

# NAFEMS

# Online-Magazin

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

**NEU!**  
 Jetzt international!

**Fachbeiträge in dieser Ausgabe**

**Strömungsmechanik**

Strömungssimulationssoftware in der Industrie: Gestern – Heute – Morgen

**Thermomechanik**

Untersuchung des Einflusses verschiedener Versuchskonfigurationen auf die Dichtspalttemperatur bei Radial-Wellendichtungen mittels CHT-Simulation

**Strukturmechanik**

Makroskopische Modellierung von langfaserverstärkten Bauteilen mit streuenden Materialeigenschaften – Berücksichtigung der Robustheit in der Strukturoptimierung

Bestimmung von FEM-Materialdaten für die Crashberechnung von Elastomeren unter Berücksichtigung großer Zug- und Druckverformungen

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

Alle bisherigen Ausgaben kostenlos zum Download unter:  
[www.nafems.org/magazin](http://www.nafems.org/magazin)

**Trainingskurse – Quick-Info**

**Einführung CFD**

19. - 20. März 2014, Wiesbaden

**Simulation und Analyse von Composites**

1. - 3. April 2014, Wiesbaden

**Einführung FEM**

5. - 7. Mai 2014, Wiesbaden

**Verification & Validation of Models and Analyses**

Herbst 2014, Frankfurt

**e-Learning-Kurse**

[www.nafems.org/e-learning](http://www.nafems.org/e-learning)



[www.CAE-JOBmarket.com](http://www.CAE-JOBmarket.com)

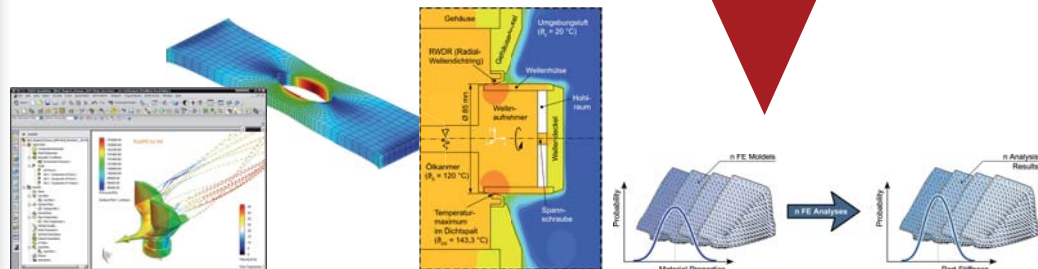
The online job market for CAE engineers

**EINFÜHRUNGSANGEBOT:**

30% Ermäßigung auf alle Anzeigen, die bis zum 30. April 2014 gebucht werden.

# NAFEMS DEUTSCHSPRACHIGE KONFERENZ 2014

20. - 21. Mai 2014  
 Bamberg



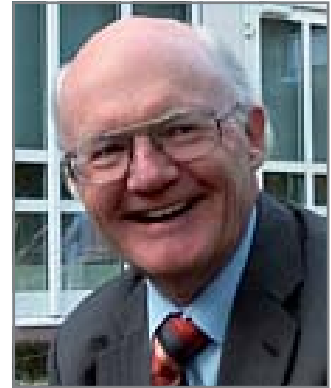
Sponsoren dieser Ausgabe:



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

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

schön, dass Sie in unser Magazin hineinschauen! Mit dem Magazin wollen wir bewusst machen, welche Möglichkeiten in der numerischen Simulation stecken und aktuelle Entwicklungen auf den unterschiedlichsten Anwendungsgebieten zur Kenntnis bringen. Bei aller Euphorie über die faszinierenden Fortschritte sollen aber auch Grenzen aufgezeigt und Probleme angesprochen werden. Insbesondere dienen dazu die sorgfältig ausgewählten, qualifizierten Fachbeiträge, in denen neue Erkenntnisse und Verfahren sowie relevante Modellentwicklungen und interessante Anwendungen vorgestellt werden. Zudem dient das Magazin als Kommunikationsplattform für Entwicklungen in den Softwarehäusern und für Informationen über Kurse und Veranstaltungen aus unterschiedlichen Feldern der Simulation. Ihnen wird das Magazin kostenlos online zur Verfügung gestellt, aber die Erstellung ist natürlich mit Kosten verbunden; insbesondere den Sponsoren, die einen wesentlichen Anteil dieser Kosten tragen, sei hiermit ausdrücklich gedankt.



*Prof. Dr.-Ing.  
Klaus Rohwer*

NAFEMS hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Simulation in all ihren Aspekten fachlich zu begleiten und für eine angemessene Ausbildung und Qualifikation der entsprechend tätigen Mitarbeiter Sorge zu tragen. Mit seinen Fachbeiträgen leistet auch das Magazin einen angemessenen Beitrag dazu. In diesem Heft finden Sie zunächst eine Untersuchung, die drei Phasen der zeitlichen Entwicklung kommerzieller Strömungssimulation hin zu einer Integration in den Entwicklungsprozess beleuchtet. In einer vierten Phase werden Fortschritte in der Multi-Physik-Simulation sowie eine verbesserte Gestaltung der Benutzerschnittstellen erwartet. Die Reibungswärme in dem Kontaktbereich einer radialen Wellendichtung und der Transport durch das Schmiermittel werden im zweiten Fachbeitrag analysiert. Ein Modell, mit dem Wärmeentwicklung und Dissipation in Flüssigkeiten und Festkörpern simuliert werden, erlaubt zudem den Einfluss der Testkonfiguration auf die Temperaturverteilung zu berechnen. Der dritte Fachbeitrag beschäftigt sich mit Strukturen aus Faserverbundwerkstoff, der sich aufgrund hervorragender spezifischer Eigenschaften besonders für den Leichtbau eignet. Optimierte Strukturbauteile, die aus einem Sheet Moulding Compound hergestellt werden. Dabei handelt es sich um eine duroplastische Matrix, verstärkt mit 20 bis 50 mm langen Fasern, die im Herstellungsprozess eine gewisse Ausrichtung erfahren. Schließlich wird noch auf die Aufwendungen eingegangen, die nötig sind, um das viskoelastische Verhalten eines kompakten Elastomers in einer Crash-Berechnung zuverlässig zu bestimmen.

Die getroffene Auswahl der Fachbeiträge umfasst nur ein begrenztes Anwendungsspektrum und kann daher die vielen Möglichkeiten der numerischen Simulation nicht vollständig widerspiegeln. Ich wünsche mir dennoch, dass auch für Sie etwas Interessantes dabei ist.

Mit freundlichen Grüßen

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

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



[www.comsol.de](http://www.comsol.de)

[www.3ds.com/simulia](http://www.3ds.com/simulia)



[www.intes.de](http://www.intes.de)



[www.esi-group.com](http://www.esi-group.com)



[www.mscsoftware.com](http://www.mscsoftware.com)



[www.simpack.com](http://www.simpack.com)

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

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

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

**Mitglieder des internationalen NAFEMS Councils**

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

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

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

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

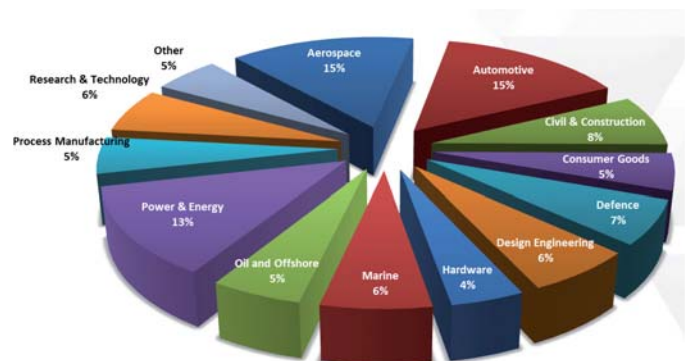
**Die Mitglieder des NAFEMS Steering Committees für Deutschland, Österreich und Schweiz sind:**

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

**Mitglied bei NAFEMS?**

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

- Freie Seminarplätze
- Benchmark (Internationales FEM-Magazin)
- Literatur
- Ermäßigungen für Trainingskurse, Kongresse und Literatur
- Zugriff auf passwortgeschützten Webbereich mit Kontaktmöglichkeiten und Informationen
- Kontakt zu über 1.000 Organisationen weltweit



**Werden auch Sie Mitglied !**  
[www.nafems.org/involved](http://www.nafems.org/involved)



**Impressum**

**Editor-in-Chief**

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

**Redaktioneller Beirat**

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

**Redaktion**

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

**Gestaltung / Layout / Anzeigen**

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

**Bezugspreis / Aboservice**

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

**Anzeigenpreise**

Preisliste vom 01.01.2014

**Verteilung / Bezug**

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

**Copyright © 2014, Werbos GbR.**

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

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

**ISSN 2311-522X**

Vorwort des Editor-in-Chief.....2  
Sponsoren .....3  
NAFEMS.....4  
Inhalt / Impressum .....5  
NAFEMS Mitgliedschaft im Detail.....6  
NAFEMS Training  
    Schulungs- und Konferenztermine / e-Learning / NAFEMS Trainer .....7  
    Trainingskurs: Einführung in die praktische Anwendung der FEM.....8  
    Trainingskurs: Introduction to CFD Analysis: Theory & Applications.....9  
    Trainingskurs: Verifikation und Validierung (V&V).....10  
    Trainingskurs: Simulation und Analyse von Composites.....12  
NAFEMS Konferenzen  
    **Deutschsprachige NAFEMS Konferenz 2014** .....13  
    Weitere regionale Konferenzen / European Multiphysics Conference 15  
    NAFEMS World Congress 2015 - Safe the Date .....16  
Professional Simulation Engineer PSE .....17  
Literatur: e-library / Bestellvorgang / Literaturlauswahl .....23  
Stellenanzeige: NAFEMS .....24  
www.CAE-jobmarket - das internationale Jobportal für Ingenieure .....25  
Neuigkeiten.....28  
Veranstaltungskalender .....41

**Fachbeiträge**

**Strömungsmechanik**

Strömungssimulationssoftware in der Industrie:  
Gestern – Heute – Morgen .....42  
    I. Weinhold (Mentor Graphics (Deutschland) GmbH)

**Thermomechanik**

Untersuchung des Einflusses verschiedener Versuchs-  
konfigurationen auf die Dichtspalttemperatur bei Radial-  
Wellendichtungen mittels CHT-Simulation .....52  
S. Feldmeth, F. Bauer, W. Haas (Universität Stuttgart)

**Strukturmechanik**

Makroskopische Modellierung von langfaserverstärkten Bauteilen  
mit streuenden Materialeigenschaften – Berücksichtigung der  
Robustheit in der Strukturoptimierung .....63  
    D. Troll, M. P. Marston, A. Albers (Karlsruher Institut  
    für Technologie (KIT))  
Bestimmung von FEM-Materialdaten für die Crashberechnung  
von Elastomeren unter Berücksichtigung großer Zug- und Druck-  
verformungen .....75  
    M. Bosseler, B. Kleuter, (Parsolve GmbH);  
    G. Risy (Volkswagen AG)

**Werbeanzeigen**

CAE-jobmarket.com .....37  
cd-adapco .....33  
Comsol Multiphysics .....35  
Demat (Euromold).....28  
DYNAMORE .....29  
Esocet .....31  
NAFEMS .....36, 39

Rückmeldeformular .....83





## Membership to suit you

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

### Site membership

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

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

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

### Corporate membership

*Tailored membership for large companies with multiple locations*

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

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

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

### Small company membership

*Cost-effective membership for small to medium sized enterprises*

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

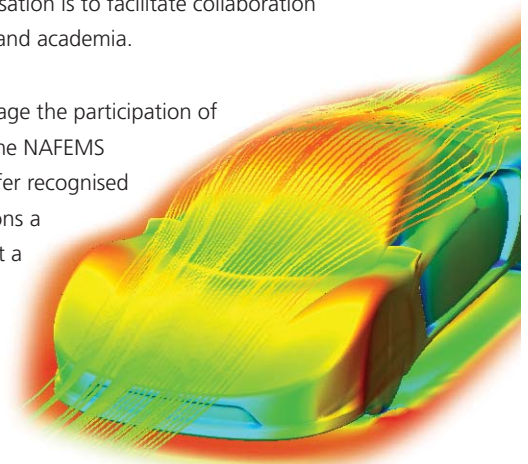
Small Company Membership is tailored to the specific needs of small to medium sized enterprises, and can also be appropriate in areas without a NAFEMS Regional Group.

### Academic membership

*Offering the benefits of site membership to recognised academic institutions*

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

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



[www.nafems.org/involved](http://www.nafems.org/involved)

## Schulungstermine

<b>Introduction to CFD Analysis: Theory and Applications</b> Wiesbaden, D – Inhalte und Infos auf Seite 9 <a href="http://www.nafems.org/events/nafems/2014/cfd-course1/">www.nafems.org/events/nafems/2014/cfd-course1/</a>	19. - 20. März
<b>Simulation und Analyse von Composites</b> Wiesbaden, D – Inhalte und Infos auf Seite 12 <a href="http://www.nafems.org/events/nafems/2014/comp-course1/">www.nafems.org/events/nafems/2014/comp-course1</a>	1. - 3. April
<b>Einführung in die praktische Anwendung der FEM</b> Wiesbaden, D – Inhalte und Infos auf Seite 8 <a href="http://www.nafems.org/events/nafems/2014/fem-2/">www.nafems.org/events/nafems/2014/fem-2/</a>	5. - 7. Mai
<b>Verification &amp; Validation of Models and Analyses (V&amp;V)</b> Frankfurt, D – Inhalte und Infos auf Seite 10 <a href="http://www.nafems.org/events/nafems/2013/vandv2">www.nafems.org/events/nafems/2013/vandv2</a>	Herbst

## Konferenzen

<b>NAFEMS NORDIC Konferenz</b> Göteborg, S – Inhalte und Infos auf Seite 15 <a href="http://www.nafems.org/nordic2014">www.nafems.org/nordic2014</a>	13. - 14. Mai
<b>Deutschsprachige NAFEMS Konferenz</b> Bamberg, D – Inhalte und Infos auf Seite 13 <a href="http://www.nafems.org/dach2014">www.nafems.org/dach2014</a>	20. - 21. Mai
<b>Informationen zu allen anderen regionalen NAFEMS Veranstaltungen finden Sie unter</b> <a href="http://www.nafems.org/2014">www.nafems.org/2014</a>	



<b>NAFEMS European Conference: Multiphysics Simulation</b> Manchester, U.K. - <b>CALL FOR PAPERS</b> <a href="http://www.nafems.org/mp2014">www.nafems.org/mp2014</a>	21.-22. Oktober
---	-----------------

## e-Learning Kurstermine

E-Learning ermöglicht schnelle, höchst effektive und kostengünstige Trainings. Hier werden Grundlagen vermittelt, die für die sichere und zuverlässige Anwendung kommerzieller Softwareprogramme wichtig sind. Folgende Themen werden regelmäßig angeboten

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

Aktuelle Termine und weitere Infos unter [www.nafems.org/e-learning](http://www.nafems.org/e-learning)

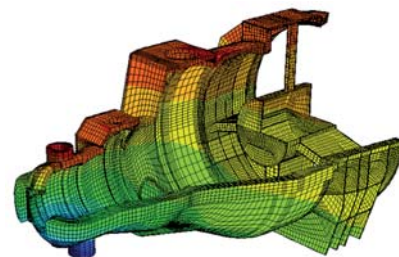
## Werden Sie NAFEMS Trainer

NAFEMS wird das Kursangebot regional und international ausbauen und sucht Ingenieure aus Industrie und Hochschule, die gerne (nebenbei) als Referenten arbeiten möchten. Auch im deutschsprachigen Raum möchten wir unser Angebot ausbauen - wir freuen uns auf Sie. Bei Interesse senden Sie bitte eine e-mail an [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de).

## 3-tägiger NAFEMS Trainingskurs FEM

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

5. - 7. Mai 2014 in Wiesbaden / auch als Inhouse-Kurs buchbar



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

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

### Inhalte

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

### Referent



Dr.-Ing. Wolfgang Senger

Herr Dr. Senger hat nach seinem Maschinenbau-Studium bei einem namhaften Softwareanbieter die Anwender von FE-Programmen beraten und Schulungen gegeben. Als Abteilungsleiter Berechnung und Simulation des Ingenieurdienstleisters Semcon Rhein-Main GmbH in Rüsselsheim ist er heute verantwortlich für anspruchsvolle Berechnungsprojekte in der Automobilbranche und in anderen Industrien. Im Mittelpunkt der Arbeit steht die Lösung von Fragestellungen der technischen Mechanik mit der FE-Methode. Herr Dr. Senger kann auf Grund seiner langjährigen Berufserfahrung den Schulungsteilnehmern sowohl die Theorie der FE-Methode als auch den praktischen Einsatz näher bringen.

### Kursprache

Deutsch

### Inhouse-Kurs

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

[www.nafems.org/events/nafems/2014/fem-2/](http://www.nafems.org/events/nafems/2014/fem-2/)

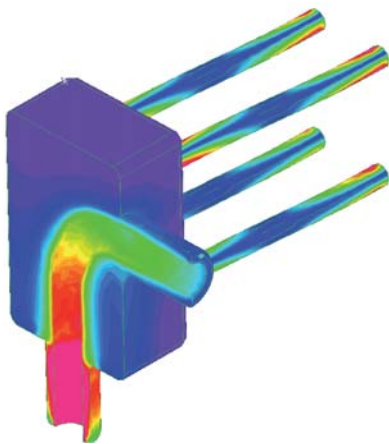


## 2-tägiger NAFEMS Trainingskurs CFD

# Introduction to CFD Analysis: Theory and Applications

19. - 20. März in Wiesbaden / auch als Inhouse-Kurs buchbar

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



### Inhalte

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

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

### Kurssprache

Englisch / Deutsch, falls nur deutschsprachige Teilnehmer.

### Inhouse-Kurs

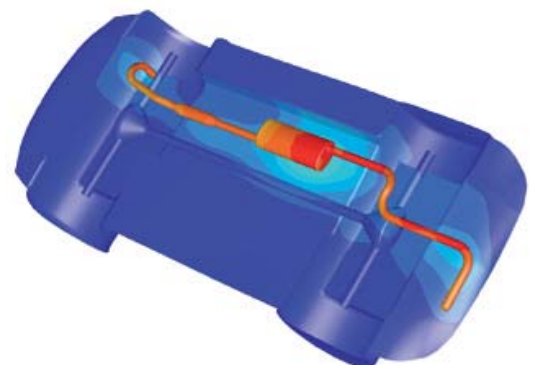
Dieser Kurs wird auch als Inhouse-Kurs bei Ihnen vor Ort angeboten. Bitte fordern Sie nähere Informationen an - Rückmeldeformular auf der vorletzten Seite.

### Referent



Prof. Dr.-Ing. Gangolf Kohnen

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



[www.nafems.org/events/nafems/2014/cfd-course1/](http://www.nafems.org/events/nafems/2014/cfd-course1/)

## 2-tägiger NAFEMS Trainingskurs V&V (englischsprachig)

# Verification & Validation of Models and Analyses

*Bitte ggf. vormerken lassen, der Kurs ist schnell ausgebucht - einfach per e-mail an [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de).*

Herbst 2014 / auch als Inhouse-Kurs buchbar

Engineering simulation plays an increasing role in industry's search for competitiveness and technology based innovation at every stage of the design, qualification and certification of

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

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

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

### The Course

#### Participants of this master class will:

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

### Who Should Attend?

#### This master class course is designed for:

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

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

### Program

#### Introduction

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

#### Validation, Qualification & Certification of Industrial Products

- Fundamentals on product validation, qualification and certification

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

#### **V&V and Simulation Management**

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

#### **Realistic Simulation**

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

#### **V&V Fundamentals and Standards**

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

#### **Verification**

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

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

#### **Uncertainty Quantification**

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

#### **V&V Implementation Strategies**

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

#### **Course Language**

Englisch

#### **Tutors**



Jean-Francois Imbert

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



Philippe Pasquet

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

## 3-tägiger NAFEMS Trainingskurs

# Simulation und Analyse von Composites

1. - 3. April 2014 in Wiesbaden / auch als Inhouse-Kurs buchbar

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

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

### Training

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

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

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

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

### Wer sollte teilnehmen

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

### Programm

#### Tag 1

- Klassische Laminattheorie und Laminattheorien höherer Ordnung
- Mischungstheorien und Mikromechanik

#### Tag 2

- Festigkeitskriterien und Materialdegradationsmodelle
- Einführung in die Schädigungsmechanik

#### Tag 3

- Schädigungsmodelle für Verbundwerkstoffe
- Delaminationsmodellierungen

### Referent



Dr.-Ing.  
Daniel Hartung

Premium Aerotec  
GmbH

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

### Kurssprache

Deutsch

### Inhouse-Kurs

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

[www.nafems.org/events/nafems/2014/comp-course1](http://www.nafems.org/events/nafems/2014/comp-course1)



Vortragsprogramm ab Mitte März unter

[www.nafems.org/dach2014](http://www.nafems.org/dach2014)

# NAFEMS DEUTSCHSPRACHIGE KONFERENZ 2014

20. - 21. Mai 2014  
Bamberg

## Berechnung und Simulation – Anwendungen, Entwicklungen, Trends

Die Konferenz bietet Ihnen ein einzigartiges, unabhängiges, neutrales, übergreifendes und umfassendes Informationsangebot im Bereich der numerischen Simulationsmethoden.

Nach der erfolgreichen, ersten deutschsprachigen NAFEMS Konferenz im Jahr 2012, bei der fast 100 Fachpräsentationen zu den Themen FEM, CFD, MKS, SDM etc. vorgetragen wurden, möchten wir Sie nun herzlich zur zweiten regionalen Konferenz von 20. - 21. Mai 2014 nach Bamberg einladen.



Plenarvorträge von Dr. Ralph Sundermeier (Volkswagen AG) und Prof. Peter Wriggers (Universität Hannover) bei der letzten deutschsprachigen Konferenz in Bamberg 2012.

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



Welcome Hotel Bamberg

Anwendungen und Trends mit Spezialisten aus Forschung und im besonderen Maße aus der Industrie zu diskutieren. Über 240 Teilnehmer nutzen dies bei der vergangenen Konferenz 2012 in Bamberg. Die Teilnahme ist gleichsam offen für NAFEMS Mitglieder und Nichtmitglieder, wobei NAFEMS Mitglieder im Rahmen ihrer Mitgliedschaft kostenlos teilnehmen.

**Veranstaltungsort / Hotel**

Welcome Kongresshotel Bamberg  
 Mußstrasse 7, 96047 Bamberg  
[www.welcome-hotels.com](http://www.welcome-hotels.com)

**Teilnahmegebühren**

Nicht-Mitglieder: 695,- Euro  
 NAFEMS-Mitglieder: frei\*  
 Proceedings, Mittagessen und

Pausengetränke sind enthalten.  
 Preise jeweils zuzügl. ges. MwSt.

**\* Mitgliedsgebühren**

Eine Standard NAFEMS site membership kostet 1.050 Euro pro Jahr. Eine Academic site membership kostet 650 Euro pro Jahr. NAFEMS Mitglieder erhalten sechs seminar credits (1 credit entspricht 1/2 Seminar-/Konferenztag) pro Jahr. Für diese Veranstaltung werden vier credits je Teilnehmer benötigt. Sie können als Mitglied also 1,5 Personen zur Veranstaltung senden – es rechnet sich schnell, Mitglied zu werden. Sollten die seminar credits bereits verwendet worden sein, können NAFEMS Mitglieder zu einem reduzierten Preis teilnehmen: Euro 490,— / Person

**Ausstellung und Sponsoring**

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

**Tagungssprache**

Deutsch und Englisch

**Konferenzorganisation**

NAFEMS GmbH  
 Osterham 23, D-83233 Bernau  
 Tel. +49 80 51 - 96 59 3 49, Fax  
 +49 80 51 - 96 74 3 37  
 e-mail: [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de)

**Konferenzwebsite**

[www.nafems.org/dach2014](http://www.nafems.org/dach2014)

Platin Sponsoren		
Gold Sponsor	 — Mechanical Analysis	
Silber Sponsoren	 <small>Know-how für Ihre virtuelle Produktentwicklung.</small>	
		 <small>Ihr Partner für Abaqus</small>
Medienpartner		
		

## Weitere NAFEMS Konferenzen

# Regionale NAFEMS Konferenzen 2014

Weltweit finden 2014 weitere regionale Konferenzen in den verschiedenen NAFEMS Regionen statt:

**NORDIC:**  
Göteborg, S - 13.-14. Mai

**DACH:**  
Bamberg, D - 20.-21. Mai

**Americas:**  
Colorado Springs, USA - 28.-30. May

**Frankreich:**  
Paris, F - 4. -5. Juni

**UK:**  
Oxford, UK - 10. - 11. Juni



## European Conference on Multiphysics

21 -22 October 2014  
Manchester, U.K.

**CALL FOR PAPERS**

NAFEMS is pleased to announce the second European Conference on multiphysics in October 2014. The conference will provide an overview of state-of-the-art-methods for coupled and multiphysics simulations, mainly within the context of industrial applications and CAE. Topics that will be covered include:

- > Industrial applications of multiphysics
- > Collaborations of industry with academia
- > Multiphysics and HPC
- > Optimization in multiphysics
- > Teaching multiphysics
- > Validation of multiphysics simulations

The conference brings together researchers, developers, teachers, and users of multiphysics simulation methods to present new results, exchange ideas and discuss the challenges. It is an excellent opportunity to connect to other practitioners in the field of multiphysics and coupled simulations.

### Call for presentations

In the first instance, abstracts of 300-600 words should be submitted for consideration by **20th June 2014**. Abstracts must be clearly marked with presentation title, author's name, organisation, address, phone numbers and email address. The conference will include keynotes, exhibits, and breakout sessions. You are invited to submit an abstract by e-mail to [jo.davenport@nafems.org](mailto:jo.davenport@nafems.org).

[www.nafems.org/mp2014](http://www.nafems.org/mp2014)

# SAVE *the* DATE

## NAFEMS World Congress 2015

June 21st-24th 2015

San Diego | California | USA



**Need more information?**

**Want to register your interest as a sponsor,  
exhibitor, presenter or attendee?**

**Get in touch!**

**Email [nwc15@nafems.org](mailto:nwc15@nafems.org) or call +44(0)1355 22 56 88**

**[www.nafems.org/congress](http://www.nafems.org/congress)**



## Certification

# Professional Simulation Engineer



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

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

### About the PSE Competency Tracker

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

#### Browsing PSE Competencies

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

#### Educational Resources

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

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

### Measuring & Tracking Competency

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

**The PSE Competency Tracker can be accessed by NAFEMS members at [www.psecompetencytracker.org](http://www.psecompetencytracker.org).**

### About PSE Certification

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

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

**Apply online for PSE Certification at [www.nafems.org/pse](http://www.nafems.org/pse).**

More Information on page on the following pages.



# PSE

Professional Simulation Engineer



## A New Standard for Simulation Engineers

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

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

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

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

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

**PSE Modules include:**

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



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

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

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



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

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

There are three main functions of the PSE Competency Tracker:

#### Access PSE Competencies

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

#### Browse Educational Resources

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

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

#### Measure & Track Competency

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

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

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

## Key Features

#### For Individual Analysis & Simulation Engineers...

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

#### For Team Managers...

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

#### For Technical Leaders & Human Resource Managers...

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

## Benefits

#### For Individuals....

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

#### For Companies....

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





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

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

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

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

## PSE Certification Standard

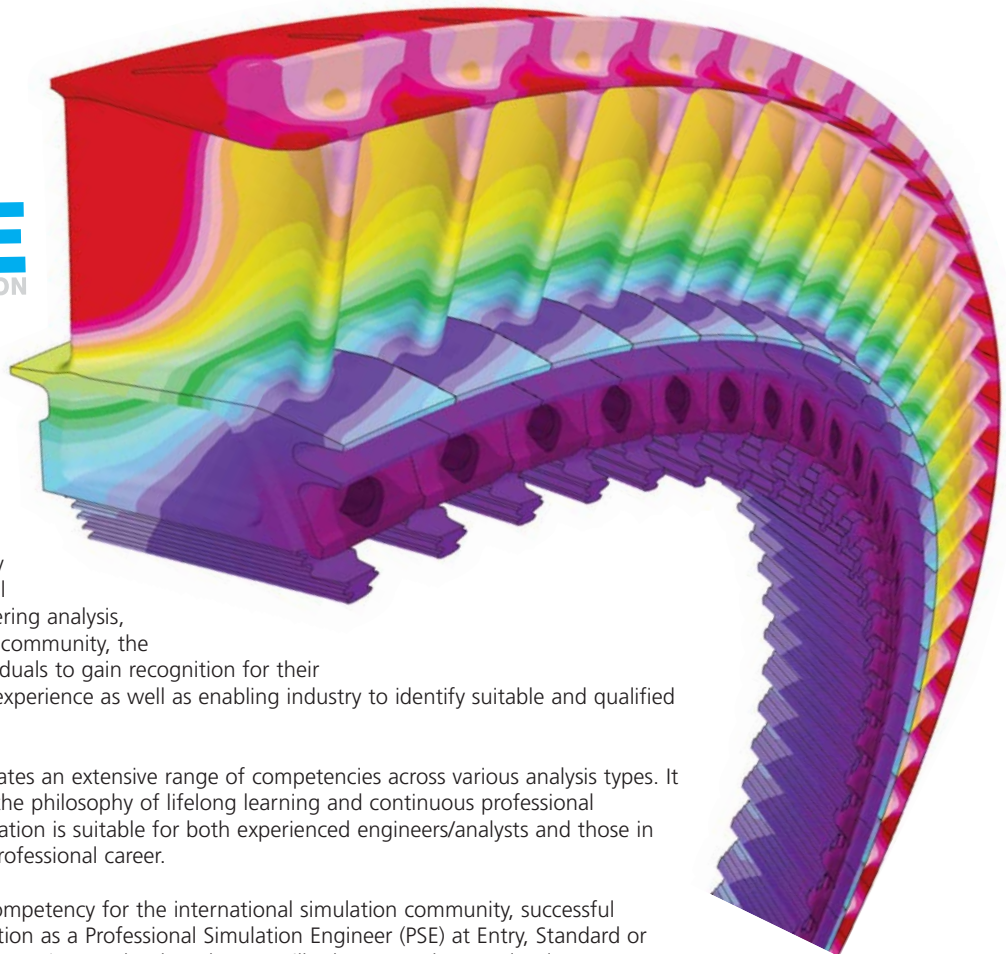
PSE Certification is based on the simple concept that the 'Professional Simulation Engineer' certificate is achieved by an independent assessment of workplace competency.

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

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

### PSE Certification has been designed to:

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



## Certification Levels

Applicants can gain certification in any number of technical areas.

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

### Entry Level

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

### Standard Level

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

### Advanced Level

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

## Benefits

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

### Benefits for Individuals...

For individuals some of the benefits of PSE certification include:

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

### Benefits for Companies...

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

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

## who should apply?

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

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

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

[www.nafems.org/pse/certification](http://www.nafems.org/pse/certification)



# e library

Corporate Subscription

## NAFEMS reference library at the click of a button

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

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

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

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

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

### Find out about subscription today

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

<http://www.nafems.org/publications/e-library/>

### NAFEMS Publikationen auch über NAFEMS GmbH bestellen

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

Wir hoffen, Ihnen damit den Bestellvorgang zu erleichtern.

**NEU!**

#### Kürzlich wurden folgende neue Bücher veröffentlicht:

- **Finite Element Analysis for Engineers - A Primer**
- **Validating Numerical Modelling in Geotechnical Engineering**
- **The NAFEMS Simulation Capability Survey 2013**
- **Generation and Propagation of Sound in Solids and Fluids – Modern Analysis Methods in Acoustics**

[www.nafems.org/publications](http://www.nafems.org/publications)



# NAFEMS

## JOB OPPORTUNITY Technical Officer

NAFEMS is seeking to appoint a Technical Officer. This is a new role, the key responsibilities of which will be to:

- Co-ordinate, stimulate and inspire the fifteen committees of volunteers that currently develop the technical documentation for NAFEMS
- Gather together and implement an ongoing plan for the ongoing creation and maintenance of technical documentation
- Provide input to a policy of exploiting new forms of media for the distribution of technical information by NAFEMS
- Act as a representative of NAFEMS during the execution of externally funded projects
- Assist with the attainment of funding for future projects
- Present the technical activities of NAFEMS at conferences and seminars

The successful candidate will have a solid background in engineering and must be able to demonstrate a proven track record in the practical application of CAE techniques. The position will be based in the UK in either the Knutsford or Hamilton offices but will involve a degree of travel to attend meetings.

You will be enthusiastic and articulate and will have a strong understanding of the values and objectives of NAFEMS.

You will have excellent communication skills, both oral and written. You should be efficient and capable of working on your own initiative in carrying out your day-to-day tasks with limited need for supervision.

You will ideally have between six and twelve years of experience beyond a first degree which will have been gained across a range of different industry sectors.

Interested candidates should send their application and salary expectation to

[vacancies@nafems.org](mailto:vacancies@nafems.org)





**www.CAE-JOBmarket.com**  
The online job market for CAE-engineers

RECENT JOBS    CREATE JOB ADVERT    SEARCH JOB ADVERT

Unser Jobportal [www.CAE-Stellenmarkt.de](http://www.CAE-Stellenmarkt.de) wird international und ist seit dem 1. März 2014 unter [www.CAE-jobmarket.com](http://www.CAE-jobmarket.com) online.

Speziell zugeschnitten auf den Bereich CAE (Computer Aided Engineering) richtet die das Portal an CAE-Berechnungsingenieure sowie an CAE-Consultants, Projekt ingenieure usw. aus Industrie, Forschung, Entwicklung und Lehre.

Auf diesem Portal bieten wir Ihnen attraktive Preise sowie ein einfaches Online-Eingabesystem für Ihre Stellenanzeigen. Die aktuelle Preisliste finden Sie auf Seite 27.

Das Portal entstand in Kooperation mit dem NAFEMS Online-Magazin. Durch die enge Kooperation erreichen Stellenanbieter speziell CAE-Ingenieure – vom Einsteiger bis zum Spezialisten.

Und so einfach geht's:

**EINFÜHRUNGSANGEBOT:**  
30% Ermäßigung auf alle Anzeigen, die bis zum 30. April 2014 gebucht werden.



**www.CAE-JOBmarket.com**  
The online job market for CAE-engineers

RECENT JOBS    CREATE JOB ADVERT    SEARCH JOB ADVERT

## Welcome at CAE-Jobmarket

Welcome to our job portal especially for CAE-engineers (Computer Aided Engineering) from industry, research&development and education. The portal has been developed in cooperation with the NAFEMS online magazine, the German magazine for numerical simulation methods and related fields (FEM, CFD, MBS, VR, etc.). Please use our search or browse through the categories directly.

### New Job Ads

- Teamleiter CAE Fahrzeugsicherheit Ingolstadt (m/w)
- Berechnungsingenieur Fahrzeugcrash
- Entwicklungsingenieure Berechnung (m/w)
- Entwicklungsingenieur Berechnung (m/w)
- CAE Technischer Projekt Leiter / Senior Projekt Ingenieur - Insassenschutz

### Search Job

Search and find your new job. Enter a search term, or use the detailed search to further limit your search to.

Your search term:

>>> [Click here to get detailed search ...](#)

### Post a Job

Enter your job ad easy and simple. You can simply enter your ad by editor, or upload already existing job PDFs. If you have any questions, please contact us.

>>> [Here you can post your job announcement ...](#)

### Browse by main categories

Aerospace (0)

Agriculture and Forestry (0)

### Browse by sub categories

Acoustics (0)

Analysis (general) (7)

### JOB PROVIDERS

Post your job announcement here and reach CAE engineers from the beginner to the professional

Simply book adverts via the online text-based data entry screens with your company logo (standard) or upload a pdf of your ad designed by yourself (individual).

Through close cooperation with the NAFEMS online magazine, with NAFEMS and international universities, organizations and educational institutions, we reach very special group of CAE engineers, exactly your target audience.

To meet the international requirements, scope and functionality is continuously extended and improved with new features.

#### Agencies

We offer a 15 % agency discount for individual advertisements. For online entries, we unfortunately can not give discounts.

### IN COOPERATION WITH



### CATEGORIES

Automotive (2)

Consumer Products (1)

**Willkommens-Bildschirm:**

Hier finden Sie einen Überblick über die Möglichkeiten und Angebote.



**Stellenanzeige aufgeben:**

Hier können Sie selbst Text und Logo (Standard) oder ein gestaltetes pdf (Individuell) hochladen. Je nach Auswahl leiten Sie Eingabemasken durch das Menü.

Hier können Sie gewünschte Sprachkenntnisse ebenso wie den gewünschten Arbeitsort angeben und über die in die Suchmaschine filterbar machen.

**Post Job Ad**

Application contact details

Please enter your contact information to which the applications will be sent to. The data will not be published. We will send the invoice to the email address that was specified under Billing Address. Find your job posting in 1-2 days.

The fields marked with an asterisk (\*) are required.

Name\*

Surname\*

Company name\*

email address\*

Phone number\*

Job advertisement

Please enter the details for your ad. Enter your ad text itself (default display), or upload the designed PDF (Individual display).

run-time of advertisement\*  30 Days - Standard-Ad (220 Euro)  
 90 Days - Standard-Ad (300 Euro)  
 30 Days - Individual-Ad (400 Euro)  
 90 Days - Individual-Ad (500 Euro)



**Detail search**

Here you can search for your detailed job

Search string:

Country:

City:

Selected main category:

- Automotive
- Consumer Products
- Education and Training
- Engineering / Site Construction
- Engineering Company / Service Provider
- IT / Telecommunication
- Measurement / Control Technology
- Software Companies/Trading

Selected sub category:

- Analysis (general)
- Composites
- Design
- High Performance Computing (HPC)
- Method Development/Programming / Software Development
- Optics/Optoelectronics/Photonics
- Optimisation
- Simulation of Manufacturing Processes (Forming, Shaping, Bonding, ...)
- Visualisation

**Stellenangebote suchen:**








Verschiedene Suchkriterien und -optionen erleichtern die Suche.



**www.CAE-JOBmarket.com**  
The online job market for CAE-engineers

RECENT JOBS    CREATE JOB ADVERT    SEARCH JOB ADVERT

**Recent Jobs**

	Teamleiter CAE Fahrzeugsicherheit Ingolstadt (m/w)	Working place: 85053 Ingolstadt Country: Germany
	Berechnungsingenieur Fahrzeugcrash	Working place: 74172 Neckarsulm Country: Germany
	Entwicklungsingenieure Berechnung (m/w)	Working place: Munich and Ingolstadt Country: Germany
	Entwicklungsingenieur Berechnung (m/w)	Working place: 95111 Rehau bei Hof Country: Germany
	CAE Technischer Projekt Leiter / Senior Projekt Ingenieur – Insassenschutz	Working place: 69126 Heidelberg Country: Germany
	Ingenieur (m/w) Vermessungswesen / 3D- Koordinatenmesstechnik	Working place: 88131 Lindau (Bodensee) Country: Germany
	Software-Entwickler	Working place: 88131 Lindau (Bodensee) Country: Germany

**Aktuelle Stellenanzeigen:**

Hier werden alle aktuellen Stellenanzeigen als Vorschau mit Logo, Titel und Standort gelistet.

**Preise und Konditionen**

	Euro / 30 Tage	Euro / 90 Tage
<b>Stellenanzeige</b>		
Online-Eingabe, je	220	300
Individuell (pdf), je	310	480
Refresh je 50 Euro		
<b>Praktikanten</b>		
Online-Eingabe, je	30	–
Individuell (pdf), je	50	–
<b>Mengenstaffel</b>		
Bei gleichzeitiger Buchung:		
Online-Eingabe: 3 - 4 Anzeigen, je	200	275
5 und mehr Anzeigen, je	175	240
Individuell (pdf): 3 - 4 Anzeigen, je	280	425
5 und mehr Anzeigen, je	240	360

**Bannerwerbung (30/90 Tage)**

Banner Leaderboard:  
Top: 300/800, Bottom: 250/670  
Banner Box:  
Top: 220/590, Bottom: 200/540

**Kombianzeige mit NAFEMS Online-Magazin**

Bei gleichzeitiger Buchung einer Stellenanzeige im NAFEMS Online-Magazin erhalten Sie 25% Ermäßigung auf die Magazin-Stellenanzeige.

**Agenturrabatte**

15% AE-Vergütung für individuelle (pdf) Anzeigen.

Preise pro Buchung pro Unternehmen, zzgl. ges. MwSt. Pro Stellenanzeige kann nur eine Stelle ausgeschrieben werden. Preisliste vom 31. Mai 2012. Angebote freibleibend. Es gelten unsere allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGB).

**EINFÜHRUNGSANGEBOT:**  
30% Ermäßigung auf alle Anzeigen, die bis zum 30. April 2014 gebucht werden.



**ALTAIR ENGINEERING**

**Werkzeug für Produktlebensdauervorhersagen**

Die Altair Partner Alliance (APA) gab bekannt, dass ihr Angebot um die Software DigitalClone, die Sentient Science Lösung zur Vorhersage von Materialversagen, erweitert wurde. Als erste Lösung dieser Art innerhalb des Programmes wird es DigitalClone den HyperWorks Nutzern ermöglichen, Produktlebenszyklen durch die Vorhersage der Versagenswahrscheinlichkeit schon während des Designprozesses besser zu kontrollieren.

**Altair Enlighten Award**

Altair kündigte an, dass sich das Jurorengremium für den 2014 Altair Enlighten Award aus hochrangigen Führungskräften der Automobilindustrie zusammensetzt. Der Altair Enlighten Award ist das einzige Award-Programm der Automobilindustrie, das speziell Innovationen im Bereich

Fahrzeuggestaltung, die vor allem zur Verbesserung der Treibstoffeffizienz und der Leistungsfähigkeit wichtig sind, auszeichnet. In Zusammenarbeit mit dem „Center for Automotive Research (CAR)“ hat Altair diese Auszeichnung ins Leben gerufen, um besondere Leistungen bei Gewichtsreduzierungen innerhalb der Fahrzeugindustrie, von Motorrädern über Personenwagen, Transporter, Lastwagen bis hin zu Bussen zu würdigen. Das Unternehmen lädt ein, Beitragsvorschläge einzureichen. Die Preisverleihung findet während des CAR Management Briefing Seminars 2014 in Traverse City, Mich. vom 4.-7. August 2014 statt.

**Konsortiumspartner beim Amedeo ITN Projekt**

Altair gab bekannt, dass das Unternehmen seine führende Computer-Aided-Engineering (CAE) Software Suite HyperWorks allen Nachwuchsforschern des Amedeo ITN Projek-

tes (Aerospace Multidisciplinary Enabling Design Optimisation Marie Curie Initial Training Network) frei zur Verfügung stellt.

**NVH Angebot der Partnerallianz**

Die Altair Partner Alliance (APA) kündigte an, dass das NVH (Noise, Vibration, Harshness) Analysewerkzeug AlphaCell von Matelyst nun für HyperWorks Anwender als Download zur Verfügung steht. AlphaCell ergänzt das derzeitige NVH-Angebot der APA, indem es den Anwendern die Simulation des vibroakustischen Antwortverhaltens mehrschichtiger Verkleidungen unter verschiedensten Anregungen ermöglicht.

**Neues Managementteam für EMEA und Deutschland**

Altair gab bekannt, dass das Unternehmen für Europa ein neues Managementteam benannt hat. Seit dem 1. Januar 2014 leitet Dr. Detlef Schneider als Senior Vice President EMEA die Geschäfte in Europa, im mittleren Osten und in Afrika. Dr. Pietro Cervellera hat die Position des Altair Geschäftsführers in Deutschland übernommen und ist nun für die Geschäfte in Deutschland, Österreich, der Schweiz und Osteuropa verantwortlich.

[www.altair.de](http://www.altair.de)

**ANSYS**

**Neue EM Simulationssuite für Leiterplatten**

Das Design und die Optimierung komplexer elektronischer High-Speed Komponenten wird Dank der erweiterten Suite und neuer Funktionalität von Ansys Slwave™ schneller, bedienerfreundlicher und genauer. Die Ansys-Elektromagnetik (EM) Simulationssuite zum Design von High-Speed-Leiterplatten und Integrated Circuit (IC)-Gehäusen ist jetzt mit drei neuen Zielprodukten erhältlich: Slwave-DC, Slwave-PI, und Slwave. Die Benutzer können schnell und mit größerer Flexibilität Spannungsversorgungs- und Signalqualitätsprobleme identifizieren und somit einen kompletten Satz





## KOSTENLOSE INFORMATIONSTAGE

### LS-DYNA – Das numerische Simulationsprogramm für viele Anwendungen

An diesem kostenlosen Informationsnachmittag können Sie sich über die Möglichkeiten des Berechnungsprogramms LS-DYNA und dem zugehörigen Optimierungsprogramm LS-OPT informieren.

LS-DYNA zählt zu den weltweit führenden Finite-Elemente-Softwaresystemen für die Simulation von hochgradig nichtlinearen physikalischen Problemen und wird charakterisiert durch:

- Explizite und implizite Zeitintegration
- Diskretisierungsmethoden: FEM, BEM, ALE, EFG, SPH und DEM
- Softwareumgebung mit unterschiedlichen Lösern für Festkörper, Fluide, Temperatur und Elektromagnetismus
- Kombinationsmöglichkeiten der unterschiedlichen Löser und Berechnungsabschnitte
- Prozessübergreifende Simulation ohne Übergang auf andere Softwarepakete möglich
- Typische Anwendungsgebiete: Crashsimulation, Metallumformung, Aufprall- und Falltests, Detonationen, Durchschlag/-stoß, Fluid-Struktur-Interaktion sowie thermo-mechanisch und elektro-magnetisch gekoppelte Probleme

Agenda und weiterführende Informationen:

[www.dynamore.de](http://www.dynamore.de)

Informationstage:

31. März Zürich, Schweiz

1. April Turin, Italien

3. Juni Berlin, Deutschland



Bild: Daimler AG



Bild: Volkswagen AG

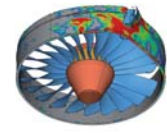


Bild: Inprosim GmbH

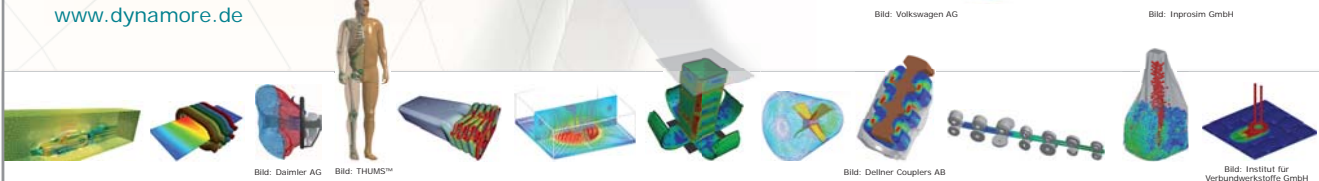


Bild: Daimler AG

Bild: THUMS™

Bild: Dellner Couplers AB

Bild: Institut für Verbundwerkstoffe GmbH

an Analysemöglichkeiten auf den gesamten Leiterplatten-Designflow anwenden.

#### Strömungssimulation

Durch einen weiteren Ausbau der bereits sehr umfangreichen Funktionalitäten im Bereich der Preprocessing-, Löser- und Optimierungstechnologien ermöglicht die neue Ansys 15.0 Version den Anwendern, kürzere Entwicklungszeiten und damit eine weitere deutliche Verkürzung der Zeiten bis zur Produkteinführung.

#### Gewinner des Hall of Fame 2014-Wettbewerbs

Von den komplexen Strukturen des menschlichen Herzens bis hin supraleitenden Beschleunigermagneten behandeln die Gewinner des fünften jährlichen Hall of Fame-Bildwettbewerbs von Ansys höchst komplexe Fragestellungen auf dem Gebiet des technischen Designs.

Der Hall of Fame-Wettbewerb bietet Ansys-Anwendern die Möglichkeit, ihre Fähigkeiten in Simulation und Entwicklung durch die Erzeugung attraktiver Bilder und Animationen unter Beweis zu stellen. Für die Wettbewerbsphase im Herbst 2013 gab es erstmals Einreichungen in zwei Kategorien, Unternehmen und akademische Einrichtungen. Dies gab Ansys die Möglichkeit, mehrere Gewinner in der jeweiligen Kategorie auszuzeichnen.

#### Ansys 15.0 steigert Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit

Dank erheblicher Verbesserungen bei der Verarbeitungsgeschwindigkeit steht den Anwendern von Ansys 15.0 bei der Strukturanalyse jetzt mehr Zeit für die Auswertung der Simulationsergebnisse zur Verfügung, da die Analysen schneller aufgesetzt und durchgeführt werden können. Das vor kurzem vorgestellte neue Ansys 15.0 bietet den Anwendern

reichhaltige Funktionalitäten für die verschiedensten Anwendungen. Bei diesem ersten aus einer Reihe von Technologie-Updates, mit denen die Funktionalität in den drei Physik-Hauptbereichen vorgestellt werden soll, stehen Verbesserungen für die Strukturanalyse im Fokus. In zwei Folgepressemittteilungen wird ein weitergehender technischer Einblick in die neuen Fähigkeiten im Bereich der Strömung und der Elektronik gegeben. Die immer weiter zunehmende Komplexität von heutigen Produkten spiegelt sich in Form von größeren Baugruppen, komplexeren Geometrien und fortschrittlichen neuen Werkstoffen wider. Die aktualisierten Strukturanalyse-Tools in Ansys 15.0 erleichtern es den Anwendern, zu schnellen, exakten Lösungen zu gelangen und damit Produkte zu schaffen, welche die Kundenerwartungen übertreffen

### ANSYS führt vier der sechs besten F1-Renntteams zum Sieg

Das Jahr 2013 erwies sich als eine weitere erfolgreiche Rennsaison für die Kunden von Ansys in der Formel 1-Rennserie. Zum vierten Mal nacheinander sicherte sich Infiniti Red Bull Racing die Konstrukteursweltmeisterschaft, und drei weitere Kunden von ANSYS sind unter den sechs besten F1-Teams zu finden.

### ANSYS und Reaction Design fusionieren

ANSYS gab den Abschluss einer definitiven Fusionsvereinbarung mit Reaction Design bekannt, einem führenden Entwickler von chemischer Simulationssoftware. Die Transaktion soll im Januar 2014 abgeschlossen werden. Nach erfolgreichem Abschluss wird die Geschäftsleitung weitere Einzelheiten zur Transaktion und zu ihrer Auswirkung auf das erwartete Geschäftsergebnis 2014 bekanntgeben.

[www.ansys-germany.com](http://www.ansys-germany.com)

### BETA CAE

#### Neue Tochtergesellschaften in Schweden und Italien

Die BETA CAE Systems S.A. kündigte den weiteren Ausbau ihres Geschäfts mit der Gründung einer Tochtergesellschaft in Italien und Schweden an. Die BETA CAE Italy Srl, mit Sitz in Turin, und die BETA CAE Nordic A.B. mit Sitz in Göteborg, haben einen verbesserten Kundenservice zum Ziel.

BETA CAE Italy Srl, Strada del Drosso 33/8, 10135 Torino, Italy

Tel: +39-011-19580463, E-mail: [ansa@beta-cae.it](mailto:ansa@beta-cae.it), [www.beta-cae.it](http://www.beta-cae.it)  
BETA CAE Nordic AB, Lindholmspiren 5A, 6th floor, SE-41756 Göteborg, Sweden, Tel: +46-31-220400, E-mail: [ansa@beta-cae.se](mailto:ansa@beta-cae.se), [www.beta-cae.se](http://www.beta-cae.se)

#### SPDRM v1.0.1 verfügbar

Die Release v1.0.1 des Simulation, Process, Data & Resources Manager (SPDRM) ist ab sofort verfügbar.

### ANSA & µETA v15.0.0

Die Release v15.0.0 der Pre- und Postprocessing suite ANSA & µETA ist ab sofort verfügbar.

[www.beta-cae.gr](http://www.beta-cae.gr)

### CADFEM

#### Akustik-Simulation mit Ansys 15.0

Mit der Software-Version Ansys 15.0 bietet Cadfem jetzt einen noch einfacheren Einstieg in die Akustik-Simulation. Die neue Version enthält unter anderem zusätzliche Berechnungsmöglichkeiten der Schallabstrahlung im Nah- und Fernfeld sowie erweiterte Modelle zur Analyse von Dämpfungseffekten. Mit der von Cadfem angebotenen Software Ansys Mechanical™ (plus ACT Acoustics Extension) werden Simulationen mit wenigen Mausclicks gestartet, um die Entstehung von Geräuschen in vibrierenden Strukturen und deren Ausbreitung in Luft und anderen Medien zu analysieren. Damit lassen sich Schalldruck und Schalleistungspegel während der Produktentwicklung einfach und schnell ermitteln, was bei traditionellen akustischen Messungen oft mit hohem Zeit- und Kostenaufwand verbunden ist. Die Berücksichtigung der akustischen Aspekte ist nicht nur auf Grund der entsprechenden gesetzlichen Vorschriften sowie sonstiger Normen und Regeln wichtig, sondern auch wegen der wachsenden Kundenanforderungen an neue Produkte. Anhand eines virtuellen Prototypen kann bereits in einer sehr frühen Phase des Produktentwicklungsprozesses die Geräuschenstehung lokalisiert, beurteilt und minimiert werden. Gleichzeitig erhält der Ingenieur ein besseres Verständnis des Produktverhaltens. Die Untersuchung von Varianten und alternativen Konzepten sowie von neuartigen Ideen lässt sich in kurzer Zeit und kosteneffizient realisieren. Mit Ansys Workbench ist ein durchgängiger parametrisierbarer Workflow definierbar, der schnelle Änderungen von Design und Randbedingungen ermöglicht und eine Automatisierung

von Simulationsprozessen unterstützt. Dabei können unterschiedliche physikalische Disziplinen wie Elektromagnetik, Strukturmechanik und Akustik eingebunden werden. Neuheiten in Ansys 15.0 Die neue Version Ansys 15.0 ermöglicht sowohl eine starke als auch eine schwache akustische Kopplung (Zwei- und Ein-Weg-Kopplung) zur Berechnung von Schallabstrahlung im Nah- und Fernfeld. Dabei können akustische Lasten aus harmonischen Strukturberechnungen mit Ansys importiert, aber auch Ascii-Daten von Drittanbietern, beispielsweise von Messungen, integriert werden. Zusätzlich wurden die Modelle für Dämpfungseffekte bei der Durchschallung von porösen und perforierten Strukturen sowie dünnen Kanälen und Spalten (viskothermische Dämpfung) erweitert. Mehr Informationen dazu unter: [www.cadfem.de/akustik](http://www.cadfem.de/akustik)

[www.cadfem.de](http://www.cadfem.de)

### CD-ADAPCO

#### Wie man jeden Berg bezwingt

In diesem Jahr wird die Eingangsrede der STAR Global Conference 2014 von Herrn David Breashears, den US-amerikanischen Bergsteiger und Filmregisseur gehalten. In seinem Vortrag wird er atemberaubende und bisher kaum veröffentlichte Bilder seiner IMAX Everest Expedition zeigen. Auf eindrucksvolle Art und Weise erzählt Breashears über die Vision, den Mut und der Leidenschaft, die sein Team auf den Gipfel geführt haben. Ebenfalls wird Breashears auf Themen wie Erfolg durch Teamwork sowie der Bedeutung der Führungskraft, Ressourcenverwaltung und Werkzeugauswahl eingehen, welche unerlässlich sind um auch die größten Hindernisse zu bewältigen.

#### Dow Chemical Company

CD-adapco veranstaltete kürzlich ein 2 tägige Konferenz mit dem Themenschwerpunkt computergestützte Strömungssimulation im Bereich der Öl und Gas Industrie sowie Chemie und Verfahrenstechnik. Firmen wie

The Dow Chemical Company, Shell, Norton Straw, Eastman Chemical, MSI Kenny, University of Houston, PNNL und ExxonMobil trugen Ihre Anwendungsbeispiele anschaulich vor. Hauptredner der Konferenz war Dr. Christopher Jian, Senior R & D Leader of the Fluid Mechanics & Mixing and Solids Processing Disciplines, der Dow Chemical Company mit seinem Vortrag "Pursuit of Integrated Capabilities in Chemical Engineering and Innovation". Dr. Jian sagte, "In der hochtechnologischen Welt der chemischen Verfahrenstechnik entdecken wir täglich neue und innovative Produkte und Prozesse. Ingenieure weltweit entwickeln fortschrittliche Materialien in allen Bereichen, von Unterhaltungselektronik, Haushalts- und Körperpflege bis hin zu landwirtschaftlichen Produkten um unser Leben zu verbessern und unsere Umwelt und Ressourcen nachhaltig zu schonen. „Experimentelle Strömungsmechanik, computerunterstützte Strömungssimulation und grundlegende technische Analyse bilden die drei Säulen bei Dow Chemical und werden in die Entwicklung eingebunden, um das Ziel innovative Lösungen zu finden, zu erreichen.“ So Dr. Jian. Dr. Ravi Aglave, Director for the Chemical Process Sector, bei CD-adapco beobachtete dass "unsere derzeitiger Zusammenarbeit mit den CFD-Ingenieuren von Dow Chemical es uns ermöglicht, unsere Fähigkeiten in diesem Bereich zu verbessern um die Herausforderungen der chemischen Industrie anzugehen.

[www.cd-adapco.com](http://www.cd-adapco.com)

### CLOUD-SME

#### Projekt CloudSME – erste Apps auf der cloudgestützten Simulationsplattform realisiert

Die beim zweiten Projekttreffen von 28.-30. Januar in Wildhaus präsentierten Ergebnisse aus den bisherigen Partner-Use-Cases vermittelten einen ersten Eindruck über die Funktionalität der CloudSME-Simulationsplattform. In den nächsten Monaten richtet sich alle Energie auf



Gestaltung: drp/legende.de / Foto: iStock - Fotolia

Frühbucharbonus sichern!

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.
- Informieren** ▶ Sie sich auf unserer Info-Veranstaltung an der TH Ingolstadt am **14. März 2014**, in unseren regelmäßigen Info-Webinaren oder auf [www.esocaet.com/studium](http://www.esocaet.com/studium).
- Kontakt** ▶ Anja Vogel  
Tel. +49 (0) 80 92 / 70 05 - 52



Technische Hochschule  
Ingolstadt



HOCHSCHULE  
LANDSHUT



esocaet  
european school of  
computer aided engineering  
technology



den Open Call ab Mitte Mai 2014, in dem sich weitere Unternehmen aus der Simulationssoftware-, Fertigungs- oder Ingenieurbranche als neue Projektpartner bewerben können. Eine neue Geschäftsidee umzusetzen oder in neue Technologien und Verfahren zu investieren, stellt für Unternehmen eine große Herausforderung dar. Durch den Einsatz von Simulationssoftware lässt sich das Risiko einer Fehlinvestition jedoch erheblich minimieren. Simulationstechnologien versetzen Unternehmen in die Lage, neue Anwendungen, Produkte oder Arbeitsabläufe bereits vorab unter nahezu realen Bedingungen zu testen und Fehlerquellen aufzuspüren, was auch ihre Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit erheblich verbessert. Das EU-Projekt CloudSME ermöglicht Fertigungs- und Engineering-Unternehmen einen kostengünstigen Zugang zu High-Performance-Computing-gestützter Simulationssoftware durch die Cloud. Anwender-Unternehmen haben dabei die größtmögliche Flexibilität, da sie via Webbrowser je nach Bedarf Zugriff auf maßgeschneiderte Simulationslösungen erhalten (One-stop-shop, pay-per-use), ohne sich um Softwarelizenzen oder eine eigene HPC-fähige Infrastruktur Gedanken machen zu müssen. Für Softwareentwickler bedeutet das Angebot ihrer Software in der Cloud ein neues Geschäftsmodell, das es ermöglicht, ihr Produkt einem weitaus größeren Kreis potentieller Kunden zugänglich zu machen, als zuvor. In diesem Monat trafen sich die gegenwärtigen 16 Projektpartner, die gegenwärtig am Aufbau der Plattform arbeiten, zum ersten Mal seit dem Projekt-Kick-off im letzten Sommer. Das Meeting fand in Wildhaus in der Schweiz statt und gab einen Einblick in den aktuellen Stand der Technik. Die CloudSME-Simulationsplattform (CSSP) eignet sich besonders für rechen- und/oder speicherintensive Simulationen wie auch für die Auswertung großer Datenmengen (Big Data Analysis). Zum Beispiel für die Beschleunigung der Berechnung von Strömungsdynamiken, insbesondere bei der Vorhersa-

ge des Strömungsverhaltens von Fluid-Fluid und/oder Fluid-Solid-Verbindungen in mehrphasigen Strömungen (CFD). Andere derzeitige Simulationsszenarien schließen 3D-Modellierung, Discrete-Event-Simulation für Fertigung, Kapazitätsmanagement, Instandhaltungsplanung (MRO) oder die Optimierung von Wertschöpfungsketten mit ein. Die Erfahrungsberichte der Partner zeigten zudem, dass von einigen Unternehmen bereits großes Interesse an einer Bewerbung für den Open Call von Mitte Mai bis Ende Juli, besteht. Die bisherigen 16 Partner werden sowohl praktisch als auch finanziell von der Europäischen Union unterstützt. Weitere zehn Unternehmen werden ebenso profitieren, wenn ihre Bewerbung für den Open Call akzeptiert wurde. Wenn Sie Interesse daran haben, mit Ihrem Unternehmen Teil des CloudSME-Projekts zu werden, sollten sich für unseren Newsletter registrieren, um über den Fortschritt des Projekts auf dem Laufenden zu bleiben. Um Kontakt aufzunehmen finden Sie untenstehend alle Informationen, die Sie benötigen.

[www.cloudsme.eu](http://www.cloudsme.eu)

## CONTACT SOFTWARE

**Unicode-Release 3.3 freigegeben**  
Contact Software gibt das Unicode-Release seiner Workspaces-Technologie frei. Workspaces integrieren die heterogenen CAx-Werkzeuge und unterstützen Entwickler dabei, synchronisiert, selbstorganisiert und schneller zusammenzuarbeiten. Produktentwicklern bietet Version 3.3 weitere Verbesserungen für das CAD-Datenmanagement und die Zusammenarbeit im Team. Neue Funktionen vereinfachen die Neuanlage, Bearbeitung und Übertragung von Dokumenten. Komplexe Zusammenhänge werden noch übersichtlicher dargestellt und zentrale Anwendungsfälle beschleunigt. Release 3.3 entlastet Anwender weiter von Datenmanagementaufgaben: Sie arbeiten jetzt in einer universellen Master-Sicht und steuern darüber auch die Datenübertragung. Zu den

Dokumenten können zudem bereits hier Metadaten gemäß der Systematik der PDM/PLM-Plattform vorgegeben werden. Ein zentrales Feature ist die Unicode-Unterstützung für wichtige CAD-Integrationen. Weitere CAD-Schnittstellen folgen im nächsten Quartal. Das neue Workspaces-Release unterstreicht CONTACTS Anspruch, eine universelle, offene Lösung für das Multi-CAD-Datenmanagement und das Collaborative Engineering bereitzustellen.

[www.contact-software.com](http://www.contact-software.com)

## DEMAT

### EuroMold zeigt 2014 neue Wege im globalen Engineering

Nach 58.673 Besuchern aus 83 Ländern und 1.056 Ausstellern aus 37 Ländern im Jahr 2013 strebt die EuroMold 2014 neue Bestmarken an. Steigende Aussteller- und Besucherzahlen verlangen nach immer größerer Transparenz beim Know-how-Transfer entlang der Prozesskette. Die 21. EuroMold, die Ende November 2014 in Frankfurt am Main stattfindet, wird daher noch informativer und kommunikativer werden. Dr. Ing. Eberhard Döring, Messeleiter der EuroMold: „Die ungebrochen hohe Nachfrage von Ausstellern und Besuchern aus den globalen Schlüsselindustrien wie Auto- und Maschinenbau, Elektronik, Medizintechnik oder Luft- und Raumfahrt, macht die EuroMold zum wichtigsten Marktplatz von bahnbrechenden Ideen und innovativen Lösungen für das globale Engineering.“ Als branchenübergreifende Leitmesse ist die EuroMold dem Standort Europa verpflichtet, gibt aber auf der ganzen Welt Impulse für die gesamte Prozesskette industrieller Produktentwicklung. Mit Schwester-messen in Ägypten, Südafrika, in den USA, in China, Brasilien und in den Vereinigten Arabischen Emiraten sowie mit Repräsentanzen auf Fachmessen in Indien, Japan und Russland setzt EuroMold Maßstäbe als wahrer Global Player. Das EuroMold Messekonzept Von der Idee über den Prototypen bis zur Serie zieht weltweit immer größere Kreise



und leistet Ausstellern wertvolle Hilfe bei Markteroberung und Marktdurchdringung. Döring: „Die EuroMold ist der ideale Rahmen, um Geschäft anzubahnen und wirkt zudem wie ein Katalysator des weltweiten technologischen Fortschritts. In familiärer Atmosphäre diskutieren Aussteller, Fachbesucher, aber auch Aussteller untereinander Probleme und erarbeiten Lösungswege. Mit einem breiten Spektrum an Themenforen und Konferenzen dient die EuroMold den Ausstellern und Besuchern zum intensiven fachlichen Austausch.“ Die EuroMold 2013 präsentierte schon 120 hochkarätige Referenten, das Who's Who aus den Disziplinen Werkzeug- und Formenbau, Design und Produktentwicklung. Ein Teilnehmermagnet war die internationale Terry Wohlers Konferenz, die sich dem Thema Business and Investment Opportunities in Additive Manufacturing and 3D Printing widmete. Auf der EuroMold 2014 wird zum 16. Mal der EuroMold Award – der Oscar der Produktentwicklung – in Gold, Silber und Bronze vergeben. Berücksichtigt werden Kriterien wie technologischer Innovationsgrad, Nachhaltigkeit, Effizienz und Design. Die EuroMold 2014 findet vom 25. – 28. November 2014 auf dem Messegelände Frankfurt am Main statt.

[www.euromold.com](http://www.euromold.com)

## DYNAMORE

### Forschungsprojekt Arena 2036

Die DYNAMore GmbH engagiert sich im Forschungsprojekt Arena

2036 der Universität Stuttgart, dem ersten vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten „Forschungscampus: Öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen“.

Unter dem Titel Arena 2036 (Active Research Environment for the Next Generation of Automobiles) haben sich mehrere Forschungseinrichtungen, Großkonzerne sowie zwei KMUs (darunter die DYNAMore GmbH) zusammengefunden, um gemeinsam an Produktionsmodellen für die Zukunft zu forschen. Unter den drei technischen Gesichtspunkten Konstruktion, Simulation und digitaler Prototyp untersuchen die beteiligten Forschergruppen das Potenzial von Leichtbaumaterialien – hierbei insbesondere von Faserverbundwerkstoffen – für die Großserienfertigung im Automobilbau. Die Möglichkeiten einer effizienten, flexiblen und zukunftsfähigen Produktion sollen zudem begleitend innerhalb einer Produktions- und Forschungsfabrik untersucht werden.

Für die DYNAMore GmbH, die zusammen mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrttechnik (DLR), dem Deutschen Institut für Textil- und Faserforschung (DITF), der Daimler AG sowie dem Institut für Flugzeugbau (IFB) der Universität Stuttgart an der Entwicklung des sogenannten digitalen Prototyps arbeitet, steht vor allem der Übergang aus der Prozess- bzw. Herstellungssimulation hin zur Versagensprognose, Lebensdauerabschätzung und Gebrauchstauglichkeitssimulation

für Composite-Materialien im Vordergrund. Hierfür müssen Schnittstellen zwischen den verschiedenen Simulationswerkzeugen und -modellen definiert und gegebenenfalls in das mitentwickelte Softwarepaket LS-Dyna/LS-PrePost implementiert werden. Eine besondere Herausforderung bei der Berechnung von Composite-Werkstoffen liegt darin, geeignete Vereinfachungen und Annahmen zu treffen, um im Rahmen der erforderlichen Genauigkeit bei der Auslegung von entsprechenden Faserkunststoffverbunden einen hohen Grad an Effizienz zu gewährleisten. Neben der Verbesserung und Implementierung eines Mapping-Algorithmus, der fester Bestandteil der Prozesskette sein muss, wird möglicherweise auch die Entwicklung weiterer Werkstoffmodelle für ausgesuchte Herstellungsverfahren eine maßgebliche Rolle spielen. Für die Evaluation der entwickelten Softwareschnittstellen wird zunächst auf die drei Produktionsverfahren Flechten, Resin Transfer Molding (RTM) sowie das Drapieren fokussiert. Durch die Teilnahme an diesem hochaktuellen Forschungsprojekt unterstreicht die DYNAMore GmbH einmal mehr die Kompetenz, aktuelle Entwicklungen im Bereich der Werkstoffentwicklung, aber auch der zugehörigen Produktionsverfahren, simulationstechnisch begleiten zu können.

Der begleitende Aufbau der Forschungsfabrik, welcher vom Fraunhofer-Institut Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart und der Artur Bär Maschinenbau

**STAR  
Global  
Conference  
2014**

**MARCH 17 - 19**

**SIMULATING SYSTEMS**

✈️ ⚙️ ⚙️ ⚙️ ⚙️ ⚙️ ⚙️ ⚙️

📧 [info@cd-adapco.com](mailto:info@cd-adapco.com)  
🌐 [www.star-global-conference.com](http://www.star-global-conference.com)



**VIENNA**

**3 GUTE GRÜNDE, WARUM SIE AN DER GRÖSSTEN CAE-  
VERANSTALTUNG DES JAHRES TEILNEHMEN SOLLTEN:**

**DIREKTER AUSTAUSCH MIT DEN EXPERTEN**  
Die STAR Global Conference ist eine der weltgrößten Zusammenkünfte von Simulationsexperten; gleichzeitig haben Sie die Möglichkeit Mitglieder der Unternehmensführung, Softwareentwickler und Supportingenieure von CD-adapco vor Ort zu treffen

**PROFITIEREN SIE VOM NEUESTEN WISSENSSTAND**  
Über 50 der führenden Experten aus den verschiedensten Industriebereichen berichten von Ihren Erfolgen. Erfahren Sie mehr über deren Simulationsprozess und lassen Sie sich im Detail über den konkreten Nutzen von STAR-CCM+ informieren

**ERWEITERN SIE IHRE TECHNISCHEN FACHKENNTNISSE**  
Erstellen Sie sich einfach Ihr eigenes Trainingsprogramm aus über 11 „Best Practises Workshops“ und vertiefen Sie so gezielt Ihr Wissen

GmbH, Gemmingen, dem zweiten KMU im Forschungscampus, vorangetrieben wird, ermöglicht einen direkten Abgleich der virtuell entwickelten Modelle und Methoden mit der realen Produktion. Weitere wichtige Projektpartner sind die Robert Bosch GmbH, Stuttgart, sowie die BASF SE, Ludwigshafen. Ziel des auf maximal 15 Jahre ausgelegten Gesamtprojektes ist die vollständige computerorientierte Entwicklung und Fertigung von Fahrzeugkarosserien vorwiegend aus Verbundmaterialien. Startschuss für die auf 5 Jahre ausgelegte erste Projektphase war der 1. Juli 2013.

Hierzu Dr. André Haufe, Leiter Prozesssimulation bei der DYNAMore GmbH: „Durch die enge Kooperation mit Kunden und Partnern innerhalb von Forschungsvorhaben mit einem definierten Entwicklungsziel lassen sich aktuelle Herausforderungen in der Simulation strategisch angehen. Insbesondere das starke, gemeinsame Interesse aller Projektpartner an wirtschaftlichen und prognosefähigen Lösungen wirkt dabei als treibendes Element und hat sich in der Vergangenheit als sehr guter Weg zur kundenahen und anforderungsgetriebenen Weiterentwicklung unserer Softwarewerkzeuge erwiesen. Mit der erfolgreichen Antragstellung innerhalb des Arena 2036 Forschungscampus der Universität Stuttgart runden wir unsere Entwicklungsaktivitäten auf den Gebieten der Prozess- bis hin zur Gebrauchstauglichkeitssimulation auf optimale Weise ab und freuen uns, als KMU vom Start weg mit dabei zu sein.“

#### **Femzip bei Faurecia**

Die DYNAMore GmbH gibt bekannt, dass der langjährige Einsatz des Komprimierungstools für Simulationsergebnisse Femzip bei internationalen Standorten von Faurecia auch in den künftigen Jahren fortgesetzt wird. Femzip beruht auf effektiven mathematischen Algorithmen, um speziell Ergebnisse aus der Crash- oder auch Umformsimulation auf etwa 10 % zu komprimieren. Laurent Guerin, Leiter der Methodenabteilung bei Faurecia Seating, lobt die hohen Kompressionsraten,

die mit Femzip im Zusammenhang mit LS-Dyna erzielt werden können: „Durch den Einsatz von Femzip konnten nicht nur die Kosten für Datenspeicher und Datenarchiv gesenkt werden, auch die Ladezeiten für das Postprocessing sind deutlich geringer, so dass sich deutliche Zeiteinsparungen bei der Bearbeitung und Auswertung der Simulationsergebnisse ergeben. Als global agierendes Unternehmen mit Standorten in über 15 verschiedenen Ländern ist es für uns sehr wichtig, dass der Datenaustausch schnell erfolgen kann. Durch den konsequenten Einsatz von Femzip konnten die Zeiten für Datentransfer zwischen den unterschiedlichen Standorten deutlich reduziert werden und gleichzeitig auch unser internes Netzwerk entlastet werden. Bei kurzfristigem Bedarf an zusätzlichen Rechenkapazitäten, die in unserem eigenen Rechenzentrum nicht realisiert werden können, greifen wir auch auf externe Rechenressourcen zurück. So haben wir z. B. die Möglichkeit, bei der Firma Gridcore in Schweden Simulationsrechnungen durchzuführen. Jeder Standort hat Zugriff auf alle internen und externen Rechenressourcen. Nur durch den Einsatz von Femzip und die extrem flexible Lizenzierungspolitik seitens unseres Partners DYNAMore, ist diese Flexibilität in der Auswahl der Rechenressourcen effektiv realisierbar. Die Unterstützung von DYNAMore diesbezüglich und die gute Integration von Femzip in unseren Berechnungsprozess erlaubt uns eine effektive und kosteneffiziente Realisierung unserer IT-Infrastruktur, die auch kurzfristige Belastungsspitzen gut kompensiert.“

Clemens-August Thole, Geschäftsführer der Sidact GmbH ergänzt: „Automobilzulieferbetriebe, die global aufgestellt sind und flexibel agieren müssen, nutzen Femzip verstärkt. Durch die Komprimierung der Resultate ergeben sich deutliche Kostenreduktionen im Bereich Infrastruktur und Bandbreite der Netzanbindung. Wir sehen auch einen vermehrten Bedarf bei der Anbindung von internen oder externen Cloud-Ressourcen, die nur für einzelne Nutzungsspitzen benötigt

werden. Seit unserer Unternehmensgründung arbeiten wir sehr eng mit DYNAMore zusammen, um unseren gemeinsamen Kunden eine optimale Unterstützung bei der Integration von Femzip in die gesamte Simulationsumgebung zu bieten.“

## **ESI**

### **Neue Version der Virtual Performance Solution**

ESI Group gab die Veröffentlichung der neuen Version seiner Virtual Performance Solution (VPS) bekannt. Neben schnelleren Ergebnissen in der Crash-Simulation bietet die aktuelle Version neue Ansätze für die Modellierung der Produktfertigung sowie die Beurteilung des NVH-Verhaltens (Noise, Vibration & Harshness) und ermöglicht eine noch genauere Vorhersage der Airbag-Entfaltung. Virtual Performance Solution bringt industriellen Kunden entscheidende Wettbewerbsvorteile – besonders in Bezug auf die mannigfaltigen Herausforderungen im Leichtbau, die wachsende Notwendigkeit zahlreicher Designiterationen, den Austausch zwischen unterschiedlichen Entwicklungsbereichen und weniger konservative Sicherheitsmargen.

### **Neue Version von Visual-Environment 9.0**

ESI Group gab die Veröffentlichung von Visual-Environment 9.0 bekannt. ESIs Multi-Domain Simulationsplattform bildet den Rahmen für die meisten ESI Virtual Prototyping-Lösungen und ist darüber hinaus offen für Technologien von Drittanbietern. Die Plattform ermöglicht es industriellen Anwendern, unter einer einheitlichen Benutzeroberfläche alle CAE-Prozesse zu automatisieren – vom Computer Aided Design (CAD) über Pre- und Postprocessing, Modellierung, Simulation bis hin zur Visualisierung und Berichtserstellung für unterschiedliche CAE-Bereiche. Durch die Verknüpfung von ESI-Lösungen und die gleichzeitige Unterstützung der Anwendungen von Drittanbietern ist Visual-Environment 9.0 die beste Wahl, um die Simulation von Ferti-

gung und Montage bestehender und zukünftiger Produkte zu unterstützen und so die gleichzeitige Entwicklung und Optimierung über unterschiedliche Fachbereiche zu ermöglichen, einschließlich Crash, Safety, NVH, Energie, Wärmebehandlung, Strömung, Elektromagnetismus, CFD u. a. m. Visual-Environment 9.0 hilft Industrieunternehmen, ihren Einsatz von Computer Aided Engineering zu maximieren, um so eine größere Produktivität in ihren Engineering-Prozessen zu erzielen und ihr Streben nach Innovation zu unterstützen.

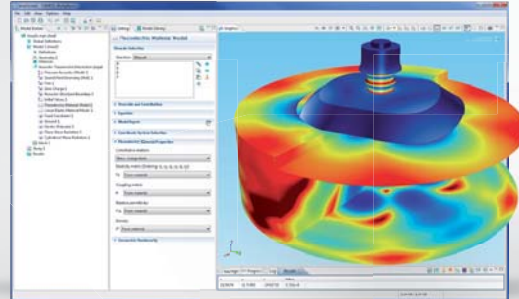
### EU-Projekt von Technologieentwicklungen zur Energieeinsparung

ESI Group kündigt die Entwicklung neuer Simulationstechnologien für energieeffizientere Heizungs-, Lüftungs- und Klimatisierungssysteme (HVAC) an. Die Forschungsaktivitäten sind Teil des von der Europäischen Kommission gemäß des Siebten Rahmenprogramms initiierten EnE-HVAC Projektes. Heizungs-, Lüftungs- und Klimatisierungssysteme (HVAC) machen ca. 35 % des gesamten Energieverbrauchs in Wohn- und Geschäftsgebäuden aus. Obwohl heutzutage die meiste Energie für das Heizen verbraucht wird, gibt es auch für Kühlsysteme einen wachsenden Bedarf, der sich aufgrund des Klimawandels in den kommenden Jahren weiter vergrößern dürfte. Um den Gesamt-Energieverbrauch zu reduzieren, hat die Europäische Kommission die dringende Notwendigkeit erkannt, neue und innovative Technologien zu suchen, mit denen die Effizienz von HVAC-Systemen gesteigert werden kann. Mit diesem Ziel wurde im Oktober 2012 durch die Europäische Kommission das EnE-HVAC Projekt ins Leben gerufen. Es wird erwartet, dass das Projekt durch neue und innovative Technologien signifikante Energieeinsparungen bei zukünftigen HVAC-Systemen ermöglicht. Diese Technologien umfassen nanotechnologische Beschichtungen und Oberflächenbehandlungen für einen verbesserten Wärmeaustausch, neue Nano- und Mikromaterialien für die verbesser-

te Effizienz von Kältemitteln sowie neue nanotechnologische Additive für eine verbesserte Effizienz und Wärmeaustauschfähigkeit von Kältemitteln. Das ESI-Forschungsteam mit Sitz im CFD & Multiphysics Center of Excellence in Essen arbeitet an der Entwicklung neuer Methoden für CFD- (Computational Fluid Dynamics) und Multiphysics-Anwendungen mit besonderem Fokus auf der Kopplung multidisziplinärer Software-Tools. Auf Basis der ACE+ Suite, ESIs hochentwickelter CFD- & Multiphysics-Lösung, entwickelt das ESI-Team Ansätze für

nanotechnologische Simulationen zur Modellierung spezifischer Teile von HVAC-Komponenten, wozu u. a. Frostschutz-/Vereisungsschutzflächen, Kondensat-Drainagesysteme sowie Verdampfungs- und Wärmeaustauschsysteme gehören. Das Projekt umfasst ein Konsortium, das sich zusammensetzt aus sechs industriellen Partnern (Lu-Ve S.p.a. (Italien), EXHAUSTO A/S (Dänemark), ESI GmbH (Deutschland), Dansk Varmepumpe Industri A/S (Dänemark), Carbodeon Ltd. Oy. (Finnland) und Vahterus Oy (Finnland)) sowie zwei Forschungsinsti-

**ULTRASCHALLWANDLER:** Dieser Tonpilz-Piezo-Wandler wird zum Senden von Schallwellen niedriger Frequenzen verwendet. Das Modell zeigt die Potentialverteilung in den piezokeramischen Ringen, die Deformation in den Masseelementen sowie die Druckverteilung unter dem Wandler.



## Analysieren und Optimieren mit COMSOL Multiphysics®

COMSOL Multiphysics unterstützt Sie bei der Verwirklichung innovativer Ideen. Die Kombination aller relevanten physikalischen Effekte in einer Simulation ermöglicht eine präzise Analyse Ihres Designs. Erfahren Sie mehr über COMSOL Multiphysics unter [www.comsol.de/introvideo](http://www.comsol.de/introvideo)

© Copyright 2012-2013 COMSOL





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

tuten (das Dänische Technologie Institut, (Dänemark) und IK4 Tekniker, (Spanien)). Weitere Informationen: EnE-HVAC Projekt: [www.ene-hvac.eu](http://www.ene-hvac.eu); ESIs CFD & Multiphysics Lösung ACE+ Suite: [www.esi-group.com/ACE-Suite](http://www.esi-group.com/ACE-Suite)

[www.esi-group.com](http://www.esi-group.com)

stoffmechanik studiert und ist bereits seit August 2013 bei Granta Design in München tätig. Die beiden neuen Mitarbeiter unterstützen das bisherige Team, bestehend aus Helene Tabourier, Central European Sales Support, und Thomas Weninger, Director Sales Central Europe.

## GRANTA DESIGN

### In Deutschland auf Wachstumskurs

Granta Design hat sein Mitarbeiterteam in Deutschland deutlich verstärkt und zieht im Februar in neue, größere Büroräume in der Münchener Innenstadt. Als Marktführer im Bereich Materialinformationsmanagement beschäftigt das Unternehmen derzeit weltweit 120 Mitarbeiter und betreut zahlreiche Kunden aus den unterschiedlichsten Branchen. Der enorme Bedarf an intelligenten Lösungen in diesem Umfeld hat bei Granta Design in den letzten Jahren zu einem außerordentlichen Wachstum geführt. Um diesem Bedarf Rechnung zu tragen und dem wachsenden Kundenkreis von Granta Design weiterhin den gewohnten erstklassigen Service zu bieten, hat das Unternehmen nun sein Mitarbeiterteam in Deutschland deutlich vergrößert. Sebastian Schwägele ist als neuer Account Manager bei Granta Design für die Region Central Europe zuständig. Er hat Materialwissenschaften mit Schwerpunkt Polymere- und Verbundwerkstoffe an der Uni Bayreuth studiert und kümmert sich um die kommerziellen Belange der Kunden in dieser Region. Mit seinem technischen Hintergrund und seinem Verständnis für Werkstoffe ist er insbesondere für die CES Selector Anwender der erste Ansprechpartner. Dr. Fatih Cetin verstärkt das Team als Applikations-Ingenieur und ist technischer Ansprechpartner für alle Fragen zum Nutzen und zur technischen Umsetzung von Materials Information Management Lösungen. Er hat an der Technischen Universität Braunschweig Physik und Werk-

### Mitwirkung an Projekten im Bereich additive Fertigung

Granta Design kündigte Details zu Produktvalidierungen und -verbesserungen an, die aus der Mitwirkung des Unternehmens in zwei „European Framework Seven“ Projekten (Nanomicro und Amaze) im Bereich additive Fertigung, auch bekannt als 3D-Druck, resultieren. Die Ankündigung folgt dem Abschlusstreffen des Nanomicro Projektes in der letzten Woche.

[www.grantadesign.com](http://www.grantadesign.com)

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

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

## IBM

### Pay-As-You-Go-Modell für Cloud-Storage

IBM stellt ein neues Finanzierungsprogramm vor, das es Unternehmen künftig ermöglicht, High-Performance-Speichersysteme einzusetzen, ohne sich sofort mit deren vollen Anschaffungskosten belasten zu müssen. Damit können Unternehmen künftig einfacher und effizienter ihre steigenden Datenmengen bewältigen und cloud-basierte Storalösungen einsetzen. Das neue IBM Advanced System Placement Program für Kunden ist ein Pay-as-you-go-Programm, das es Organisationen ermöglicht, IBM XIV Speichersysteme für einen Bruchteil des Preises zum Zeitpunkt der Installation zu erwerben. Erst dann, wenn das System eine vorher festgelegte Kapazität erreicht, wird für den Kunde der restliche Kaufpreis fällig. Zu diesem Zeitpunkt wird dann eine weitere Speichereinheit für nur 1US-\$ Einstiegsteilpreis (US-Preis) angeboten. Der Zyklus setzt sich bei weiterem Speicherwachstum und nachfolgenden Systemen fort.

[www.ibm.com](http://www.ibm.com)

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



[www.nafems.org](http://www.nafems.org)





**www.CAE-JOBmarket.com**  
The online job market for CAE engineers

RECENT JOBS    CREATE JOB ADVERT    SEARCH JOB ADVERT

**EINFÜHRUNGSANGEBOT:**  
30% Ermäßigung auf alle Anzeigen, die bis zum 30. April 2014 gebucht werden.

## INSTAL

### INSTAL-News12 erschienen

Die Ausgabe 3/2104 des InSTAL Newsletters ist vor kurzem erschienen.

[www.instal-online.de](http://www.instal-online.de)

## MSC SOFTWARE

### LearningCenter - flexible Lernplattform

MSC Software Corporation gab den Start seiner neuen Online-Lernplattform LearningCenter bekannt. In dem Portal werden individuelle Schulungs- und Weiterbildungsprogramme für Computer Aided Engineering (CAE) angeboten. Diese erlauben es den Teilnehmern, unabhängig von Ort und Zeit an Kursen und Seminaren teilzunehmen. Dazu gehören online abrufbare Trainingsmaterialien (Skripte, Übungen) und von erfahrenen Trainern geführte Kurse. Derzeit ist Trainingsmaterial von der Mehrkörpersimulationssoftware Adams und dem Finite Elemente (FE)-Solver MSC Nastran im Abonnement erhältlich. Durch den Austausch mit den Seminarleitern und Simulationsexperten in Foren wird das Lernen interaktiv und das Training kann durch das individuelle Lerntempo selbst bestimmt werden. Kunden von MSC können so den größtmöglichen Nutzen aus dem Einsatz ihrer Lösungen ziehen und die Software effektiver einsetzen. Das MSC Learning Center bietet ein komplettes Spektrum an Trainingsmöglichkeiten und modular aufgebauten Ressourcen online

zum selbstbestimmten Lernen. Das Learning Center ist im Abonnement erhältlich und kann auf Desktops, Laptops und Tablets genutzt werden. Das Trainingsangebot eignet sich für jeden Lerntyp und lässt sich wegen seiner Vielseitigkeit ganz nach eigenen Bedürfnissen und individuellem Arbeitstempo gestalten. Das MSC Learning Center gewährt Einzelpersonen und Unternehmen einen bequemen und flexiblen Zugang zu einem kostengünstigen Kursangebot. Die Kurse sind in Module untergliedert, die auf den Kenntnissen vorhergehender Module aufbauen. Aufgrund dieses modularen Schulungskonzepts können sich die Anwender auf ein bestimmtes Thema konzentrieren und dort ihren Wissensstand vertiefen oder in speziellen Kursen ihr bereits vorhandenes Know-how gezielt auffrischen. Jedes Modul umfasst eine Vielzahl von Lerninhalten und kann so den individuellen Lernbedürfnissen gleichermaßen gerecht werden. Es werden Präsentationen, Software-Demos und Quizfragen angeboten. Das Portfolio der verfügbaren Workshops reicht von einfachen Beispielen bis hin zur Lösung konkreter, praxisnaher Problemstellungen anhand von Modelldateien. Begleitkommentare der Dozenten runden das Material und die praktischen Vorfürhungen ab. Dynamische Inhaltsverzeichnisse helfen dem Anwender, sich einen schnellen Überblick über Inhalte eines Moduls zu verschaffen, um gezielt in ein ausgewähltes Kursthema einzusteigen. In einem Test am Ende des Kurses kann sich der Anwender die erfolgreiche Teilnahme an der

Schulung bescheinigen lassen. Lernende können sich im MSC Learning Center auf den Erwerb einer MSC-Zertifizierung vorbereiten. Mehr Informationen über das MSC Learning Center sind unter [www.mscsoftware.com/de/msc-learning-center](http://www.mscsoftware.com/de/msc-learning-center) verfügbar.

### Neue Digimat-Version

e-Xstream engineering, ein Unternehmen der MSC Software Corporation und Entwickler der Software Digimat, hat die Veröffentlichung von Digimat 5.0.1 bekannt gegeben. Digimat ist eine Plattform für die nichtlineare multiskalare Modellierung von Werkstoffen und Strukturen. Die neuen Funktionen in der Version machen die Analyse faserverstärkter Kunststoffe benutzerfreundlicher und erhöhen die Genauigkeit der Simulation von Materialkennwerten unidirektionaler (UD) und gewebter Verbundwerkstoffe. Die wichtigsten Neuerungen sind eine neue Benutzeroberfläche zur Analyse verstärkter Kunststoffe, Progressives Versagen von UD-Verbundwerkstoffen, nichtlineare multiskalare Modellierung mit Digimat und Nastran Sol 700 stabile Prozessabläufe bei der Untersuchung gewebter Verbundwerkstoffe und thermische und thermomechanische Spannungsanalyse.

### Neue MSC Nastran-Version

MSC Software gab die Veröffentlichung der Version 2013.1 von MSC Nastran bekannt. Die Neuerungen in dieser Version sparen Zeit bei der Berechnung umfangreicher Modelle, erhöhen die Benutzerfreundlichkeit

sowie die Effizienz nichtlinearer Analysen. Zudem wurden die Solver-integrierte Lebensdaueranalyse sowie die mit der Vorgängerversion 2013 eingeführte Möglichkeit zur Modellierung poroelastischer Materialien noch weiter verbessert. Die wichtigsten Neuerungen von MSC Nastran sind: ACMS-Berechnung, axialsymmetrische Rotordynamik, Unterstützung größerer Modelle, erweiterte nichtlineare Analysen und die Simulation transienter Dynamik durch explizite nichtlineare Analyse.

[www.mscsoftware.com](http://www.mscsoftware.com)

## NVIDIA

### CUDA Version 6

Nvidia bietet die Version 6 seiner CUDA-Architektur für parallele Berechnungen als kostenlosen Download auf der CUDA-Website für Entwickler an. Die Versions-Highlights im Überblick: Unified Memory – Die wichtigste Neuerung ermöglicht CUDA-Applikationen den Zugriff auf CPU und GPU, ohne dass Daten manuell hin und her kopiert werden müssen. Dies bringt eine enorme Zeitersparnis mit sich und macht es Programmierern einfacher, GPU-Beschleunigung in Applikationen zu integrieren. - Drop-in Libraries – Ermöglichen einfaches Beschleunigen von Applikationen bis zum Faktor 8x. Die neuen Drop-in Libraries beschleunigen automatisch BLAS- und FFTW-Kalkulationen, indem sie existierende CPU-only BLAS oder FFTW Libraries durch neue, GPU-beschleunigte Äquivalente ersetzen. Multi-GPU Scaling – Re-designte BLAS und FFT GPU Libraries skalieren Leistung automatisch über bis zu acht GPUs in einer einzelnen Node. Dadurch erhält eine Node bis zu neun Teraflops Double-Precision-Rechenleistung und unterstützt größere Workloads als je zuvor (bis zu 512GB). Weitere Informationen finden Sie hier: <http://blogs.nvidia.com/blog/2014/03/05/cuda-6-available/>

**Nvidia-GRID-vGPU-Technologie**  
Unternehmen können weltweit Designern und Ingenieuren kosteneffiziente, sichere, grafikintensive Anwendungen über die Nvidia-GRID-vGPU-(virtuelle GPU)-Technologie anbieten, sogar über Fernzugriff (Remote). Ab 16. Dezember 2013 waren ebenfalls Citrix XenDesktop 7.1 und Citrix XenServer 6.2 erhältlich.

[www.nvidia.de](http://www.nvidia.de)

## PDTEC

### Mehr als 400 Anwender bei EDAG

Die PDTEC AG teilte mit, dass innerhalb der EDAG Gruppe, ein weltweit führender unabhängiger Engineering-Partner, bis weit über 400 Anwender das System CAD Portal von PDTEC zum einfachen und schnellen Datenaustausch mit ihren OEM-Kunden nutzen. Die Integrationsplattform CAD Portal wurde 2009 erstmals bei EDAG mit dem Ziel implementiert, die Effizienz und die Prozesse in der unternehmensübergreifenden Produktentwicklung zu verbessern. EDAG sieht sich als Engineering Anbieter mit den unterschiedlichsten PLM-Anforderungen seiner OEM-Kunden konfrontiert und muss ein sicheres Datenmanagement sowie einen effizienten Datenaustausch bzw. eine durchgängige Datensynchronisation mit seinen Kunden gewährleisten. Bis heute ist die Zahl der Anwender von CAD Portal bei EDAG auf über 400 angestiegen und die Lösung wurde bereits bei mehr als 30 Fahrzeugprojekten erfolgreich eingesetzt. Neben den deutschen OEMs wie Audi, BMW, Daimler, VW sichert CAD Portal auch die Regelversorgung mit anderen Automobilherstellern und ermöglicht damit den EDAG-Entwicklungsteams eine schnelle und nahtlose Zusammenarbeit mit ihren Kunden. CAD Portal sichert einen einfachen und schnellen CAD-Datenaustausch mit OEMs, Partnern und Zulieferern. Es ermöglicht die zum großen Teil automatisierte Übernahme der vom OEM bereitgestellten Daten sowie ein übersichtliches CAD-Datenmanagement beim Automobilzulieferer vor Ort und stellt

die zum Teil mehrmals wöchentliche Regelversorgung der geänderten Entwicklungsstände sicher. Über sogenannte Delta-Imports werden die sonst aufwändigen Datentransfers erheblich im Datenvolumen reduziert, da nur die jeweiligen Änderungen neu transferiert werden.

[www.pdtec.de](http://www.pdtec.de)

## SIEMENS PLM SOFTWARE

### L'Oréal optimiert mit PLM-Software von Siemens

Der Kosmetikkonzern L'Oréal S.A. setzt die Software Teamcenter von Siemens ein, um die Entwicklung seiner Produktverpackungen zu optimieren, die Time-to-Market zu verkürzen und die Innovation und Qualität seiner Produkte zu verbessern. Teamcenter, das weltweit am häufigsten genutzte Product Lifecycle Management (PLM)-System, wird bei L'Oréal künftig weltweit für das Produktdatenmanagement bereitgestellt und steht so allen an der Produktentwicklung beteiligten Mitarbeitern zur Verfügung. Die Software ist eine Lösung der Business Unit Siemens PLM Software.

### LMS Software von Siemens bei Airbus A350 XWB

Die Software von LMS, einem Geschäftssegment von Siemens, hat bei der Strukturanalyse des A350-900 eine tragende Rolle gespielt. Jetzt wird sie auch in anderen Projekten von Airbus eingesetzt. Auf Basis von LMS Samtech Caesam, einer der CAE-Software-Lösungen von Siemens, hatte Airbus eine gemeinsame Umgebung für Belastungstests entwickelt. Mit Hilfe der Software konnte Airbus bei der Strukturentwicklung und Zertifizierung des A350-900 mehr als 2000 Konstruktionsingenieuren aus über 50 Zulieferbetrieben weltweit einheitliche Methoden bereitstellen. Die gemeinsame Plattform integriert alle Prozesse, Methoden, Werkzeuge und Datenbibliotheken von Airbus und ersetzt so insgesamt mehr als 400 einzelne Tools. Der A350-900 aus der A350-XWB-Familie ist das erste Flugzeug aus dem Hause

Airbus, das unter Verwendung der gemeinsamen Umgebung ISA-MI (Improved Structural Analysis through Multidisciplinary Integration) entwickelt wurde. Die Isami-Umgebung gewährleistet Kontinuität bei der Strukturanalyse und dem Zertifizierungsprozess des A350. Das Tool basiert auf LMS Caesam, einer Software aus der Reihe der LMS-Samtech-Simulationslösungen. Dank der gemeinsamen Plattform konnte Airbus die drei größten Herausforderungen bei der Strukturanalyse meistern: Harmonisierung, Automatisierung und Einsatz. Sie verwaltet und automatisiert die Engineering-Prozesse zur Berechnung von Sicherheitsmargen und sorgt so für erhebliche Zeit- und Kostenvorteile im gesamten Entwicklungszyklus. Die Rahmenstruktur ermöglicht die Integration harmonisierter Dimensionierungsprozesse und Werkzeuge auf Grundlage des Firmen-Know-hows. Darüber hinaus ermöglicht LMS Caesam Herstellern aus Luft- und Raumfahrt, Arbeitsabläufe der Strukturanalyse zu verwalten, die sich aus der zunehmend globalen Lieferkette ergeben. Nach dem Erfolg der LMS-Caesam-Plattform mit Isami erweitert sich nun ihr Einsatz: Künftig dient sie auch der Durchführung der detaillierten statischen Dimensionierung und für die Zertifizierung des A350-1000 und A32neo. Airbus hat zudem zusammen mit dem LMS-Segment von Siemens ein weiteres neues Werkzeug entwickelt, das Ingenieuren ermöglicht, das Flugzeuggewicht schon früh im Entwicklungsprozess abzuschätzen: Das Tool Presto (Pre-Dimensionierung der Strukturen für die Trade-Offs) basiert ebenfalls auf LMS Caesam. Airbus setzt es für die Vorabdimensionierung von Flugzeugen ein. Die Verwendung von Presto bei der Entwicklung des A350-1000 hat im Vergleich zur bisherigen Methode bereits eine erhebliche Zeitersparnis ergeben.

#### Neue Version LMS Imagine.Lab

LMS Imagine.Lab ist eine Simulationsplattform für den Entwurf, die Modellierung und Analyse mechatronischer Systeme. Das neue Release Rev13 eröffnet für alle Sparten der



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

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

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

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

Subscribe now!

Systementwicklung ganz neue Möglichkeiten. Durch die Funktionen, die Flexibilität und die Zuverlässigkeit des Release lässt sich die Systemsimulation großflächig einsetzen und effizienter in bestehende Systeme integrieren. Außerdem ist die Zusammenarbeit jetzt noch einfacher als zuvor. Das erleichtert die Arbeit an komplexen, hochentwickelten Produkten. In LMS Imagine.Lab werden mittels validierter Modelle Bauteile beschrieben, die das hydraulische, pneumatische, elektrische oder mechanische Verhalten des Systems abbilden. Aus multiphysikalischen Bibliotheken werden vordefinierte Bauteile zusammengesetzt, um das System realistisch zu modellieren. LMS Imagine.Lab Amesim simuliert mit diesem Modell exakt das Systemverhalten, bevor detaillierte CAD-Geometrien vorliegen. LMS Imagine.Lab Plattform hat einen zentralen Platz in den Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten von Kunden aus der Automobilindustrie, Baumaschinenentwicklung, Luft- und Raumfahrt sowie dem Maschinenbau.

[www.siemens.com/plm](http://www.siemens.com/plm)

## TECOSIM

### Forschungsprojekt Automex abgeschlossen

Der Marktführer für Computer Aided Engineering Tecosim und die Hochschule RheinMain präsentierten am Freitag, 21. Februar 2014 die Ergebnisse des Forschungsprojekts Automex – Automatische Extraktion von Mittelflächenbeschreibungen aus 3-D-CAD-Volumenmodellen“. Ziel des Projekts war die Entwicklung einer Software, die bei der Simulation von komplexen, dünnwandigen Komponenten eine Lücke schließen soll. Denn bei fünf bis zehn Prozent aller Bauteile konnten bisher verfügbare Programme die so genannte Mittelfläche nicht berechnen. Bei diesen meist hochkomplexen Komponenten mussten Ingenieure die Mittelfläche manuell erzeugen. Der Aufwand für diese manuelle Bearbeitung lag jedoch bei 70 bis 90 Prozent der gesamten Vernetzungszeit. Mit der neuen Software Automex wird die Arbeitszeit deutlich verkürzt: Je nach Komplexität kann dies ein Einsparpotenzial von einigen Stunden bis Tagen bedeuten. Zu den Gästen der Abschlusspräsentation im CIM-Zentrum zählten Vertreter von Opel, der Hessen-Agentur, der Hochschule RheinMain und Tecosim.

### 4.200 Briefmarken und 4.200 Euro für Terre des Hommes

Rund 4.200 Briefmarken aus aller Welt und acht Jahrzehnten – das ist die Bilanz der Aktion „Briefmarken sammeln und spenden“ der Tecosim Gruppe. Das auf Computer Aided Engineering (CAE) spezialisierte Technologieunternehmen mit Hauptsitz in Rüsselsheim hat firmenintern zehn Monate lang gesammelt und nun die Briefmarken als Sachspende an die Hilfsorganisation Terre des Hommes überreicht. Die Marken werden aufbereitet, an Sammler verkauft und so Spendengelder generiert. „Im Zeitalter von E-Mails und Frankiermaschinen freuen wir uns sehr über die Briefmarkenspende“, erklärte Stephan Stolze, Leiter des Spendenreferats von Terre des Hommes. Zusätzlich erhält die international agierende Hilfsorganisation von Tecosim eine Geldspende von 4.200 Euro – für jede gesammelte Briefmarke einen Euro.

---

Die hier veröffentlichten Texte wurden nicht redaktionell redigiert sondern weitestgehend unverändert von den jeweiligen Firmen übernommen.

Bitte senden Sie uns Ihre Pressemitteilungen an [magazin@nafems.de](mailto:magazin@nafems.de).



<b>STAR Global Conference</b>	17.-19.03.	Wien, A	<a href="http://www.cd-adapco.com">www.cd-adapco.com</a>	cd-adapco
<b>NAFEMS Trainingskurs: Einführung in CFD</b>	19.-20.03.	Wiesbaden, D	<a href="http://www.nafems.org">www.nafems.org</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Advanced Dynamic FE Analysis</b>	26.03.	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS Trainingskurs: Simulation und Analyse von Composites</b>	01.-03.04.	Wiesbaden, D	<a href="http://www.nafems.org">www.nafems.org</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Fluid Dynamics Review for CFD</b>	08.04.	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>Automotive CAE Grand Challenge</b>	15.-16.04.	Hanau, D	<a href="http://www.carhs.de">www.carhs.de</a>	carhs.training
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Basic FE Analysis</b>	24.04.	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Structural Optimization in FE Analysis</b>	29.04.	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS Trainingskurs: Einführung in FEM</b>	05.-07.05.	Wiesbaden, D	<a href="http://www.nafems.org">www.nafems.org</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Practical CFD</b>	07.05.	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>Permas User-Meeting</b>	07.-09.05	Stuttgart, D	<a href="http://www.intes.de">www.intes.de</a>	Intes
<b>MSC Nastran, Adams, Marc und SimManager User Meeting</b>	14.-15.05.	München, D	<a href="http://www.mssoftware.com">www.mssoftware.com</a>	MSC.Software

**NAFEMS**  
**DEUTSCHSPRACHIGE**  
**KONFERENZ 2014**

20. - 21.05. in Bamberg  
[www.nafems.org/dach2014](http://www.nafems.org/dach2014)

<b>Dynamic Simulation in Vehicle Engineering Konferenz</b>	22.-23.05	St. Valentin, A	<a href="http://www.ecs.steyr.com">www.ecs.steyr.com</a>	ECS
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Non-Linear FE Analysis</b>	27.05.	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>GSVF - Virtual Vehicle Symposium</b>	27.-28.05.	Graz, A	<a href="http://www.gsvf.at">www.gsvf.at</a>	Virtual Vehicle
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Elements of Turbulence Modeling</b>	04.06.	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>Ansys Cadfem Users´ Meeting</b>	04.- 06.06.	Nürnberg, D	<a href="http://www.usersmeeting.com">www.usersmeeting.com</a>	Cadfem/Ansys
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Fatigue &amp; Fracture</b>	12.06.	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>Internationale Supercomputing Konferenz</b>	23.-25.06.	Leipzig, D	<a href="http://www.isc-events.com/isc14">www.isc-events.com/isc14</a>	ISC Events
<b>Altair Technology Conference (ATC)</b>	24.-26. 06.	München, D	<a href="http://www.altairtc.com/europe">www.altairtc.com/europe</a>	Altair Engineering
<b>ISNVH - The European Automotive Noise Conference</b>	02.-04.07.	Graz, A	<a href="http://www.isnvh.com">www.isnvh.com</a>	Virtual Vehicle
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Practical Modelling of Joints and Connections</b>	07.07.	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>LS-Dyna Forum</b>	06.-08.10.	Bamberg, D	<a href="http://www.dynamore.de">www.dynamore.de</a>	DYNAMore
<b>Simpack Users Meeting</b>	08.-09.10.	Augsburg, D	<a href="http://www.simpack.com">www.simpack.com</a>	Simpack
<b>NAFEMS European Conference: Multiphysics Simulation</b>	21.-22.10.	Manchester, UK	<a href="http://www.nafems.org/mp2014">www.nafems.org/mp2014</a>	NAFEMS
<b>Weimarer Optimierungs- und Stochastiktage</b>	06.-07.11.	Weimar, D	<a href="http://www.dynardo.de">www.dynardo.de</a>	Dynardo
<b>Weitere NAFEMS Veranstaltungen:</b>			<a href="http://www.nafems.org/events">www.nafems.org/events</a>	



# Strömungssimulationssoftware in der Industrie: Gestern – Heute – Morgen

Dr. Ivo Weinhold  
Mentor Graphics (Deutschland) GmbH

**Kommerzielle CFD-Software für industrielle Anwendungen wird bald ihren 30. Geburtstag feiern. Drei Jahrzehnte erfolgreiche CFD-Simulationen, durchgeführt von hunderttausenden Wissenschaftlern, Ingenieuren und Studenten, haben diese Technologie zu einem unverzichtbaren Werkzeug im Produktentwicklungsprozeß in nahezu allen Bereichen der Industrie werden lassen. Während klassische CFD-Technologie immer ausgereifter wird, erobern neue, spannende Konzepte und Technologien für die Herausforderungen künftiger CFD-Anwendungen den Markt. Nach zwei Phasen der Entwicklung kommerzieller CFD-Software mit eigenen Paradigmenwechseln erleben wir derzeit eine dritte Phase mit einem weiteren Paradigmenwechsel hin zu CFD-Software, die vollständig in den industriellen Produktentwicklungsprozeß integriert ist. Eine folgende, vierte Entwicklungsphase kommerzieller CFD-Software wird sicher kommen. Doch wird das wohl keine neue Phase herkömmlicher CFD-Software, so wie wir sie heute kennen, werden.**

## 1 Einführung

In der Geschichte der Simulation von Strömungen, Wärme- und Stoffübertragungsvorgängen im produktiven Einsatz für die Entwicklung von Produkten und Verfahren konnten bisher mehrere Phasen beobachtet werden: eine frühe Phase der ersten kommerziellen Codes in den 60iger bis 80iger Jahren und eine darauffolgende Ära der auf unstrukturierten Berechnungsnetzen basierenden Verfahren etwa ab Beginn der 90iger bis Mitte der 2000er Jahre, die vom Einzug von CFD in die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der großen Unternehmen geprägt war. Nach diesen zwei großen Phasen in der Entwicklung kommerzieller CFD-Software ist nun eine neue, dritte Phase entstanden. Diese aktuelle Phase ist durch einen erneuten Paradigmenwechsel beim Einsatz von CFD-Simulationen in der industriellen Produktentwicklung bestimmt. Ursache dafür sind die sich in den produzierenden Unternehmen wandelnden Entwicklungsprozesse und die sich als Folge ebenso stark verändernde Rolle des Simulationsingenieurs. Dieser Paradigmenwechsel führt in der Konsequenz zu einer veränderten Nachfrage auf dem CFD-Softwaremarkt, der mit verbesserter Integration von CFD-Simulationen in den Entwicklungsprozeß, innovativen Konzepten für die Softwarebedienung und neuen CFD-Technologien für deren Realisierung und nicht zuletzt mit angepaßten Geschäftsmodellen auf die veränderten Rahmenbedingungen reagieren muß. Eigenschaften wie Prozeßintegration, Zuverlässigkeit, Modellersicherheit, Reproduzierbarkeit und Unabhängigkeit der Ergebnisqualität von der Leistungsfähigkeit eines einzelnen Bearbeiters rücken in den Mittelpunkt und verdrängen dabei den historisch gewachsenen Focus auf Ergebnisgenauigkeit und Löserperformance als zentrale Aspekte für Bewertungen und Entscheidungen. Hohe und gleichbleibende Qualität von Simulationsergebnissen, erzielt unter Nutzung neuester Computerhardware, Systemsoftware und mathematischer Algorithmen, wird dafür einfach als „Basisausstattung“ vorausgesetzt. Diese neue dritte Phase in der Entwicklung kommerzieller CFD-Software wird von einer immer noch andauernden stürmischen Steigerung der Leistungsfähigkeit von Rechen- und Grafikhardware und der damit einhergehenden dramatischen Verbesserung des Preis-/Leistungsverhältnisses für geeignete Hardwarekonfigurationen befeuert. Diese Entwicklung ist neben den Fortschritten bei CFD-Technologie und neuen Anforderungen an User Experience die dritte tragende Säule der gegenwärtigen dritten Phase.

In diesem Beitrag werden die drei Phasen der Entwicklung kommerzieller CFD-Software für die Produktentwicklung in ihrem zeitlichen Zusammenhang und Entstehungskontext analysiert und Chancen und Herausforderungen für die weitere Entwicklung diskutiert.

## 2 Die drei Phasen kommerzieller CFD-Software

In den letzten Jahren sind zahlreiche Veröffentlichungen zur Geschichte der Strömungsberechnung erschienen - auch im Rahmen von internationalen NAFEMS-Veranstaltungen. Zahlreiche CFD-Pioniere der ersten Stunde wie Brian Spalding, David Tatchell, Ferit Boysan oder Michael Engelman haben über ihre Erinnerungen geschrieben oder vorgetragen. Dieser Fundus an historischen Fakten, technischen Informationen und persönlichen Eindrücken beschreibt in erstaunlich konsistenter Weise, wie sich ingenieurtechnische Simulationssoftware vom akademischen Forschungscode hin zu den heute bekannten, von multinationalen Softwarekonzernen industriell hergestellten Produkten entwickelt hat. Eng verknüpft mit der Leistungsfähigkeit von real verfügbarer Rechenhardware wurde diese Entwicklung besonders in den frühen Phasen maßgeblich durch Forschungs- und Entwicklungsprojekte für die nationale Verteidigung und die Luft- und Raumfahrt, aber zunehmend auch von den Bedürfnissen und der Nachfrage aus der zivilen Industrie angetrieben. Zurückblickend lassen sich bei der Entwicklung von CFD-Software für nichtakademische Anwendungen bisher drei große Phasen erkennen:

- Die erste Phase: Die Anfänge kommerzieller CFD-Software in den 70iger und 80iger Jahren.
- Die zweite Phase: In den 90iger Jahren zieht CFD in die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der Industrie ein.
- Die dritte Phase: Nach der Jahrtausendwende wird CFD zu einem unverzichtbaren Bestandteil des Produktentwicklungsprozesses.

Einen guten Überblick sowie ein umfangreiches Literaturverzeichnis zu diesem Thema enthält unter anderem [1]. Interessante Zeitzeugenberichte können auch [3] und dem Blog von David Tatchell [4] entnommen werden.

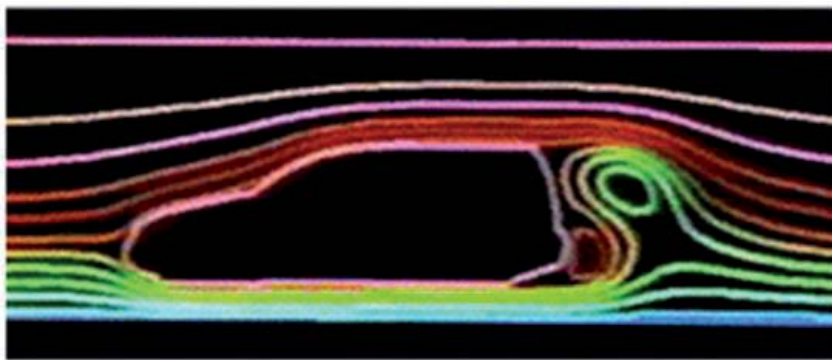


Abb. 1: Strömungssimulation in den 80iger Jahren [1]

### 2.1 Die erste Phase: Die Anfänge kommerzieller CFD-Software

Die Codes der CFD-Software-Pioniere der erste Phase hatten ihre Wurzeln in der Arbeit der Fluid Dynamics Group T-3 am Los Alamos National Laboratory (USA) seit 1958 und den Forschungsaktivitäten unter Prof. B. Spalding am Imperial College in London in den 60iger und 70iger Jahren. Die Ära der kommerziellen CFD-Software begann dann mit der Gründung der Firma Concentration, Heat and Momentum Limited (CHAM Ltd) in New Malden (UK) als eigenständiges Softwarehaus durch Prof. B. Spalding. CHAM Ltd war seit Ende der 60iger Jahre zunächst am Imperial College in London angesiedelt und befaßte sich mit Consulting-Arbeiten. 1974 bezog CHAM Ltd dann ein eigenes Büro in New Malden in der Nähe von London. Das kann wohl als die Geburtsstunde der CFD-Softwareindustrie angesehen werden. Zunächst stand die Entwicklung kundenspezifischer CFD-Codes im Mittelpunkt der geschäftlichen Aktivitäten von CHAM. Als das jedoch zu aufwendig und ineffizient wurde, hatte sich CHAM entschlossen, 1981 ein kommerzielles CFD-Paket mit dem Namen PHOENICS auf den neuen CFD-Software-Markt zu bringen [5]. 1982 folgten dann FIDAP, ein auf der Finite-Elemente-Methode basierendes CFD-Paket der Firma Fluid Dynamics International (USA) und 1983 das Finite-Volumen-CFD-Paket Fluent von Create.Inc (USA). Bereits 1980 gründete Dr. C. W. Hirt die Firma Flow Science (USA) als Spin-off des Los Alamos National Laboratory und führte 1985 sein kommerzielles CFD-Paket Flow-3D in den Markt ein. Es folgten zahlreiche weitere Pakete, darunter beispielweise 1987 Flow3D von der UK Atomic Energy Authority Harwell (UK) und 1989 TASCflow von Applied Scientific Computing (Kanada) (beide heute ANSYS CFX von ANSYS Inc). Ebenfalls 1989 erschien StarCD von Computational Dynamics/ADAPCO (UK/USA), mitbegründet von Prof. David Gosman, Professor am Imperial College in London. Anfang der 90iger Jahre listete der Workstation-Hersteller Silicon Graphics in seinem Softwarekatalog nicht weniger als 18 kommerzielle CFD-Pakete, die kompatibel mit seinen Hardwareprodukten waren und um einen Markt von vielleicht

30 Millionen US-Dollar buhlten, auf. [2] Die technologischen Grundlagen der meisten dieser damals marktrelevanten CFD-Pakete wurden entweder durch ehemalige Mitarbeiter oder Gastwissenschaftler der beiden eingangs genannten Forschungsinstitutionen in Los Alamos und London geschaffen oder basierten auf deren Veröffentlichungen. Doch es gab auch noch andere Entwicklungen. Aufgrund der politischen Bedingungen weitgehend unbemerkt von der westlichen wissenschaftlichen Gemeinschaft entstanden in den 80iger Jahren im Rahmen des militärischen und zivilen Luft- und Raumfahrtprogramms der damaligen Sowjetunion alternative Ansätze für CFD-Simulationstechnologie. Die technischen Aufgabenstellungen für CFD-Simulationen waren vergleichbar mit denen im Westen, die vorhandenen Computerressourcen für deren Lösung jedoch viel eingeschränkter. Gleichzeitig standen aufgrund der hohen politischen Priorität dieser Forschungsprogramme sehr umfangreiche experimentelle Daten zu zahlreichen Phänomenen von Strömung und Wärmeübertragung besonders im wandnahen Bereich zur Verfügung. Diese Situation führte zur Entwicklung alternativer CFD-Methoden, die aufbauend auf den durch die wissenschaftlichen Veröffentlichungen im Westen bekannten Verfahren für kartesische Gitter auf einer Verbindung von numerisch, analytisch und vorab experimentell ermittelten Daten beruhten. Dieser innovative Ansatz lieferte hochwertige Simulationsergebnisse in praktisch beliebig komplexen Berechnungsräumen unter Wahrung des geringen Ressourcenbedarfs und der Effizienz von Methoden mit kartesischen Netzen. Im Zuge der schrittweisen wirtschaftlichen Liberalisierung in der Sowjetunion Ende der 80iger Jahre haben einige Wissenschaftler-Teams diese CFD-Technologie kommerzialisiert und seit Anfang der 90iger Jahre auch in Europa und Asien vermarktet. Die wohl bekanntesten Vertreter dieser Gattung waren AeroShape-3D von Prof. V. N. Gavrilouk und Team [9, 10] und FlowVision von Dr. A. A. Axenov und Team [11].

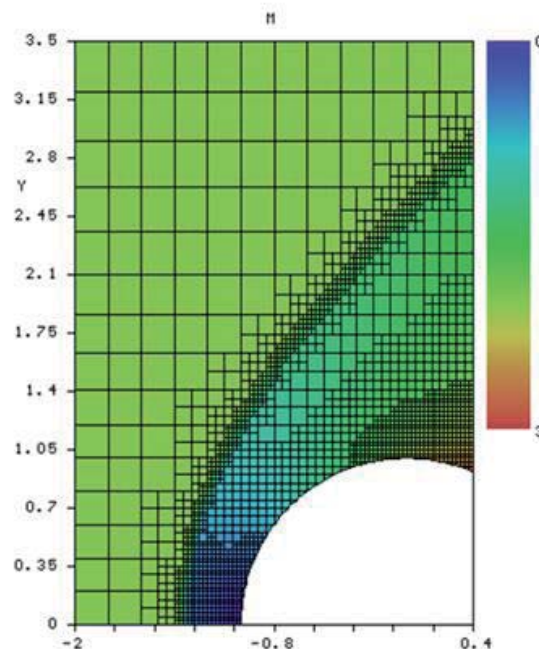


Abb. 2: Ergebnisplot von AeroShape-3D [13]

Charakteristisch für diese erste Phase der Entwicklung kommerzieller CFD-Software waren nach heutigen Maßstäben primitive Benutzerschnittstellen für die Dateneingabe, rudimentäre Grafik und sehr bescheidene Rechenressourcen, wobei besonders der verfügbare RAM-Speicher stets zu knapp bemessen war und die maximale Modellgröße schmerzhaft begrenzte. Diese Limitierungen führten zu sehr hohen Anforderungen an den Bearbeiter bezüglich der Modellierung sowohl der Geometrie als auch der Physik, da die reale Aufgabenstellung aufwendig analysiert, im zulässigen Rahmen vereinfacht und mit viel Handarbeit in die Software eingegeben werden mußte. Die Unsicherheiten bei der Auswahl und Konfiguration der physikalischen Modelle sowie die Fehleranfälligkeit bei Eingaben war sehr hoch, und damit auch der Bedarf nach umfassender Evaluierung und Prüfung der Simulationsergebnisse auf Brauchbarkeit. Das erforderte umfangreiches Wissen über numerische Verfahren, die Grundlagen der physikalischen Modelle und die Konsequenzen für die CFD-Modellierung. Deshalb waren die Anwender von CFD-Technologie in dieser Zeit fast ausschließlich Wissenschaftler oder wissenschaftlich tätige Ingenieure, die praktisch jedes Simulationsergebnis teilweise oder vollständig mit experimentellen Untersuchungen validierten. Charakteristisch für diese Zeit war aber auch, daß aufgrund der noch geringen Erfahrungen mit Anwendungen von CFD-Simulationen für industrielle Projekte und einer sich verschärfenden Wettbewerbssituation im CFD-Softwaremarkt die Hersteller zu starken Übertreibungen bei der Darstellung der Leistungsfähigkeit ihrer Produkte für die Lösung von Aufgaben in der Industrie neigten. Dies, gepaart mit den

gemischten Erfahrungen der ersten industriellen Anwender bezüglich der mit akzeptablem Aufwand erzielbaren Ergebnisqualität, hat wohl den Ruf von CFD-Simulationen als zu langsam, zu teuer und zu ungenau begründet. Dieser schlechte Ruf hat sich bei Ingenieuren hartnäckig über zwei Jahrzehnte erhalten und verbesserte sich erst im Laufe der dritten Entwicklungsphase, als CFD-Simulationen zum täglichen Handwerkszeug einer neuen Generation von Anwendern wurde.

Ab Beginn der 90iger Jahre änderten sich die Rahmenbedingungen für CFD-Software recht schnell, da sowohl bei der Entwicklung der Rechenhardware als auch der mathematischen Methoden und physikalischen Modelle enorme Leistungssteigerungen zu verzeichnen waren. Rechenleistung und RAM-Speicher wurden immer größer und billiger und führten sowohl zu neuen, für industrielle Anwender viel leichter zugänglichen Hardware-Arten wie UNIX-Workstations und Workstation-PCs als auch zum Einzug von bezahlbarem High Performance Computing (HPC) in die Industrie in Form von Computerclustern. Diese neuen Möglichkeiten auf der Hardwareseite befeuerten natürlich auch die Softwareseite. Neue, für komplexe Geometrie geeignete und für HPC optimierte numerische Verfahren wie unstrukturierte Finite-Volumen-Methoden, Multigrid-Verfahren, Sliding Mesh usw. wurden ebenso kommerziell verfügbar wie zuverlässigere, flexiblere und breiter anwendbare physikalische Modelle. Damit entstanden neue Anwendungsmöglichkeiten, die Technologie wurde wesentlich praxistauglicher und erstmals waren realistische Modellgrößen für industrielle Anwendungen möglich. Hanna et al. haben diese Entwicklung in [1] analysiert und beispielweise eine direkte Korrelation zwischen dem Moore'schen Gesetz für die Rechenleistung und der Modellgröße am Beispiel für CFD-Simulationen für den Automobilsport festgestellt. Diese neuen Möglichkeiten von Hardware und numerischen Methoden haben dann eine neue Phase der Entwicklung kommerzieller CFD-Software eingeläutet: den Einzug in die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der Industrie auf breiter Front.

## 2.2 Die zweite Phase: CFD kommt in die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der Industrie

Technisch eigentlich ein typischer Vertreter der ersten Phase hatte das Softwarepaket FloTHERM der 1988 von David Tatchell und Harvey Rosten in Kingston upon Thames (UK) gegründeten Firma Flomerics Ltd, das 1989 auf den Markt kam, eine Pionierrolle bei der Entwicklung von CFD-Software ausschließlich für industrielle Anwendungen übernommen. Beide Gründer waren bei CHAM Ltd in leitenden Positionen, bevor sie Flomerics Limited mit dem Ziel gründeten, „...providers of 'solutions to industry problems'." zu werden [4]. FloTHERM war ein erster Paradigmenwandel in der CFD-Industrie, weg vom Fokus auf komplexe CFD-Technologie und hin zur Lösung von ingenieurtechnischen Aufgabenstellungen in der Industrie als zentrales Ziel. Das bedeutete insbesondere, daß nun hauptsächlich Ingenieure und nicht mehr Wissenschaftler die Anwender der Simulationssoftware sein sollten. Allerdings setzte die seinerzeit verfügbare CFD-Technologie und Computerhardware einem solchen innovativen Konzept gewisse Grenzen. Deshalb konzentrierte sich Flomerics zu Beginn auf nur einen Anwendungsbereich: Electronics Cooling. Die Anforderungen an konsequent Ingenieur-orientierte CFD-Software in diesem Bereich waren relativ klar definierbar und vor allem mit der verfügbaren CFD-Technologie auch umsetzbar.

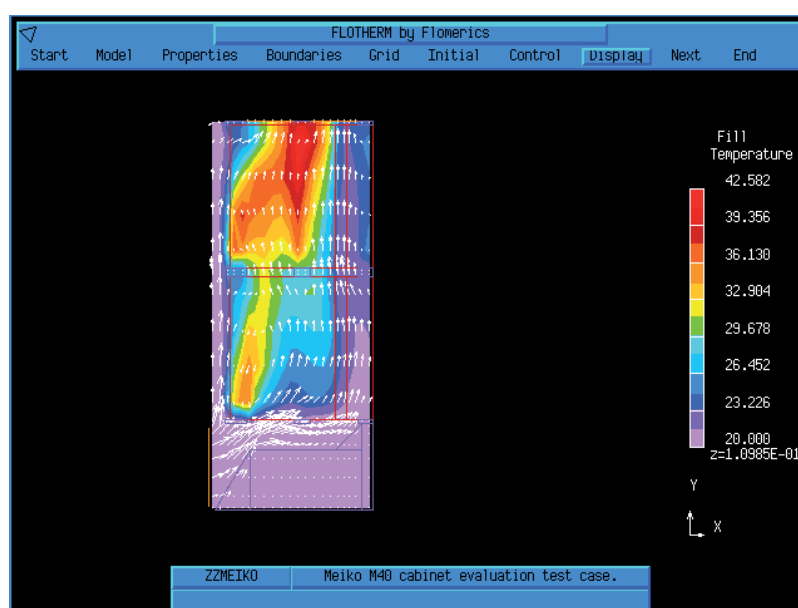


Abb. 3: Frühe Version von FloTHERM [1]



Dieses Konzept eröffnete völlig neue Marktchancen, da erstmals ein viel größerer Anwenderkreis angesprochen wurde. Erstmals war es auch Ingenieuren in der Produktentwicklung möglich, ohne spezielle Kenntnisse der Numerik und ohne langjährige CFD-Erfahrung relativ kostengünstig CFD-Simulationen als Entwicklungswerkzeug zu nutzen. Erstmals stand die Lösung einer ingenieurtechnischen Aufgabe im Mittelpunkt, und die CFD-Technologie war mehr oder weniger nur ein Mittel für deren Bearbeitung.

Natürlich hatten auch andere CFD-Anbieter den beginnenden Paradigmenwechsel und vor allem die damit verbundenen neuen Geschäftsmöglichkeiten erkannt und mit ihren Angeboten darauf reagiert. So gab es beispielsweise ein speziell entwickeltes Tool für Fluent für die Simulation von Mischvorgängen, die Firma Fluid Dynamics International war mit der Software ICEPAK auf Basis des FIDAP-Solvers auch in den Electronics Cooling-Markt eingetreten, und CD Adapco hatte eine Reihe von speziellen Engineering-Tools für die Automobilindustrie entwickelt. Aber auch neue Firmen wie Exa Corporation (Powerflow) und Blue Ridge Numerics (CFdesign) haben Chancen gesehen und mit speziell für industrielle Anwendungen entwickelten Produkten den Wettbewerb aufgenommen. Insgesamt konnten hohe Investitionen aller CFD-Softwarehersteller in bessere Benutzeroberflächen, robuste Solver und zuverlässige physikalische Modelle beobachtet werden, die mit dem klaren Ziel erfolgten, CFD in den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der großen Industriebetriebe zu etablieren und eine neue Generation von CFD-Anwendern zu gewinnen. Diese zweite Phase der Entwicklung von CFD-Software für industrielle Anwendungen dauerte etwa von Anfang der 1990iger bis Mitte der 2000er Jahre und ist von der Wechselwirkung von guter Verfügbarkeit von für CFD-Simulationen brauchbarer, preiswerter Rechenhardware, stark zunehmender Nachfrage nach CFD-Simulationen vor allem aus großen Unternehmen und den Anstrengungen der CFD-Softwarehersteller zur Demokratisierung der CFD-Technologie geprägt. Allerdings werden viele Anwender einen weiteren Trend aus dieser Zeit mit gemischten Gefühlen erlebt haben: die beginnende Konsolidierung der CFD-Softwareindustrie durch Akquisitionen und Marktaustritte. Viele etablierte CFD-Systeme waren inzwischen bereits veraltet und erforderten hohe Entwicklungsaufwendungen. Organisches Wachstum war für die großen Anbieter mit den bisher gewohnten Raten nicht mehr so einfach möglich. Stark gestiegene Entwicklungskosten und zunehmend schärferer Wettbewerb hatten die Bündelung der Kräfte für die Bewältigung der Aufgaben der Zukunft erforderlich gemacht. So wurden in dieser Phase auch die Grundlagen für die großen Softwarekonzerne mit Tausenden von Mitarbeitern gelegt, die nach zahlreichen Akquisitionen heute den CFD-Software-Markt dominieren.

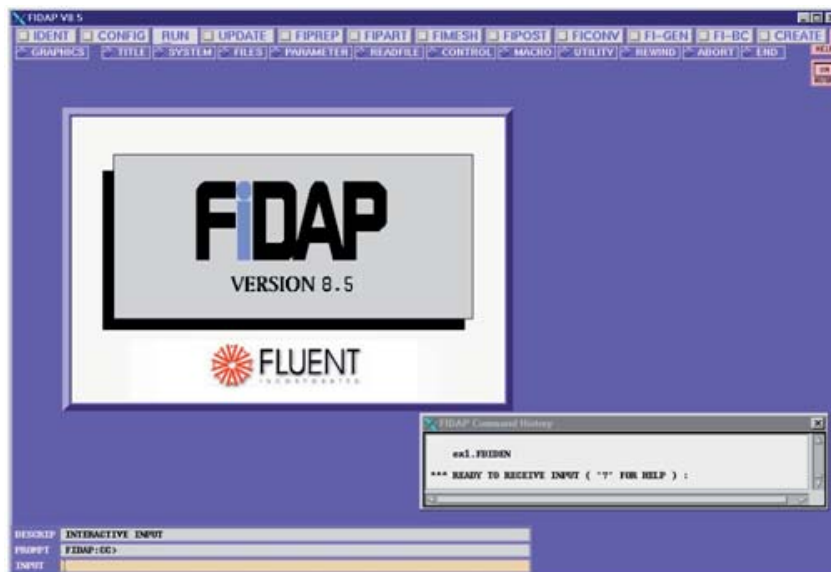


Abb. 4: FIDAP-Benutzeroberfläche in den späten 90igern [14]

Nachdem sich nun bis etwa Anfang der 2000er Jahre CFD als Methode für die funktionale Auslegung, Verifikation und Optimierung von Produktdesigns, Funktionen, Prozessen und physikalischen Effekten erfolgreich in industriellen Großunternehmen etabliert hatte, hatte sich auch der Ruf dieser Methode unter den Ingenieuren deutlich verbessert. Es war inzwischen vieltausendfach nachgewiesen worden, daß es bei entsprechender Sorgfalt des Anwenders, mit geeigneter Hardware und der richtigen Modellierung sehr wohl möglich ist, durch CFD-Simulationen am virtuellen Prototyp signifikant Entwicklungskosten und Entwicklungszeit einzusparen. Der Bedarf für CFD-Simulationen wuchs kräftig, vor allem auch in mittelständischen und kleineren Unternehmen. Für diese Unternehmen stellten aber die Kosten von CFD-Simulationen im Vergleich zu alternativen Methoden

– allen voran experimentelle Untersuchungen – auch noch zu Beginn der 2000er Jahre eine sehr ernste Hürde dar. Diese Kosten waren vor allem durch die erforderliche hohe Qualifikation der Projektbearbeiter, die lange Einarbeitungszeit, oft sehr langwierige Modellierung besonders bei komplexer Geometrie und die vergleichsweise hohen Lizenzgebühren für die Software bestimmt. Ein weiterer wichtiger Aspekt war die Notwendigkeit der Integration von CFD-Simulationen in den regulären Produktentwicklungsprozeß, da diese Unternehmen in der Regel (noch) über keine eigenständige Berechnungsabteilung verfügten. Dies jedoch bedeutete, daß einerseits qualifizierte Ingenieure aus der Entwicklungs- oder Konstruktionsabteilung die Simulationen selbst durchführen sollten, und andererseits die Effizienz der Simulationsprojekte so weit erhöht werden mußte, daß entsprechende Designvorschläge auf Basis von CFD-Ergebnissen auch tatsächlich im Rhythmus der allgemeinen Konstruktionszyklen vorliegen konnten.

Eine Schlüsselrolle hierbei spielte der Umgang mit der Geometrie, die zu diesem Zeitpunkt bereits überwiegend als 3D-CAD-Daten vorlag und natürlich mit so geringem Aufwand wie möglich für die ebenfalls nach Möglichkeit vollautomatische Netzgenerierung verwendet werden sollte. Der CFD-Software-Markt reagierte auf diese Anforderungen mit zahlreichen neuen und weiterentwickelten Produkten – eine dritte Phase der Entwicklung von CFD-Software für industrielle Anwendungen begann und dauert bis heute an.

### 2.3 Die dritte Phase: CFD wird zu einem unverzichtbaren Bestandteil des industriellen Produktentwicklungsprozesses

Vor allem die großen CAD- und PLM-Anbieter spielen in dieser dritten Phase eine Schlüsselrolle. Das in den 90iger Jahren erfolgreich eingeführte Konzept des Product Lifecycle Management (PLM) hat natürlich CFD nicht ausgeschlossen – im Gegenteil. Die Anwender forderten von der CFD-Software-Industrie, ihre Produkte in die PLM-Systeme zu integrieren, sowohl technisch als auch konzeptionell. Praktisch alle CFD-Anbieter hatten deshalb in den 2000er Jahren ihre Systeme mindestens mit CAD-Import-Schnittstellen ausgerüstet, viele hatten eine direkte Anbindung an die wichtigsten CAD/PLM-Systeme entwickelt und einige wenige ihre CFD-Technologie direkt in 3D-CAD-Systeme integriert. Dies wurde von den CAD-System-Herstellern technisch und konzeptionell ermöglicht, da im Zuge des PLM-Gedankens für eine durchgängige Abbildung der Entwicklungsprozesse in den Unternehmen die Mitarbeit von externen, spezialisierten Modulentwicklern notwendig und erwünscht war. In dieser Zeit sind Produkte wie Fluent for Catia (Fluent Inc), CFdesign (Blue Ridge Numerics) und FloWorks (NIKA GmbH) entstanden. Aber auch für diese erweiterten Anforderungen geeignete CFD-Technologien wurden entwickelt, teilweise von Grund auf neu, teilweise als Weiterentwicklung. Beispielsweise entwickelt CD-adapco seit 1999 sehr erfolgreich ein neues CFD-Paket Star-CCM+ mit einem innovativen, objektorientierten Ansatz. Die Firma NIKA GmbH, 1999 als deutsch-russisches Joint-Venture gegründet, ist ein typischer neuer Vertreter dieser dritten Phase kommerzieller CFD-Software. NIKA hatte auf Basis der obenerwähnten Aeroshape-3D-Technologie ausschließlich CAD-integrierte CFD-Software entwickelt, die heute als eigenständige Varianten für verschiedene CAD-Systeme angeboten werden.

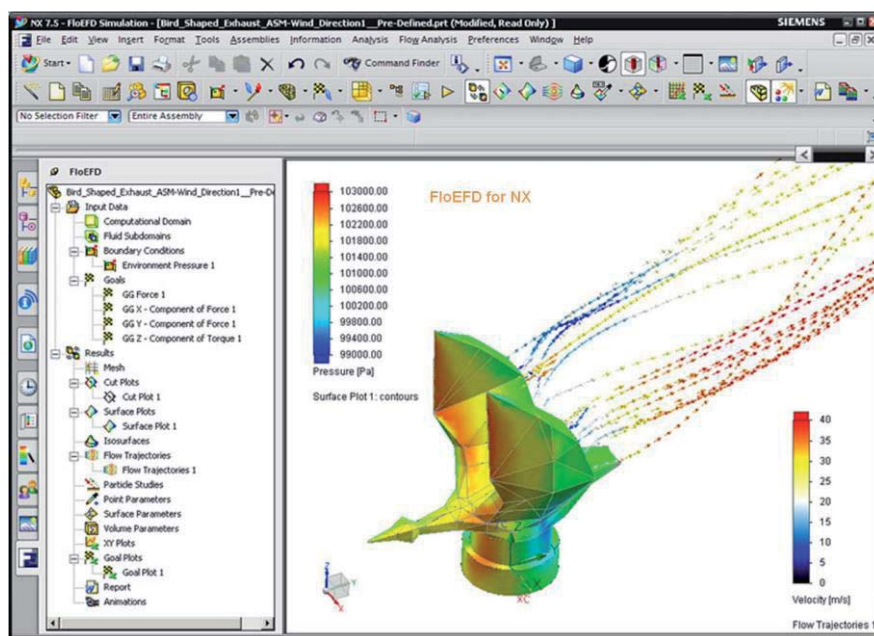


Abb. 5: FloEFD for NX von Mentor Graphics [20]

Auch Blue Ridge Numerics hatte sein Paket CFdesign als Reaktion auf die veränderten Marktbedingungen für den Einsatz als Upfront CFD-System neu ausgerichtet. Besonders auch die PLM-Anbieter selbst sind in letzter Zeit mit Akquisitionen verstärkt im Bereich integrierter CFD-Software für die Unterstützung des Entwicklungsprozesses tätig geworden. Dassault Systèmes' SIMULIA ist mit Abaqus/CFD und Siemens PLM mit NX Advanced Flow und FEMAP Flow Solver in diesem Markt vertreten. Autodesk hat sein CFD-Simulationsportfolio mit der Akquisition von CFdesign von Blue Ridge Numerics und der Algor-Suite ebenfalls kräftig verstärkt. Die aktuelle dritte Phase bietet aber auch Newcomern aus völlig anderen Bereichen neue Chancen und belebt damit den CFD-Markt. Ein Beispiel ist XFlow von Next Limit Technologies (Spanien), das neben einer alternativen CFD-Technologie und Erfahrungen aus der Filmindustrie auch eine an Animationssoftware erinnernde Bedienoberfläche in die Ingenieurswelt überführt hat. Auch Autodesk's Project Falcon setzt mit Gaming-Elementen neue Impulse in der CFD-Welt.

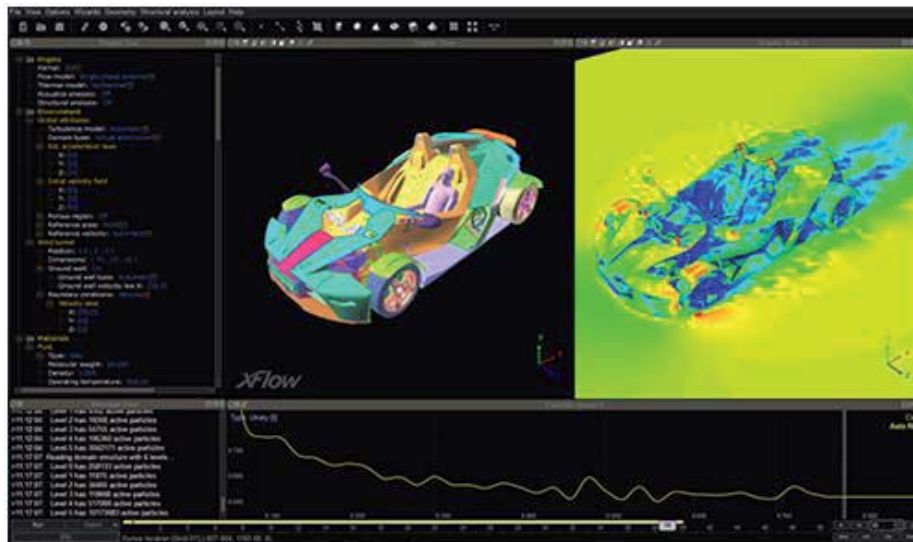


Abb. 6: User Interface of XFlow von Next Limit Technologies [18]

Dies alles unterstreicht einen neuen Trend: Der CFD-Software-Markt wird vielfältiger, vor allem durch innovative, unkonventionelle Ansätze besonders im Bereich User Experience und Usability. Eines haben jedoch alle gemeinsam: Der Anwender in der Industrie mit seinem Bedürfnis nach einfach zu bedienender, aufgabenorientierter, automatisierter, zuverlässiger und effizienter CFD-Software für den täglichen Einsatz als unverzichtbares Werkzeug für digitales Prototyping steht jetzt im Mittelpunkt. Ursache dafür sind die sich wandelnden Entwicklungsprozesse und die sich als Folge ebenso stark verändernde Rolle des Simulationsingenieurs. Eigenschaften wie Prozeßintegration, Zuverlässigkeit, Modellersicherheit, Reproduzierbarkeit und Unabhängigkeit der Ergebnisqualität von der Leistungsfähigkeit eines einzelnen Bearbeiters rücken in den Mittelpunkt für künftige Kaufentscheidungen für CFD-Software. Die weitere Entwicklung von CFD-Software wird sich an diesen Anforderungen orientieren und zu interessanten neuen Technologien und Produkten führen. Wird deshalb der aktuellen dritten Phase schon in Kürze eine neue, vierte Phase folgen?

### 3 Die Zukunft - Eine Vision

Hanna et al. haben 2011 in [1] ihre Vision für die Zukunft so beschrieben: „In the authors' opinion the “Holy Grail” of CFD, that is: real-time, push-button, automated, easy-to-use, CAD-embedded, bi-directional, multi-physics enabled CFD is still to be reached. Some CFD codes come closer to these ideals than others today, and many factors will feed into creating this nirvana in the next 20 years; not least hardware, algorithmic, physical modeling and coupling advances in the industry.“

Solch ein langfristiges Ziel kann natürlich nur schrittweise erreicht werden. Auf dem Weg dahin sind zahlreiche Herausforderungen zu meistern, wie die Autoren selbst angemerkt haben. Und vielleicht muß ja auch das Ziel gelegentlich neu justiert werden, da sich die Anforderungen und die Rahmenbedingungen auf diesem Weg ebenfalls ändern. In den folgenden Abschnitten sollen deshalb einige ausgewählte Elemente dieses Weges diskutiert werden, wie sie sich aus heutiger Sicht darstellen.



### 3.1 Multiphysics

Der wohl wichtigste Aspekt auf dem Weg hin zum „Holy Grail“ der Simulation ist die immer realistischere Abbildung der realen physikalischen Verhältnisse ohne „Branchengrenzen“, wie sie heute in der Abgrenzung als CFD, Struktursimulation, Kinematik usw. historisch bedingt immer noch existieren. Erste Ansätze dafür sind bereits erkennbar, allgemein als „Multiphysics-Simulation“ bezeichnet. Einige Softwarehersteller wie ANSYS und COMSOL haben „Multiphysics“ als zentralen Aspekt ihrer Produktphilosophie gewählt und bieten ein sehr breites Spektrum an physikalischen Simulationsmöglichkeiten an. Allerdings liegt der Focus bei Multiphysics-Anwendungen immer noch auf dem Meistern der Funktionen und des formal-technischen Zusammenwirkens der einzelnen Komponenten, die inhaltlich und/oder historisch bedingt nicht konsistent funktionieren. Bei diesem Problem helfen heute übergeordnete Frameworks, die als „Dachfunktion“ die notwendige Infrastruktur für die Zusammenarbeit bereitstellen. Diese Frameworks können sowohl eigene Entwicklungen eines Multiphysics-Softwareanbieters sein oder durch unabhängige Drittentwickler als Middleware bereitgestellt werden. Ein Beispiel für eine solche Middleware ist das Fraunhofer MpCCI-Framework.

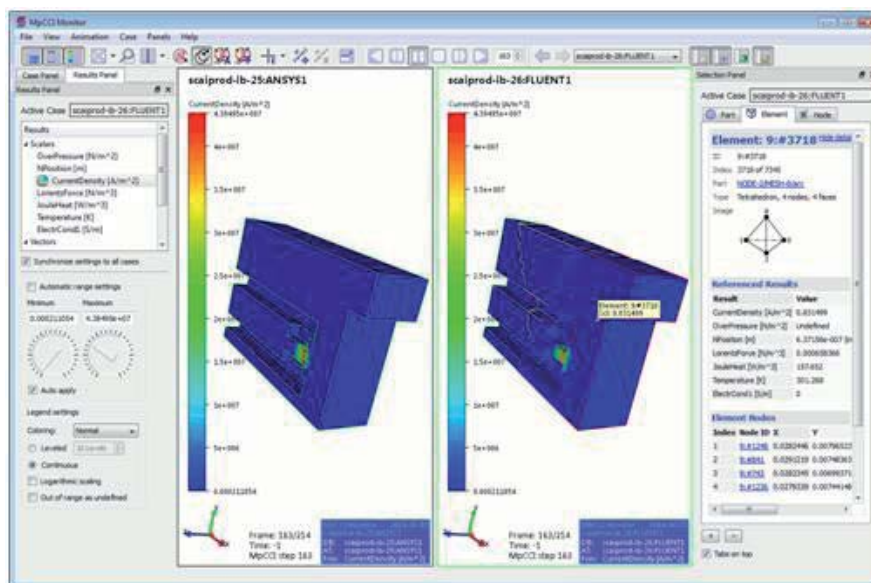


Abb. 7: MpCCI Visualizer von Fraunhofer SCAI [17]

Ein weiterer limitierender Faktor heutiger Multiphysics-Ansätze ist die Abbildung einer realen komplexen physikalischen Situation durch die historisch gewachsenen einzelnen „Branchenmodule“ für ein Simulationsprojekt. Es ist eine sehr anspruchsvolle Aufgabe für einen Ingenieur, die physikalischen Grenzen der einzelnen Module zu verstehen, sie auf das Simulationsmodell zu übertragen und ihre physikalisch korrekte Kopplung nicht nur formal-technisch, sondern vor allem auch inhaltlich zu gewährleisten. Heute ist die Auswahl der geeigneten Module, deren Konfiguration und Anordnung im Simulationsworkflow ausschließlich in der Verantwortung des Bearbeiters, wobei der tatsächlich machbare Workflow von den technischen Eigenschaften der vorhandenen Module und nicht von der zu lösenden Aufgabe bestimmt wird. Deshalb wird eine Grundvoraussetzung für den Erfolg sein, die heute noch getrennten physikalischen Module nicht nur zu koppeln, sondern in einem einzigen, konsistenten Lösungsverfahren zu verschmelzen. Das muß mit einem auf den Ingenieur ausgerichteten User Experience Design ausgestattet sein, das den Fokus von der schlichten Machbarkeit auf die effiziente Lösung der ingenieurtechnischen Aufgabenstellung als wichtigstem Kriterium verschiebt.

### 3.2 Simulationsmethoden

Wird dieser Gedanke eines „General Solvers“ im Sinne einer möglichen Realisierung weiterverfolgt, wird man zwangsläufig mit den einzelnen physikalischen Simulationsverfahren zugrundeliegenden, sehr unterschiedlichen und oft auch inkompatiblen mathematischen Methoden konfrontiert. Diese Vielfalt ist natürlich sinnvoll, da die Eigenschaften der physikalischen Modellansätze ebenfalls sehr unterschiedlich sind und es für jeden Bereich eine favorisierte Methode gibt, die ein Optimum aus Ergebnisgenauigkeit, Ressourcenbedarf und Effizienz darstellt. Es ist sicherlich kein erstrebenswertes Ziel, diesen Vorteil zu opfern und zu versuchen, ein einziges Verfahren für alle denkbaren physikalischen Anwendungen zu entwickeln, das in vielen Bereichen wesentlich ineffizienter als die besten Einzellösungen arbeiten wird. Es wird vielmehr das Ziel sein, eine Solver-Infrastruktur zu entwickeln, die das jeweils beste Verfahren für jede Situation automatisch verwendet, und zwar



auch kombiniert und bi-direktional gekoppelt innerhalb eines Simulationsmodells sowie über Modellgrenzen hinweg. Das bedeutet, daß dafür auch ganz unterschiedliche Methoden integriert werden müssen: Diskretisierungsverfahren wie Finite Volumen für interne Strömungen gekoppelt mit Partikelverfahren wie Smoothed Particle Hydraulics für Mehrphasenbereiche und 1D-Ansätzen für einfache Geometriebereiche, um nur ein Beispiel zu nennen. Viele Elemente für ein solches Konzept stehen bereits heute als ausgereifte, zuverlässige Komponenten zur Verfügung. Es gilt nun, die historisch gewachsene Modularität physikalischer Modellierungsansätze zugunsten einer einheitlichen Simulationsengine aufzulösen, die die besten verfügbaren Methoden in sich vereint. Der große Vorteil eines solchen Ansatzes ist die damit gegebene Möglichkeit, den gesamten technischen Lösungsprozeß von Simulationen auch für komplexe physikalische Zusammenhänge weitestgehend vom Ingenieur als Anwender zu entfernen und einen Workflow anzubieten, der ausschließlich an der Aufgabenstellung und deren Lösung orientiert ist. Dies wird als eine realistische Möglichkeit angesehen, auf dem Weg zum „Holy Grail“ der CFD-Simulation ein gutes Stück voranzukommen.

### 3.3 User Experience und Usability

Zweifellos wird der Ingenieur als Anwender das ausschließliche Maß aller Dinge für jede zukünftige Entwicklung von Simulationssoftware sein. Die Software wird sich dem Arbeitsumfeld des Anwenders, seinen Anforderungen und seiner individuellen Leistungsfähigkeit anpassen und nicht umgekehrt. Das betrifft sowohl die übergeordnete konzeptionelle Ebene als auch jedes einzelne Detail der Software. Das betrifft aber auch bereits den Prozeß der Produktspezifikation und die Implementierung beim Softwarehersteller. Bereits heute haben viele Softwarehäuser moderne Entwicklungsprozesse wie Agile Development eingeführt. Diese Prozeßorganisation unterstützt das erforderliche User Centered Design-Prinzip auf natürliche Weise und ist eine Voraussetzung für die effiziente Umsetzung von Usability-Anforderungen für eine herausragende User Experience. Intelligente Investitionen in diesem Bereich werden zweifellos zu einem attraktiven Alleinstellungsmerkmal im CFD-Softwaremarkt führen. Auch das Arbeitsumfeld von Entwicklungsingenieuren und Konstrukteuren wird sich weiter verändern. Neue Eingabetechniken, die besser den natürlichen menschlichen Bewegungsabläufen entsprechen, werden entwickelt oder sind bereits auf dem Weg in die Büros. Als Beispiel seien hier Augmented Reality oder Touchbedienung genannt. Ebenso werden neue Visualisierungstechnologien für eine ergonomische, naturgetreue Darstellung der simulierten physikalischen Verhältnisse kommen. Beispielsweise wird gerade die jahrhundertealte Kommunikation zwischen Ingenieuren, Technikern und Arbeitern auf der Basis von 2D-Ausdrucken durch Kommunikation auf der Basis von gegenständlichen 3D-Ausdrucken ergänzt. Dieser Trend wird sich fortsetzen, da der Mensch als finaler Entscheider auch in absehbarer Zukunft die zentrale Rolle im Entwicklungsprozeß spielen wird. Und dieser Trend wird auch von Simulationssoftware aufgegriffen und aktiv unterstützt werden, da die Veranschaulichung und Kommunikation der simulierten Ergebnisse im Kontext der weiter steigenden Bedeutung des virtuellen Prototyping für den Produktentwicklungsprozeß und der damit einhergehenden ebenfalls steigenden Verantwortung von Simulationsingenieuren für ihre Schlußfolgerungen enorm an Bedeutung gewinnen wird.

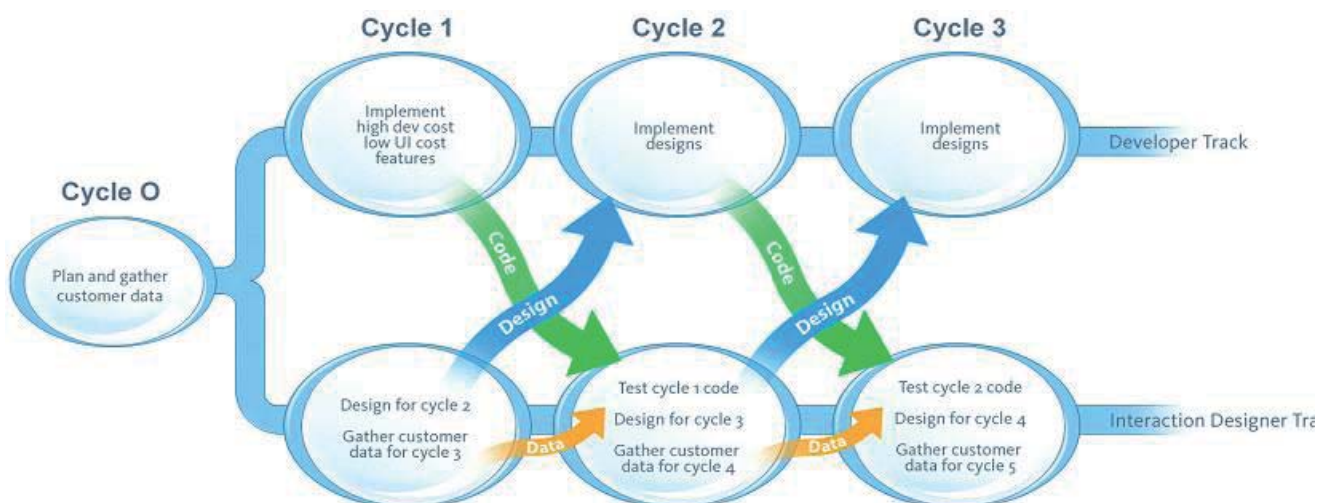


Abb. 8: User Centered Design eingebunden in Agile-Entwicklungsmethoden [19]

Jedoch nicht nur auf der abstrakten, konzeptionellen Ebene werden User Experience und Usability als Entscheidungskriterien im Markt eine wesentlich größere Rolle als heute noch spielen. Auch an jedes Detail der Benutzerführung einer Simulationssoftware werden künftig wesentlich höhere Anforderungen gestellt werden. Viele Bedienungselemente heutiger CFD-Software stammen noch aus den Anfängen der Softwareentwicklung, auch wenn sie inzwischen durch graphisch ansprechende Oberflächen ersetzt wurden. Das Problem im Detail liegt nicht an der Oberfläche, sondern tiefer im Verhalten der Software. J. Nielsen et al. haben ab 1990 eine inzwischen recht populäre Liste von allgemeinen Prinzipien für die Gestaltung von Benutzerschnittstellen erarbeitet, die sogenannten „10 Usability Heuristics“ [16]. Es ist zweifellos die Zeit gekommen, diese Prinzipien auch für kommerzielle CFD-Software konsequent und innovativ umzusetzen.

#### 4 Literatur

- [1] Hanna, K., Parry, J.: „Back to the Future: Trends in Commercial CFD“. Paper und Präsentation zum NAFEMS World Congress 2011, Boston, 2011
- [2] Boysan, H. F., Choudhury, D., Engelman, M. S.: „Commercial CFD in the Service of Industry: The First 25 Years“. In: Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design, Volume 100, 2009, Seiten 451-461
- [3] Runchal, A.K., „Brian Spalding: CFD & Reality“. In: Proceedings of CHT-08, 2008, (CHT-08-012)
- [4] Tatchell, D.: „David Tatchell's Blog“, In: <http://blogs.mentor.com/davidtatchell/>, Mentor Graphics, 2009
- [5] Concentration, Heat and Momentum Limited (CHAM Ltd): „Earlier versions of PHOENICS: A brief history“. In: [http://www.cham.co.uk/phoenics/d\\_polis/d\\_chron/earlyver.htm](http://www.cham.co.uk/phoenics/d_polis/d_chron/earlyver.htm)
- [6] Smith, R.: „Origins of the Commercial CFD Industry“. In: <http://www.symscape.com/blog/origins-of-the-commercial-cfd-industry>, Symscape, 2008
- [7] Smith, R.: „Evolution of Commercial CFD“. In: <http://www.symscape.com/blog/evolution-of-commercial-cfd>, Symscape, 2008
- [8] Buonpastore, P.: „Flomerics Celebrates 20th Anniversary“. In: Printed Circuit Design & Fab, 2008, <http://pcdandf.com/cms/magazine/95/4159>
- [9] Petrowa, J.: „GUS - Informationstechnologien im CeBIT-Spiegel: Partner gesucht“. In: ComputerWeekly, Volume 8, 1998, [http://scripts.online.ru/it/press/cwm/08\\_98/gus.htm](http://scripts.online.ru/it/press/cwm/08_98/gus.htm)
- [10] Alyamovskiy, A. A.: „SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике“. bhv, St. Peterburg, 2008, Seiten 467-468, <http://books.google.de/books?isbn=5941579942>
- [11] Aksenov, A. A., Karchenko, S. A., Konshin, V. N., Pokhilko, V. I.: „FlowVision software: numerical simulation of industrial CFD applications on parallel computer systems“. In: Proceedings of Parallel CFD 2003 Conference, Moscow, 2003
- [12] Dupuis, M.: „Modelling of Magneto Hydro Dynamic (MHD) Flows“. GeniSim, 1993, <http://www.genisim.com/website/cfdsc0501.htm>
- [13] Parry, J., Kharitonovich, A., Weinhold, I.: „FloEFD – History, Technology & Latest Developments“. Mentor Graphics, 2012
- [14] N.N.: „FIDAP/GAMBIT“, 2007, Zugriff über University of Delaware, <http://www.udel.edu/topics/software/special/statmath/fidap/>
- [15] N.N.: „Gambit User Guide“, 1998 – 2007, Zugriff über University of California Davis, [http://aerojet.engr.ucdavis.edu/gambithelp/html/users\\_guide/ug0301.htm](http://aerojet.engr.ucdavis.edu/gambithelp/html/users_guide/ug0301.htm)
- [16] Nielsen, J.: „Usability Engineering“, Academic Press, 1993, <http://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>
- [17] N.N.: „MpCCI 4.2.1. Documentation“, Fraunhofer SCAI, 2012, Seite 137
- [18] N.N.: „XFlow Innovative CFD for Supercomputer Results on Your Desktop“, MSC Software, 2011, Seite 3
- [19] Sy, D.: „Adapting Usability Investigations for Agile User-centered Design“. In: Journal of Usability Studies, Vol. 2, Issue 3, 2007, Seiten 112-132
- [20] N. N.: „FloEFD™ is ‚Concurrent CFD‘: analyze as you design and speed up your workflow.“ <http://www.mentor.com/products/mechanical/products/floefd/>

# Untersuchung des Einflusses verschiedener Versuchs-konfigurationen auf die Dichtspalttemperatur bei Radial-Wellendichtungen mittels CHT-Simulation

Dipl.-Ing. Simon Feldmeth, Dr.-Ing. Frank Bauer, Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Haas  
Institut für Maschinenelemente, Universität Stuttgart

Die Temperatur im Kontaktbereich von Radial-Wellendichtungen ist maßgeblich für deren Funktion und Lebensdauer. Am Institut für Maschinenelemente der Universität Stuttgart wurde ein CHT-Simulationsmodell (Conjugate Heat Transfer) entwickelt, das die Entstehung und Abfuhr der Reibwärme nachbildet und damit die Vorhersage der sich im Betrieb einstellenden Temperaturverteilung im Dichtsystem ermöglicht.

## 1 Einleitung

In vielen technischen Anwendungen sind Dichtungen erforderlich, die Schmier- und Betriebsstoffe in einem System und Verschmutzungen außerhalb dieses Systems halten. Bei Wellendurchtrittsstellen im Fahrzeug-, Maschinen- und Anlagenbau übernehmen häufig Radial-Wellendichtungen diese Funktion [1], [2].

### 1.1 Radial-Wellendichtungen

Radial-Wellendichtungen stellen ein komplexes tribologisches System dar, zu dem neben dem Radial-Wellendichtring (RWDR) auch dessen Gegenlauffläche (die Wellenoberfläche) und das abzudichtende Fluid (Schmier- oder Betriebsstoff, häufig Öl) zählen. Ein RWDR nach DIN 3760 [3] bzw. DIN 3761 [4] besteht aus einem metallischen Versteifungsring, an den eine Dichtlippe aus Elastomer angespritzt ist, Abb.1. Im montierten Zustand wird die Dichtkante des RWDR durch Aufweitung und eine Schraubenzugfeder an die Wellenoberfläche angepresst (mittlere Flächenpressung  $p_m \approx 1$  MPa), so dass ein schmaler Kontaktbereich, der Dichtspalt, mit einer Berührbreite von  $b \approx 0,1$  bis  $0,2$  mm entsteht.

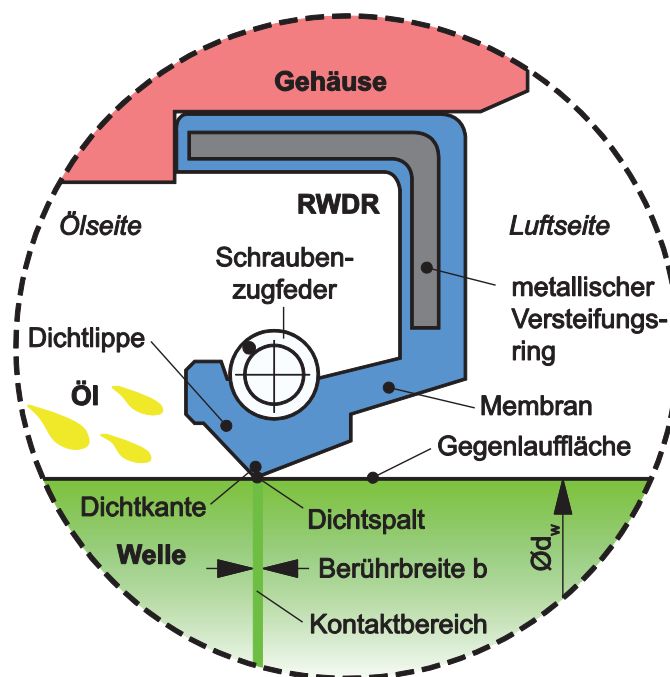


Abb. 1: Dichtsystem Radial-Wellendichtung

## 1.2 Reibwärme und Temperatur

Die im Kontaktbereich zwischen Dichtkante und Welle entstehende Reibwärme beeinflusst die Lebensdauer des Dichtsystems maßgeblich. Je mehr Reibwärme im Kontaktbereich entsteht und je schlechter diese aus dem Kontaktbereich abgeführt werden kann, desto höher ist die Temperaturüberhöhung im Kontaktbereich gegenüber der Ölsumpftemperatur.

Temperaturen nahe oder über der Dauereinsatzgrenze des Dichtrings sind für das Dichtsystem extrem ungünstig. Sie führen zu einer schneller voranschreitenden Alterung (d.h. Schädigung) von Dichtring und Schmierstoff und verursachen damit den vorzeitigen Ausfall des Dichtsystems und damit der gesamten Maschine oder Anlage. Um eine lange Lebensdauer zu erreichen, sind im Dichtsystem – und insbesondere im Dichtspalt – Temperaturen unter der Einsatzgrenze des Dichtrings anzustreben. Für eine betriebssichere und zugleich wirtschaftliche Auslegung des Dichtsystems Radial-Wellendichtung ist die genaue Kenntnis der im Kontaktbereich auftretenden Temperaturen deshalb zwingend erforderlich.

Eine Möglichkeit zur genauen Bestimmung der Dichtspalttemperatur stellt neben den bedingt einsetzbaren experimentellen Methoden die numerische Simulation dar. Mit dieser Methode kann die Dichtspalttemperatur präzise prognostiziert werden. Im Folgenden wird ein hierzu entwickeltes Simulationsmodell vorgestellt, das am Institut für Maschinenelemente (IMA) der Universität Stuttgart entstanden ist und fortlaufend weiterentwickelt wird [5] - [9].

## 2 Simulationsmodell

Zur realitätsnahen Simulation der Temperaturverteilung bildet das Simulationsmodell sämtliche relevanten Vorgänge der Wärmeentstehung und -übertragung ab. Die Entstehung der Reibwärme im Kontaktbereich wird mittels eines Submodells beschrieben. Dieses so genannte Reibwärmemodell bestimmt die entstehende Reibwärme und bringt sie über eine Randbedingung ins Simulationsmodell ein. Die Beschreibung der konvektiven Wärmeübertragung in den Fluiden um das Dichtsystem erfolgt mit Hilfe der Navier-Stokes-Gleichungen. Die Wärmeleitung in den Festkörpern des Dichtsystems und seines Umfeldes wird mit Hilfe der Energie-Gleichung beschrieben. Als Simulationssoftware wird ANSYS 14 (Workbench und CFX) eingesetzt.

### 2.1 Modellierung

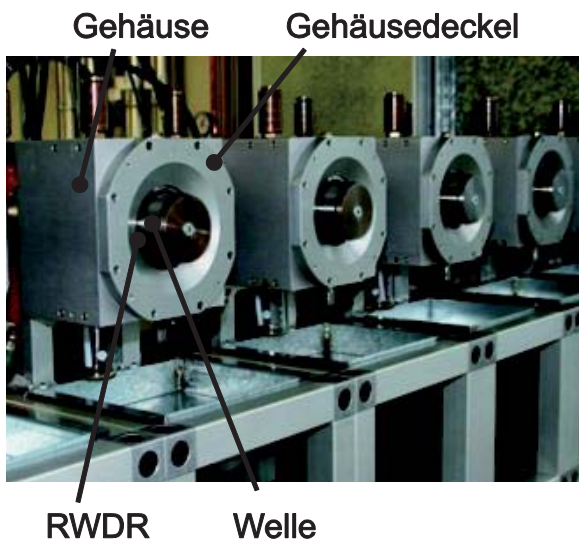


Abb. 2: Dauerlaufprüfstand (4 Prüfmodule sichtbar)

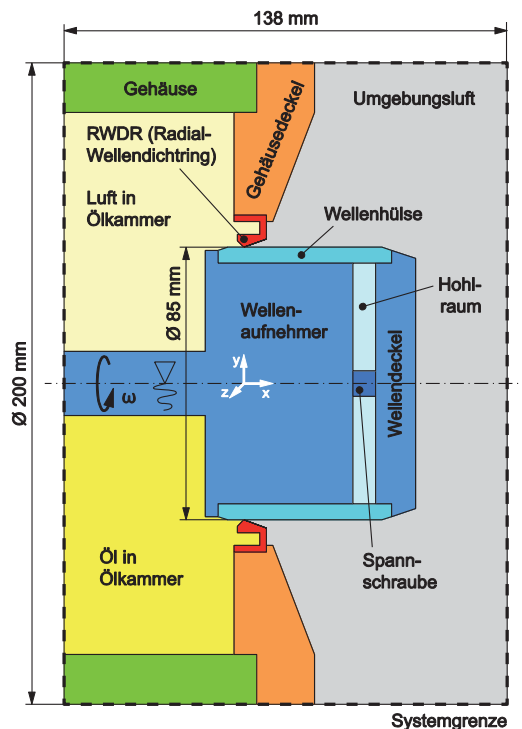


Abb. 3: Schnitt durch das Simulationsmodell (senkrechte Mittelebene)



Das Simulationsmodell basiert auf einem Prüfmodul eines Dauerlaufprüfstandes am Institut, *Abb. 2*. Die Simulationsgeometrie ist gegenüber der realen Geometrie des Prüfstands geringfügig vereinfacht. Das Geometriemodell ist rotationssymmetrisch und besteht aus insgesamt neun Berechnungsgebieten, *Abb. 3*. Neben den sieben Festkörperbereichen Radial-Wellendichtring, Wellenhülse, Wellenaufnehmer, Wellendeckel, Spannschraube, Gehäuse und Gehäusedeckel umfasst das Simulationsmodell auch die beiden Strömungsgebiete Umgebungsluft und Ölkammer. Da die Ölkammer sowohl Öl als auch Luft enthält, ist zur Beschreibung dieser Zwei-Phasen-Strömung ein Mehrphasenmodell notwendig.

## 2.2 Zwei-Phasen-Strömung

In der Praxis werden Getriebe und andere antriebstechnische Aggregate nur mit der technisch erforderlichen Schmierstoffmenge gefüllt, um Kosten, Gewicht und Verlustleistung so gering wie möglich zu halten. Für praxisnahe Untersuchungen von Dichtsystemen am Prüfstand wird die Ölkammer ebenfalls nicht vollständig gefüllt – gebräuchlich ist ein Ölfüllstand auf Höhe der Wellenmitte.

Bei der Modellierung des Prüfstands muss das Vorhandensein von zwei Fluiden (Öl und Luft) in der Ölkammer mittels Mehrphasen-Simulation berücksichtigt werden. Im vorliegenden Fall wird das VOF-Modell (Volume of Fluid) mit vollständig homogenen Gleichungen für zwei Fluide verwendet. Zur Grenzflächenbeschreibung kommt das Free-Surface-Modell zum Einsatz.

## 2.3 Reibwärmemodell

Die im Kontaktbereich entstehende Reibwärme wird in Form einer Wärmequelle als Randbedingung im Simulationsmodell vorgegeben. Für eine realitätsnahe Simulation der Temperatur im Dichtsystem ist die korrekte Angabe der Reibwärme von zentraler Bedeutung. Zur Bestimmung der Reibwärme existieren mehrere Ansätze [8]. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein empirisches Näherungsmodell verwendet, mit dem in vorangegangenen Arbeiten eine realitätsnahe Beschreibung der Wärmeentstehung erzielt wurde [8].

Basis dieses Reibwärmemodells ist ein empirischer Zusammenhang zwischen Gümbelzahl  $G$  und Reibungskoeffizient  $\mu$ . Die Gümbelzahl ist eine dimensionslose Kennzahl und charakterisiert den Schmierungs- bzw. Reibungszustand des Dichtsystems. Die Gümbelzahl ist eine Funktion von Wellendrehzahl  $n_W$ , dynamischer Schmierstoffviskosität  $\eta$  (im Dichtspalt) sowie mittlerer Flächenpressung  $p_m$  im Kontaktbereich während des Betriebs,

$$G = \frac{\eta(\vartheta_{DS}) \cdot 2\pi n_W}{p_m(\vartheta_S)}. \quad (1)$$

Die dynamische Viskosität  $\eta$  des Schmierstoffs ist stark temperaturabhängig. Um die Schmierstoffviskosität im Dichtspalt mittels Ubbelohde-Walther-Gleichung (Abschnitt 2.4) zu berechnen, wird die Temperatur auf der Luftseite in unmittelbarer Dichtspaltnähe  $\vartheta_{DS}$  mittels Thermografie-Kamera (Emissionskoeffizient  $\varepsilon = 0,95$ ) gemessen.

Der Reibungskoeffizient  $\mu$  berechnet sich aus dem Reibmoment  $M_R$ , dem Wellendurchmesser  $d_W$  sowie der Radialkraft  $F_r$  des Dichtrings (gemessen nach 72 Stunden Lagerung auf der Welle) bei Raumtemperatur  $\vartheta_0$ ,

$$\mu = \frac{2 \cdot M_R}{d_W \cdot F_r(\vartheta_0)}. \quad (2)$$

Die mittlere Flächenpressung während des Betriebs entspricht dem Quotienten aus der Radialkraft des RWDR im Betrieb und der Berührfläche (Berührbreite  $b$ ) des Dichtsystems (Wellendurchmesser  $d$ ),

$$p_m(\vartheta_S) = \frac{F_r(\vartheta_S)}{\pi d_W b}. \quad (3)$$

Die Radialkraft des RWDR ist stark temperaturabhängig. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Radialkraft des RWDR in guter Näherung linear ab. Dieser Zusammenhang wird im Simulationsmodell mit folgendem Ansatz abgebildet,

$$F_r(\vartheta) = F_r(\vartheta_0) - \alpha_{Fr} \cdot (\vartheta - \vartheta_0). \quad (4)$$

Der Koeffizient  $\alpha_{Fr}$ , der die Temperaturabhängigkeit der Radialkraft beschreibt, wird aus Radialkraft-Messungen bei verschiedenen Temperaturen (20, 70 und 120 °C) ermittelt.

Die Bestimmung der Radialkraft bzw. der mittleren Flächenpressung für einen Betriebspunkt erfolgt im Simulationsmodell unter der Annahme, dass Dichtlippe und Membrane des RWDR ungefähr die jeweilige Ölsumpfemperatur aufweisen, Gleichung (1) und (3). Diese Annahme ist aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Elastomers möglich. Lediglich kleine Bereiche der Dichtlippe in direkter Nähe des Kontaktbereichs weisen geringfügig höhere Temperaturen auf als der Ölsumpf (vgl. Abb. 9).

Zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Gümbelzahl und Reibungskoeffizient wurden Reibmomentmessungen an einem Universalprüfstand durchgeführt. Insgesamt wurden drei Wiederholversuche mit identischem Dichtsystem bestehend aus FPM-Dichtring (Simrit B1BAUFLX2 – 75 FKM 595), einstichgeschliffener Welle (INA IR75x85x54-EGS, 100Cr6, Ø 85 mm) und Mineralöl (Viskosität  $\nu(40^\circ\text{C}) = 138,5 \text{ mm}^2/\text{s}$ ,  $\nu(100^\circ\text{C}) = 14,39 \text{ mm}^2/\text{s}$ , Sumpftemperatur  $\vartheta_s = 120^\circ\text{C}$ , Füllstand Wellenmitte) in einem Drehzahlbereich von  $n_w = 100$  bis 5000 1/min durchgeführt.

Der in Abb. 4 dargestellte Zusammenhang zwischen Gümbelzahl und Reibungskoeffizient wird mit einer quadratischen Funktion approximiert, um negative Reibungskoeffizienten zu vermeiden, die bei Wahl eines linearen Ansatzes bei geringen Drehzahlen auftreten könnten,

$$\mu(G) = A_1 \cdot (\log G - A_2)^2 + A_3 \quad (5)$$

Die Parameter für Gleichung (5) ergeben sich aus den Reibmomentmessungen zu:

$$A_1 = 0,057, \quad A_2 = -7,5, \quad A_3 = 0,185 \quad (6)$$

Alle 24 gemessenen Reibungskoeffizienten liegen in einem Streuband von  $\pm 6\%$  um die Näherungsgleichung, Abb. 4.

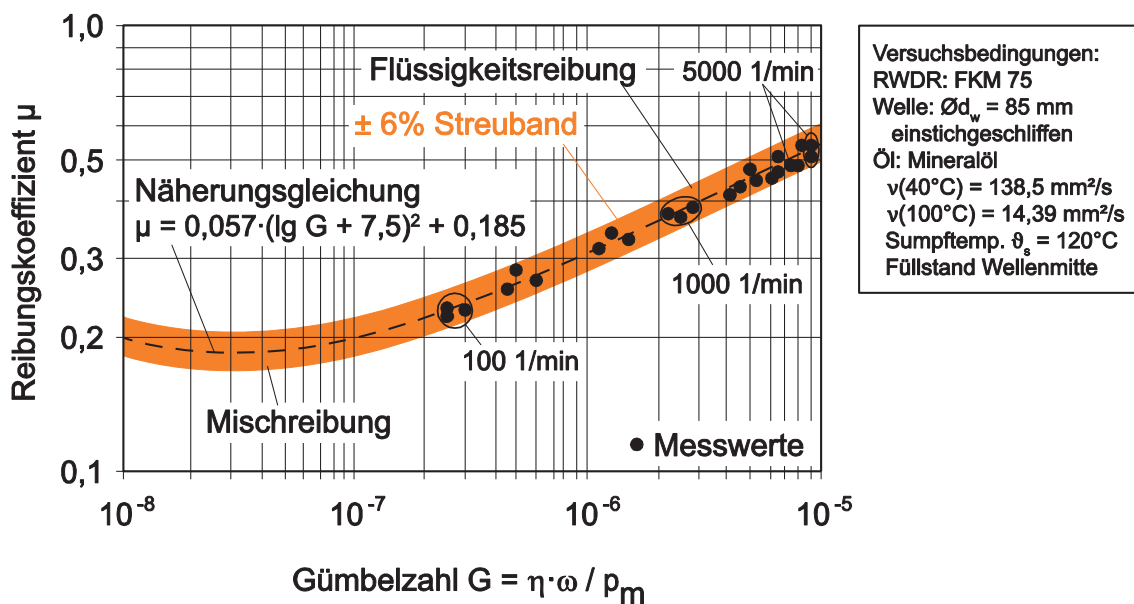


Abb. 4: Zusammenhang zwischen Gümbelzahl  $G$  und Reibungskoeffizient  $\mu$

Mit der Näherungsgleichung kann während der Simulation für einen breiten Betriebsbereich der zum jeweiligen Betriebspunkt gehörende Reibungskoeffizient  $\mu$  ermittelt werden. Daraus lässt sich mit der Radialkraft des RWDR  $F_r$  (gemessen nach 72 Stunden Lagerung auf der Welle), dem Wellendurchmesser  $d_w$  und der Drehzahl  $n_w$  die Reibleistung  $P_R$  berechnen. Diese entspricht dem im Kontaktbereich entstehenden Wärmestrom  $\dot{Q}$ ,

$$\dot{Q} = P_R = \omega \cdot M_R = \pi \cdot n_w \cdot \mu(G) \cdot F_r(\vartheta_0) \cdot d_w \quad (7)$$

Der Wärmestrom  $\dot{Q}$  wird im Verhältnis der Wärmeleitfähigkeiten der beiden in Kontakt stehenden Körper in zwei Teilwärmeströme für RWDR  $\dot{Q}_{RWDR}$  und Welle  $\dot{Q}_w$  aufgeteilt,

$$\dot{Q}_W = \frac{\lambda_W}{\lambda_W + \lambda_{RWDR}} \cdot \dot{Q}, \quad \dot{Q}_{RWDR} = \frac{\lambda_{RWDR}}{\lambda_W + \lambda_{RWDR}} \cdot \dot{Q}. \quad (8)$$

Die beiden Teilwärmeströme werden jeweils in Form einer Wärmequelle als Randbedingung an den Kontaktflächen von RWDR und Welle vorgegeben.

## 2.4 Viskosität-Temperatur-Verhalten des Schmierstoffs

Zur Bestimmung der Gümbelzahl muss die Viskosität des Schmierstoffs im Dichtspalt bekannt sein. Da die Viskosität von Schmierstoffen stark temperaturabhängig ist, wird sowohl die Temperatur im Dichtspalt als auch eine Beschreibung des Viskosität-Temperatur-Verhalten (VT-Verhalten) des Schmierstoffs benötigt. Das VT-Verhalten wird im Simulationsmodell mittels Ubbelohde-Walther-Gleichung beschrieben,

$$\lg(\lg \nu + 0,8) = K_v - m \cdot \lg T. \quad (9)$$

Die Bestimmung der Stoffkonstanten  $K_v$  und  $m$  erfolgt nach DIN 53017 [10] aus der kinematischen Viskosität  $\nu$  des Schmierstoffs bei zwei unterschiedlichen absoluten Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$ .

Aus der kinematischen Viskosität  $\nu$  und der Dichte des Öls kann die dynamische Viskosität des Öls berechnet werden,

$$\eta(\vartheta) = \rho(\vartheta) \cdot \nu(\vartheta). \quad (10)$$

## 2.5 Iterative Lösung

Aufgrund der stark ausgeprägten Temperaturabhängigkeit der Schmierstoffviskosität stehen Dichtspalttemperatur und entstehende Reibwärme in Wechselwirkung. Diese Kopplung erfordert eine iterative Berechnung, *Abb. 5*.

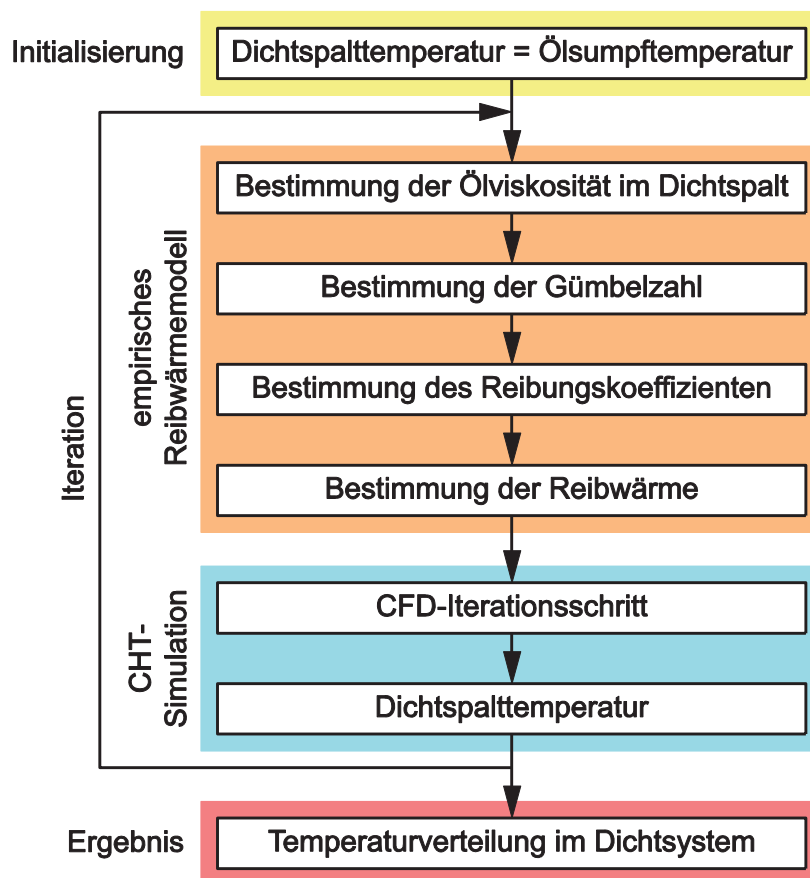


Abb. 5: Iterativer Berechnungsablauf

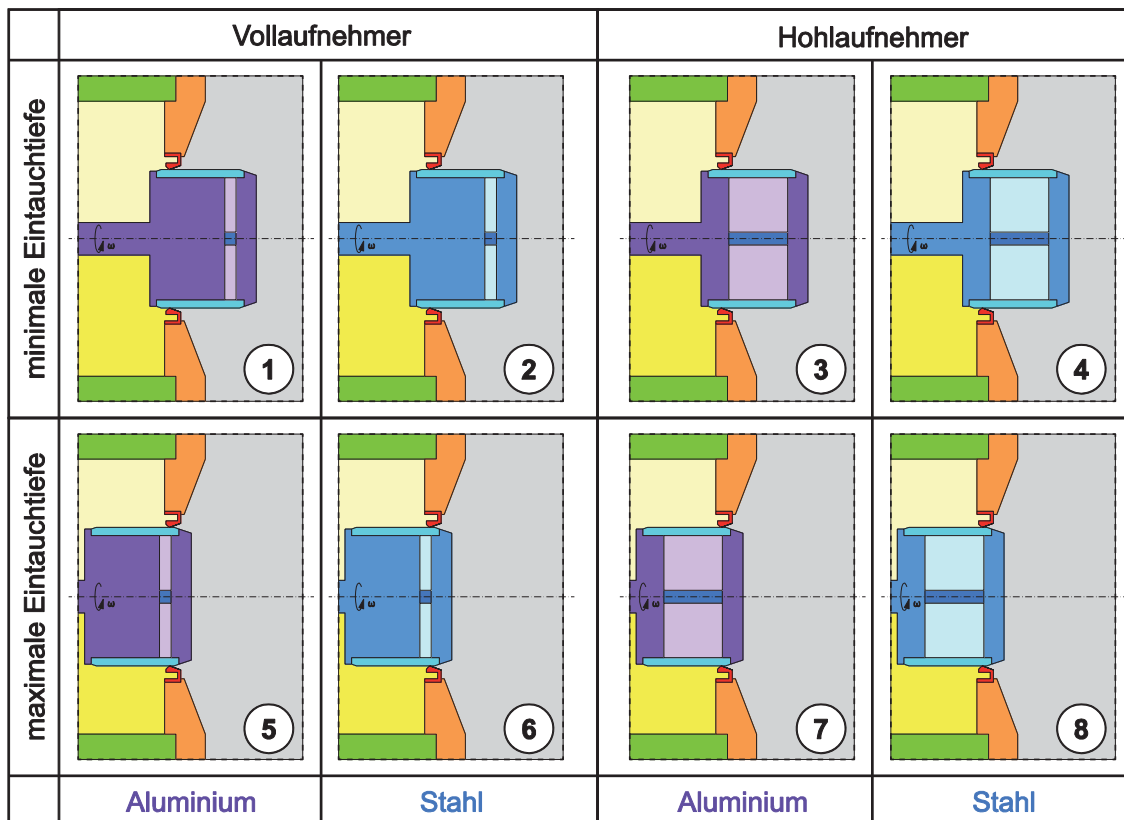
## 2.6 Parametrisierung

Zur Analyse der Einflussfaktoren auf die Dichtspalttemperatur können im Simulationsmodell Geometriemerkmale, Betriebsbedingungen und Materialeigenschaften parametrisiert werden. Die Parametrisierung erlaubt eine einfache Variation der Eingangsgrößen und damit effiziente Sensitivitätsanalysen sowie umfangreiche Parameterstudien.

In vorangegangenen Arbeiten wurde bereits der Einfluss von Betriebsbedingungen (Ölumpftemperatur, Ölfüllstand, Ölviskosität, Drehzahl) und Wellendurchmesser mittels Parametervariation untersucht [8]. Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeiten wird der Einfluss der Versuchskonfiguration bei Dauerlaufuntersuchungen untersucht. Dazu werden folgende Größen parametrisiert:

- Eintauchtiefe der Welle (6 bzw. 46 mm Wellenhülse an Luft)
- Bauform des Wellenaufnehmers (Voll- oder Hohlaufnehmer)
- Werkstoff des Wellenaufnehmers und -deckels (Aluminium oder Stahl)

Es werden jeweils 2 Ausprägungen pro Parameter betrachtet, so dass insgesamt 8 Versuchskonfigurationen untersucht werden, *Abb. 6*.



*Abb. 6: Untersuchte Versuchskonfigurationen*

Die im folgenden Abschnitt dargestellten Ergebnisse basieren – soweit nicht anders erwähnt – auf folgender Grundeinstellung der Simulationsparameter, *Tabelle 1*.



Tabelle 1: Grundeinstellung der Simulationsparameter

Parameter		Wert	Einheit
Wellendurchmesser (Hülsenaußendurchmesser)	$d_W$	85	mm
Breite der Wellenhülse	$B_W$	54	mm
Außendurchmesser des RWDR	$d_B$	105	mm
Berührbreite des RWDR	$b$	0,15	mm
Radialkraft (bei 20 °C nach 72 h Lagerung auf der Welle)	$F_r(\vartheta_0)$	22,7	N
Abfall der Radialkraft in Abhängigkeit der Temperatur	$\alpha_{Fr}$	0,04	N/K
Wellendrehzahl	$n_w$	3000	1/min
Ölsumpftemperatur	$\vartheta_S$	120	°C
Umgebungstemperatur	$\vartheta_0$	20	°C
Füllstandshöhe des Öls (bzgl. Wellenmitte)	$h_S$	0	mm
Wärmeleitfähigkeit der Wellenhülse (100Cr6)	$\lambda_W$	42	W/m·K
Wärmeleitfähigkeit des RWDR	$\lambda_{RWDR}$	0,215	W/m·K
Wärmeleitfähigkeit des Öls	$\lambda_o$	0,13	W/m·K
Wärmeleitfähigkeit der Luft (bei 20 °C)	$\lambda_L$	0,026	W/m·K
Wärmeleitfähigkeit des Alu-Wellenaufnehmers	$\lambda_{Alu}$	240	W/m·K
Wärmeleitfähigkeit des Stahl-Wellenaufnehmers	$\lambda_{St}$	42	W/m·K
Kinematische Viskosität des Öls bei 40 °C	$\nu_{40^\circ C}$	138,5	mm <sup>2</sup> /s
Kinematische Viskosität des Öls bei 100 °C	$\nu_{100^\circ C}$	14,39	mm <sup>2</sup> /s
Dichte des Öls (bei 20 °C)	$\rho$	885	kg/m <sup>3</sup>
Koeffizienten des empirischen Reibwärmemodells	$A_1$	0,057	-
	$A_2$	-7,5	-
	$A_3$	0,185	-

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Simulation

In Abb. 7 ist exemplarisch die Temperaturverteilung in der senkrechten Mittelebene des Dichtsystems für Versuchskonfiguration 1 (Vollaufnehmer aus Aluminium, minimale Eintauchtiefe) dargestellt. Erwartungsgemäß stellt sich am Ort des Wärmeeintrags, d.h. im Kontaktbereich von Dichtring und Welle die höchste Temperatur ein.

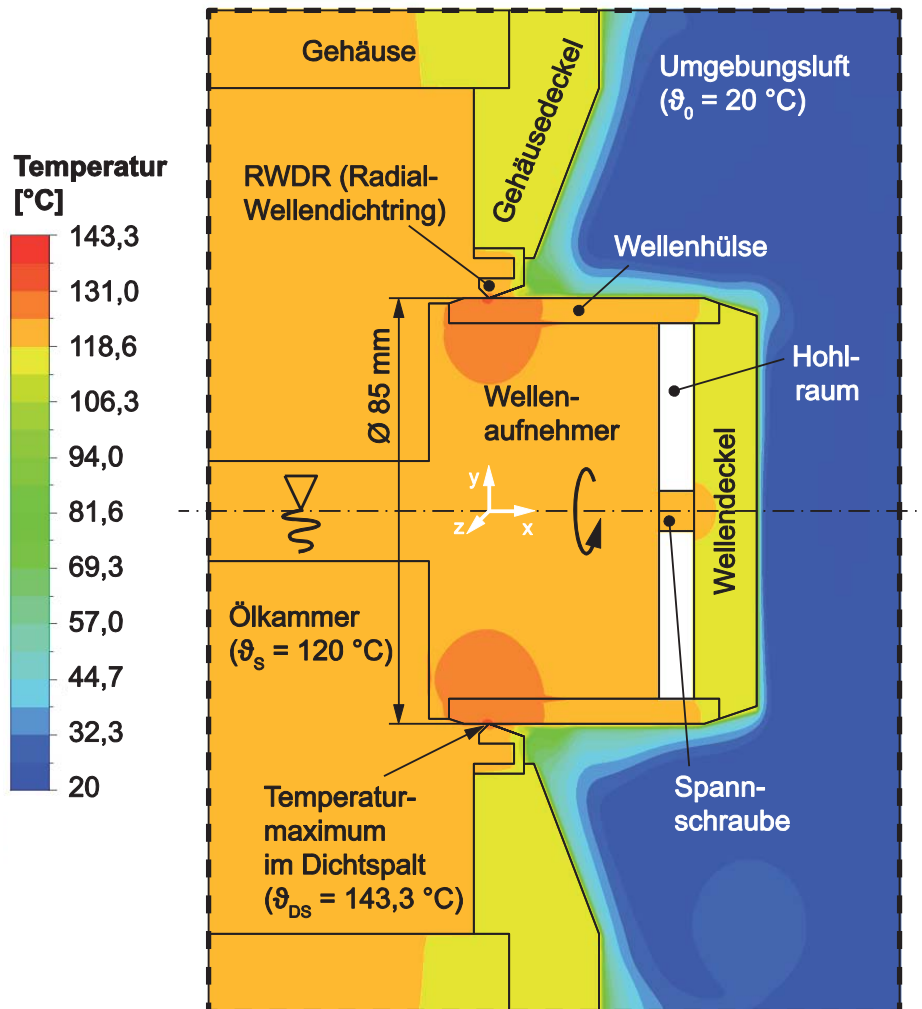


Abb. 7: Temperatur in der senkrechten Mittelebene des Dichtsystems, Versuchskonfiguration 1 (Vollaufnehmer aus Aluminium, minimale Eintauchtiefe)

Als Vergleichskriterium wird im Folgenden die mittlere Dichtspalttemperatur verwendet. Diese berechnet sich durch die Mittelung der Temperatur über der gesamten Kontaktfläche von Dichtring und Welle. Im Falle der Versuchskonfiguration 1 beträgt sie  $143,3\text{ °C}$ . Bezüglich des Ölumpfs ergibt sich eine Temperaturüberhöhung von  $23,3\text{ K}$ . Dies ist die geringste Temperaturüberhöhung aller untersuchten Versuchskonfigurationen, Abb. 8. Die größte Temperaturüberhöhung von  $31,9\text{ K}$  wurde bei Versuchskonfiguration 8 (Hohlaufnehmer aus Stahl, maximale Eintauchtiefe) erreicht. Der Unterschied zwischen diesen beiden Extrem-Konfigurationen beträgt  $8,6\text{ K}$ . Zur besseren Vergleichbarkeit sollten Prüfstandsversuche deshalb stets mit der gleichen Versuchskonfiguration durchgeführt werden.

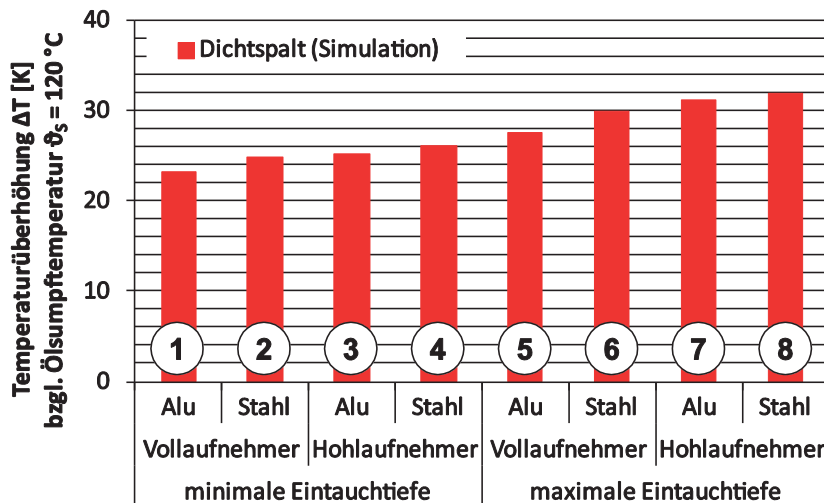


Abb. 8: Temperaturüberhöhung im Dichtspalt in Abhängigkeit der Versuchskonfiguration

Aus den simulierten Temperaturüberhöhungen lassen sich folgende Erkenntnisse zum Einfluss der drei untersuchten Versuchsparameter ableiten:

### 3.1.1 Werkstoff des Wellenaufnehmers

Wellenaufnehmer aus Aluminium leiten die Reibwärme aufgrund der größeren Wärmeleitfähigkeit ( $240 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) deutlich besser ab als Stahl (Wärmeleitfähigkeit  $42 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) und weisen deshalb immer geringere Dichtspalttemperaturen bzw. Temperaturüberhöhungen (im Mittel  $1,4 \text{ K}$ ) auf.

### 3.1.2 Bauform des Wellenaufnehmers

Vollaufnehmer leiten die Reibwärme wegen der größeren Querschnittsfläche in Achsrichtung besser ab. Deshalb ergeben sich stets geringere Temperaturen (im Mittel  $2,2 \text{ K}$ ) als bei der vergleichbaren Konfiguration mit Hohlaufnehmer.

### 3.1.3 Eintauchtiefe des Wellenaufnehmers

Bei maximal in die Ölkammer eingetauchter Welle treten deutlich höhere Temperaturen (im Mittel  $5,3 \text{ K}$ ) auf, als bei minimaler Eintauchtiefe. Trotz der deutlich geringeren Wärmeleitfähigkeit der Luft wird die Reibwärme bei hohen Ölsumpftemperaturen aufgrund des größeren luftseitigen Temperaturgradienten hauptsächlich über die Umgebungsluft abgeführt. Je größer die Kontaktfläche der Welle mit der Luft, umso geringer ist die Temperaturüberhöhung. Der Einfluss der Eintauchtiefe nimmt allerdings mit geringer werdender Ölsumpftemperatur ab, da damit auch der luftseitige Temperaturgradient geringer wird.

## 3.2 Vergleich mit Validierungsversuchen

Zur Validierung der Simulationsergebnisse wurden umfangreiche Dauerlaufuntersuchungen (46 Versuche mit 700 Messungen) durchgeführt [11]. Die Temperaturmessung erfolgte dabei mittels Thermografie-Kamera (Emissionskoeffizient  $\varepsilon = 0,95$ ; Messgenauigkeit  $\Delta T = \pm 2,6 \text{ K}$  bei  $130 \text{ °C}$ ) an der Luftseite der Dichtlippe. Für jede Versuchskonfiguration wurden 2 bis 5 Wiederholversuche mit jeweils 4 bis 5 Temperaturmessungen zwischen der 18. und 20. Versuchsstunde im Abstand von ca. 30 Minuten durchgeführt. Aus den mindestens 8 Messwerten pro Versuchskonfiguration wurde der Mittelwert gebildet.

Die mittleren Dichtspalttemperaturen der Simulation können nicht direkt mit den Messwerten der Validierungsversuche verglichen werden. Anstelle der Dichtspalttemperatur muss die simulierte Temperatur an der Stelle der Thermografie-Messung als Vergleichskriterium verwendet werden. Als Vergleichsstelle wird – unter Berücksichtigung der räumlichen Auflösung der Thermografie-Kamera – ein  $0,5 \text{ mm}$  langer Streifen auf der Luftseite der Dichtlippe gewählt, auf der die Temperatur gemittelt wird, Abb. 9.

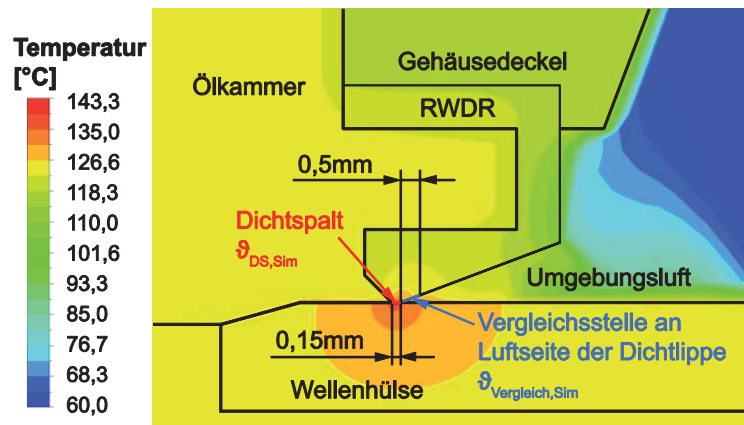


Abb. 9: Position der Vergleichsstelle für Vergleich mit Validierungsversuchen, Versuchskonfiguration 1 (Vollaufnehmer aus Aluminium, minimale Eintauchtiefe)

In Abb. 10 sind die Ergebnisse der Simulationen der Dichtspalttemperatur und der Vergleichsstelle den realen Messwerten gegenübergestellt.

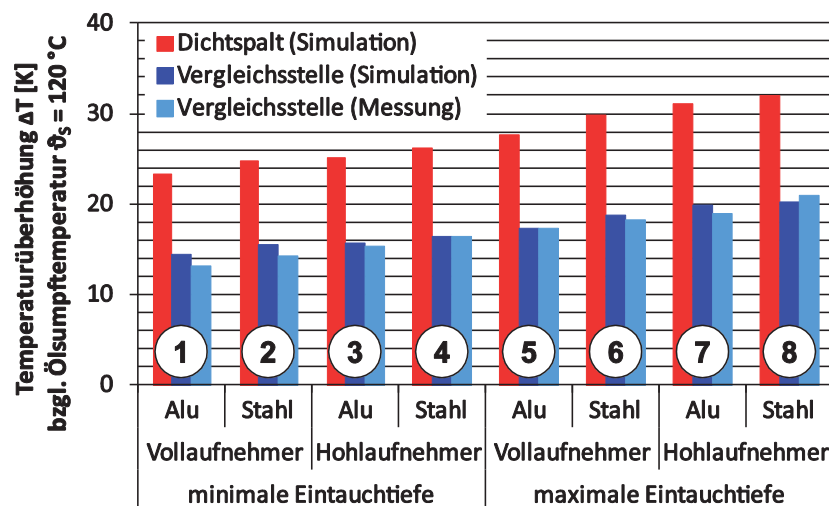


Abb. 10: Temperaturüberhöhung im Dichtspalt und an der Vergleichsstelle in Abhängigkeit der Versuchskonfiguration

Folgende Erkenntnisse lassen sich aus dem Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Validierungsversuchen ableiten:

- Die simulierten Temperaturen der verschiedenen Versuchskonfigurationen stimmen im Verlauf hervorragend mit den gemessenen Temperaturen überein.
- Die simulierten Vergleichstemperaturen stimmen sehr gut mit den realen Thermografie-Messwerten der Validierungsversuche überein. Die maximale Abweichung beträgt 1,3 K und ist damit deutlich kleiner als die Messtoleranz der Thermografie-Kamera ( $\pm 2,6$  K).
- Die simulierten mittleren Dichtspalttemperaturen sind um 9 bis 12 K größer als die simulierten und die mit der Thermografie-Kamera an der Vergleichsstelle gemessenen Temperaturen (Versuchsbedingungen: 26,7 m/s Umfangsgeschwindigkeit, 120 °C Ölsumpftemperatur).



## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Das am Institut für Maschinenelemente (IMA) der Universität Stuttgart entwickelte Simulationsmodell dient zur Bestimmung der Temperaturverteilung im Dichtsystem Radial-Wellendichtung. Da die Reibwärme sowohl konvektiv als auch konduktiv aus dem Kontaktbereich abgeführt wird, ist eine CHT-Simulation (Conjugate Heat Transfer) erforderlich. Das Simulationsmodell umfasst sowohl die Strömungsgebiete als auch die Festkörper des Dichtsystems. Die Effekte der Zwei-Phasen-Strömung bei teilgefüllter Ölkammer werden mit dem VOF-Modell (Volume of Fluid) abgebildet.

Ein Reibwärmemodell wird zur Bestimmung der im Kontaktbereich entstehenden Reibwärme benutzt. Dieses Reibwärmemodell basiert auf einem empirischen Zusammenhang zwischen einer dimensionslosen Kenngröße (Gümbelzahl) und dem Reibungskoeffizienten. Zur Durchführung von Parameterstudien sind Geometrieabmessungen, Materialeigenschaften und Betriebsbedingungen parametrisiert.

Die Parametrisierung wurde verwendet, um den Einfluss der Versuchskonfiguration auf die Temperatur im Dichtspalt zu untersuchen. Variiert wurden Werkstoff (Aluminium oder Stahl) und Bauform des Wellenaufnehmers (voll oder hohl) sowie die Eintauchtiefe der Welle in die Prüfkammer.

Das Simulationsmodell bestimmt auf Grundlage realer Reibmomentmessungen die Dichtspalttemperatur und die Temperatur einer 0,5 mm langen Vergleichsstelle auf der Luftseite der Dichtkante. Aus dem Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Validierungsversuchen lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Die simulierte Temperatur an der Vergleichsstelle stimmt mit realen Messungen mit einer Thermografie-Kamera (Emissionskoeffizient  $\varepsilon = 0,95$ ) perfekt überein. Die maximale Abweichung zwischen Simulation und Versuch beträgt 1,3 K und ist damit deutlich kleiner als die Messtoleranz der Thermografie-Kamera ( $\pm 2,6$  K).
- Die Temperatur im Dichtspalt liegt beim analysierten Dichtsystem zwischen 9 und 12 K über den realen Messwerten an der Vergleichsstelle (Versuchsbedingungen: 26,7 m/s Umfangsgeschwindigkeit, 120 °C Ölsumpftemperatur).
- Mit dem Simulationsmodell können für beliebige Dichtsysteme die Dichtspalttemperaturen ermittelt werden. Der Abgleich mit der Realität erfolgt durch einfache Thermografie-Messungen auf der Luftseite der Dichtkante.

In zukünftigen Arbeiten werden Erweiterungen und Verfeinerungen am Simulationsmodell sowie weitere Validierungsversuche durchgeführt.

## 5 Literatur

- [1] Müller, H. K. ; Nau, B.: Fluid Sealing Technology : Principles and Applications. New York : Dekker, 1998. (Deutschsprachige, aktualisierte und erweiterte Fassung als Online-Veröffentlichung unter <http://www.fachwissen-dichtungstechnik.de> frei verfügbar)
- [2] Horve, L.: Shaft Seals for Dynamic Applications. New York : Dekker, 1996.
- [3] DIN 3760: Radial-Wellendichtringe. September 1996.
- [4] DIN 3761: Radial-Wellendichtringe für Kraftfahrzeuge. Januar 1984.
- [5] Daubner, A. ; Haas, W.: Simulation of the temperature in and in front of the friction contact. NAFEMS Seminar: Simulation of complex flows - Applications and trends. 2009. ISBN 978-1-874376-58-3.
- [6] Daubner, A. ; Winter, M. ; Haas, W.: Erweiterte Methode zur Simulation der Temperatur im Reibkontakt mittels CHT. Tribologie und Schmierungstechnik. 2010, Bd. 57, 2, S. 25-30.
- [7] Jung, S. ; Daubner, A. ; Haas, W.: Measurement and Simulation of Two-Phase Flow in Sealing Application. 16th International Sealing Conference (ISC), Stuttgart. 2010. S. 303-316. ISBN 978-3-00-03523-6.
- [8] Feldmeth, S. ; Haas, W.: Temperaturbestimmung bei Radial-Wellendichtungen mittels CHT-Simulation. ANSYS Conference & 29th CADFEM Users' Meeting 2011. ISBN 3-937523-08-1.
- [9] Feldmeth, S. ; Bauer, F. ; Haas, W.: Analysis of the Influence of Different Test Rig Setups on the Contact Temperature of Radial Lip Seals by Conjugate Heat Transfer Simulation. NAFEMS World Congress 2013, Salzburg, Austria, 9 - 12 June 2013, ISBN 978-1-87-4376-91-0.
- [10] DIN 53017: Viskosimetrie: Bestimmung des Temperaturkoeffizienten der Viskosität von Flüssigkeiten. November 1993.
- [11] Bauer, F.; Haas, W.: Radial Lip Seal Contact Temperature – Influence of Different Test Rig Setups. Proceedings of the 15th International Conference on Experimental Mechanics. Porto, Portugal, July 2012. ISBN 978-972-8826-25-3.

# Makroskopische Modellierung von langfaserverstärkten Bauteilen mit streuenden Materialeigenschaften – Berücksichtigung der Robustheit in der Strukturoptimierung

Daniela Troll, Mark Philipp Marston, Albert Albers  
IPEK – Institut für Produktentwicklung, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

**Sheet Molding Compound (SMC) ist ein langfaserverstärktes Material, das sich für die Massenfertigung eignet. Es besteht aus einer duroplastischen Harzmatrix, bis zu 50 mm langen Glasfasern sowie Additiven. SMC-Bauteile werden in einem Fließpressprozess aus unvollständig vernetzten Halbzeugmatten hergestellt. Während des Pressvorgangs orientieren sich die Fasern entsprechend der in der Kavität wirkenden Scherkräfte. Bei SMC wirkt sich diese Ausrichtung der Fasern während des Pressprozesses stark auf die mechanischen Bauteileigenschaften aus, es entstehen lokal unterschiedliche Anisotropien. Da die Faserausrichtung durch Schwankungen im Fertigungsprozess streut, weisen die mechanischen Eigenschaften mehrerer Bauteile einer Serie zusätzlich eine gewisse Streubreite auf.**

Da SMC häufig für dünnwandige Bauteile eingesetzt wird, ist eine lokale Verstärkung dieser Bauteile, beispielsweise durch Rippen, sinnvoll. Der Einfluss der Rippen auf die Struktursteifigkeit des Bauteils hängt in hohem Maße von der Orientierung und Position der Rippen ab. Bei der Optimierung der Rippenstruktur von SMC-Bauteilen müssen sowohl die erwähnten lokal unterschiedlichen Anisotropien als auch die streuenden Materialeigenschaften unterschiedlicher Bauteile einer Serie berücksichtigt werden.

Dieser Artikel befasst sich mit dem Teilaspekt der Modellierung der lokal anisotropen, stark streuenden Materialeigenschaften von SMC, im Rahmen der Entwicklung einer Methode zur Berücksichtigung der Robustheit bei der Optimierung der Rippenstruktur von SMC-Bauteilen.

## 1 Einleitung

Faserverbundwerkstoffe besitzen ein großes Leichtbaupotenzial. In der Regel werden Gewebe oder Gelege aus Endlosfasern verwendet, deren Aufbau für die jeweilige Geometrie und auftretende Belastungsfälle maßgeschneidert ist, um die Eigenschaften der Fasern bestmöglich auszunutzen. Die Fertigung dieser endlosfaserverstärkten Bauteile ist in der Regel sehr teuer und zeitaufwändig. Verbundwerkstoffe, die sich stärker für die Massenfertigung eignen, sind zum Beispiel langfaserverstärkte Materialien, wie Sheet Molding Compound (SMC). Allerdings ist sowohl die Festigkeit als auch die Steifigkeit von SMC im Vergleich zu endlosfaserverstärkten Materialien geringer. Die Struktursteifigkeit von schalenförmigen Bauteilen aus SMC kann aber durch zusätzliche Versteifungselemente, wie z.B. Rippen, erhöht werden.

## 2 Sheet Molding Compound (SMC)

Sheet Molding Compound (SMC) ist ein langfaserverstärktes Material, das aus einer duroplastischen Matrix, etwa 20-50 mm langen Glasfasern sowie zahlreichen Additiven besteht [1]. Die Verwendung von Kohlenstofffasern ist ebenfalls möglich, aber teurer und daher bei Standardanwendungen nicht sehr verbreitet.

Die dargestellte Fertigungsmethode ist besonders geeignet für dünnwandige Bauteile. In der Regel müssen dabei versteifende Elemente, wie Sicken oder Rippen vorgesehen werden. Der größte Vorteil von Rippen, im Vergleich zu Sicken, ist die Auswahlmöglichkeit, die Rippen entweder unsichtbar auf der Innen- oder Rückseite anzubringen oder sie bewusst als zusätzliches Designelement auf sichtbaren Flächen einzusetzen.

SMC wird in einem zweistufigen Prozess gefertigt. Zunächst werden mattenförmige SMC-Halbzeuge produziert, die in Form von Rollen gelagert werden können. Diese SMC-Matten sind aus zwei Trägerfolien aufgebaut, die jeweils mit Harz beschichtet wurden sowie einer Mittellage geschnittener, stochastisch orientierter Glasfasern (siehe Abb. 1).

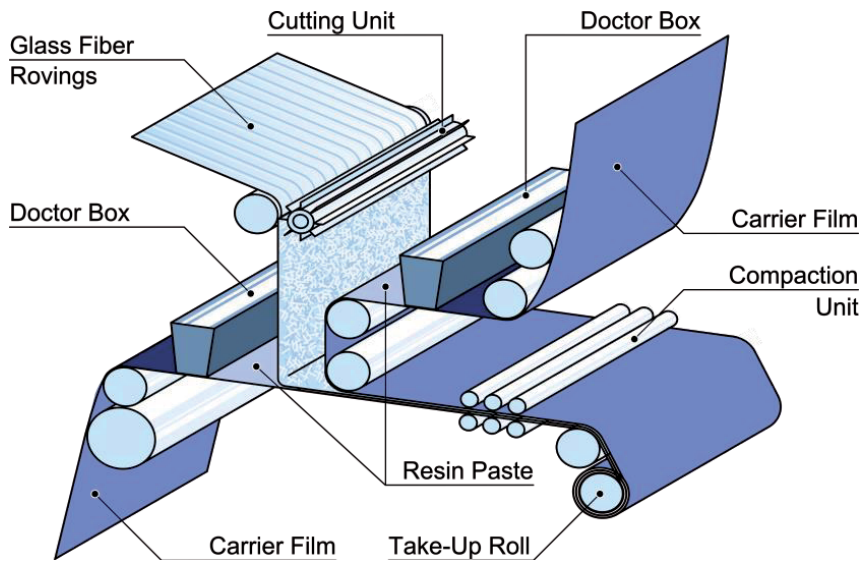


Abb. 1: Herstellung von SMC-Halbzeugmatten

Nach einem mehrtägigen Reifeprozess werden die Halbzeugmatten für den zweiten Verarbeitungsschritt, das Fließpressen, zugeschnitten und nach Entfernen der Trägerfolien in einer Pressform gestapelt. Temperaturen zwischen 135° C und 160° C und Drücke bis 140 bar ermöglichen zunächst den Formfüllvorgang durch ein Herabsetzen der Viskosität des Harzes und initialisieren anschließend die Vernetzungsreaktion des Harzes und somit die Konsolidierung der Bauteilgeometrie (siehe Abb. 2).

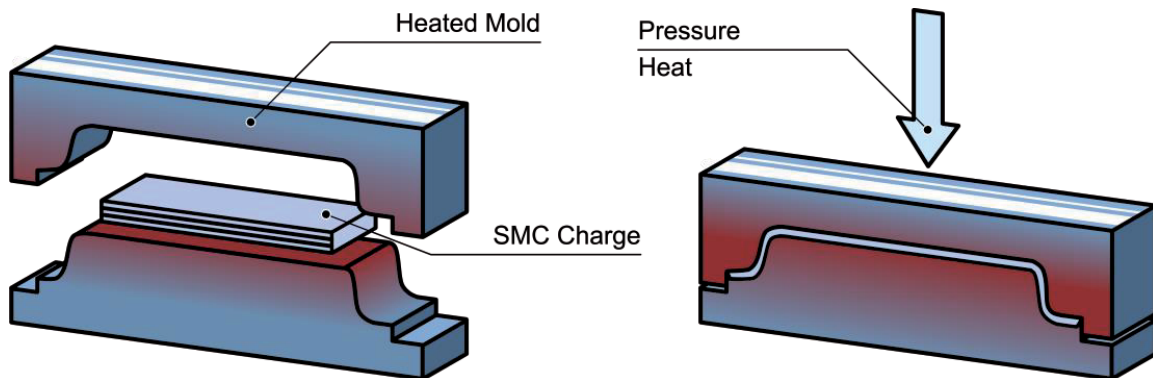


Abb. 2: SMC Fließpressen

Während des Formfüllvorgangs wirken durch das viskose Verhalten des Harzes Scherkräfte auf die Glasfasern. In einer beschleunigten Strömung orientieren sich die Fasern in Strömungsrichtung, in einer verzögerten Strömung hingegen senkrecht zur Fließrichtung (siehe Abb. 3).

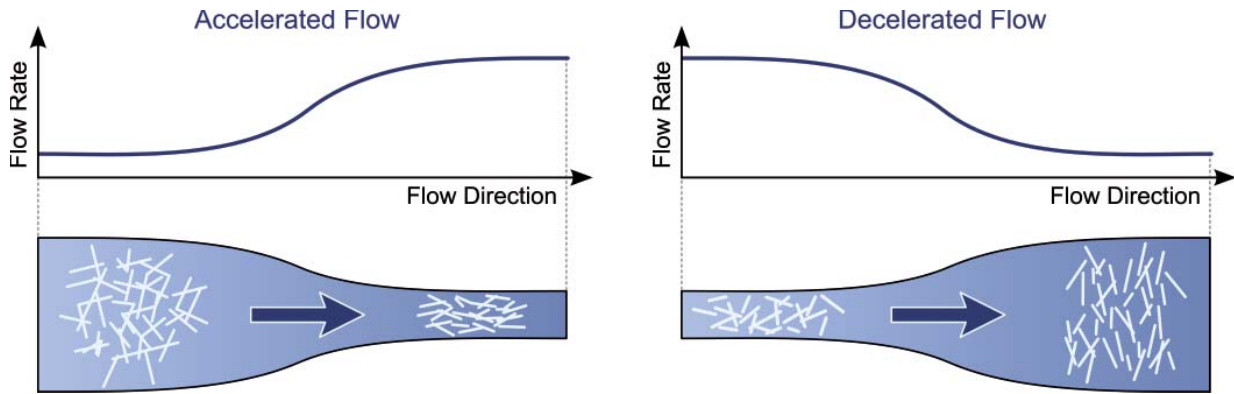


Abb. 3: Faserorientierung in einer beschleunigten und einer verzögerten Strömung [Vgl. 2]

Specker et al. [3, S. 25] identifizieren wichtige Charakteristika des Formfüllprozesses. Die Fasern richten sich umso stärker aus, je weiter sie sich in der Kavität vom Einlegebereich der Halbzeugmatten entfernen, ihr Ausrichtungsgrad wächst also mit ihrem zurückgelegten Fließweg (siehe Abb. 4). Zusätzlich nehmen die Geschwindigkeitsgradienten während des Formfüllvorgangs zu. Da der Orientierungsgrad der Fasern direkt vom Geschwindigkeitsgradienten abhängt, richten sich die Fasern am stärksten gegen Ende des Prozesses aus. Sobald ein gewisser Ausrichtungsgrad erreicht ist, behindern sich die Fasern gegenseitig. Es liegt dann eine endgültige Faserorientierungsverteilung vor, deren Ausrichtungsgrad auch bei einer Erhöhung der Prozesszeit nicht überschritten wird.

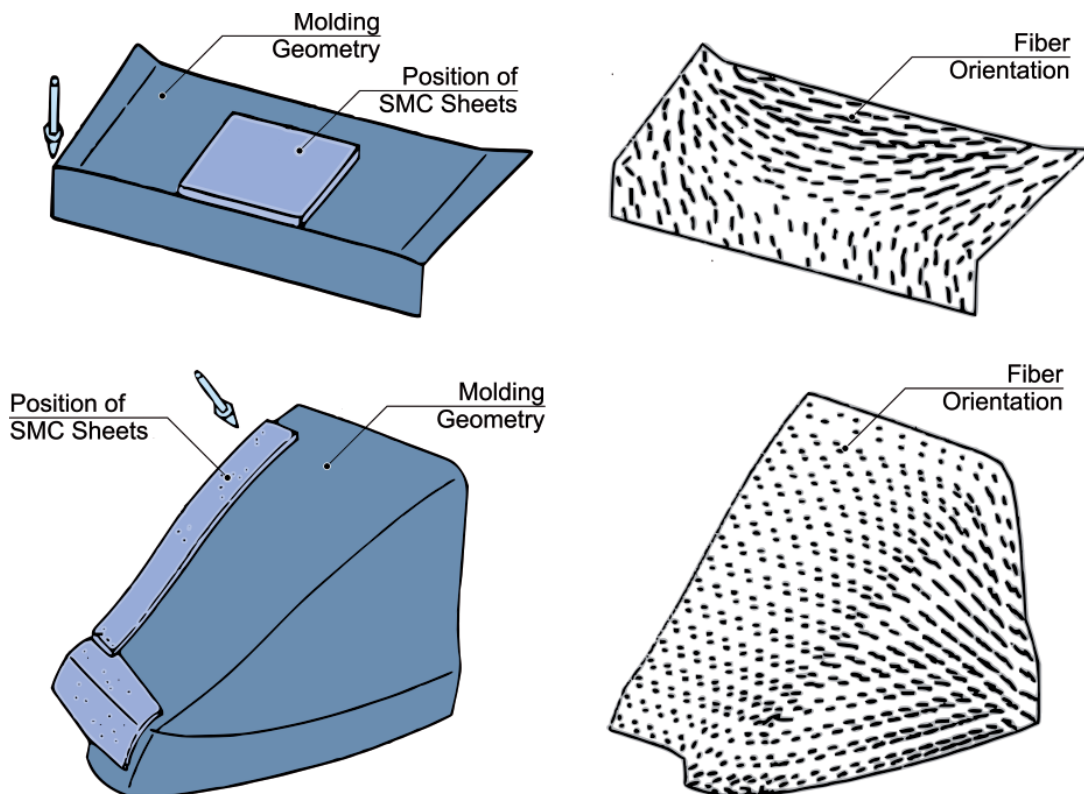


Abb. 4: Berechnete Faserorientierung unterschiedlicher SMC-Bauteile [Vgl. 3]

Die sich ergebenden Faserorientierungen führen zu streuenden, anisotropen Materialeigenschaften und beeinflussen die Struktursteifigkeit in hohem Maße. Ein isotropes Bauteilverhalten kann nicht angenommen werden. Bei der Optimierung von SMC-Bauteilen müssen diese streuenden Materialeigenschaften berücksichtigt werden.



### 3 Makroskopische Modellierung von SMC für eine Methode zur Rippenoptimierung unter Berücksichtigung der Robustheit

Abweichungen in den Eingangsgrößen eines Systems rufen in der Regel Abweichungen der Ausgangsgrößen hervor. Ein Maß für den Einfluss der Streuung der Eingangsgrößen auf die der Ausgangsgrößen ist die Robustheit [4, 5]. Ganz allgemein zeichnet sich ein robustes System durch eine geringe Empfindlichkeit gegenüber streuenden Eingangsgrößen aus (siehe Abb. 5).

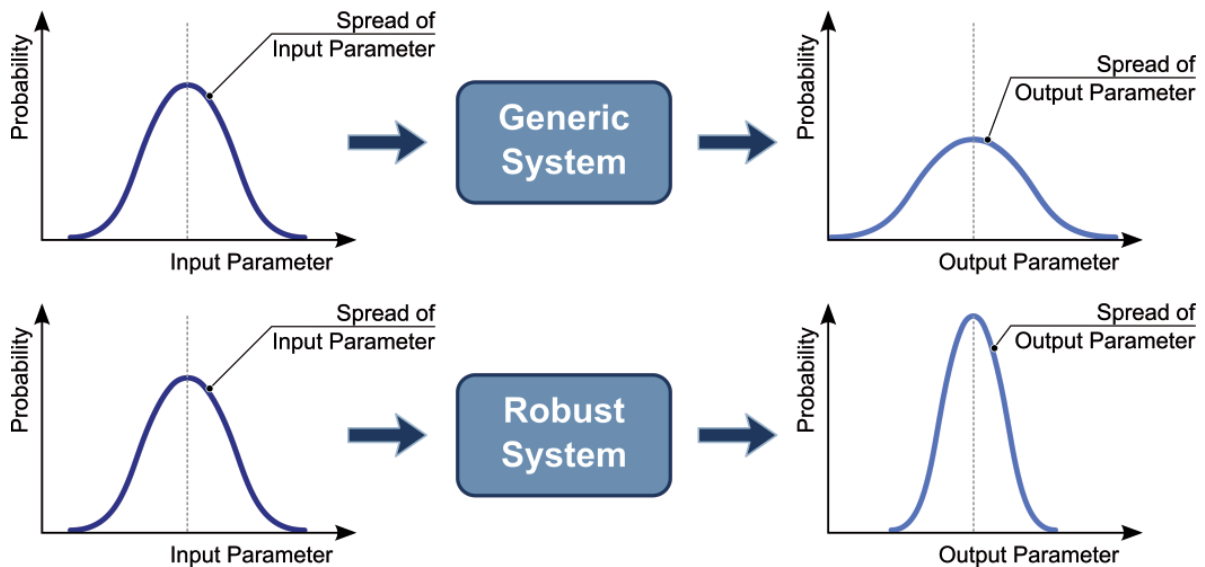


Abb. 5: Einfluss der Robustheit auf die Streuung einer Ausgangsgröße eines Systems

Nach Taguchi [4] sollte die Robustheit eines Produkts gegen Unsicherheiten so hoch wie möglich sein. Jede Abweichung von den geforderten, klar definierten Eigenschaften wird als Verlust gewertet und kann durch eine Verlustfunktion quantifiziert werden. Bei einer Optimierung mit dem Ziel der Steigerung der Robustheit werden die Designparameter eines Systems so variiert, dass die Zielgröße, die Robustheit einer bestimmten Ausgangsgröße gegen die Unsicherheit ausgewählter Eingangsgrößen, zunimmt (Abb. 6).

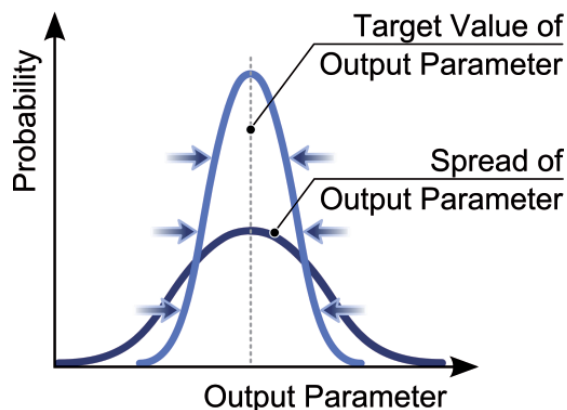


Abb. 6: Minimierung der Streuung als Ziel bei einer Optimierung der Robustheit

In Bezug auf die Materialeigenschaften von SMC-Bauteilen lassen sich unterschiedliche Arten von Streuungen beobachten. Neben dem charakteristischen anisotropen und inhomogenen Verhalten, das durch die Faserhauptorientierung und die Orientierungsverteilung bestimmt wird, treten zusätzliche zufällige Streuungen auf, bedingt durch Abweichungen im Fertigungsprozess (Abb. 7).

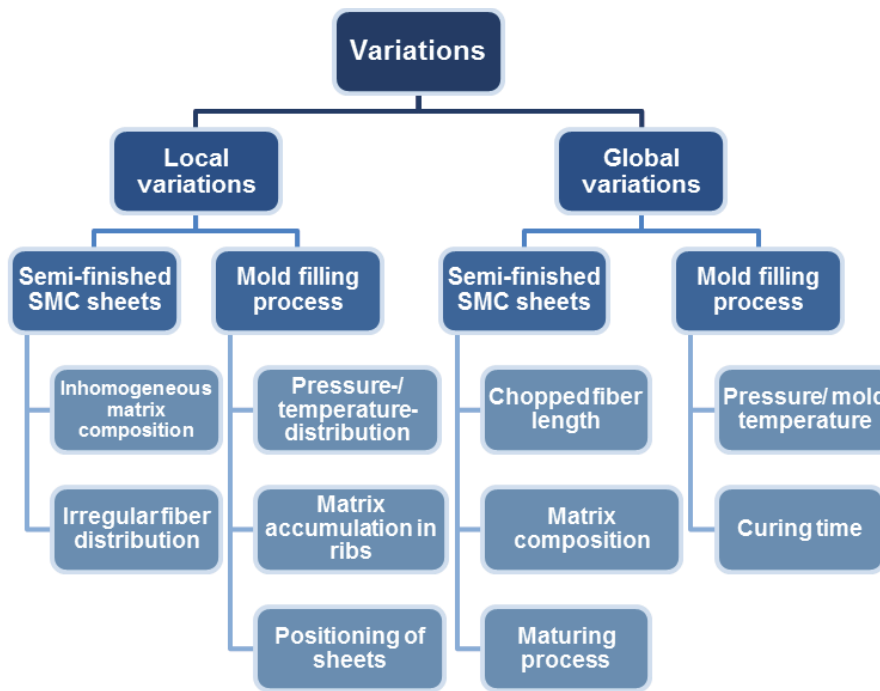


Abb. 7: Auslöser für lokale und globale Streuungen in SMC-Bauteilen

### 3.1 Eine Methode zur Rippenoptimierung unter Berücksichtigung der Robustheit

Wie in den vorherigen Abschnitten deutlich wurde, müssen realistische FE-Modelle von SMC-Bauteilen Informationen über die statistische Faserorientierungsverteilung beinhalten und zusätzlich weitere Faktoren berücksichtigen, die das zufällig variierende Materialverhalten bestimmen. Ausgehend von diesen FE-Modellen kann dann in einer Monte Carlo Simulation die Streuung wichtiger Ausgangsgrößen, wie z.B. der Bauteilsteifigkeit berechnet werden (Abb. 8) [6, 7].

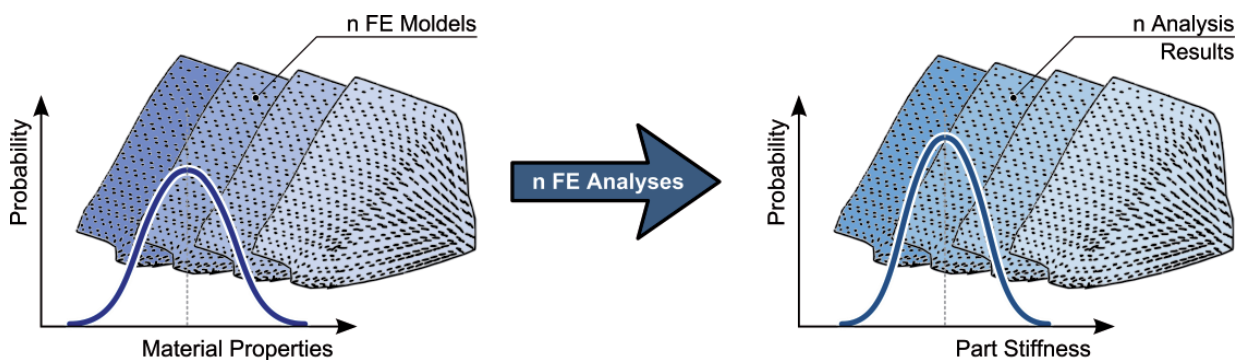


Abb. 8: Monte Carlo Simulation eines FE-Modells mit streuenden Materialeigenschaften

In einer Methode zur Rippenoptimierung, bei der die Robustheit berücksichtigt werden soll, wird das Ziel der Maximierung der Bauteilsteifigkeit durch eine Maximierung der Robustheit der Bauteilsteifigkeit gegenüber veränderlichen Materialeigenschaften ersetzt. Als eine mögliche Zielfunktion wird die Streuung der Steifigkeit einer Reihe sich in ihren Materialeigenschaften leicht unterscheidender Modelle eines SMC-Bauteils minimiert. Das Optimierungsproblem kann durch die systematische Variation der Designvariablen, die die Rippenstruktur des Bauteils definieren, gelöst werden. Das Ergebnis dieser Optimierung ist nicht die ideale Rippenstruktur für ein einziges SMC-Bauteil mit einer ganz bestimmten Faserverteilung, sondern ein Optimum für eine Serie von sich in ihren Materialeigenschaften geringfügig unterscheidenden Bauteilen. Derartige Optimierungsergebnisse sind ein großer Vorteil des Robust Designs. Abb. 9 gibt einen Überblick über die entwickelte Optimierungsmethode.

Auf Basis eines isotropen FE-Modells werden durch mehrere FE-Berechnungen unter Verwendung einer benutzerdefinierten Material Subroutine (UMAT)  $n$  Output-Files erzeugt. Diese Subroutine berechnet die Steifigkeitsmatrix für jedes Finite Element auf Basis wissenschaftlicher Theorien zur makroskopischen Modellierung der SMC-Materialeigenschaften und stellt sie dem Solver zur Verfügung. Bestimmte Parameter, wie die Faserhauptorientierung, können in einem vorgegebenen Bereich von Element zu Element schwanken und werden bei jedem Lauf des Solvers zufällig generiert. Demzufolge hat jedes Modell eine leicht abweichende Materialdefinition. Am Ende erhält man eine Stichprobe mit  $n$  unterschiedlichen Output-Files, die ihrerseits als Eingangsgrößen für eine statistische Auswertung verwendet werden. Die Ergebnisse dieser Auswertung werden zusammen mit im Voraus definierten Optimierungsparametern an eine Optimierungs-Routine übergeben, welche die Rippenstruktur des FE-Modells durch eine angepasste Topologieoptimierungsmethode variiert. Die gesamte Schleife wird wiederholt, bis eines der Abbruchkriterien der Optimierungs-Routine erfüllt ist.

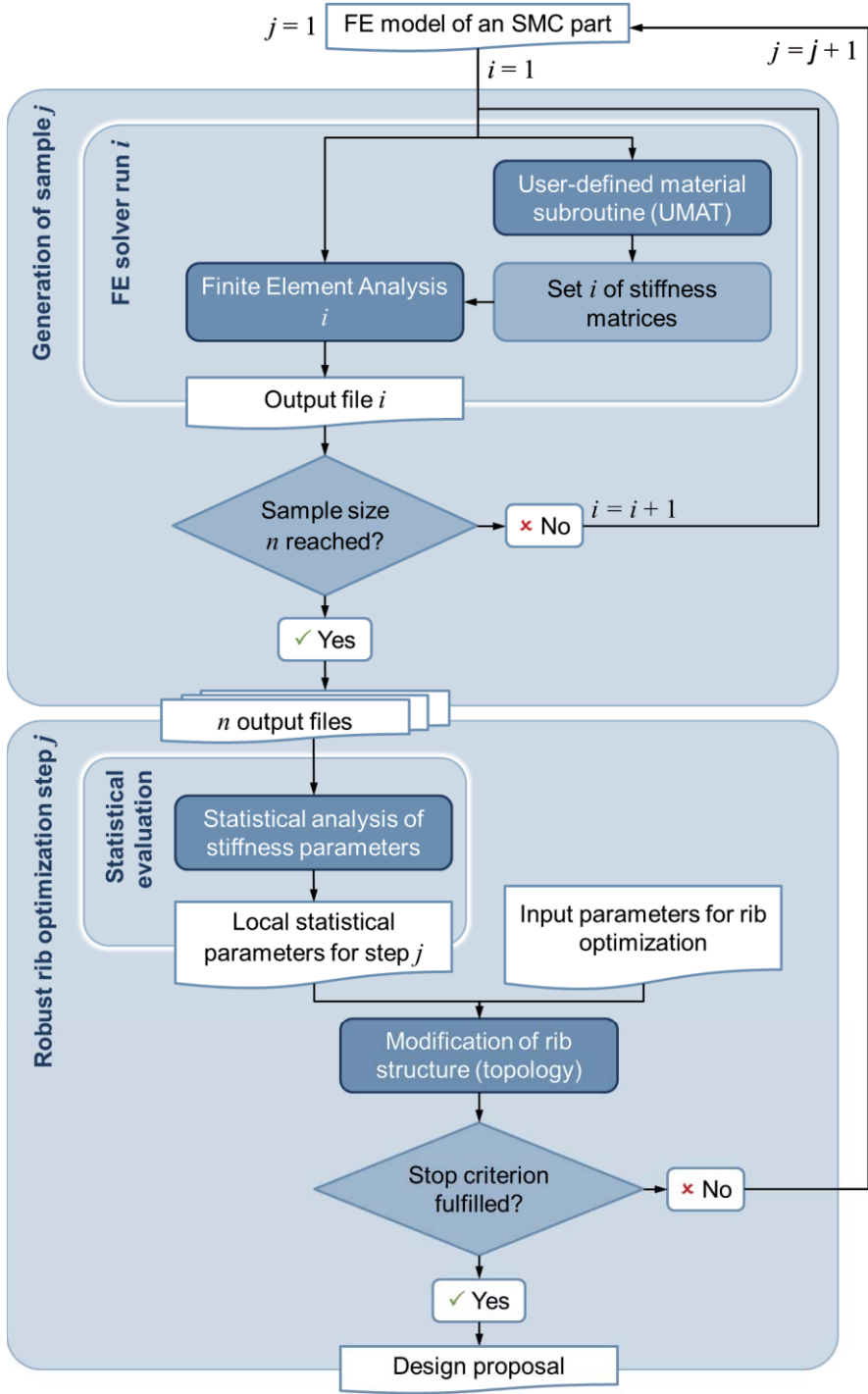


Abb. 9: Flussdiagramm der Methode zur Rippenoptimierung von SMC-Bauteilen unter Berücksichtigung der Robustheit

Der Fokus dieses Artikels liegt auf der makroskopischen Modellierung der streuenden Materialeigenschaften von SMC mit Hilfe einer benutzerdefinierten Material Subroutine (UMAT) für die Generierung der Stichproben als Ausgangspunkt für weitere Berechnungen.

### 3.2 Modellierung der streuenden Materialeigenschaften

Um die anisotropen, inhomogenen Materialeigenschaften von SMC abzubilden, wird ein makroskopischer Ansatz verwendet. Einen Überblick bietet das Flussdiagramm in *Abb. 10*.

Jedem Finiten Element werden seine elastischen Eigenschaften auf der Basis der probabilistischen Werte des Fasergehalts und der Verteilungsfunktion der Faserorientierung an der entsprechenden Stelle zugewiesen. Die Verteilungsfunktion der Faserorientierung wird charakterisiert durch die Faserhauptorientierung des Finiten Elements und eine Winkelverteilung um diese Hauptachse. In dieser Arbeit berechnet eine MATLAB Routine, basierend auf vereinfachten Theorien über den Formfüllprozess, die Hauptachse der Faserorientierung und den Ausrichtungsgrad der Fasern für jedes Finite Element. Diese Parameter werden dann an eine UMAT Subroutine übergeben, die für jedes Finite Element den Steifigkeitstensor berechnet.

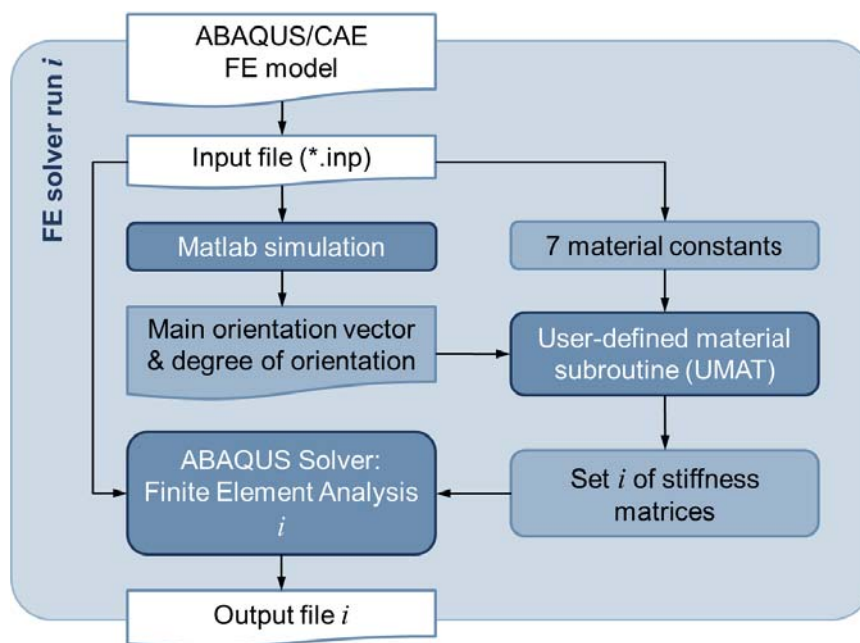


Abb. 10: Flussdiagramm der Methode zur Materialmodellierung

#### 3.2.1 Festlegung der Hauptorientierung der Elemente

Um die Hauptorientierung der Faserausrichtung jedes Finiten Elements festzulegen, wird mit Hilfe von MATLAB eine vereinfachte Simulation des Materialflusses durchgeführt. Dafür sind folgende Eingaben nötig:

1. Ein ABAQUS Input-File, das genau ein zwei- bzw. dreidimensionales Bauteil enthält.
2. Ein Ursprung  $O [X; Y; Z]$ , der den Mittelpunkt der eingelegten SMC-Matten darstellt. Von diesem Punkt aus fließt das Material radial in die Form.
3. Ein Prozentsatz  $x$  der den Abstand vom Ursprung beschreibt, ab dem eine rein parallele, quasi unidirektionale Faserorientierung ohne Zufallsanteile erreicht ist.
4. Die Ordnung der Verlaufsfunktion für die Zunahme der Faserorientierung. Die Simulation unterstützt eine lineare, quadratische oder eine Wurzelfunktion.

Die MATLAB Routine liest die Knotenkoordinaten aus dem Input-File aus und berechnet den Mittelpunkt jedes Elements. Im zweiten Schritt wird das Element mit der größten Entfernung  $l_0$  vom Ursprung  $O$  identifiziert. Der Prozentsatz  $x$  bestimmt den Radius  $x * l_0$  als Anteil von  $l_0$ , bei dem eine vollständig ausgerichtete, quasi unidirektionale (UD) Faserorientierung erreicht wird. *Abb. 11* zeigt den Einfluss der relativen Entfernung  $x$  für ein einfaches, zweidimensionales Bauteil. Jedem Elementmittelpunkt wird ein Skalar  $s$  zwischen  $s = 0$  (Ursprung)



und  $s = 1$  (bei  $x = l_0$ ) zugeordnet, der dem Abstand des Elements vom Ursprung, bezogen auf den UD-Radius  $x = l_0$ , entspricht. Dieser Skalar  $s$  steht für den Grad der Faserausrichtung im entsprechenden Element.

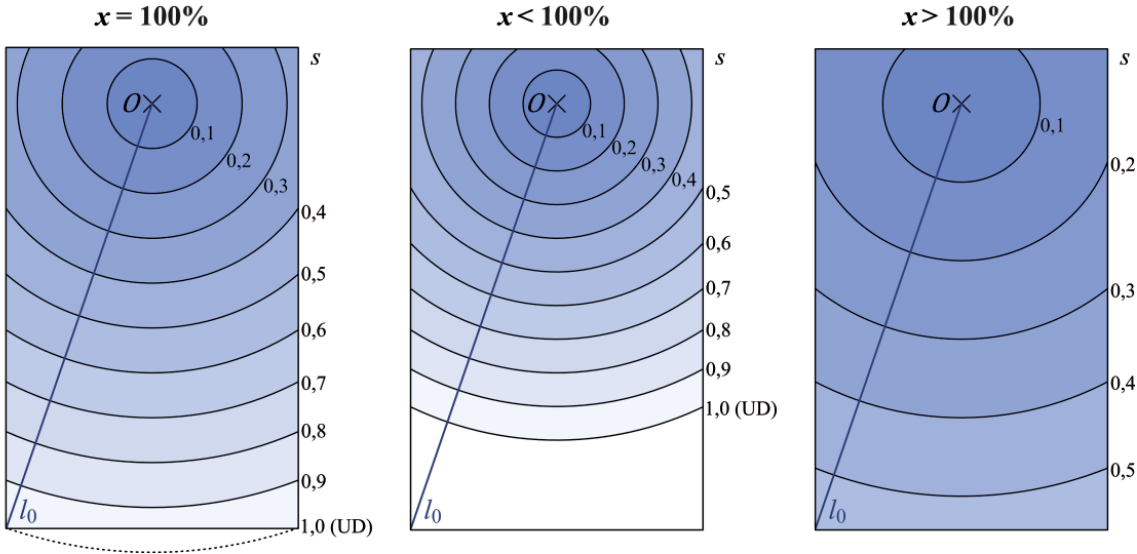


Abb. 11: Einfluss unterschiedlicher Werte für  $x$

Die Verlaufsfunktion für die Zunahme der Faserausrichtung  $s$  kann unterschiedliche Formen annehmen. Um diese abzubilden, kann man innerhalb des Programms zwischen einem linearen Verlauf, einem quadratischen Verlauf und einem Verlauf gemäß der Wurzelfunktion wählen (lineare Zunahme von  $s$  siehe Abb. 11).

Es wird hier angenommen, dass die Fasern dazu tendieren, sich entlang der Strömungsrichtung auszurichten. Andere Effekte, wie sie z.B. bei verzögerten Strömungen auftreten, werden im Modell vernachlässigt. Daher wird die Hauptachse (1-Achse) der Faserorientierung eines Elements immer entlang des Verbindungsvektors zwischen Ursprung  $O$  und Elementmittelpunkt festgelegt. Der Zufallsanteil der Materialorientierung wird anschließend addiert, indem die zuvor bestimmte Hauptorientierung jedes Elements um dessen Normalenvektor gedreht wird. Der Winkel  $\gamma$ , um den das Koordinatensystem gedreht wird, ist abhängig vom Grad der Faserausrichtung  $s$  des jeweiligen Elements. Um  $\gamma$  zu bestimmen, wird ein Zufallswinkel zwischen  $-90^\circ$  und  $+90^\circ$  erzeugt und mit dem Faktor  $(1 - s)$  gewichtet. Im Bereich in der Nähe des Ursprungs führt diese Vorgehensweise zu benachbarten Elementen mit vollkommen zufällig ausgerichteten Hauptorientierungen. Die Abweichung  $\gamma$  der Hauptorientierung vom Verbindungsvektor zwischen  $O$  und dem jeweiligen Elementmittelpunkt nimmt mit zunehmendem Abstand vom Ursprung stetig ab (siehe Abb. 12).

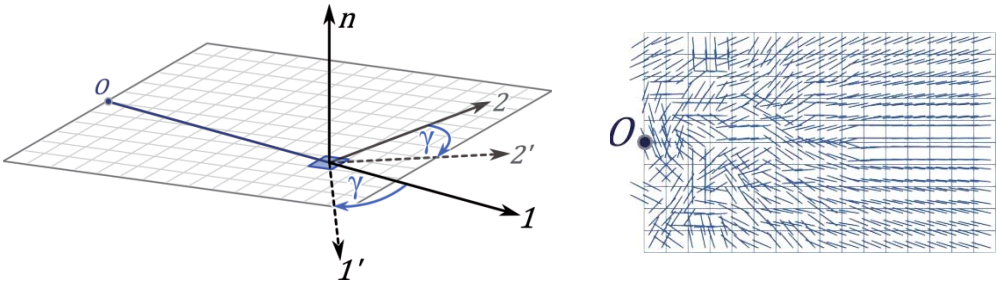


Abb. 12: Hauptachse eines Elements und Drehung um einen gewichteten Zufallswinkel  $\gamma$

SMC-Bauteile sind im Normalfall dünnwandig mit einer Wandstärke von 3-5 mm. Die Faserlänge liegt mit 20 bis 50 mm deutlich über diesem Wert, weshalb die Fasern in einer Ebene mit der Bauteiloberfläche liegen. Bei dreidimensionalen Modellen muss daher der Verbindungsvektor zwischen Ursprung und Elementmittelpunkt mit Hilfe des Normalenvektors auf die Bauteiloberfläche projiziert werden, damit die Hauptachse der Faserorientierung immer parallel zur Bauteiloberfläche ist.

### 3.2.2 Verteilungsfunktion der Faserorientierung

Die bisher bestimmte Hauptachse beschreibt die elementweise Hauptorientierung der Fasern, die sich aus den Strömungsverhältnissen bei der Formfüllung ergibt. Allerdings weichen die Orientierungswinkel der in einem Element vorhandenen einzelnen Fasern mehr oder weniger stark von dieser Hauptorientierung ab. Die resultierende Winkelverteilung kann durch eine Faserverteilungsfunktion beschrieben werden. Diese Verteilungsfunktion sowie die sich daraus ergebenden anisotropen, elastischen Materialeigenschaften jedes Elements werden in der bereits erwähnten ABAQUS UMAT Subroutine berechnet.

Das Prinzip des Orientation Averaging [8] besagt, dass sich der Steifigkeitstensor eines Gemischs unterschiedlich orientierter Fasern durch eine gewichtete Summation der Steifigkeitstensoren gedrehter UD-Lagen berechnen lässt. Die Gewichtung einer UD-Lage entspricht dem Faseranteil  $h_i$ , dessen Orientierung in einem gewissen Winkelbereich (hier:  $\alpha_i \pm 5^\circ$ ) um eine Richtung  $\alpha_i$  liegt (siehe Abb. 13).

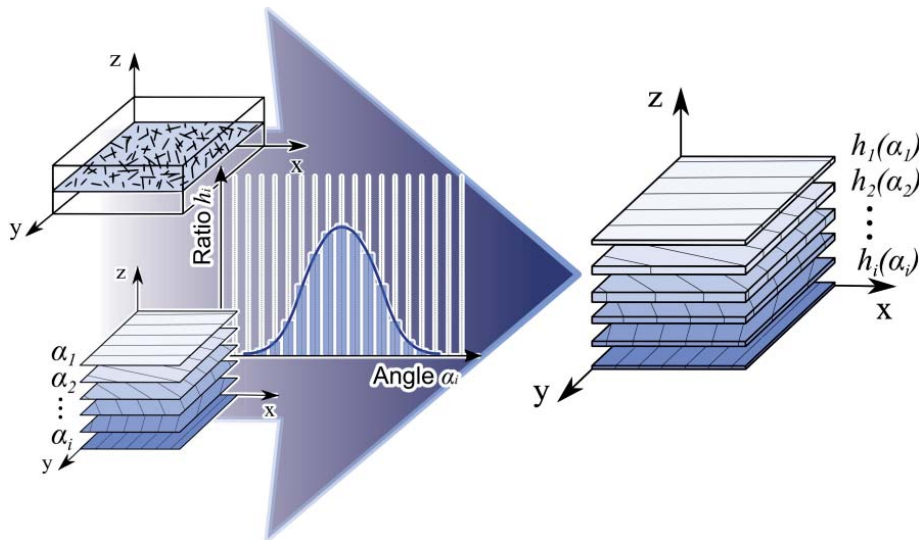


Abb. 13: Prinzip des Orientation Averaging, gewichtete Summation der Eigenschaften

In diesem Fall wird die Verteilung der Faserorientierungen in 18 diskrete Winkelsegmente von  $\alpha_i = -90^\circ$  bis  $+90^\circ$  eingeteilt. Die Verteilungsfunktion kann im Allgemeinen jede beliebige Form annehmen. Zur Vereinfachung gilt hier die Annahme, dass die Orientierungswinkel der Fasern normalverteilt bezüglich der Hauptorientierungsrichtung sind. Die Verteilungsfunktion kann somit durch einen einzigen Skalar, z.B. den sogenannten Hermans Faktor  $f_p$  [9], charakterisiert werden. Er beschreibt den Grad der Faserausrichtung und lässt sich aus einer gegebenen Verteilungsfunktion  $\Psi(\alpha)$  berechnen durch:

$$f_p = 2 \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2(\alpha) \Psi(\alpha) d\alpha - 1 \quad (1)$$

Ein Hermans Faktor von Null beschreibt ein Material ohne Vorzugsorientierung, d.h. mit transversal isotropen Eigenschaften. Ein Hermans Faktor von Eins beschreibt hingegen ein vollständig unidirektional ausgerichtetes Laminat. Durch das Invertieren der Formel für den Hermans Faktor lässt sich eine Normalverteilung für jeden Ausrichtungsgrad finden. Während der Berechnung in MATLAB wurde jedem Element ein Ausrichtungsgrad  $f_p \stackrel{\text{def}}{=} s$  zugewiesen. Aus diesem Wert leitet die UMAT Subroutine die diskrete Verteilung der 18 Gewichtungsfaktoren  $h_i$  für die einzelnen Winkelsegmente ab.

Die Steifigkeitsmatrix  $[Q]_{ud}$  eines unidirektionalen Laminats wird mit Hilfe der Formeln von Halpin und Tsai [10] berechnet. Eine unidirektionale Einzelschicht hat orthotrope Materialeigenschaften. Ihre Steifigkeitsmatrix kann anhand von neun unabhängigen Materialparametern berechnet werden.

Halpin und Tsai formulierten eine Vorgehensweise für die Verwendung von neun spezifischen Parametern für Faserverbundwerkstoffe, bestehend aus den sechs Materialparametern von Faser und Matrix ( $E_f, E_M, G_f, G_M, \nu_f, \nu_M$ ) sowie der Faserlänge  $l_f$ , dem Faserdurchmesser  $d_f$  und dem Faservolumengehalt  $\phi$ .

Die Grundformel nach Halpin und Tsai lautet

$$E_{ij} = \frac{E_M(1 + \xi_{ij}\eta_{ij}\phi)}{1 - \eta_{ij}\phi} \quad (2)$$

mit

$$\eta_{ij} = \frac{M_R - 1}{M_R + \xi_{ij}} \quad M_R = \frac{E_f}{E_M} \quad (3)$$

Der Parameter  $\xi_{ij}$  ist empirischer Natur und nimmt, je nach Index, unterschiedliche Werte an.

$$\xi_{xx} = \frac{2l_f}{d_f} \quad \xi_{yy} = \xi_{zz} = 2 \quad \xi_{xy} = 1 \quad (4)$$

Anhand der Formel von Halpin und Tsai wird in der UMAT Subroutine  $[Q]_{ud}$  unter Verwendung von sieben Materialparametern, die aus dem Input File ausgelesen werden und zwei weiteren, abhängigen Parametern berechnet.

In darauffolgenden Schritten wird  $[Q]_{ud}$  um 18 verschiedene Winkel zwischen  $\alpha_i = -90^\circ$  und  $+90^\circ$  gedreht. Diese Steifigkeitsmatrizen  $[Q]_i$  werden mit ihrem jeweiligen Gewichtungsfaktor  $h_i$  multipliziert und zur Gesamtsteifigkeitsmatrix  $[Q]_{total}$  des Elements aufsummiert.

$$[Q]_{total} = \sum_{i=1}^{18} ([Q]_i \cdot h_i) \quad (5)$$

### 3.2.3 Statistische Streuung von Materialeigenschaften

Es gibt viele Möglichkeiten, Streuungen der Materialeigenschaften in das Modell einzubringen, zusätzlich zur Streuung der Faserhauptorientierung (siehe Abschnitt 3.2.1). Innerhalb der UMAT können unter Verwendung eines frei verfügbaren FORTRAN Codes [11] Zufallsvariablen unterschiedlicher Verteilungen erzeugt werden. Für die Abbildung globaler Abweichungen kann ein einziger Zufallswert für das gesamte Bauteil erzeugt werden. Jeder beliebige Materialkennwert kann so verändert werden, beispielsweise kann der Faservolumengehalt als normalverteilte Zufallsvariable mit einer Standardabweichung von 3% definiert werden. Lokale Streuungen können dadurch erzeugt werden, dass für jedes Element ein neuer Zufallswert erzeugt wird. Allerdings führt diese Vorgehensweise bei hinreichend kleinen Elementen nur zu statistischem Rauschen, das keinerlei Einfluss auf die Bauteilsteifigkeit hat. Ein realistischerer Ansatz ist die Definition von größeren Bereichen, die unterschiedlich starken Streuungen unterworfen sind und die Zuordnung einer Reihe von Zufallszahlen zu diesen Bereichen.

## 4 Anwendungsbeispiel: Einfluss unterschiedlicher Eingabeparameter auf das Modellverhalten

Um den Einfluss unterschiedlicher Parameter aufzuzeigen, wird die beschriebene Methode zur Abbildung der Materialeigenschaften auf das einfache Modell eines Biegebalkens angewendet. Die Verformung des Modells, dargestellt in Abb. 14, wird für unterschiedliche Werte der Parameter für den Einlegepunkt O und den UD-Radius  $x * l_0$  berechnet.

In Abb. 14 wird beispielhaft ein resultierender Spannungsverlauf gezeigt. Die inhomogenen Materialeigenschaften lassen sich sehr gut an den ausgefransten Grenzen des Farbverlaufs erkennen.

Der Ursprung, also der Einlegepunkt der SMC-Matten O wird entweder in der Mitte des Balkens oder an dessen Ende, auf der Symmetrielinie, gewählt. Für den Parameter  $x$  werden 50%, 70%, 100%, 200% und 700% der Länge  $l_0$  untersucht. Das Modell mit dem Faktor 700% \*  $l_0$  stellt ein quasi-isotropes SMC-Bauteil dar und dient als Referenz. In Tabelle 1 wird die maximale Verformung der Modelle verglichen. Für drei der Parameterpaare werden zwei Berechnungsläufe durchgeführt, was den Einfluss der Zufallsparameter zeigt.

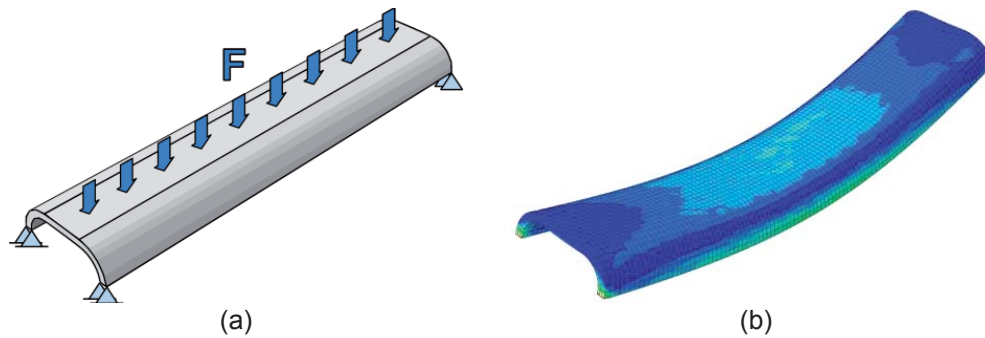


Abb. 14: (a) Modell des Biegebalkens, (b) Beispiel für die Verformung, Anzeige des Spannungsverlaufs

Ursprung	Orientierungsparameter $x$ [%]	Lauf Nr.	Max. Deformation [mm]	Rel. Deformation [%]
Mitte	700	1	13.47	100
Mitte	700	2	13.59	100.9
Mitte	100	1	12.68	94.1
Mitte	100	2	12.62	93.7
Mitte	50	-	11.90	88.3
Ende	200	-	13.45	99.9
Ende	100	-	11.22	83.3
Ende	70	1	9.23	68.5
Ende	70	2	9.17	68.1
Ende	50	-	7.88	58.5

Tabelle 1: Vergleich der Verformung unterschiedlicher Modellversionen

Es ist offensichtlich, dass beide untersuchten Parameter, sowohl der Ursprung  $O$  als auch die maximal erreichte Faserorientierung, die durch den Parameter  $x$  gegeben ist, deutlichen Einfluss auf die Steifigkeit des Biegebalkens haben. Schon kleine Veränderungen dieser Parameter führen zu Abweichungen im Modellverhalten. In einer Optimierung zur Steigerung der Robustheit können diese Abweichungen entsprechend reduziert werden.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Sheet Molding Compound ist ein Verbundwerkstoff, der ein hohes Potenzial für die Massenproduktion birgt. Rippenstrukturen eignen sich hervorragend dafür, die Struktursteifigkeit dünnwandiger SMC-Bauteile zu erhöhen. Allerdings rufen die streuenden Materialeigenschaften von SMC Abweichungen im Bauteilverhalten innerhalb einer Serie hervor. In dieser Arbeit wurde eine Methode für die Rippenoptimierung von SMC-Bauteilen unter Berücksichtigung der Robustheit vorgestellt, mit dem Fokus auf dem ersten Schritt der Methode, der Erzeugung von Stichproben mit streuenden Materialeigenschaften. Es wurde gezeigt, dass diese Streuungen signifikanten Einfluss auf das Steifigkeitsverhalten der Bauteile haben. Zukünftige Schritte umfassen die Automatisierung der Stichprobenerzeugung sowie deren Integration in eine statistische Auswertung und die eigentliche Rippenoptimierung.



## 6 Danksagung

Besonderer Dank gilt dem Technologie-Cluster Composites Baden-Württemberg (TC<sup>2</sup>), gefördert durch das Land Baden-Württemberg und die EU, in dessen Rahmen die hier dargestellten Arbeiten entstanden sind.

## 7 Literatur

- [1] Boylan, S and Castro, J M: Effect of Reinforcement Type and Length on Physical Properties, Surface Quality, and Cycle Time for Sheet Molding Compound (SMC) Compression Molded Parts, Industrial, Welding and Systems Engineering Department, The Ohio State University, USA, 2003
- [2] AVK – Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V.: Handbuch Faserverbundkunststoffe, Vieweg+Teubner Verlag, 2010
- [3] Specker, O, Osswald, T A and Michaeli, W: Methoden zur Vorausberechnung der Faserorientierung beim Pressen von SMC mit geschnittenen Glasfasern, FAT-Schriftenreihe Nr. 87, ISSN 0933-050X, 1989
- [4] Taguchi, G: Taguchi's Quality Engineering Handbook, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2004
- [5] Bendell, T: Taguchi methods: applications in world industry, Kempston: IFS Publ., Berlin, Springer, 1989
- [6] Ang, A H-S, Tang, W H: Probabilistic concepts in engineering planning and design – Volume 1: Basic Principles, John Wiley & Sons, New York, NY, 1975
- [7] Ang, A H-S, Tang, W H: Probabilistic concepts in engineering planning and design – Volume 2: Decision, risk and reliability, John Wiley & Sons, New York, NY, 1984
- [8] Advani, S, und Tucker III, C: The Use of Tensors to Describe and Predict Fiber Orientation in Short Fiber Composites, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Illinois, USA, 1987
- [9] Hermans, J J: The Elastic Properties of Fibre Reinforced Materials when the Fibres are Aligned, Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, Proc. Series B 70, Amsterdam, 1967
- [10] Halpin, J, Kardos, J: The Halpin-Tsai Equations: A Review, Materials Research Laboratory, Washington University, St. Louis, Missouri, 1976
- [11] Chandler, R [Online]: FORTRAN code from the Department of Statistical Science, University College London, Available: <http://www.homepages.ucl.ac.uk/~ucajarc/index.html>, 13<sup>th</sup> February, 2012

# Bestimmung von FEM-Materialdaten für die Crashberechnung von Elastomeren unter Berücksichtigung großer Zug- und Druckverformungen

Dr. Marc Bosseler, Dr. Bernd Kleuter, (Parsolve GmbH)

Dr. Gerrit Risy (Volkswagen AG)

Bei sehr vielen Werkstoffen im Automobilbereich ist es für den FEM-Anwender nach wie vor eine große Herausforderung, zu prüfen, welches Werkstoffmodell am besten zum zu simulierenden Material und dem vorgegebenen Lastfall passt und dabei gleichzeitig zu entscheiden, inwiefern es möglich und vom Aufwand her zu rechtfertigen ist, die notwendigen Materialparameter hierfür zu bestimmen. In dieser Arbeit wird die Bestimmung einer Materialkarte zur Simulation des viskoelastischen Verhaltens eines kompakten Elastomers mittels Koppelung optischer Messtechnik und nichtlinearer Mehrparameteroptimierung präsentiert. Es wird dabei eine Versuchs- und Auswertemethodik genutzt, mit deren Hilfe es möglich ist, mehrachsige Spannungszustände bis zu großen Verformungen sowohl im Zug- als auch im Druckbereich sowie crashrelevante Dehnraten von bis zu 200/s innerhalb einer Optimierungsroutine zu berücksichtigen. Es werden zunächst die experimentellen Untersuchungen an ausgewählten Probekörpergeometrien dargestellt. Im weiteren Verlauf erfolgt die Erläuterung der wichtigsten Auswertschritte innerhalb des Reverse Engineering. Abschließend wird anhand von Verifikationen und Validierungen gezeigt, dass mit dem vorgestellten Versuchs- und Auswertekonzept allen wichtigen Aspekten einer erfolgreichen Materialprüfung zur Bestimmung von FEM-Materialkarten Genüge geleistet werden kann.

## 1 Einleitung

Für Anwender von FE-Simulationstools ist es eine der wesentlichen Aufgaben bei der Modellerstellung, das Materialverhalten unter mechanischer Belastung realitätsnah abzubilden und zu prüfen, welches Werkstoffgesetz hierfür am besten geeignet ist. Zudem ist es erforderlich, die zugehörigen Materialparameter mit Hilfe geeigneter Prüf- und Auswertekonzepte zu ermitteln, so dass die später am Bauteil zu simulierenden Lastzustände bereits innerhalb des Materialprüfprogramms möglichst vollständig angesprochen werden. Da es das Ziel dieser Arbeit ist, einen einzigen Materialdatensatz zur gleichzeitigen Simulation des Verhaltens von Elastomerbauteilen bei hohen Dehnungen und Dehnraten zu bestimmen, wurden sowohl die an Bauteilen auftretenden mehrachsigen Spannungszustände bis in hohe Verformungsbereiche als auch eine große Bandbreite an Dehnraten innerhalb des Versuchsprogramms berücksichtigt.

Die Auswertung der experimentellen Daten wurde mit Hilfe eines Optimierungsverfahrens aus dem Bereich des Reverse Engineerings vorgenommen, dessen Algorithmik auch für hochgradig nichtlineare Materialmodelle, die Verwendung von inhomogenen Verzerrungszuständen [1] sowie die Berücksichtigung von Streuungen des Materialverhaltens [2] anwendbar ist. Als Optimierungsalgorithmus wird die Methode der kleinsten Fehlerquadrate unter Hinzunahme der Levenberg-Marquardt-Methode angewendet, wobei es das Ziel ist, die Unterschiede zwischen auf der Probekörperoberfläche gemessenen und simulierten inhomogenen Verschiebungsfeldern zu minimieren. Die Simulation der Versuche ist dabei kraftgesteuert, wobei die während der entsprechenden Versuche gemessenen zeitlichen Kraftverläufe als Randbedingung einfließen. Aufgrund der gleichzeitigen Parameterbestimmung für mehrere Experimente sind eindeutige Parameterschätzungen deutlich besser gewährleistet als bei seriellen Auswerteverfahren, die darüber hinaus oftmals aus mehreren unterschiedlichen Methoden aufgebaut sind. Darüber hinaus gewährleistet das hier vorgestellte Verfahren der generalisierten Parameteridentifikation eine bessere Berücksichtigung der auftretenden Streuungen bei Wiederholversuchen.

## 2 Materialprüfung

### 2.1 Versuchsaufbauten und Probekörper

Alle Prüfungen wurden in einem klimatisierten Prüfraum bei  $21,5 \pm 0,2$  °C durchgeführt. Es kamen eine Universalprüfmaschine der Firma Zwick (Modell 1474 für quasistatische Zug- und Druckversuche und eine hydraulische Hochgeschwindigkeitsprüfmaschine der Firma Zwick/Roell (Modell HTM 5020) für Schnellzugversuche zum Einsatz (Abb. 1). Als Messsystem zur optischen Messung von Verschiebungsfeldern auf der Probekörperoberfläche wurde das System ARAMIS 4M der Firma GOM und Kameras mit entsprechender Bildrate verwendet.

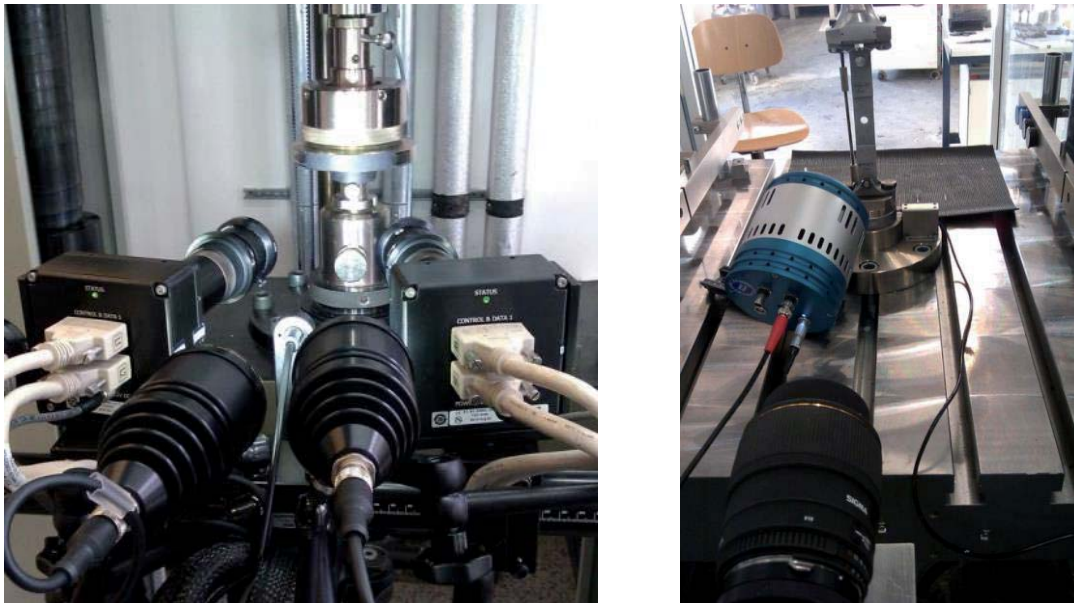


Abb. 1: Quasistatischer Druckversuch (links) , Hochgeschwindigkeitszugversuch (rechts)

Als Probekörper wurden rechteckige Zugprobekörper und zylinderförmige Druckprobekörper verwendet. Während die Zugprobekörper in der Mitte mit einem kreisrunden Loch versehen waren, sind die Druckprobekörper als Vollzylinder mit oben und unten einvulkanisierten Aluplättchen ausgearbeitet worden (Abb. 2). Beide Probekörpergeometrien führen bei Belastung zu einem inhomogenen Spannungszustand sowie einer inhomogenen Verteilung lokaler Dehnraten über den gesamten Verformungsbereich. Damit während des Versuchs Verschiebungsfelder gemessen werden konnten, wurden die Probekörper mit einem zufallsverteilten Muster aus Grauwerten kodiert.

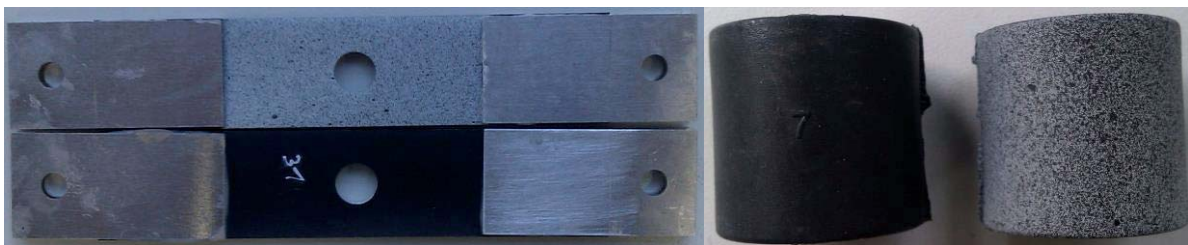


Abb. 2: Gelochte Rechteckprobekörper, massive Vollzylinder, kodiert und unkodiert

Um die im Falle einer herkömmlichen Einspannung der Zugprobekörper auftretenden Eigenspannungen zu minimieren, wurden überstehende, gelochte Laschen mittels vollflächiger Klebung appliziert. Die Kraftübertragung erfolgt somit zunächst über einen Bolzen in die Laschen und dann im Wesentlichen über die Klebung.

## 2.2 Zug- und Druckversuche

Das Versuchsprogramm bei beiden Materialien bestand aus Zugversuchen bei drei unterschiedlichen Abzugsgeschwindigkeiten sowie Druckversuchen bei quasistatischer Belastungsgeschwindigkeit. Die direkt mit der Prüfmaschine aufgenommenen Messwerte waren jeweils die Zeit, die Kraft in Lastrichtung und der Traversenweg. Zusätzlich wurden mittels optischer, berührungsloser Messtechnik die Oberflächenverschiebungen ermittelt. Bei den Zugversuchen wurden Verzerrungszustände von über 100% lokaler technischer Dehnungen, bei den Druckversuchen von ca. 50% erreicht. Folgende Versuchs- und Kamerakonfigurationen kamen zum Einsatz:

- Zugbelastung mit 5 mm/min Traversengeschwindigkeit, 1 Bildaufnahme alle 6 Sekunden
- Zugbelastung mit 0,3 m/s Abzugsgeschwindigkeit, Bildaufnahme mit 800 Hz
- Zugbelastung mit 5 m/s Abzugsgeschwindigkeit, Bildaufnahme mit 9000 Hz
- Druckbelastung mit 3 mm/min Traversengeschwindigkeit, 1 Bildaufnahme alle 6 Sekunden

Für die folgende Parameteridentifikation wurden die Kraft-Zeit-Kurven bei 0,3 und 5 m/s geglättet. In den folgenden Abbildungen sind die Kraft-Zeit-Verläufe der vier Versuchstypen dargestellt, wobei die maximalen Traversenwege ca. 35 mm im Zugversuch und ca. 15 mm im Druckversuch betragen.

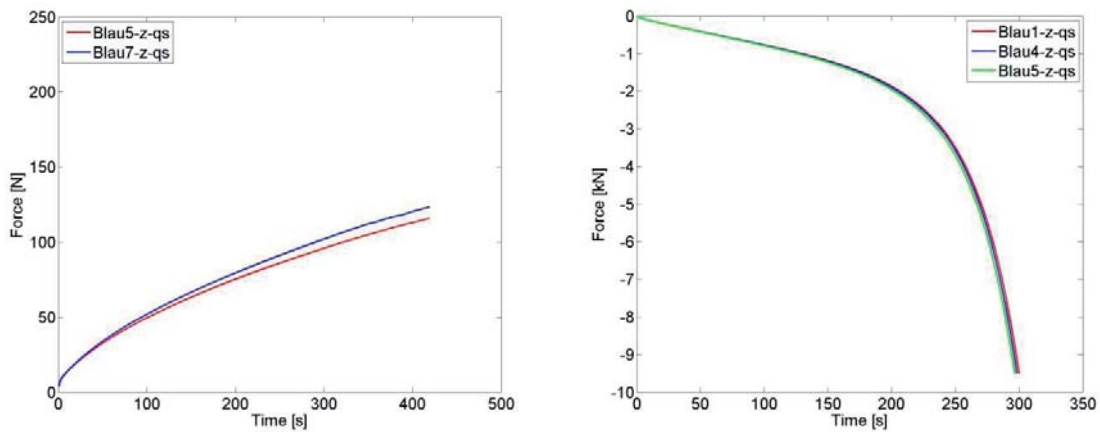


Abb. 3: Quasistatische Zugversuche (links) und Druckversuche (rechts)

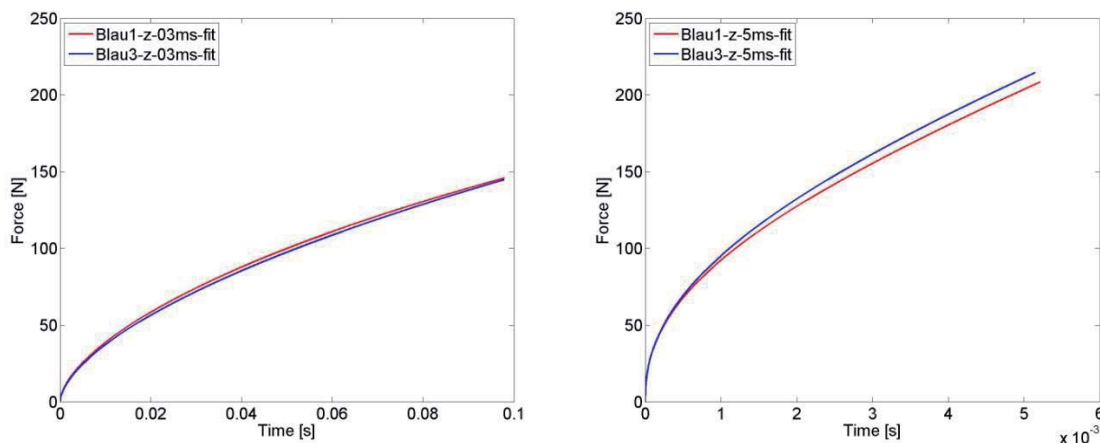


Abb. 4: Zugversuche bei 0,3 m/s (links) und 5,0 m/s (rechts)

Zur Ermittlung inhomogener Verschiebungsfelder wurde ein auf der Probekörperoberfläche stochastisch verteiltes Muster aus Grauwerten mit CCD-Kameras aufgenommen. Im Anschluss daran wurde der Auswertebereich festgelegt (Abb. 5) und mittels Grauwertkorrelationsanalyse analysiert. In den Abbildungen 6 und 7 sind beispielhaft die resultierenden Verschiebungs- und Dehnungsfelder eines Zug- und Druckversuchs dargestellt.



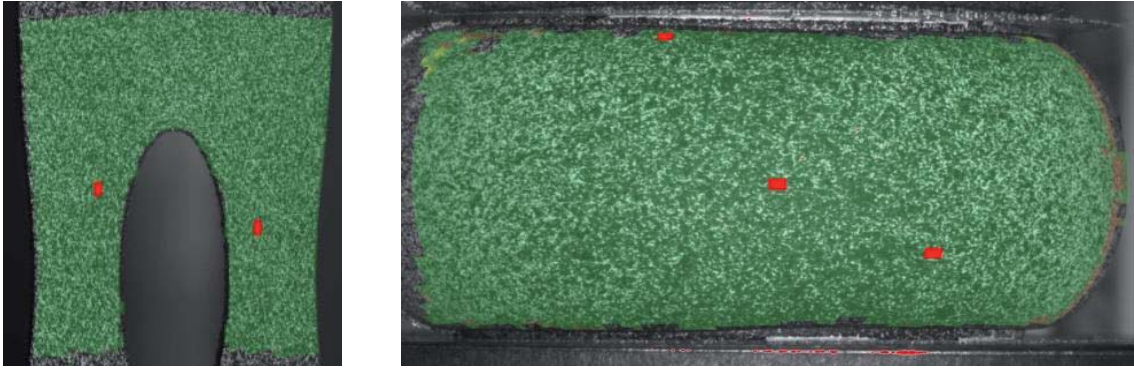


Abb. 5: Originalkamerabilder mit überlagelter Auswertemaske

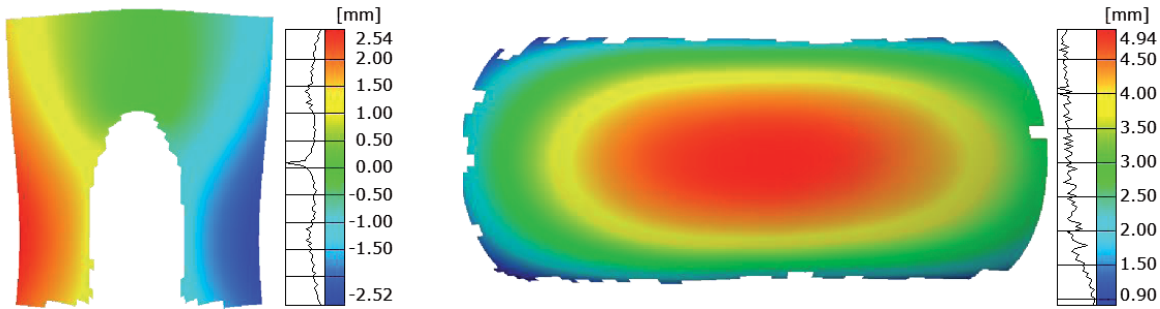


Abb. 6: Verschiebungsfelder, Zug- und Druckversuch

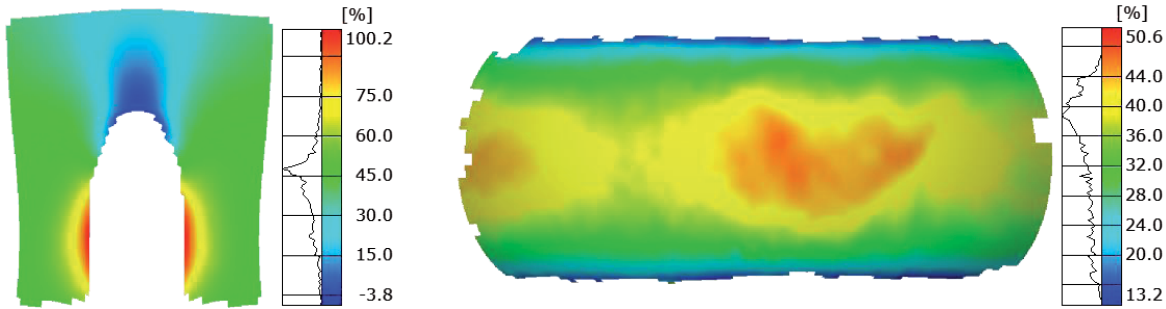


Abb. 7: Verlauf der maximalen lokalen Vertikaldehnungen

**3 Bestimmung der Materialkennwerte**

Die simulierten und die experimentell ermittelten Verschiebungen  $\vec{u}_{ij}^{exp}$  und  $\vec{u}_{ik}^{exp}$  haben jeweils zwei bzw. drei unterschiedliche Verschiebungsrichtungen, je nachdem, ob es sich um Zug- oder Druckversuche handelt. Für die Bestimmung der Materialparameter müssen zunächst die experimentell gemessenen Verschiebungsfelder vergleichbar zu denjenigen am korrespondierenden FEM-Modell gemacht werden. Hierfür werden die gemessenen Verschiebungen der Probekörper mittels Triangulation auf die Identifikationsknoten des FE-Modells interpoliert. Zu diesem Zweck wird zudem das Koordinatensystem des Messfeldes genau in die Mitte des Loches transformiert (Abb. 8)

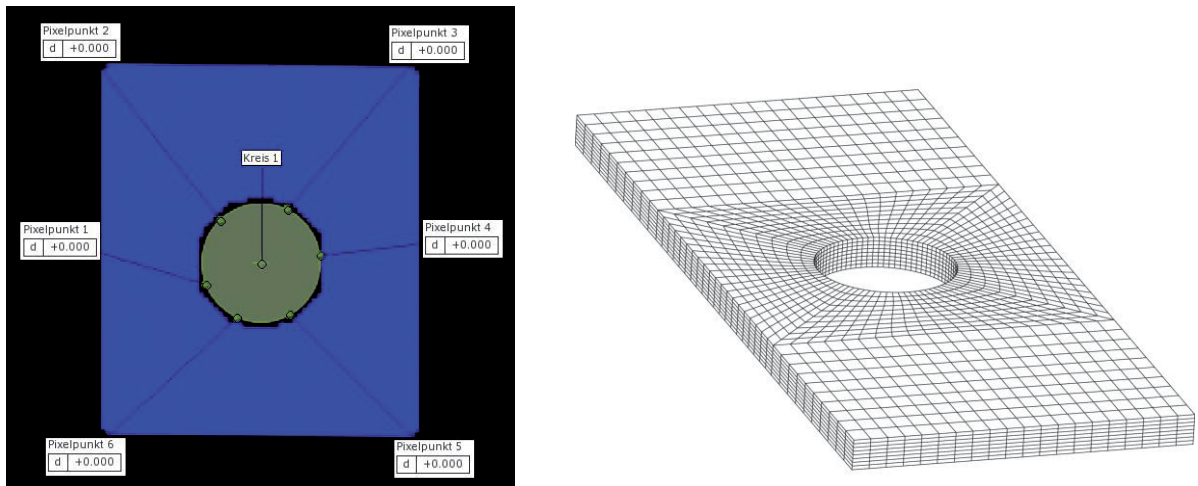


Abb. 8: Transformiertes Koordinatensystem und FE-Modell (beispielhaft)

Um die Materialkennwerte anhand mehrerer Versuchstypen, in diesem Fall Zugversuchen an gelochten Probekörpern und Druckversuchen an Vollzylindern, gleichzeitig zu ermitteln, wird als Zielfunktion  $f(\kappa)$  die folgende Formulierung der Fehlerquadratsumme verwendet:

$$f^{AB\dots Z}(\kappa) = \frac{1}{2} \left[ \underbrace{\sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{T_A} \left[ \mathbf{W}_{ij} \cdot \left[ \bar{\mathbf{u}}_{ij}(\kappa) - \bar{\mathbf{u}}_{ij}^{\text{exp}} \right] \right]^2}_{\text{Test A}} + \dots + \underbrace{\sum_{m=1}^{N_Z} \sum_{n=1}^{T_Z} \left[ \mathbf{W}_{mn} \cdot \left[ \bar{\mathbf{u}}_{mn}(\kappa) - \bar{\mathbf{u}}_{mn}^{\text{exp}} \right] \right]^2}_{\text{Test Z}} \right] \quad (1)$$

Es sind  $T_A, T_B, \dots, T_Z$  die im jeweiligen Versuchstyp betrachteten Anzahlen an Lastschritten sowie  $\mathbf{W}_{ij}, \dots, \mathbf{W}_{mn}$  die Wichtungsmatrizen für die entsprechenden Verschiebungen in Längs- und Querrichtung. Die Anzahl an Identifikationsknoten bezeichnen  $N_A, \dots, N_Z$ . Da während der Versuchsdurchführung unerwünschte Effekte, wie z.B. Rutschen in der Einspannung oder der Einfluss der Maschinensteifigkeit, auftreten können, werden für die Identifikation in der Regel nicht die Absolutwerte der Verschiebungen, sondern auf einen Relativknoten bezogene Verschiebungen berücksichtigt. Dies hat den Effekt, dass vom Materialverhalten entkoppelte Translations- und Rotationsbewegungen im Vorfeld gefiltert werden können. Hierdurch verändert sich die allgemeine Darstellung der Fehlerquadratsumme folgendermaßen:

$$f(\kappa) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T \left[ \left[ \bar{\mathbf{u}}_{i,j}(\kappa) - \bar{\mathbf{u}}_{ij}(\kappa) \right] - \left[ \bar{\mathbf{u}}_{i,j}^{\text{exp}} - \bar{\mathbf{u}}_{ij}^{\text{exp}} \right] \right]^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

$\bar{\mathbf{u}}_{i,j}(\kappa)$  sind hierbei die Verschiebungen am Relativknoten,  $\bar{\mathbf{u}}_{i,j}^{\text{exp}}$  die gemessenen Verschiebungen nach Interpolation auf die Koordinaten des Relativknotens RN. Die Lage der jeweiligen Relativknoten und der fünf für die spätere Verifikation gewählten Verifikationsknoten des Zug- und Druckprobekörpers ist im Folgenden dargestellt.

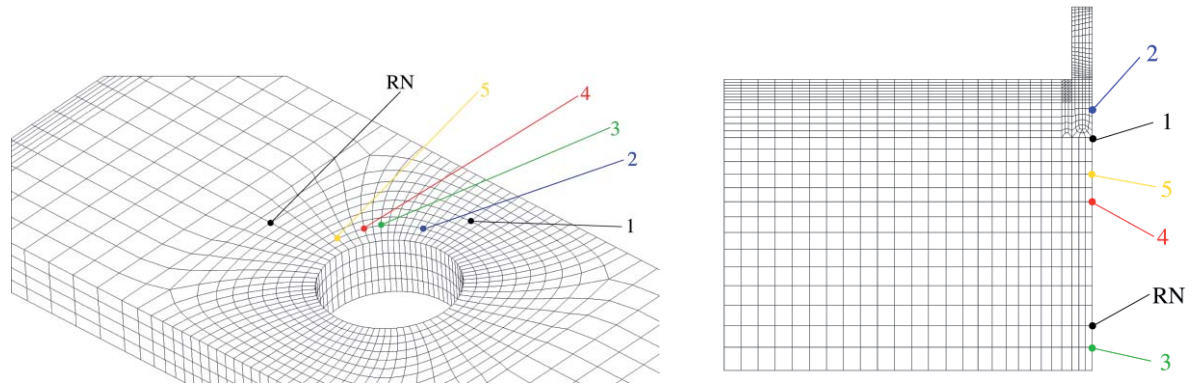


Abb. 9: Lage des Relativknotens und der Verifikationsknoten auf dem FE-Modell des Zug- und Druckprobekörpers

Der endgültige Materialdatensatz wurde über eine iterative Strategie bestimmt, indem zunächst mit einem groben Netz, 'schnelleren' Elementen und entsprechenden numerischen Einstellungen eine Annäherung durchgeführt wurde. Die daraus resultierenden Parameter gingen dann als Startparametersatz in das nächstgenauere Modell ein, bis schließlich die unter jedem zuvor genannten Aspekt optimalen Einstellungen für die abschließende Identifikation verwendet worden sind. Es wurde ein hyperviskoelastisches Werkstoffmodell verwendet, wobei die Grundelastizität über ein Ogden-Modell abgebildet worden ist. Hinzu kommen drei bis vier Relaxationsterme zur Berücksichtigung des zeitabhängigen Verhaltens.

#### 4 Verifikationen und Validierung

Die Ergebnisse der Parameteridentifikation werden über einen Vergleich der gemessenen und simulierten Kraft-Verschiebungsverläufe an ausgewählten Verifikationsknoten (Abb. 9) verifiziert. Dabei werden je nach Versuch Vertikal-, Horizontal- und Radialverschiebungen betrachtet. Im Folgenden sind für alle vier Versuchsarten die Verifikationen für zwei unterschiedliche Verschiebungsrichtungen dargestellt. Dabei ist nochmals anzumerken, dass alle hierfür durchgeführten Simulationen mit einem einzigen Materialdatensatz durchgeführt wurden.

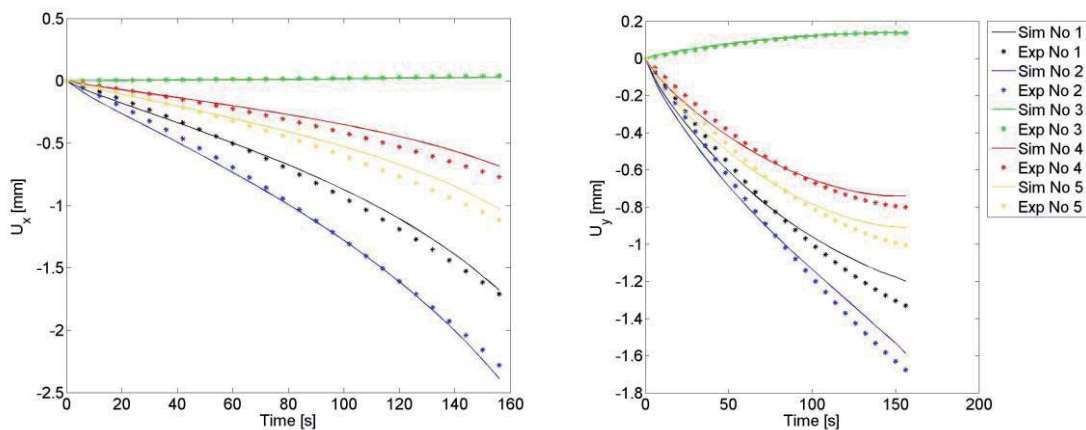


Abb. 10: Relative gemessene und simulierte Längs- und Radialverschiebungen für ausgewählte Identifikationsknoten, quasistatischer Druckversuch

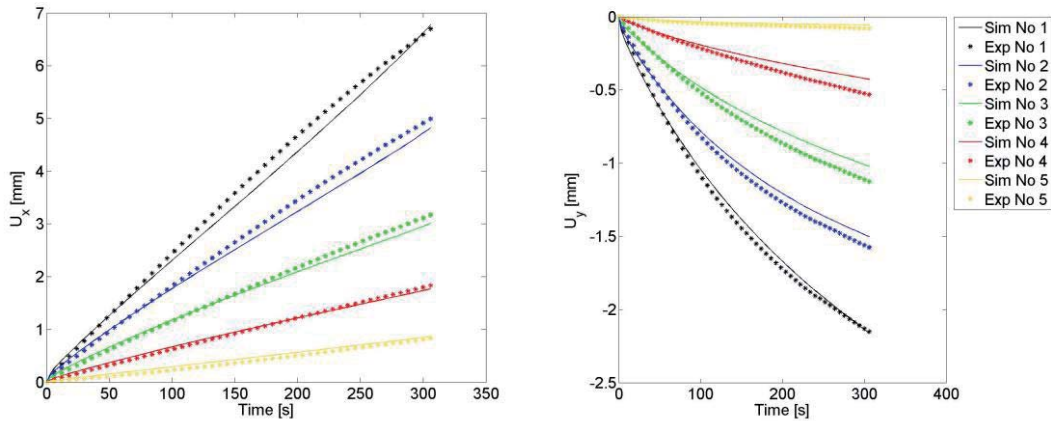


Abb. 11: Relative gemessene und simulierte Längs- und Querverschiebungen für ausgewählte Identifikationsknoten, quasistatischer Zugversuch

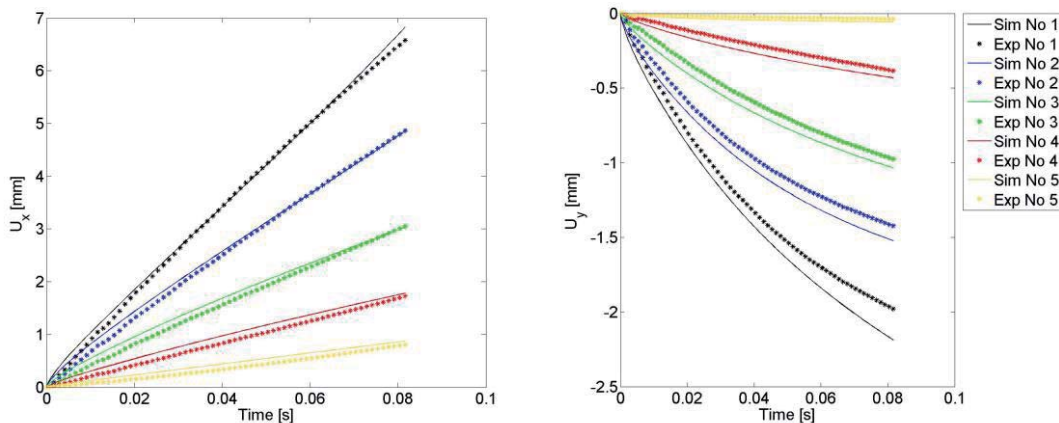


Abb. 12: Relative gemessene und simulierte Längs- und Querverschiebungen für ausgewählte Identifikationsknoten, Zugversuch bei 0.3 m/s

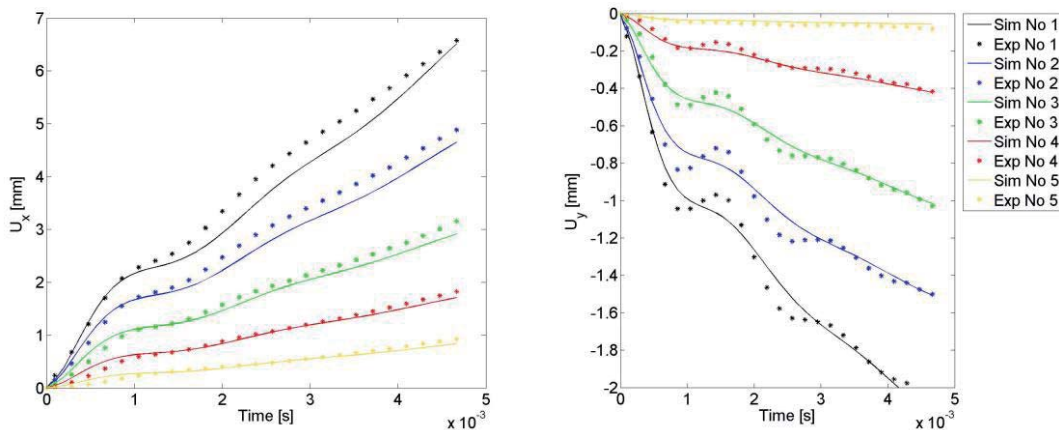


Abb. 13: Relative gemessene und simulierte Längs- und Querverschiebungen für ausgewählte Identifikationsknoten, Zugversuch bei 5.0 m/s

Die Verifikationen zeigen, dass das verwendete hyperviskoelastische Stoffgesetz sehr gut geeignet ist, das mechanische Verhalten des betrachteten Elastomers qualitativ und quantitativ bis hin zu lokalen technischen Dehnungen von ca. 50% unter Druck- und ca. 100% unter Zugbelastung zu simulieren. Die simulierten inhomogenen Verschiebungen im Bereich des Loches des Zugprobekörpers sowie im Bereich der Ausbauchung des Druckprobekörpers, die aus dem mehrachsigen Spannungszustand resultieren, stimmen sehr gut mit den kor-



respondierenden experimentell gemessenen Verschiebungen überein. Dies gilt für das gesamte gemessene und simulierte Dehnratenspektrum. Um abschließend mit Sicherheit nachzuweisen, dass mit dem ermittelten Materialdatensatz realitätsnahe Simulationsrechnungen auch bei nicht für die Identifikation verwendeten Bauteilgeometrien und ggfs. höheren lokalen Dehnungen und/oder Dehnraten durchzuführen sind, ist es empfehlenswert, zusätzlich zu Verifikationen eine Validierung zu machen. Zur Veranschaulichung des qualitativen Einflusses der Dehnrate auf die Spannungsverteilung sind im Folgenden FEM-Plots der Zugproben bei gleicher Verformung aber drei unterschiedlichen Belastungsgeschwindigkeiten dargestellt.

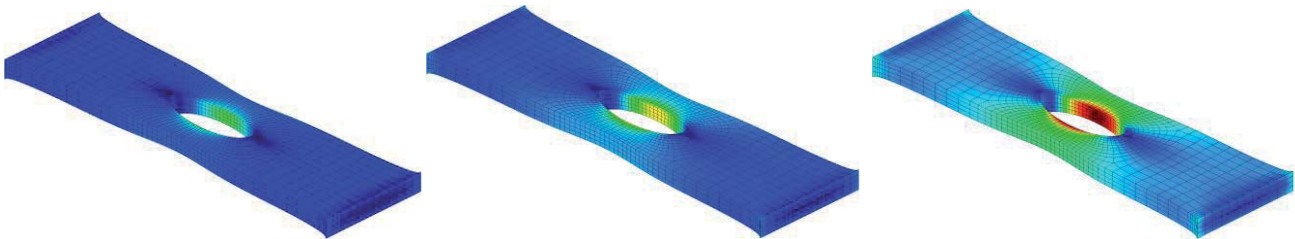


Abb. 14:  
Spannungsverteilung bei quasistatischer Belastung (links), 0.3 m/s (Mitte) und 5.0 m/s (rechts),  
Einfluss der Dehnrate

Validierungen wurden anhand von Komponentenversuchen von Motorlagern am Fallturm durchgeführt. Durch die Variation von Fallhöhen und Fallgewichten kann damit ein breites Spektrum von dynamischen Lasten auf den Elastomeranteil der Lager aufgebracht werden. Die FEM-Simulation der entsprechenden Versuche zeigt bei Verwendung der identifizierten Materialparameter eine sehr gute Übereinstimmung von Simulations- und Versuchsergebnissen.

## 5 Fazit

Es stellt sich heraus, dass mit dem hier vorgestellten Verfahren alle wichtigen Aspekte der Materialmodellierung einer 3D-Bauteilsimulation von Elastomeren in geeigneter Weise berücksichtigt werden können. Die Verifikationen sowohl für drei unterschiedliche Abzugsgeschwindigkeiten im gelochten Zugversuch (quasistatisch bis 5 m/s) als auch für ausgeprägte Drucklasten bei langsamer Belastungsgeschwindigkeit liefern jeweils eine sehr gute Übereinstimmung gemessener und simulierter lokaler Verschiebungswerte. Im Vergleich zu den bisher verwendeten Materialparametern ergibt sich eine bessere Abbildung des Elastomerverhaltens. Dies gilt vor allem für die Berücksichtigung der Dehnratenabhängigkeit des Elastomers. Da die Verifikationen und die Validierungen zu einem positiven Ergebnis führten, erfolgt nun der Einsatz der Materialparameter in der Crashberechnung bei Volkswagen.

## 6 Literatur

- [1] R. Mahnen. Identification of Material Parameters for Constitutive Equations. Encyclopedia of Computational Mechanics, 2:637-655, Wiley, 2004.
- [2] B. Kleuter, A. Menzel, and P. Steinmann. Generalized Parameter Identification for Finite Viscoelasticity. Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., 196:3315-3334, 2007.
- [3] ABAQUS 6.9, Analysis User's Manual: 19.3.1
- [4] B. Kleuter, M. Bosseler. Materialprüfung und Kennwertermittlung für Drucker-Prager-Plastizität zur Simulation von PBT. „Fortschritte in der Werkstoffprüfung für Forschung und Praxis“, Tagung Werkstoffprüfung, Bad Neuenahr, 2012
- [5] B. Kleuter, M. Bosseler. Parameteridentifikation für nichtlineare Materialmodelle in der FEM mittels optischer Verformungsanalyse. NAFEMS-Magazin 01/2009
- [6] M. Bosseler, B. Kleuter, R. Renz, P. Steinmann. Experiment and parameter identification for the simulation of compact and cellular PUR. Kautschuk Gummi, Kunststoffe, 11/2007: 597-607

Bitte per Post oder Fax senden:

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

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

e-mail: [magazin@nafems.de](mailto:magazin@nafems.de)

Adresse für Fensterkuvert



**NAFEMS GmbH**  
**Osterham 23**

**D-83233 Bernau am Chiemsee**  
**Germany**

## Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (1/2014)

Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

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

Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.

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

Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:

---

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

Ich interessiere mich für [www.CAE-jobmarket.com](http://www.CAE-jobmarket.com). Bitte kontaktieren Sie uns.

**Absender**

Firma: \_\_\_\_\_

Abt.: \_\_\_\_\_

Titel, Vor-/Nachname: \_\_\_\_\_

Straße: \_\_\_\_\_

PLZ-Ort: \_\_\_\_\_

Tel.: \_\_\_\_\_

Fax: \_\_\_\_\_

e-mail: \_\_\_\_\_

**Bitte senden Sie das NAFEMS Magazin auch an:**

Firma: \_\_\_\_\_

Abt.: \_\_\_\_\_

Titel, Vor-/Nachname: \_\_\_\_\_

Straße: \_\_\_\_\_

PLZ-Ort: \_\_\_\_\_

Tel.: \_\_\_\_\_

Fax: \_\_\_\_\_

e-mail: \_\_\_\_\_

# NAFEMS Online-Magazin

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

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

[www.nafems.org/magazin](http://www.nafems.org/magazin)

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

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

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

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



[www.nafems.org](http://www.nafems.org)