model Validation of Multibody System in Circuit Breaker Applications S. Kottainen, ABB Schweiz, SUI	Simulation from Concept Selection to Design Verification of High Flexion Knee Replacement M. Reeve, DePuy Orthopaedics Worldwide, GBR					
Design of a 1U High Performance 10 Gigabit-Ethernet Switch using CFD S. Chivanga, Cambridge Engineering Analysis & Design (CEAD), GBR	Crack Growth Analysis by Meshless Methods Q. Valencia Rey, Sener, ESP	Failure Investigation of Reinforced Concrete Columns Exposed to Fire M. Zgouti, University of Jordan, JOR	EHD Analysis of Big End Bearing and HCF Evaluation of a Connecting Rod in IC Engines by Means of MBD and FEA M.-T. Ma, AVL List Technical Center, CHN	Assessing the Defect Tolerance of Rail Vehicle Impact Energy Absorbers M. Grasso, Universita Federico II - Napoli, ITA					
CFD Simulations of Turbulence Promoters in a Water Treatment Reactor S. Ahmed, CQ University, AUS	Comparison between Ductile Tearing Analysis and Linear Elastic Fracture Mechanics Analysis Q. Rowson, Quest Integrity Group, NZL		A Unified CAE Analysis for a Leaf Spring Type Suspension Vehicle Y. Hahn, Dassault Systemes Simulia, USA	Critical Issues in Over-Speed and Burst-Margin Assessment of Aero-Engine Discs K. Kenche Gowda, Tivani Engineering Bangalore, IND					

3A	15:35	3B	15:35	3C	15:35	3D	15:35	3E	15:35
CFD 2 - Confidence in Results	Dynamics and Testing 1	Civil / Geotechnics 2	Manufacturing - Moulding	NAFEMS Membership and General Information					
Cavitation Modeling and Validation of a Fully Submerged Wedge M. Davoudabadi, Ansys, USA	Categorisation of Accident Scenarios by Using Wavelet Transformed Signals of FE-Crash Simulations and Artificial Neural Networks B. Fuhr, Helmut-Schmidt-University, GER	FE Analysis and Experiments Assessing the Load-Deformation Response of Inflated Fabric Beams and Arches B. Davids, University of Maine, USA	Structural Analysis for Plastic Parts with Molding Process Induced Stress and Properties X. Jin, Autodesk, USA	Information about NAFEMS Membership Opportunities and Tailored Options P. Steward, NAFEMS					
Virtual Prototyping of Resizing Compressor Valves-Model Development and Validation J. Sengupta, Hoeber Corporation of America, USA	Virtual Seat Prototyping for Craftsmanship, Comfort, and Safety D. Dooge, ESI North America, USA	Results from Pile Benchmarking Exercises J. Densbury, Buro Happold, GBR	Multidisciplinary Design and Optimization of a Plastic Injection Mold using an Integrated Design and Engineering Environment R. van Dijk, Delft University of Technology, NED						
Atmospheric Dispersion Simulation Benchmarks V. Soumy, EURO/CFD, FRA	Crashworthiness Improvement on a Thin-Wall Cylindrical Tube C. Man-chun, Kingston University, GBR	Numerical Modelling Simulation of Piled Parts: A Validation Protocol A. Fasano, Buro Happold, GBR	Easy To Use - Fast - Accurate: Next Generation Injection Moulding Simulation M. Thomaeg, Sigma Engineering, GER						
Tackling CFD Problems from the Beginning R. Schnipke, Blue Ridge Numerics, Inc., USA	Re-Design of an Automotive Rectifier by CAD/CAE Techniques and Related Experimental Validation M. Grasso, Universita Federico II - Napoli, ITA	Acoustic Issues in Architectural Monuments of Peru H. E. Torres Paezanos, PER	Prediction of Solidification Behaviour of Al 6061 Alloy Castings C. Ramesh PES Institute of Technology, IND						

3A	15:35	3B	15:35	3C	15:35	3D	15:35	3E	15:35
CFD 2 - Confidence in Results	Dynamics and Testing 1	Civil / Geotechnics 2	Manufacturing - Moulding	NAFEMS Membership and General Information					
Cavitation Modeling and Validation of a Fully Submerged Wedge M. Davoudabadi, Ansys, USA	Categorisation of Accident Scenarios by Using Wavelet Transformed Signals of FE-Crash Simulations and Artificial Neural Networks B. Fuhr, Helmut-Schmidt-University, GER	FE Analysis and Experiments Assessing the Load-Deformation Response of Inflated Fabric Beams and Arches B. Davids, University of Maine, USA	Structural Analysis for Plastic Parts with Molding Process Induced Stress and Properties X. Jin, Autodesk, USA	Information about NAFEMS Membership Opportunities and Tailored Options P. Steward, NAFEMS					
Virtual Prototyping of Resizing Compressor Valves-Model Development and Validation J. Sengupta, Hoeber Corporation of America, USA	Virtual Seat Prototyping for Craftsmanship, Comfort, and Safety D. Dooge, ESI North America, USA	Results from Pile Benchmarking Exercises J. Densbury, Buro Happold, GBR	Multidisciplinary Design and Optimization of a Plastic Injection Mold using an Integrated Design and Engineering Environment R. van Dijk, Delft University of Technology, NED						
Atmospheric Dispersion Simulation Benchmarks V. Soumy, EURO/CFD, FRA	Crashworthiness Improvement on a Thin-Wall Cylindrical Tube C. Man-chun, Kingston University, GBR	Numerical Modelling Simulation of Piled Parts: A Validation Protocol A. Fasano, Buro Happold, GBR	Easy To Use - Fast - Accurate: Next Generation Injection Moulding Simulation M. Thomaeg, Sigma Engineering, GER						
Tackling CFD Problems from the Beginning R. Schnipke, Blue Ridge Numerics, Inc., USA	Re-Design of an Automotive Rectifier by CAD/CAE Techniques and Related Experimental Validation M. Grasso, Universita Federico II - Napoli, ITA	Acoustic Issues in Architectural Monuments of Peru H. E. Torres Paezanos, PER	Prediction of Solidification Behaviour of Al 6061 Alloy Castings C. Ramesh PES Institute of Technology, IND						

3A	15:35	3B	15:35	3C	15:35	3D	15:35	3E	15:35
CFD 2 - Confidence in Results	Dynamics and Testing 1	Civil / Geotechnics 2	Manufacturing - Moulding	NAFEMS Membership and General Information					
Cavitation Modeling and Validation of a Fully Submerged Wedge M. Davoudabadi, Ansys, USA	Categorisation of Accident Scenarios by Using Wavelet Transformed Signals of FE-Crash Simulations and Artificial Neural Networks B. Fuhr, Helmut-Schmidt-University, GER	FE Analysis and Experiments Assessing the Load-Deformation Response of Inflated Fabric Beams and Arches B. Davids, University of Maine, USA	Structural Analysis for Plastic Parts with Molding Process Induced Stress and Properties X. Jin, Autodesk, USA	Information about NAFEMS Membership Opportunities and Tailored Options P. Steward, NAFEMS					
Virtual Prototyping of Resizing Compressor Valves-Model Development and Validation J. Sengupta, Hoeber Corporation of America, USA	Virtual Seat Prototyping for Craftsmanship, Comfort, and Safety D. Dooge, ESI North America, USA	Results from Pile Benchmarking Exercises J. Densbury, Buro Happold, GBR	Multidisciplinary Design and Optimization of a Plastic Injection Mold using an Integrated Design and Engineering Environment R. van Dijk, Delft University of Technology, NED						
Atmospheric Dispersion Simulation Benchmarks V. Soumy, EURO/CFD, FRA	Crashworthiness Improvement on a Thin-Wall Cylindrical Tube C. Man-chun, Kingston University, GBR	Numerical Modelling Simulation of Piled Parts: A Validation Protocol A. Fasano, Buro Happold, GBR	Easy To Use - Fast - Accurate: Next Generation Injection Moulding Simulation M. Thomaeg, Sigma Engineering, GER						
Tackling CFD Problems from the Beginning R. Schnipke, Blue Ridge Numerics, Inc., USA	Re-Design of an Automotive Rectifier by CAD/CAE Techniques and Related Experimental Validation M. Grasso, Universita Federico II - Napoli, ITA	Acoustic Issues in Architectural Monuments of Peru H. E. Torres Paezanos, PER	Prediction of Solidification Behaviour of Al 6061 Alloy Castings C. Ramesh PES Institute of Technology, IND						

3A	15:35	3B	15:35	3C	15:35	3D	15:35	3E	15:35
CFD 2 - Confidence in Results	Dynamics and Testing 1	Civil / Geotechnics 2	Manufacturing - Moulding	NAFEMS Membership and General Information					
Cavitation Modeling and Validation of a Fully Submerged Wedge M. Davoudabadi, Ansys, USA	Categorisation of Accident Scenarios by Using Wavelet Transformed Signals of FE-Crash Simulations and Artificial Neural Networks B. Fuhr, Helmut-Schmidt-University, GER	FE Analysis and Experiments Assessing the Load-Deformation Response of Inflated Fabric Beams and Arches B. Davids, University of Maine, USA	Structural Analysis for Plastic Parts with Molding Process Induced Stress and Properties X. Jin, Autodesk, USA	Information about NAFEMS Membership Opportunities and Tailored Options P. Steward, NAFEMS					
Virtual Prototyping of Resizing Compressor Valves-Model Development and Validation J. Sengupta, Hoeber Corporation of America, USA	Virtual Seat Prototyping for Craftsmanship, Comfort, and Safety D. Dooge, ESI North America, USA	Results from Pile Benchmarking Exercises J. Densbury, Buro Happold, GBR	Multidisciplinary Design and Optimization of a Plastic Injection Mold using an Integrated Design and Engineering Environment R. van Dijk, Delft University of Technology, NED						
Atmospheric Dispersion Simulation Benchmarks V. Soumy, EURO/CFD, FRA	Crashworthiness Improvement on a Thin-Wall Cylindrical Tube C. Man-chun, Kingston University, GBR	Numerical Modelling Simulation of Piled Parts: A Validation Protocol A. Fasano, Buro Happold, GBR	Easy To Use - Fast - Accurate: Next Generation Injection Moulding Simulation M. Thomaeg, Sigma Engineering, GER						
Tackling CFD Problems from the Beginning R. Schnipke, Blue Ridge Numerics, Inc., USA	Re-Design of an Automotive Rectifier by CAD/CAE Techniques and Related Experimental Validation M. Grasso, Universita Federico II - Napoli, ITA	Acoustic Issues in Architectural Monuments of Peru H. E. Torres Paezanos, PER	Prediction of Solidification Behaviour of Al 6061 Alloy Castings C. Ramesh PES Institute of Technology, IND						

3A	15:35	3B	15:35	3C	15:35	3D	15:35	3E	15:35
CFD 2 - Confidence in Results	Dynamics and Testing 1	Civil / Geotechnics 2	Manufacturing - Moulding	NAFEMS Membership and General Information					
Cavitation Modeling and Validation of a Fully Submerged Wedge M. Davoudabadi, Ansys, USA	Categorisation of Accident Scenarios by Using Wavelet Transformed Signals of FE-Crash Simulations and Artificial Neural Networks B. Fuhr, Helmut-Schmidt-University, GER	FE Analysis and Experiments Assessing the Load-Deformation Response of Inflated Fabric Beams and Arches B. Davids, University of Maine, USA	Structural Analysis for Plastic Parts with Molding Process Induced Stress and Properties X. Jin, Autodesk, USA	Information about NAFEMS Membership Opportunities and Tailored Options P. Steward, NAFEMS					
Virtual Prototyping of Resizing Compressor Valves-Model Development and Validation J. Sengupta, Hoeber Corporation of America, USA	Virtual Seat Prototyping for Craftsmanship, Comfort, and Safety D. Dooge, ESI North America, USA	Results from Pile Benchmarking Exercises J. Densbury, Buro Happold, GBR	Multidisciplinary Design and Optimization of a Plastic Injection Mold using an Integrated Design and Engineering Environment R. van Dijk, Delft University of Technology, NED						
Atmospheric Dispersion Simulation Benchmarks V. Soumy, EURO/CFD, FRA	Crashworthiness Improvement on a Thin-Wall Cylindrical Tube C. Man-chun, Kingston University, GBR	Numerical Modelling Simulation of Piled Parts: A Validation Protocol A. Fasano, Buro Happold, GBR	Easy To Use - Fast - Accurate: Next Generation Injection Moulding Simulation M. Thomaeg, Sigma Engineering, GER						
Tackling CFD Problems from the Beginning R. Schnipke, Blue Ridge Numerics, Inc., USA	Re-Design of an Automotive Rectifier by CAD/CAE Techniques and Related Experimental Validation M. Grasso, Universita Federico II - Napoli, ITA	Acoustic Issues in Architectural Monuments of Peru H. E. Torres Paezanos, PER	Prediction of Solidification Behaviour of Al 6061 Alloy Castings C. Ramesh PES Institute of Technology, IND						

3A	15:35	3B	15:35	3C	15:35	3D	15:35	3E	15:35
CFD 2 - Confidence in Results	Dynamics and Testing 1	Civil / Geotechnics 2	Manufacturing - Moulding	NAFEMS Membership and General Information					
Cavitation Modeling and Validation of a Fully Submerged Wedge M. Davoudabadi, Ansys, USA	Categorisation of Accident Scenarios by Using Wavelet Transformed Signals of FE-Crash Simulations and Artificial Neural Networks B. Fuhr, Helmut-Schmidt-University, GER	FE Analysis and Experiments Assessing the Load-Deformation Response of Inflated Fabric Beams and Arches B. Davids, University of Maine, USA	Structural Analysis for Plastic Parts with Molding Process Induced Stress and Properties X. Jin, Autodesk, USA	Information about NAFEMS Membership Opportunities and Tailored Options P. Steward, NAFEMS					
Virtual Prototyping of Resizing Compressor Valves-Model Development and Validation J. Sengupta, Hoeber Corporation of America, USA	Virtual Seat Prototyping for Craftsmanship, Comfort, and Safety D. Dooge, ESI North America, USA	Results from Pile Benchmarking Exercises J. Densbury, Buro Happold, GBR	Multidisciplinary Design and Optimization of a Plastic Injection Mold using an Integrated Design and Engineering Environment R. van Dijk, Delft University of Technology, NED						
Atmospheric Dispersion Simulation Benchmarks V. Soumy, EURO/CFD, FRA	Crashworthiness Improvement on a Thin-Wall Cylindrical Tube C. Man-chun, Kingston University, GBR	Numerical Modelling Simulation of Piled Parts: A Validation Protocol A. Fasano, Buro Happold, GBR	Easy To Use - Fast - Accurate: Next Generation Injection Moulding Simulation M. Thomaeg, Sigma Engineering, GER						
Tackling CFD Problems from the Beginning R. Schnipke, Blue Ridge Numerics, Inc., USA	Re-Design of an Automotive Rectifier by CAD/CAE Techniques and Related Experimental Validation M. Grasso, Universita Federico II - Napoli, ITA	Acoustic Issues in Architectural Monuments of Peru H. E. Torres Paezanos, PER	Prediction of Solidification Behaviour of Al 6061 Alloy Castings C. Ramesh PES Institute of Technology, IND						

3A	15:35	3B	15:35	3C	15:35	3D	15:35	3E	15:35
CFD 2 - Confidence in Results	Dynamics and Testing 1	Civil / Geotechnics 2	Manufacturing - Moulding	NAFEMS Membership and General Information					
Cavitation Modeling and Validation of a Fully Submerged Wedge M. Davoudabadi, Ansys, USA	Categorisation of Accident Scenarios by Using Wavelet Transformed Signals of FE-Crash Simulations and Artificial Neural Networks B. Fuhr, Helmut-Schmidt-University, GER	FE Analysis and Experiments Assessing the Load-Deformation Response of Inflated Fabric Beams and Arches B. Davids, University of Maine, USA	Structural Analysis for Plastic Parts with Molding Process Induced Stress and Properties X. Jin, Autodesk, USA	Information about NAFEMS Membership Opportunities and Tailored Options P. Steward, NAFEMS					
Virtual Prototyping of Resizing Compressor Valves-Model Development and Validation J. Sengupta, Hoeber Corporation of America, USA	Virtual Seat Prototyping for Craftsmanship, Comfort, and Safety D. Dooge, ESI North America, USA	Results from Pile Benchmarking Exercises J. Densbury, Buro Happold, GBR	Multidisciplinary Design and Optimization of a Plastic Injection Mold using an Integrated Design and Engineering Environment R. van Dijk, Delft University of Technology, NED						
Atmospheric Dispersion Simulation Benchmarks V. Soumy, EURO/CFD, FRA	Crashworthiness Improvement on a Thin-Wall Cylindrical Tube C. Man-chun, Kingston University, GBR	Numerical Modelling Simulation of Piled Parts: A Validation Protocol A. Fasano, Buro Happold, GBR	Easy To Use - Fast - Accurate: Next Generation Injection Moulding Simulation M. Thomaeg, Sigma Engineering, GER						
Tackling CFD Problems from the Beginning R. Schnipke, Blue Ridge Numerics, Inc., USA	Re-Design of an Automotive Rectifier by CAD/CAE Techniques and Related Experimental Validation M. Grasso, Universita Federico II - Napoli, ITA	Acoustic Issues in Architectural Monuments of Peru H. E. Torres Paezanos, PER	Prediction of Solidification Behaviour of Al 6061 Alloy Castings C. Ramesh PES Institute of Technology, IND						

3A	15:35	3B	15:35	3C	15:35	3D	15:35	3E	15:35
CFD 2 - Confidence in Results	Dynamics and Testing 1	Civil / Geotechnics 2	Manufacturing - Moulding	NAFEMS Membership and General Information					
Cavitation Modeling and Validation of a Fully Submerged Wedge M. Davoudabadi, Ansys, USA	Categorisation of Accident Scenarios by Using Wavelet Transformed Signals of FE-Crash Simulations and Artificial Neural Networks B. Fuhr, Helmut-Schmidt-University, GER	FE Analysis and Experiments Assessing the Load-Deformation Response of Inflated Fabric Beams and Arches B. Davids, University of Maine, USA	Structural Analysis for Plastic Parts with Molding Process Induced Stress and Properties X. Jin, Autodesk, USA	Information about NAFEMS Membership Opportunities and Tailored Options P. Steward, NAFEMS					
Virtual Prototyping of Resizing Compressor Valves-Model Development and Validation J. Sengupta, Hoeber Corporation of America, USA	Virtual Seat Prototyping for Craftsmanship, Comfort, and Safety D. Dooge, ESI North America, USA	Results from Pile Benchmarking Exercises J. Densbury, Buro Happold, GBR	Multidisciplinary Design and Optimization of a Plastic Injection Mold using an Integrated Design and Engineering Environment R. van Dijk, Delft University of Technology, NED						
Atmospheric Dispersion Simulation Benchmarks V. Soumy, EURO/CFD, FRA	Crashworthiness Improvement on a Thin-Wall Cylindrical Tube C. Man-chun, Kingston University, GBR	Numerical Modelling Simulation of Piled Parts: A Validation Protocol A. Fasano, Buro Happold, GBR	Easy To Use - Fast - Accurate: Next Generation Injection Moulding Simulation M. Thomaeg, Sigma Engineering, GER						
Tackling CFD Problems from the Beginning R. Schnipke, Blue Ridge Numerics, Inc., USA	Re-Design of an Automotive Rectifier by CAD/CAE Techniques and Related Experimental Validation M. Grasso, Universita Federico II - Napoli, ITA	Acoustic Issues in Architectural Monuments of Peru H. E. Torres Paezanos, PER	Prediction of Solidification Behaviour of Al 6061 Alloy Castings C. Ramesh PES Institute of Technology, IND						

PLEASE NOTE THAT THIS IS A PRELIMINARY AGENDA. DAYS, TIMES, SESSIONS AND PRESENTATIONS ARE ALL SUBJECT TO CHANGE. * subject to final approval

17:00 - REFRESHMENT BREAK

15:00 - REFRESHMENT BREAK EXHIBITION STAGE - PRODUCT SHOWCASES - CEI - SIEMENS

EXHIBITORS

- Altair Engineering
- ANSYS
- Autodesk
- Beta CAE
- CAE Associates
- Cd-adapco
- Computational Engineering International
- Dassault Simulia
- ESI
- Fraunhofer SCAI
- Intes
- KeytoMetals
- LMS
- Mentor Graphics
- MSC-Software



TUESDAY 24TH MAY 2011

4A Visualisation	17:35	4B Stochastics	17:35	4C Civil / Geotechnics 3	17:35	4D Materials	17:35	4E NAFEMS Membership and General Information	17:35	EXHIBITORS
The Analysis and Simulation of Rock Properties using FIB-SEM and Virtual Material Studio S. Zhang, V S G Visualization Sciences Group, USA		Methods to Visualise Stochastic Simulation Results from Space and Time Discretised Models D. Vogt, EADS Innovation Works, GER		The Implementation of 3-Dimensional Soil-Structure Interaction Analysis in Earth Retention System Design A. Fasano, Buro Happold, GBR		Experimental Characterisation and Modelling of the Mechanical Behaviour of Polymer-Bonded Explosives G. Kalsi, AWE, GER		Information about NAFEMS Membership Opportunities and Tailored Options	Noesis Solutions	
Interactive Visual Analysis and Exploration - New Visualization Methods beyond Static Post-Processing H. Doleisch, SimVis, AUT		Uncertainty in Crack Growth Analysis by Meshless Methods O. Valencia Rey, Sener, ESP		Vertical Stress Analysis in Structural Masonry Buildings Considering Soil-Structure Interaction T. Porto, UFMG, BRA		A Methodology for Creating a Database of Advanced Mechanical Properties of Metals V. Pozetti, Key to Metals, SUI			Quest Integrity Group	
Virtual Particles in a Jam – Investigating Filter Performance with Particle Simulation M. Schulz, science + computing, GER		Scalability of Stochastic Simulation G. Allen, Navy Surface Warfare Centre, GBR		Ground Stability Study at Diamond Light Source UK H.-Cheng Huang, Diamond Light Source, GBR		Drop Testing of Biodegradable Plastics for Consumer Product Applications N. Elabbasi, Veryst Engineering, USA			Safe Technology	
Using Integral Surfaces to Visualize CFD Simulation Data R. Laranee, Swansea University, GBR				Blast Response of Reinforced Concrete Buildings by Considering Sub Frame Analysis V. Kesse, Queensland University of Technology, AUS		Application of FEA in Design of Connection between Components Made of Dissimilar Materials and Operating at High Temperatures R. Khakhar, Larsen and Toubro, IND			Siemens PLM Software	
								P. Steward, NAFEMS	Simmetrix	
									Simpack	
									SpaceClaim Corporation	
									VSG - Visualization Sciences Group	

19:00 - END OF DAY 1

20:00 - OPTIONAL DINNER

PLEASE NOTE THAT THIS IS A PRELIMINARY AGENDA. DAYS, TIMES, SESSIONS AND PRESENTATIONS ARE ALL SUBJECT TO CHANGE. * subject to final approval



locationboston

Boston, first incorporated as a town in 1630, and as a city in 1822, is one of America's oldest cities, with a rich economic and social history. What began as a homesteading community eventually evolved into a center for social and political change. Boston has since become the economic and cultural hub of New England.

As the region's hub, Boston is home to nearly 590,000 residents, many institutions of higher education, some of the world's finest inpatient hospitals, and numerous cultural and professional sports organizations. Boston-based jobs, primarily within the finance, health care, educational, and service areas, numbered nearly 660,000 in 2002. Millions of people visit Boston to take in its historic neighborhoods, attend cultural or sporting events, and conduct business.

www.nafems.org/congress/location

WEDNESDAY 25TH MAY 2011



Plenary Session

08:30

Keynote Presentation: New Approaches for Shape and Topology Optimization for Crashworthiness
F. Duddeck, Technical University Munich, GER

09:00

Keynote Presentation: Presentation Title To Be Confirmed
L. Michalske, Procter & Gamble, USA; Chair of the NAFEMS Simulation Data Management Working Group

10:00 - REFRESHMENT BREAK

EXHIBITION STAGE - PRODUCT SHOWCASE: SIMPACK PRODUCT SHOWCASE: SIMMETRIX

5A
Optimisation 2
10:55

Performance Breakthrough in Engine Analysis
R. Heifrich, INTES, GER

Physics-Controlled Free-Shape Optimization in Electrical Design
Z. Anujic, ABB, SWI

Software Optimization: Framework for Algorithm Development and Application to Practical Problems
P. Menegay, Phoenix Integration, USA

Multi-Fidelity Modelling in Structural Optimization
Y. Ghollipour, University of Tehran, IRI

Multiple Model Optimization of Large Systems
S. Choudhry, MSC Software, USA

5B
Composites 2
10:55

Continuous Fiber Reinforcement in Wind Turbine Rotor Blades: The Prediction of Nonlinear Anisotropic Material Behaviour
R. Assaker, e-Xstream Engineering, GER

Approaches for the Macroscale Curvilinear Modeling of Continuous Fiber Composites
D. Troll, Karlsruhe Institute of Technology, GER

Failure of Composite Pressure Hulls
J. Reijnders, IV-Nevesdu, NED

Non-Linear Multi-Disciplinary Optimization of a Forward Swept Composite Wing
C. Hühne, DLR German Aerospace Center, GER

Validation of the Finite Element Simulations of the Thermoforming of Woven-Fabric Reinforced Composites using Modal Analyses
J. Sherwood, Umas-Lowell, USA

5C
Integration 1
10:55

Direct Modeling in Simulation: Rationale and Application
B. Courter, Spaceclaim Corporation, USA

Concurrent CFD: PLM-Embedded Computational Fluid Dynamics for Upright Product Design
J. Parry, Mentor Graphics, GBR

New Frontiers in CAE Interoperability
S. Utterdyke, ITI TranserData, USA

Program Design Meets Engineer's Requirements - A New Concept of a Freeform Finite-Element-Program
B. Alther-Laukant, University of Bayreuth, GER

5D
Focus Session: Round Robin/Benchmark
10:55

5E
Focus Session: Stochastics
10:55

NAFEMS STOCH WG Introduction

Overview Past and Future Activities

Short contributions

Discussion

5F
Promoting the Adoption of HPC for Engineering Simulation
10:55

Accelerating Commercial Linear Dynamic and Nonlinear Implicit FEA Software through High Performance Computing
V. Belsky, Dassault Systemes Simulia, USA

GPU Acceleration for Multiphysics Applications
S. Posey, NVIDIA, USA

Accelerate FEA Simulations with a GPU
J. Belsheim, Ansys, USA

Parallel Mesh Generation and Adaptation for CAD Geometries
S. Tendulkar, Simmetrix, USA

Bringing Parallel Adaptive Simulation to Industry
C. Smith, Rensselaer Polytechnic Institute, USA

12:40 - LUNCH BREAK

PLEASE NOTE THAT THIS IS A PRELIMINARY AGENDA. DAYS, TIMES, SESSIONS AND PRESENTATIONS ARE ALL SUBJECT TO CHANGE. * subject to final approval



WEDNESDAY 25TH MAY 2011

6A 13:35
Optimisation 3
Applications of a Bi-level Scheme including Topology Optimization
F. Colsou, Samtech S.A., BEL

Calibrating Material Constants from Experimental Data for Lead-Free Solder Materials using an Automated Optimization Process
S. Swaminathan, Simulia, USA

Compact Structures by Dynamic Topology Optimization
B. Hessemaier, University Karlsruhe, GER

Optimum Design of Cold-Formed Steel Columns *
Y. Ghollipour, University of Tehran, IRI

6B 13:35
Fatigue and Fracture 2
Non-linear Fatigue Analysis of a Wind Turbine Blade by a 'Mixed FEM and Super Element Approach'
A. Heege, Samtech Iberica, ESP

A Novel Approach in Fatigue Life Calculation of Planet Carrier in a 3-Point Support Wind Turbine Gearbox under Complex Loadings
Y. Song, Sino Wind Technology, GER

Fatigue Life Design for Wind Turbine Components *
C. Seifert, Steinbeis Transfer Center, GER

Three Axial Fatigue with Nonlinear and Transient FEA *
Y. Chen, C&S CAE and Software Support, GER

6C 13:35
Dynamics & Testing 1
Analytical Assessment and Experimental Correlation of a Rub Induced Vibration of an Industrial Gas Turbine Engine
A. Kaushtal, Rolls-Royce Canada, CAN

Full Vehicle Durability Prediction using Co-Simulation between Implicit and Explicit Finite Element Solvers
H. Surendranath, Dassault Systemes Simulia, USA

Simulation of Rapid Structural Failure due to Blast Loads from Conventional Weapons (CONWEP)
S. Lahiri, Simulia, USA

Method for Estimating Equivalent Natural Period with Microtremor Measurement
M. Tokunaga, Railway Technical Research Institute, JPN

6D 13:35
Seismic
Coupled Performance of Entire RC Gridler Type Railway Viaduct Structures during Earthquakes
Y. Nakata, Railway Technical Research Institute, JPN

Full Scale Nonlinear Seismic Bridge Design Analysis on a Desktop Computer
P. Barrett, CAE Associates, USA

Fluid Influence on Dynamic Characteristics of Power Systems under Seismic Loads
R. Plazek, ABB, POL

Method for Estimating Equivalent Natural Period with Microtremor Measurement
M. Tokunaga, Railway Technical Research Institute, JPN

6E 13:35
Focus Session: Composites A
Progress in Simulating Composite Materials and Structures
Chair: Klaus Rohwer, DLR German Aerospace Center

The workshop will provide an independent forum for exchanging experience and results of recent developments. Participants from engineering companies will have the chance to find out about new implementations provided by the software vendors. They in turn can learn about recent findings obtained in universities and research centers. Software vendors and academia both will learn more about the real problems which need to be solved in engineering application.

6F 13:35
Promoting the Adoption of HPC for Engineering Simulation **
** Full day event within the NWC11 - can be booked separately

The aim of the workshop is to promote discussion about the changing HPC landscape. Participants will include the users of engineering simulation software, those that develop it and those who provide the underlying hardware infrastructure.

7A 15:35
Thermal 1
Active Cooling of Aircraft Brakes
J. Power, Airbus, GER

A Coupled Approach to Brake Duty Cycle Simulation and its Impact on the Vehicle Design/Development Process
A. Alajbegovic, Eca Corporation, USA

Application Examples and Potential for Explicit Finite Elements in the Analysis of Friction Brakes
F. Günther, Knorr-Bremse SFS, GER

Virtual Thermal Aircraft
J. Montes, Airbus, FRA

7B 15:35
Integration 2
Integration of CAD & CAE Innovates and Speeds up Vehicle Model Creation at MMC
T. Van Langerhove, LMS International, BEL

Interactive Exploration of Design Variations
S. Pena Serna, Fraunhofer IGD, GER

Speeding up the Die Face Design Process by CAD Integration
M. Skriverud, ESI Group, SUI

CAD-CAE Integration to Reduce Design Development Time of HT Motor
V. Pardeshi, Compton Greaves, IND

7C 15:35
SDM 2
Affordable, Effective Simulation Data Management for SMEs and Workgroups
J. Walsh, IntriSIM, USA

Realizing Simulation Data Management Interoperability Across Domains
A. Schreiber Prostep, USA

C3I - Collaborative CAD/CAE Integration
S. Maltzahn, Technical University Darmstadt, GER

Building Efficient and Effective Simulation and Data Management Solution Handling the Growing Simulation Demand
M. Schlenkerich, MSC Software, GER

7D 15:35
Industrial Applications 2
A Comprehensive Look at Buckling of Cylinders under External Pressure
C. Rortie, Platt & Whitney, USA

How to Implement Pipes Modeling in a Restricted Environment
F. Obssoul, Samtech, BEL

A Finite Element Based Study on Stress Intensification Factors (SIF) for Reinforced Fabricated Tees
A. Bhattacharya, CB&I, GER

Assessment of Damage Potential of Stresses and Load Capacities of Structural Members through Elastic Plastic Analysis
K. Raghavan, Indotek Enterprises, IND

7E 15:35
Focus Session: Composites B
Progress in Simulating Composite Materials and Structures continued

Encouraging a wider uptake of HPC in engineering simulation needs a many-way dialogue between potential users, software vendors, hardware vendors and service providers. The NAFEMS "High Performance Computing for Engineering Simulation" workshop will provide an independent forum for exchanging ideas that will benefit all those who participate.

7F 15:35
Promoting the Adoption of HPC for Engineering Simulation **
** Full day event within the NWC11 - can be booked separately

Encouraging a wider uptake of HPC in engineering simulation needs a many-way dialogue between potential users, software vendors, hardware vendors and service providers. The NAFEMS "High Performance Computing for Engineering Simulation" workshop will provide an independent forum for exchanging ideas that will benefit all those who participate.

Chair: L. Margets, University of Manchester, GBR
Costs: Free of charge for NWC11 delegates, 300 USD for non NAFEMS members, 240 USD for NAFEMS members

15:00 - REFRESHMENT BREAK

EXHIBITION STAGE - PRODUCT SHOWCASES - ESI - LMS

17:00 - REFRESHMENT BREAK

PLEASE NOTE THAT THIS IS A PRELIMINARY AGENDA. DAYS, TIMES, SESSIONS AND PRESENTATIONS ARE ALL SUBJECT TO CHANGE. * subject to final approval

WEDNESDAY 25TH MAY 2011



BA CFD 3 - Multiphase 1 17:35 Water in Fuel Slushing for Aircraft Fuel Tanks G. Hylands, University of the West of England, GBR	BB Integration 3 17:35 Integration of Problem-Oriented Analysis Methods into 3D-CAD Processes in Automotive Development P. Rossbacher, Graz University of Technology, AUT	BC Multi Physics 1 17:35 Co-Simulation and Multiphysics Technologies for Coupled Fluid-Structure Interaction Problems S. Prasad, Dassault Systemes Simulia, USA	BD Manufacturing - Metal Forming 17:35 Finite Element Analysis of Spring Back Strain Energy of Metal Sheet Coils L. Van Nuan, Ecole De Technologie Supérieure, CAN	BE NAFEMS Membership and General Information 17:35 Information about NAFEMS Membership Opportunities and Tailored Options P. Steward, NAFEMS	BF Promoting the Adoption of HPC for Engineering Simulation .. 17:35 ** Full day event within the NWC11 can be booked separately
Validated Multiphase Internal Flow Simulation for Marine Engine Systems M. Davoudabadi, Ansys, USA	3D-Testbench – Collaborative Framework for 3D Engineering Simulations Practice Integrating Workflows and Knowledge-Based Tools D. Vudinic, Vrije Universiteit Brussel, BEL	FSI using SPH and GPGPU J. L. Lacombe, Impetus Altea, FRA	An Analysis on the Optimization of Forming Parameters in T-Shape Tube Hydroforming Simulation J. Alexis, STI Estima College of Engineering, IND		
Performance Prediction of Gas-Solid Flow in Cyclone Separator using CFD H. Prasad, HQ Technologies, IND		Effective Multi-physics System Design through Coupled Analysis between a Simulator and a Rigid Dynamics Simulator S. Kher, Ansys, USA	The Effect of Elevated Temperature Material Properties on Welding Residual Stresses Calculated by Numerical Simulation G. Vanzyl, Saudi Basic Industries Corporation, KSA		

18:20 - END OF DAY 2

19:30 - CONGRESS DINNER

venue hyatt harborside harborside.hyatt.com

101 Harborside Drive, Boston, Massachusetts, USA 02128 Tel: +1 617 568 1234 Fax: +1 617 567 8856

Winner of Boston's Green Business Award, MeetingNews Planners' Choice Award, and Successful Meetings Pinnacle Award, this luxurious, historic hotel offers airplane soundproof guestrooms, captivating, dramatic harbor and city views and outstanding dining options. Guests at Hyatt Harborside delight in celebrated architectural details such as an inlaid marble floor map, ornate dome ceiling and exterior lighthouse and beacon accents.

Deluxe guest services include a fully equipped, 24 hour self-service business center, StayFit™ gym, sauna, whirlpool saline mineral swimming pool and whirlpool. Gain easy access to city attractions with a water taxi or take our complimentary 24 hour shuttle to airport terminals. Soak up Boston's famed culture and recreation or visit the financial district, all minutes from our hotel near Boston airport.

Book your hotel accommodation

Book your hotel room on line and receive the group rate here or call +1 888 421 1442 and refer to NAFEMS World Congress 2011.

We negotiated one complimentary round-trip water taxi tickets per guest room which will be handed out at check in.

Cut off date for guest room reservations at the group rate is 28 April 2011.

www.nafems.org/congress/location



PLEASE NOTE THAT THIS IS A PRELIMINARY AGENDA. DAYS, TIMES, SESSIONS AND PRESENTATIONS ARE ALL SUBJECT TO CHANGE. * subject to final approval



THURSDAY 26TH MAY 2011

Plenary Session

- 08:30 Keynote Presentation: Technical and Business Imperatives to Enhance CAE Value**
M. Halpern, Gartner, USA
- 09:00 Keynote Presentation: Continued Education and Training in Industry – The Rolls-Royce Robust Design Program**
A. Karl, Rolls-Royce, USA
- 09:30 Invited Presentation: CAE in Sport - Performance Enhancement without Drugs**
K. Hanna, Mentor Graphics, USA
- 09:50 Keynote Presentation: Engineering Simulation in Advanced Training**
W. Larson, Stevens Institute of Technology, USA

10:00 - REFRESHMENT BREAK

EXHIBITION STAGE - PRODUCT SHOWCASE: MSC SOFTWARE PRODUCT SHOWCASE: ANSYS

9A	10:55	9B	10:55	9C	10:55	9D	10:55	9E	10:55	9F	10:55
CPD 4 - Industrial Applications		Education		Business Benefits		Multi Physics 2		NAFEMS Membership and General Information		Focus Session: SDM A	
Open Source CFD: A Parametric Study of Individualised Cabin Environment R. Bouwman, ICON Technology & Process Consulting, AUT		Skills Development and Recording in Engineering Analysis and Simulation – Industry Needs J. Wood, University of Strathclyde, GBR		What's Stopping Widespread Deployment of Simulation Tools? J. Walsh, intrinSIM, USA		Virtual Product Development of Automotive Audio Systems in a Multidisciplinary Simulation Environment A. Svobodnik, Harman International, AUT		Information about NAFEMS Membership Opportunities and Tailored Options P. Steward, NAFEMS		- NAFEMS SDM WG Introduction L. Michalske, Procter & Gamble, USA; Chair of the NAFEMS SDM Working Group) - Survey Report Randy C. Cigel, Boeing, USA - SDM 101 P. Bartholomew, NAFEMS SDM Working Group, GBR - Summary 1st European SDM Conference / White Paper M. Norris, MSC Software, GBR	
Multidisciplinary Approach for Fire Hazard Assessment M. Penillo, EnginSoft, ITA		Engineering Analysis Simulation Innovation Transfer ² - EAST ² J. Wood, University of Strathclyde, GBR		Back to the Future - Trends in Commercial CFD K. Hanna, Mentor Graphics, GBR		A Numerical Approach to Investigate Mixed Lubrication Phenomena B. Hessetrauer, Karlsruhe Institute of Technology, GER					
Computational Fluid Dynamics Modelling of Flow in a Photocatalytic Reactor for Wastewater Treatment S. Ahmed, CQ University, AUS		Invited Speaker: NAFEMS Experiences with e-Learning T. Abbey, NAFEMS, USA		Invited Speaker		Standard Interfaces for Multi-Scale Co-Simulation K. Wolf, Fraunhofer SCAI, GER					
		Invited Speaker N.N., Cornell University, USA		Invited Speaker		Fast and Reliable Macromodeling for Heat Flows under the Linear Time-Invariant Assumption S. Asgari, Ansys, USA					

12:20 - LUNCH BREAK

PLEASE NOTE THAT THIS IS A PRELIMINARY AGENDA. DAYS, TIMES, SESSIONS AND PRESENTATIONS ARE ALL SUBJECT TO CHANGE. * subject to final approval

THURSDAY 26TH MAY 2011



10A CFI 5 - Multiphase 2	13:15	10B Fatigue and Fracture 3	13:15	10C Dynamics & Testing 3	13:15	10D Connections 3	13:15	10E Focus Session: SDM B	13:15	10F Focus Session: SDM B	13:15
Towards a New Process of Internal Micro-Lubrication by Internal Channels for Carbide Tools. Numerical Validation on Some Examples of Geometries A. Ducrosal, CEROC-LMR, FRA		Comparison of FEM and XFEM for Fracture Mechanics M. Bruyneel, Samtech, BEL		Virtual Prototyping plus Physically-Testing Validation Delivers State-of-the-Art Shale Shakers J. Wang, National Oilwell Varco, USA		Robust Design of Leak-Proof Brazing Contact Interface for an Automotive Fuel Rail Application R. Masti, Delphi, IND		Vendor Panel Discussion moderated by K. Meinjes Collaborative Product Development Associates (CPDA), USA			
Wall Abrasion Reduction through Velocity Control for Two Phase Fluid Flow D. Ionescu, University of Johannesburg, SAF		Estimation of Crack Sizes in Coarse Grained Ceramics using Displacement Governed Methods S. Paul, TCS, IND		High Performance Eigenvalue Computations in Industrial Dynamics Applications B.-S. Liao, Siemens PLM Software, USA		Application of Artificial Damping Method for Local Instability Problems T. Kobayashi, Mechanical Design & Analysis, JPN					
Numerical Modeling to Predict Fill Speed Characteristics for an Axial Piston Pump S. Saluagi, EATON India Engineering Center, IND		Ductile Tearing Analysis of a Custom Pipe to Flange Nozzle using 3D Crack Meshes G. Thonwald, Quest Integrity Group, USA		Full-Field Dynamic Stress-Strain Response from Sparse set of Operating Displacement Measurements P. Avitabile, University of Massachusetts Lowell, USA							

14:20 - REFRESHMENT BREAK

14:40 BEST PAPER AWARDS

- **Most Innovative Use of Simulation Technology**
- **Best Practical Use of Simulation Technology**
- **Best Presented Paper**

M. Zehn, Technical University Berlin, GER; Vice Chairman of NAFEMS Council

15:00 FAREWELL

M. Zehn, Technical University Berlin, GER; Vice Chairman of NAFEMS Council

15:10 CLOSE OF CONGRESS



NAFEMS WORLD CONGRESS 2011

23-26 MAY | BOSTON | USA

www.nafems.org/congress

PLEASE NOTE THAT THIS IS A PRELIMINARY AGENDA. DAYS, TIMES, SESSIONS AND PRESENTATIONS ARE ALL SUBJECT TO CHANGE. * subject to final approval

Complete the form below and post/fax back to NAFEMS. Alternatively, you can complete the form online by visiting www.nafems.org/congress
Contact Name to whom all correspondence will be sent (BLOCK CAPITALS PLEASE)

Family Name	First Name
Title	
Organisation	
Mailing Address	
Post/Zip Code	Country
Tel. No.	Fax. No.
	Email

Credit Card		☐	Amex	☐	Mastercard	☐	Visa	☐
Authorised Name								
Card Number								
Expiry Date				Company P.O.				
Signature								

Authors & Delegates (NAFEMS Members)	\$1050	Authors & Delegates (Non Members)	\$1250
--------------------------------------	--------	-----------------------------------	--------

Congress fees include • Attendance at the World Congress • Lunches • Refreshments • Congress Banquet • Cocktail Reception • One set of Proceedings

PLEASE NOTE THAT THIS IS A PRELIMINARY AGENDA. DAYS, TIMES, SESSIONS AND PRESENTATIONS ARE ALL SUBJECT TO CHANGE. * subject to final approval

DS SIMULIA

Autodesk



MCADCAFÉ



Analyse der prozessbedingten Verformungen einer versteiften CFK Composite-Schale unter der Anwendung von kohäsiven Elementen

Christian BRAUNER (Faserinstitut Bremen e.V.) *

Prof. Dr. Axel HERRMANN (Universität Bremen)

Während des Herstellungsprozesses von Faserverbundstrukturen entstehen durch Effekte wie anisotrope thermische Ausdehnung, aushärtebedingter Matrixschwindung, Werkzeug/Bauteil-Interaktion, lokale Temperaturgradienten und viskoelastische Materialeffekte Deformationen und Eigenspannungen. Ziel dieses Artikels ist es verschiedene Simulationsmethoden zur Analyse von prozessbedingten Verformungen am Beispiel eines versteiften CFK Rumpfelementes zu diskutieren. Hierzu werden verschiedene aushärteabhängige Materialmodelle vorgestellt und mit Fokus auf versteifte Platten verschiedene Diskretisierungsmethoden zwischen Haut und Spanten unter Einsatz kohäsiver Elemente erörtert.

1 Einleitung

Faserverbund-Materialien, welche in der Luftfahrtindustrie eingesetzt werden, haben viele Vorteile im Vergleich zu konventionellen Materialien. Hierzu gehören ihre hohe Steifigkeit/Festigkeit, ihre geringere Dichte und ausgezeichnete Dauerbelastungseigenschaften. Neben diesen allgemeinen Vorteilen existieren jedoch auch Nachteile in Bezug auf Materialkosten und Herstellungskosten. Diese führen zu der Notwendigkeit, Methoden bereitzustellen, Herstellungskosten zu reduzieren und Herstellungsprozesse in dem Maße robust und stabil auszulegen, dass die hohen geforderten Qualitätsstandards der Luftfahrtindustrie erreicht werden. In diesem Kontext ist, die numerische Prozesssimulation des Herstellungsprozesses ein essentieller Teil des Konstruktionsablaufes, da prozessbedingte resultierende Verformungen und Eigenspannungen virtuell ermittelt werden können und aufwendig kostenintensive Neukonstruktionen von Formen und Werkzeugen entfallen.

Der Begriff „Prozesssimulation“ führt zu der Frage, wie und an welcher Stelle des Prozesses eine virtuelle Abbildung der Herstellung beginnt, um alle wichtigen Effekte wie anisotrope thermische Ausdehnung, Harzschwindung, lokale Temperaturgradienten, Bauteil/Werkzeug/Interaktionen, viskoelastische Materialeffekte abzubilden. Die Antwort auf diese Frage basiert zuerst grundlegend auf der Art des Herstellungsprozesses, wobei für den Faser-Kunststoff-Verbund, eine Vielzahl von Verfahren existieren. Große Flugzeugbauteile werden zum größten Teil im Autoklav z.B. mittels RFI Verfahren gefertigt (Abb. 1). Hierbei werden dünne Lagen nichtausgehärteter Fasern/Matrix mit zum Teil ausgehärteten Bauteilen wie Spanten in eine Form gelegt und unter Vakuum bei Temperaturen bis 180°C im Autoklav ausgehärtet. Die Temperierung erfolgt über heißen Stickstoff, welcher durch erzwungene Konvektion das Bauteil überströmt und aufheizt.

Welche Bedeutung hat dieses für eine Prozess-Simulationskette? Zur genauen Ermittlung der durch Strömung indizierten Erwärmung des Bauteils könnten zum Anfang der Simulationskette eine detaillierte CFD-Analyse stehen. Diese ermittelten Oberflächentemperaturen könnten dann in einer thermodynamischen FE-Analyse benutzt werden, die Temperaturen über die Bauteildicke und den Vakuumaufbau zu bestimmen, welche wiederum zur Ermittlung des Aushärtegrades im Verhältnis steht und woraus sich wiederum die Aushärtegrad abhängigen Materialwerte bestimmen lassen, welche für die exakte Bestimmung von transienten prozessabhängigen Verformungen und Spannungen nötig sind. Das Ziel dieser virtuellen Prozesskette sollte es sein, die prozessinduzierten Verformungen und Spannungen mit erforderter Genauigkeit abzubilden und desweiteren die Möglichkeit zu eröffnen, numerische Sensitivitätsanalysen und Prozessoptimierungen durchzuführen.

* E-mail: brauner@faserinstitut.de

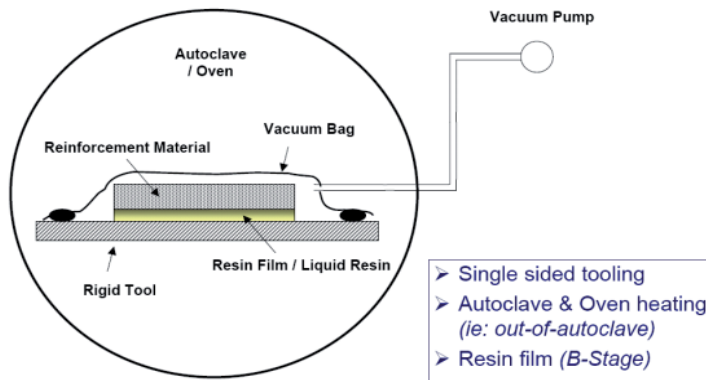


Abb. 1 Schematischer RFI-Prozess - Autoklav (Quelle Airbus)

In diesem Artikel wird eine Prozess-Simulation demonstriert, welche auf Ebene der thermodynamisch transienten FE-Analyse mit bekannten Temperaturen an der Bauteiloberfläche startet und sequentiell gekoppelt mit einer transienten mechanischen Analyse endet. In ersten Analyseschritt wird der temperaturabhängige Aushärtegrad mittels User-Fortran-Routinen berechnet. Hiernach werden die resultierenden Temperaturen in die mechanische FE-Analyse transferiert. Diese so genannte weiche Kopplung für die mechanische und thermische Analyse ist möglich, da die Temperaturen einen Einfluss auf die Mechanik ausüben, die Mechanik aber nicht auf das thermodynamische Geschehen wirkt. In der Analyse des mechanischen Verhaltens wird mittels User-Fortran-Routinen das Materialverhalten aushärtegradabhängig, linear viskoelastisch abgebildet. Der Einfluss des resultierenden Matrixschwundes wird über eine Formulierung der exponentiellen Dehnungen implementiert.

Die Innovation, ist dieses entwickelte aushärtegradabhängige Materialmodell, für die Analyse prozessbedingter Verformungen am Beispiel einer Haut(nicht ausgehärtet)/Stringer(ausgehärtet) Verbindung zu benutzen. In der Fertigung wird zuerst nur eine reibungsbehaftete Verbindung zwischen Haut und Spant, bedingt durch den Vakuumaufbau, vorhanden sein. Durch den Aufheizprozess auf 180°C wird sich der Spant verformen. Während des Aushärteprozesses wird das Matrixmaterial schwinden und zu weiteren Verformungen führen. Nachdem das Harz zweimalig seinen Zustand vom flüssigen, zum viskosen, zum festen geändert hat, wird eine dauerhafte Verbindung zwischen Haut und Spant fixiert. In der Abkühlphase werden nun zusätzlich Verformungen impliziert. Um all diese Effekte in Betracht zu ziehen, ist es fraglich, in der FE- Modellierung, diese als feste Verbindung zwischen den Knotenpunkten zu definieren. Mittels kohäsiver Elemente wird in diesem Artikel diese Verbindung mit dem entwickelten aushärtegradabhängigen Materialverhalten demonstriert. Im Allgemeinen wird dieser Elementtyp meist für die Modellierung von Versagen durch Delamination oder Debonding benutzt, doch weitere Einsatzmöglichkeiten sollen hier demonstriert werden.

2 Theoretische Aspekte

2.1 Aushärtekinetik

Während der Aushärtung von Duromeren unterliegen die Materialeigenschaften des Harzes verschiedenen physikalischen und chemischen Einflüssen. Das Harzsystem wandelt sich vom flüssigen Zustand in ein gelartiges/viskoses Verhalten und dann in ein festes Material. Die meisten Einflussparameter sind stark gekoppelt mit der Temperatur, wobei aber die Temperatur wiederum durch die exothermische Reaktionswärme beeinflusst wird, welche von der Aushärtekinetik abhängig ist. Zur Beschreibung der Aushärtereaktion kann man folgende generelle Ansätze in der Literatur finden [2].

- Empirische Ratenansätze
- Mechanistische Modelle

Beide Ansätze sind mathematische Formulierungen den Reaktionsmechanismus abzubilden. Die mechanistischen Modelle unterscheiden sich darin, dass die Reaktion auf molekularer Ebene im Wachsen von Makromolekülen modelliert wird. Hingegen setzen die empirischen Ratenansätze eine makroskopische

Betrachtungsweise voraus. Ratenansätze sind eine phänomenologische Beobachtung der Reaktionswärme, mittels DSC Messung (Differential Scanning Calorimetry), welche proportional in Bezug zum Aushärtegrad gesetzt wird. Die Formulierung lautet, dass die totale Reaktionsenthalpie H_{tot} proportional zur Reaktionsrate $\frac{dp}{dt}$ und zur Rate der Wärmeerzeugung $\frac{dH}{dt}$ steht.

$$\frac{dH}{dt} = H_{tot} \cdot \frac{dp}{dt}$$

Empirische Ratensätze werden meist genutzt, um die Reaktion einer n-th. Ordnung zu modellieren, wobei mit p der Umsatz/Aushärtegrad beschrieben ist, welcher von 0 bis 1 variiert und 1 die vollständigen ausgehärteten Zustand beschreibt. Die Funktion des Umsatzes leitet sich aus der Form der Reaktionswärmekurve der DSC ab. Die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante k beschreibt mittels Arrhenius-Gleichung die chemische Kinetik in Abhängigkeit der Temperatur.

$$\frac{dp}{dt} = k_1 \cdot p^n \quad k_i = a_i \cdot e^{\left(\frac{E_i}{RT}\right)} \quad i=1...3$$

Der Arrheniusterm beinhaltet Material- und Prozessparameter mit der thermischen Aktivierungsenergie E_i , der Gaskonstanten R , und der absoluten Temperatur T .

Im Jahre 1976 publizierten Kamal und Sourour ein zweistufiges Reaktionsmodell, welches über die Parameter m und n beliebig zu unterschiedlichen experimentellen Untersuchungen angepasst werden kann [3].

$$\frac{dp}{dt} = (k_1 + k_2 \cdot p^m) \cdot (p_{max} - p)^n$$

Darauf erweiterten Ryan und Dutta dieses Modell, wobei sie die Parameter m und n für verschiedene Temperaturen und Zustände wie isotherme und dynamische Aushärtung variierten. Dieser Ansatz ist einer der am meist genutzten Ansätze für die reaktionskinetische Modellierung von heißaushärtenden Duromeren. In der Literatur existiert eine Vielzahl von reaktionskinetischen Ansätzen, wobei solch ein Modell in der Lage sein muss, verschiedene Aushärtensituationen zu berücksichtigen. Ein weitergehender Ansatz wurde im Jahre 2000 von Karkansas veröffentlicht, welcher eine Separation von isothermer und nichtisothermer Aushärtung vorschlägt. Er führte an, dass der Ansatz von Kamal/Sourour für isotherme Aushärtung ausreicht, und für die Aushärtung unter veränderlicher Temperatur sein Ansatz genutzt werden soll.

$$\frac{dp}{dt} = k_1 \cdot (p_{max} - p)^{n1} + k_2 \cdot p^m \cdot (p_{max} - p)^{n2}$$

Die Wahl eines aushärtekinetischen Ansatzes ist bei dieser Vielzahl von existierenden Ansätzen nicht trivial, wobei eine Klassifikation über den Prozess an sich gefunden werden sollte. Der Standard Autoklav Prozesszyklus sieht vor mit konstanter Aufheizrate von ca. 1°C/min auf die Aushärtetemperatur von 180°C aufgeheizt wird. Hier erfolgt dann eine isotherme Aushärtung. Dieses bedeutet einen Wechsel von isothermer zur dynamischer Aushärtebedingungen, woraus folgt, dass in dieser Studie der Ansatz von Kamal/Sourour für den Fall der isothermen Aushärtung genutzt wird und im Fall von Temperatur Änderungen, zum Ansatz von Karkansas gewechselt wird.

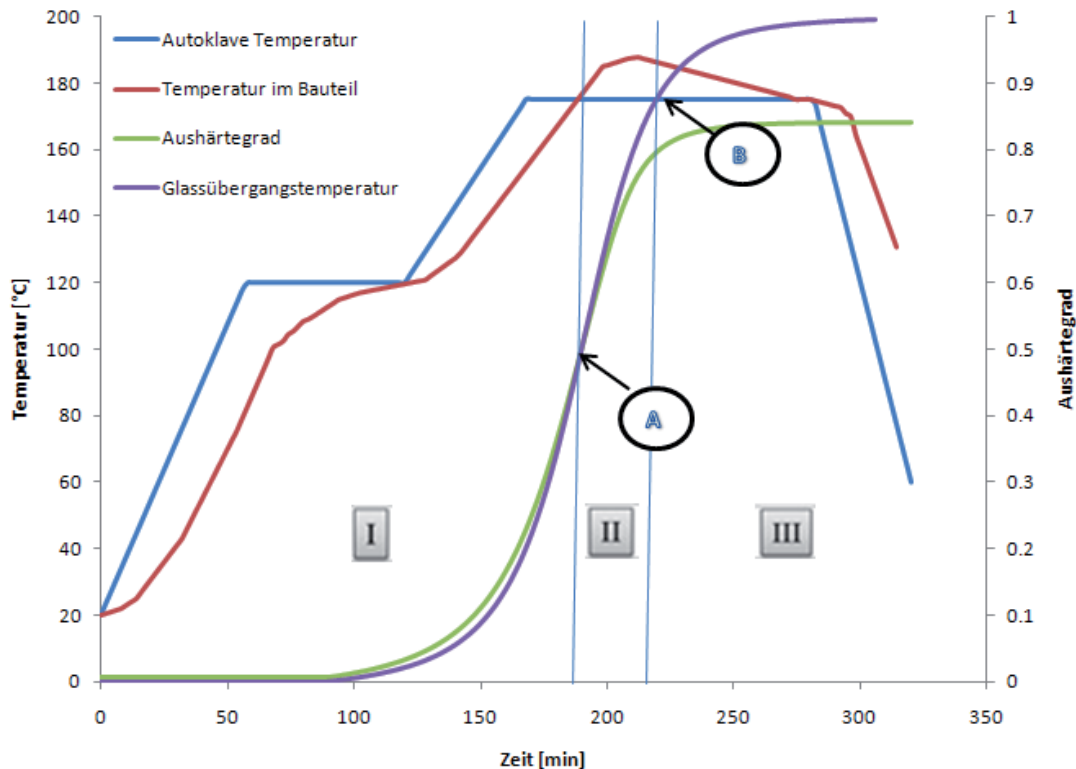


Abb. 2 Temperatur-, Glasübergangstemperatur und Aushärtegradverlauf im Prozess

Epoxidharze durchlaufen während der Aushärtung drei verschiedene Materialzustände. Zuerst konvertiert das flüssige Harz (I) in eine gelartige/visköse Phase (II). In dieser Phase ist das Harz in der Lage, erste Kräfte zu übertragen, wobei Spannungen jedoch aufgrund des viskoelastischen Materialverhaltens relaxieren. Hiernach wandelt sich der Zustand in einen festen Zustand (III). Während dieser Umwandlung kann man zwei signifikante Punkte identifizieren, den Gelpunkt (A) und den Vitrifikationspunkt (B). Beim Vitrifikationspunkt handelt es sich um die Wandlung vom gelartigen zum festen Verhalten. Mit Hilfe der Glasübergangstemperatur ist der Vitrifikationspunkt definiert als Zustand, in welchem die Glasübergangstemperatur größer als die vorherrschende Temperatur ist. Die Glasübergangstemperatur kann in Abhängigkeit des Aushärtegrades mittels DiBenedetto-Gleichung dargestellt werden [3].

$$\frac{T_g - T_{g0}}{T_{g1} - T_{g0}} = \frac{\lambda_{Tg} \cdot p}{1 - (1 - \lambda_{Tg}) \cdot p}$$

Der Wert T_{g0} ist der Wert der Glasübergangstemperatur für einen Aushärtegrad von 0 und T_{g1} ist der Wert für einen Aushärtegrad von 1. Im Falle des hier verwendeten Harzsystemes RTM6 liegt T_{g0} bei -12°C und T_{g1} bei 212°C.

2.2 Modellierung des Wärmeleitungsproblems

Die Notwendigkeit zur Durchführung einer thermodynamischen Analyse des Faserverbundbauteils beruht auf zwei entscheidenden Punkten, der Laminatdicke und der Art der Aufheizung. Für dünne Laminat gilt, dass die exotherme Reaktionswärme keinen großen Einfluss hat, da die Temperaturen durch die Form und die Autoklavtemperatur aufgeprägt wird. Für ein dickes Laminat kann die Wärme aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Matrixwerkstoffes nicht abgeführt werden, und führt zu lokalen Überhitzungen. Der zweite Aspekt ist die Art der Wärmeübertragung. Im Autoklaven wird über erzwungene Konvektion, das Bauteil mittels überströmender Gase aufgeheizt, welches zu uneinheitlichen Temperaturen über die Bauteillänge führt. Für die Aushärtung bedeutet dieses, dass es zu lokalen Unterschieden im Aushärtegrad kommen kann. Eine Faustregel gibt an, dass eine Steigerung der Temperatur um 10°C eine Verdopplung der Aushärtereaktion zur Folge hat. Zur Berücksichtigung des ersten Punktes, zur Implementierung der exothermen Wärmequelle, kann

folgendes, von Bogetti und Gillespie, eingeführtes Beziehung [2] benutzt werden. Das Fouriersche Gesetz der Wärmeleitung wird mit folgendem Term erweitert.

$$\rho_m c_{p,m} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot \mathbf{k}_c \cdot \nabla \cdot T + \dot{q}$$

$$\dot{q} = \rho_m \cdot H_{tot} \cdot \frac{dp}{dt}$$

Für duromere Polymere liegt einer der entscheidenden Punkte in der Beschreibung der Dichte, der spezifischen Wärmekapazität und der Wärmeleitung, da diese während des Prozesses in Abhängigkeit des Aushärtegrades und Temperatur variieren. Hierzu sind in der Literatur verschiedene Ansätze zu finden. Balvers [8] definierte die Abhängigkeit der Wärmekapazität von der Temperatur und Glasübergangstemperatur. Chen, [1] definierte eine Abhängigkeit vom Aushärtegrad und der Temperatur. In dieser Analyse ist die Abhängigkeit der Größen über die Temperatur mit folgenden Gleichungen vereinfacht dargestellt:

$$\rho_m = \text{const}$$

$$c_{p,m} = 966 + T \cdot 2.77$$

$$k_{1,UD} = 2.54 + 0.00045 \cdot T \quad k_{2,UD} = 0.45 + 0.0008 \cdot T \quad k_{3,UD} = k_{2,UD}$$

2.3 Modellierung des mechanische Verhaltens im Prozess

Zu Beginn dieser Betrachtung ist es hilfreich, die wichtigsten Einflussgrößen auf prozessbedingte Verformungen zu charakterisieren. Svanberg [4] hat hierzu eine Sensitivitätsanalyse publiziert, nach der die thermische anisotrope Ausdehnung und die chemische Schwindung als Hauptgrößen auftreten. Das konstitutive Modell des Werkstoffes muss also diesen Punkt Figilden können. Hierzu ist es hilfreich, den Prozess in drei Phasen nach der Umwandlung des Materials in flüssig/ gelartig/ fest einzuteilen (siehe Abb. 2). Verschiedene Modelle wurden in den letzten zwei Dekaden entwickelt. Erste Ansätze, zu finden bei Bogetti und Gillespie [3] koppelten den Elastizitätsmodul direkt proportional an den Aushärtegrad. Weitergehende Ansätze griffen das Konzept der drei Phasen auf und definierten die Entwicklung als linear inkrementell, zu finden bei Johnston [5], oder mittels nichtlinearer Ansätze, wie White/Hahn[6], Msallem et.al. [7]. (siehe Abb. 3)

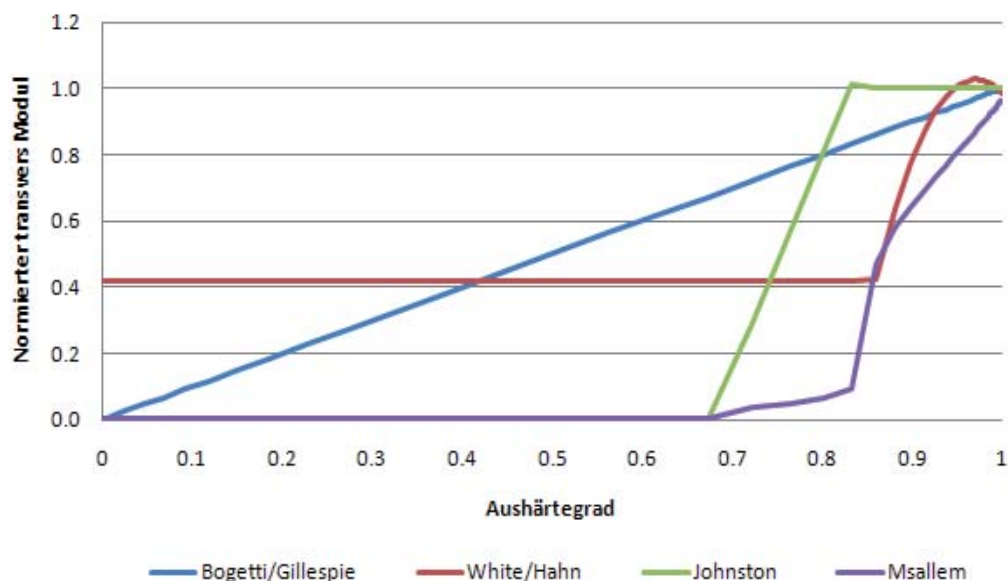


Abb. 3 Vergleich verschiedener Materialmodelle

In diesem Projekt wurde ein weiterer nichtlinearer Ansatz entwickelt, welcher sich an experimenteller Untersuchung orientiert. Die Entwicklung des Schubmoduls wurde mittels Plattenrheometer-Versuche bei isothermer Aushärtung bei 180°C beobachtet. Folgender analytischer Zusammenhang wurde entwickelt die Abhängigkeit des Harzmoduls mittels Glasübergangstemperatur abzubilden.

$$T^{**} = \frac{1}{\left(1 - \frac{T_g - T_{gel}(T)}{T_{end} - T_{gel}}\right)}$$

$$E_r = \left[\frac{1}{\left(\frac{1 - \eta}{1 + c(T^{**} - 1)^{\zeta}} + \eta\right)} \right] \eta * E_{\infty}$$

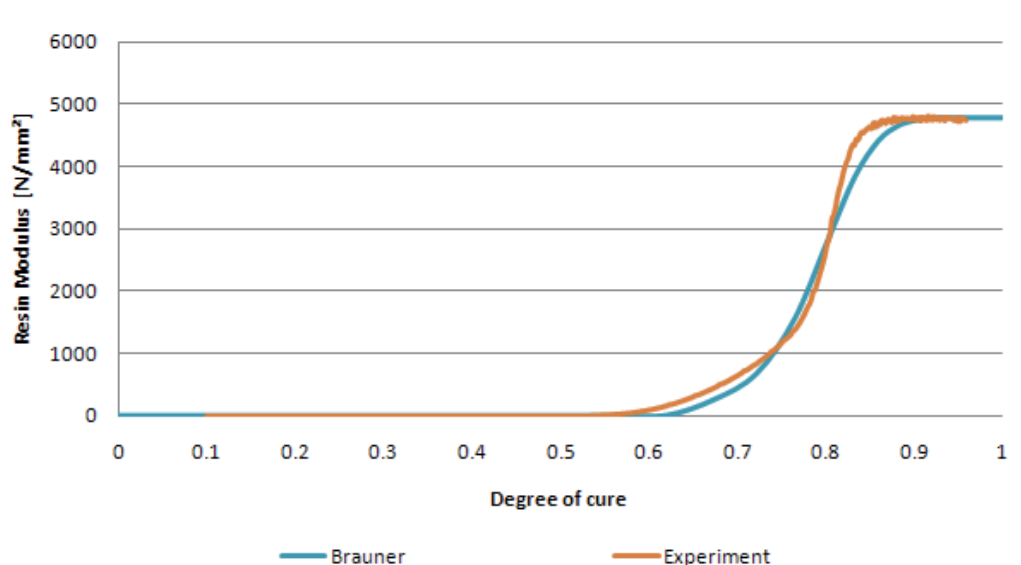


Abb. 4 Entwickeltes Materialmodell im Vergleich

Der Vorteil in diesem Ansatz liegt in der exakten Beschreibung im Vergleich zum Experiment und in einer besseren numerischen Umsetzbarkeit, da im Vergleich zum linearen inkrementellen Ansatz keine Unstetigkeit in der Formulierung vorhanden ist und somit es ein stabileres Konvergenzverhalten aufweist.

2.4 Interface Elemente

Im speziellen Anwendungsfall dieser Studie werden Interface Elemente berücksichtigt, um das Verhalten von homogenen Harzschichten zwischen angrenzenden Lagen oder zu verklebenden Bauteilen abzubilden und interlaminae Spannungen zu transferieren. Die Methode der Interface- Elemente erlaubt, wenn in-plane Verformungen vernachlässigbar sind, dünne Verbindungen zur repräsentieren. In der Literatur wird dieser Ansatz zumeist als „kohäsiven Elemente“ benannt und zur Simulation von Versag wie Delamination, Debonding e.t.c. genutzt. Hierbei verlieren diese Elemente bei einer kritischen Belastung ihre Steifigkeit. In dieser Studie wird die Methode der kohäsiven Elemente aufgegriffen, um die Verbindung zwischen Haut und Spanten zu simulieren, indem dem Elementtyp Steifigkeit in Abhängigkeit des Prozesses zugewiesen wird und so Kräfte zwischen den Bauteilen transferiert werden können. Einer der Vorteile bei der Benutzung dieses Elementtyps ist, dass bestehende Makrobefehle beim Modellaufbau benutzt werden können. Die mathematische Formulierung hinter den Interface-Elementen erlaubt, dass Freiheitsgrade wie out-of-plane Verschiebung und zwei transversale Schubverschiebungskomponenten in die Berechnung einfließen.

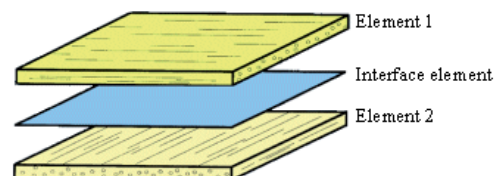


Abb. 5 Schematische Beschreibung des Interface Elementes

3 Anwendungsfall

3.1 Beschreibung der Problemstellung

Das Objekt dieser Studie ist eine Substruktur einer mit J-Spanen versteiften gekrümmten monolithischen CFK Platte, welche zuerst von Johnston [5] analysiert wurde. Dieses Beispiel wurde gewählt, da Materialparameter bekannt sind und virtuelle und experimentelle Lösungen in der Literatur zu finden sind. Diese Substruktur aus einem Hautlaminat und einem J-Spant besteht jeweils aus 12 Lagen des Prepegmaterials AS4/8552 mit einem symmetrischen Laminataufbau [45/90/-45/0/45/90]_s. Hierbei ist zu bemerken, dass die Haut im Prozess ausgehärtet wird und der J-Spant vorausgehärtet ist. In der Studie wird die Verformung zweier Modelle mit und ohne „kohäsive Element“ Modellierung dargestellt. Im ersten Fall ist die Verbindung zwischen Haut und Spanten als „Connection between Meshnodes“ definiert. Im zweiten Fall wird diese Verbindung mittels „Kohäsive Elements“ dargestellt, welche die Verbindung prozessabhängig mit dem entwickelten Werkstoffmodell widerspiegeln.

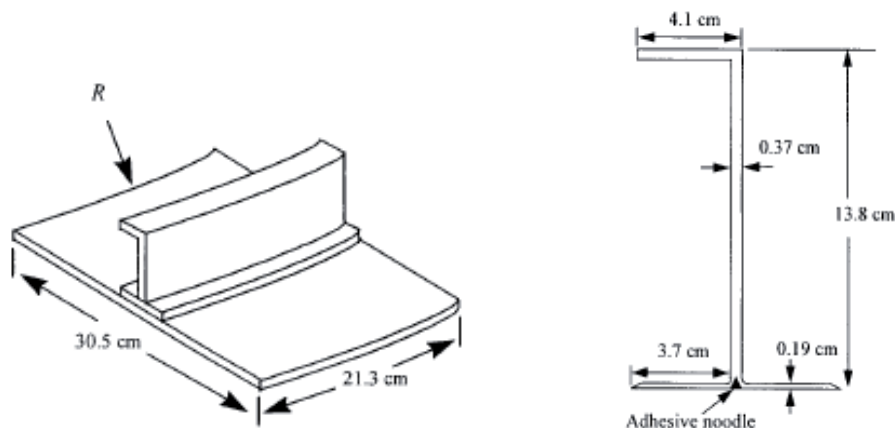


Abb. 6 Geometrie

Startend von der vorgegebenen Geometrie, wurde ein parametrisches FE-Modell mittels 19652 hexaedrischer Composite Volumen Elemente aufgebaut, wobei eine Modellierung von 4 Elementen in Dickenrichtung gewählt wurde.

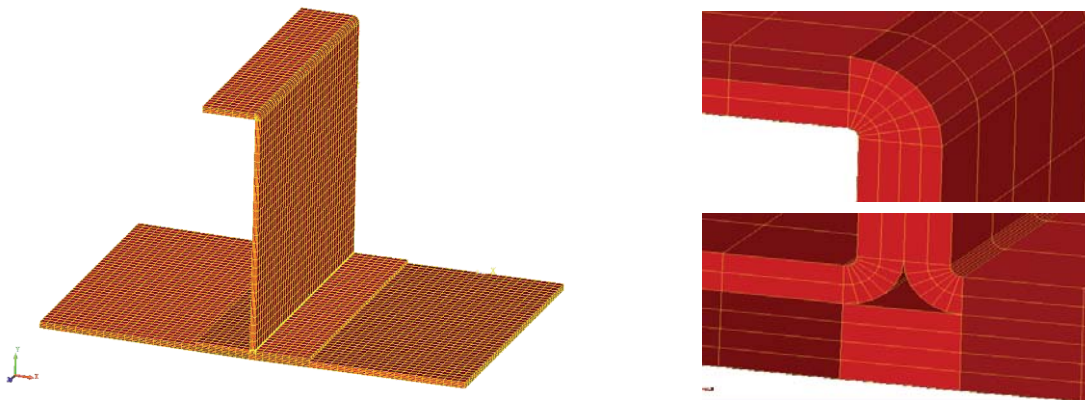


Abb. 7 Diskretisierung

Für den thermischen und mechanischen Teil der FE-Analyse wurden verschiedene Randbedingungen auf das Modell aufgebracht. Im thermischen Teil wurde ein konvektiver Wärmestrom abhängig von der Prozesstemperatur (Abb. 6) und einem Konvektionskoeffizient von 30 W/m^2 definiert.

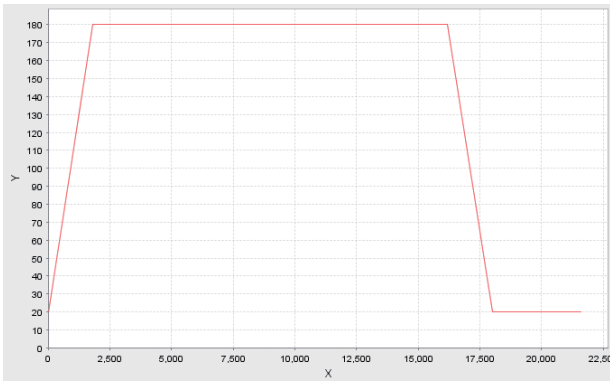
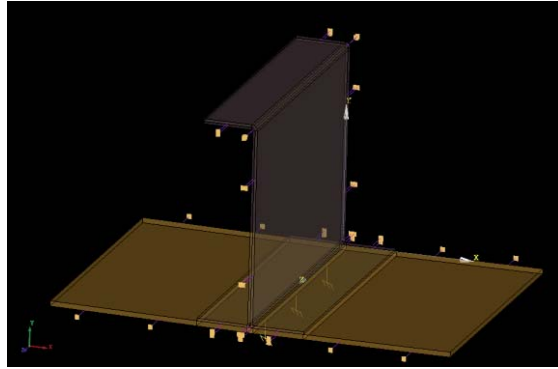


Abb. 8 Prozess Temperatur



Randbedingungen

Die mechanischen Randbedingungen wurden wie folgt modelliert, die transversale Bewegung in Längsrichtung wurde unterdrückt und das Modell mittig fest in allen translatorischen Freiheitsgraden eingespannt.

3.2 Ergebnisse der thermischen Analyse

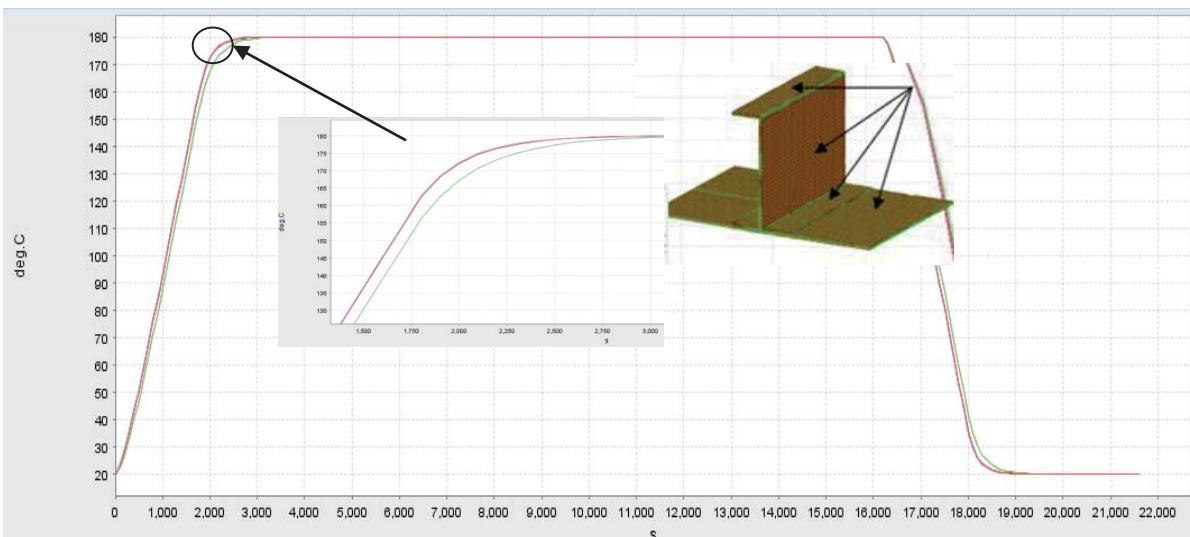


Abb. 9 Temperatur an verschiedenen Punkten am Bauteil

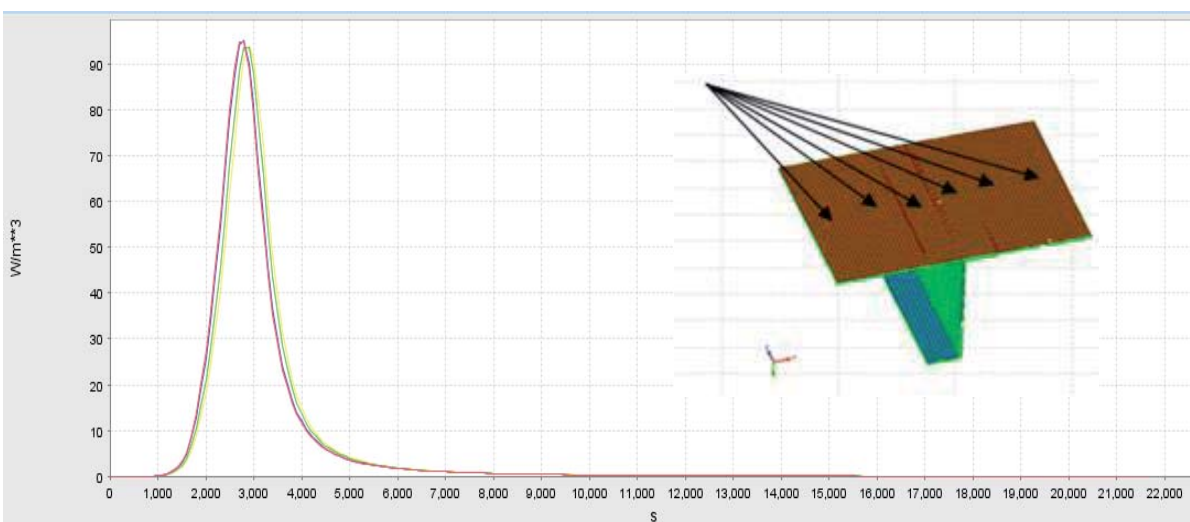


Abb. 10 Exothermer Wärmestrom

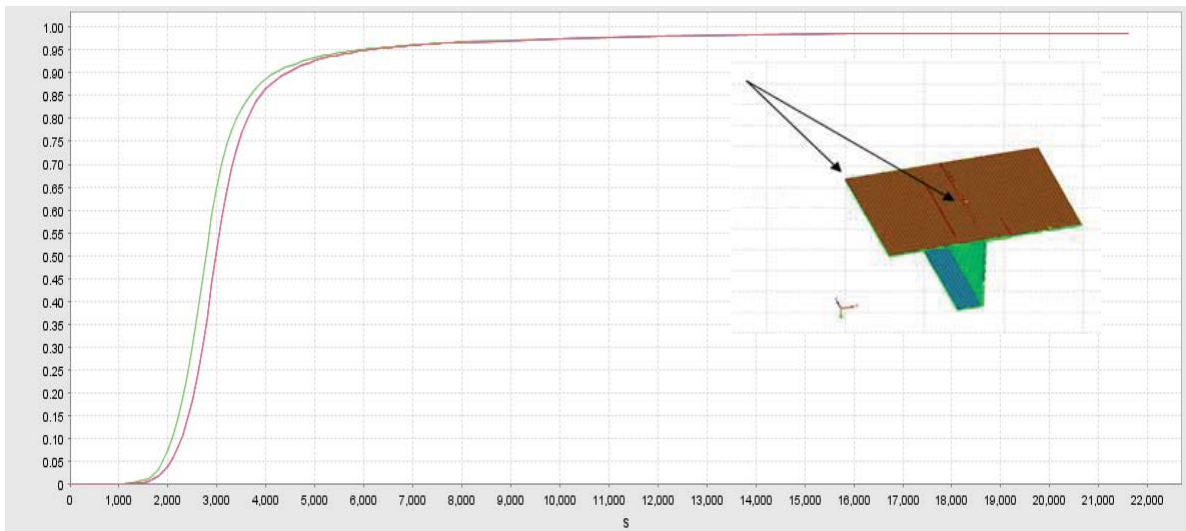


Abb. 11 Verlauf des Aushärtegrades an der kältesten und heißesten Stelle im Bauteil

Es ist zu bemerken, dass aus der thermischen Analyse des Bauteils keine großen Gradienten in der Temperaturverteilung entstehen, und somit keine großen Unterschiede in den Verläufen des Aushärtegrades zu finden sind.

3.3 Ergebnisse der mechanischen Analyse

Nach der thermischen Analyse wurden die Temperaturen der Knotenpunkte als Randbedingungen in die mechanische Analyse transferiert. Wie bereits genannt wurden zwei Analysen mit unterschiedlicher Modellierung durchgeführt. Als Vergleich zwischen diesen ist die Verschiebung aus der Ebene (Z) der äußeren vier Knotenpunkte des Hautfelds über den Prozessverlauf abgebildet.

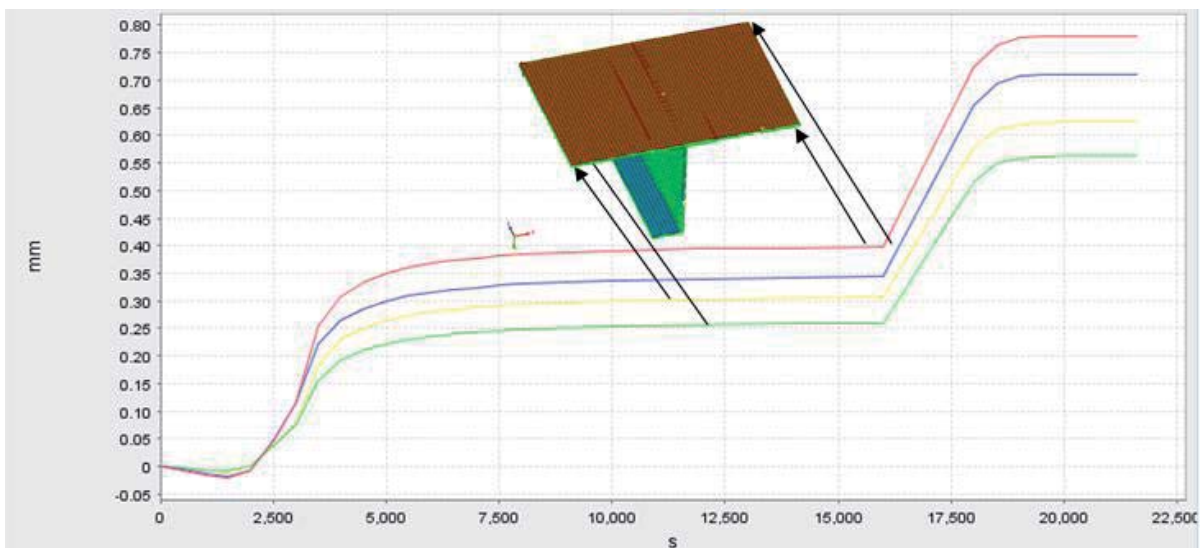


Abb. 12 Verschiebung aus der Ebene mit fester Verbindung zwischen Haut und Spant

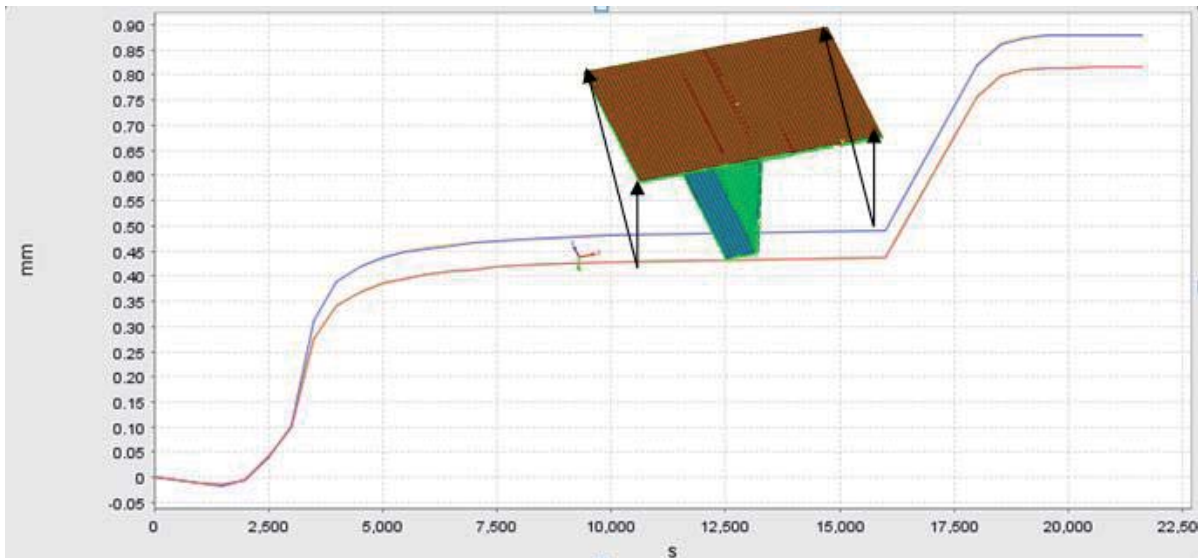


Abb. 13 Verschiebung aus der Ebene mit Kohäsiven Elementen zwischen Haut und Spant

Im Allgemeinen sind die Verschiebungsverläufe (Abb. 13-14) wie folgt zu interpretieren, bis zur Prozesszeit von 1800s sind alle resultierenden Verformungen durch den Aufheizprozess bedingt. Hiernach startet die isotherme Aushärtung. Nach Überschreiten des Gelpunktes erwirkt der chemische Schwindung des Matrixwerkstoffes eine bleibende Verformung. Beim Erreichen der Prozesszeit von 8000s ist die Aushärtung fast abgeschlossen. Zwischen den Zeiten 16000s und 19000s wird das Bauteil auf Raumtemperatur herunter gekühlt (siehe Abb. 13-14) und erfährt weitere Verformungen durch die thermische Schwindung des ausgehärteten Materials.

In Vergleich der verschiedenen Modellierungsstrategien fällt auf, dass in der festen Verbindung eine Verdrillung des Hautfeldes entsteht, erkennbar durch die vier unterschiedlichen Werte der Eckpunkte. Im Modell mit den kohäsiven Elementen trifft dies nicht zu. Die Erklärung liegt darin, dass durch die Form des vorausgehärteten J-Spantes und dessen asymmetrische Form eine Verdrillung während der Aufheizphase übertragen wird. Hinzu kommt, dass der Lagenaufbau in diesem Fall zwar symmetrisch ist, aber nicht ausgewogen ist ([45/90/-45/0/45/90]s). Ein weiterer Unterschied liegt in der Höhe der resultierenden Verformungen, wobei die Modellierung mit „Kohäsive Elements“ im Vergleich zu den experimentellen Ergebnissen von Johnston die Realität genauer abbildet.

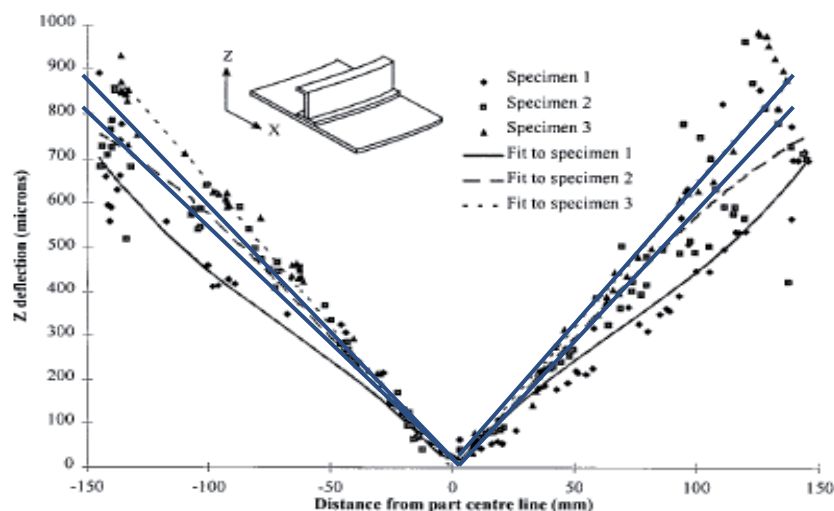


Abb. 14 Experimentellen Ergebnisse im Vergleich zur Simulation (Blau), Quelle [5]

4 Zusammenfassung

Die dargestellte Studie demonstriert die Ergebnisse im Bereich der Prozess-Simulation zur Abbildung des Herstellungsprozesses von Faserverbundbauteilen. Es stellt eine sequentiell gekoppelte thermomechanische Analyse vor, in der Exothermie, aushärtegradabhängiges Materialverhalten, sowie Einflüsse des chemischen und thermischen Schwindung berücksichtigt sind. Dieses Materialmodell wurden genutzt, um verschiedene Modellierungsstrategien am Beispiel einer Haut-Spant-Verbindung zu diskutieren, wobei ein Vergleich mit experimentellen Daten zufriedenstellende Ergebnisse erzielt wurden. Die Innovation der Studie lag darin, mittels Kohäsiver Elemente den komplexen Zusammenhang von prozessbedingten Verformungen exakter abbilden zu können.

Mit Hilfe der vorgestellten Modelle und deren Integration in kommerziell verfügbare FE-Codes wie SAMCEF sind detaillierte Analysen von prozessbedingten Verformungen in Faserverbundstrukturen möglich und erhöhen das Prozessverständnis.

5 Literatur

- [1] BIH-CHERNG CHERN, TESS J. MOON, JOHN R. HOWELL AND WILING TAN, New Experimental Data for Enthalpy of Reaction and Temperature- and Degree-of-Cure-Dependent, The University of Texas
- [2] Huang, Xiaogang / Gillespie, John W. / Bogetti, Travis, Process induced stress for woven fabric thick section composite structures (2000)
- [3] Partridge, Ivana / Karkanis, Panagiotis. Cure Modelling and Monitoring of Epoxy/Amine Resin Systems / 1. Cure Kinetics Modeling , Journal of Applied Polymer Science, Vol. 77, 1419 | 1431 (2000)
- [4] Svanberg, J. Magnus / Holmberg J. Anders; Prediction of shape distortions. Part I; Composites: PartA 35 (2004) 711-72
- [5] Andrew A. Johnston, An integrate model of the development of process-induced deformation in autoclave processing of composites structures, PhD thesis The University of British Columbia 1996
- [6] H. Thomas Hahn (1976), Residual Stresses in Polymer Matrix Composite Laminates, *Journal of Composite Materials*; 10; 266
- [7] Y. Abou Msallem, F. Jacquemin, N. Boyard, A. Poitou, D. Delaunay, S. Chatel (2010), Material characterization and residual stresses simulation during the manufacturing process of epoxy matrix composites, *Composites: Part A* 41 108–115

Eine numerische Festigkeitsberechnung von Kurbelwellen in Großdieselmotoren

Dr. Roland Krivachy, Andreas Linke, Dietmar Pinkernell (MAN Diesel & Turbo SE)

Ein experimenteller Festigkeitsnachweis von Kurbelwellen in Großdieselmotoren ist aufgrund der großen Abmessungen (Länge > 10 m) und Masse (> 30 t) sehr kosten- und zeitintensiv. Deswegen und den damit verbundenen hohen Herstellungskosten sind mit diesen Bauteilen Dauerfestigkeitsversuche nahezu undurchführbar. Daher müssen analytische oder numerische Ansätze zur Durchführung der Beanspruchungsermittlung sowie des Betriebssicherheitsnachweises verfolgt werden.

Vorhandene theoretische Verfahren basieren häufig auf analytischen Beziehungen und stark vereinfachten Vergleichsspannungshypothesen, was zu einer hohen Konservativität in der Auslegung führen kann. Zudem ist eine zeitliche und örtliche Auflösung der Beanspruchung nur begrenzt möglich. Verschärfte Umweltrichtlinien als auch neue Leichtbaukonzepte erfordern aber eine höhere Materialauslastung ohne Abstriche in der Betriebszuverlässigkeit zuzulassen.

Bei MAN Diesel & Turbo SE wurde ein Prozess aus finiten Elementen Simulationen kombiniert mit Mehrkörpersimulationen und einem anschließenden Festigkeitsnachweis ausgearbeitet, um die vorher genannten Einschränkungen zu überwinden. Die Entwicklung und Implementierung der interdisziplinären, numerischen Vorgehensweise mit einer Kombination der schon erwähnten Methoden werden hier gezeigt. Aufgrund der gestiegenen Leistungsanforderungen spielt diese Methode eine kritische Rolle im Konstruktions- und Bewertungsprozess. Der korrekte Modelaufbau wird über einen Rechnungsmessungsvergleich validiert und die Anwendung einer Submodell-Technik vorgestellt.

1 Motivation

Kurbelwellen von Viertakt-Großdieselmotoren können über 10 m lang sein und eine Masse von bis zu 30 t haben. Aufgrund dieser Abmessungen und den damit verbundenen hohen Herstellungskosten sind mit diesen Bauteilen Dauerfestigkeitsversuche nahezu undurchführbar. Daher müssen analytische und numerische Ansätze zur Durchführung der Beanspruchungsermittlung sowie des Betriebssicherheitsnachweises verfolgt werden.

Gemäß dem heutigen Stand der Technik werden die Kurbelwellen von Großdieselmotoren auf Basis der IACS-Richtlinie UR M 53 von Schiffsklassifikationsgesellschaften ausgelegt und im Hinblick auf die Betriebssicherheit bewertet [1]. Dieses analytische Vorgehen ist in der Praxis bestens bewährt und zeichnet sich durch Transparenz und einfache, kostengünstige Handhabung aus. Nachteilig ist jedoch die vergleichsweise hohe Konservativität des Verfahrens. Diese steht den aktuellen Forderungen für eine Leistungssteigerung oder Massenreduktion von Bauteilen im Rahmen der Entwicklung neuer Motorenfamilien entgegen. Zur Erreichung dieser Ziele ist es zwingend notwendig, eine höhere Werkstoffauslastung umzusetzen, ohne die Betriebssicherheit in Frage zu stellen. Dafür sind Kenntnisse aller im Bauteil verfügbaren Reserven und somit weitere Untersuchungen mit einer hohen Genauigkeit erforderlich [2]. Um eine sowohl zeitliche als auch örtliche Auflösung der Beanspruchung zu erreichen, wird der hier dargestellte numerische Festigkeitsnachweis für die gesamte Kurbelwelle unter besonderer Berücksichtigung bekannt hochbelasteter Bereiche (Hohlkehlen: Radienübergänge zwischen Zapfen und Wange, Ölaustrittsbohrungen) durchgeführt. Teile dieses Beitrags basieren auf einer Präsentation bei einem Femfat User Meeting [3] oder MTZ Artikel [4].

2 Mehrkörpersimulation mit flexiblen Körpern

Die Mehrkörpersimulation (MKS) bietet die erforderliche Grundlage für die zeitliche als auch örtliche Auflösung der Beanspruchung. In Abb. 1 ist der Prozessablauf von der MKS über die finite Elemente Simulation zu einer Dauerfestigkeitsauswertung mit der möglichen Einbindung der Submodell Technik zu erkennen.

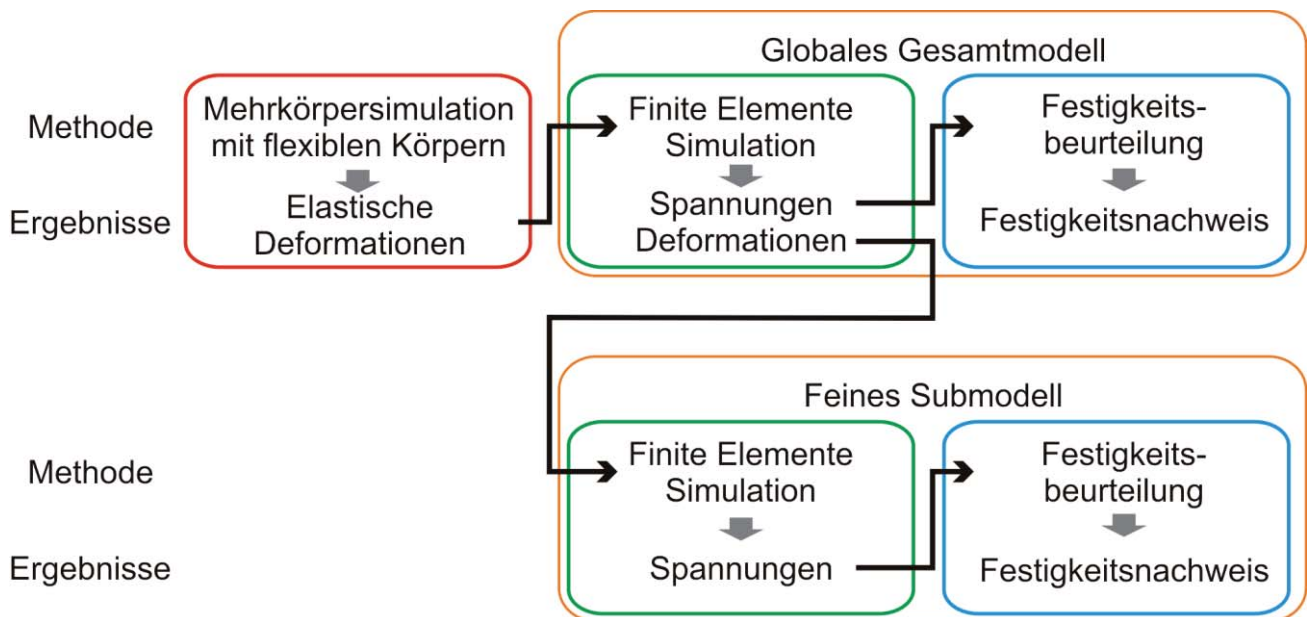


Abb. 1: Prozessablauf der gesamten Simulation von der Mehrkörpersimulation über die finite Elemente Simulation zum Dauerfestigkeitsnachweis mit Einbindung von Submodellen.

Die transiente Simulation erfolgt unter Berücksichtigung der allgemeinen Bewegungsgleichung sowie der Starrkörperkinematik. Nichtlinearitäten und gyroskopische Effekte sind berücksichtigt. Es werden Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Bewegungen der Körper und zusätzlich auch an den Koppelpunkten die Kräfte oder Momente bestimmt. Für eine Dauerfestigkeitsbewertung muss das Bauteil flexibel und lokal verformbar sein. Daher werden Finite-Elemente-Modelle mit einer reduzierten Anzahl an Freiheitsgraden in der Mehrkörpersimulation verwendet.

2.1 Reduktion und Modellierung

Für die Kurbelwelle mit Dämpferinnenteil wird ein FE-Modell mit zirka 200.000 Knoten erzeugt (siehe Abb. 2). Die Anzahl der verfügbaren Freiheitsgrade muss erheblich reduziert werden, ohne dabei das globale Steifigkeitsverhalten oder die wesentlichen dynamischen Eigenschaften des Körpers zu verändern. Dafür werden sowohl modale als auch statische Moden ermittelt. Diese werden in der späteren Simulation linear superponiert, um die Verformung des reduzierten Körpers zu bestimmen. Somit ist bei jeder Geometrieänderung, die eine Auswirkung auf die Steifigkeit hat, eine neue Reduktion erforderlich. Es muss eine sorgfältige Auswahl der zu berechnenden Moden getroffen werden, um eine möglichst geringe Anzahl an noch verbleibenden, aber notwendigen Freiheitsgraden zu erreichen. Für das globale Verhalten der Kurbelwelle werden 50 bis 100 modale Moden errechnet. Zusätzlich werden 200 bis 250 statische Moden an den Stellen ermittelt, an denen eine lokale Kräfteinleitung erfolgt. Nach der Reduktion mit dem FE-Programm ABAQUS [5] werden die Freiheitsgrade der Kurbelwelle von zirka 600.000 auf zirka 300 reduziert.

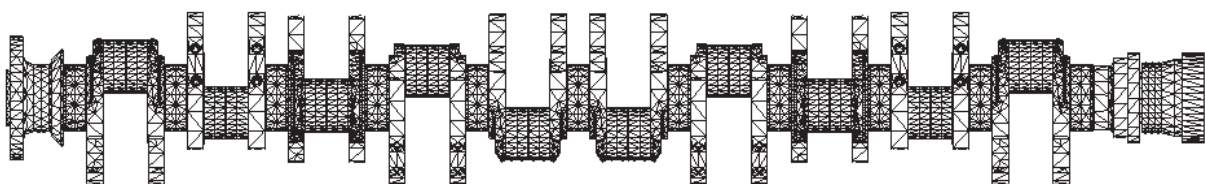


Abb. 2: FE Netz des globalen Gesamtmodells.

Die reduzierten flexiblen Körper werden in einem MKS-System (FIRST/TOWER [6]) eingesetzt. Neben der Kurbelwelle sind auch noch Zylinderkurbelgehäuse, Dämpfer und Schwungrad als elastische Körper berücksichtigt. Das Gestell ist im Schwerpunkt gegen Starrkörperbewegungen gelagert. Die Kurbelwelle ist über hydrodynamische Radial- und Axiallager im Gestell eingebunden. Als Gleitlagerberechnungsverfahren findet eine Kennfeldlösung (Impedanzmethode) Verwendung. Um die Lager abzubilden, gehen unter anderem Lagerdurchmesser, -breite, -spiel und Viskosität ein. Kupplung, Schwungrad und Dämpfer werden mit den entsprechenden Steifigkeits- beziehungsweise Dämpfungskennwerten abgebildet. Des Weiteren werden noch der Gasdruckverlauf, die Zündreihenfolge und ein analytischer, starrer Kurbeltrieb in der Simulation eingesetzt.

2.2 Simulation

Die Simulation erfolgt mit der Lösung der allgemeinen Newton'schen Bewegungsgleichung im Zeitbereich. Dabei werden die Starrkörperbewegungen getrennt von den Deformationen integriert. Sowohl die Gravitation, die hydrodynamische Dämpfung als auch die Strukturdämpfung der Bauteile werden einbezogen. Eine Grenzfrequenz vermeidet sehr kleine Schrittweiten des Integrators. Oberhalb dieser Frequenz sind die dazugehörigen Moden weiter berücksichtigt, aber die modalen Massen werden virtuell erhöht. Es besteht die Möglichkeit, externe Kräfte, Strukturkopplungen oder nichtlineare Federkennlinien einzubinden. Die Simulation wird für mehrere Arbeitsspiele durchgeführt. Aus numerischen Gründen (Einschwingen des Systems) wird nur das letzte für die Ermittlung der Ergebnisse herangezogen.

Eine Simulation nach der Finiten Elemente Methode (FEM) kann der Spannungsberechnung von komplexen Bauteilen unter einer mehrachsigen Beanspruchung dienen. Als Ergebnis einer MKS-Analyse werden die elastischen Deformationen für jeden Knoten des FE-Modells ausgegeben. Für eine ausreichende Anzahl an zeitlichen Stützstellen werden die Deformationen als Eingabedaten für das FE-Programm ANSYS [7] exportiert und die sich ergebenden Spannungen berechnet.

2.3 Rechnungs- / Messungsvergleich

Ein Rechnungs-/Messungsvergleich dient der Verifikation der Randbedingungen, dem korrekten Modellaufbau und dem Nachweis, dass alle relevanten Einflussgrößen berücksichtigt wurden. Er kann zum Beispiel über den Dehnungs- beziehungsweise Spannungsvergleich oder auch über einen Vergleich der Torsionsmomente in den Grundlagern mit anderen Simulationsmethoden erfolgen.

2.3.1 Rechnungs- / Messungsvergleich in den Hohlkehlen

Die als Ergebnisse einer transienten FIRST/TOWER-Rechnung und einer Messung mit Dehnmessstreifen (DMS) vorliegenden Spannungen in einer Hohlkehle der Kurbelwelle eines Großdieselmotors werden miteinander verglichen. Für die Messung wurden DMS-Rosetten für die mehrachsige elastische Dehnungsbestimmung appliziert (Abb. 3, oben). Die gemessenen Dehnungsverläufe wurden in Normalspannungen in Motorlängsrichtung umgerechnet (Biegebeanspruchung). Ein Vergleich zwischen den ermittelten Spannungen in der Simulation und denen des Versuchs zeigt sowohl in den Amplituden als auch in den Mittelspannungen und im Verlauf eine sehr gute Übereinstimmung (Abb. 3, unten).

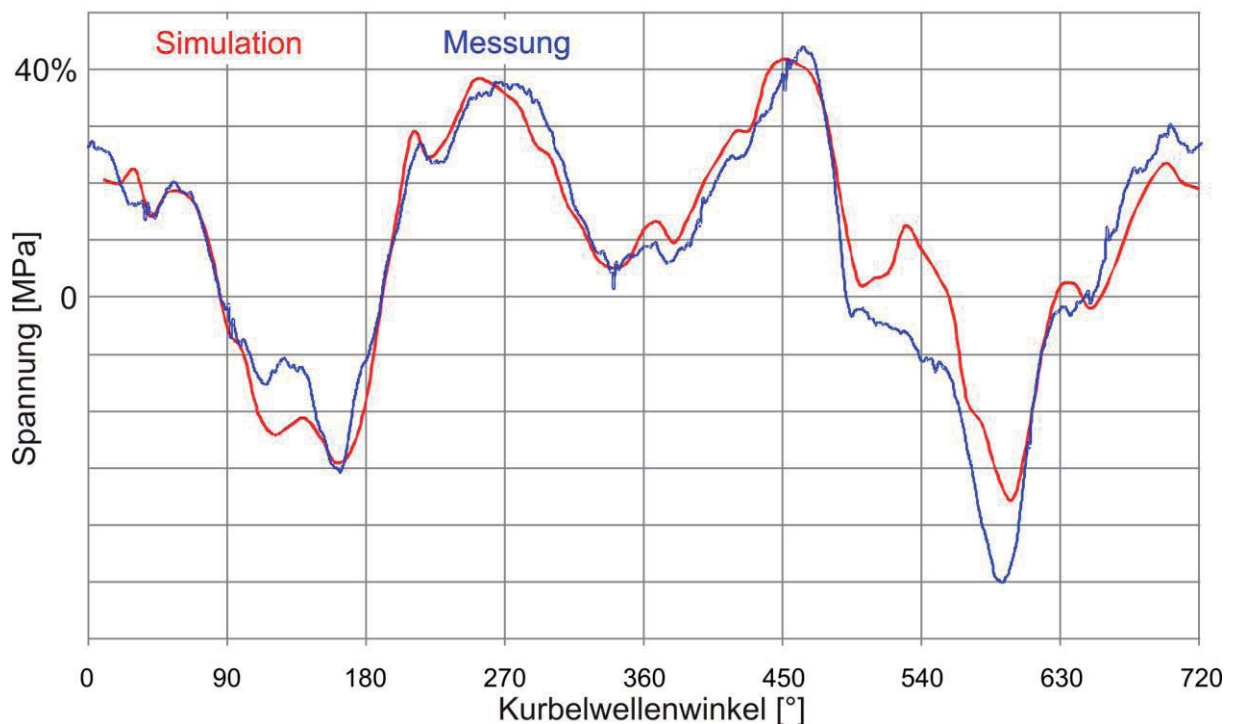
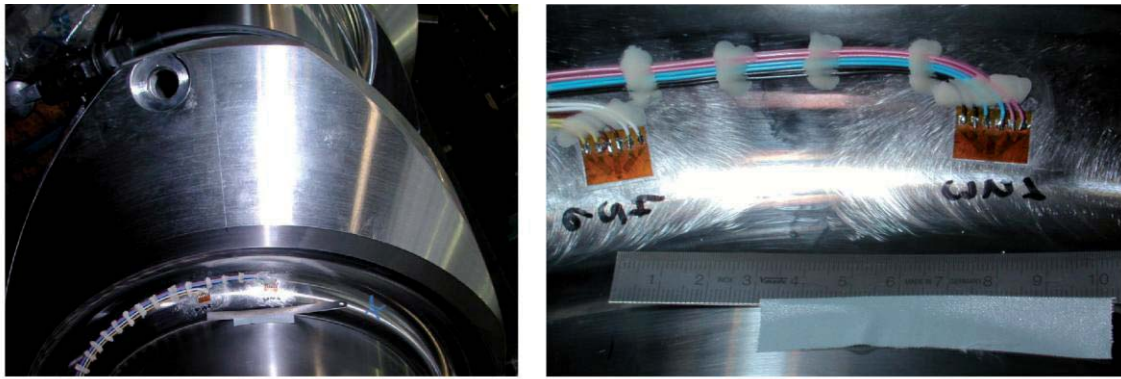


Abb. 3: Dehnmessstreifen in der Hohlkehle (oben); Vergleich zwischen Messung und Rechnung von Normalspannungen in einer Hohlkehle (unten).

2.3.2 Rechnungs- / Messungsvergleich in den Grundlagern

Als eine weitere Möglichkeit des Nachweises der korrekten Modellbildung bietet sich ein Ergebnisvergleich mit einer Simulationmethode im Frequenzraum an. Die seit vielen Jahren bei MAN Diesel & Turbo SE verwendete In-House-Software LIDMOA bildet die Kurbelwelle mit dem Kurbeltrieb, Schwungrad mit Kupplung und Torsionsdämpfer als eindimensionales Drehschwingungssystem um die Torsionsachse ab. LIDMOA bestimmt unter anderem die Schubspannung in der Kurbelwelle bei einem vorgegebenen System für verschiedene Lastpunkte. Die berechneten Torsionsmomente für den dargestellten Motor werden mit denen aus der MKS zur Abbildung der globalen Dynamik verglichen und zeigen ebenso eine sehr gute Übereinstimmung [4].

3 Dauerfestigkeitsnachweis des globalen Gesamtmodells

Der Dauerfestigkeitsnachweis erfolgt mit der Software FEMFAT von ECS [8], die teilweise auf der FKM-Richtlinie [9] basiert. Die vollständige Spannungsinformation wird ausgewertet und unter Verwendung des Verfahrens der kritischen Schnittebene zu einer skalaren Vergleichsspannung transformiert. Dabei wird die Hypothese der skalierten Normalspannung eingesetzt und entsprechende Mittel- und Amplitudenspannungen berechnet. Die lokale Sicherheit wird als Endergebnis am Knoten ausgegeben (Abb. 4).

Als Ergebnis der Mehrkörpersimulation werden zuerst in einem körperfesten Koordinatensystem die lokalen elastischen Deformationen bestimmt. Diese dienen dann als Randbedingung für eine Finite Elemente Simulation, da für den Dauerfestigkeitsnachweis eines Bauteils, das durch eine orts- und richtungsveränderliche Belastung beziehungsweise nichtlineare Effekte beansprucht ist, zu jedem Zeitpunkt FE-Spannungsdaten vorliegen müssen. Nachteilig ist, dass die Spannungen quasistatisch vereinfacht werden und ein weiterer, komplexer Arbeitsschritt notwendig ist. Desweiteren kann die zu verarbeitende Datenmenge wegen der Vielzahl an Lastschritten unter Umständen sehr groß werden. Der Vorteil dieses Verfahrens ist aber, dass nach der Berechnung der FEM für beliebige Bereiche des Bauteils FE-Submodell Rechnungen und anschließender Auswertung mit einem sehr viel höheren Detaillierungsgrad durchführbar sind (z.B. Hohlkehlen bzw. Ölbohrungen).

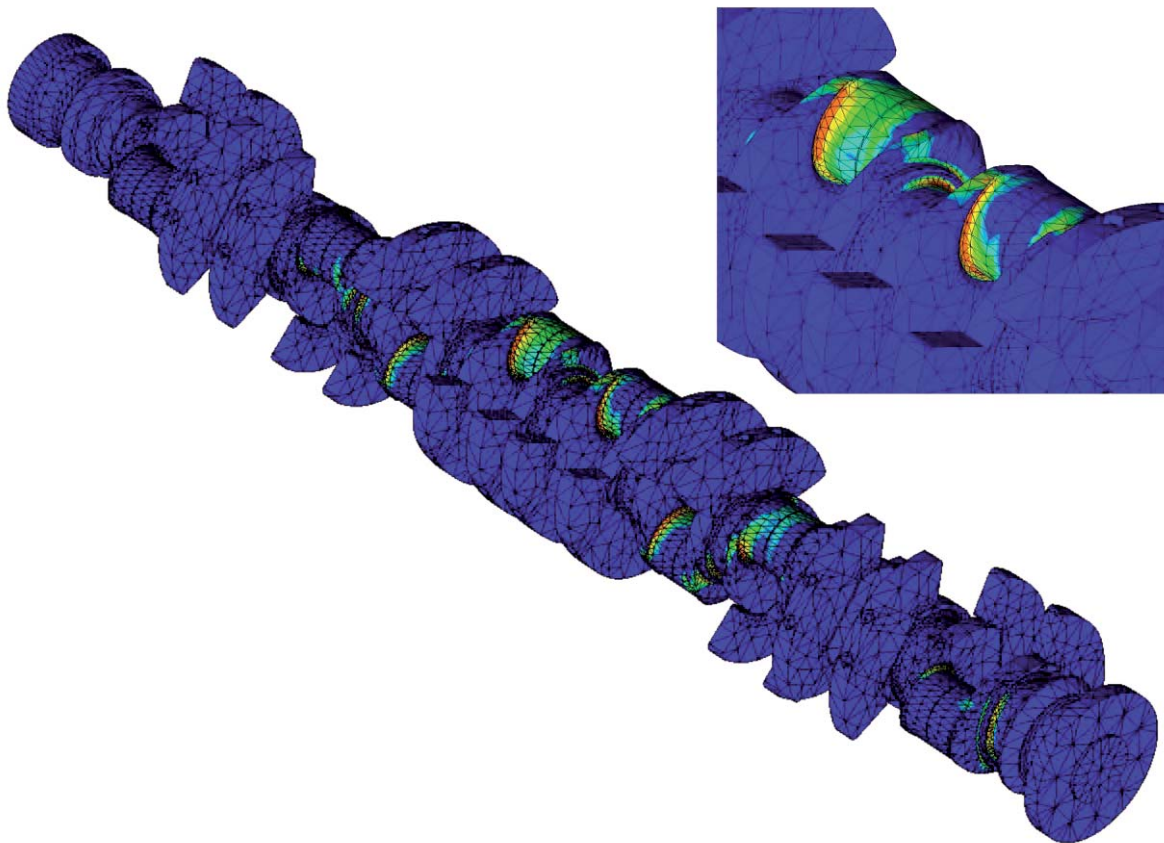


Abb. 4: Ergebnisse der Dauerfestigkeitsbewertung vom globalen Gesamtmodell.

4 Dauerfestigkeitsnachweis der feinen Submodelle

Das bisher verwendete Gesamtmodell bildet vor allem die globale Dynamik des Systems ab. Ist es aus Festigkeitssicht aber erforderlich, eingehender die lokale Beanspruchung zu bestimmen, werden geometrisch exaktere Submodelle der Hohlkehlen und Ölaustrittsbohrungen des Hubzapfens benötigt. Die Hohlkehlenbeanspruchung erfolgt mehrachsigt sowohl über eine Torsions- als auch eine Biegebelastung und somit wird der Festigkeitsnachweis numerisch durchgeführt.

4.1 Hohlkehle

Die Hohlkehlen sind im Bereich der Radien gemäß der Richtlinie CIMAC der Schiffsklassifikationsgesellschaften [10] vernetzt (Abb. 5, links). Die elastischen Deformationen werden an den Schnittflächen (Interpolationsbereich) zwischen dem globalen Gesamtmodell und dem feinen Submodell für jeden Lastschritt exportiert. Diese werden dann als Verschiebungen für jeden Lastschritt der Submodellrechnung als Randbedingung berücksichtigt (Abb. 5, rechts).

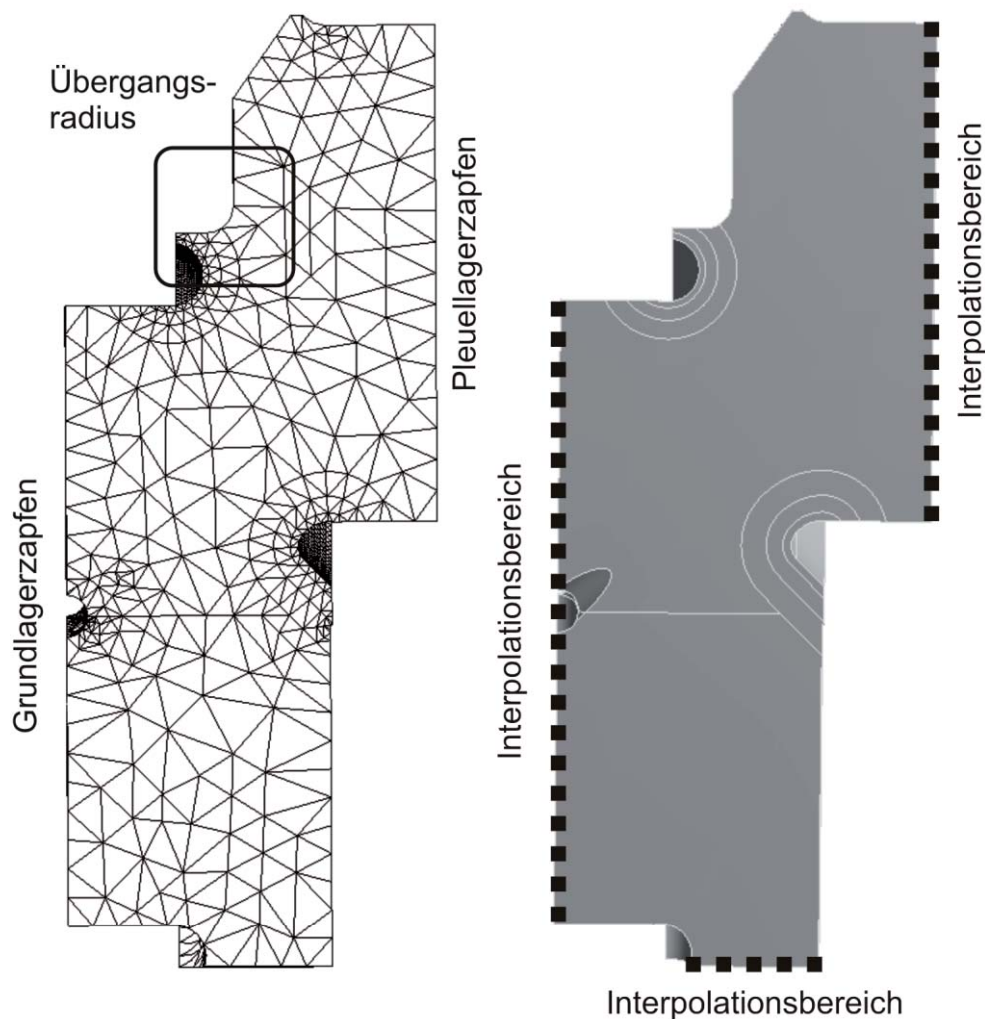


Abb. 5: Querschnitt einer Kurbelwellenwange mit Grund- und Pleuellagerzapfen: Vernetzung der Hohlkehlen (feines Submodell) (links); Interpolationsgebiet der elastischen Verschiebungen vom globalen Gesamtmodell auf das feine Submodell (gepunktete Linie) (rechts).

Ein Vergleich der Dauerfestigkeitsergebnisse des feinen Submodells mit dem globalen Gesamtmodell liefert eine gute Übereinstimmung der beiden Auswertungen (siehe Abb. 6).

Die Sicherheiten gegen Dauerbruch sind im Submodell etwas geringer als im Gesamtmodell. Beim Pleuellagerzapfen ist eine gute Übereinstimmung der jeweiligen Spannungsverteilung gegeben. Die Verteilung und Positionierung der höchsten Beanspruchung in der Grundlagerzapfenhohlkehle sind vergleichbar. In diesem Beispiel

ist der Einfluss der Netzqualität auf die gerechnete Beanspruchung relativ gering. Nachdem dies jedoch bei unterschiedlichen Kurbelwellengeometrien (zum Beispiel auf Grund anderer Steifigkeitsverhältnisse) nicht allgemeingültig sichergestellt ist, ist die Anwendung der Submodelltechnik zu empfehlen.

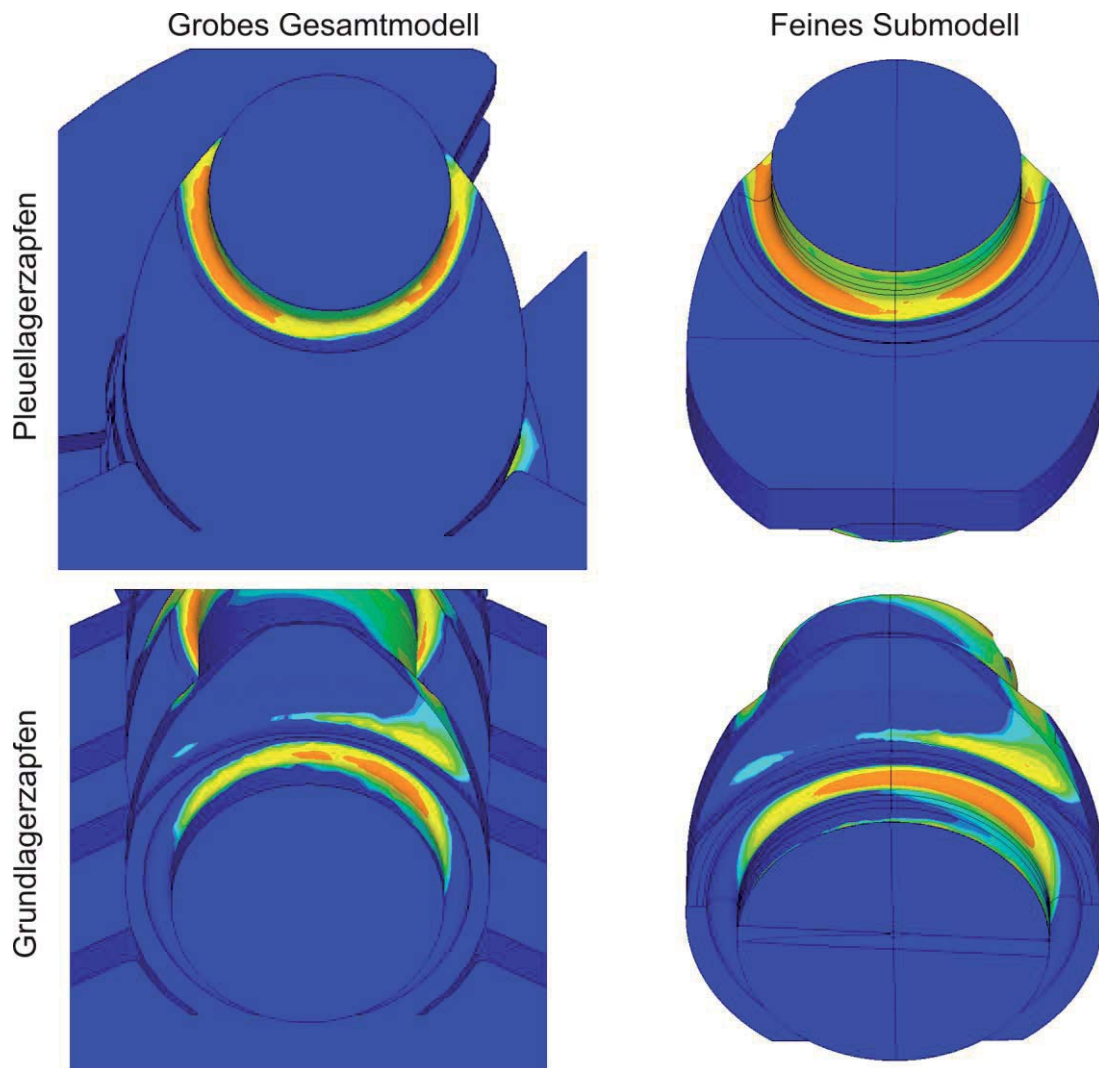


Abb. 6: Vergleich der Auswertung der Dauerfestigkeitsnachweise der Hohlkehlen vom globalen Gesamt- und feinem Submodell im Bereich des Grundlager- beziehungsweise Pleuellagerzapfens.

4.2 Ölbohrung

Die Austrittsgebiete der Ölbohrungen im Hublagerzapfen sind sehr fein vernetzt. Analog dem vorher erwähnten Vorgehen werden an den gekennzeichneten Schnittflächen die Deformationen für jeden Lastschritt exportiert (siehe Abb. 7). Die Kräfte des Kurbeltriebs sind im Submodell als Randbedingung aufgebracht. Um eine Beeinflussung des Bereichs um die Ölaustrittsbohrung zu vermeiden, finden dafür innere Knoten auf $2/3$ des Pleuellzapfendurchmessers Verwendung. Des Weiteren wird noch die Rotationsgeschwindigkeit ω berücksichtigt.

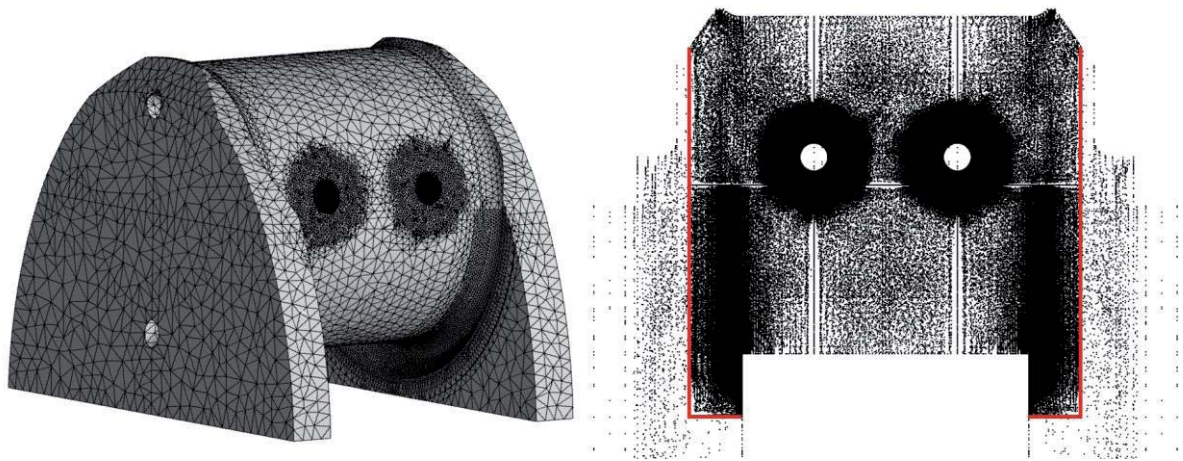


Abb. 7: Submodell Vernetzung der Ölaustrittsbohrungen (links); Interpolationsgebiet der elastischen Verschiebungen am feinen Submodell (rote Linie) (rechts).

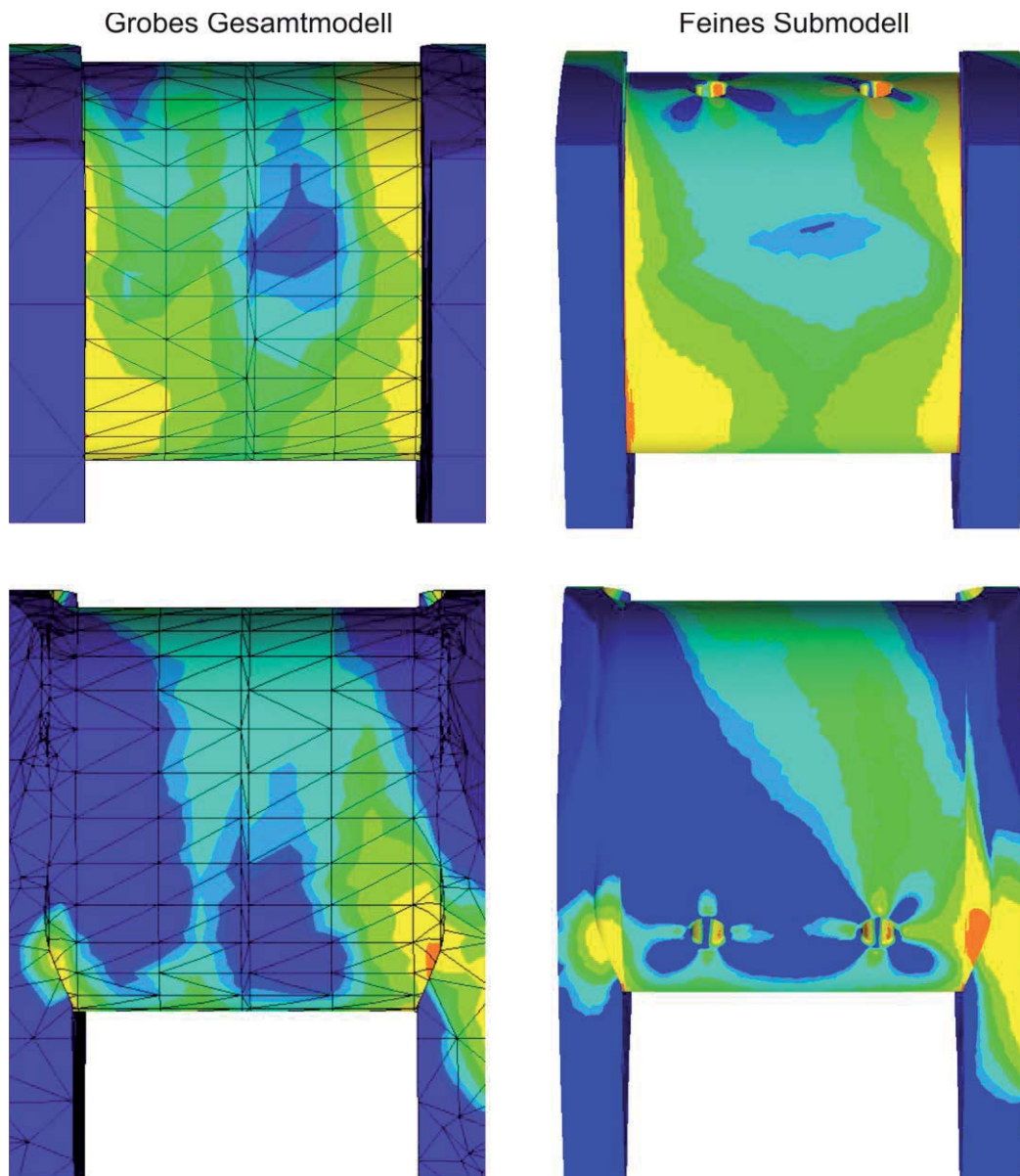


Abb. 8: Vergleich des Dauerfestigkeitsnachweises vom globalen Gesamtmodell mit dem Submodell im Pleuellagerzapfen.

Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse der Dauerfestigkeit ist erneut eine prinzipielle Übereinstimmung zwischen dem Gesamtmodell (links) und dem Submodell (rechts) zu erkennen (siehe Abb. 8). In der Ansicht oben zeigt sich ein Bereich mit geringer Auslastung (blauer Bereich), der in höhere Beanspruchungen übergeht (Verteilung von grün zu gelb). In dem unteren Bereich des Bilds ist das Torsionsband im Pleuellagerzapfen mit höherer Auslastung bei beiden Modellen gut ersichtlich. Die Ölaustrittsbohrungen können aus Effizienzgründen im Gesamtmodell nicht berücksichtigt werden. Es ist in diesem Bereich mit einem hohen Spannungsgradienten zu rechnen, durch den eine lokale Abweichung der Sicherheitsfaktoren zwischen einem groben und feinen Netz auftreten würde. Für den Dauerfestigkeitsnachweis der Ölaustrittsbohrungen ist folglich ein höherer Detaillierungsgrad in der Vernetzung notwendig. Demzufolge wird ein feines Submodell eingesetzt.

5 Zusammenfassung

In Ergänzung zu den bisher eingesetzten analytischen Verfahren ist im Designprozess einer modernen Großdieselskurbelwelle ein numerischer Dauerfestigkeitsnachweis mit einer zeitlichen und örtlichen Auflösung der Beanspruchung durchzuführen. Nur so ist sicherzustellen, dass die Forderung nach einer höheren Werkstoffauslastung durch Leichtbau und höherer Leistungsdichte nicht zu Lasten der Betriebssicherheit gehen. Bei MAN Diesel & Turbo SE wird deshalb die hier dargestellte interdisziplinäre Vorgehensweise eingesetzt. Deren Übereinstimmung sowohl mit Messungen als auch anerkannten Richtlinien gezeigt wurde [3]. Auf diese Weise können Reserven im Bauteil effizient bestimmt und Verbesserungspotenzial umgesetzt werden.

6 Literatur

- [1] International Association of Classification Societies: Requirements concerning Machinery Installations: UR M 53 – Calculation of Crankshafts for I.C. Engines; 2004.
- [2] Mollenhauser, K., Tschöke, H. (Eds.): Handbook of Diesel Engines; Heidelberg: Springer; 2010.
- [3] Krivachy, R. et al.: Durability calculation of crankshafts in large-bore diesel engines; FemFat-User-Meeting 2009.
- [4] Krivachy, R. et al.: Numerical fatigue strength assessment for crankshafts; MTZ 06/2010; pp. 384-392.
- [5] N.N.: ABAQUS/Standard; Version 6.5; Abaqus, Inc.; 2004.
- [6] N.N.: FIRST/TOWER; Version 6.2; ist GmbH; 2003.
- [7] N.N.: ANSYS; Version 11; Ansys, Inc.; 2007.
- [8] N.N.: FEMFAT; Version 4.7b; ECS GmbH & Co KG; 2008.
- [9] Hänel, B. et al.: Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile. 4. Auflage. Frankfurt: VDMA, 2002.
- [10] International Association of Classification Societies: Requirements concerning Machinery Installations: UR M 53 – Calculation of Crankshafts for I.C. Engines; Proposal for Appendix III; 2009.

Sichere Dichtungen – Alterungsmodell für Gummi

Manfred Achenbach (Parker Hannifin GmbH, Seal Group Europe)

Anwender betrachten bei ihren Investitionsentscheidungen in zunehmendem Maße die voraussichtlichen Lebensdauer-Kosten der geplanten Investition. Für Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbauer bedeutet dies, nicht nur wirtschaftlich zu fertigende Systeme zu entwickeln, sondern dem Wartungs- und Instandhaltungsaufwand über den gesamten Lebensdauer-Zyklus ein besonderes Augenmerk zu schenken. Die Lebensdauer von Dichtungen wird zum Beispiel durch chemische Einwirkungen umgebender Medien und durch Wärme und Druck beeinflusst. Durch die zahlreichen Einflussfaktoren und bedingt durch oft unterschiedliche Betriebsbedingungen ist die „Bandbreite“ der Gebrauchsdauer einer Dichtung nicht nur sehr breit, sondern auch sehr schwer zu beurteilen. Dennoch: Es wurden bereits Verfahren entwickelt, diese Frage nicht nur zu untersuchen, sondern auch Antworten zu geben. Mit Hilfe nicht-linearer Finite-Elemente Programme im Verbund mit physiko-chemischen Modellvorstellungen lassen sich Aussagen zum Alterungsverhalten von Gummidichtungen machen und damit eine Lebensdauervorhersage wagen.

1 Zuverlässige Aussagen bislang nur für Verhalten von Neuteilen

Die zuverlässige Untersuchung und Vorhersage des Werkstoffverhaltens hat den Vorteil, bereits bei der Entwicklung von Elastomerbauteilen (das was im nachfolgenden ausgeführt wird, kann nämlich nicht nur auf Gummidichtungen angewendet werden, sondern gilt gleichermaßen sinngemäß für alle Gummibauteile) einen Überblick über deren voraussichtliche Langzeiteigenschaften im konkreten Einsatzfall zu erhalten; damit ist auch die Abschätzung der Gebrauchsdauer möglich. Traditionelle Methoden zur Bestimmung der Eignung von Elastomeren für Dichtungen beschränken sich auf die in der ASTM und DIN standardisierten Einlagerungstests. Die Durchführung eines Einlagerungstests beantwortet jedoch noch nicht die Frage, wie lange das Elastomer in der spezifizierten Umgebung funktionieren wird.

Für die Untersuchung der „jungfräulichen“ Eigenschaften elastomerer Dichtungen stehen heute kommerziell erhältliche Finite Elemente-Programme zur Verfügung. Das Problem: Alterungseffekte sind standardmäßig noch keiner numerischen Simulation nach der Methode der Finiten Elemente zugänglich, die eine vorausschauende Analyse möglich machen würde. Warum? Die Einflussfaktoren sind für jede Anwendungssituation, für jeden Werkstoff andere bzw. andersartig zu gewichten. Reversible physikalische Systeme kehren nach einer äußeren Störung über Relaxationsprozesse in ihren Grundzustand zurück. Nicht so der alternde Gummiwerkstoff. Er verliert durch Kettenspaltungen der Polymere und der durch Wärme- und Sauerstoffeinfluss verursachten Nachvernetzungen stetig an Elastizität. Das Aufbrechen von Netzwerketten reduziert die Zahl der effektiven Kettensegmente, die Träger der Festigkeit und der Elastizität sind. Für diese inneren Vorgänge gilt es, Gleichungen zu finden, die in der Lage sind, die teilweise gekoppelten Vorgänge in Abhängigkeit von äußeren Variablen, wie z.B. Temperatur und Druck, zu beschreiben.

Während der Einfluss niedriger Temperaturen auf die Gummielastizität reversibel ist [10], wird die Gummielastizität durch die Alterung in unabänderlicher Weise reduziert. Damit steigt mit zunehmender Alterung das Leckagerisiko. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Dichtkraft verstärkenden Faktoren wie hohe Temperatur und Systemdruck, z.B. nach dem Abschalten einer Anlage, entfallen. Aber nicht nur das Alter kann die Funktionstüchtigkeit einer Dichtung einschränken: Auch hochfrequente Druckbeaufschlagungen, wie sie für hydraulische Anwendungen typisch sind, bewirken auf Dauer eine Reduzierung der Gummielastizität. Alterung und Ermüdung sind benachbarte Erscheinungen, die bei vielen Materialien beobachtet werden. Die Alterung besteht in einer fortschreitenden irreversiblen Veränderung von Eigenschaften, deren zeitlicher Ablauf durch die Umgebung beeinflusst werden kann. So sind in Elastomeranwendungen die beschleunigte Alterung durch Sauerstoff sowie die thermische Alterung bekannt. Bei der Ermüdung haben wir es mit der Änderung physikalischer Eigenschaften unter dem Einfluss einer mechanischen Beanspruchung zu tun. Man fasst darunter alle Erscheinungen, die auf Risswachstum zurückgeführt werden können, zusammen. Die Gebrauchstüchtigkeit eines elastomeren Bauteils hängt entscheidend davon ab; denn auch ein anfänglich winziger Riss führt, wenn er schließlich

weiter und weiter wächst, zur Zerstörung des Bauteils. Eine Reihe molekularer Prozesse trägt zur Ermüdung bei, wie ausgedehnte Untersuchungen gezeigt haben.

Wenn Elastomere zyklisch mechanisch beansprucht werden, entwickeln sich an der Oberfläche oder im Inneren der elastomeren Bauteile im Verlauf der Zeit Risse, die ihren Ausgangspunkt an sogenannten Risskeimen nehmen; selbst dann, wenn die bei der Verformung auftretenden Höchstspannungen weit unterhalb der Zugfestigkeit liegen. Die Ausbreitung eines Risses, die sich in vielen Fällen mit zunehmender Größe des Risses beschleunigt, kann die Lebensdauer des Bauteils beschränken. Im Folgenden soll jedoch nicht die Ermüdung Gegenstand der Untersuchung sein, sondern wir wollen uns auf den Prozess der Alterung beschränken. Die betriebsfeste Auslegung von Elastomerbauteilen ist unter Verwendung der Finite Elemente Methode deshalb auch heute noch eine Herausforderung.

Ein numerisches Verfahren, das sowohl den Einfluss der Materialeigenschaften als auch die geometrischen und sonstigen Einsatzbedingungen abzubilden gestattet, ist das Verfahren der Wahl, um das Verhalten des Bauteils auch unter Langzeitaspekten zuverlässig vorhersagen und gegebenenfalls eine Lebensdauer prognostizieren zu können. Um dies in die Tat umzusetzen, muss ein adäquates Materialmodell für Elastomere entwickelt werden, das die Beschreibung des Alterungsprozesses gestattet. Es soll so gestaltet sein, dass neben elastomeren Dichtungen auch weitere elastomere Bauteile wie z.B. Elastomerfedern analysiert werden können.

Das hier vorgestellte und entwickelte Alterungsmodell geht über das klassische strukturmechanische Konzept hinaus; es werden Kopplungen zu thermischen und physiko-chemischen Effekten in Elastomeren möglich: Diffusion und Quellung von Umgebungsmedien sowie daraus resultierende chemische Reaktionen, die zur Veränderung des Elastomerverhaltens führen, können im Alterungsmodell berücksichtigt werden.

2 Simulation gibt Optimierungshilfe

Der Nutzen einer numerischen Simulation des Langzeitverhaltens von Dichtungen besteht also darin, Konzepte (Material, Geometrie, Einsatzbedingungen) im Entwurfsstadium an numerischen Modellen virtuell zu „erproben“, ohne dass Prototypen gleich zu Anfang hergestellt werden müssen. So können Entwicklungszeiten und Kosten eingespart werden. Das entstandene Alterungsmodell befindet sich mit den Eigenschaften des nachzubildenden Systems weitgehend in Übereinstimmung, so dass Produkteigenschaften darstellbar werden, die durch den Versuch häufig nicht oder nur mit großem Aufwand zugänglich sind. Auf die Frage: „Was passiert, wenn?“ kann durch numerische Untersuchungen am Modell schnell, zuverlässig und kostengünstig eine verbindliche Antwort zur Frage nach der Gebrauchsdauer gegeben werden.

Der Entwurf geeigneter Dichtungen lässt sich somit durch diese Art von Modellbildung und numerischer Simulation unterstützen. Die Simulation des Betriebsverhaltens mit Hilfe des Computers hilft, anhand errechneter Kräfte und Verformungen bereits vor der Anfertigung eines Prototypen, die Auslegung zu optimieren und den sicheren Einsatz bis zum Ende der spezifizierten Gebrauchsdauer zu gewährleisten. Dazu später ein Beispiel; zunächst aber soll im folgenden Abschnitt einiges über das verwendete Modell ausgesagt werden:

3 Materialmodellierung der Alterung

3.1 Materialmodellierung

Will man das Kraft-Verformungsverhalten von elastomeren Dichtungen beschreiben, so kommt die allgemeine Form der Materialgleichung der nichtlinearen Elastizitätstheorie zur Anwendung [1, 2, 3, 4]. Diese lässt sich ausdrücken durch die so genannte Formänderungsenergiedichtefunktion. In dieser Formulierung steckt implizit die Annahme, dass das Verformungsverhalten entropieelastisch begründet werden kann [4, 5, 6]. Jedoch, wenn, wie zuvor bereits erwähnt, die Temperatur einen hohen Wert annimmt, kann sich das molekulare Netzwerk durch chemische Reaktionen verändern. Diese Veränderung drückt sich in einer Änderung der Formänderungsenergiefunktion aus. Die dafür verantwortlichen chemischen Reaktionen können sowohl zu Netzwerkbrüchen als auch zur Bildung eines sogenannten zweiten Netzwerkes führen [7]. Dieser Prozess ist zeitabhängig und kann zu erheblichen Veränderungen im mechanischen Verhalten und zu bleibenden Verformungen führen. Es ist nahe liegend das Problem der Langzeitdichtungsfunktion mit einem Materialmodell zu untersuchen, welches sowohl den Netzwerkabbau als auch die Bildung eines neuen Netzwerkes zu beschreiben

erlaubt und dies sowohl unter erhöhten Temperaturen als auch unter dem Aspekt einer Wechselwirkung mit den abzudichtenden Medien.

Bei den Experimenten zur Bestimmung des Langzeitrelaxationsverhaltens eines elastomeren Dichtungsmaterials wird ein Gummistreifen bei Raumtemperatur um einen festen Wert gedehnt und dann bei einer erhöhten aber konstanten Temperatur eine gewisse Zeitlang gehalten und dabei kontinuierlich die mechanische Spannung gemessen [7], die der konstanten Deformation das Gleichgewicht hält. Bei höheren Temperaturen - dem so genannten chemorheologischen Temperaturbereich - beobachtet man, dass die Spannung mit der Zeit abfällt. Je höher die Temperatur, umso stärker zeigt sich der Spannungsabfall. Die Experimente werden für unterschiedliche Temperaturen und Zeitintervalle ausgeführt (Abb. 1). Gemessen wird sowohl der Spannungsabfall als auch die bleibende Verformung (Zugverformungsrest) am Ende des Relaxationsexperiments.

Die gewonnenen Daten werden analysiert, indem man z.B. Neo-Hooke'sches Materialverhalten voraussetzt. Für ein solches Materialverhalten ist die Relation zwischen Spannung $\sigma(t)$ und dem einachsigen Streckungsverhältnis $\lambda = \ell / \ell_0$ wie folgt gegeben:

$$\sigma(t) = 2N(t)c(\lambda - \lambda^{-2}), \quad (1)$$

wobei c bei festgehaltener Temperatur eine Konstante darstellt. Wir haben bereits weiter oben geschlossen, dass die Spannungsabnahme eine Folge von Kettenbrüchen im molekularen Netzwerk ist, welche sich in einer Abnahme von $N(t)$ bemerkbar macht. N repräsentiert die momentane Zahl der effektiven Kettensegmente pro Volumeneinheit im molekularen Netzwerk des Elastomeren und ist damit gleichbedeutend mit der Vernetzungsdichte. Der Zugverformungsrest (tension set) ist eine Folge des im gestreckten Zustand gebildeten neuen Netzwerk (Bildung eines zweiten Netzwerkes). Die Spannungs-Dehnungs-Beziehung, die beide Netzwerke umfasst, lässt sich somit wie folgt ausdrücken.

$$\sigma(t) = 2N_1c(\lambda - \lambda^{-2}) + 2M_1c(\lambda\hat{\lambda}^{-1} - \lambda^{-2}\hat{\lambda}^2), \quad (2)$$

wobei das Streckungsverhältnis $\hat{\lambda}$ im primären Netzwerk bei erhöhter Temperatur $T_1 \gg T_0$ eine gewisse Zeit t_1 konstant gehalten wird. N_1 sei die Netzwerkdicke des primären Netzwerkes am Ende des Experiments zur Zeit $t = t_1$ und M_1 sei die Netzwerkdicke des neu gebildeten so genannten sekundären Netzwerkes ebenfalls zur Zeit t_1 . Der zweite Term in (2) bringt somit die Annahme zum Ausdruck, dass das neue Netzwerk im spannungs-freien Zustand gebildet wurde, wobei, wie bereits erwähnt, $\hat{\lambda}$ das Streckungsverhältnis im primären Netzwerk ist. Es wird angenommen, dass N_1 und M_1 unabhängig vom vorgegebenen Streckungsverhältnis ist. Das Aufbrechen von Netzwerkketten reduziert somit die Zahl N der effektiven Kettensegmente bei konstanter Dehnung in einem Relaxationsexperiment; das bedeutet N ist eine abnehmende Funktion der Zeit.

Wenn man die momentane Spannung zur Zeit t , welche bei konstanter Dehnung (festes Streckungsverhältnis) in einer Probe gemessen wird, auf den Anfangswert der Spannung zur Zeit $t = 0$ bezieht, so erhält man (siehe auch (2)):

$$\frac{\sigma(t)}{\sigma(0)} = \frac{N(t)}{N(0)}, \quad (3)$$

wobei $N(0)$ den Anfangswert der Zahl der Netzwerkketten pro Volumeneinheit und $N(t)$ den momentanen Wert zur Zeit t repräsentiert. Ein einfaches mathematisches Modell für diesen Abbauprozess wird durch die folgende Ratengleichung beschrieben:

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\frac{N(t)}{\tau(T)} \quad (4)$$

Nach dieser Differentialgleichung ist die Zahl der Kettensegmente, die pro Zeit- und Volumeneinheit zur Zeit t durch chemische Reaktionen aufgebrochen werden proportional der noch vorhandenen effektiven Zahl $N(t)$. Der Proportionalitätsfaktor ist die reziproke chemische Relaxationszeit τ^{-1} , die bei bekanntem Dichtungswerkstoff und abzudichtenden Medium noch von der Temperatur T in charakteristischer Weise abhängt. Diese Abhängigkeit wird durch einen Boltzmannfaktor beschrieben, der auch häufig mit dem Namen Arrhenius in Verbindung gebracht wird:

$$\tau(T) = \tau_{ref} e^{\frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right)}, \quad (5)$$

wobei E_A die Aktivierungsenergie des Degradationsprozesses genannt wird und R die allgemeine Gaskonstante repräsentiert. T_{ref} ist eine Referenztemperatur in Kelvin, bei welcher der Wert der Relaxationszeit τ den τ_{ref} Zahlenwert annimmt. Beide Parameter E_A und τ_{ref} können aus den Messwerten der Spannungsrelaxation gewonnen werden. Eine Möglichkeit der Auswertung wird in Abb. 1 angedeutet.

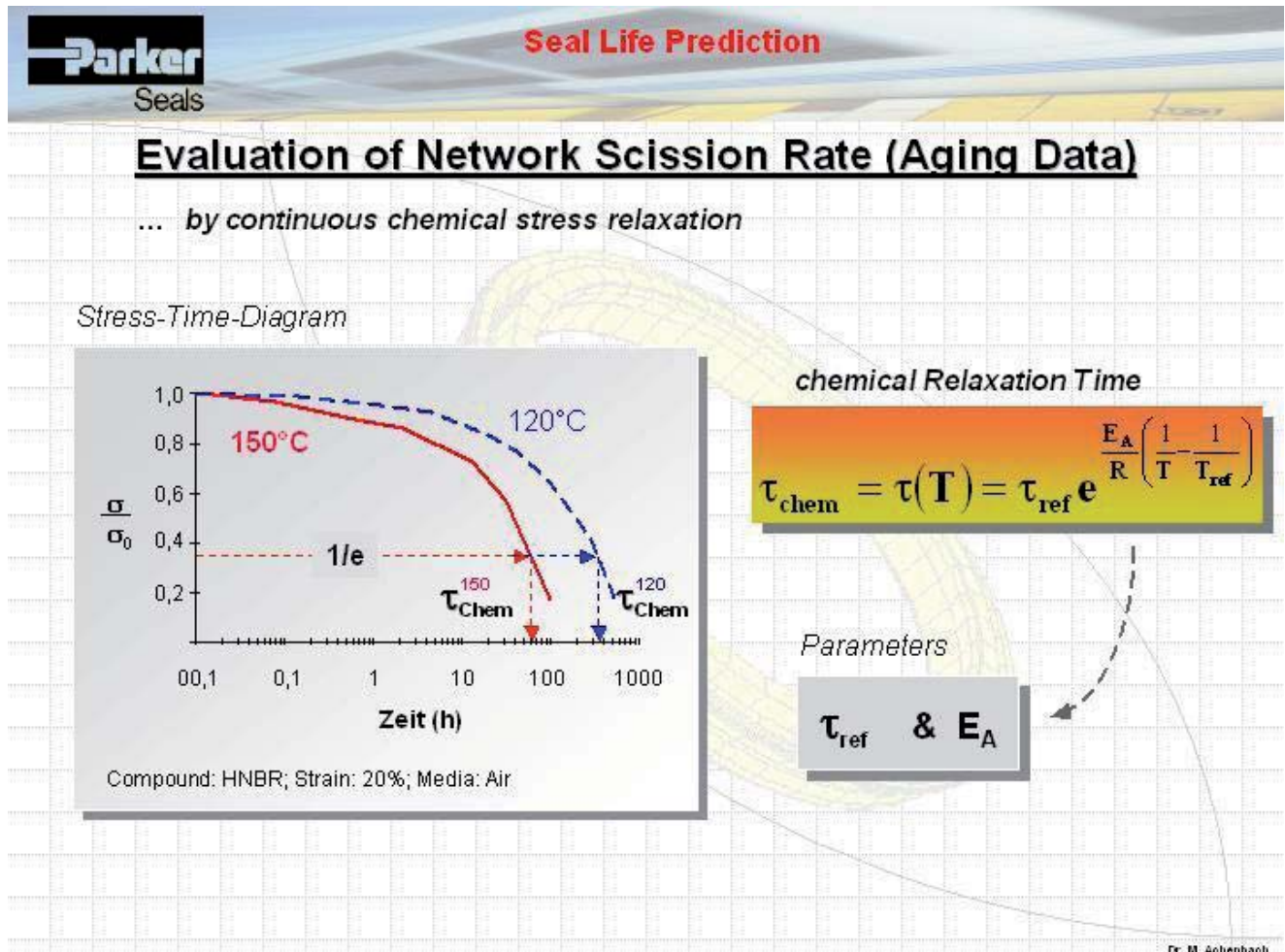


Abb.1:

Bestimmung der charakteristischen Zeiten τ der „chemischen“ Spannungsrelaxation an einem HNBR Elastomer.

3.2 Dreidimensionale Materialgleichung

Verwendet man die einachsige Beziehung (2) als Leitlinie, so kann man leicht eine dreiachsige Materialbeschreibung für alternde Vulkanisate aufbauen. Wir betrachten dabei zunächst ein hyperelastisches Material bei Umgebungstemperatur T_0 in einer spannungsfreien Bezugsconfiguration. Wir wollen weiterhin annehmen, dass es einen Temperaturbereich gibt, in dem das Materialverhalten isotrop, nicht linear elastisch und inkompressibel sei. Wenn dann x_i die Lage eines infinitesimalen Volumenelementes zur Momentanzeit t bezeichnet, welches sich in der spannungsfreien Bezugsconfiguration an der Stelle X_A befunden hat, dann ist der Deforma-

tionsgradient mit $F_{iA} = \partial x_i / X_A$ gegeben. Daraus gewinnt man dann, wie üblich [8, 9], den Cauchy-Green'schen Deformationstensor $B_{ij} = F_{iA} (F_{jA})^T$, wobei der Cauchy'sche Spannungstensor t_{ij} von diesem wie folgt abhängt.

$$t_{ij} = -p\delta_{ij} + 2W_1^0 B_{ij} - 2W_2^0 (B_{ij})^{-1}, \quad (6)$$

wobei p wegen der geforderten isochoren Deformation (Inkompressibilität) auftritt; I_1 und I_2 werden Hauptinvarianten des linken Cauchy-Green Tensors B_{ij} genannt, welche als Variable (Deformationsmaß) die beiden skalaren Koeffizienten $W_1^0 = W_1^0(I_1, I_2)$ und $W_2^0 = W_2^0(I_1, I_2)$ bestimmen. Diese Koeffizienten lassen sich durch partielle Ableitungen der Verformungsenergie $W^0(I_1, I_2)$ gewinnen: $W_1^0 = \partial W^0 / \partial I_1$, $W_2^0 = \partial W^0 / \partial I_2$, wobei W^0 mit dem primären Netzwerk verknüpft ist.

Bei hinreichend niedrigen Temperaturen treten praktisch keine Kettenbrüche im elastomeren Netzwerk auf. Das betrachtete Material besitzt dann zu jeder Zeit den ursprünglichen spannungsfreien Bezugszustand und der Spannungszustand ist durch (6) vollständig determiniert. Zur Zeit $t=0$ werde die Temperatur des Elastomeren auf einen hohen Wert gesetzt, $T_1 \gg T_0$, so dass wir annehmen können, dass Kettenbrüche im molekularen Netzwerk im Zeitverlauf t auftreten werden.

Die Größe $\dot{M}$ repräsentiere die Rate mit welcher neue Netzwerkstellen zur Zeit t gebildet werden; sodass $\dot{M} dt$ als die Zahl der zusätzlichen Netzwerkstellen interpretiert werden kann, die im Zeitschritt $t+dt$ auftreten. Die Zahl der Netzwerkstellen im primären molekularen Netzwerk, die zur Zeit t noch existieren, wird mit $N(t)$ bezeichnet und stellt eine monoton abnehmende Funktion der Zeit t dar.

Wir betrachten nun eine Zwischenzeit $\hat{t} \in (0, t)$ und den darin eingenommenen Deformationszustand des zur Zeit $t=0$ verformungs- und spannungsfreien Körpers. Bezogen auf die Bildung neuer Netzwerkstellen hat ein Netzwerk, welches im Intervall $\hat{t} + d\hat{t}$ gebildet wurde als Referenzkonfiguration die zu Zeit $\hat{t}$ aktuelle Konfiguration. Wir wollen annehmen, dass diese für das neu gebildete Netzwerk eine spannungsfreie Konfiguration sei. Bei einer nachfolgenden Deformation ist die Bewegung des neu gebildeten molekularen Netzwerkes mit der des ursprünglichen (primären) Netzwerkes der Kettenmoleküle deckungsgleich. Eine Spannung entsteht in diesem neu gebildeten Netzwerk, wenn eine Deformation relativ zur spannungsfreien Konfiguration zur Zeit $\hat{t}$ auftritt. Zu einer späteren Zeit t hat ein Netzwerk, welches zu einer früheren Zeit $\hat{t}$ gebildet wurde, den relativen Deformationsgradienten $\hat{F}_{ij} = \partial x_i / \partial x_A$, wobei x_A die Lage eines infinitesimalen Volumenelementes in der zur Zeit $\hat{t}$ aktuellen Konfiguration kennzeichnet und x_i sei seine Lage zur Zeit t . Es wird angenommen, dass sich das neue Netzwerk ebenfalls isotrop, nichtlinear-elastisch und inkompressibel verhält. Es bleibt jetzt nur noch den relativen Cauchy-Green Tensor $\hat{B}_{ij} = \hat{F}_{iA} (\hat{F}_{jA})^T$ zur Beschreibung der Deformation dieses Netzwerkes einzuführen. Die Materialgleichung für die Spannung des zur Zeit $\hat{t}$ neu gebildeten Netzwerkes ist damit durch

$$\hat{t}_{ij} = -\hat{p}\delta_{ij} + 2\hat{W}_1 \hat{B}_{ij} - 2\hat{W}_2 \hat{B}_{ij}^{-1} \quad (7)$$

gegeben, wobei $\hat{p}$ durch die Forderung entsteht, dass die Deformation des neuen Netzwerkes ebenfalls isochor erfolgen soll. $\hat{I}_1$ und $\hat{I}_2$ stellen die Invarianten von $\hat{B}_{ij}$ dar; entsprechend sind $\hat{W}_1 = \partial \hat{W} / \partial \hat{I}_1$ und

$\hat{W}_2 = \partial \hat{W} / \partial \hat{I}_2$ die partiellen Ableitungen der Formänderungsenergiefunktion $\hat{W}(\hat{I}_1, \hat{I}_2)$ des sekundären Netzwerkes. Die resultierende Gesamtspannung kann als eine Überlagerung der Spannung aus dem noch verbliebenen primären Netzwerk und den Spannungen aus dem neu gebildeten Netzwerk angesehen werden, sodass wir schreiben können:

$$t_{ij} = -p\delta_{ij} + 2N(t)[W_1^0 B_{ij} - W_2^0 (B_{ij})^{-1}] + 2 \int_{\hat{t}=0}^t \dot{M} [\hat{W}_1^0 \hat{B}_{ij} - \hat{W}_2^0 (\hat{B}_{ij})^{-1}] d\hat{t} \quad (8),$$

3.2.1 Anwendung auf den Zugverformungsrest (ZVR)

Eine erste Anwendung der abgeleiteten Formeln kann man finden, wenn man sich auf die Behandlung des Zug- oder Druckverformungsrestes konzentriert (siehe auch Abb2). Es ist eine gut bekannte Tatsache, dass, wenn man einen vulkanisierten Gummi einer Zugverformung unterwirft oder in verpresst und danach in Luft oder in irgendeinem anderen gasförmigen oder flüssigen Medium erhitzt und ihn eine Weile in diesem Zustand belässt, sich nach Entlastung eine bleibende Verformung zeigt. D.h. eine solche Probe kehrt nicht mehr in ihre spannungsfreie Ausgangslage zurück, wenn die Verformungskraft wieder zurückgenommen wird. Vielmehr zeigt sich nach Entlastung der Probe eine bleibende Verlängerung bzw. eine bleibende Verpressung der Probe, d.h. ein Zug- bzw. Druckverformungsrest.

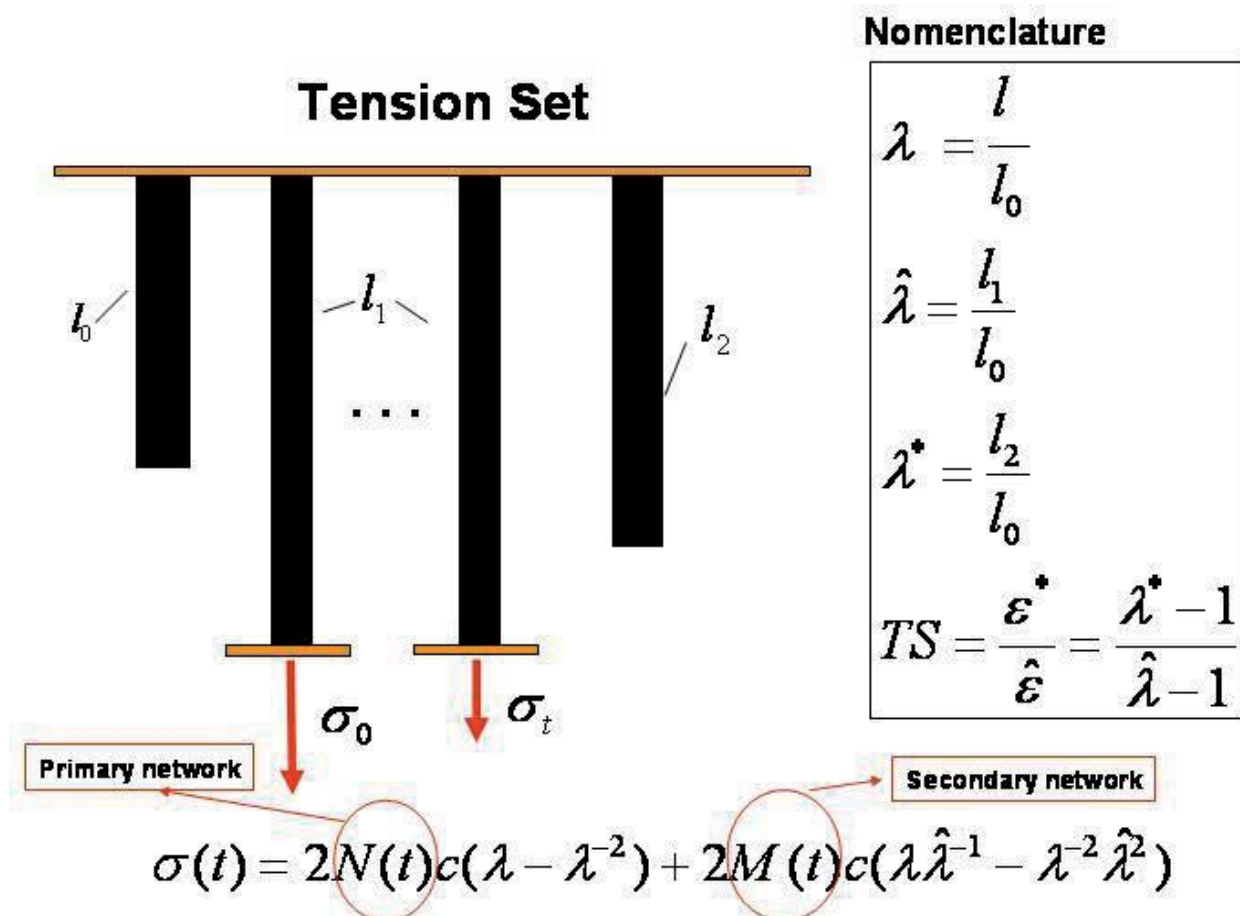


Abb.2: Zugverformungsrest (Tension Set oder ZVR) Experiment an einem Gummistreifen; schematische Darstellung.

Bleibende Verformung und Minimum der Formänderungsenergie

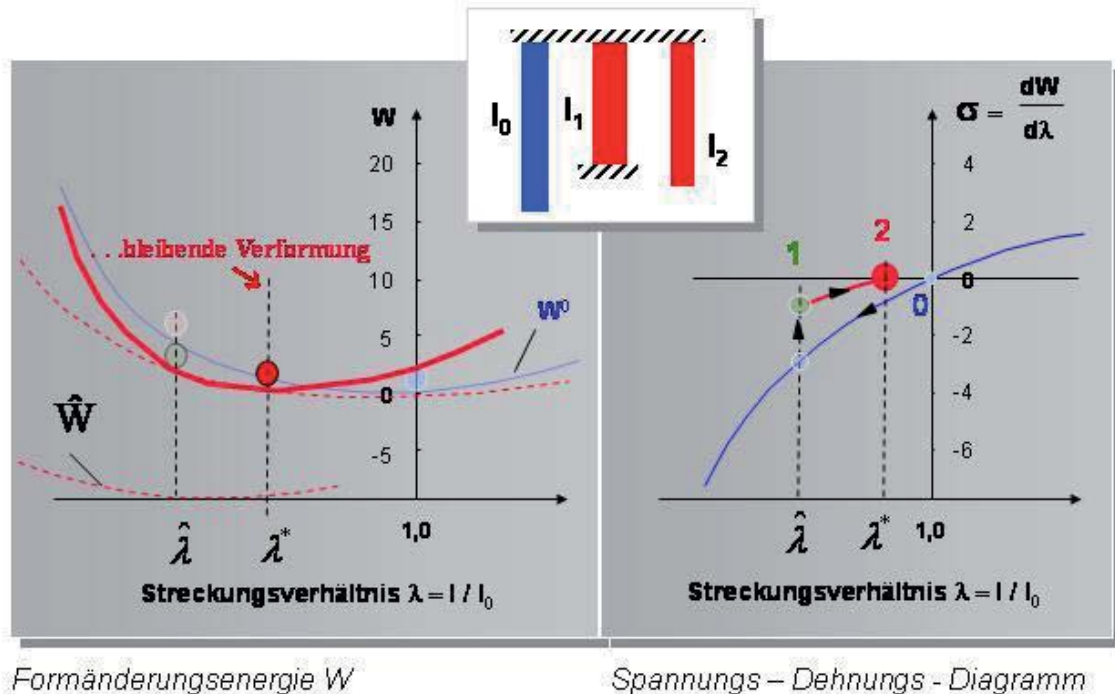


Abb.3:

Links: Es werden die energetischen Verhältnisse beim Belasten und Entlasten einer Gummiprobe nach erfolgter Alterung gezeigt. Dabei kann man sich vorstellen, dass eine Murmel aus der Talsohle der Funktion W^0 bergauf in die Position 1 verschoben wird (Verformungsenergie wird zugeführt). Das elastische Potential wird anschließend durch den Alterungsprozess verändert und entwickelt sich von der blauen zur roten Energiekurve. Lässt man die Murmel in diesem Zustand frei, so rollt sie in die Talsohle der veränderten Energiefunktion und kann somit nicht mehr in den Ausgangspunkt (Minimum) der Ausgangsfunktion gelangen. Damit wird recht anschaulich die resultierende bleibende Verformung wiedergegeben.

Rechts: Ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm ist gezeigt, welches sich aus den analogen Energiekurvenverläufen der linken Seite ableiten lässt.

Im Verlauf der Entlastung wird sich die Probe nur solange zurückverformen können, bis die gespeicherte Gesamtenergie in der Probe, d.h. die Summe der Formänderungsenergie aus dem noch verbliebenen primären Netzwerk und aus dem neu gebildeten Netzwerk, ein Minimum annimmt (siehe auch Abb.3). Diese Bedingung resultiert in einer Probenlänge, die zwischen der ursprünglichen spannungsfreien Ausgangslänge und der Länge zu liegen kommt bei welcher die Probe nach der Verformung erwärmt wurde. Die Formel für den Zugverformungsrest enthält die Probenlänge bei der die Probe erwärmt wurde sowie die relative Zahldichte der effektiven Kettensegmente in den beiden Netzwerken (primäres und sekundäres Netzwerk). Die Größe der relativen Zahldichte bzw. ihre Zeit- und Temperaturabhängigkeit kann nach Tobolsky [7] durch passende Spannungs-Dehnungsmessungen gefunden werden. Bei der Ableitung der angesprochenen Formel für den Zugverformungsrest beziehen wir uns auf die uniaxiale Zug-Dehnungs Beziehung (2). Diese Relation zwischen Spannung σ Verformung λ eines Zugstabes, welcher bei konstanter Verlängerung $\hat{\lambda}$ und einer erhöhten Temperatur eine festgelegte Zeitspanne t^* gehalten wurde, kann nun verwendet werden, um ihre Länge λ^* zu bestimmen, die sich bei vollständiger Entlastung der Probe einstellt. Dazu setzen wir:

$$\sigma(\lambda^*) = 2N_1 c (\lambda^* - \lambda^{*-2}) + 2M_1 c (\lambda^* \hat{\lambda}^{-1} - \lambda^{*-2} \hat{\lambda}^2) = 0 \quad (9)$$

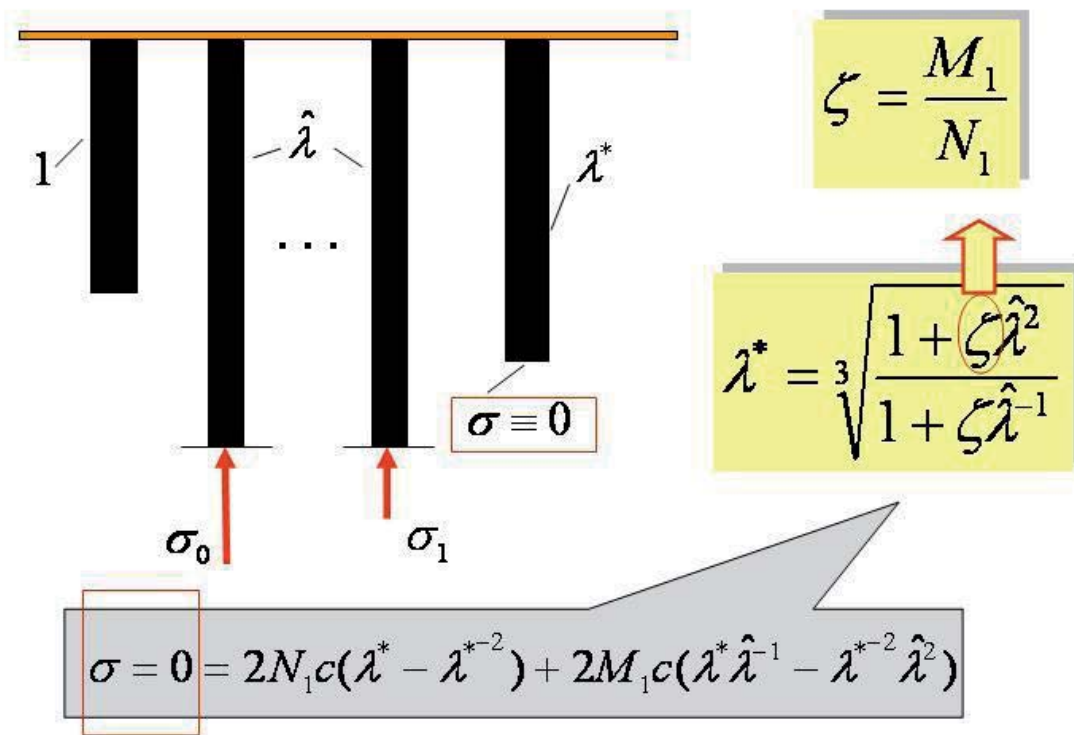


Abb.4: Berechnung der bleibenden Verformung nach künstlicher Alterung.

Es bleibt nun noch (9) nach λ^* aufzulösen, um den Verlängerungsfaktor der bleibenden Verformung formelmäßig bestimmen zu können:

$$\lambda^* = \sqrt[3]{\frac{1 + \zeta \hat{\lambda}^2}{1 + \zeta \hat{\lambda}^{-1}}}, \quad (10)$$

wobei $\zeta = M_1/N_1$ das Zahlenverhältnis von neu gebildeten Netzwerkketten M_1 dividiert durch die Zahl der noch verbliebenen effektiven Kettensegmenten N_1 aus dem primären Netzwerk repräsentiert. Mit (10) ist die bleibende Verformung λ^* vollständig bestimmt, wenn das Zeitgesetz zum Abbau des primären Netzwerks sowie das zum Aufbau des zweiten Netzwerkes bekannt ist. Den Zugverformungsrest findet man dann schließlich aus der folgenden Relation, indem man die bleibende Dehnung ε^* ins Verhältnis zur eingepprägten Dehnung $\hat{\varepsilon}$ setzt:

$$\text{Set} := \frac{\varepsilon^*}{\hat{\varepsilon}} = \frac{\lambda^* - 1}{\hat{\lambda} - 1} = \frac{\sqrt[3]{\frac{1 + \zeta \hat{\lambda}^2}{1 + \zeta \hat{\lambda}^{-1}}} - 1}{\hat{\lambda} - 1} \quad (11)$$

Um die Formel (11) vollständig explizit werden zu lassen, nehmen wir beispielhaft an, dass das primäre Netzwerk mit der Rate

$$\dot{N} = -\frac{N}{\tau} \quad (12)_1$$

abgebaut wird, wobei der Anfangswert N_0 sei. Die Bildungsrate des sekundären Netzwerkes sei gegeben mit

$$\dot{M} = \frac{1}{\tau}(N_0 - M) \quad (12)_2$$

Wir wollen weiterhin annehmen, dass gelte: $N(t) + M(t) = N_0$ und zwar zu allen Zeiten t . Ein solches Zeitgesetz könnte als einfaches Modellsystem für ein schwefelvernetztes Vulkanisationssystem dienen. Wenn man z.B. annimmt, dass sich bei ausreichender thermischen Aktivierung eine Schwefelbrücke des primären Netzwerkes löst, um sich unmittelbar an anderer Stelle wieder zu bilden. Die neue Vernetzungsstelle bilde im statistischen Mittel eine neue Masche im Netzwerk der Kettensegmente und ersetzt so das zuvor aufgebrochene Kettensegment. Damit bleibt die Gesamtzahl der effektiven Kettensegmente erhalten, mit dem wichtigen Unterschied, dass im Gegensatz zu den Maschen des primären Netzwerkes die neu gebildeten Maschen spannungsfrei bleiben, zumindest solange sich der augenblickliche Verformungszustand nicht verändert. Bei vorausgesetzt konstanter Temperatur lassen sich die Lösungen von (12) sofort angeben:

$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} ; \quad M(t) = N_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (12)_3$$

Das Verhältnis $\zeta = \frac{M}{N}$ lässt sich dann durch Einsetzen von (12)₃ wie folgt ausdrücken: $\zeta = e^{\frac{t}{\tau}} - 1$ oder durch Einbringen dieser Relation in (11) erhalten wir schließlich den gesuchten Wert für den Zugverformungsrest (ZVR) als Funktion der Zeit t .

$$\text{ZVR} = \frac{\sqrt[3]{\frac{1 + \left(e^{\frac{t}{\tau}} - 1\right) \hat{\lambda}^2}{1 + \left(e^{\frac{t}{\tau}} - 1\right) \hat{\lambda}^{-1}}} - 1}{\hat{\lambda} - 1} = \hat{\varepsilon}^{-1} \left(\sqrt[3]{\frac{1 + \left(e^{\frac{t}{\tau}} - 1\right) (1 + \hat{\varepsilon})^2}{1 + \left(e^{\frac{t}{\tau}} - 1\right) (1 + \hat{\varepsilon})^{-1}}} - 1 \right) \quad (12)_4$$

Liegt die hier beschriebene Kinetik des Abbaus bzw. Aufbaus von polymeren Netzwerken bei einem Gummiwerkstoff tatsächlich vor, so genügt es eine Parameteranpassung der Form (12)₄ an Messwerte des Zugverformungsrestes bei mindestens zwei unterschiedlichen Temperaturen vorzunehmen. Dies wird für einen EPDM-Werkstoff der in Luft gealtert wurde in [11] beispielhaft durchgeführt und dort in den Abbildungen 10 bis 13 dargestellt. Wegen des begrenzten Raumes kann auf diese Auswertung hier nicht eingegangen werden; der interessierte Leser sei auf die genannte Literaturstelle verwiesen.

3.2.2 Langzeit-Simulation einer O-Ring Abdichtung

Der betrachtete O-Ring hat ein Wasser-Glykol-Gemisch abzudichten. Dabei kommt ein HNBR-Dichtungswerkstoff zur Anwendung. Die Dichtung soll mindestens 20.000 Stunden bei 95 °C sicher abdichten können. Abb. 3 zeigt, dass das gesteckte Ziel offenbar nicht erreicht wird, da nach Abschalten der Anlage eine Leckage auftritt, weil sich ein Spalt zwischen O-Ring und Dichtfläche gebildet hat. Es handelt sich hier um eine Abdichtstelle im Kühlkreislauf einer nassen Zylinderlaufbuchse eines stationären Gasmotors. Obwohl im Betrieb (bei erhöhter Temperatur und einem wirksamen hydraulischen Druck von 2 bar) keine Leckage während der dargestellten 20.000 Stunden auftritt und am Ende noch eine, wenn auch geringe, Dichtkraft verbleibt, wird Undichtheit vorausgesagt, wenn das System abgeschaltet wird und damit wieder auf Umgebungsbedingungen bezüglich Temperatur zurückgesetzt wird. Die Analyse der Materialeigenschaften zeigt, dass das vorliegende HNBR-Dichtungsmaterial eine nicht zu vernachlässigende Neigung zur Ausbildung eines zweiten elastomeren Netzwerkes besitzt, wenn es mit dem abzudichtenden Medium in Berührung kommt. Dies trifft insbesondere bei erhöhten Temperaturen zu und wirkt sich aber merklich erst nach langer Dauer der Belastung aus. Deshalb weist das hier untersuchte Dichtungsmaterial für diese Anwendung Defizite auf und erfüllt die gestellten Lebensdauernforderungen nicht. Alternativ bietet sich ein Dichtungsmaterial an, das diese Neigung zur Nachvernetzung, also zur Ausbildung eines zweiten elastomeren Netzwerkes im verformten Zustand nicht hat. Dies ist bei FKM-Dichtungsmaterialien (Fluorelastomeren) zu erwarten, wie Abb.6 beweist.

Beispiel 1a: O-Ring (HNBR)

→ Verfall der Dichtkraft und Leckage

Resultat der numerischen Analyse

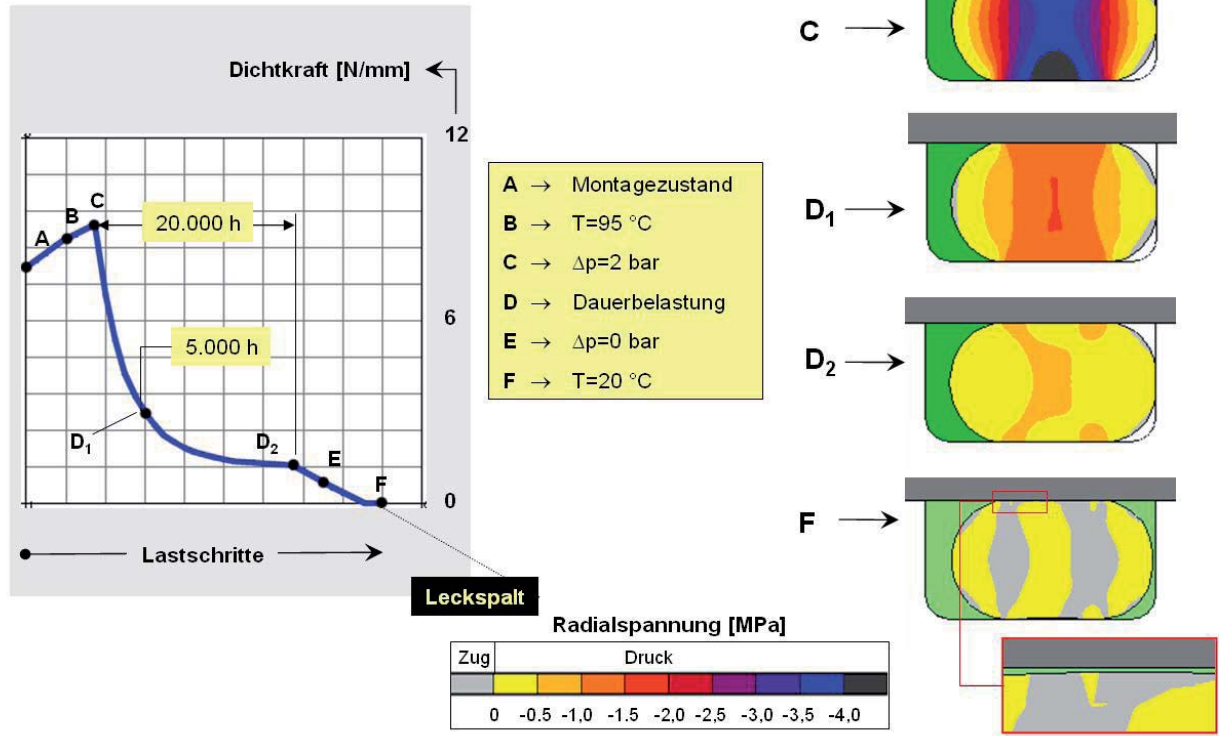


Abb. 5:

Ergebnisse der Finite Elemente Analyse (FEA) einer O-Ring-Abdichtung unter Langzeitgesichtspunkten. Auf der rechten Seite sind Momentaufnahmen von Computeranimationen zu sehen, welche die Spannungsverteilung im Querschnitt des O-Ringes zu verschiedenen Zeiten anzeigen; während das Diagramm auf der linken Seite die Entwicklung der resultierenden Dichtkraft im Verlauf der aufgetragenen Lastschritte zeigt.

Abb. 6 zeigt auf der rechten Seite Farbkonturplots der Spannungsverteilung im O-Ringquerschnitt zu verschiedenen Zeitpunkten im Verlauf der Einsatzzeit von 20.000 Stunden. Anders als im Fall des HNBR Dichtungswerkstoffes (siehe Bild 5) tritt keine Leckage auf. Obwohl auch hier die Spannung im Querschnitt des O-Ringes im Verlauf der Zeit stark abfällt, bleibt nach dem Abschalten der Anlage eine, wenn auch kleine, Restdichtkraft erhalten, die eine Spaltbildung an der Dichtfläche verhindert.

Beispiel 1b: O-Ring (FKM)

→ Dicht, trotz Abfall der Dichtkraft

Resultat der numerischen Analyse

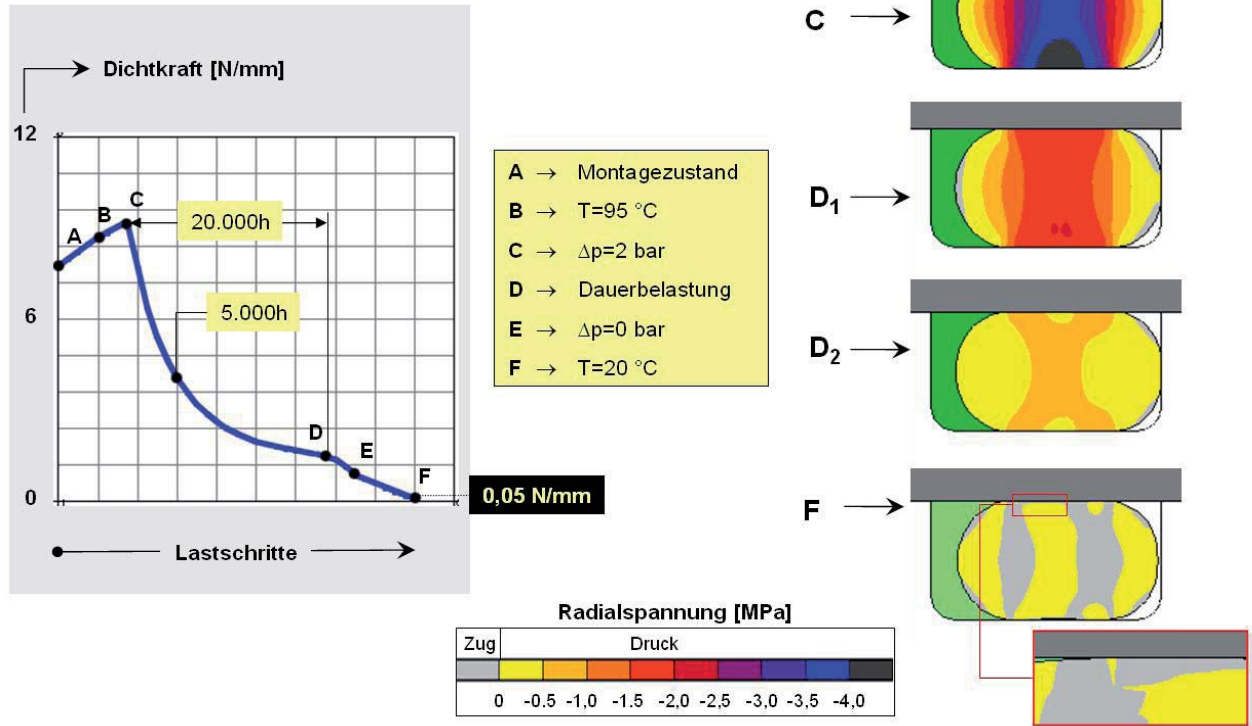


Abb. 6:

Ergebnisse der Finite Elemente Analyse (FEA) einer FKM O-Ring-Abdichtung unter Langzeitgesichtspunkten. Auf der rechten Seite sind Momentaufnahmen von Computersimulation zu sehen, welche die Spannungsverteilung im Querschnitt des O-Ringes zu verschiedenen Zeiten anzeigen; während das Diagramm auf der linken Seite die Entwicklung der resultierenden Dichtkraft im Verlauf der aufgetragenen Lastschritte (Belastungsfolge) zeigt.

3.2.3 Anwendung auf eine Lippendichtung

Gegeben sei eine pneumatische Kolbendichtung (Lippendichtung) aus einem HNBR-Werkstoff, die über einen Zeitraum von 1000 h bei einer Dauertemperatur von 120 °C abdichten soll. Im nun folgenden dritten Simulationsbeispiel soll die bleibende Deformation der Dichtung nach der definierten Belastungszeit im losen (freien) Zustand ermittelt werden.

Bei der Entwicklung neuer bzw. bei der Verbesserung bestehender Dichtungen taucht häufig die Frage nach der Lebensdauer unter definierten Einsatzbedingungen auf. Diese Frage kann in vielen Fällen durch folgende Fragestellung ersetzt werden: Gesucht sei die Zeit, in der die maßliche Überdeckung der Dichtung mit dem Einbauraum Δ (siehe auch Abb. 1) auf einen für die Dichtungsfunktion kritischen Wert Δ_{krit} abgenommen hat. Diese Zeit könnte man als die nutzbare Einsatzzeit der Dichtung, also ihre Lebensdauer, bezeichnen. Wird diese prognostizierte Zeit im praktischen Einsatz überschritten, ist mit Leckage bzw. mit einem Ausfall der Dichtung zu rechnen.

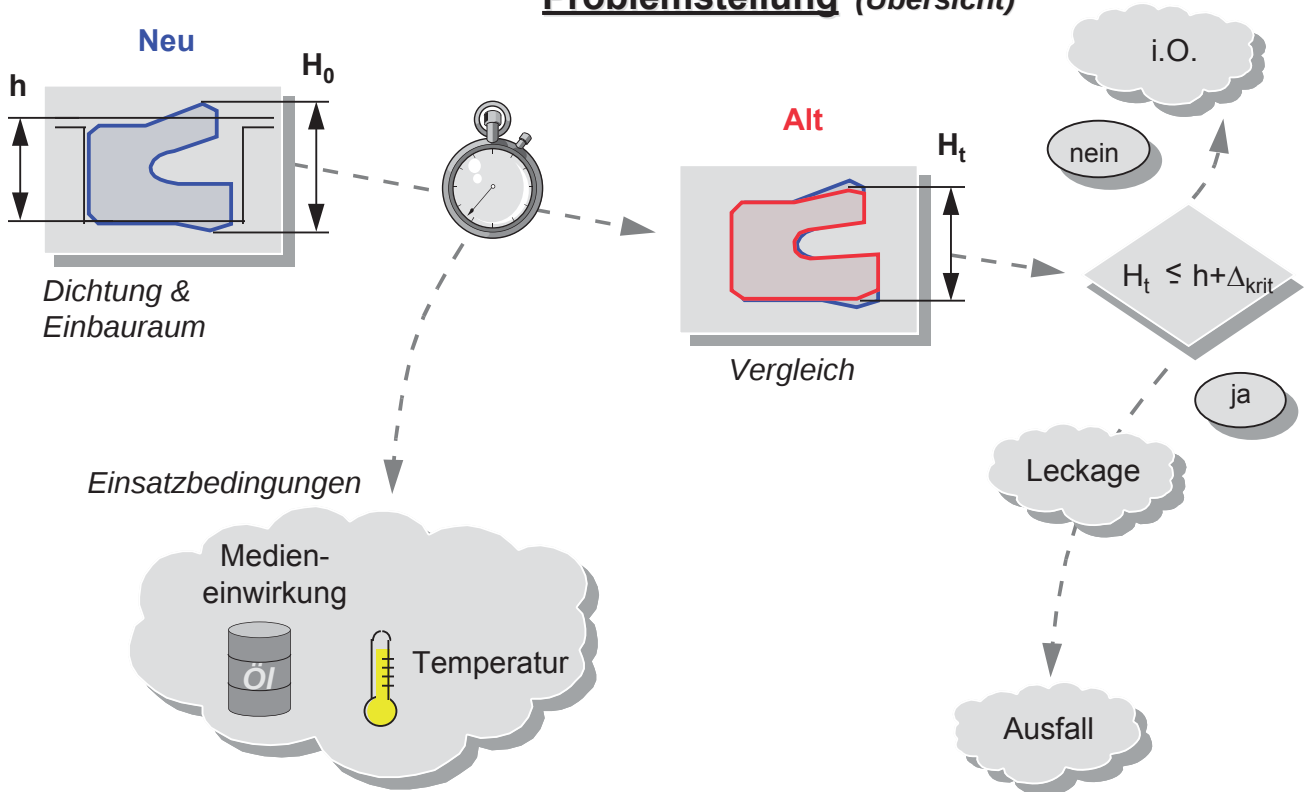
Problemstellung (Übersicht)

Abb. 7:

Schematische Darstellung: Abbau der elastischen Eigenschaften einer Lippendichtung durch Alterung; die Folge ist eine bleibende Verformung (Compression Set). Die Dichtungshöhe H_t ist eine Zeitfunktion und kann unter einen kritischen Wert fallen.

Die Dichtpressung entlang der Dichtflächen lässt nach, wenn hohe Temperaturen auf Dauer auf die Dichtung einwirken. Hierbei kann es zu einem Abbau bzw. zu einem Umbau der hochmolekularen Ketten kommen, aus denen das Elastomer aufgebaut ist. Als Folge hiervon wird die elastische Kraft abgebaut (Relaxation). Dieser Abbau kann die Dichtpressung völlig zum Verschwinden bringen und Leckage ist dann die Folge. Man erkennt eine solche Veränderung auch daran, daß nach einer Demontage eine bleibende Verformung an der Dichtung festgestellt werden kann, bzw. keine oder keine ausreichende maßliche Überdeckung der Dichtung mit dem Einbauraum mehr gegeben ist. Dieser Abbauprozess wird in hohem Maße von äußeren Einflüssen hervorgerufen, wie durch die Anwesenheit von Sauerstoff, sowie durch die katalytische Wirkung von Öladditiven (siehe auch Abb. 7). Die elastischen Eigenschaften einer Dichtung im Einsatz können aber auch durch die sogenannte Nachvulkanisation der Kettenmoleküle beeinträchtigt werden. Diese Nachvulkanisation, begünstigt durch hohe Temperaturen, reduziert die Rückstellmöglichkeiten der verformten Dichtung und äußert sich in einer Verhärtung des Materials.

3.2.4 Zustandsänderung des elastischen Potentials (Formänderungsenergiedichte)

Modelle, die den Abbauprozess bzw. den Nachvulkanisationsvorgang beschreiben, sind auch in der Lage, das Zeitgesetz der Veränderung der elastischen Eigenschaften festzulegen. Solche Beschreibungen in Verbindung mit der nichtlinearen Gummielastizität können genutzt werden für Finite-Elemente-Analysen zu Lebensdauervorhersagen. Bei den Modellen wird also versucht, einen Zusammenhang herzustellen zwischen der Belastung und der Veränderung der effektiven Netzwerkichte des elastomeren Werkstoffes. Dies geschieht, indem man physikalische und chemische Mechanismen wie den Einfluss der Temperatur auf den Abbau der Kettenmoleküle bzw. auf die Nachvernetzung berücksichtigt. Beide Effekte verändern das elastische Potential wie in Abb. 8 gezeigt wird. Die Kurve mit dem Index „0“ im (W, λ) -Diagramm in Abb. 8 repräsentiert das elastische Grund- oder Ausgangspotential. Die Krümmung der parabelähnlichen Kurve ist direkt proportional zur Vernetzungsdichte N (siehe auch Gl.(8)). Im verformungsfreien Ausgangszustand „0“ befindet sich ein Volumenelement (siehe Abb. 8, Λ_0) im Minimum des elastischen Potentials W^0 . Im Einbauraum der Dichtung wird dieses Volumenele-

ment in radialer Richtung verpresst (siehe Abb. 8, Λ_1); dabei nimmt der Energieinhalt des Volumenelementes zu. Die an dieser Kurve an der Stelle $\lambda = \Lambda_1$ gezeigte Kugel (die man sich auch als eine Glasmurmelt in einer Kuhle vorstellen kann) kennzeichnet die erhöhte Verformungsenergie eines Volumenelementes, welches auf den Wert Λ_1 verpresst wurde (die Kugel ist hier weichgezeichnet; nur Anfangs- und Endzustand sind voll ausgezeichnet). Auf das Element wirkt so eine rücktreibende Kraft, die proportional der Ableitung der Kurve W^0 an der Stelle $\lambda = \Lambda_1$ ist. Die Kugel wird am Abrollen durch einen „Bremskeil“ gehindert. Dieser „Bremskeil“ repräsentiert den Zwang durch den Einbauraum auf das Volumenelement. Betrachtet man nun das Langzeitverhalten eines solchen Volumenelementes bei erhöhter Temperatur, so entwickelt sich das Potential durch Kettenbrüche zu W^1 und die Nachvulkanisation erzeugt seinerseits eine zweite Potentialfunktion $\hat{W}$ mit dem Minimum an der Stelle $\lambda = \Lambda_1$, also durch Veränderung der effektiven Netzwerkdicke N wird W^0 in den Zustand $W^1 + \hat{W}$ überführt (durchgezogene rote Linie).

Veränderung des elastischen Potential

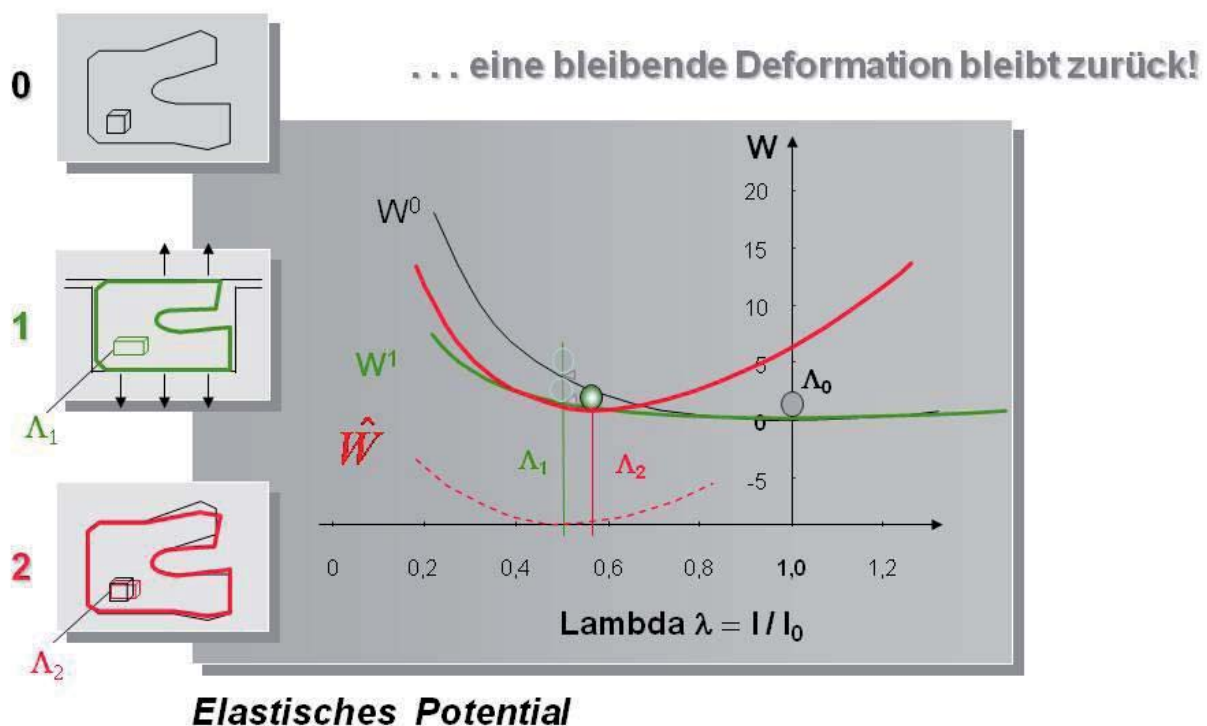


Abb. 8:

Veränderung des elastischen Potentials W durch Alterung; bezogen auf ein infinitesimales Volumenelement im Querschnitt einer Lippendichtung (wobei als Koordinate der Verformung λ nur die radiale Achse gezeigt ist).

Dabei bleibt die Kugel (Volumenelement) an der Stelle Λ_1 (konstante Deformation); lediglich die Steigung des elastischen Potentials an dieser Stelle hat sich verändert (verringert). Da die Steigung mit der Spannung in Verbindung gebracht werden kann, äußert sich darin die chemische Spannungsrelaxation. Demontiert man die Dichtung im Zustand 1, so entfällt der äußere Zwang auf das Volumenelement (Bremskeil wird entfernt; angedeutet als kleines Dreieck!). Dadurch kann sich die Kugel (Volumenelement) wieder in den Zustand minimaler Energie begeben (die Kugel bewegt sich in das Minimum der $(W^1 + \hat{W}, \lambda)$ -Kurve. Es resultiert daraus eine bleibende Verformung des Volumenelementes, denn die Kugel erreicht bei einer Abwärtsbewegung nicht mehr die Ausgangslage Λ_0 , sondern kommt im Punkt Λ_2 zur Ruhe. So versteht man recht anschaulich die Wirkung der „Alterungsvorgänge“ auf die bleibende Verformung. In der Abb. 9 ist das zugehörige Resultat aus einer FE-Simulation gezeigt.

Die Abb. 9₁ zeigt die Kolbendichtung im losen Ausgangszustand bei Raumtemperatur. Der mittlere Teil von Abb. 9 (Abb. 9₂) zeigt die auf den Kolben aufgezoogene und in den Zylinder eingebaute Kolbendichtung bei einer Temperatur von $T = 120^\circ\text{C}$. In dieser Lage verbleibt die Dichtung 1000h. Abb. 9₃ rechts zeigt den demontierten Zustand der Dichtung nach 1000h Belastungszeit und Abkühlung auf Raumtemperatur. Ein Vergleich mit der jungfräulichen Dichtung ist möglich, da die Kontur des Ausgangsprofils in dieses Bild eingearbeitet ist. Am Innendurchmesser der Dichtung hat die Simulation eine mittlere bleibende radiale Pressung von ca. 2 % berechnet. Daraus ergibt sich ein Compression Set von 66 %. Ob der gefundene Compression Set für einen konkreten Einsatz der vorliegenden Kolbendichtung noch tolerierbar ist, muss durch eine erweiterte numerische Simulation unter Berücksichtigung der resultierenden Druckbelastung analysiert werden.

Aging of a Lip-Seal:

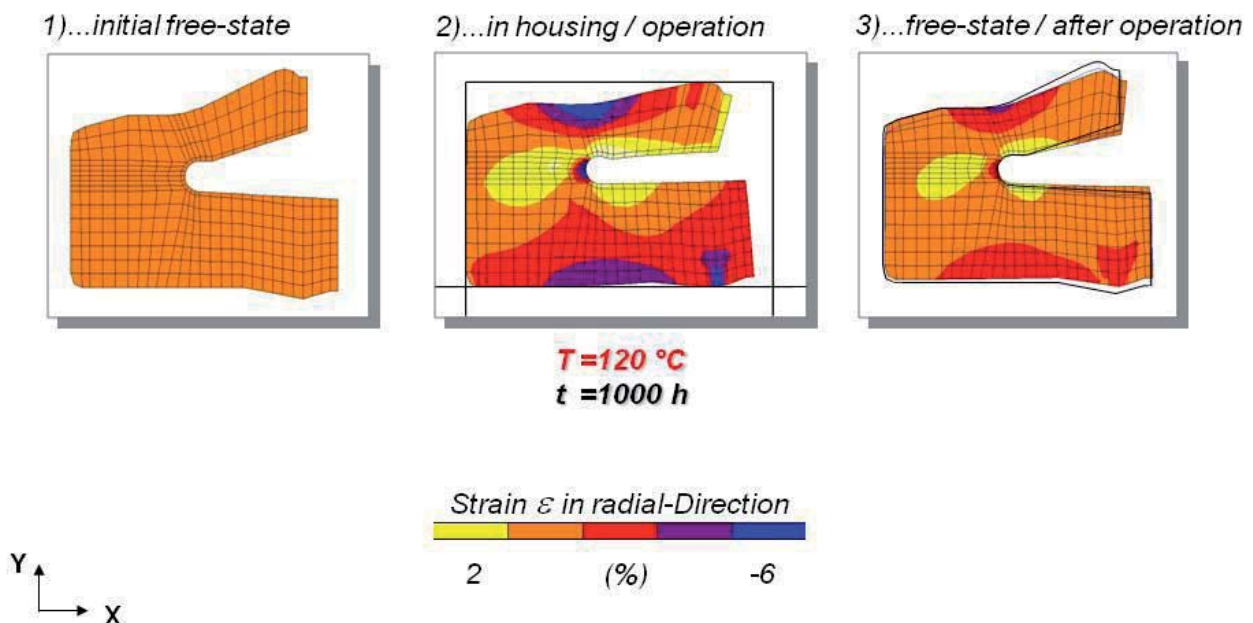


Abb. 9: FEA-Resultat zur Alterung von Lippendichtungen.

4 Abschließende Bemerkungen

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass der Nutzen der CAE-Methoden für die Dichtungstechnik darin besteht, Dichtungssysteme durch geeignete Modelle nachzubilden. Damit können Dichtungskonzepte im Entwurfsstadium an numerischen Modellen virtuell erprobt werden, ohne dass ein Prototyp hergestellt werden muß. Der numerischen Simulationstechnik kommt daher eine wachsende Bedeutung zu, da mit ihrer Hilfe Entwicklungszeiten und -kosten eingespart werden können. Es entstehen Modelle, deren statische und dynamische Eigenschaften mit denen des nachzubildenden Systems weitgehend übereinstimmen. Auf die Frage: „Was passiert, wenn ...?“ kann ein mit den erforderlichen Ressourcen ausgestatteter Dichtungshersteller durch numerische Untersuchungen am Modell schnell, zuverlässig und kostengünstig verbindliche Antworten finden. Wichtig dabei ist, daß der Werkstoff adäquat beschrieben wird; und dies stellt im Falle elastomerer Bauteile wegen der ausgeprägten viskoelastischen und chemo-rheologischen Eigenschaften dieser Werkstoffklasse hohe Ansprüche an den Entwickler. Bisher wurde ein sehr einfaches Reaktionsschema verwendet, um die Veränderung der Netzwerkdicke kinetisch zu beschreiben. Im Allgemeinen sind die Reaktionsmechanismen, die

sowohl zum Abbau als auch zur Umbildung bzw. Neubildung von Netzwerkstellen führen sehr viel komplizierter. Obwohl häufig im Detail nicht wirklich bekannt wie sich die chemische Reaktionskinetik auf die Veränderung der Netzwerkdicke auswirkt, wird in [12] ein verallgemeinerter Ansatz vorgeschlagen. Der interessierte Leser sei auf das zugehörige White-Paper verwiesen.

Dank umfangreicher Rechner-Simulationen können Ingenieure wichtige Eigenschaften von Dichtungen schon lange bevor die ersten Dichtungen tatsächlich hergestellt werden analysieren. Da die ersten „Prototypen“ somit bereits mehrere Optimierungszyklen durchlaufen haben, kann die reale Erprobung bereits mit einer seriennahen und funktionssicheren Dichtung erfolgen. Das spart Zeit und Geld. Ein weiterer, nicht zu unterschätzender Vorteil der Berechnung ist, dass neben dem eigentlichen Ergebnis ein tieferes Verständnis des Dichtungsproblems gewonnen wird. Die Berechnung ist in der Lage Zusammenhänge aufzuzeigen, die im Experiment oft verborgen bleiben.

Berechnung und Simulation sind deshalb heute mehr denn je wichtige, nutzbringende und somit unverzichtbare Werkzeuge im Dichtungs-Entwicklungsprozess, die allerdings heute und wohl auch in Zukunft den realen Versuch ergänzen, aber nie vollständig ersetzen können.

5 Literatur

- [1] R.S. Rivlin, "Large Elastic Deformations" in Rheology: " Theory and Application", Vol 1, F.R. Eirich, Ed., Academic Press, New York, 1956
- [2] L. Treloar, The Physics of Rubber Elasticity, 3rd ed., Oxford University Press, London 1973
- [3] I.D. Ferry: Viscoelastic Properties of Polymers, 3rd edition, John Wiley, New York, 1980
- [4] P. J. Flory, Principles of Polymer Chemistry, Cornell University Press, Ithaca, London 1953
- [5] W. Kuhn, Über die Gestalt fadenförmiger Moleküle in Lösung, Kolloidzeitschrift 68, p. 2, 1934
- [6] W. Kuhn, Beziehungen zwischen Molekülgröße, statistischer Molekülgestalt und elastischen Eigenschaften hochpolymerer Stoffe, Kolloidzeitschrift 76, p. 258, 1936
- [7] A.V. Tobolsky: Properties and Structure of Polymers, John Wiley, New York, 1960
- [8] E. Becker, W. Bürger, Kontinuumsmechanik, B. G. Teubner Verlag, Stuttgart 1975
- [9] F. R. Schwartz, Polymermechanik, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1990
- [10] M. Achenbach, (1995, Sept.) European Rubber Journal, 19; Rubber Seals for SUB-ZERO Applications, 1995
- [11] M. Achenbach, Ziel: längere Lebensdauer – Modellierung der Alterung von Gummidichtungen, **O&P** (Ölhydraulik und Pneumatik) 1-2 / 2008
- [12] <http://machinedesign.com/article/predicting-seal-life-with-fea-1026>

Thermomechanische Ermüdung – Simulation von Thermoschocks

Domen Šeruga, Marko Nagode (University of Ljubljana)

Michael Hack (LMS International N.V.)

Eric Hansenne (BOSAL Research N.V.)

In diesem Aufsatz stellen wir die Schädigungsakkumulation basierend auf einem Hystereseeoperator vor, der kontinuierlich sowohl isotherme und auch temperaturabhängige Belastungen mit Mittelspannungseinfluss berücksichtigt. Dieser Ansatz wurde sowohl im Spannungs- als auch im Dehnungskonzept entwickelt. Hier wird besonders auf Erweiterungen für Kriechschädigung und Spannungsrelaxation aufgrund viskoplastischer Effekte verwiesen.

Am Beispiel der Simulation von Thermoschocks an Abgasrohren in LMS Virtual.Lab, und dem Vergleich mit physikalischen Tests werden die Verfahren validiert.

1 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten konnte die Entwicklungszeit von Fahrzeugen durch Anwendung der fortgeschrittenen numerischen und experimentellen Methoden drastisch reduziert werden. Gleichzeitig sind aber die Anforderungen an die Betriebsfestigkeit und andere funktionelle Attribute für jedes neue Modell, für jedes Fahrzeug weiter gewachsen. Insbesondere auch für Gesamtfahrzeug und Komponenten unter variablen mehrachsiger Beanspruchung ist die Simulation der Materialermüdung einer der wichtigsten Schritte im Design-Prozess. Geeignete Materialkennwerte und Simulation sind der Schlüssel zu einer effizienten Lebensdauervorhersage. Allerdings ist die Betriebsfestigkeit von Motoren, Anbauteilen und anderen Komponenten im Antriebsstrang oft durch thermomechanische Ermüdung (TMF) bestimmt. Bei hohen Temperaturen wird es notwendig den Einfluss von Kriechen und viskoelastischer Spannungsrelaxation zu berücksichtigen, und das sowohl effizient als auch genügend genau.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen Überblick über eine neu entwickelte Methode für die Finite-Element basierte Simulation für TMF zu geben. Details und Beschreibung der Ansätze sind in [1, 2] zu finden. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf Dehnungskonzept aufgrund der extremen thermischen Belastung des getesteten Fallrohres. Der Ansatz für das Spannungskonzept und Anwendungen sind in [2, 3] zu finden.

Um für Komponenten unter TMF die Lebensdauer vorhersagen zu können, braucht man transiente temperaturabhängige strukturelle Finite-Element-Analysen (FEA) [4-6]. Zur Schädigungsanalyse ist der Schädigungsoperatoransatz (Damage Operator Approach DOA) neu entwickelt worden [1, 2]. Er nutzt die Temperaturen und Spannungstensoren aus der FEA zur Abschätzung der Lebensdauer. Die Spannungstensoren werden verwendet um die lokalen Spannungs-Dehnungsgeschichten zu ermitteln. Die Dehnungsgeschichte wird zur Ermittlung des zyklischen Schädigung, die Spannungsgeschichte zur Ermittlung der Kriechschädigung genutzt. Ein entscheidender Schritt dabei ist, dass der DOA, der ursprünglich für ratenunabhängiges elastoplastisches Materialverhalten mit kinematischer Verfestigung entwickelt wurde [7], so erweitert wurde, dass Viskoplastizität [8] und Kriechschädigung [9, 10] berücksichtigt werden können. Oxidation wird indirekt berücksichtigt. Zur Verifikation wurden Thermoschocktests bei BOSAL Research NV an Abgasrohren durchgeführt. Das untersuchte Material ist F12T EN 1,4512.

2 Zyklische und Kriechschädigung

Zur Bewertung von Betriebsfestigkeit unter Betriebslasten haben sich Rainflowbasierte Verfahren mit linearer Schädigungsakkumulation (Miner) etabliert. Da die lokale Temperatur einen Einfluss auf die Betriebsfestigkeitseigenschaften hat, beobachtet man starke Änderungen des Betriebsfestigkeitsverhaltens über die Zeit. Im Falle von Betriebslasten ist es typisch, dass gerade die größten Belastungszykel – die auch alleine einen signifikanten Beitrag zur Gesamtschädigung liefern, auch über eine lange Zeit geöffnet sind. In dieser Zeit können sich die äußeren Einflussfaktoren, wie die Temperatur stark ändern. Ein rainflowbasiertes Verfahren, das einen Belastungszyklus erst nach dem Schließen bewertet ist in diesem Fall nicht mehr gerechtfertigt.

Also muss man einen Schritt in der Analyse zurückgehen und die mathematische Grundlage der rainflowbasierten Verfahren untersuchen: dieses sind Hystereseoperatoren. In [7, 11, 12] wird die Äquivalenz dieses Ansatzes (DOA) mit rainflowbasierten Ansätzen für den Fall konstanten Betriebsfestigkeitsverhaltens (d.h. keine Temperaturänderungen etc.) gezeigt.

In diesem Artikel geben wir nur die Ergebnisse der Verfahren da, die Entwicklung der TMF basierten Schädigungsanalyse basierend auf dem DOA wird detailliert in [1-3] beschrieben.

Die zyklische Schädigung wird aus den elastoplastischen Dehnungen mithilfe eines solchen Hystereseoperators mit lineare Schädigungsakkumulation berechnet als

$$D_f(t_i) = \sum_{j=1}^i |\mathcal{D}(t_j) - \mathcal{D}(t_{j-1})| \quad (1)$$

$\mathcal{D}(t_j)$ beschreibt hier die zyklische Schädigungsentwicklung basierend auf (Dehnungs-)Wöhlerlinien

Die Kriechschädigung D_c hängt vom Spannungszustand, der Temperatur und der Zeit ab

$$D_c = \sum \frac{t_i(\sigma_i, T_i)}{t_{ri}(\sigma_i, T_i)} \quad (2)$$

Hier ist t_i / t_{ri} der jeweilige Anteil der Haltezeit an der ertragbaren Haltezeit zu der gegebenen Spannung.

Werden die Versuche zur Ermittlung der Materialkennwerte (zyklisch und Kriechschädigung) nicht im Vakuum sondern unter normaler Raumluft durchgeführt werden durch zyklische Schädigung D_f und Kriechschädigung D_c die Schädigung durch Oxidation schon berücksichtigt. Also

$$D = D_f + D_c \quad (3)$$

Um eine Verfälschung der zyklischen Werkstoffdaten durch Kriechschädigung zu vermeiden, sollten die zyklischen Werkstoffversuche bei hohen Dehnraten $\dot{\varepsilon} \rightarrow \infty$ durchgeführt werden [8]. Falls stabilisierte zyklische Spannungs-Dehnungskurven für $\dot{\varepsilon} \rightarrow \infty$ vorliegen, kann der elastoplastische Dehnungsanteil unabhängig vom viskoplastischen Anteil mithilfe eines nichtlinearen Maxwellmodells [8] modelliert werden (Abb. 1).

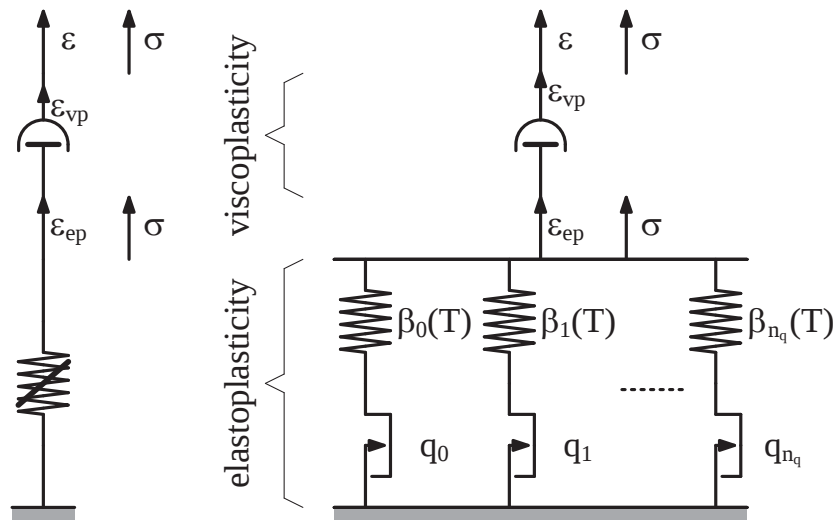


Abb. 1: Dehnungskontrolliertes nichtlineares Maxwellmodell

Steige Eingabegrößen $\varepsilon(t)$ und $T(t)$ (Abb. 2) werden für die Numerik durch Treppenfunktionen angenähert. Bei bekannter Gesamtdehnung berechnen wir viskoplastische Dehnung, elastoplastische Dehnung und Spannung.

Da die Spannung zwischen den Punkten 1 und 2 konstant angenommen wird (Abb. 2), ergibt sich die viskoplastische Dehnung als [8]

$$\begin{aligned} \varepsilon_{vp}(t_i) &\approx \dot{\varepsilon}_{vp}(t_{i-1})(t_i - t_{i-1}) + \varepsilon_{vp}(t_{i-1}) \\ &\approx \text{sign}(\sigma(t_{i-1})) \left\langle \frac{|\sigma(t_{i-1})| - k(T_{i-1})}{\tilde{K}(T_{i-1})} \right\rangle^{N(T_{i-1})} (t_i - t_{i-1}) + \varepsilon_{vp}(t_{i-1}) \end{aligned} \quad (4)$$

wobei

$$\tilde{K}(T_{i-1}) = \frac{K(T_{i-1})}{f(T_{i-1})^{1/N(T_{i-1})}} \quad \text{und} \quad f(T_{i-1}) = \begin{cases} 0 & T_{i-1} \leq T_c \\ \exp\left(\frac{T_{i-1} - T_{\min}}{T_{i-1} - T_c}\right) & T_c < T_{i-1} \leq T_{\min} \\ 1.0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Betrachten wir dann den Schritt zu Punkt 3 erhalten wir die elastoplastische Dehnung (dünne durchgezogene Linie) aus der Gesamtdehnung (dicke durchgezogene Linie) als

$$\varepsilon_{\text{ep}}(t_i) = \begin{cases} \varepsilon(t_i) - \varepsilon_{\text{vp}}(t_i) & T_i > T_c \\ \varepsilon(t_i) - \varepsilon_{\text{vp}}(t_{i-1}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

Hier beschreibt $T_c = 450\text{ °C}$ die (materialabhängige) Kriechtemperatur.

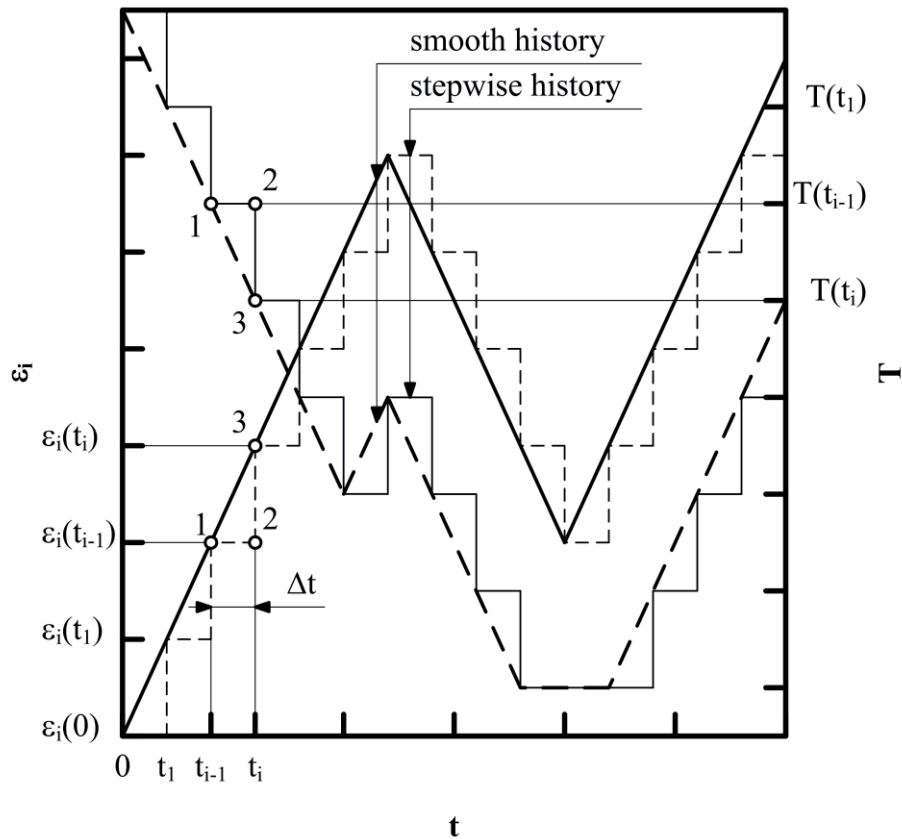


Abb. 2: Annäherung durch Treppenfunktionen

Damit ergibt sich $\sigma(t_i)$ in Operatorform [13] als

$$\sigma(t_i) = \sum_{j=1}^{n_q} \beta_j(T_i) \varepsilon_{\beta_j}(t_i) \quad (6)$$

für $0 \leq t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_i \leq \dots$, mit $\varepsilon_{\beta j}(t_i)$ Spieloperatoren mit verallgemeinerten Anfangsbedingungen

$$\varepsilon_{\beta_j}(t_i) = \max \left\{ \varepsilon_{\text{ep}}(t_i) - q_j, \min \left\{ \varepsilon_{\text{ep}}(t_i) + q_j, \frac{\beta_j(T_{i-1})}{\beta_j(T_i)} \varepsilon_{\beta_j}(t_{i-1}) \right\} \right\} \quad (7)$$

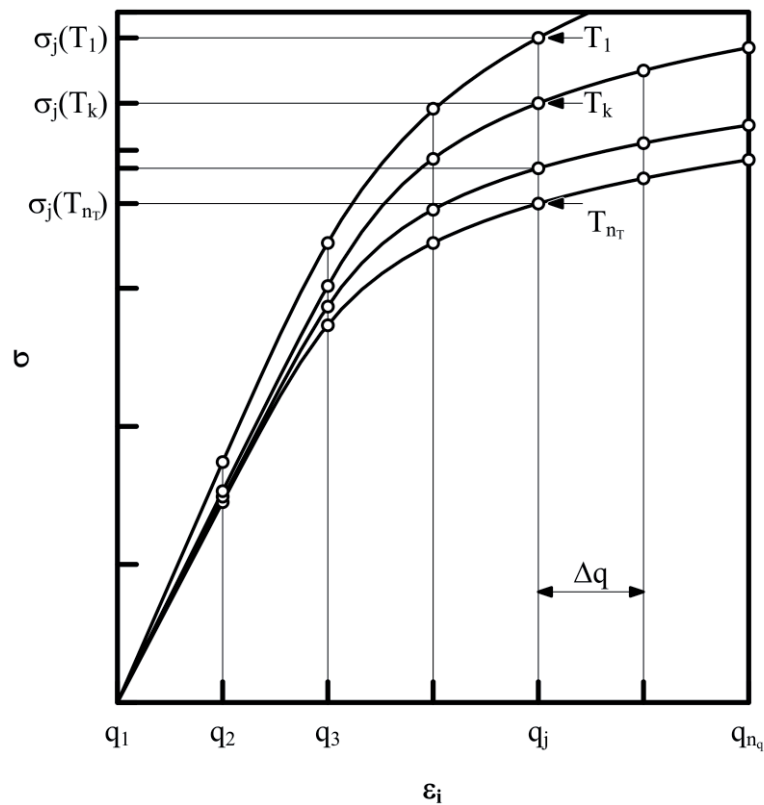


Abb. 3: Temperaturabhängige zyklische Spannungsdehnungskurven für $\dot{\varepsilon} \rightarrow \infty$

Die Werkstoffgrößen fließen als Prandtdichtefunktionen $\beta_j(T_k)$ ein und werden aus den stabilisierten zyklischen Spannungsdehnungskurven für $\dot{\varepsilon} \rightarrow \infty$ (Abb. 3) errechnet.

3 Materialdaten

Für das Anwendungsbeispiel wurden Zugversuche und Versuche für Dehnungswöhlerlinien bei 4 Temperaturen durchgeführt. (Tabelle 1)

Tabelle 1: Materialdaten für die zyklische Schädigung

Temperature [°C]	E [MPa]	σ'_f [MPa]	ε'_f [-]	b [-]	c [-]	Tensile Strength [MPa]	Compressive Strength [MPa]	N_E [-]	ε_E [-]
20	200000	672.97	0.45	-0.09	-0.59	407	407	6277120	0.000802
300	180000	521.62	0.45	-0.09	-0.59	360	360	1541680	0.000822
650	150000	185.14	0.45	-0.09	-0.59	165	165	21998	0.001291
850	110000	45.00	0.45	-0.09	-0.59	99	99	9896	0.001481

Ramberg-Osgood Daten (Tab. 2) wurden aus Parametern für ein Chaboche Modell für $\dot{\varepsilon}_{vp} = 0.1$ [14, 15] rückgerechnet.

Tabelle 2: Ramberg-Osgood Daten für Spannungsdehnungskurven

Temperaturen [°C]	K' [MPa]	n' [-]
20	603.417	0.121068
300	508.159	0.110327
650	183.131	0.033635
850	101.317	0.005154

Die Parameter für das nichtlineare Maxwellmodell (Tab 3) wurden aus [8] geschätzt. Dazu wurde lineare Regression auf

$$\ln(\dot{\epsilon}_{vp}) = N(T) \ln(\sigma - k(T)) - N(T) \ln(K(T)) \quad (8)$$

verwendet.

Tabelle 3: Viskoplastische Parameter

Temperature [°C]	k [MPa]	K [MPa]	N [-]
20	317.0	12.2	21.6
300	248.9	50.4	13.5
650	79.1	95.6	9.5
850	17.7	242.3	2.1

Zeitsaufstandskurven wurden nach dem Orr-Sherby-Dorn Parameter ermittelt [16] (Tab 4)

$$\log t_r = \frac{A}{T} + a_0 + a_1 \log \sigma + a_2 \log^2 \sigma \quad (9)$$

Tabelle 4: Orr-Sherby-Dorn Parameter

A	a_0	a_1	a_2
18544.44	-24.844	14.980	-5.040

4 Validierung am Abgasrohr

Für die Validierung wurden Versuche und Berechnungen an Abgasrohren (Abb. 4) durchgeführt. Die Rohre sind aus zwei konzentrischen Zylindern mit Lufteinschluss gefertigt, um Wärmeverluste an die Umgebung möglichst zu dämmen. Der Test bestand aus Thermoschockzyklen. Jeder Zyklus beinhaltete eine siebenminütige Aufheizphase von Raumtemperatur auf Höchsttemperatur und siebenminütigen Abkühlabschnitten (Abb. 5). Die Versuche wurden bis zum Versagen durchgeführt. Für die Simulation wurden elastoplastische FE-Analysen mit kinematischer Verfestigung für einen Thermoschockzyklus durchgeführt.

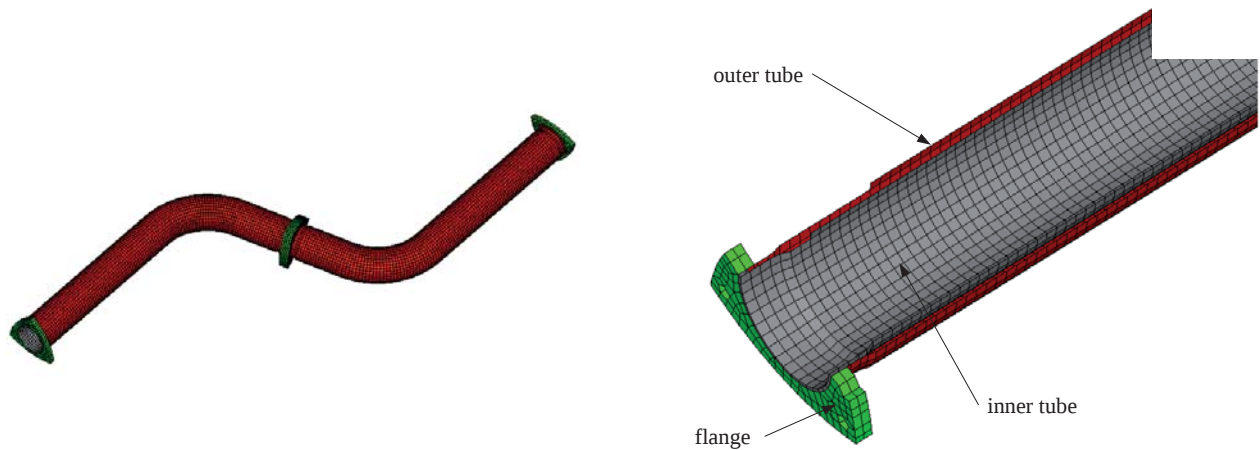


Abb. 4: FE-Modell (links) und Schnitt (rechts)

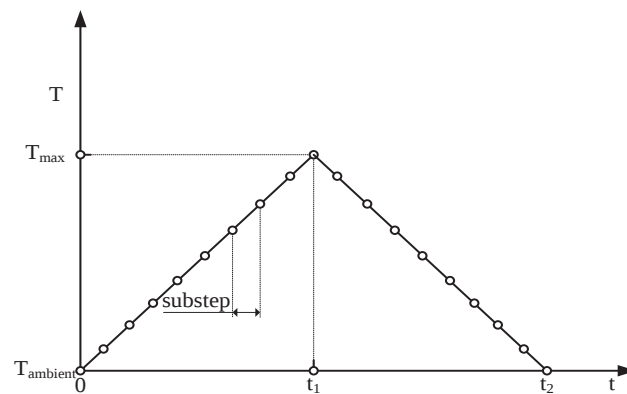


Abb. 5: Temperaturbelastungsfunktion

Die Schädigungsrechnung wurde anhand Rissöffnungsspannung (kritischer Ebenen Ansatz) mit Mittelspannungsberücksichtigung nach Smith-Watson-Topper durchgeführt. Das rechnerische Ergebnis von 18.8 Zyklen umfasst auch die Kriechschädigung. Auch wenn der Gesamttest lediglich 4.4 Stunden dauert, liegt der berechnete Anteil der Kriechschädigung bei 5%.

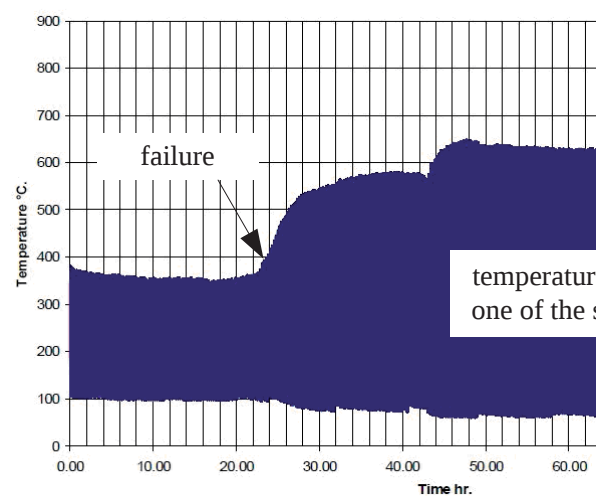


Abb. 6: Test Rohre und das detektierte Versagen durch Beobachtung des Temperaturverlaufes

Der Versuch wurde an vier Rohren durchgeführt. Zur Detektion des Versagens wurden kleine Rohr mit Thermoelementen angebracht. Bei Versagen des inneren Rohres tritt heißes Gas aus, die auftretende Temperaturänderung wird registriert (Abb. 6). Das Versagen trat in allen Versuchen an der kritischen Stelle (Abb. 7) auf, die auch von der Simulation vorhergesagt wurde. Die ertragenen Belastungszykel finden sich in Tab. 5. Der Vergleich mit der Simulation in Abb. 8.

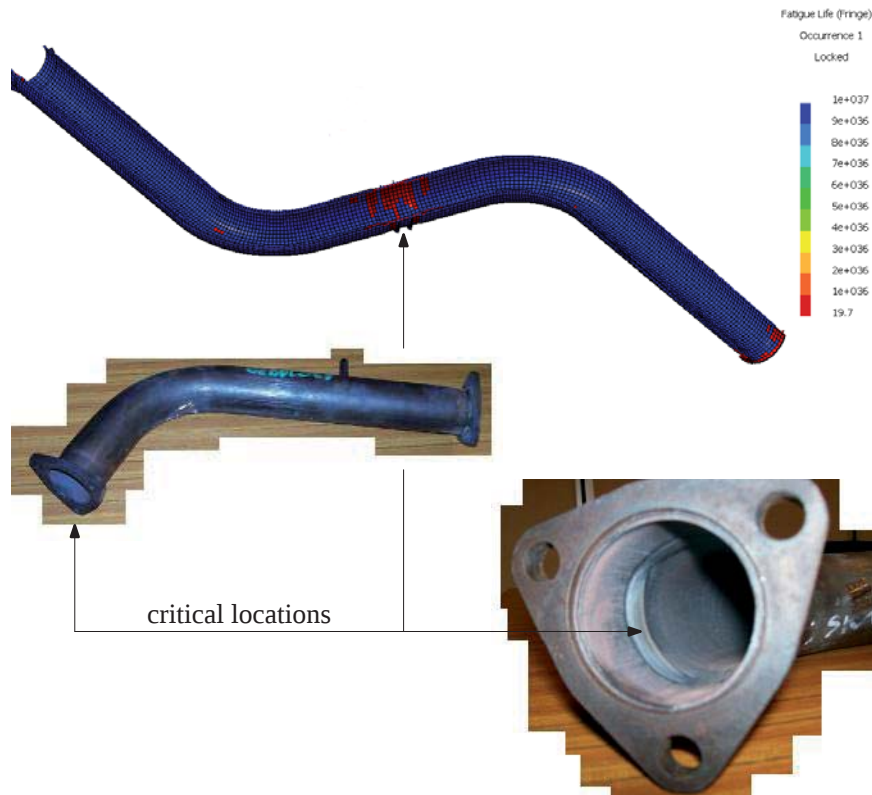


Abb. 7: Kritische Stelle

Tabelle 5: Versuchsergebnisse.

Sample number	Failure [hours]	Failure [cycle]
1	23	99
2	46	197
3	9.5	41
4	41	176

Es ist interessant festzustellen, dass die kritische Stelle nicht einfach der Stelle mit den höchsten Spannungen entspricht.

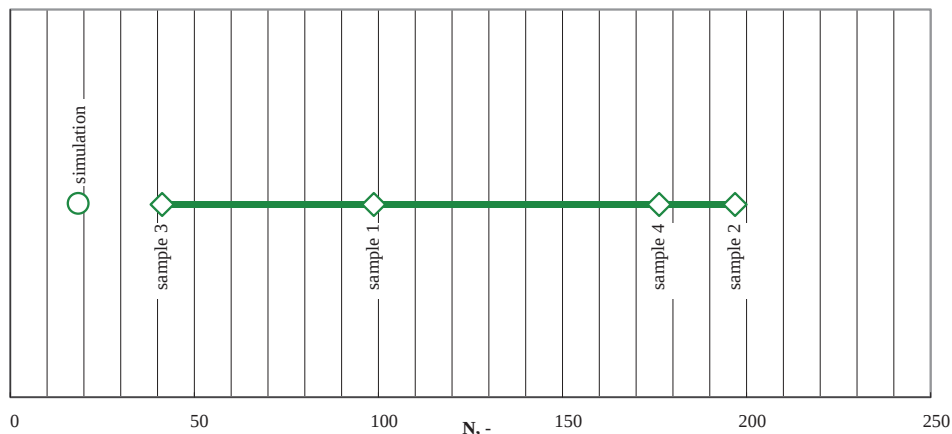


Abb. 8: Vergleich Simulation-Versuch

5 Zusammenfassung

Bei extrem hohen Temperaturen, wie sie typischerweise bei Thermoschocks auftreten, müssen viskoplastische Effekte und Kriechschädigung berücksichtigt werden. Allerdings kann durch die Berücksichtigung dieser Effekte in der Betriebsfestigkeitsrechnung auf komplexe FE Analysen verzichtet werden. Die Auswertung von FE Analysen mit kinematischer Verfestigung genügt. In der FE Analyse wird auch nur ein Zyklus simuliert. Die lokale Spannungsrelaxation wird dann im LMS Virtual.Lab Thermal Fatigue Berechnungsmodul durchgeführt. Der implementierte Schädigungsoperatoransatz (DOA) hat sich für Berechnungen von Thermoschocks bewährt.

6 Referenzen

- [1] Nagode, M., Hack, M. and Fajdiga, M.: "Low cycle thermo-mechanical fatigue: Damage operator approach", *Fatigue Fract Engng Mater Struct*, 33, 2010, pp 149-160.
- [2] Nagode, M., Hack, M. and Fajdiga, M.: "High cycle thermo-mechanical fatigue: Damage operator approach", *Fatigue Fract Engng Mater Struct* 32 6, 2009, pp. 505-514.
- [3] Nagode, M., Längler, F. and Hack, M.: "A time-dependent damage operator approach to thermomechanical fatigue of Ni-resist D-5S", *Int. J. Fatigue*, 33, 2011, pp 692-699.
- [4] Constantinescu, A., Charkaluk, E., Lederer, G. and Verger, L.: "A computational approach to thermomechanical fatigue", *Int J Fatigue* 26, 2004, pp. 805-818.
- [5] Charkaluk, E., Bignonnet, A., Constantinescu A. and Dang Van, K: "Fatigue design of structures under thermomechanical loadings", *Fatigue Fract Engng Mater Struct* 25, 2002, pp. 1199-1206.
- [6] Thomas, J. J., Verger, L., Bignonnet, A. and Charkaluk, E.: "Thermomechanical design in the automotive industry", *Fatigue Fract Engng Mater Struct* 27, 2003, pp. 887-895.
- [7] Brokate, M., Dressler, K., and Krejci, P.: "Rainflow Counting and Energy Dissipation in Elastoplasticity", *Eur. J. Mech. A/Solids* 15, 1996, pp. 705-737.
- [8] Nagode, M. and Fajdiga, M.: "Coupled elastoplasticity and viscoplasticity under thermomechanical loading", *Fatigue Fract Engng Mater Struct* 30 6, 2007, pp. 510-519.
- [9] Robinson, E. L.: "Effect of temperature variation on the creep strength of steels", *Trans. ASME* 160, 1938, pp. 253-259.
- [10] Šeruga, D. and Nagode, M.: "Unification of the most commonly used time-temperature creep parameters", *Mat. Sci. Eng. A* 528, 2011, pp. 2804-2811.
- [11] Brokate, M. and Srekels, J.: "Hysteresis and Phase Transition", *Applied Mathematical Sciences* 121, Springer, New York, 1996.
- [12] Hack, M.: „Schädigungs-basierte Hysterese-filter“, D386 (Diss Univ. Kaiserslautern), Shaker Verlag, Aachen, 1998.
- [13] Nagode, M. and Fajdiga, M.: "Temperature-stress-strain trajectory modelling during thermo-mechanical fatigue", *Fatigue Fract. Engng. Mater Struct* 29, 2006, pp. 175-182.
- [14] Meggiolaro, M. A. and Castro, J. T. P.: "Statistical evaluation of strain-life fatigue crack initiation predictions", *Int J Fatigue* 26, 2004, pp. 463-476.
- [15] Arcelor Mittal: "Behavior Models for Arcelor Mittal Stainless' high temperature grades dedicated to automotive exhaust line".
- [16] Landolt-Börnstein, Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology, Group VIII: Advanced Materials and Technologies, Volume 2, Creep Properties of Heat Resistant Steels and Superalloys.

Bitte per Post oder Fax senden:

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

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

e-mail: info@nafems.de

Adresse für Fensterkuvert

NAFEMS GmbH
Osterham 23D-83233 Bernau am Chiemsee
Germany

Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (1/2011)

☐ Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:☐ NAFEMS Mitgliedschaft☐ NAFEMS Magazin „Benchmark“☐ NAFEMS Seminare☐ NAFEMS Trainingskurse☐ NAFEMS World Congress 2011☐ Registered Analyst Zertifizierung☐ EU-Projekte☐ Internationale Arbeitsgruppen☐ 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.**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 Fax senden:

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

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

e-mail: info@nafems.de

Adresse für Fensterkuvert



NAFEMS GmbH
Osterham 23

D-83233 Bernau am Chiemsee
Germany

Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (1/2011)

☐ Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

☐ NAFEMS Mitgliedschaft

☐ NAFEMS Magazin „Benchmark“

☐ NAFEMS Seminare

☐ NAFEMS Trainingskurse

☐ NAFEMS World Congress 2011

☐ Registered Analyst Zertifizierung

☐ EU-Projekte

☐ Internationale Arbeitsgruppen

☐ 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.

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: _____

NAFEMS

MAGAZIN

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

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

www.nafems.org