



# Online-Magazin

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

## Fachbeiträge in dieser Ausgabe

### Strukturoptimierung

- Optimierung einer Positionier- und Haltevorrichtung nach Steifigkeits- und Gewichtsgesichtspunkten

### Supraleitersimulation

- Simulation von unkonventionellen Supraleitern – Anwendung der Finite Elemente Methode

### Strukturdynamik

- FEM-Echtzeitsimulation für die Dynamik elastischer Körper

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

Alle bisherigen Ausgaben kostenlos zum Download unter:

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

## Quick-Info

### Trainingskurse

**Verification & Validation of Models and Analyses**  
 5. - 6. April, Wiesbaden

**Simulation und Analyse von Composites**  
 12. - 13. April, Wiesbaden

**Non-Linear Finite Element Analysis**  
 18. - 19. April, Wiesbaden

**Strömungssimulation (CFD): Theorie / Anwendung**  
 20. - 21. April, Wiesbaden

**Prakt. Anwendung FEM / Ergebnisinterpretation**  
 9. - 11. Mai, Wiesbaden

### e-Learning-Kurse

u. a. zu Fatigue & Fracture, Connections, ...

### Deutschsprachige NAFEMS Konferenz

25. - 27. April, Bamberg  
[www.nafems.org/dach2016](http://www.nafems.org/dach2016)

### Weitere Termine finden Sie unter

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



## 3. NAFEMS DACH Regionalkonferenz:

unabhängig – übergreifend – neutral

# Berechnung und Simulation: Anwendungen – Entwicklungen – Trends

25. - 27. April, Bamberg

- Plenarvorträge u. a. von: Adam Opel, Audi, Daimler, DLR, John Deere, Stadler Rail, Universität Erlangen-Nürnberg, ...
- +110 Fachvorträge aus Industrie, Forschung und Lehre
- Spezialforum: Additive Fertigung / 3D-Druck
- Workshops und Diskussionsrunden
- Umfangreiche Hard- und Softwareausstellung
- Schulungen
- Für Mitglieder (frei: 4 seminar credits\*) und Nichtmitglieder

Mit Forum „Additive Fertigung“

Eine Liste der angenommenen Vorträge und weitere Informationen finden Sie auf den Seiten 14 - 19.

[www.nafems.org/dach2016](http://www.nafems.org/dach2016)

\* Freie Teilnahme für NAFEMS Mitglieder unter Verwendung von vier NAFEMS seminar credits .

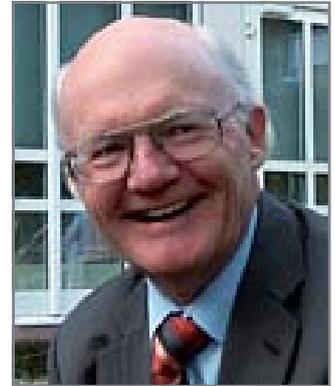
Sponsoren dieser Ausgabe:



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

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

das Jahr 2016 wartet mit einer Reihe von 'runden' Gedenktagen auf, zum Beispiel dem jeweils 400. Todestag von William Shakespeare und Miguel de Cervantes. Beide haben mit fantastischen Gestalten Weltliteratur geschaffen, denken Sie nur an Shakespeares Sommernachtstraum oder Cervantes' Don Quijote von der Mancha. Es liegt mir fern, diese großartigen Werke mit den Arbeiten der numerischen Simulation zu vergleichen, aber Fantasie und Können ist auch für die Entwicklung neuer Modelle und Methoden zur Simulation gefragt. In diesem Jahr wird zudem besonders an Gottfried Wilhelm Leibnitz erinnert, der vor 300 Jahren starb. Mit seinen Überlegungen zum dualen Zahlensystem hatte er bereits 1697 die Grundlage dazu gelegt, dass wir heute komplexe Vorgänge im Rechner darstellen können. Damals hat er den Binärcode als Abbildung der Schöpfung gesehen. Heute ist man da wohl etwas nüchterner, aber die Erfolge, die die Simulation zeitigt, sind schon bemerkenswert. Einen kleinen Eindruck davon geben die drei Fachbeiträge des vorliegenden Heftes 37 unseres Online-Magazins.



*Prof. Dr.-Ing.  
Klaus Rohwer*

Arbeiten zur Strukturoptimierung hat das Magazin schon mehrfach veröffentlicht. In diesem Fall geht es um eine Positionier- und Haltevorrichtung für die Montage von Flugzeugteilen. Für eine Parameteroptimierung mit dem Ziel, die Masse und die maximale Deformation zu minimieren, werden Metamodelle eingesetzt.

Der zweite Beitrag befasst sich mit unkonventionellen Supraleitern. Mit Hilfe einfacher Feder-Masse-Modellen wird ermittelt, in welchen Fällen das physikalische Phänomen mit der für konventionelle Supraleiter entwickelten BCS-Theorie beschrieben werden kann.

Schließlich wird über Möglichkeiten und Wege zur interaktiven Simulation geometrisch nichtlinearer Probleme der Strukturmechanik berichtet. Damit erschließen sich weite Anwendungsfelder wie zum Beispiel der effizienten Mehrkörperdynamik, der Steuerung von Systemverhalten bis hin zur Unterhaltungsindustrie.

Dieses Heft zeigt wieder, wie breit gefächert sich das Feld der Anwendung numerischer Simulation entwickelt hat. Ich hoffe und wünsche mir, dass es auch für Sie interessante und wertvolle Informationen enthält.

Mit freundlichen Grüßen

Hon.-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.dynamore.de](http://www.dynamore.de)



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



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



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

**SIEMENS**

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

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

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

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

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

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

Um die Aktivitäten von NAFEMS in den verschiedenen geografischen Regionen zu vertreten, neutral zu leiten und die nationalen Belange innerhalb der NAFEMS zu vertreten, wurden sogenannte regionale Steering Committees (Lenkungsausschüsse) gebildet. Die Mitglieder des **NAFEMS Steering Committees für Deutschland, Österreich und Schweiz (DACH)** sind:

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

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

- Robert Banjac (Siemens PLM Software)
- Werner Dirschmid (CAE Consulting)
- Andreas Frenk (Dassault Simulia)

- Albrecht Gill (Ansys Germany)
- Torsten Grahs (move-csc)
- Ulrich Heck (Dr. Heck Consulting & Engineering)
- Burkhard Hupertz (Ford)
- Uwe Janoske (Universität Wuppertal)
- Gangolf Kohnen (DHBW Mosbach)
- Rainer Stauch (MahleBehr)
- Markus Stephan (DHBW Mosbach)
- Arthur Stück (DLR)
- Thomas Weber (CD-adapco)
- Klaus Wolf (Fraunhofer SCAI)

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

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

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

**Werden auch Sie  
– Ihre Firma –  
NAFEMS-Mitglied!**

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

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

**Werden auch Sie Mitglied !**  
[www.nafems.org/involved](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 01.01.2016

### Verteilung / Bezug

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

### Copyright © 2016, Werbos GbR.

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

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

**ISSN 2311-522X**

Vorwort des Editor-in-Chief.....	2
Sponsoren .....	3
Über NAFEMS.....	4
Inhalt / Impressum .....	5

## NAFEMS Events

Übersicht .....	6 - 7
Trainingskurse .....	8 - 19
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation.....	8
Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung.....	9
Verifikation und Validierung (V&V) .....	10 - 11
Simulation und Analyse von Composites .....	12
Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis.....	13
<b>Deutschsprachige NAFEMS Konferenz 2016.....</b>	<b>14 - 19</b>

## Literatur

Invitation 2 Tender.....	20
e-library / Neue Literatur / Bestellvorgang .....	21
Internationale NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“ .....	22
<b>Professional Simulation Engineer PSE.....</b>	<b>23</b>
<b>NAFEMS Mitgliedschaft.....</b>	<b>24</b>
<b>Neuigkeiten .....</b>	<b>25 - 39</b>
Veranstaltungskalender.....	40 - 43

## Fachbeitrag zum Thema Strukturoptimierung

<b>Optimierung einer Positionier- und Haltevorrichtung nach Steifigkeits- und Gewichtsgesichtspunkten.....</b>	<b>44</b>
Thomas Most (Dynardo GmbH); Jochen Burkhardt, Christoph Birenbaum (Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung)	

## Fachbeitrag zum Thema Supraleitersimulation

<b>Simulation von unkonventionellen Supraleitern – Anwendung der Finite Elemente Methode .....</b>	<b>52</b>
Mojtaba Mashmool (Erwin Quarder Gruppe); Mahdi Mottahedi, Juan Santiago Lopez, Hans-Peter Roeser, Armin Lechler (Universität Stuttgart)	

## Fachbeitrag zum Thema Strukturdynamik

<b>FEM-Echtzeitsimulation für die Dynamik elastischer Körper .....</b>	<b>56</b>
Dragan Marinkovic, Manfred Zehn (TU Berlin)	

## Werbeanzeigen

Cadfer/esocaet .....	27
CD-adapco .....	29
DYNAmore .....	35
ISKO engineers .....	25
x-technik Verlag.....	31
Sicos BW .....	33

<b>Rückmeldeformular.....</b>	<b>67</b>
-------------------------------	-----------

## CAE-Schlungen 2016

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

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

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

**E-Learning Kursprogramm** kontinuierlich | s. Angaben  
[www.nafems.org/e-learning](http://www.nafems.org/e-learning)

## Konferenzen

### Deutschsprachige NAFEMS Regionalkonferenz

25. - 27. April, Bamberg

Nähere Informationen auf Seiten 14 - 15 sowie unter

[www.nafems.org/dach2016](http://www.nafems.org/dach2016)



**NAFEMS**  
GERMANY  
CONFERENCE  
**2016**  
April 25-27  
Bamberg

Informationen zu allen NAFEMS Veranstaltungen finden Sie unter [www.nafems.org/events](http://www.nafems.org/events)

## e-Learning Kurse

E-Learning ermöglicht schnelle, höchst effektive und kostengünstige Trainings.

Folgende Themen werden regelmäßig angeboten

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

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

## Werden Sie NAFEMS Trainer

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

Bei Interesse senden Sie bitte eine e-mail an [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de).

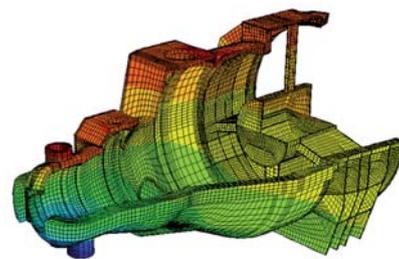


**Learn**



## NAFEMS Schulung

# Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation



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

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

### Inhalte

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

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

### Referent



*Prof. Dr.-Ing. Armin Huß verfügt über mehr als 30 Jahre Erfahrung auf dem Gebiet der Technischen Mechanik, Technischen Schwingungslehre und der Anwendung der Finiten Elemente Methode, davon über 20 Jahre Praxis-Erfahrung als freiberuflicher Ingenieur für die Anwendung der FEM in den unterschiedlichsten Bereichen der Technik. Seit Mitte 2009 ist er als Professor für Technische Mechanik, Schwingungslehre und Finite Elemente an der Frankfurt University of Applied Sciences tätig.*

### Kursprache

Deutsch

### Inhouse-Kurs

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

\* W = Wiesbaden / M = München

### Online-Anmeldung und weitere Informationen

Mai: [www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea2](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea2)

Oktober: [www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea3](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea3)

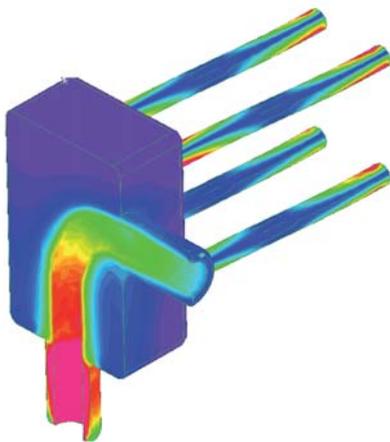
November: [www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea4](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea4)

## NAFEMS Schulung

# Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung

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

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



### Inhalte

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

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

### Kurssprache

Englisch / Deutsch, falls nur deutschsprachige Teilnehmer.

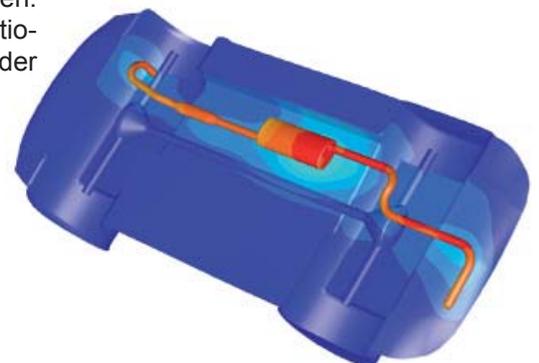
### Inhouse-Kurs

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

### Referent



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



### Online-Anmeldung und weitere Informationen

April: [www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course1](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course1)  
November: [www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course2](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course2)

## NAFEMS Schulung

# Verification & Validation of Models and Analyses

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

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

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

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

### The Course

#### Participants of this master class will:

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

### Who Should Attend?

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

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

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

### Program

#### Introduction

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

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

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

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

**V&V and Simulation Management**

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

**Realistic Simulation**

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

**V&V Fundamentals and Standards**

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

**Verification**

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

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

**Uncertainty Quantification**

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

**V&V Implementation Strategies**

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

**Course Language**

Englisch

\* W = Wiesbaden / M = München

**Tutors**



Jean-Francois Imbert

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



Philippe Pasquet

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

**Online-Anmeldung und weitere Informationen**

April: [www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv1](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv1)

Juni: [www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv2](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv2)

November: [www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv3](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv3)

## NAFEMS Schulung

# Simulation und Analyse von Composites

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

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

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

### Training

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

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

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

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

### Wer sollte teilnehmen

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

### Inhalte

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

### Referent



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

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

### Kurssprache

Deutsch

### Inhouse-Kurs

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

### Online-Anmeldung und weitere Informationen

April: [www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course1](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course1)

Oktober: [www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course2](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course2)

## NAFEMS Schulung

## Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis

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

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

### The objectives of this Finite Element course are:

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

### Who Should Attend

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

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

### Technical Content

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

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

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

### Tutor



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

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

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

### Course Language

English

### Inhouse-Kurs

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

\* W = Wiesbaden / M = München

### Online-Anmeldung und weitere Informationen

April: [www.nafems.org/events/nafems/2016/non-linear-1](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/non-linear-1)

Oktober: [www.nafems.org/events/nafems/2016/non-linear-2](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/non-linear-2)



### 3. NAFEMS DACH Regionalkonferenz: unabhängig – übergreifend – neutral

## Berechnung und Simulation: Anwendungen – Entwicklungen – Trends

25. - 27. April, Bamberg

Die 3. deutschsprachige NAFEMS Regionalkonferenz findet vom 25. – 27. April 2016 in Bamberg statt und bietet ein einzigartiges, unabhängiges, neutrales, übergreifendes und umfassendes Informationsangebot im Bereich der numerischen Simulationsmethoden.

- Plenarvorträge u. a. von: Adam Opel, Audi, Daimler, DLR, John Deere, Stadler Rail, Universität Erlangen-Nürnberg, ...
- +110 Fachvorträge aus Industrie, Forschung und Lehre
- Spezialforum: Additive Fertigung / 3D-Druck
- Workshops und Diskussionsrunden
- Umfangreiche Hard- und Softwareausstellung
- Schulungen
- Für Mitglieder (frei: vier seminar credits\*) und Nichtmitglieder

Nach den erfolgreichen deutschsprachigen NAFEMS CAE-Konferenzen 2012 und 2014, bei denen jeweils über 100 Fachpräsentationen zu den Themen FEM, CFD, MKS, SDM etc. vorgetragen wurden, lädt NAFEMS nun herzlich zur dritten regionalen Konferenz vom 25. - 27. April 2016 nach Bamberg ein.

Den Teilnehmern erwarten interessante Plenarvorträge namhafter Referenten etwa 110 Fachvorträge aus Industrie, Forschung und Hochschule, ein Spezialforum zum Thema Additive Fertigung / 3D-Druck, Workshops, Diskussionsrunden, Schulungen sowie eine umfangreiche Hard- und Softwareausstellung.

Mit dieser Fachkonferenz bietet NAFEMS eine Plattform, auf der neue Techniken und Tools präsentiert werden sollen und den Teilnehmern die Möglichkeit geboten wird, auf breiter Basis erfolgreiche Anwendungen und Trends mit Spezialisten aus Forschung und im besonderen Maße aus der Industrie zu diskutieren.

Die Teilnahme an der deutschsprachigen NAFEMS CAE-Konferenz 2016 ist gleichsam offen für NAFEMS Mitglieder und Nichtmitglieder, wobei NAFEMS Mitglieder im Rahmen ihrer Mitgliedschaft gegen vier sogenannter NAFEMS seminar credits kostenlos teilnehmen.

Wir freuen uns auf Ihre Teilnahme.

Ihr NAFEMS Lenkungsausschuss für Deutschland, Österreich, Schweiz

\* Freie Teilnahme für NAFEMS Mitglieder unter Verwendung von vier NAFEMS seminar credits .

### Wir uns über die Zusage folgender Plenarsprecher:

- **Adam Opel**  
T. Pohl, Manager CAE Strategies and Operations, GME Vehicle CAE
- **Audi**  
R. Borris, Leiter Simulation Motorraumdurchströmung / Aerodynamik
- **Daimler**  
E. Bauer, Berechnungsingenieur Karosserie und Gesamtfahrzeug
- **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)**  
Prof. M. Wiedemann, Leiter des Instituts für Faserverbundleichtbau und Adaptionik
- **John Deere**  
P. Pirro (ehem.)
- **Stadler Rail**  
S. Cochard, Leiter der Aerodynamikabteilung
- **Univ. Erlangen-Nürnberg**  
Prof. S. Wartzack, Leiter des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik

Nachfolgend finden Sie eine Liste der Fachbeiträge in weitgehend alphabetischer Reihenfolge.

Das ausführliche Konferenzprogramm wird voraussichtlich Ende Februar veröffentlicht.

- **Simulationsdatenmanagement als Enabler für die Einführung von Systems Engineering Prozessen**  
M. Krastel (:em engineering)
- **Optimierung einer hochbeanspruchten Tiefsee-Ölleitung**  
J. Iseler (Dassault Systèmes Simulia)
- **Messung und Simulation von Verschleiß in einem anwendungsnahe tribologischen Prüfstand**  
A. Fertschej, B. Hirschmann, P. Reithofer (4a engineering)
- **Materialcharakterisierung von faserverstärkten Kunststoffen in 4a impetus - Mikromechanische Ansätze als einfaches Hilfsmittel**  
P. Reithofer, A. Fertschej, M. Rollant, B. Jilka (4a engineering)

- **Reporting von FE-Ergebnissen im 3D-pdf Format**  
C. Schlegel (7tech)
- **Sensitivitäts- und Robustheitsanalyse in der Schalterentwicklung**  
T. Schindler, C. Simonidis (ABB Forschungszentrum)
- **Simulation von Schraubenverbindungen**  
D. Koch, Y. Öngün (Adam Opel)
- **Zusammenarbeit zwischen OEMs und Systemlieferanten im CAE-Prozess – Herausforderungen und Anforderungen**  
T. Pohl (Adam Opel)
- **Untersuchungen zur Topologieoptimierung von Frequenzproblemen**  
L. Harzheim (Adam Opel)
- **Gekoppelte Multi-Tool-Simulation von Vertikal-Rollenmühlen**  
A. Omer, M. Wenig (aixprocess)
- **Simulation von Schüttgutströmungen in Vertikal-mühlen**  
M. Hufschmidt (aixprocess)

Auch auf der diesjährigen Regionalen NAFEMS Konferenz wird das Thema „Additive Fertigung“, eine Rolle spielen. Zunehmend werden Anforderungen zu diesem Thema an Berechnungsingenieure gestellt, weshalb wir diesem Thema auch in Bamberg den erforderlichen Rahmen geben möchten. Möglichkeiten, wie Berechnungsingenieure von dieser Technologie profitieren können, sollen ebenso gezeigt werden, wie die Anforderungen, die für die Simulation daraus entstehen.

Das Forum wird folgende Themen beinhalten:

- > Optimierung des Fertigungsprozesses, um mögliche Einflüsse von Wärme, Verzerrung und Restspannungen zu mildern.
- > Vorhersagen, wie der Fertigungsprozess das Materialverhalten beeinflusst.

### Forum „Additive Fertigung“

- > Simulation des Fertigungsprozesses um zu bestimmen, welche Beschränkungen für Geometriefeatures festzulegen sind.
- > Die Nutzung additiver Fertigung für die Visualisierung von Berechnungsergebnissen.
- > Vorhersagen über Bauteileigenschaften in Abhängigkeit von Fertigungsverfahren und Fertigungsparametern.
- > Materialien in der additiven Fertigung und deren Eigenschaften.
- > .....

Das Forum soll einen Überblick über die Technologie in diesem Bereich vermitteln, Möglichkeiten, Risiken und Herausforderungen darstellen sowie die Möglichkeit bieten, sich über aktuellen Entwicklungen bei Systemherstellern und Anbietern zu informieren und sich auszutauschen.

Medienkooperation:



Kostenloser Download:  
[www.additive-fertigung.at](http://www.additive-fertigung.at)  
Mehr Informationen  
[www.x-technik.com](http://www.x-technik.com)

- **Design und Parameteridentifikation von detailgetreuen nichtlinearen Hydro- und Gummilagermodellen für Mehrkörpersimulationen**  
J. Mähler, U. Becker, J. Liu, M. Kruger (Altair)
- **Niederzyklische Ermüdungsanalyse am Beispiel einer Volumenausgleichsleitung (VAL) bei Schichtungsströmung**  
I. Cremer (Areva)
- **Simulation einer hydraulisch vorgespannten Schraubenverbindung**  
G. Rieder (Areva)
- **Modulare Simulationsmodelle für X-in-the-Loop-Prüfstände**  
C. Brückner, P. Weitzl (Audi)
- **Erfahrungen bei AUDI aus dem Einsatz von Open Source Software für die CFD-Anwendungen externe Aerodynamik, Motorraumdurchströmung und Klimatisierung**  
R. Borris (Audi)
- **Einsparungs- und Optimierungspotential durch Einsatz von Spritzguss-, Struktur- und Strömungssimulation eines Kunststoff-Lüfterrads im Radialgebläse**  
R. Habig (Autodesk)
- **A Holistic Approach for Complete CAE Modeling in the Automotive Industry**  
A. Kaloudis, A. Giannakoudakis (BETA CAE Systems)
- **Modellierung eines durchgängigen Prozesses zur virtuellen Absicherung von Produkteigenschaften**  
C. Forsteneichner (BMW)
- **Nichtlineare und FEM Modellbildung und Identifikation eines Schwingungstilgers für Automobilanwendungen**  
A. Sidorow (BorgWarner Turbo Systems Engineering)
- **Topologieoptimierungsgestützte additive Fertigung am Beispiel eines Sprungroboterbeins**  
M. Kellermeier (Cadfem)
- **Zuverlässigkeitsbetrachtungen bei elektronischen Leiterplattenkomponenten - Herausforderungen und Lösungen für die thermomechanische FEM-Simulation**  
T. Iberer (Cadfem)
- **Aktuelle Entwicklungen in der Mehrkörperdynamik**  
O. Siegemund (Cadfem)
- **Produktoptimierung durch Systemsimulation**  
H. Baumgartl (Cadfem)
- **Parameteridentifikation für Materialmodelle zur Simulation von Klebstoffverbindungen**  
N. Nagl (Cadfem)
- **Numerische Analyse des Vibrationverhaltens elektrischer Antriebe**  
M. Moosrainer, M. Hanke, D. Bachinski Pinhal (Cadfem)
- **Simulation Based Engineering Sciences: Simulieren studieren, und zwar berufsbegleitend**  
G. Müller, A. Vogel (Cadfem)
- **Kopplung von Spritzguss-simulation / Rheologieanalyse und Finite-Elemente-Optimierung zur numerischen Verzugs- und Festigkeitsoptimierung von faserverstärkten Kunststoff-Spritzgussbauteilen**  
A. Parvazi (CAE Engineering & Service)
- **FKM-Auslastungsgrade als Zielgrößen in Optimierungen**  
P. Spiekermann (CAE Engineering u. Services)
- **Postprozessing von Fluid- und Partikeldaten, Anwendungen in der Asphaltindustrie**  
A. Hobbs (Astec)
- **CloudSME - HPC- Cloud-Plattform für Simulationssoftware**  
S. Taylor, A. Anagnostou, T. Kiss, P. Kacsuk, N. Fantini, U. Heck (CloudSME)
- **Geometriebasierte Modellvarianten für Formoptimierung und CAD-Rückführung**  
W. Pohl (FCMS)
- **Schaum statt Honigwabe?**  
R. Cuntze (Consultant)
- **N. N.**  
F. Peeters (Consultant)
- **Elektromagnetische Feldsimulation im automotiven Umfeld**  
F. Weiand (CST – Computer Simulation Technology)
- **Verwendung von CFD Daten zur Berechnung des niederfrequenten Windgeräusches im Fahrzeuginnenraum**  
E. Bauer (Daimler)
- **Design-Innovation einer Kurbelwelle: Automatisierung der klassischen Kurbelwellengestaltung im Abnahmeprozess**  
F. Götz (Dassault Systèmes Deutschland)
- **Optimization of Helix Mixer Geometry**  
S. Morozov (Datadvance)
- **A First Full-Cloud Design Space Exploration Platform**  
S. Morozov, A. Prokhorov (Datadvance)
- **Neuentwicklungen im Bereich der diskreten Partikelsimulation zur verbesserten Darstellung von Festkörpern und reaktiven Prozessen und deren Kopplung mit Strömungen**  
A. Aigner, C. Goniva, C. Kloss (DCS Computing)
- **Partitionierte FSI-Kopplung**  
U. Heck, M. Becker, P. Daga (DHCAE Tools)
- **Die Bedeutung von Simulationsfehlern für den wissenschaftlichen Fortschritt**  
M. Wiedemann (DLR)
- **Implementierung eines robusten Strukturentwurfsprozesses im Rahmen multidisziplinärer Fragestellungen**  
A. Schuster, T. Führer, F. Heinecke, M. Geier, S. Freund, C. Willberg (DLR)
- **Übertragbarkeit der Kohäsivzonenmodellierung von Epoxidharz- auf Polyurethan-Klebstoffverbindungen**  
M. Brodbeck, S. Sikora (DLR)
- **Über die Parameterbestimmung bei der Diskreten-Elemente-Methode (DEM)**  
N. Karajan (DYNAmore)

- **Optimierung von Maschinenkomponenten unter Berücksichtigung von Fertigungsrandbedingungen**  
T. Most (Dynardo); J. Burkhardt, C. Birenbaum (Fraunhofer Institut)
- **Modelling Additive Manufacturing Processes**  
M. Megahed, N. N'Dri, H.-W. Mindt, O. Desmaison (ESI Group)
- **Virtual Prototyping Lösungen für Wassermanagement und Dichtungsdesign**  
M. Schäfer, A. Tramecon (ESI Software Germany)
- **Elasto-hydrodynamische Kolbenberechnung im Kontext der Entwicklung moderner Verbrennungsmotoren**  
R. Meske, C. Kleinlein, T. Lec-lair (Federal-Mogul Nürnberg)
- **Effiziente und genaue Berücksichtigung gefügter Flächen in der elastischen Mehrkörpersimulation auf Basis modaler Ableitungen**  
W. Witteveen, F. Pichler (FH Wels)
- **Parameteridentifikation zur Bedatung von Modellen und optimale Steuerung mit der adjungierten Methode**  
W. Steiner, S. Oberpellsteiner, T. Lauss, W. Witteveen (FH Wels)
- **Software-Applikation zur vollautomatischen Finite Elemente Berechnung von Frakturplatten**  
P. Leitner, M. Steinbatz (FH Wels)
- **Kopplung von CFD und Elastizitätslösern zur Simulation der strömungsinduzierten Verformung von Filtermedien**  
D. Iliev, O. Iliev, M. Kabel, R. Kirsch, S. Staub (Fraunhofer ITWM)
- **Strömungssimulation im Anwendungsbereich thermisches Spritzen**  
R. Wäger (Helbling Technik)
- **Virtuelle Lastenrekonstruktion zur Verifikation und Validierung zwischen Simulation und Versuch**  
S. Vervoort (Hottinger Baldwin Messtechnik)
- **Über das Materialverhalten eines Kartonballens**  
M. Ströhle (HSM)
- **Untersuchung von dynamischen Effekten an einer hydraulischen Drehkupplung für Radaranlagen**  
M. Egloff, Y. Deger (HSR Hochschule für Technik Rapperswil)
- **Plasmasimulationen in Überspannungseinrichtungen**  
M. Mürmann (HSR Hochschule für Technik Rapperswil)
- **Dynamische Mehrkörpersimulation eines passiv angetriebenen Entfaltungsmechanismus für Raumfahrtanwendungen**  
C. Holzapfel, P. Hahn (HTS (Hoch Technologie Systeme))
- **N. N.**  
Jean-Pierre Mouton (Institut für Holztechnologie Dresden)
- **Einfluss von Parametervariationen auf das Beulen von versteiften Laminatstrukturen**  
N. Wagner, R. Helfrich (Intes)
- **Freiform-Optimierung eines Getriebegehäuses zur Spannungs- und Gewichtsreduktion**  
R. Helfrich, A. Schünemann (Intes)
- **Topologie-Optimierung von Bauteilen unter harmonischen Lasten**  
N. Wagner, R. Helfrich (Intes)
- **Schraubenlösen unter wechselnden Lasten**  
N. Wagner, R. Helfrich (Intes)
- **Mid-to-High Frequency Modelling of Vehicle Noise and Vibration**  
G. Mitrou (inuTech)
- **Weiterentwicklung einer effizienten Methode zur Gestaltoptimierung von komplexen Strömungs-Kanälen – Jetzt mit mehreren Eingängen und mehreren Ausgängen**  
I. Nitsopoulos (ISKO engineers)
- **Organisation der Simulation im Entwicklungsprozess**  
P. Pirro (ehem. John Deere)
- **Iterative Kopplung von Fließsimulation und Topologieoptimierung für langfaserverstärkte Polymere**  
M. Spadinger, A. Albers (Karlsruher Institute für Technology, IPEK)
- **Wissensbasierte Software- und Datenintegration mit der Computer Aided Engineering Modeling Language**  
S. Suwelack, S. Speidel, R. Dillmann (Karlsruher Institute); M. Stoll, R. Bendl (Deutsche Krebsforschung)
- **Die nächste Generation von Engineering Analysis Software: Modellierung von Simulationsprozessen**  
A. Svobodnik, D. Thöres (Konzept X)
- **Simulationsgetriebene Entwicklung einer werkstoffhybriden Motorrad Heckstruktur unter Einbeziehung wirtschaftlicher Aspekte**  
M. Perterer, R. Stadlbauer, D. Tasch (KTM Technologies)
- **Simulation von Leichtbaustrukturen gefertigt mit additiven Fertigungsverfahren**  
C. Rossmann, T. Craeghs (Materialise)
- **CFD Simulation von Wärmeaustauschern mit porösen Medien als Stellvertretermaterial**  
M. Grützmaker, B. Marovic (Mentor Graphics Deutschland)
- **CFD-Simulation der Ölverteilung in einem 7 Gang Doppelkupplungsgetriebe**  
O. Herz (Merkle & Partner)
- **Optimierung des Anpressdruckes für KT-Pressen**  
M. Brehm (Merkle & Partner)
- **Methode zur automatisierten Parameteridentifikation für die Modellierung von Elastomer- und Hydrolagern**  
M. Gerlach (Mesh Engineering)
- **Implementierung und Validierung von Vertaugungssystemen zur Simulation von Offshore-Strukturen in OpenFOAM**  
T. Grahs (move-csc)
- **The SimBest Project**  
T. Morris (NAFEMS)
- **Gewichtsreduzierungspotential von thermoplastischen unidirektional verstärkten Faserverbundwerkstoffen in einer Fahrzeugtür**  
H. van Aken (nCode Product Solutions)

- **Echtzeitfähige Simulation von Kabelbewegungen in der Röntgentechnologie – ein innovatives Entwicklungswerkzeug in der Medizintechnik**  
F. Magerl (OTH Amberg-Weiden)
- **Simulation der Störgeräuschneigung von Fahrzeugtüren bei Musikanregung**  
C. Triebel, M. Luegmair, G. Skouvaklis ( P + Z Engineering); J. Bienert (TH Ingolstadt)
- **xMCF zur Dokumentation von Fügeinformationen im PLM**  
C. Franke (Prostep); G. Zhang (Volkswagen); M. Weinert (Ford)
- **Anwendungsmöglichkeiten von STEP für CAE und SDM**  
J. Boy (ProSTEP iViP)
- **Virtuelles Fluidmanagement – Anwendung der Lagrange-Methode in einer innovativen Simulationsumgebung zur Lösung von Problemstellungen im Automotive-Bereich**  
D. Redi, S. Diebald (qpunkt)
- **Elasto-viskoplastisches Schädigungsmodell für thermoplastische Matrixmaterialien zur Multiskalenmodellierung von Organoblechen**  
D. Naake (Robert Bosch)
- **Validierung Finite-Elemente-Berechnung des Rad-Schiene-Normalkontakts mit probabilistischen Simulationen**  
F. Dörner, C. Schindler (RWTH Aachen)
- **Thermisch gekoppelte Analysen mit komplexen Materialmodellen**  
M. Achenbach (Sachverständigenbüro Achenbach)
- **Workbench for Evaluation, Comparison and Validation of CAT and CAE Result Data**  
M. Liebscher, R. Hausdorf, G. Geissler (Scale)
- **Einfacher Zugang zu HPC – ein Widerspruch?**  
A. Wierse (Sicos)
- **Simulation des Entfluchtungsverhaltens in der Planungsphase von Gebäuden mit Hilfe der automatisierten Prozessintegration und Designoptimierung**  
H. Meyer, M. Paffrath, W. Klein (Siemens); S. Kleiner (:em engineering)
- **Modellierung und Anwendung von CAE Prozessvorlagen in einer PLM Umgebung**  
B. Lauber (Siemens PLM Software); D. Schneider (dynardo)
- **Accurate Prediction of Wind Noise in a Simplified Car Compartment**  
n.n. (Siemens PLM Software)
- **Einsatz von Finite-Elemente-Simulationen bei Entwicklung und Design elektroakustischer Wandler**  
M. Meiler, H. Landes (Simetris)
- **Anwendungsmöglichkeiten der additiven Fertigung - Entwicklung eines Radträgers aus dem Rennsportbereich**  
M. Schürg (Sogeti Deutschland)
- **Train Aerodynamics - An Overview of the CFD Simulations Performed in Railway Applications**  
S. Cochard (Stadler Rail)
- **Lebensdauerabschätzung von Komponenten im Antriebsstrang unter hochdynamischer Belastung**  
C. Hollmann (Zahnradfabrik Friederichshafen); J. Häckh, G. Willmerding (Steinbeis Transferzentrum)
- **3D Druck: Produktionsgerechte Konstruktion und optimale Fertigungsumsetzung von Kunststoffbauteilen**  
M. Knaak (Stratasys); K. Führer (DLR)
- **Praktischer Einsatz der Finite-Elemente-Simulation in der Entwicklung von Composite Bauteilen**  
E. Preis, S. Khoshbuie (EDAG Engineering); A. Böttcher, S. Czichon (ELAN-AUSY); R. Paßmann (SynOpt)
- **Gekoppelte elektromagnetische Feldsimulation mit FEM und BEM**  
L. Kielhorn, T. Rüberg, J. Zechner (TailSit)
- **Systematische Unterstützung des Simulationsprozesses zur Analyse dynamischer Systeme am Beispiel von Fahrleistungs- und Verbrauchsuntersuchungen**  
C. Hepperle, C. Gnant (Tesis Dynaware)
- **Echtzeitsimulation biologischer und technischer Strukturen unter gebräuchlichen Hardwarevoraussetzungen - alleinstehend oder als Subsystem in MKS-Modellen**  
M. Zehn, D. Marinkovic (TU Berlin)
- **Reinigung in der Lebensmittelindustrie: CFD-gestützte Auslegung automatisierter Systeme**  
M. Joppa, F. Rüdiger, J. Fröhlich (TU Dresden)
- **Der Einsatz von Gehäusestrukturierungen zur Erweiterung des Betriebsbereichs und zur Steigerung des Wirkungsgrades transsonischer Axialverdichter**  
A. Inzenhofer (TU München)
- **Entwicklung eines evolutionären Algorithmus zur Mehrziel-Topologieoptimierung**  
A. Inzenhofer (TU München)
- **Anwendung von Anforderungsschablonen im Simulationsdatenmanagement**  
H. d'Albert, S. Schweigert, U. Lindemann (TU München)
- **Verifizierung von Modellierungsannahmen für die Struktursimulation beim Laserstrahlschmelzen**  
C. Zeller (iwb Anwenderzentrum Augsburg, TU München)
- **Weiterentwicklung und Einsatz eines Verfahrens zur Topologieoptimierung zur Effizienzsteigerung in der Konzeptphase**  
M. Frisch, K. Deese, A. Dörnhöfer, F. Rieg (Universität Bayreuth)
- **Materialwissen und wissensbasierte Simulation für die Produktentwicklung von morgen**  
S. Wartzack (Universität Erlangen-Nürnberg)

- **Submodellansatz zur effizienten Analyse des Anlageverhaltens von Manschetendichtungen aus PTFE-Compound mit Rückförderstrukturen**  
N. Dakov, F. Bauer, W. Haas (Universität Stuttgart)
- **Numerische Untersuchung der Aeroakustik von rotierenden Ventilatoren in Klimaanlage durch die Anwendung eines hybriden CFD - CAA Ansatzes**  
A. Reppenhagen (Kompetenzzentrum - Das virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft mbH, AT); A. Hüppe, M. Kaltenbacher (TU Wien)
- **FEM-Berechnung der Spannungsintensitätsfaktoren von im Druckeigen Spannungsfeld stehender Risskonturen im Vergleich zu fraktographischen Befunden**  
S. Rogowski, H. Hartung (Volkswagen); R. Thumser (MAN Diesel & Turbo)
- **Methodik zum systematischen Simulationsabgleich von Karosseriestrukturen unter Crashbelastungen**  
P. Wellkamp (Volkswagen), M. Meywerk (Helmut-Schmidt-Universität Hamburg)
- **Wavelet-Analyse der kombinierten Simulation (MKS mit flexiblen Körpern) einer Lokomotive**  
E. Feldbausch, H. Friedmann, P. Krämer, A. Seidel (Wölfel Engineering)
- **Komfortuntersuchungen an einem Modelica Coarse Grid CFD Raummodell und verschiedenen Klimatisierungs- und Kühlsystemmodellen**  
S. Wischhusen, T. Tumforde, J. Brunnemann (XRG Simulation)

**Sponsoren**

Principal



Platin



— Mechanical Analysis

Gold



Silber



**Organisatorisches**

Termin

25. April: früher Nachmittag  
26.+27. April: ganztägig

Veranstaltungsort / Hotel

Welcome Kongresshotel Bamberg  
Mußstrasse 7, D-96047 Bamberg

Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder: 720 Euro  
Mitglieder: frei - 4 credits\*  
Proceedings, Mittagessen und Pausengetränke sind in den Teilnahmegebühren enthalten.

\* Mitgliedsgebühren für Unternehmen/Institute

Eine Standard NAFEMS site membership kostet 1.095 Euro pro Jahr. Eine Academic site membership kostet 675 Euro pro Jahr. NAFEMS Mitglieder erhalten sechs seminar credits (1 credit entspricht 1/2 Seminar-/Konferenztag) pro Jahr. Für diese Veranstaltung werden vier credits je Teilnehmer benötigt. Sie können als Mitglied also 1,5 Personen zur Veranstaltung senden – es rechnet sich schnell, Mitglied zu werden. Sollten die seminar credits bereits verwendet worden sein, können NAFEMS Mitglieder zu einem reduzierten Preis teilnehmen: Euro 490,— / Person

Ausstellung und Sponsoring

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

Tagungssprache

Deutsch (Vorträge in Einzelfällen auch in Englisch)

Konferenzorganisation

NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH  
Osterham 23, D-83233 Bernau  
Tel. +49 80 51 - 96 59 3 49,  
Fax +49 80 51 - 96 74 3 37  
e-mail: info@nafems.de

Online-Anmeldung und weitere Informationen:

[www.nafems.org/dach2016](http://www.nafems.org/dach2016)

# invitation<sup>2</sup>TENDER



NAFEMS currently has several open invitations to tender, which can be viewed at [nafems.org/publications/tender](http://nafems.org/publications/tender)

## How To Model Crack Propagation using Finite Elements

### Readership

This book should be aimed at a graduate-level industrial user who is familiar with basic linear FE analysis, but is inexperienced in advanced FE simulations. The book should assume little or no knowledge of fracture mechanics theory or FE modelling of cracks.

### Content

The following topics are expected to be included:

#### Fracture mechanics: Theoretical background

(basic introduction to LEFM, stress intensity factors, J-Integral, etc.)

#### Crack propagation theory

(Crack initiation, criteria for direction of crack growth, fatigue crack growth, etc.)

#### Modelling crack propagation using FEA

(crack-tip elements, XFEM and other methods)

#### Benchmarks on FE simulation of crack propagation

(Benchmarks may include 2D and 3D crack growth, automatic re-meshing for modelling crack growth, plasticity around crack tip, multiple cracks, etc.)

### References

Applicants are advised to study existing NAFEMS publications in this field before submitting a bid. The following NAFEMS publications are relevant in this field:

2D Test Cases in Linear Elastic Fracture Mechanics  
 Three Dimensional Test Cases in Linear Elastic Fracture Mechanics  
 2D Test Cases in Post Yield Fracture Mechanics  
 How To Undertake Fracture Mechanics Analysis with Finite Elements

### Proposals

Potential authors should submit the following:

- A brief description of the main topics to be covered
- Chapter and section headings with an approximate number of pages per chapter
- Timescale for completing the book
- Cost
- CVs of the authors (Maximum two-pages per author)

## A Layperson's Guide to Finite Element Analysis

### Readership

Aimed at non-specialists with some basic technical and mathematics understanding, e.g. managers, school teachers, "A" level students in the sciences, first year undergraduate students in the sciences.

### Content

- Outline of process;
- Basic maths of continuum;
- Computing process;
- Material assumptions;
- Some history;
- Elements and nodes;
- Boundary conditions;
- Verification

### References

The following NAFEMS publications are relevant in this field:

Finite Element Analysis for Engineers – A Primer;  
 A Designer's guide to Simulation with Finite Element Analysis;  
 Knowledge Base – Don't Forget the Basics;  
 How to Model with Finite Elements.

### Proposals

**What is FEA?** general description; Why bother? uses and abuses, design, optimisation;

**Examples:** continuum analysis problems, stresses, strain, heat transfer, fluids, electro-magnetism etc.

**Elements:** concept of finite elements, regions, discretization, as opposed to real discrete elements;

**Mathematical descriptors:** linear, parabolic, cubic, approximation of known simple function example;

**Computing process:** outline of assembly, solution techniques, etc.;

**Boundary conditions:** importance, contact, compare and contrast stress and thermal analyses; symmetry & anti-symmetry;

**Materials properties:** assumptions, testing; Comparison with analytical models: simple models comparisons;

**Validation and verifications:** importance, checking all assumptions, comparisons with reality;

**Introduction to more difficult issues,** contact and friction, composite materials, fracture mechanics, acoustics, vibration;

10 to 15 sections with 2 pages each

**Deadline for proposals March 31<sup>st</sup> 2016**

for full details visit [nafems.org/publications/tender](http://nafems.org/publications/tender)



## NAFEMS reference library at the click of a button



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

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

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

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

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

### Find out about subscription today

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

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

### Neue NAFEMS Publikationen

**NAFEMS hat kürzlich u.g. Publikationen veröffentlicht und den Mitgliedern automatisch zugesendet. Alle Publikationen sind für Nichtmitgliedern erwerbbar. Ein Liste der Publikationen finden Sie unter:**

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

### NWC15 Congress Review

This publication covers some of the wealth of material produced at the recent NAFEMS World Congress in San Diego, giving expert opinion on the sessions, themes and content available at the event.

### How to Model Structural Concrete using Finite Element Analysis

This book is aimed primarily at engineers and analysts with some experience of concrete who are new, or nearly new to non-linear analysis. The focus is on practical aspects of modelling including hints and tips which the author has found useful in tackling concrete simulation. Topics include an introductory discussion of material behaviour and non-linearity in reinforced concrete before moving on to finite element modelling.

### Tutorials for the Simulation of Forging Processes

This publication is a collection of tutorials or training materials which describe how to address different problems or issues in cold and hot forging process design when using numerical simulation software. The forging issues were selected according to the results of a European survey of companies, research institutes and universities involved in forging technologies. These tutorials were developed during the European project FEM FORGING, which was funded with support from the European Commission.

### NAFEMS QSS:2008

NAFEMS QSS:2008 is a quality system supplement (QSS) to ISO 9001:2008 in the particular context of engineering simulation. ISO9001 and NAFEMS QSS together contain the basic requirements that engineering simulation organizations need to meet if they wish to demonstrate that they operate a quality management system and are able to consistently generate technically valid results. NAFEMS QSS can be used by internal and external parties, including certification bodies, to assess the organization's ability to meet customer, regulatory and its own requirements.

### NAFEMS Publikationen auch über NAFEMS GmbH bestellen

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

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

Internationales NAFEMS Magazin

**Benchmark Magazin, Ausgabe Januar 2016**

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

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

# BENCH MARK

January 2016 issue ...

Benchmark Challenge 3 - The Solution

Computational Fluid Dynamics for HVAC Applications

Reflections on 15 Years of SPDM Success

An Error in Timoshenko's 'Theory of Plates and Shells'

NAFEMS the early days

Icons of CFD - Professor Brian Launder

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





Professional Simulation Engineer



A New Standard for  
Simulation Engineers



## 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.

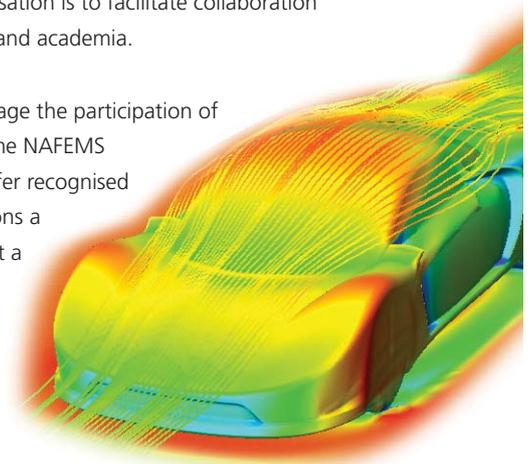
### Academic membership

*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)



**ALTAIR ENGINEERING**

**Startschuss für den 2016  
Altair Enlighten Award**

Altair hat bekannt gegeben, dass ab sofort Nominierungen für den vierten, jährlichen Altair Enlighten Award eingereicht werden können. Im Award Programm 2016 gibt es neue Kategorien, so dass die Kandidaten ihre Erfolge beim Leichtbau in zwei unterschiedlichen Kategorien nominieren können: im Bereich kompletter Fahrzeuge und bei Fahrzeugmodulen. Diese Änderung soll es ermöglichen, sowohl die Fahrzeughersteller als auch einzelne Zulieferer, welche die Hersteller bei der Umsetzung von immer anspruchsvolleren Gewichtszielen unterstützen, in vollem Umfang und gebührend zur Geltung kommen zu lassen.

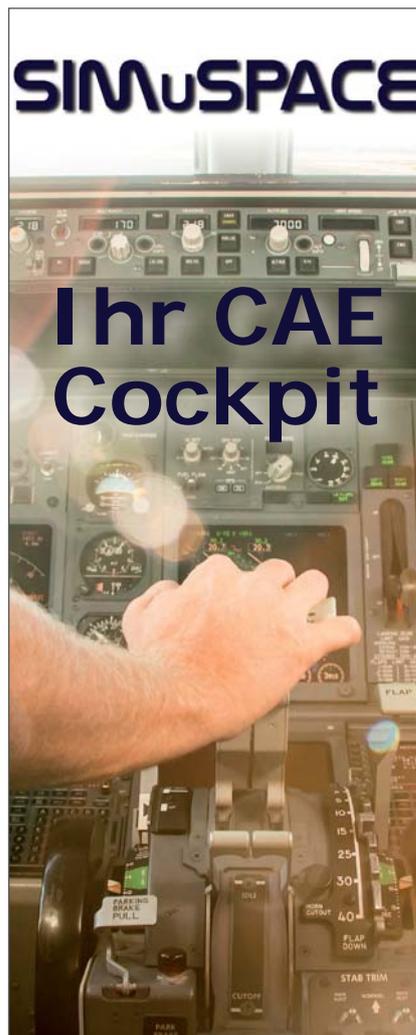
Mit dem 2016 Altair Enlighten Award (#AltairEnlighten) werden herausragende Leistungen im automobilen Leichtbau, von Motorrädern bis hin zu PKWs und kommerziellen Fahrzeugen wie Transporter, LKWs und Bussen, ausgezeichnet. Auch im vierten Jahr seines Bestehens wird der Award gemeinsam mit dem Center for Automotive Research (CAR) vergeben. Die Preisverleihung findet während des jährlichen CAR Management Briefing Seminars in Traverse City, Mich., vom 1.-4. August 2016 statt.

„Nach drei Jahren hat sich der Enlighten Award über sein ursprüngliches Format der Einzelauszeichnung hinaus entwickelt“, erläutert Richard Yen, Vice President, Automotive bei Altair. „Die Entscheidung, eine zweite Kategorie für Auszeichnungen einzuführen, war ein naheliegender und logischer Schritt. Die Zulieferer tragen in erheblichem Umfang zu den automobilen Leichtbaubestrebungen bei. Wir freuen uns daher, Zulieferern von Fahrzeugmodulen und -systemen ihre eigene, individuelle Kategorie anbieten zu können und sie einzuladen, am Programm teilzunehmen und damit die Anerkennung zu erfahren, die ihnen zusteht.“

Der Enlighten Award gibt den teilnehmenden Unternehmen aus den Bereichen automobile Entwicklung

und Fertigung die Möglichkeit, als führende Organisationen in der Entwicklung von Leichtbaulösungen anerkannt zu werden. Der Award 2015 wurde von der Ford Motor Company für die Verwendung zahlreicher Leichtbauwerkstoffe zur Gewichtsminimierung beim Modell 2015 Ford F-150 gewonnen. Die Ingenieure von Ford verfolgten einen ganzheitlichen Ansatz zur Gewichtsreduzierung, indem sie bei der gesamten Entwicklung des Fahrzeuges moderne Werkstoffe zum Einsatz brachten, darunter in den Bereichen Rahmen, Chassis, Antriebsstrang, Batterie und Fahrgastraumkomponenten wie die Sitze. Neben dem Hauptpreis wurden in 2015 auch die Gewinner des zweiten und dritten Platzes benannt. Den zweiten Platz belegte General Motors für die Entwicklung und den Einsatz innovativer Computer-Aided Engineering (CAE) Methoden, mit denen bei der Alpha Architektur des 2012er Cadillac ATS/CTS eine Gewichtsreduzierung von 163 Pfund (74 kg) erzielt werden konnte. Der dritte Platz ging an Faurecia gemeinsam mit Automotive Performance Materials (APM). Die NAFILean (Natural Fibers for Lean Injection Design) Lösung ermöglichte ein nachhaltiges Design bei Instrumentenanzeigen, Mittelkonsolen und Türverkleidungen des 2013er Peugeot 308. Die Nutzung natürlicher, hanfbasierender Fasern im Verbund mit Polypropylen ermöglichte komplexe Formen und Architekturen und führte zu einer Gewichtsersparnis von 20-25 Prozent.

„In den letzten Jahren haben uns Dutzende großartiger Nominierungen gezeigt, dass Fahrzeughersteller und Zulieferer gleichermaßen entschlossen sind, die Herausforderungen der kontinuierlichen Gewichtsreduzierung zu meistern. Da mit der näher rückenden Halbzeitüberprüfung 2016-2018 der Druck auf die Branche immer stärker wird, erwarten wir signifikante Innovationen, die im diesjährigen Wettbewerb vorgestellt werden“, sagte Dr. Jay Baron, President & CEO beim Center for Automotive Research. „Wir freuen uns auf die Nominierungen für 2016, die sicher wieder spannende neue Ansätze für



Die schlanke  
SDM-Lösung  
für den Mittelstand

Wir maximieren Ihre Effizienz:

- Bedarfsanalyse
- Konzeption
- Implementierung
- Training
- Support

Professional CAE Solutions  
powered by



die Design und Entwicklung in der Automobilbranche hervorbringen und zur weiteren Reduzierung von Gewicht, Treibstoffverbrauch und Emissionen bei leichten Nutzfahrzeugen beitragen werden.“

Hersteller und Zulieferer, die eine Nominierung einreichen wollen, können sich auf der Altair Enlighten Webseite über den Nominierungsprozess informieren. Um den Austausch der Innovationen zu ermöglichen und gleichzeitig die Geschäfts- und Geheimhaltungsrichtlinien der Unternehmen einzuhalten, müssen alle eingereichten Beiträge in Fahrzeugen realisiert worden sein, die zwischen August 2013 und August 2016 produziert wurden. Es werden keine geografischen Beschränkungen gemacht.

Bewerbungen für den Altair Enlighten Award 2016 müssen vor dem 20. Mai 2016 eingereicht werden. Die Gewinner werden im August 2016 bekannt gegeben. Die Jury besteht aus Industrie- und Forschungsexperten sowie aus Vertretern von Altair und CAR.

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

## ANSYS

### Ansys 17.0 – Die nächste Generation der führenden technischen Simulationslösung

Ansyes stellte die neue Version Ansys 17.0 vor. „Von den bedeutenden Verbesserungen bei der Produktentwicklung mit der neuen Softwareversion Ansys 17.0 profitieren technische Anwender aller Fachrichtungen – von Strukturen über Fluide und elektromagnetische Felder bis hin zu Systemen“, erläutert Dr.-Ing. Georg Scheuerer, Geschäftsführer von Ansys Germany. „Diese neue Generation der branchenführenden technischen Simulationslösungen von Ansys setzt Maßstäbe für die nächsten Quantensprünge in der Produktentwicklung, indem sie beispiellose Weiterentwicklungen für zahlreiche industrielle Anwendungen bietet – von smarten Geräten über selbstfahrende Fahrzeuge bis hin zu energieeffizienteren Maschinen. Die jetzt verfügbare Version mit dem bisher höchsten Funktionsum-

fang in der 45-jährigen Unternehmensgeschichte liefert 10-fache Verbesserungen bei der Produktivität der Produktentwicklung ebenso wie bei den gewonnenen Erkenntnissen und bei der Performance.“

Die Highlights der neuen Version sind:

\* 10-fache Verbesserung der Produktivität: Ansys 17.0 liefert Lösungen schneller, so dass Ingenieure und Entwickler besser informierte Entscheidungen frühzeitiger im Produktentwicklungszyklus treffen können.

\* Durch die engere Integration von Halbleiter- und Elektronik-Simulationslösungen bietet Ansys 17.0 einen umfassenden ‚Chip-Package-System‘ Design-Workflow: Neue Features für automatisierte thermische Analysen und integrierte Strukturanalyse bilden eine einmalige Chip- und System-bezogene Simulationslösung, mit der die Anwender kleinere Schaltungen mit höherer Leistungsdichte schneller zur Marktreife bringen können.

\* Simulationslösung für Fluide: Hier stellt Ansys seinen technologischen Vorsprung mit zukunftsweisenden Verbesserungen bei der Modellierung physikalischer Größen unter Beweis und erreicht durch eine neue, innovative Gestaltung des gesamten Workflows und der Benutzeroberfläche um bis zu 85 Prozent schneller vorliegende Resultate ohne jeden Kompromiss bei der Genauigkeit.

\* Preprocessing: Der Aufwand zur Erstellung eines Simulationsmodells wurde bei Ansys 17.0 um eine Größenordnung verringert. So können Anwender mittels Directmodelling in Ansys 17.0 ihre Geometrien schneller als mit herkömmlichen CAD-Werkzeugen für die Analyse vorbereiten. Auch die Speicher- und Ladezeiten für komplexe Modelle sowie die Performance für gebräuchliche Geometrie-Bearbeitungsfunktionen wurden um bis zu Faktor 100 verbessert. Das Verfahren für Vorbereitung und Meshing von Modellen mit mehreren hundert Teilen ist von Tagen auf Stunden verkürzt worden.

\* 10-fache Verbesserungen für tieferegehende Erkenntnisse in das Produktverhalten unter realen Be-

dingungen: Für noch realitätsgetreuere Simulationen und bessere Nachverarbeitung.

\* Mit zunehmender Komplexität der Produkte stellt die Möglichkeit zur Simulation kompletter Systeme für die Hersteller einen wichtigen Vorteil dar: Mit Hilfe einer einzigen Simulationsplattform können die Ingenieure in Ansys 17.0 nicht nur physikalische Modelle simulieren, sondern auch Modelle für Embedded-Systeme und Embedded-Software untersuchen. Dies ermöglicht das virtuelle Simulieren, Testen und Prototyping von Systemen und reduziert den Zeit- und Kostenaufwand für die Produktentwicklung. In der neuen Version führt Ansys zudem die native Unterstützung der Industriestandard-Modellierungssprache Modelica ein, was neben einer reichhaltigen Modellbibliothek für die Leistungselektronik auch den Zugriff auf viele hundert zusätzliche Bauteilmodelle für Mechanik und Fluidtechnik ermöglicht.

\* Ansys 17.0 bringt erhebliche Erweiterungen der Simulationsfunktionen für Turbomaschinen über ein breites Anwendungsspektrum: Zur Erzielung hochgenauer Ergebnisse über einen größeren Bereich von Betriebsbedingungen und mit kürzeren Umlaufzeiten.

\* 10-fache Verbesserungen der Performance: Ansys 17.0 bietet Leistungsverbesserungen für alle seine Produktlinien, insbesondere im Bereich High-Performance Computing (HPC). Ansys 17.0 führt die modernsten HPC-Löser-Architekturen mit den neuesten Prozessortechnologien ein.

„Die Simulation gilt als einer der wesentlichen Stützpfiler der nächsten industriellen Revolution – auch unter der Bezeichnung Industrie 4.0 bekannt. Mit der Einführung des Internets der Dinge werden alle Produkte immer intelligenter, neu entwickelte Werkstoffe ermöglichen leichtere, stabilere und nachhaltigere Designs, und die additive Fertigung erlaubt den 3D-Druck aller möglichen Objekte“, unterstreicht Dr.-Ing. Georg Scheuerer. „Die Möglichkeiten dieser Trends optimal zu nutzen erfordert die Fähigkeit von Simulationstools, alle diese stark

verbesserten Optionen virtuell zu untersuchen, um die erfolgreichen Designs von morgen zu erschaffen. Ansys 17.0 ist dafür die optimale Software-Lösung.“

### Ansys SpaceClaim 2016 – Neue Maßstäbe für die technische Simulation

Ansys, weltweit führender Anbieter von CAE- und Multiphysik-Software mit den Schwerpunkten Strömungs- (CFD), Strukturmechanik- (FEM) und Elektromagnetiksimulation (EDA), präsentiert mit der neuen Version Ansys SpaceClaim 2016 ein Produkt, das Maßstäbe für die technische Simulation in seinem Markt setzt. Denn Ansys hatte von Anfang an den Schwerpunkt darauf gelegt, für die Kunden eine Lösung zu realisieren, mit der sie Geometrien in einer offenen Plattform-Umgebung nach Bedarf in kürzester Zeit erstellen, bearbeiten oder reparieren können. „Für die neue Version konzentrierten wir uns darauf, Herausforderungen beim Arbeiten mit komplexen Geometrien zu lösen. Hierzu entwickelten wir neue Tools wie Shrinkwrap und Skin Surface, um den Zeitaufwand beim Reverse Engineering von Bauteilen und beim Vorbereiten von Modellen für den 3D-Druck zu verringern“, unterstreicht Regina Hoffmann, Marketingleiterin von Ansys Germany. „Zusammengefasst bietet Ansys SpaceClaim 2016 den Anwendern höhere Geschwindigkeit, Effizienz und Zuverlässigkeit. Sowie revolutionäre Workflows, verkürzte Produktentwicklungszeiten und einzigartige Möglichkeiten.“

Die neue Version von SpaceClaim bietet gegenüber den Vorversionen insbesondere beim Erstellen oder Bearbeiten von Geometrien, dem Bereinigen von Geometrien aus anderen Modellersystemen oder dem Reverse Engineering erhebliche Verbesserungen. Dadurch können mit SpaceClaim 2016 beispiellose Ergebnisse wie eine 10 Mal schnellere 3D-Modellierung als mit anderen am Markt verfügbaren Produkten erzielt werden. Die Startzeit wurde um den Faktor zwei bis vier verbessert. Das Speichern und Laden großer Modelle erfolgt

esocaet  
STUDIES



**Upgrade your work,  
upgrade your life.**

### Berufsbegleitendes Studium der Simulation Based Engineering Sciences

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

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



[www.esocaet.com/studies](http://www.esocaet.com/studies) + + + + + by **CADFEM**

100 Mal schneller als zuvor, weitere Tools (z.B. Impring) arbeiten jetzt sogar 200 Mal schneller. Signifikante Verbesserungen wurden zudem für eine Vielzahl von Anwendern – vom Maschinenbediener bis hin zum Simulationsexperten – umgesetzt. Gerade Nutzer, die bisher mit anderen Anwendungen gearbeitet haben, werden vom neuartigen Ansatz für Designgeometrien beeindruckt sein. „Ansys SpaceClaim 2016 revolutioniert die Produktentwicklung, da es die Anwender in die Lage versetzt, 3D-Modelle im gesamten Produktentwicklungszyklus schnell und einfach zu bearbeiten. Der spezielle Ansatz von SpaceClaim gewährleistet hervorragenden Bedienkomfort und bietet den Anwendern extreme Produktivität innerhalb des Produkt-Workflows“, fasst Regina Hoffmann zusammen. „Schließlich setzen immer mehr Unternehmen bei jedem Aspekt der Produktentwicklung auf eine schnelle Digitalisierung. In diesem Zuge spielt die Möglichkeit zur einfachen Bearbeitung von Produktgeometrien eine wichtige Rolle für den Design- und den Fertigungsprozess.“

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

## ARAS SOFTWARE

### Neue PLM-basierte Anwendung für Technische Dokumentationen

Aras gab die Veröffentlichung der Anwendung Aras Technical Documentation bekannt. Die neue Lösung ist ein Durchbruch für die Erstellung, Visualisierung, und Veröffentlichung einer breiten Palette von regulatorischen und technischen sowie Produkt- und Sicherheitspublikationen. Durch die direkte Verwendung von PLM-gesteuerten Daten ermöglicht die Lösung eine schnellere Produktion von akkuraten und aktuellen technischen Publikationen wie Katalogen, Wartungsanleitungen, regulatorischen Dokumenten und Schulungshandbüchern.

Sehen Sie die Demo an und erfahren Sie mehr über Aras Technical Documentation unter <http://aras.com/plm/003076>

Basierend auf der Aras Innovator-Plattform, verwendet Aras Technical Documentation einen neuen Ansatz, um die Erstellung und Aktualisierung von technischen Publikationen zu vereinfachen. Während des Erstellungsprozesses verwendet die Lösung direkt Inhalte aus dem PLM-System, wodurch zeitaufwändiges Neuschreiben wegfällt und Fehlermöglichkeiten eliminiert werden. Neue Revisionen von Dokumenten und Änderungsanträge lösen automatisch Updates aus, die zur Verbesserung der Richtigkeit der Inhalte führt.

Die webbasierte Lösung wurde in Zusammenarbeit mit Orio AB (vormals Saab Original Parts AB) entwickelt. Sie ermöglicht es, dass viele Publikationen dieselben Quellinformationen in einer modularen Art und Weise teilen, was doppelte Datenhaltung vermeidet. Das Zusammenführen von Dokumenten wird mit Hilfe von Vorlagen verwaltet, wodurch Publikationen regulatorischen Anforderungen, Industriestandards und Unternehmens-Formatierung entsprechen.

„Unternehmen erstellen oft Produktkataloge, indem Sie Daten aus mehreren getrennten Systemen zusammenführen. Dies ist ein langsamer Prozess und beinhaltet viele Möglichkeiten, bei denen sich Fehler einschleichen können“, sagt Thomas Kjellberg, Chief Technology Officer bei Orio. „Die Lösung ermöglicht eine einzige PLM-basierte Veröffentlichungsumgebung für Engineering und technische Dokumente für mehrsprachige, Multi-Programm, Multi-Applikations- und Multi-Marken-Anforderungen. Das bedeutet, dass wir in der Lage sind, Handbücher und Kataloge schneller zu produzieren. Gleichzeitig können wir gewährleisten, dass Produktdokumentationen bereits freigegebene und richtige Produktdaten einbetten.“

Hauptmerkmale

- Technische Dokumente werden aus den neuesten, genehmigten Informationen zusammengeführt. Dies passiert durch Verweis auf revisions-kontrollierte Daten im PLM
- Änderungen lösen Updates für

zugehörige technische Inhalte aus, wodurch alle Dokumente die neuesten Informationen verwenden

- Inhalts-Vorlagen sorgen für Konsistenz und setzen Standards in Regulierungs- und Sicherheitsunterlagen durch

- Modulare Inhalte können leicht in mehreren Dokumenten gemeinsam genutzt werden, wodurch doppelte Datensätze vermieden werden, Effizienz verbessert und Kosten gesenkt werden

- Der Web-Browser-Editor macht die Anwendung einfach zu bedienen und unterstützt die Veröffentlichung in XML, HTML und PDF

„Die Erstellung von technischen Dokumenten findet zu oft isoliert von der Produktentwicklung statt. Dies kann zu erheblichen Nacharbeiten führen, wenn falsche Produktinformationen verwendet werden, späte ECOs auftreten oder wenn Veränderungen nach der Markteinführung stattfinden“, sagt Jean-Christophe Bertrand, PIM/PDM Projektleiter bei Mersen. „Aras Technical Documentation mit seinen integrierten und automatisierten Dokumentationswerkzeugen, komplementiert mit Funktionen zur Indexierung und Verknüpfung, ermöglicht es uns, Kataloge für unsere Vertriebs- und OEM-Kanäle zu erstellen, zu drucken und zu veröffentlichen. Wir wissen, dass sie korrekt und auf dem neuesten Stand sind.“

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

## AUTOFORM ENGINEERING

### AutoForm Hydro 2016 – Rückfederungskompensation bei IHU-Prozessen

Die AutoForm Engineering GmbH, global führend bei Softwarelösungen für die Blechumformung, präsentiert ihre neuste Software AutoForm Hydro 2016. Diese Version von AutoForm Hydro bietet viele signifikante Verbesserungen, zu denen eine Reihe von neuen, einzigartigen Funktionen zur Rückfederungskompensation gehört. Auf der Grundlage von genauen Simulationsergebnissen zur Rückfederung ermöglicht AutoForm Hydro 2016

STAR Global Conference 2016 PRAGUE

07. - 09. MÄRZ 2016 | HILTON PRAG  
FÜHRENDE CAE-SIMULATIONS-KONFERENZ  
#SGC16

DISCOVER BETTER DESIGNS. FASTER.

info@cd-adapco.com  
cd-adapco.com

JETZT REGISTRIEREN  
UND VON  
FRÜHBUCHEROPTIONEN  
PROFITIEREN

CD-adapco

die effiziente Kompensation der Rückfederung nach Biege- und IHU-Operationen.

AutoForm Hydro ist AutoForm's hochmoderne Lösung für die schnelle Werkzeugentwicklung von IHU-Prozessen sowie deren Simulation. Die neueste Softwareversion, AutoForm Hydro 2016, bietet neue Funktionalitäten und signifikante Verbesserungen. Die wichtigste davon ist die Rückfederungskompensation von Biege- und IHU-Operationen.

Die Biegekompensation erfolgt durch die Erzeugung einer neuen Biegelinie, die unter Verwendung des gleichen Rückfederungswerts in umgekehrter Richtung und durch die Kompensation von Prozessparametern berechnet wird. Die Werkzeuggeometrien bleiben dabei unverändert. Die Kompensation des Hydroforming berücksichtigt die Rückfederung nach der IHU-Operation sowie alle Rückfederungseffekte wie Verschieben, Verdrehen und Überbiegen. Die automatische Aktualisierung der Werkzeuggeometrien führt zu kompensierten Werkzeugen, die einfach zu exportieren sind. Durch das Identifizieren und Analysieren der Hauptursache der Rückfederung sind die Softwareanwender in der Lage, die effektivste Kompensationsstrategie für das jeweilige Projekt zu definieren.

Zusätzlich zu dieser neuen und einzigartigen Funktionalität für das Hydroforming bietet AutoForm Hydro 2016 auch Verbesserungen bei der Prozessbeschreibung und Werkzeugentwicklung. Dazu gehören kraftgesteuerte Axialwerkzeuge für Biege- und IHU-Operationen, die geeignete Positionierung vor der Biegeoperation, die Erzeugung von Verrundungsradien für obere

und untere Werkzeuge sowie das volumengesteuerte Hydroforming. Das umfassende und tiefgehende Verständnis für den gesamten IHU-Prozess sowie dessen Absicherung führt zu kürzeren Entwicklungszeiten und reduzierten Werkzeug-, Material- und Produktionskosten.

Dr. Markus Thomma, Corporate Marketing Director von AutoForm Engineering, erläutert: „Mit AutoForm Hydro 2016 erreichen unsere Kunden einen neuen Grad an Wettbewerbsfähigkeit beim Innenhochdruckumformen. Aktuell ist es die einzige Software am Markt, die die Rückfederungskompensation des Innenhochdruckumformens erlaubt. Indem Abschätzungen bezüglich der Produktherstellbarkeit, Berechnungen zur Rückfederung und deren Kompensation bereits zum Zeitpunkt der Methodenplanung verfügbar sind, reduziert sich das zusätzliche teure Redesign während der CAD-Phase. Daraus resultiert eine signifikante Zeitersparnis bei der Werkzeugherstellung und dem Tryout. Mit AutoForm Hydro 2016 sind Bauteilentwickler, Methodenplaner und Werkzeugbauer bestens gerüstet, um den steigenden Anforderungen bezüglich Bauteilkomplexität, den immer höheren Qualitätsansprüchen, dem Einsatz neuer Materialien, den kürzeren Markteinführungszeiten und dem gesteigerten Kostendruck zu begegnen.“

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

## BETA CAE

### Neue Releases verfügbar

Beta CAE gab die Veröffentlichung der Releases SPDRM v1.1.3 und der BetaCAE Software Suite 16.0.2 bekannt.

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

## CADFEM

- siehe Ansys -

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

## CD-ADAPCO

### Siemens übernimmt Anbieter von Simulationssoftware CD-adapco

– siehe auch Siemens PLM –  
Siemens und CD-adapco haben eine Vereinbarung für die Übernahme der Anteile von CD-adapco durch Siemens geschlossen. Der Kaufpreis beträgt 970 Millionen US-Dollar. CD-adapco ist ein globales Unternehmen für Simulationssoftware mit Lösungen, die ein weites Spektrum an Engineering Disziplinen abdecken. Dies beinhaltet Fluid Dynamics (CFD), Solid Mechanics (CSM), Wärmeübertragung, Partikeldynamik, Stoffdurchsätze, Elektrochemie, Akustik sowie Rheologie. Im vergangenen Geschäftsjahr hatte CD-adapco über 900 Mitarbeiter und einen Umsatz von nahezu 200 Millionen US-Dollar mit für die Softwarebranche üblichen zweistelligen Margen. In den vergangenen drei Geschäftsjahren steigerte CD-adapco seinen Umsatz im Durchschnitt bei konstanten Wechselkursen um jährlich mehr als 12 Prozent. Für die Zukunft erwartet Siemens für

das Geschäft ein weiterhin kräftiges Wachstum.

„Als Teil der Vision 2020 treibt Siemens mit der Übernahme von CD-adapco das Wachstum im digitalen Geschäft voran und erweitert das Portfolio im Bereich der Industriesoftware. Simulationssoftware ist entscheidend, um bessere Produkte schneller und kostengünstiger auf den Markt zu bringen. Mit CD-adapco kaufen wir einen etablierten Technologieführer, mit dem wir unser Weltklasse- Industriesoftware-Portfolio ergänzen und unsere Strategie zum Ausbau unseres digitalen Unternehmensportfolios weiter umsetzen“, sagte Klaus Helmrich, Mitglied des Vorstands von Siemens.

CD-adapco ist ein globales Unternehmen für Simulationssoftware mit einer einzigartigen Vision für Multidisciplinary Design eXploration (MDX). Diese Simulationssoftware ermöglicht einen besonders zuverlässigen Informationsfluss im Designprozess. Das treibt Innovationen und reduziert Produktionskosten. Simulations Tools von CD-adapco, besonders das Produkt Star-CCM+ ermöglicht Ingenieuren bessere Designs schneller zu entwickeln. CD-adapco hat derzeit weltweit über 3.200 Kunden. Die Software wird aktuell von 14 der 15 größten Automobilhersteller, den Top 10 Zulieferern der Luft- und Raumfahrtindustrie sowie von neun der zehn größten Hersteller im Energie- und Marinebereich genutzt.

„Ich freue mich für die Mitarbeiter und Kunden von CD-adapco. Die Chancen, die sich durch die Übernahme von Siemens ergeben, werden unendlich sein. Die Vision unserer Gründer wird durch die Integration dieser Weltklasse-Technologien für Engineering und Produktion realisiert. Dazu gehört auch eine Geschäftsstrategie, die den Einsatz von Simulationssoftware für mehr Produkte und Unternehmen als jemals zuvor ermöglicht“, sagte CD-adapco CEO Sharron MacDonald. CD-adapco hat seinen Hauptsitz in Melville, New York, USA, und verfügt weltweit über 40 Standorte. Siemens erwartet im fünften Jahr nach Abschluss der Transaktion Synergieeffekte in Höhe eines zweistelligen

Millionenbetrages auf das Ergebnis vor Zinsen und Steuern (EBIT), die sich im Wesentlichen aus Umsatzsynergien ergeben. Der Abschluss der Transaktion ist abhängig von den üblichen Genehmigungen und wird in der zweiten Hälfte des Geschäftsjahres 2016 erwartet.

Das Unternehmen wird in das PLM-Softwaregeschäft der Siemens-Division Digital Factory (DF) integriert. DF ist der Marktführer bei der Automatisierungstechnik und ein führender Anbieter bei Product Lifecycle Management (PLM) Software. „Durch die Ergänzung unseres Portfolios mit erweiterten Simulations-Tools, wie CFD und der Integration von erfahrenen Experten auf diesem Gebiet bauen wir unsere Kernkompetenz in der modellbasierten Simulation, die einen sehr genauen digitalen Zwilling eines Produkts erstellt, erheblich aus“, sagte Anton Huber, CEO der Division Digital Factory.

Die Division Digital Factory bündelt alle Geschäfte speziell für die diskreten Fertigungsindustrien – wie etwa Automobil- und Flugzeugbau, Maschinenbau und Elektronik. Das Portfolio umfasst leistungsstarke, durchgängig integrierte Soft- und Hardwaretechnologien, um eine nahtlose datentechnische Verbindung zwischen Entwicklung, Produktion und Lieferanten zu realisieren. Siemens ist derzeit das einzige Unternehmen, dessen Technologien die virtuelle Welt der Produktentwicklung und die reale Welt der Fertigung umfassend verzahnen. Neue Produkte können am Computer entworfen, getestet und optimiert werden, während parallel bereits die passende Fertigung geplant und realisiert wird. Kunden profitieren dadurch von einer höheren Effizienz und Flexibilität sowie einer kürzeren Zeit bis zur Marktreife eines Produkts.

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

## CPU 24/7

### CPU 24/7 reagiert auf steigenden Bedarf an CAE as a Service-Lösungen

CPU 24/7 sieht Handlungsbedarf am eigenen Service- und Angebotssportfolio. Antje Müller, Managerin Marketing & Sales bei CPU 24/7, über die Umstrukturierungen: „Unsere Lösungen, Services und unsere Expertise im Bereich CAE und HPC sind nicht nur auf den deutschen Markt begrenzt.

Seit längerem verzeichnen wir auch verstärkt Anfragen und Projektumsetzungen aus der ganzen Welt. Zum einen sinken die Berührungsängste, was das Thema Cloud angeht. Zum anderen wird die von uns bereitgestellte Rechenleistung über das Internet genutzt und kann somit grundsätzlich weltweit von Kunden verwendet werden. Immer mehr internationale Kunden benötigen dedizierte Remote-Rechenpower für die Entwicklung ihrer Produkte und möchten diese nur für einen definierten Zeitraum projektweise mieten und nicht dauerhaft und kostenintensiv selbst aufbauen und hosten. Gerade weil wir ein deutsches Unternehmen mit in Deutschland ansässigen Rechenzentren sind, wird das auch im internationalen Wettbewerb ein Vorteil sein. Deshalb wollen wir unsere Aktivitäten und Angebote in den nächsten zwei Jahren weiter ausdehnen und entsprechend anpassen.“

Mit den Maßnahmen will CPU 24/7 die weltweite Zielgruppe der CAE-Ingenieure direkter ansprechen und noch umfassender über Chancen und Möglichkeiten der Cloud-basierten Produktentwicklung informieren. Antje Müller: „Unsere Spezialisierung auf die Bereitstellung von On-Demand-Rechenleistung im Bereich der industriellen Forschung und Entwicklung ist das eine. Eine große Chance für uns ist andererseits die zunehmende Diversität unserer Kunden und ihrer Projekte. Dies machte weitere Produktanpassungen an möglichst alle auftretenden Kundenbedürfnisse – von den Applikationen der KMU bis hin zu den Sicherheitsanforderungen weltweit operierender Industrieun-

ternehmen – notwendig. Wir wollen damit Lösungen anbieten, die auf der einen Seite sicher, performant und individuell sind, aber auch die nötige Transparenz und Flexibilität mitbringen.“

Ab sofort gibt es drei klar abgegrenzte CAE as a Service-Lösungen, die von CPU 24/7 auf der neuen englischsprachigen Webseite angeboten werden:

CAE Express bietet projektbasierte Standard-HPC-Server und Netzwerk-Konfigurationen mit der jeweiligen vorinstallierten CAE-Anwendung. Diese Lösung mit einem standardisierten Workflow stößt insbesondere bei KMU-Kunden zur Durchführung kleinerer Projekte auf große Akzeptanz. Bei einem kurzfristigen Bedarf an Rechenleistung wird CAE Express-Kunden schnell und unkompliziert über eine Online-Buchung ein physisches und gebrauchsfertiges HPC-System bereitgestellt – und das für einen klar definierten Projektzeitraum. Der

Zugriff erfolgt i.d.R. über sichere Remote-Desktop-Lösungen mit und ohne 3D-Beschleunigung.

CAE Enterprise bietet höchst individuelle HPC-Cluster-Lösungen. Sie werden kundenspezifisch entworfen, betrieben und ausschließlich durch den Kunden genutzt. Die HPC-Server sind an spezielle Anwendungsfälle und/oder Anforderungen in Bezug auf Hardware, Netzwerk, Simulationen, Sicherheit oder Software / Lizenzen ausgerichtet. CAE Enterprise ist ein Service, offen für jede Form und Größe von Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Instituten. Enterprise-Kunden können häufig durch Einsatz moderner Hardware und dynamischer Lizenzmodelle Projektkosten optimieren. CAE Virtual Operators ist eine komplette ready-to-use HPC-Cluster-Lösung, angepasst an die Bedürfnisse nationaler und internationaler Engineering-Dienstleister und Consulting-Unternehmen im B2B-Segment. Internationalen Ingenieurdienstleis-

tern im CAE-Bereich soll so eine hochdynamische und angepasste Plattform bereitgestellt werden – Engineering-Kompetenz mit der notwendigen HPC-Hardware.

[www.cpu-24-7.com](http://www.cpu-24-7.com)

### DHCAE TOOLS

DHCAE Tools ist Teil des cloudSME Projektes „Simulation for Manufacturing and Engineering“, welches von der Europäischen Kommission gefördert wird. DHCAE Tools Anwendungsfall „Gestaltung und Optimierung von Modellhubschraubern mit Hilfe von HPC-basierter CFD-Lösertechnologie“ wurde zum Experiment des Monats gekürt. DHCAE Tools stellt in dem Projekt den Zugang zu Open Source-Technologie in einer Hochleistungs-Rechenumgebung zur Verfügung, um die Nutzung von HPC-Ressourcen für kleine und mittelständische Un-



Alle x-technik  
Fachmagazine und  
Ausgaben in einer App

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



Jetzt downloaden auf  
[www.x-technik.com/app](http://www.x-technik.com/app) oder QR-Code scannen



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

**x-technik** | x-technik IT & Medien GmbH, Schöneringer Straße 48, A-4073 Wilhering,  
Tel. +43 7226-20569, Fax +43 7226-20569-20, [magazin@x-technik.com](mailto:magazin@x-technik.com), [www.x-technik.com](http://www.x-technik.com)

ternehmen (SMEs) zu vereinfachen und hochentwickelte und CPU-intensive Analysen ohne Beschaffung und Wartung firmeneigener Systeme durchzuführen.

Durch die Kombination von professionellen Modellierungsmethoden und Open Source-Lösertechnologie hat DHCAE Tools Werkzeuge geschaffen, die sich durch effizientes und anwenderfreundliches Case-Setup auszeichnen, und die gleichzeitig Kostenvorteile durch die lizenzfreie Lösertechnologie bieten. Mit der Erweiterung von DHCAE Tools eigenem, GUI-basierten Case-Setup, der Vernetzung und des Lösungs-Monitorings für die Cloud wird Unternehmen eine komfortable und einfache Simulationsumgebung für Strömungs- und Strukturanalysen bereitgestellt.

Unternehmen können jederzeit flexibel entscheiden, ob sie entweder kleinere Berechnungen lokal auf einem Rechner oder größere Berechnungen in der Cloud durchführen. Auch bei temporärem Bedarf an CFD/FEA-Simulationen oder bei Auftragsspitzen bietet sich ein Cloud-basierter Workflow „on-demand“ an. Dabei können Unternehmen mit DHCAE Tools Software ihre kompletten Abläufe für Simulationsanwendungen in ihrer bekannten Windows-Umgebung belassen und bei Bedarf auf externe, leistungsstarke Cloud-basierte Linux-Hochleistungssysteme zugreifen.

[www.dhcae-tools.de](http://www.dhcae-tools.de)

## ESI

### Neue Version der Virtual Performance Solution 2015

Die ESI Group gab die Veröffentlichung der neuesten Version seiner Flaggschiff-Software Virtual Performance Solution (VPS) bekannt. VPS 2015 bietet technologisch führenden Unternehmen neue Anwendungen für die Simulation von Flüssigkeitsströmungen, eine verbesserte Leistung für die gesamte NVH- Simulationskette sowie eine höhere CAE-Prozesseffizienz für das virtuelle Testen. Unter Verwendung eines einzigen Single-

Core-Modells für Simulationen über mehrere Bereiche hinweg können Ingenieur-Teams aus verschiedenen Abteilungen und geografischen Standorten effizient beim Aufbau eines vollständig virtuellen Prototyps zusammenarbeiten. Dieser virtuelle Prototyp wird verwendet, um das zukünftige Verhalten industrieller Bauteile oder Produkte in allen Einsatzbereichen unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen vorherzusagen. Virtual Performance Solution wird von den meisten Automobilherstellern und deren Zulieferern eingesetzt und unterstützt außerdem Unternehmen in den Bereichen Luft- und Raumfahrt, Energie, Schwermaschinenbau, Elektronik und Konsumgüter.

Herr Eisei Higuchi, Chef Engineer, Honda R&D Co. Ltd, erklärt: „Honda R&D nutzt ESIs Virtual Performance Solution seit über 20 Jahren. Heute nutzen wir die Möglichkeiten des Single-Core- Modells der Virtual Performance Solution bei der Definition eines Gesamtfahrzeugmodells und setzen die Software effizient für die Entwicklung unserer neuesten Fahrzeug-Plattform ein. Die durchgängige Verkettung der Ergebnisse aus der virtuellen Herstellung und virtuellen Leistungsbewertung – nicht nur für den Crash- und Sicherheitsbereich, sondern auch für NVH und Lebensdaueruntersuchungen – ist ein klarer technologischer Durchbruch. Virtual Performance Solution ermöglicht uns, das für den Leichtbau erforderliche Maß an Produktleistung und -verhalten zu gewährleisten und sich den Herausforderungen durch sich kontinuierlich weiterentwickelnde Vorschriften zu stellen“. Bezüglich der neuesten Funktionen bei der Virtual Performance Solution ergänzt Herr Higuchi: „Wir freuen un, auf die Anwendung von ESIs erweiterten Water Management- Lösungen und darauf, von den neuesten Verbesserungen der Virtual Performance Solution, insbesondere hinsichtlich NVH, zu profitieren.“

ESIs Virtual Performance Solution 2015 bietet neue Funktionalitäten, mit denen bei einer gleichzeitigen Effizienzverbesserung der CAE-Prozesse (Computer-Aided En-

gineering), die Möglichkeiten des virtuellen Testens über mehrere Domänen ausgebaut werden. Zum Beispiel ermöglicht die verbesserte HPC-Effizienz (High Performance Computing) über die gesamte NVH-Prozesskette (Noise, Vibration, Harshness) Anwendern, größere NVH-Modelle noch detaillierter zu untersuchen, einschließlich der kompletten Fahrzeuginnenausstattung.

Außerdem bietet ESI Virtual Performance Solution 2015 zusätzliche Funktionen hinsichtlich einer modularen Eingabe, um CAE-Teams zu ermöglichen, Modelle flexibler zu organisieren. Durch die erhöhte Modell-Granularität wird die modulare Eingabefunktion besser an praktizierte End-to-End Virtual Prototyping-Prozesse angepasst, indem Ingenieure Modelle entlang der Produktentwicklungsphase kontinuierlich verfeinern können.

Verbesserungen bei der Verkettung der Ergebnisse aus Fertigungssimulationen mit Leistungstests versetzen Industrieunternehmen darüber hinaus in die Lage, den Einfluss von Fertigungseffekten auf das Produktverhalten bereits in frühen Entwicklungsphasen vorherzusagen. Dank des neuen Water Management-Moduls können Automobilhersteller jetzt detailliert vorhersagen, wie Spritz- oder Regenwasser an verschiedenen Fahrzeugteilen abläuft. Virtual Performance Solution ermöglicht das virtuelle Testen von Wasserströmungen an Dichtungen, Verschlüssen und der Fahrzeugkarosserie, um die Entwicklung von Dichtungen zu verbessern und damit das Eindringen von Wasser zu vermeiden. Durch die Kopplung dieser neuen Funktion mit der Crash- Simulation können Automobilhersteller auch Effekte des Tankschwappens vorhersagen.

Für weitere Informationen über ESI Virtual Performance Solution besuchen Sie [www.esi-group.com/VPS](http://www.esi-group.com/VPS) Registrieren Sie sich für ESIs Kundenportal myESI und Sie erhalten kontinuierlich aktuelle

Produktinformationen, Tipps & Tricks. Schauen Sie sich unseren Online-Schulungskatalog an und erhalten Sie Zugang auf ausgewählte

Software-Downloads: <https://myesi.esi-group.com>

**Kooperation von ESI und JMDA, um Virtual Prototyping von Kindersitzen zu ermöglichen**

Die ESI Group gab die Unterzeichnung einer strategischen Partnerschaft mit JMDA bekannt, einem global agierenden Spezialisten für die Gestaltung und Entwicklung von Kindersitzen. Durch die Unterzeichnung dieser Vereinbarung bündeln JMDA und ESI ihre Kräfte, um so Herstellern von Kindersitzen zu ermöglichen, neue Ebenen des technischen Verständnisses und der Entwicklungsstärke zu erreichen. Der Hauptvorteil in der Kombination von Kindersitzentwicklung und Virtual Prototyping durch Einsatz von ESIs Virtual Seat Solution liegt im virtuellen Testen eines vorgeschlagenen Entwurfs, um Informationen über das zu erwartende Produktverhalten und die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften zu gewinnen, bevor hohe

Investitionen getätigt werden. Der Sitz und sein Rückhaltesystem können schon früh in der Entwicklungsphase optimiert werden, wodurch ein besseres Produktverhalten erreicht wird, bei gleichzeitiger Kostenreduktion für Produktentwicklung und -herstellung. Hersteller können mit Hilfe der Virtual Seat Solution virtuelle Vorzertifizierungen vornehmen und somit den Produkt-Zertifizierungsprozess bei gleichzeitiger Senkung der F&E-Kosten beschleunigen.

**ESI's neue Europäische HPC-Zentrale profitiert von Legrands neuesten Rechenzentrum-Infrastrukturen**

Die ESI Group gab die Eröffnung der neuen Europäischen HPC-Zentrale bekannt. Das Rechenzentrum ist auf dem Teratec Campus angesiedelt und ein idealer Standort für kollaborative HPC-Projekte (High-Performance Computing), da es in unmittelbarer Nähe zu Europas größtem HPC-Zentrum liegt: CEAs

“Très Grand Centre de Calcul”. Das neue Rechenzentrum wird als ESIs PoD (Point of Delivery) allen Europäischen ESI- Büros als Plattform für ESIs neue Softwareentwicklungen und Engineering- Dienstleistungen dienen. Um die technischen Herausforderungen rund um dieses Projekt zu bewältigen, arbeitet ESI eng mit Legrand zusammen, einem global agierenden Spezialisten für elektrische und digitale Gebäudeinfrastrukturen. Seit Jahren bietet Legrand integrierte Lösungen für Beleuchtung, Energie, Netzwerktechnik und das Zugangsmanagement in Gebäuden. Mit über 36.000 Mitarbeitern ist die Gruppe in mehr als 80 Ländern präsent und verfolgt die Mission, elektrische und digitale Systeme zu entwerfen, zu entwickeln und zu vermarkten, die einfach und innovativ zugleich sind. Seit 2009 hat Legrand – speziell durch die Akquisition des im Bereich modularer Wechselrichter führenden Unternehmens S2S

Einladung zur Informationsveranstaltung

**Virtuelle Produktentwicklung**  
Chance oder Notwendigkeit für den Mittelstand?

- 13:30 Uhr Registrierung und Come Together
- 14:00 Uhr **Begrüßung und Einführung**  
Markus Götz, IHK Region Stuttgart; Dr. Andreas Wierse, SICOS BW GmbH
- 14:30 Uhr **Überblick: Organisation der Simulation im Entwicklungsprozess**  
Dr. Peter Pirro, ehemals John Deere GmbH & Co. KG
- 15:00 Uhr **Erfahrungsbericht: Produktentwicklung mit Kalkül – früher an später denken**  
Christian Simader, Putzmeister Holding GmbH
- 15:20 Uhr Pause
- 16:00 Uhr **Betriebswirtschaftliche Perspektive: Wirtschaftliche Betrachtung zum Einsatz von CAE in der Produktentwicklung für Elektrowerkzeuge**  
Andreas Syma, Stanley Black & Decker GmbH
- 16:30 Uhr **Erfolgsgeschichte: Berechnung bei Stahl - gestern und heute**  
Andreas Klimmek, Stahl AG & Co. KG
- 17:00 Uhr **Diskussionsrunde: Expertengespräche auf der Bühne**  
Dr. Andreas Wierse, SICOS BW GmbH
- 17:30 Uhr **Get Together: Meet the Experts – Ihre Fragen im persönlichen Gespräch**

**Veranstaltungsinformationen**

Datum  
Donnerstag, 7. April 2016

Uhrzeit  
13:30 Uhr bis 18:00 Uhr

Teilnahmeentgelt  
90 Euro (inkl. Verpflegungspauschale)

Ort  
IHK Region Stuttgart  
Jägerstraße 30  
70174 Stuttgart  
Telefon 0711 2005-0  
Telefax 0711 2005-1354

Anmeldeschluss  
30. März 2016

Anmeldung unter  
[www.stuttgart.ihk.de/veranstaltungen](http://www.stuttgart.ihk.de/veranstaltungen)

Veranstaltungs-Nr.  
17584823

Eine Informationsveranstaltung  
der IHK Region Stuttgart

Mit freundlicher Unterstützung



– seine Aktivitäten auf dem Sektor der unterbrechungsfreien Stromversorgungen (UPS) intensiviert, wie sie für effizient im HPC-Bereich arbeitende Rechenzentren erforderlich sind.

Für den Aufbau seines neuen Rechenzentrums bei Teratec arbeitete ESI mit Legrand Datacenter Solutions zusammen, wo man auf passende Lösungen für die zahlreichen Herausforderungen in Verbindung mit Supercomputing spezialisiert ist: von der Energieeffizienz bis zur Kühlung, Sicherheit und Skalierbarkeit. ESI kooperierte außerdem mit Minkels und deren Partner Cap Ingelec. Minkels gehört zur Legrand Gruppe und ist spezialisiert auf Hardware für Rechenzentren, einschließlich Gehäusen, UPS sowie Lösungen für Kühlung, Überwachung und Stromversorgung.

#### **Mit ESI Cloud ist CAE ab sofort auf Abruf verfügbar**

Die ESI Group gab die Markteinführung von ESI Cloud bekannt: eine zuverlässige, skalierbare, mandantenfähige und sichere SaaS-Plattform, die entwickelt wurde, um in der Cloud anspruchsvolle technische Simulationen über unterschiedliche physikalische Aufgabenstellungen und technische Disziplinen zu ermöglichen. Bequem und mit höchsten Sicherheitsstandards ermöglicht ESI Cloud den unmittelbaren Zugriff auf ausgewählte ESI CAE-Lösungen. Von überall und zu jeder Zeit bietet ESI Cloud „elastische“ Ressourcen, die sich wechselnden Simulationsbedürfnissen anpassen – von der gelegentlichen Anwendung bis hin zum Abfangen von Auslastungsspitzen. ESI Cloud ist die einzige CAE-Cloud-Plattform auf dem Markt, die parallele Arbeitsabläufe, Vorlagen und Beispielprojekte bietet, damit auch neue Anwender schnell produktiv tätig sein können. Indem die Betriebskosten und die Notwendigkeit für interne Expertise stark reduziert werden, stellt ESIs neues Portal einen bedeutenden Schritt zur Demokratisierung von Virtual Prototyping dar. Die ersten Lösungen, die von ESI angeboten werden, sind eine End-to-End CFD-Lösung, welche die effektive Anwen-

dung der Open-Source-Software OpenFOAM erlaubt sowie die Anwendung von ESI Virtual Performance Solution mit kunden- oder serverbasierter Visualisierung.

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

#### **FCMS**

##### **FCMS und Tecosim vertiefen ihre Kooperation im Bereich virtuelle Fahrzeugauslegung**

Die Fast Concept Modelling & Simulation (FCMS) GmbH und der CAE-Spezialist Tecosim intensivieren ihre Zusammenarbeit. Beide Partner bündeln ihre Expertise in einer neuen Prozesslösung für die Mobilitätsindustrie. Sie beschleunigt die Design-Festlegung in der frühen Konzeptphase und unterstützt so eine schnellere virtuelle Fahrzeugentwicklung.

Immer mehr Fahrzeugtypen werden in immer kürzeren Innovationszyklen auf den Markt gebracht. Dies erfordert in der frühen Entwicklungsphase eine möglichst schnelle Absicherung der Fahrzeugkonzepte hinsichtlich Kundenanforderungen, Funktion, Herstellbarkeit und Konformität mit den gesetzlichen Auflagen. Hier setzt das gemeinsame Angebot von FCMS und Tecosim an: TEC|Concept ist eine neuartige Methode zur Analyse und Neuberechnung von kompletten Fahrzeug- oder einzelnen Modulentwürfen, die den virtuellen Entwicklungsprozess deutlich beschleunigt.

Mit TEC|Concept lassen sich komplexe und vielfältige Anforderungen, etwa Qualität, Gewicht, Steifigkeit oder Crash-Verhalten, in der Entwicklung frühzeitig unter einen Hut bringen. Zudem können bei der virtuellen Neuberechnung mögliche Auswirkungen einzelner Prozess-themen, z. B. Lackierbarkeit, Tiefziehen, Gießen oder die Kostenentwicklung, mit einfließen. Für die disziplinübergreifende Abstimmung zwischen Simulation und Konstruktion wird dabei die auf CATIA-CAA basierende Software Fast Concept Modelling (FCM) eingesetzt.

Die FCM Toolsuite unterstützt eine schnelle, einfache Erstellung von

Geometriemodellen sowie den automatischen Export von FE-Modellen für Crash, NVH- und statische Analysen. Durch die Nutzung eines parametrischen CAD-Modells können in kurzer Zeit sehr viele mögliche Designs automatisch kreiert werden. „Wo früher fünf bis sechs Optimierungsgeometrien berechnet wurden, ermöglicht TEC|Concept nun über 100 neue Konzeptlösungen“, erläutert Tecosim-Vorstand Udo Jankowski die Vorteile. Für Fahrzeughersteller und ihre Systemlieferanten bedeutet dies nicht nur Zeit- und Kosteneinsparungen, sondern auch einen Produktvorsprung gegenüber dem Wettbewerb.

TEC|Concept ist ein weiterer Meilenstein in der Kooperation beider Unternehmen. Bisher haben FCMS und Tecosim unter anderem das Elektrofahrzeug StreetScooter mitentwickelt, das mittlerweile zum Fuhrpark der Deutschen Post zählt, und bei MAN Bus & Truck in einem Verbundprojekt zur Robust Design Optimierung zusammengearbeitet. In Japan agiert der international gefragte CAE-Spezialist als Reseller für die Contact-Tochter und setzt die FCM Toolsuite bei mehreren Automobilherstellern ein. „Gemeinsam können wir der Mobilitätsindustrie ein Angebot machen, das in dieser Form einzigartig ist“, sagt Maximilian Zachries, Geschäftsführer der FCMS GmbH. „TEC|Concept versetzt Unternehmen in die Lage, schneller von der ersten Produktidee zu funktional abgesicherten Modellvarianten und Konzepten zu gelangen. Das erhöht ihre Innovationsproduktivität und schafft klare Wettbewerbsvorteile“.

[www.fcm-s.com](http://www.fcm-s.com)

#### **GRANTA DESIGN**

##### **CES EduPack 2016 für die Werkstofflehre veröffentlicht**

Granta Design hat die Veröffentlichung von CES EduPack 2016, die neuste Version der an über 1000 Universitäten und Fachhochschulen weltweit eingesetzten Ressource für die Werkstofflehre, bekannt gegeben. Die 2016er Version umfasst

Verbesserungen und zusätzliche Hilfsmittel, die es den Studenten ermöglicht, sich schnell einzuarbeiten und in die Welt der Werkstoffe einzusteigen. Neue Diagramm- und Grafikwerkzeuge, technisch ausgefeilte Materialauswahlfunktionen, ein neues Werkzeug zur Untersuchung der Fertigungskosten und umfangreiche Daten zur Unterstützung realer Anwendungen erleichtern die Vorbereitung und Durchführung von Vorlesungen und Projekten, die die Studenten bei ihren Kursen in den Bereichen Engineering, Naturwissenschaften und Design dabei unterstützen, tief in Werkstoffe und deren Anwendungen einzusteigen. CES EduPack unterstützt die Werkstofflehre vom voruniversitären Level bis hin zum Hauptstudium und darüber hinaus. Die Software wird jährlich aktualisiert und um neue, verbesserte Funktionen, basierend auf Rückmeldungen von Auszubildenden, erweitert. Eine offene Entwicklung und Kundentests sind

entscheidende Elemente in diesem kontinuierlichen Verbesserungsprozess. In diesem Jahr wurden beispielsweise Funktionen, wie die gleichzeitige Darstellung mehrerer Linien in Materialkennwertdiagrammen und die Möglichkeit Anmerkungen in Diagramme einzufügen, besonders häufig angefragt. Diese wurden folglich im CES EduPack 2016 eingebunden und unterstützen die Studenten nun dabei, wichtige, im Unterricht behandelte Werkstoffauswahlkonzepte besser zu verstehen oder Entscheidungen, die im Rahmen ihrer Projekte getroffen wurden, überzeugend zu kommunizieren. Andere Verbesserungen der Software vereinfachen die Bearbeitung komplexerer Fallstudien im Hinblick auf die Materialauswahl, wie zum Beispiel bei Anwendungen mit zahlreichen Randbedingungen oder widersprüchlichen Zielsetzungen, so dass die Studenten lernen, Probleme zu lösen, mit denen sie möglicherweise später in der Indus-

trie konfrontiert werden.

Der neue Part Cost Estimator unterstützt die Studenten dabei, die Kosten für verschiedene Werkstoffe und Fertigungsverfahren zu beurteilen und die Auswirkungen von Bauteilgröße und -komplexität, Losgröße und Recyclingfähigkeit in ihrer Auswahl zu berücksichtigen. Das Werkzeug wurde von Granta mit der Unterstützung eines Industriekonsortiums entwickelt und ergänzt die umfangreichen Möglichkeiten von CES EduPack – so können Fähigkeiten erlernt werden, die später auch in der Industrie benötigt werden. Über CES EduPack haben die Studenten darüber hinaus einfachen Zugriff auf eine große Bandbreite an hochwertigen Anwendungsbeispielen und Video-Tutorials, was ihnen sowohl das Selbststudium ermöglicht als auch eine steilere Lernkurve garantiert oder fortgeschrittenen Studenten nützliche Anregungen liefert. Die neue Version von CES Edu-



## LS-DYNA – Ein Code für viele Anwendungen

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



Bild: Daimler AG



THUMS™

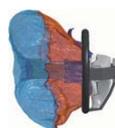
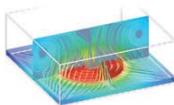
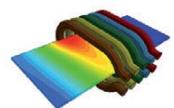
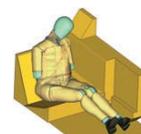
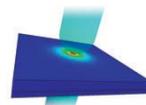


Bild: Daimler AG



DYNAMore GmbH

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

Pack ist intuitiver, interaktiver und anwenderfreundlicher. Sie bietet unter anderem neue Werkzeugleisten, übersichtlichere Datenblätter mit visuell hervorgehobenem Zugriff auf die hinterlegten wissenschaftlichen Grundlagen und eine neue Standardeinstellung zur optimierten Darstellung in Hörsälen. Die Änderungen in der Anwenderoberfläche gewährleisten, dass die Studenten Werkstoffe auch auf Tablet-Computern und Windows® 10-fähigen Rechnern durchstöbern, suchen und auswählen können. Dies bedeutet außerdem, dass CES EduPack die Möglichkeiten der neusten hochauflösenden Monitore ideal nutzt.

Die neuen Funktionen bauen auf der existierenden umfangreichen CES EduPack Werkstoff- und Prozessinformationsdatenbank sowie den leistungsstarken Darstellungswerkzeugen für Materialkennwerte und einer breit gefächerten Auswahl an Kursen, Projekten, Videos und Übungen sowie weiterem Lehrmaterial in Englisch, Französisch, Deutsch und Spanisch auf. CES EduPack spart Zeit, stellt einen schnellen Zugriff auf verlässliche Werkstoffdaten aus verbindlichen Quellen sicher und hilft dabei, die Vorlesungen auf dem neusten Stand zu halten und die aktuellsten Werkzeuge einzusetzen. Das Lehrmaterial wurde von Professor Mike Ashby von der Universität Cambridge, dem Team von Granta Design und weiteren Mitwirkenden aus aller Welt entwickelt.

„Das Release 2016 ist die bisher anwenderfreundlichste und leistungsstärkste Version von CES EduPack“, sagte Prof. Ashby. „Wir danken der akademischen Gemeinschaft für die Rückmeldungen aus aller Welt, die Granta dabei geholfen haben, die Arbeiten im letzten Jahr zu priorisieren – sie haben wirklich großartige Arbeit geleistet. Weitere Details und Demonstrationen der Software werden wir in den anstehenden Webinaren präsentieren.“

**Granta MI Version 9 veröffentlicht**  
Granta Design hat das Release von Granta MI Version 9 angekündigt. Version 9 bietet eine Reihe neuer Werkzeuge, die auf Basis der umfangreichen Erfahrungen

und Rückmeldungen von weltweit durchgeführten Implementierungen entwickelt wurden. Bei der neuen Version handelt es sich um das jährlich veröffentlichte Hauptrelease, das alle Verbesserungen und Aktualisierungen des letzten Jahres sowie zusätzliche Erweiterungen umfasst und diese allen Granta MI Anwendern verfügbar macht. Die Verbesserungen sind vielseitig, so ermöglichen es z. B. neue Funktionen, wichtige Arbeitsabläufe im Entwicklungsprozess zu optimieren.

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

## HOCHSCHULE NIEDERRHEIN

### Stromerzeugung aus Carbonfasern: IMH beteiligt an BMBF-Projekt

Die Hochschule Niederrhein erhält für das öffentlich geförderte Forschungsprojekt „Textile Kohlenstoffelektroden für mikrobielle Brennstoffzellen“ (TexKoMBZ) eine Zuwendung in Höhe von 253.000 Euro. In dem Projekt geht es darum, den Hochleistungswerkstoff Carbon, der unter anderem in der Raumfahrt genutzt wird, in Form von Fasern zur Besiedelung von stromerzeugenden Mikroorganismen einzusetzen.

Partner des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit insgesamt 810.000 Euro geförderten Projekts sind die RWTH Aachen, die Universität Augsburg, das Dürener Unternehmen Heimbach sowie weitere Industrieunternehmen aus der Carbontextiltechnologie, dem Maschinen- und Anlagenbau und der Papierindustrie. Für die Hochschule Niederrhein ist das Institut für Modellbildung und Hochleistungsrechnen (IMH) involviert. Dessen Aufgabe wird es sein, die Strömung im Carbonfasergewebe zu simulieren und so die biochemischen Aktivitäten im Biofilm, der auf dem Gewebe ist, zu untersuchen. „Es sollen auf diese Weise optimale Gewebestrukturen gefunden und eingesetzt werden“, sagt Prof. Dr. Peter Farber, Leiter des IMH und Projektkoordinator innerhalb der Hochschule Niederrhein. An dem Projekt, das eine Laufzeit von zwei

Jahren hat, sind in Krefeld neben Prof. Farber dessen Kollege Prof. Dr. Peer Ueberholz sowie zwei wissenschaftliche Mitarbeiter beschäftigt. Ziel des Projekts ist es, das Carbonsgewebe so zu modifizieren und räumlich anzuordnen, dass die Mikroorganismen wachsen und Strom erzeugen. Diese innovative biologische Form der Energiegewinnung soll später vor allem der Papierindustrie und der kommunalen Abwasserwirtschaft helfen. In der Ausschreibung des Ministeriums ging es um „Neue Produkte für die Bioökonomie“.

Das interdisziplinäre Projekt verbindet Mikrobiologie, Textiltechnik, Maschinenbau, Simulationstechnik sowie Abwasserwirtschaft und bringt drei deutsche Hochschulen und zahlreiche Industrieunternehmen entlang der Wertschöpfungskette – vom Carbontextilhersteller über den technischen Konfektionär bis hin zum Anlagenbauer und Endanwender aus der Papiertechnik – zusammen.

[www.hs-niederrhein.de](http://www.hs-niederrhein.de)

## INSTAL

### Instal-News

Das Informations- und Expertenportal [www.4innovative-engineers.com](http://www.4innovative-engineers.com) bietet interessante Informationen und einen regelmäßigen Newsletter. Schauen Sie mal vorbei.

[www.4innovative-engineers.com](http://www.4innovative-engineers.com)

## ISKO ENGINEERS

### SIMuSpace V1.0 released

Wir freuen uns Ihnen mitteilen zu können, dass SIMuSpace V1.0 released wurde. Die erste Version der Software wurde im Januar 2016 nach ca. 2 jähriger Planungs- und Entwicklungszeit vorgestellt. SIMuSpace ist eine schlanke Lösung für das Simulationsdatenmanagement für Benutzergruppen ab 5 Berechnungsingenieuren. Konzeptionelles Ziel war es, dass der Anwendernutzen durch eine intuitive Benutzerführung verbunden mit schnellen Reaktionszeiten und übersichtlichen Ansichten sehr hoch ist und die Lö-

sung mit möglichst wenig Overhead installiert und konfiguriert werden kann.

Die Skalierbarkeit und Modularität von SIMuSpace ermöglichen den schnellen und barrierefreien Einsatz in unterschiedlichen Grundkonfigurationen. Die moderne Client/Server Architektur arbeitet betriebssystemunabhängig und unterstützt selbstverständlich auch mobile Geräte.

Durch den Einsatz von SIMuSpace in der V1.0 soll die Zeit signifikant verringert werden, die Ingenieure für die Verwaltung der Daten und Projekte benötigen. Insbesondere die Suche und Projekthistorie sowie konfigurierbare LifeCycle Routinen für die Sicherung und Ablage von Dateien soll dabei helfen, Nebenzeiten zu reduzieren, sodass sich der Ingenieur auf wertschöpfende Themen konzentrieren kann.

Das Einbinden verschiedener Solver und Queuing Systeme unterstützt bei der Verwaltung und Nutzung von Rechner- Ressourcen und Simulations-Software.

### **20 Jahre ISKO – 20 Jahre virtuelle Produktentwicklung!**

Zum 1.10.2016 blickt ISKO engineers zurück auf eine 20-jährige Erfolgsgeschichte im Umfeld der CAE-Leistungen und Lösungen. Als 2-Mann-Unternehmen begonnen beschäftigt die ISKO engineers AG heute mehr als 100 Kolleginnen und Kollegen. Neben den klassischen Dienstleistungen / Berechnungen insbesondere im Mechanik- und Multiphysik-Umfeld hat sich seit 2010 die Optimierung in allen Facetten zu einer Kernkompetenz entwickelt. Mehrjährige Erfahrung bietet ISKO engineers auch in der Analyse, Automatisierung und Optimierung von CAE-Prozessen, ob bei OEMs oder in mittelständischen Einheiten. Ein CAE-Werkzeugbaukasten von Solvern, Preprozessoren, Tools für CAD- und FE-Parametrisierung und speziellen Data-Analysertools gehört ebenso zum umfassenden Angebot wie das völlig neue Simulationsdatenmanagement (SDM)-System SIMuSpace.

Die Anforderungen wachsen immer schneller mit jeder Technologieveränderung und Marktbewegung.

ISKO hilft Partnern und Kunden, auf den Zug aufzuspringen, den Anschluss zu halten und Vorsprung herauszuarbeiten – jedem nach seinen speziellen Herausforderungen. ISKO engineers - Ihr Partner für Computer Aided Innovation (CAI) in Ihrem Unternehmen.

[www.isko-engineers.de](http://www.isko-engineers.de)

### **SIEMENS PLM SOFTWARE**

#### **Siemens übernimmt Anbieter von Simulationssoftware CD-adapco**

– siehe auch CD-adapco – Siemens und CD-adapco haben eine Vereinbarung für die Übernahme der Anteile von CD-adapco durch Siemens geschlossen. Der Kaufpreis beträgt 970 Millionen US-Dollar. CD-adapco ist ein globales Unternehmen für Simulationssoftware mit Lösungen, die ein weites Spektrum an Engineering Disziplinen abdecken. Dies beinhaltet Fluid Dynamics (CFD), Solid Mechanics (CSM), Wärmeübertragung, Partikeldynamik, Stoffdurchsätze, Elektrochemie, Akustik sowie Rheologie. Im vergangenen Geschäftsjahr hatte CD-adapco über 900 Mitarbeiter und einen Umsatz von nahezu 200 Millionen US-Dollar mit für die Softwarebranche üblichen zweistelligen Margen. In den vergangenen drei Geschäftsjahren steigerte CD-adapco seinen Umsatz im Durchschnitt bei konstanten Wechselkursen um jährlich mehr als 12 Prozent. Für die Zukunft erwartet Siemens für das Geschäft ein weiterhin kräftiges Wachstum.

„Als Teil der Vision 2020 treibt Siemens mit der Übernahme von CD-adapco das Wachstum im digitalen Geschäft voran und erweitert das Portfolio im Bereich der Industriesoftware. Simulationssoftware ist entscheidend, um bessere Produkte schneller und kostengünstiger auf den Markt zu bringen. Mit CD-adapco kaufen wir einen etablierten Technologieführer, mit dem wir unser Weltklasse- Industriesoftware-Portfolio ergänzen und unsere Strategie zum Ausbau unseres digitalen Unternehmensportfolios weiter umset-

zen“, sagte Klaus Helmrich, Mitglied des Vorstands von Siemens.

CD-adapco ist ein globales Unternehmen für Simulationssoftware mit einer einzigartigen Vision für Multidisciplinary Design eXploration (MDX). Diese Simulationssoftware ermöglicht einen besonders zuverlässigen Informationsfluss im Designprozess. Das treibt Innovationen und reduziert Produktionskosten. Simulations Tools von CD-adapco, besonders das Produkt STAR-CCM+ ermöglicht Ingenieuren bessere Designs schneller zu entwickeln. CD-adapco hat derzeit weltweit über 3.200 Kunden. Die Software wird aktuell von 14 der 15 größten Automobilhersteller, den Top 10 Zulieferern der Luft- und Raumfahrtindustrie sowie von neun der zehn größten Hersteller im Energie- und Marinebereich genutzt.

„Ich freue mich für die Mitarbeiter und Kunden von CD-adapco. Die Chancen, die sich durch die Übernahme von Siemens ergeben, werden unendlich sein. Die Vision unserer Gründer wird durch die Integration dieser Weltklasse-Technologien für Engineering und Produktion realisiert. Dazu gehört auch eine Geschäftsstrategie, die den Einsatz von Simulationssoftware für mehr Produkte und Unternehmen als jemals zuvor ermöglicht“, sagte CD-adapco CEO Sharron MacDonald. CD-adapco hat seinen Hauptsitz in Melville, New York, USA, und verfügt weltweit über 40 Standorte. Siemens erwartet im fünften Jahr nach Abschluss der Transaktion Synergieeffekte in Höhe eines zweistelligen Millionenbetrages auf das Ergebnis vor Zinsen und Steuern (EBIT), die sich im Wesentlichen aus Umsatzsynergien ergeben. Der Abschluss der Transaktion ist abhängig von den üblichen Genehmigungen und wird in der zweiten Hälfte des Geschäftsjahres 2016 erwartet.

Das Unternehmen wird in das PLM-Softwaregeschäft der Siemens-Division Digital Factory (DF) integriert. DF ist der Marktführer bei der Automatisierungstechnik und ein führender Anbieter bei Product Lifecycle Management (PLM) Software. „Durch die Ergänzung unseres Portfolios mit erweiterten

Simulations-Tools, wie CFD und der Integration von erfahrenen Experten auf diesem Gebiet bauen wir unsere Kernkompetenz in der modellbasierten Simulation, die einen sehr genauen digitalen Zwilling eines Produkts erstellt, erheblich aus“, sagte Anton Huber, CEO der Division Digital Factory.

Die Division Digital Factory bündelt alle Geschäfte speziell für die diskreten Fertigungsindustrien – wie etwa Automobil- und Flugzeugbau, Maschinenbau und Elektronik. Das Portfolio umfasst leistungsstarke, durchgängig integrierte Soft- und Hardwaretechnologien, um eine nahtlose datentechnische Verbindung zwischen Entwicklung, Produktion und Lieferanten zu realisieren. Siemens ist derzeit das einzige Unternehmen, dessen Technologien die virtuelle Welt der Produktentwicklung und die reale Welt der Fertigung umfassend verzahnen. Neue Produkte können am Computer entworfen, getestet und optimiert werden, während parallel bereits die passende Fertigung geplant und realisiert wird. Kunden profitieren dadurch von einer höheren Effizienz und Flexibilität sowie einer kürzeren Zeit bis zur Marktreife eines Produkts.

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

## SIMCON

### Simcon baut das Partner- und Vertriebsnetz aus

Für die bestmögliche Beratung und Betreuung von Entwicklern von Kunststoff-Spritzgussteilen setzt Simcon seit langem auf ein engmaschiges Netzwerk aus kompetenten und zuverlässigen Resellern und Vertriebspartnern. Denn Nähe schafft Verbindung und sorgt für unkomplizierte Kommunikation. Damit ist sie neben unserem umfassenden Branchenwissen ein wesentlicher Beitrag für das reibungslose Arbeiten unserer Kunden mit Softwarelösungen von Simcon. Seit Kurzem übernimmt unser österreichischer Partner imm-solutions Vertrieb und Service von Cadmould und Varimos im Nachbarland und im Südosten Bayerns. Geschäftsführer Martin

Mistlberger hat sein Unternehmen ganz auf die erfolgreiche Vermarktung der beiden Tools ausgerichtet. Cadmould kennt er schon seit seiner Zeit bei Haratech – einem Entwickler für technische Kunststoffprodukte. Seine Kompetenz für pass-genaue Systemlösungen hat er in den vergangenen fünf Jahren bei der Sicherheitstechnik ausgebaut. Um den weiteren Ausbau des Vertriebsgebiets in den neuen Bundesländern kümmert sich bei Simcon jetzt Stephan Schumer. Der Dipl.-Betriebswirt bringt beste Voraussetzungen für unser Portfolio und die Region mit. Denn er wechselte aus der Dresdner Geschäftsstelle des Softwareentwicklers Babtec Informationssysteme zu Simcon.

[www.simcon-worldwide.com](http://www.simcon-worldwide.com)

## SIMUFACT

### Simufact verleiht zum zweiten Mal den Scientific Publication Award

Simufact Engineering, ein MSC Software Unternehmen, lobt zum zweiten Mal den mit 1.000 Euro dotierten Simufact „Scientific Publication Award“ aus. Mit diesem Award prämiiert Simufact besonders praxisrelevante wissenschaftliche Veröffentlichungen zu Forschungs- und Entwicklungsprojekten, in denen Simufact-Software eingesetzt wurde.

„Wir verstehen uns als Bindeglied zwischen akademischer Entwicklung und industrieller Anwendung“, sagt Dr. Ralph Bernhardt, Director Research & Innovation bei Simufact. „Von besonderer Bedeutung sind daher wissenschaftliche Arbeiten, die sich mit konkreten Problemstellungen beschäftigen und praxisnahe Lösungsansätze aufzeigen – genau solche Arbeiten wollen wir fördern“, so Bernhardt. „Strategische und langfristig relevante Themen aus Forschung und Entwicklung setzen wir in der Entwicklung unserer Simulationssoftware für Fertigungsprozesse um.

Umgekehrt werden Anforderungen und Erkenntnisse aus der Industrie in die Forschungsarbeit implemen-

tiert.“

Im vergangenen Jahr hat Simufact erstmals den Scientific Publication Award auf seiner jährlich stattfindenden Kundenveranstaltung RoundTable verliehen. Michael Lätzer und Dr. Stefan Kleditzsch überzeugten die Simufact-Jury mit ihrem Artikel zu einer „verifizierten numerischen Untersuchung des Fügeprozesses und die axiale Festigkeit von gerändelten Welle-Nabe-Verbindungen auf Stahl-Aluminium-Basis“. Den Artikel erstellte das Autorenteam als Mitarbeiter an der Technischen Universität Chemnitz.

Auch in diesem Jahr zeichnet Simufact auf dem 17. RoundTable Simulating Manufacturing in Marburg herausragende Einreichungen aus. An der Ausschreibung für den Scientific Publication Award können alle teilnehmen, die unter anderem folgende Teilnahmebedingungen erfüllen:

- das behandelte Thema sollte eine hohe Praxisrelevanz für die Industrie haben
  - im Projekt muss Simufact-Software eingesetzt worden sein
  - der Artikel muss bis drei Monate vor dem RoundTable bereits in einer Fachzeitschrift / wissenschaftlichen Zeitschrift erschienen sein und darf nicht länger als zwölf Monate zurückliegen
  - der Hauptautor muss Student oder Mitarbeiter an einer Hochschule sein
- Die ausführlichen Teilnahmebedingungen sind auf den RoundTable Webseiten zu finden.

Simufact engagiert sich seit vielen Jahren in wissenschaftlichen Projekten vor allem im Bereich der akademischen Grundlagen und angewandten Forschung; hier kooperiert Simufact mit zahlreichen, namhaften Institutionen und Forschungseinrichtungen.

Interessierte können Ihre Unterlagen für den Simufact Scientific Publication Award 2016 bis zum 15. April online auf <http://roundtable.simufact.de/awards.html> einreichen.

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

## TESIS DYNARE

### Tesis DYNare erweitert die Geschäftsführung

Seit Dezember 2015 ist Maximilian Chucholowski (35) zweiter Geschäftsführer der Tesis DYNare, den Spezialisten für Fahrzeugsimulation. Er teilt sich die Unternehmensleitung mit dem Firmengründer Dr.-Ing. Cornelius Chucholowski und leitet die Softwareentwicklung der Simulationsprodukte.

Maximilian Chucholowski studierte Mechatronik und Informationstechnik an der TU München, verbunden mit einem Auslandsstudium in Berkeley, Californien. Nach seinem Berufsstart bei Linde Engineering übernahm er die Leitung diverser Kundenprojekte bei großen deutschen Automobilbauern. Die vielfältigen Erfahrungen in den Themenbereichen Energiemanagement und Absicherung Fahrwerksregelsysteme kann er nun in seiner neuen Rolle als Entwicklungsleiter anwendungsorientiert umsetzen. Ergänzend zur klassischen Fahrzeugsimulation verfolgt er das Ziel, die Tesis DYNare hin zu einem Enterprise-Lösungsanbieter auszurichten: „Mit dem Simulationsframework DYNA4 bieten wir den Kunden bereits ein flexibles Framework, um Fahrzeug-Simulationsmodelle zu verwalten und teamübergreifend zu arbeiten. Diese Themen werden von den Kunden immer stärker nachgefragt. Wir arbeiten an einer Enterprise-Lösung für Simulationsdatenmanagement, um damit für heterogene Teams und Simulationsmodelle eine zentrale Plattform anzubieten.“

[www.thesis-dynaware.com](http://www.thesis-dynaware.com)

## TECOSIM

### Tecosim unterstützt Ingenieure ohne Grenzen mit 5.000 Euro

Mit einer Spende von 5.000 Euro unterstützt die Tecosim Gruppe, weltweit führender Entwicklungspartner für Computer Aided Engineering (CAE), die Hilfsorganisation Ingenieure ohne Grenzen. Jürgen Veith, Vorstand Tecosim, überreichte am Unternehmenssitz Rüsselsheim

den symbolischen Spendenscheck. „Die Summe freut uns natürlich sehr und unterstützt uns zum Beispiel beim Bau einer Schule in Tansania oder der Wasserversorgung von Gemeinden in Kamerun.“, so Janina Unger, Leiterin der Öffentlichkeitsarbeit von Ingenieure ohne Grenzen. Bereits seit Jahren verzichtet Tecosim auf Weihnachtsgeschenke für Kunden und Lieferanten. Stattdessen hat sich das Unternehmen dafür entschieden, mit dem eingesparten Betrag Entwicklungsprojekte wechselnder sozialer Hilfsorganisationen zu unterstützen. Die diesjährige Zuwendung in Höhe von 5.000 EURO überreichte Veith heute im Beisein seiner Vorstands-Kollegen Udo Jankowski und Dr. Torben Birker an die weltweit tätige Organisation Ingenieure ohne Grenzen. Felix Lanfermann, ehrenamtlicher Mitarbeiter bei Ingenieure ohne Grenzen, nahm die Spende entgegen.

„Als weltweit tätiger Engineeringpartner können wir uns natürlich mit der Idee und den Projekten von Ingenieure ohne Grenzen sehr gut identifizieren“ so Veith, „Wir freuen uns, wenn wir zur Realisierung nachhaltiger technischer Entwicklungslösungen beitragen können.“ Die erst seit 2003 bestehende Organisation Ingenieure ohne Grenzen hat sich in diesem kurzen Zeitraum bereits als wichtige Plattform für ingenieurwissenschaftliche Projekte innerhalb der Entwicklungszusammenarbeit etabliert. Ihr Schwerpunkt bildet die Lösung akuter Probleme in der infra-strukturellen Grundversorgung in Zusammenarbeit mit lokalen Partnern. In Deutschland startete der Verein zuletzt spezielle Sprachkursangebote für Flüchtlinge.

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

## WÖLFEL-GRUPPE

### Die Wölfel-Gruppe präsentiert sich in neuem Design – Klarer, moderner und über alle Endgeräte erreichbar!

Wir freuen uns sehr, Ihnen unseren neuen Webauftritt vorstellen zu dürfen. Unter der bekannten Adresse präsentiert sich unsere

Homepage [www.woelfel.de](http://www.woelfel.de) nach intensiver technischer, optischer und inhaltlicher Überarbeitung, nun grundlegend erneuert. Neben einem modernen Design stand vor allem die Anpassung der Struktur im Vordergrund der Überarbeitung – so erhalten Sie, egal ob Kunde, Partner oder Interessierter, ohne großen Suchaufwand, einen umfassenden Überblick über die Kernkompetenzen und das Leistungsspektrum der Wölfel-Gruppe. Sie können den „Einstieg“ sowohl über Ihre Branche als auch über die Technologien bekommen.

Wie gewohnt werden wir Sie in der Rubrik „Aktuelles“ regelmäßig über Neuigkeiten, das Unternehmen, neue Produkte, Forschungsergebnisse und Veranstaltungen betreffend, auf dem Laufenden halten. Wir wünschen Ihnen nun viel Spaß beim Entdecken unserer neuen Homepage. Selbstverständlich freuen wir uns über Ihr Feedback und sind für Anregungen und Anmerkungen genauso dankbar wie für Lob oder Kritik. Benutzen Sie hierfür doch einfach unser Kontakt-Formular.

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

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

**NAFEMS e-Learning Kurs: Computational Fluid Dynamics for Structural Designers and Analysts**

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

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

25.-26.02. Schladming, A [www.4a-engineering.at](http://www.4a-engineering.at) 4a Engineering

**Lasso Engineering and Beta CAE Systems Open Meeting**

03.03. Leinfelden-Echterdingen, D [www.beta-cae.com](http://www.beta-cae.com) Lasso/BetaCAE

**STAR Global Conference**

07.-09.03. Prague, CZ [www.cd-adapco.com](http://www.cd-adapco.com) CD-adapco

**NAFEMS e-Learning Kurs: Fluid Dynamics Review for Computational Fluid Dynamics**

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

**Aachener Stahl Kolloquium Umformtechnik**

10.-11.03. Aachen, D [www.ask.ibf.rwth-aachen.de](http://www.ask.ibf.rwth-aachen.de) RWTH Aachen

**NAFEMS e-Learning Kurs: Advanced Dynamic Finite Element Analysis**

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

**NAFEMS e-Learning Kurs: Composite Finite Element Analysis**

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

**NAFEMS e-Learning Kurs: Fatigue & Fracture Mechanics in Finite Element Analysis**

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

**NAFEMS e-Learning Kurs: Practical Computational Fluid Dynamics**

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

**ARS Europe - Int. Applied Reliability Symposium**

04.-07.04. München, D [www.arsymposium.org/europe/index.htm](http://www.arsymposium.org/europe/index.htm) ReliaSoft

**NAFEMS Schulung: Verification & Validation of Models and Analyses**

05.-06.04. Wiesbaden, D [www.nafems.org/events/nafeems/2016/vandv1](http://www.nafems.org/events/nafeems/2016/vandv1) NAFEMS

**Virtuelle Produktentwicklung - Chance oder Notwendigkeit für den Mittelstand ?**

07.04. Stuttgart, D [www.sicos-bw.de](http://www.sicos-bw.de) Sicos

**NAFEMS Schulung: Simulation und Analyse von Composites**

12.-13.04. Wiesbaden, D [www.nafems.org/events/nafeems/2016/comp-course1](http://www.nafems.org/events/nafeems/2016/comp-course1) NAFEMS

**Automotive CAE Grand Challenge**

12.-13.04. Hanau, D [www.carhs.de](http://www.carhs.de) Carhs

**vi-grade Users Conference**

12.-13.04. Wiesbaden, D [www.vi-grade.com](http://www.vi-grade.com) vi-grade

**Permas-Anwenderkonferenz**

14.-15.04 Stuttgart, D [www.intes.com](http://www.intes.com) Intes

**NAFEMS Schulung: Non-Linear Finite Element Analysis**

18.-19.04. Wiesbaden, D [www.nafems.org/events/nafems/2016/non-linear-1](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/non-linear-1) NAFEMS

**NAFEMS Schulung: CFD Analysis: Theory and Applications**

20.-21.04. Wiesbaden, D [www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course1](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course1) NAFEMS

**Ansys Conference & 11. Cadfem Austria Users' Meeting**

21.-22.04. Linz, A [www.usersmeeting.at](http://www.usersmeeting.at) Ansys/Cadfem

**Deutschsprachige (DACH) NAFEMS Regionalkonferenz**

25.-27.04. Bamberg, D [www.nafems.org/dach2016](http://www.nafems.org/dach2016)



**Hannover Messe**

25.-29.04. Hannover, D [www.hannovermesse.de](http://www.hannovermesse.de) Messe Hannover

**NAFEMS e-Learning Kurs: Elements of Turbulence Modeling**

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

**NAFEMS Schulung: Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation**

09.-11.05. Wiesbaden, D [www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea2](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea2) NAFEMS

**NORDIC NAFEMS Regionalkonferenz**

10.-11.05. Göteborg, S [www.nafems.org/nordic2016](http://www.nafems.org/nordic2016) NAFEMS

**NAFEMS e-Learning Kurs: Practical Modelling of Joints and Connections**

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

**NAFEMS e-Learning Kurs: Basic Finite Element Analysis**

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

**NAFEMS e-Learning Kurs: Non-Linear Finite Element Analysis**

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

**Graz Symposium Virtual Vehicle (GSVF)**

23.-25. 05. Graz, A [www.gsvf.at](http://www.gsvf.at) VIF

**RoundTable Simulating Manufacturing**

31.05.-02.06. Marburg, D [www.simufact.de](http://www.simufact.de) Simufact

**NAFEMS e-Learning Kurs: Practical Computational Fluid Dynamics**

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

**Americas NAFEMS Regionalkonferenz**

07.-09.06. Seattle, USA [www.nafems.org/2016/americas](http://www.nafems.org/2016/americas) NAFEMS

**Ansys Automotive Simulation World Congress**

07.-08.06. München, D [www.ansys.com](http://www.ansys.com) Ansys

**France NAFEMS Regionalkonferenz**

08.-09.06. Paris, F [www.nafems.org/2016/france](http://www.nafems.org/2016/france) NAFEMS

**NAFEMS Schulung: Verification & Validation of Models and Analyses**

14.-15.06. München, D [www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv2](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv2) NAFEMS

**NAFEMS e-Learning Kurs: Computational Fluid Dynamics for Structural Designers and Analysts**

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

**UK NAFEMS Regionalkonferenz**

15.-16.06. Telford, UK [www.nafems.org/2016/uk](http://www.nafems.org/2016/uk) NAFEMS

**Ansys Conference & 21. Schweizer Cadfem Users' Meeting**

16.06. Winterthur, CH [www.usersmeeting.ch](http://www.usersmeeting.ch) Ansys/Cadfem

**Weimarer Optimierungs- und Stochastiktage**

23.-24.06. Weimar, D [www.dynardo.de/de/wost.html](http://www.dynardo.de/de/wost.html) Dynardo

**NAFEMS e-Learning Kurs: Fatigue & Fracture Mechanics in Finite Element Analysis**

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

**NAFEMS e-Learning Kurs: Basic Dynamic Finite Element Analysis**

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

**NAFEMS e-Learning Kurs: Composite Finite Element Analysis**

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

**India NAFEMS Regionalkonferenz**

21.-23.07. Bangalore, IND [www.nafems.org/2016/india](http://www.nafems.org/2016/india) NAFEMS

**NAFEMS e-Learning Kurs: Elements of Turbulence Modeling**

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

**MSC.Software User Meeting**

20.-21.09. Erfurt, D [www.mscsoftware.com](http://www.mscsoftware.com) MSC

**Experience Composites**

21.-22.09. Augsburg, D [www.experience-composites.com](http://www.experience-composites.com) JEC Group

**Ansys Conference & 33. CADFEM Users' Meeting**

05.-07.10. Nürnberg, D [www.usersmeeting.com](http://www.usersmeeting.com) Ansys/Cadfem

**NAFEMS Schulung: Simulation und Analyse von Composites**

10.-11.10. Wiesbaden, D [www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course2](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course2) NAFEMS

**NAFEMS Schulung: Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation**

10.-12.10. München, D [www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea3](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea3) NAFEMS

**Deutsches LS-Dyna Forum**

10.-12.10. Bamberg, D [www.dynamore.de](http://www.dynamore.de) DYNAmore

**Europäische Comsol Anwenderkonferenz**

12.-14.10. München, D [www.comsol.de](http://www.comsol.de) Comsol

**NAFEMS Schulung: Non-Linear Finite Element Analysis**

18.-19.10. München, D [www.nafems.org/events/nafems/2016/non-linear-2](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/non-linear-2) NAFEMS

**Human Modeling Symposium**

20.-21.10. Heidelberg, D [www.carhs.de](http://www.carhs.de) Carhs

**Euroblech Internationale Technologiemesse für Blechbearbeitung**

25.-29.10. - Hannover, D [www.euroblech.com](http://www.euroblech.com) Mack Brooks

**NAFEMS Schulung: CFD Analysis: Theory and Applications**

08.-09.11. Wiesbaden, D [www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course2](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course2) NAFEMS

**NAFEMS Schulung: Verification & Validation of Models and Analyses**

08.-09.11. Wiesbaden, D [www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv3](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv3) NAFEMS

**NAFEMS Schulung: Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation**

14.-16.11. Wiesbaden, D [www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea4](http://www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea4) NAFEMS

**NAFEMS European Conference: Multiphysics**

15.-16.11. Kopenhagen, DK [www.nafems.org/mp2016](http://www.nafems.org/mp2016) NAFEMS

**Simvec - Simulation und Erprobung in der Fahrzeugentwicklung**

22.-23.11. Baden-Baden, D [www.simvec.de](http://www.simvec.de) vdi

**International Composites Congress**

28.-29.11. Düsseldorf, D [www.composites-germany.org](http://www.composites-germany.org) Composites Germany

**NAFEMS REGIONAL CONFERENCES 2016**

<b>Germany</b> Bamberg April 25-27	<b>Nordic</b> Gothenburg May 10-11	<b>Americas</b> Seattle June 7-9
<b>France</b> Paris June 8-9	<b>UK</b> Telford June 15-16	<b>India</b> Bangalore July 21-23

[nafems.org/2016](http://nafems.org/2016)

Weitere Veranstaltungen: [www.nafems.org/events](http://www.nafems.org/events)

# Optimierung einer Positionier- und Haltevorrichtung nach Steifigkeits- und Gewichtsgesichtspunkten

Thomas Most  
Dynardo GmbH

Jochen Burkhardt, Christoph Birenbaum  
Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung

**Die automatisierte Montage von Bauteilen findet auch in der Luftfahrtindustrie immer mehr Verbreitung. Am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA läuft ein Projekt zur Entwicklung und Erprobung einer roboterbasierten, automatisierten Bohr- und Nieteinheit für die Bearbeitung und Montage von Schalenelementen im Flugzeugbau. Der Roboter sorgt dabei für die richtige Positionierung und die Bohr- und Nieteinheit in Form eines Endeffektors für die eigentliche Fügung. Für die Durchführung von Mess- und Versuchsreihen ist es erforderlich, die gesamte Apparatur unter möglichst realitätsnahen Bedingungen zu betreiben. Hierzu wurde eine Testvorrichtung entwickelt, die Materialproben von Flugzeugbauteilen aufnimmt und die von den Anforderungen an die Bewegungsabläufe des Roboters her den zu montierenden Flugzeugteilen nachempfunden ist.**

## 1 Einleitung

Eine besondere Herausforderung im Projekt ist, dass die Testvorrichtung ungleich steifer sein muss als die zu montierenden Flugzeugteile. Die Flugzeughersteller stellen hohe Anforderungen an die Bearbeitungs- und Montagequalität. Hierzu gehört u.a. auch die Positioniergenauigkeit des Roboters. Um diese unter realen Einsatzbedingungen erfassen zu können, werden Werkstücke auf der Testvorrichtung bearbeitet und vermessen. Damit die Verformung der Testvorrichtung das Ergebnis nicht verfälscht, muss diese sehr steif sein. Die Testvorrichtung muss sowohl die Bearbeitungskräfte aus dem Bohrprozess als auch die Haltekräfte, mit denen sich der Roboter auf dem Werkstück abstützt, aufnehmen. Damit auch die Positionen der Bohrungen zueinander überprüft werden können, ist es erforderlich, dass die einzelnen Probestücke über den gesamten Bewegungsbereich des Roboters in einer Raumrichtung zueinander fixiert sind. Da zudem der Bereich über den Probestücken für die Bearbeitung frei zugänglich sein muss, ergibt sich eine hohe freie Länge der Vorrichtung, die auf Biegung beansprucht wird.

Außerdem soll die Vorrichtung durch Handkraft dreh- und höhenverstellbar ausgeführt sein. Dies bedeutet, das Gewicht so gering wie möglich zu halten. Hinzu kommt, dass dadurch die Verformung durch das Eigengewicht geringer ausfällt. Ein weiteres Kriterium war die hausinterne Fertigbarkeit. Als geeignete Konstruktion erwiesen sich hierbei eine große Metallplatte mit Aufnahmen für die Probestücke und ein geschweißter Fachwerkunterbau aus Vierkantmetallrohren. Zur Findung der idealen Rohrabmessungen wurde eine mechanische Simulation mit Ansys Workbench in Kopplung mit einer Optimierung mit optiSLang durchgeführt. Eingangsparameter waren dabei Geometriegrößen wie Profilbreite, -höhe und -wandstärke. Zudem wurde eine Werkstoffsubstitution von Stahl durch Aluminium bei der Optimierung mit untersucht.

## 2 Aufgabenbeschreibung

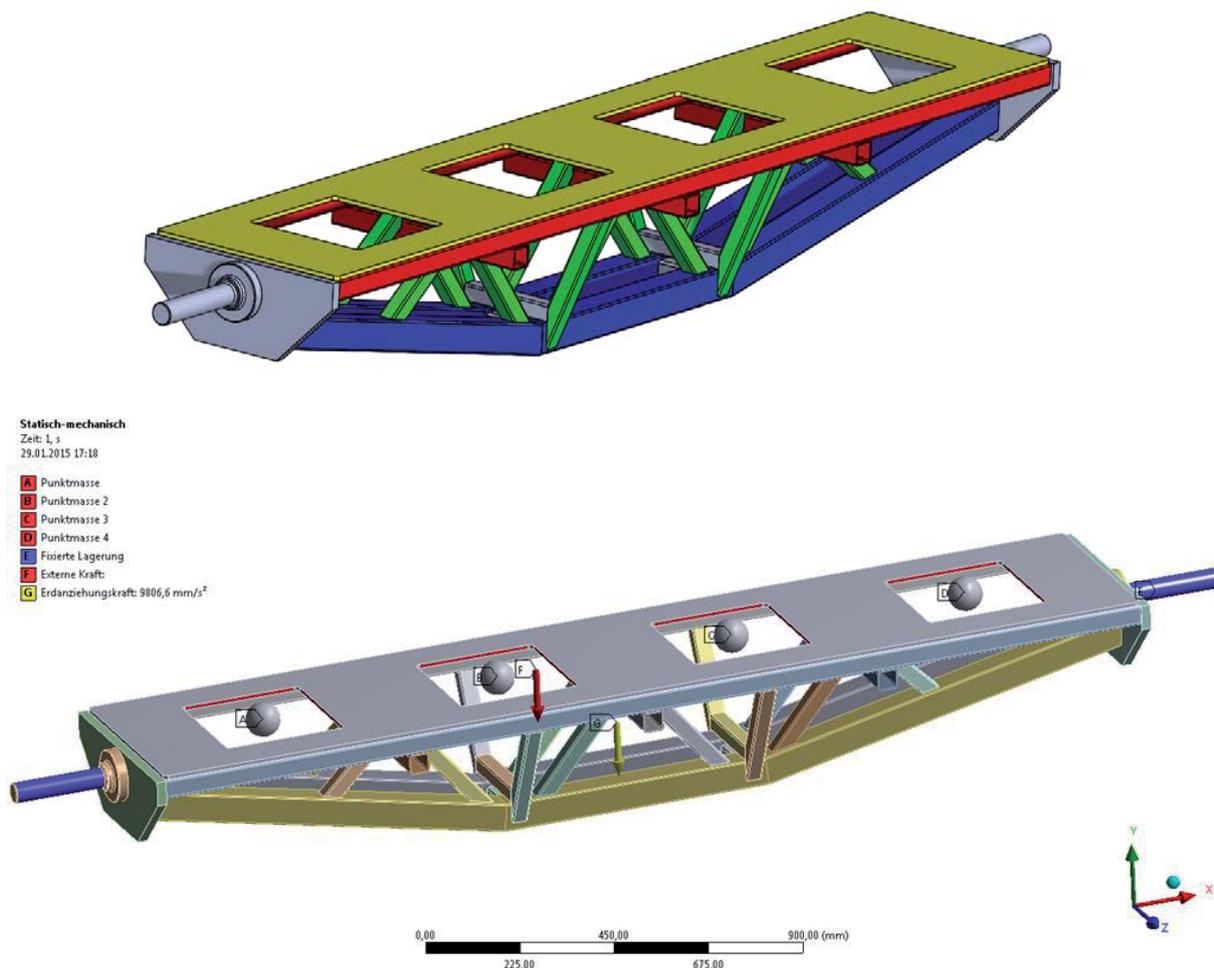


Abb. 1: Parametrisches CAD Modell (oben) mit variablen Abmessungen und Wandstärken der oberen (rot), mittleren (grün) sowie unteren Profile (blau) und idealisierte Punktmassen, externe Kraft sowie Lagerungsbedingungen im Finite-Elemente-Modell (unten)

Für die Haltevorrichtung wurde ein parametrisches CAD-Modell innerhalb der Ansys Workbench aufgebaut. Frei modifizierbare Parameter stellten dabei die Abmessungen und Wandstärken der Hohlprofile der Unterkonstruktion sowie die Plattendicke dar. Dieses CAD-Modell wurde dann in ein Finite-Elemente-Modell mittels automatischer Vernetzung überführt. In den vier Haltepunkten wurden 4 Punktmassen als idealisierte Werkstücke angenommen. Eine externe Kraft an einem der mittleren Werkstücke sollte den Anpressdruck während der Bearbeitung simulieren. Die beiden Wellen wurden fest eingespannt. Unter der Berücksichtigung von 3 Lastfällen wurden die maximalen Deformationen der Rahmenkonstruktion bei einer 0°, 90° und 180° Lage unter Berücksichtigung der entsprechenden Wirkung des Eigengewichtes berechnet.

Als Optimierungsziele sollten einerseits die Gesamtmasse sowie die maximale Deformation der Rahmenkonstruktion bei den 3 Lastfällen minimiert werden. Die Ausgangslösung war eine Ausführung mit einer Aluminiumplatte und einer Stahlrahmenkonstruktion. Diese hatte eine Masse von 207 kg sowie Durchbiegungen zwischen 0,07 und 0,12 mm in den 3 Lastfällen. In der Optimierung sollte zunächst geklärt werden, welche Kompromisse zwischen Durchbiegung und Masse möglich sind und welche Konstruktionsvariante (Stahl+Aluminium oder Aluminium+Aluminium) am besten geeignet wäre. Auf Basis dieser Information sollte ein sinnvoller Kompromiss zwischen Masse und Durchbiegung festgelegt und die Struktur entsprechend angepasst werden. Unter Berücksichtigung der Fertigung sollten einerseits die Abmessungen als kontinuierliche Parameter frei wählbar sein, andererseits als diskrete Parameter den Katalogwerten eines Hohlprofilherstellers entsprechen.

### 3 Design of Experiments (DoE) und Sensitivitätsanalyse

Mit Hilfe einer virtuellen Versuchsplanung (Design of Experiments) mit anschließender Sensitivitätsanalyse wurden in einem ersten Schritt die Einflüsse der variablen Geometrieparameter auf die Masse und Durchbiegungen analysiert. Dazu wurden 11 Geometrieparameter (Höhe, Breite und Wandstärke der oberen, mittleren und unteren Profile, der Abstand der beiden unteren Profile sowie die Dicke der oberen Platte) in definierten Grenzen variiert. Aufgrund der Vielzahl von Parametern wurde kein klassisches DoE Schema (Full Factorial, Central Composite etc.) sondern ein optimiertes Latin Hypercube Verfahren [Iman 1982] verwendet.

Mit diesem quasi-zufälligem Versuchsplan wurden 200 Parameterkombinationen erzeugt, die den 11-dimensionalen Raum möglichst gut abdecken. Vorteil gegenüber den klassischen Schemen stellt die Unabhängigkeit der Anzahl der Versuche von der Anzahl der Designparameter sowie die Möglichkeit zur Beschreibung nichtlinearer Zusammenhänge dar.

Diese 200 Parameterkombinationen wurden mit beiden Konstruktionsvarianten in den jeweils 3 Lastfällen mit dem Finite Elemente Modell simuliert. In Abbildung 2 ist dargestellt, dass für beide Konstruktionsvarianten etwa 10% der Parameterkombinationen nicht zu einem brauchbaren Simulationsergebnis führten. Diese *failed Designs* traten dann auf, wenn die Höhe des oberen und unteren Profils im vorgegebenen unteren Grenzbereich lag und die externe Kraft aufgrund der zu kleinen Steifigkeit nicht mehr abgetragen werden konnte.

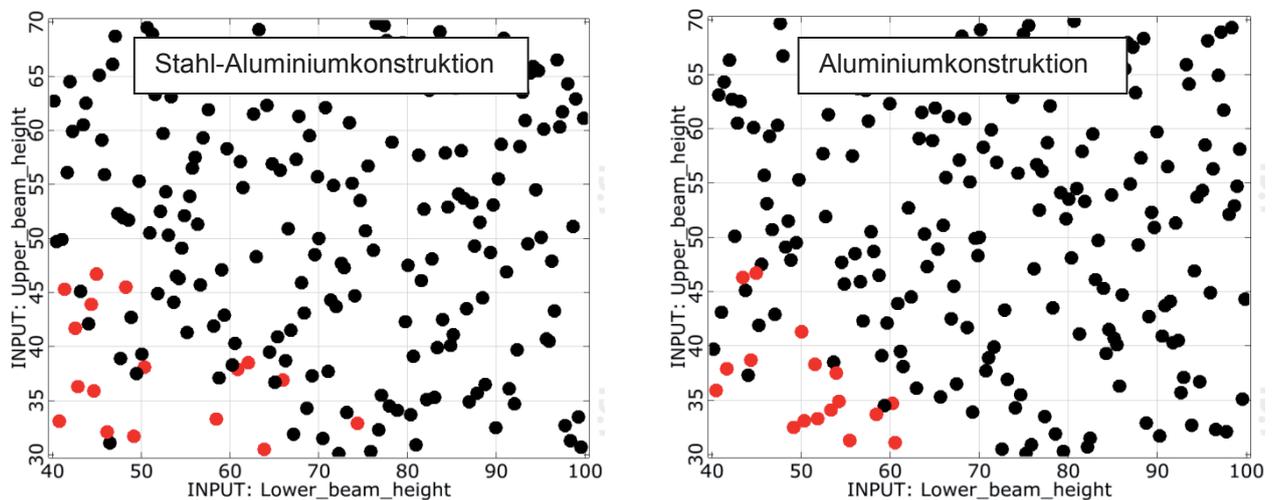


Abb. 2: Von 200 Parameterkombinationen der DoE Studie in den vorgegebenen Parametergrenzen führten etwa 10% zum Versagen der Struktursimulation

Somit lieferte das Simulationsmodell in 90% des Designraums brauchbare Ergebnisse. Mit Hilfe der Ergebnisgrößen der Simulationen sowie den zugehörigen Geometrieparametern wurde anschließend eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Mit Hilfe des von der Dynardo GmbH entwickelten *Metamodel of Optimal Prognosis (MOP)* [Most 2011] wurde für jede Antwortgröße ein am besten geeignetes mathematisches Antwortflächenmodell gefunden. Auf dieser Basis war dann eine Quantifizierung des Parametereinflusses möglich. Diese Vorgehensweise erfolgt standardmäßig unter Verwendung der Ergebnisse der DoE-Designs und erfordert keine weiteren Simulationsläufe. In Abbildung 3 sind die Approximationsmodelle für die Masse und eine Durchbiegung in Abhängigkeit der beiden wichtigsten Einflüsse dargestellt.

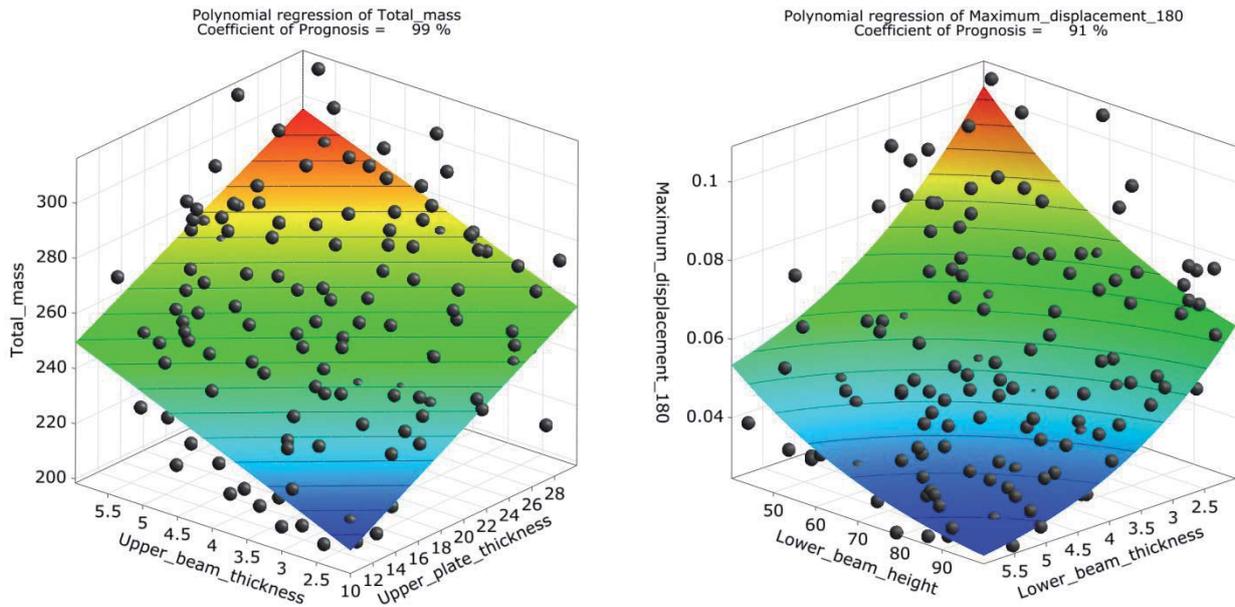


Abb. 3: Approximationsmodelle für die Masse (links) sowie die Durchbiegung in 180°-Lage (rechts) für die Konstruktionsvariante Stahl-Aluminium

Während sich die Masse hervorragend mit einem linearen Modellansatz erklären lässt, ist die bestmögliche Prognose der Durchbiegung zumindest zu 90% mit einem nichtlinearen Modell möglich. Der *Coefficient of Prognosis (CoP)* quantifiziert dabei die durch das Metamodell tatsächlich erklärbare Variation der Ergebnisdaten. Auf Basis des optimalen Approximationsmodells lassen sich die Einflüsse der Eingangsparameter sehr genau quantifizieren. Mit vereinfachten Maßen, wie dem Korrelationskoeffizient, ist dies nur eingeschränkt möglich. In Abbildung 4 ist ersichtlich, dass für die Masse bei beiden Konstruktionsvarianten die Dicke der oberen Platte dominant ist. Für die Durchbiegung sind jedoch die Abmessungen der unteren Profile maßgebend. Vernachlässigbaren Einfluss hat der Abstand der beiden unteren Profile, der in der folgenden Optimierung konstant belassen wurde.

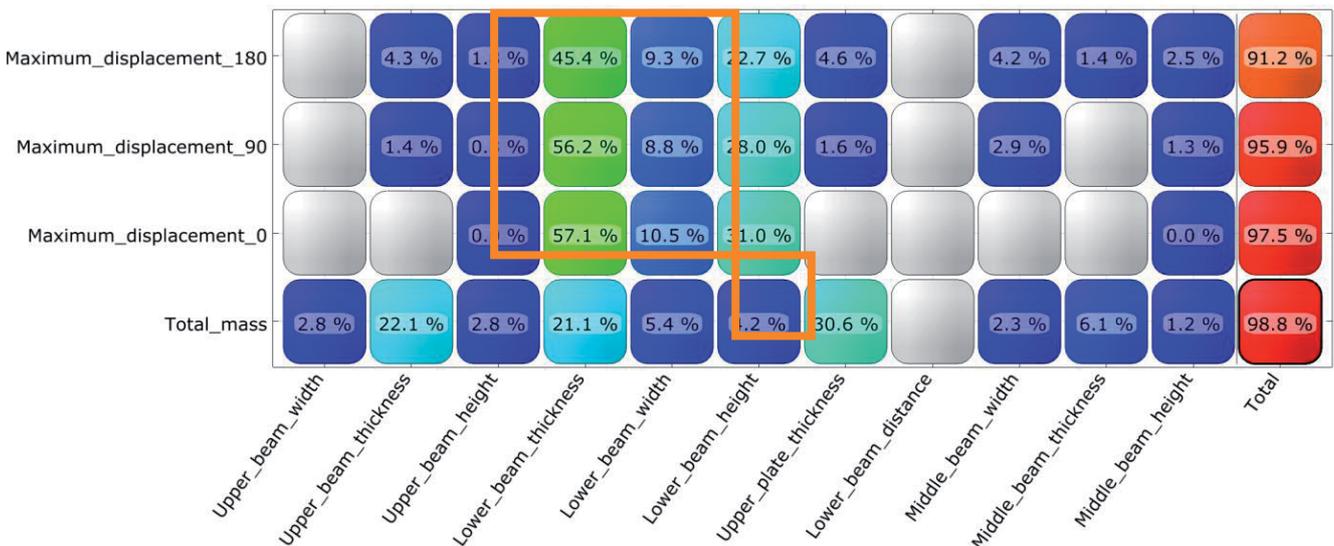


Abb. 4: Einflüsse einzelner Geometrieparameter auf die Variation der Masse und der Durchbiegungen bei der Konstruktionsvariante Stahl+Aluminium (die letzte Spalte enthält die Gesamterklärbarkeit der MOP-Modelle)

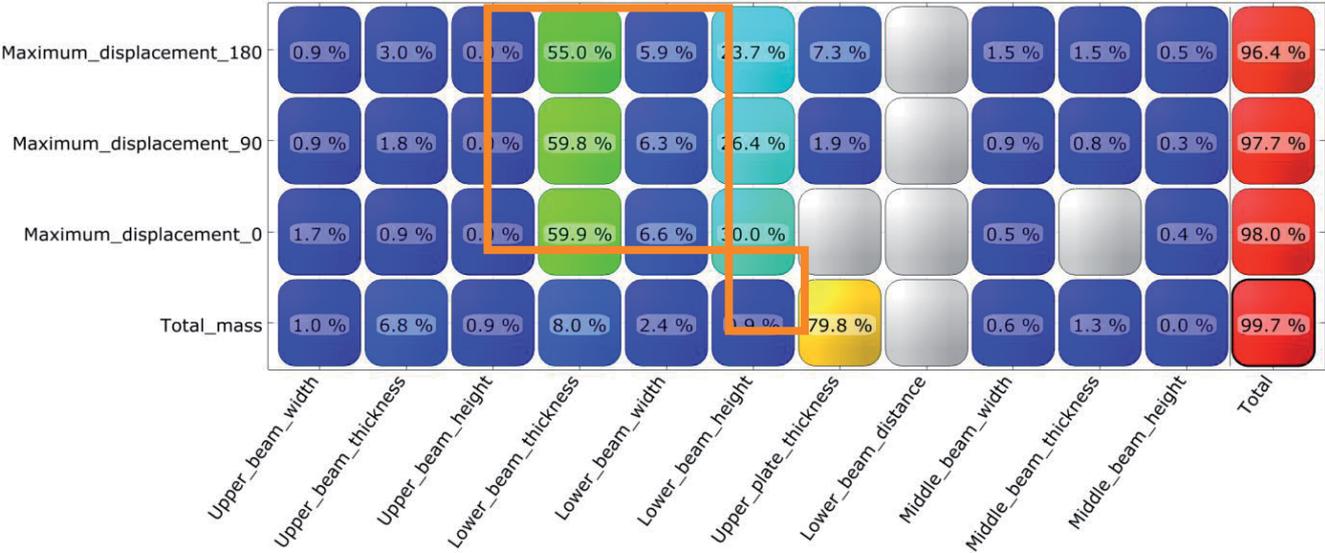


Abb. 5: Einflüsse der Geometrieparameter bei der Konstruktionsvariante Aluminium

4 Multi-kriterielle Optimierung

Im nächsten Schritt sollen sinnvollen Kompromisslösungen zwischen der Minimierung der Masse und der Durchbiegung bestimmt und eine präferierte Konstruktionsvariante abgeleitet werden. Mit Hilfe der multi-kriteriellen bzw. Pareto-Optimierung lassen sich mehrere im Konflikt stehende Zielgrößen analysieren. Als Ergebnis dieser Vorgehensweise erhält man die sogenannte Pareto-Front, mit der sich sinnvolle Kompromisslösungen eingrenzen lassen. Diese Analysen werden üblicherweise mit evolutionären Algorithmen unter einer Vielzahl von Modellaufrufen durchgeführt. In unserem Beispiel sind im Rahmen der Sensitivitätsanalyse bereits sehr aussagekräftige Ersatzmodelle für jede Ergebnisgröße mit dem MOP-Ansatz gefunden worden. Diese Ersatzmodelle werden nun anstelle des bedeutend aufwendigeren Simulationsmodells innerhalb der Mehrzieloptimierung mit einem evolutionären Algorithmus ausgewertet. Aus den Ergebnissen in Abbildung 5 ist ersichtlich, dass die Masse und die Deformationen in einem ausgeprägten Konflikt stehen. Kleinere Deformationen sind nur mit einer höheren Masse möglich. Die Deformationen der einzelnen Lastfälle sind jedoch untereinander positiv korreliert und stehen somit in keinem Konflikt. Weiterhin wird in der Abbildung ersichtlich, dass die Konstruktionsvariante aus Aluminium maximale Durchbiegungen von unter 0.15 mm nicht ermöglicht. Daher wurde im weiteren Verlauf des Entwurfsprozesses die Stahl-Aluminium Variante vorgezogen, mit der weitaus kleinere Durchbiegungen möglich sind. Auf Basis der ermittelten Pareto-Front wurde dann eine erlaubte Maximalverschiebung von 0.1 mm festgelegt.

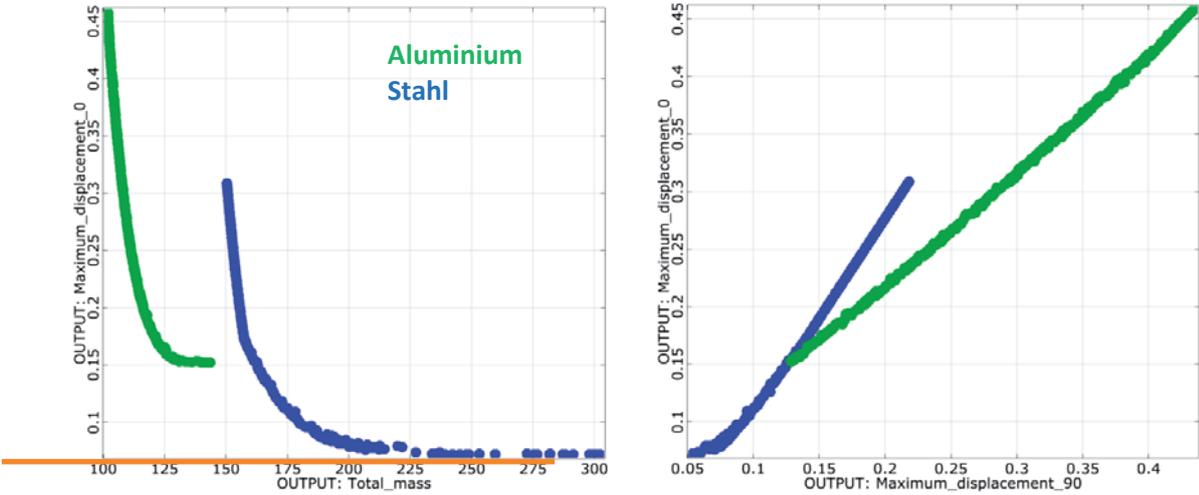


Abb. 5: Ergebnis der multi-kriteriellen Optimierung: Masse und Deformation stehen in einem ausgeprägten Konflikt (links), Deformationen in den unterschiedlichen Lastfällen jedoch nicht (rechts)

## 5 Einzeloptimierung

Mit Hilfe der Erkenntnisse der multi-kriteriellen Optimierung wurde eine Verschiebungsrestriktion festgelegt, welche für alle Lastfälle eingehalten werden soll. Somit lässt sich das Mehrzieloptimierungsproblem in ein Einzeloptimierungsproblem mit Nebenbedingungen überführen. Dieses wurde nun mit einem adaptiven Antwortflächenverfahren [optiSLang 2015] iterativ gelöst. Bei diesem Verfahren werden schrittweise lokale Approximationsmodelle für die einzelnen Ergebnisgrößen durch neue Stützstellen (weitere Finite Elemente Simulationen) dort verfeinert, wo die optimale Parameterkombination in der vorhergehenden Iteration gefunden wurde. In Abbildung 6 sind der Iterationsverlauf des Optimierungsverfahrens sowie das finale optimale Design dargestellt. Im Vergleich zur Ausgangslösung wurde die Masse um 10% und die Deformationen um etwa 17 % reduziert.

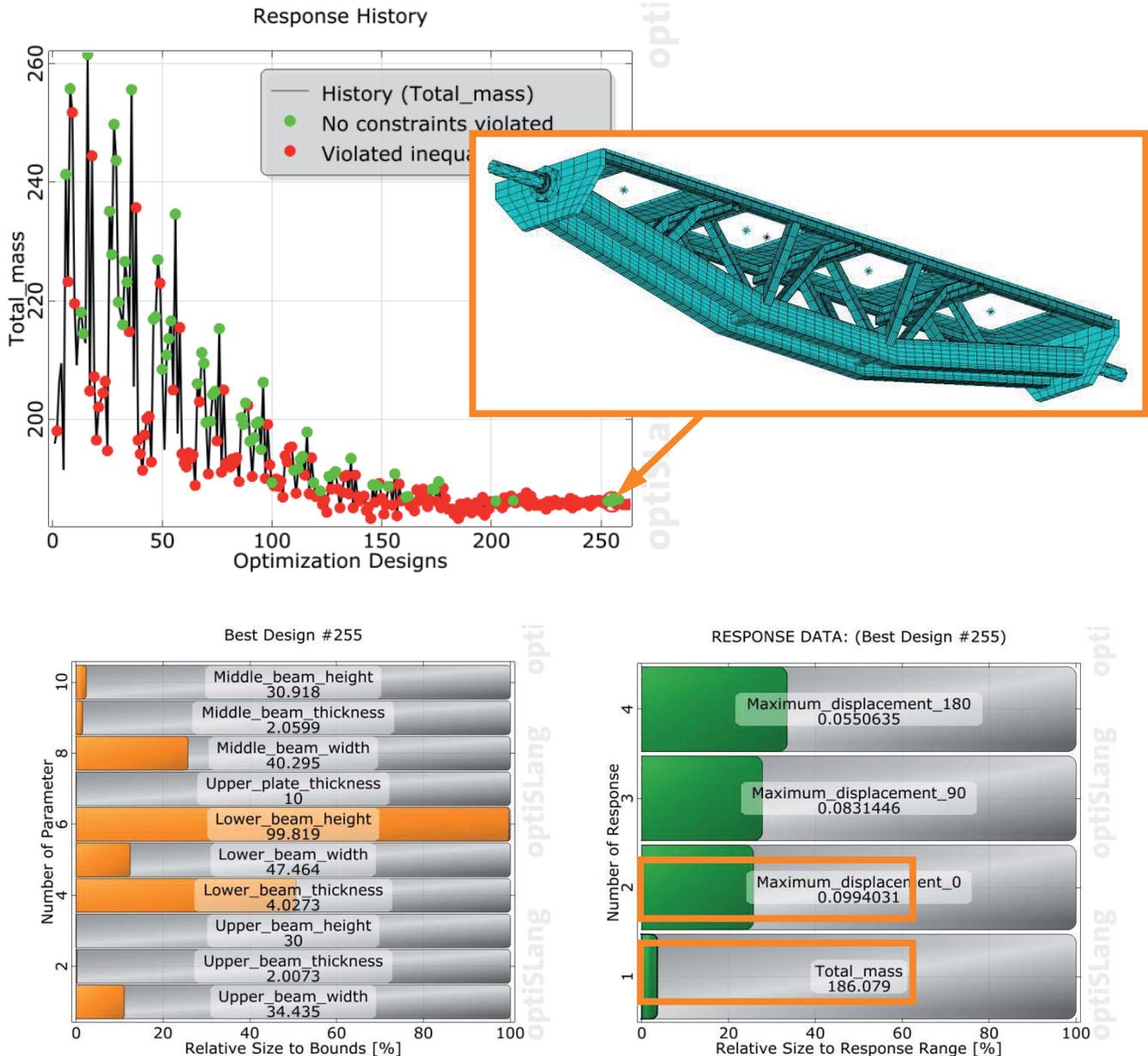


Abb. 6: Bestes Design der Einzeloptimierung unter Minimierung der Masse bei Beschränkung der Durchbiegungen auf kleiner 0.1 mm unter Berücksichtigung von kontinuierlichen Designparametern

Allerdings wird in Abbildung 6 auch ersichtlich, dass die optimalen Parameterwerte durch die kontinuierliche Formulierung teilweise nur schwer in einer Fertigung realisiert werden können. Um eine preiswerte Fertigung zu ermöglichen, ist es daher ratsam, die verfügbaren Parameterwerte innerhalb der Optimierung als diskrete Para-

meter zu berücksichtigen. Dies wurde im Rahmen der Analyse so umgesetzt, dass die verfügbaren Höhen, Breiten und Wandstärken der Stahlprofile einem Herstellerkatalog entnommen [Thyssen 2015] und als diskrete Parameterwerte für den Optimierungsalgorithmus definiert wurden. Für die oberen und mittleren Profile wurden dabei die quadratischen Querschnitte mit jeweils 30, 40, 50, 60 oder 70 mm Breite und Höhe sowie Wandstärken von 2, 2.5, 3, 4 oder 5 mm als verfügbar angesetzt. Bei den beiden unteren Profilen wurden rechteckige Querschnitte mit verschiedenen Höhen und Breiten von 40, 50, 60, 80 oder 100 mm sowie Wandstärken von 2.5, 3, 4 oder 5 mm zugelassen. In Abbildung 7 sind die erhaltenen optimalen Parameter- und Ergebniswerte dargestellt. Aufgrund der geringeren Flexibilität der diskreten Geometrieparameter lässt sich die Masse nur um 7% reduzieren. Die Herstellung ist wegen der verwendeten Standardprofile jedoch bedeutend einfacher und kostengünstiger.

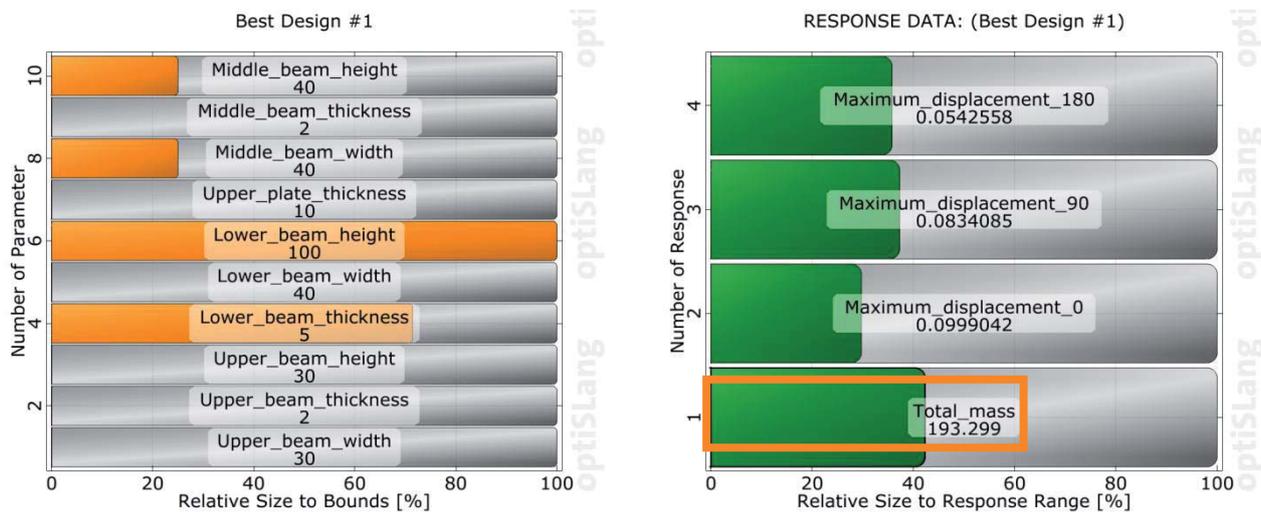
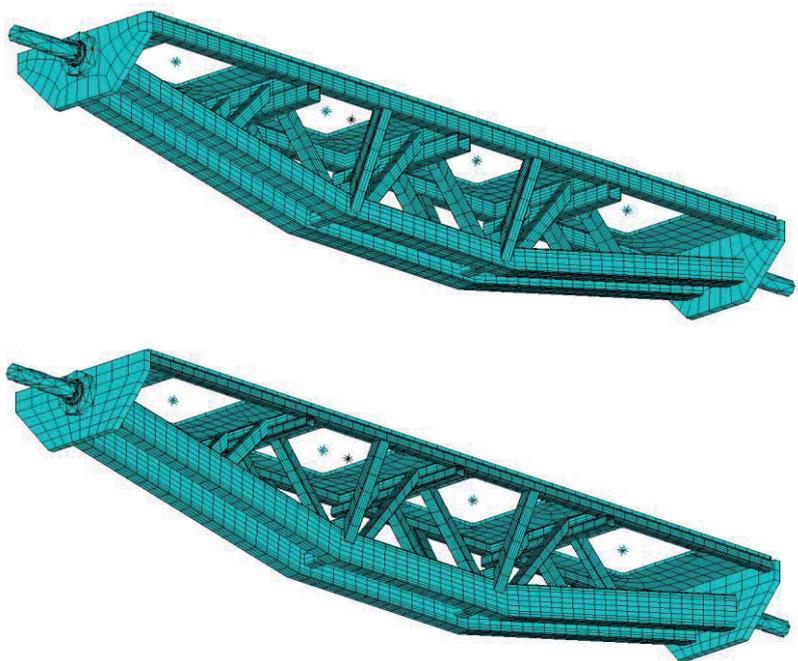


Abb. 7: Bestes Design der Einzeloptimierung unter Berücksichtigung von diskreten Designparametern

6 Zusammenfassung

Initiales Design	
Masse:	<b>207.2 kg</b>
Deformationen:	
0°-Lage:	<b>0.12 mm</b>
90°- Lage :	<b>0.10 mm</b>
180°- Lage :	<b>0.07 mm</b>

Optimierung mit kontinuierlichen Parametern	
Masse:	<b>186.1 kg</b>
Deformationen:	
0°-Lage:	<b>0.10 mm</b>
90°- Lage :	<b>0.08 mm</b>
180°- Lage :	<b>0.05 mm</b>



**Optimierung mit  
diskreten Parametern**Masse: **193.3 kg**

Deformationen:

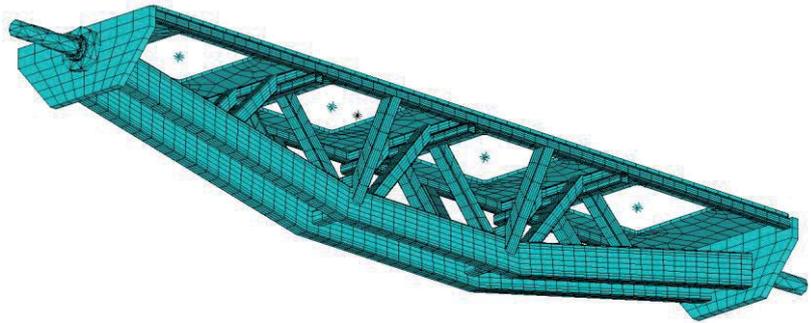
0°-Lage: **0.10 mm**90°- Lage : **0.08 mm**180°- Lage : **0.05 mm**

Abb. 8: Gegenüberstellung der Ausgangssituation mit den Ergebnissen der Optimierung

In diesem Artikel wurde die automatische Optimierung einer Positionier- und Haltevorrichtung unter Verwendung virtueller Methoden dargestellt. Ausgehend von einem parametrischen Geometriemodell konnten die Deformationen mit Hilfe der Finite Elemente Methode berechnet werden. Da anfangs unklar war, welche Zielgröße entscheidend ist, wurde mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse und multi-kriteriellen Optimierungen der Bereich sinnvoller Lösungen eingeschränkt. Bereits in diesem Schritt konnte eine der beiden Konstruktionsvarianten ausgeschlossen werden. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden maximal erlaubte Deformationen definiert und das Optimierungsproblem direkt gelöst. Als Ergebnis wurde die Masse um 10% und die maximale Deformation um 17% gegenüber der Ausgangssituation reduziert. Um eine kostengünstige Fertigung zu ermöglichen, wurden Standardprofilabmessungen innerhalb des Optimierungsvorgangs berücksichtigt. Auf Basis der eingeschränkten diskreten Parameter konnte die Masse um 7% und die Deformation wiederum um 17% auch unter Berücksichtigung dieser Fertigungsrestriktionen reduziert werden.

Die vorgestellten Analyseschritte wurden mit der Software optiSLang automatisiert durchgeführt. Die Umgebung der Ansys Workbench erlaubte die Kopplung einer vollparametrischen Geometriebeschreibung mit der mechanischen Analyse der verschiedenen Lastfälle. Aufgrund der Komplexität der Fragestellung kann man abschließend beurteilen, dass die automatische parametrische Optimierung hier eine entscheidende Zeitersparnis bei dem Entwurf optimaler Strukturen erbrachte.

## 7 Literatur

- [Iman 1982] Iman, R. L. & W. J. Conover "A distribution-free approach to inducing rank correlation among input variables" Communications in Statistics - Simulation and Computation 11, 311-334, 1982
- [Most 2011] Most, T. & Will, J., "Sensitivity analysis using the Metamodel of Optimal Prognosis", Tagesband der Weimarer Optimierungs- und Stochastiktag 8.0, 2011
- [optiSLang 2015] Dynardo GmbH, „Methods for multi-disciplinary optimization and robustness analysis“, optiSLang Dokumentation, Version 4.2.2, 2015
- [Thyssen 2015] ThyssenKrupp Schulte "Kaltgefertigte Stahlbau-Hohlprofile", Produktkatalog, [www.thyssenkrupp-schulte.de](http://www.thyssenkrupp-schulte.de), 2015

# Simulation von unkonventionellen Supraleitern – Anwendung der Finite Elemente Methode

Mojtaba Mashmool  
Erwin Quarder Gruppe

Mahdi Mottahedi, Juan Santiago Lopez, Hans-Peter Roeser, Armin Lechler  
Universität Stuttgart

Die von John Bardeen, Leon Neil Cooper und John Robert Schrieffer 1957 entwickelte BCS-Theorie beschreibt das physikalische Phänomen in konventionellen Supraleitern. Nach der Entdeckung der unkonventionellen Supraleiter sind viele Experimente und Untersuchungen durchgeführt worden, um zu sehen, ob die BCS-Theorie auch auf die unkonventionellen Supraleiter angewendet werden kann. Im Rahmen dieser Publikation wird die BCS-Theorie mittels Ansys für zwei unkonventionellen Supraleiter  $\text{La}_{1,85}\text{Sr}_{0,15}\text{CuO}_4$  mit  $T_c = 38 \text{ K}$  und  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  mit  $T_c = 1,5 \text{ K}$  simuliert.

Der elektrische Widerstand innerhalb eines Materials kommt aus der Kollision und der Streuung von freien Elektronen mit sich selbst und mit Gitteratomen aus dem Kristall zustande. Die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der Temperatur ist für viele Materialien untersucht worden. Es gibt aber nur einigen Materialien, die unterhalb einer bestimmten Temperatur keinen elektrischen Widerstand aufweisen. Diese bestimmte Temperatur nennt sich die kritische Temperatur  $T_c$ , und den dazugehörigen Effekt nennt man Supraleitung. Die Supraleitung kann beschrieben werden, indem zwei Elektronen miteinander gepaart sind, und somit bilden sie zusammen das sogenannte Cooper-Paar. Laut der Quantenmechanik können diese Paare nicht gestreut werden; d.h., wenn eine elektrische Spannung auf einem Supraleiter angelegt wird, werden die Cooper-Paare den elektrischen Strom ohne Verlust tragen, solange der Supraleiter unterhalb seiner kritischen Temperatur  $T_c$  ist, und somit gibt es keinen elektrischen Widerstand.

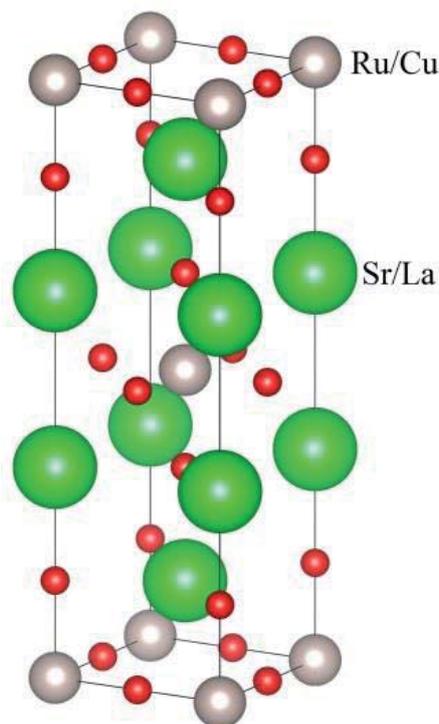


Abb. 1: Die Elementarzelle von beiden Supraleitern.

Für die Paarung von zwei Elektronen muss eine anziehende Wechselwirkung vorhanden sein, die stärker als die abstoßende Coulombsche Wechselwirkung zwischen zwei Elektronen sein muss. Die benötigte Wechselwirkung zur Paarung kommt aus der Verformung des Atomgitters zustande. Die Elementarzelle wird aufgrund der Coulombschen Wechselwirkung zwischen einem beweglichen freien Elektron und Ionen innerhalb der Elementarzelle verformt. Diese dadurch entstehende Verformungsenergie kann von einem zweiten beweglichen Elektron gespürt werden, und somit bilden die zwei Elektronen zusammen ein Cooper-Paar. Laut der BCS-Theorie kann die Bildungsenergie  $\Delta$  für ein Cooper-Paar aus der Energie dieser Verformung  $V_0$ , der Debye-Frequenz  $\omega_D$  und der Zustandsdichte  $D(E_f)$  des Supraleiters durch die folgende Gleichung berechnet werden, wobei  $\hbar$  ist die reduzierte Plancksche Konstante ist.

$$1) \quad \Delta = \hbar \omega_D \exp\left(\frac{-2}{D(E_f)V_0}\right)$$

Für Temperaturen oberhalb der kritischen Temperatur  $T_c$  werden Cooper-Paare aufgrund der thermischen Fluktuationen aufgebrochen. Dieses Verhältnis zwischen der thermischen Energie und der Bildungsenergie wird durch Gleichung 2 beschrieben, wobei  $c$  die superleitende Konstante ist,  $k_b$  die Boltzmann-Konstante und  $T_c$  die kritische Temperatur.

$$2) \quad \frac{2\Delta}{c} = k_b T_c$$

Rechnerisch ist der Wert der superleitenden Konstante  $c$  gleich 3,53. Aber man hat experimentell verschiedene Werte für die superleitende Konstante  $c$  gefunden. Die meisten konventionellen Supraleiter haben einfache Kristallstrukturen und sind häufig reine Elemente aus dem Periodensystem. In dieser Arbeit weisen die zwei hier untersuchten unkonventionellen Supraleiter  $\text{La}_{1,85}\text{Sr}_{0,15}\text{CuO}_4$  und  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  die gleichen Kristallstrukturen aber unterschiedlichen kritischen Temperaturen auf. Die Verformung des Atomgitters ist mathematisch nicht berechenbar, da die Kristallstruktur von den beiden Supraleitern sehr komplex ist. Deswegen wird das Finite-Elemente-Programm Ansys verwendet, um die Verformungsenergie der Elementarzelle zu simulieren.

Bevor die Simulation durchgeführt wird, müssen die Elementarzellen von den beiden Supraleitern in Ansys konstruiert werden. Dazu werden die Federkonstanten zwischen den einzelnen Ionen in der Elementarzelle und die Masse der Ionen benötigt. Die Federkonstanten können entweder aus der Ramanspektroskopie oder mit der Potential Theorie berechnet werden. Für die Konstruktion der Elementarzelle in Ansys werden zwei Elemente MASS21 und COMBIN14 jeweils für die Masse und die Federkonstante ausgewählt.

Die Verformung wird durch Coulombsche Kräfte zwischen dem beweglichen Elektron und den Ionen in der Elementarzelle verursacht. Deshalb muss der zeitliche Verlauf der Coulombschen Kräfte für ein bestimmtes Zeitintervall  $\Delta t$  bestimmt werden. Für diese zwei Supraleiter gibt es in der Mitte der Elementarzelle zwei Ebenen, auf denen sich das Elektron bewegt. In diesem Fall haben wir angenommen, dass sich das Elektron auf diesen Ebenen in [100] Richtung zwischen dem Sauerstoff- und Kupfer-Ion für  $\text{La}_{1,85}\text{Sr}_{0,15}\text{CuO}_4$  bzw. dem Sauerstoff- und Ruthenium-Ion für  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  bewegt (Abbildung 2).

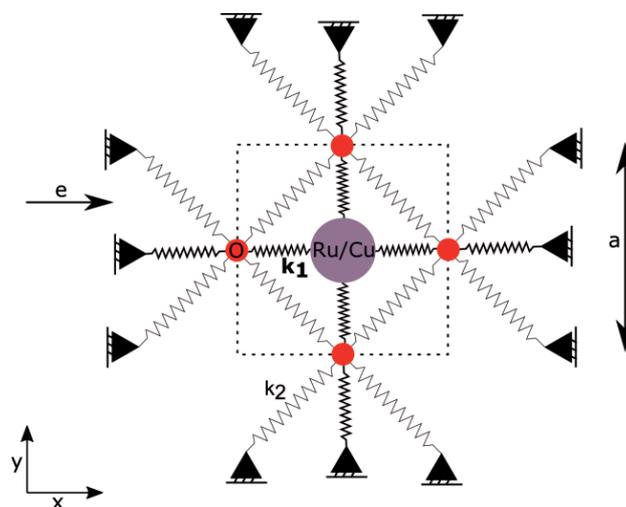


Abb. 2: Die Ebene in der Mitte der Elementarzelle bestehend aus dem Sauerstoff- und Kupfer-Ion oder Ruthenium-Ion.  $k_1$  und  $k_2$  sind zwei Federkonstanten zwischen Ionen innerhalb der Ebene.  $a$  ist der Kristallparameter.

Die Geschwindigkeit von den freien Elektronen, die Zustandsdichte und die Debye-Frequenz für die beiden Superleiter sind vorgegeben. Aus der Elektronengeschwindigkeit und dem Elektronweg wird der zeitliche Verlauf der Coulombschen Kräfte für alle Ionen innerhalb der Elementarzelle ermittelt und tabellarisch gespeichert. Diese Tabellen werden in Ansys als die Coulombschen Kräfte hochgeladen und sollen danach auf die Ionen in der Elementarzelle einwirken. Für die transiente Simulation für beide Supraleiter werden jeweils die Zeitintervalle  $\Delta t_1 = 6,13 \times 10^{-13}$  und  $\Delta t_2 = 3,48 \times 10^{-12}$  ( $\Delta t_1$  steht für  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  und  $\Delta t_2$  für  $\text{La}_{1,85}\text{Sr}_{0,15}\text{CuO}_4$ ) genommen. Nach der Durchführung der transienten Simulation muss die Verformungsenergie aus der Summe der potentiellen Energie einzelner Federkonstanten und der kinetischen Energie einzelner Ionen berechnet werden. In Abbildung 3 ist die Verformung der Elementarzelle nach der Simulation dargestellt.

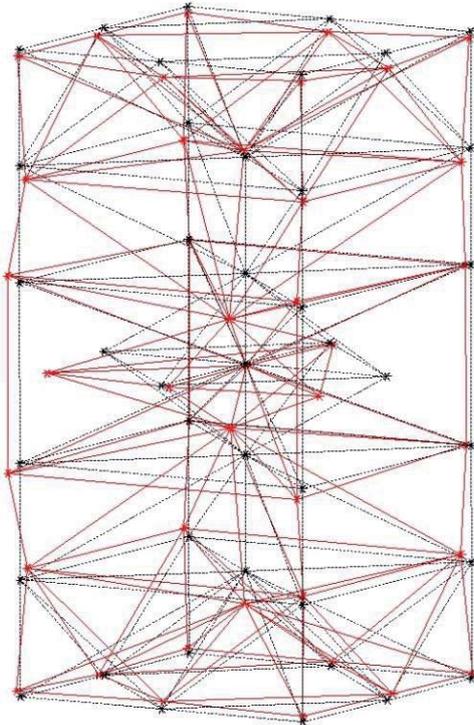


Abb. 3: Die Verformung der Elementarzelle zu einer bestimmten Zeit  $t = 7,028 \times 10^{-14}$ . Die gestrichelte Elementarzelle steht für die unverformte Elementarzelle und die rote für die verformte Elementarzelle.

Aus der simulierten Verformungsenergie  $V_0$ , der Zustandsdichte  $D(E_f)$  und der Debye-Frequenz  $\omega_D$  kann die Bildungsenergie  $\Delta$  nach Gleichung 1 ermittelt werden. Die supraleitenden Konstanten werden nach Gleichung 2 berechnet und in Tabelle 1 eingegeben.

Supraleiter	$c$ Simulation	$c$ Experiment
$\text{Sr}_2\text{RuO}_4$	2,43	2,17 [1] 2,32 [2]
$\text{La}_{1,85}\text{Sr}_{0,15}\text{CuO}_4$	0,91	6,1 [3]

Tab. 1: Die supraleitenden Konstanten  $c$  beider Supraleiter.

Aufgrund der Ergebnisse der supraleitenden Konstanten in Tabelle 1 kann  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  mit der BCS-Theorie beschrieben werden, da seine ermittelte supraleitende Konstante von 2,43 in der Nähe des theoretischen Werts von 3,53 der BCS-Theorie liegt. Die ermittelte supraleitende Konstante von 0,91 des zweiten Supraleiters  $\text{La}_{1,85}\text{Sr}_{0,15}\text{CuO}_4$  zeigt, dass die Supraleitung in  $\text{La}_{1,85}\text{Sr}_{0,15}\text{CuO}_4$  aufgrund seiner kleinen supraleitenden Konstante nicht durch die BCS-Theorie beschrieben werden kann. Diese Schlussfolgerung wurde durch Ref. [3] bestätigt. Diese kleine supraleitende Konstante von 0,91 zeigt, dass die Verformungsenergie der Elementarzelle in diesem Supraleiter nicht ausreicht, um die Elektronen unterhalb der kritischen Temperaturen zu paaren, da die thermischen Fluktuationen stärker als diese Verformungsenergie sind. Anhand dieses Ergebnisses muss ein anderer Mechanismus für die Paarung der zwei Elektronen in  $\text{La}_{1,85}\text{Sr}_{0,15}\text{CuO}_4$  vorhanden sein, der thermische Fluktuationen überwinden kann, so dass Cooper-Paare unterhalb der kritischen Temperaturen nicht aufgebrochen werden. Der experimentell ermittelte Wert für die supraleitende Konstante von 6,1 aus Ref. [3] bestätigt, dass es diesen anderen Mechanismus gibt. Aus der gemessenen Bindungsenergie und Gleichung 2 ergibt sich ein Wert von 6,1 für die supraleitende Konstante. Da dieser Wert doppelt so groß wie 3,53 ist, ist dieser andere Mechanismus stark genug, um die thermischen Fluktuationen zu überwinden und den Wert von 6,1 zu erreichen.

## Literatur

- [1] P. L. Contreras, "Electronic heat transport for a multiband superconducting gap in  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ ," *Revista Mexicana de Fisica*, 57 (2011) 395–399, October 2011.
- [2] H. Suderow, V. Crespo, I. Guillamon, S. Vieira, F. Servant, P. Lejay, J. P. Brison and J. Flouquent, "A nodeless superconducting gap in  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  from tunneling spectroscopy," *New Journal of Physics*. 11 (2009) 093004 (8pp), 2 September 2009.
- [3] P. Leiderer, R. Feile, B. Renker and D. Ewert, "Tunneling and Point Contact Investigations of  $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ ," *Z. Phys. B - Condensed Matter*, 67, 25-29 (1987), 21 April 1987.

# FEM-Echtzeitsimulation für die Dynamik elastischer Körper

Dragan Marinkovic, Manfred Zehn  
TU Berlin

Unter einer Reihe von Methoden, die mit dem Ziel entwickelt wurden das physikalische Verhalten deformierbarer Objekte mit sehr hoher Genauigkeit zu simulieren, hat sich die Finite-Elemente-Methode (FEM) verdienstermaßen den Ruf der "state-of-the-Art" Methode erworben. Typische Strukturberechnungsaufgaben werden mit sogenannten "off-line" FEM-Berechnungen gelöst. Allerdings hat die wachsende Rechenleistung moderner Standardhardware die FEM Entwicklung hin zu hocheffizienten interaktiven Simulationen angetrieben, so dass eine breite Palette von Anwendungen ermöglicht wird, einschließlich verschiedener Arten von Virtual-Reality-Simulatoren, Mehrkörpersystemdynamik, automatische Steuerung von Strukturverhalten, Anwendungen in der Unterhaltungsindustrie, um nur einige zu nennen.

Bei vielen solcher Anwendungen ist es erforderlich verschiedene Aspekte des Strukturverhaltens zu berücksichtigen. Geometrische Nichtlinearitäten, die charakteristisch sind für das Deformationsverhalten mit großen Verschiebungen, gehören in diesem Umfeld zur Gruppe der häufigsten Anforderungen.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über neuentwickelte FEM-Formulierungen mit dem Ziel hocheffiziente und schnelle interaktive Simulationen mit geometrischen Nichtlinearitäten zu ermöglichen. Die Techniken, die verwendet wurden um die numerische Last zu verringern und damit die Ziele zu erreichen, werden zusammen mit den Zeitintegrationsverfahren und Lösern für Modelle der Dynamik diskutiert. Sowohl volle FEM-Modelle und im Modal-Raum reduzierte FEM-Modelle wie auch ihre Kombination, werden berücksichtigt. Eine Reihe von Beispielen wird bereitgestellt, um das breite Spektrum der Anwendbarkeit zu veranschaulichen.

## 1 Einführung

Eine Anzahl von Verfahren wurden entwickelt mit dem Ziel das physikalische Verhalten deformierbarer Objekte mit sehr hoher Genauigkeit zu simulieren. Die Finite-Elemente-Methode (FEM), als dominierende auf dem Gebiet, hat verdienstermaßen den Ruf der "state-of-the-Art" Methode erworben. Zusammen mit CAD-Software-Paketen, stellt sie die beste verfügbare Option dar in Bezug auf Leistung und Zuverlässigkeit in verschiedenen Strukturberechnungsaufgaben. Typische Strukturberechnungsaufgaben werden als sogenannte "off-line" Berechnungen mit statischen Eingabedaten ausgeführt, wobei der Begriff "statisch" darauf hindeuten sollte, dass die Daten während der Simulation nicht verändert werden. Die Analyse der Ergebnisse ist auch ein separater Schritt, der im Postprozessor durchgeführt wird.

Das starke Tempo der Hardwareentwicklung in den letzten Jahrzehnten ermöglichte die Grenzen der simulationsbasierten Verfahren (Engineering, Training, etc.) in Richtung verschiedener anspruchsvoller Szenarien zu verschieben, in denen hohe Simulationseffizienz von entscheidender Bedeutung ist. Auf eine vollständige Liste der Einsatzgebiete, in denen hocheffiziente Simulation sehr wichtig ist, kann hier nicht geben werden, aber zwei interessante Einsatzfelder sind nachstehend aufgeführt:

- Virtual Reality (VR) ist ein ausgezeichnetes Werkzeug in vielen Bereichen der Wissenschaft, Technik und Training. Mit dem VR-Konzept wird dem Benutzer die Möglichkeit der Manipulation und Analyse einer virtuellen 3D-Welt angeboten, als ob die Objekte direkt vor ihm vorhanden sind. In vielen Anwendungsbereichen erfordert die VR die Simulation des Verhaltens verformbarer Körper, oft mit großen oder mittelgroßen Verformungen. Ein Beispiel für solche speziellen Anforderungen der VR-Technologie sind Trainingssimulatoren für die Chirurgie. Die Forderung nach "real-time" Berechnung ist in VR-Konzepten eigentlich ein Muss, während die Simulationsgenauigkeit eine niedrigere Priorität hat.
- Eine Reihe von Mehrkörper-Simulations-Softwarepaketen (MBS) wurden mit dem Ziel entwickelt, Ingenieuren zu helfen, verschiedene Arten von komplexen mechanischen Systemen zu modellieren, simulieren, analysieren

ren und damit auch zu entwerfen. Ihr ursprüngliches Ziel war die Analyse des nichtlinearen dynamischen Verhaltens von Starrkörpermechanismen. Heute jedoch sind die Anforderungen an MBS-Softwarepakete viel anspruchsvoller. Diese sollten nicht nur interdisziplinäre Modellierung und Analyse ausführen können, sondern auch die Berücksichtigung des elastischen Verhaltens ermöglichen, was neben der Starrkörperbewegung in vielen Fällen eine hohe Priorität hat. Dieses bietet zahlreiche Vorteile, wie z.B. die Möglichkeit die Interaktion zwischen Verformungen der elastischen Körper und dem Verhalten des übrigen Systems zu analysieren, die Bestimmung der Spannungszustände der Systemkomponenten, die Beurteilung der Eignung des Designs für die vorgesehene Lebensdauer, usw. MBS-Systeme sind für die Forderung nach hoher Effizienz bekannter, damit die Rechenzeiten innerhalb akzeptabler Grenzen bleiben.

Es sollte betont werden, dass leistungsfähige Hardware nur eine der Komponenten darstellt, um das genannte Ziel zu erreichen. Die Verbesserung der numerischen Leistungsfähigkeit mittels Hardware hat ihre Grenzen und ist auch ziemlich teuer. Wir wollen uns daher auf leistungsfähige Standardhardware beschränken. Weitere Möglichkeiten sind die Modifikationen/Vereinfachungen der FEM-Formulierungen und die Softwareoptimierung.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die von den Autoren entwickelten FEM-Formulierungen, die verschiedene Ideen darstellen, wie man die numerische Belastung der Simulation reduzieren kann, um damit Echtzeit- oder Nahezu-Echtzeit-Simulation zu ermöglichen.

## 2 Angewandte Zeitintegrationsverfahren und Löser

Die betrachteten Anwendungen beinhalten dynamisches Strukturverhalten. Daher behandelt dieser Abschnitt numerische Verfahren für die Zeitintegration von dynamischen Gleichungen in Bezug auf die berücksichtigte Anwendung. Die FEM-Gleichung transienter Strukturmechanik kann in dieser Form gegeben werden:

$$M {}^t\ddot{u} + {}^tC {}^t\dot{u} = {}^t f_{ext} - {}^t f_{int} \quad (1)$$

wo  $M$  und  $C$  die Masse- und Dämpfungsmatrix sind,  $f_{ext}$  and  $f_{int}$  sind die externen (Anregung) und inneren (elastischen) Kräfte des FEM Modells,  $u$  sind die Knotenverschiebungen, wobei die Punkte zeitliche Ableitungen bedeuten (Geschwindigkeit und Beschleunigung), und das linke Superscript ist die Zeit, zu der die Größe genommen wird.

### 2.1 Zeitintegrationsverfahren

Für eine transiente FE Lösung ist die Integration von dynamischen Gleichgewichtsbedingungen die zeitaufwendigste Aufgabe. Die Verfahren der direkten Integration werden in die Gruppen der expliziten und impliziten Verfahren unterteilt. Die wichtigsten Unterschiede zwischen diesen sind die numerischen Kosten der Berechnung eines Zeitschrittes und die Zeitschrittgröße aufgrund von Stabilitätskriterien [1]. Die impliziten Methoden sind unbedingt stabil, was zu ihrem Vorteil zählt. Dies bedeutet, dass die Zeitschrittgröße nur von den Genauigkeitsanforderungen des Benutzers und der Frequenzanteile im Erregersignal abhängt. Jedoch in der Wahl der Zeitschrittgröße sollte auch berücksichtigt werden, dass die notwendigen Iterationen, insbesondere in einer geometrisch linearen Analyse, einen relativ großen Rechenaufwand bedeuten. Im Gegensatz zu den impliziten Verfahren, ist bei den expliziten Verfahren eine Faktorisierung der Steifigkeitsmatrix nicht erforderlich. Obwohl Einsparungen durch die Vermeidung der Verwendung eines Matrixinverters gemacht werden, wird dieser Vorteil durch die Einschränkung der Zeitschrittgröße erkauft, die kleiner als ein bestimmter kritischer Wert sein muss, damit die Lösung stabil wird. Der kritische Zeitschritt ist direkt von der größten Eigenfrequenz des FEM Modells abhängig und damit durch die Diskretisierung der Struktur (das kleinste Element) beeinflusst. Ein kurzer Zeitschritt hat offenbar negative Auswirkung auf die Gesamtrechenzeit der Simulation, aber auf der anderen Seite sind die Iterationsfehler aufgrund von Nichtlinearitäten vernachlässigbar klein und daher werden keine Iterationen durchgeführt.

Die Autoren haben beide Formen der Zeitintegrationsverfahren in ihren Entwicklungen berücksichtigt. Je nach Anwendung kann das besser geeignete Verfahren verwendet werden. Mit dem expliziten Zeitintegrationsverfahren ist das Gleichungssystem entkoppelt und somit einfach zu lösen. Andererseits bleibt bei den impliziten Zeitintegrationsverfahren das FE Gleichungssystem gekoppelt. Die Lösung dieses Systems ist numerisch die anspruchsvollste Aufgabe im Rahmen der FEM. Ein FE Gleichungssystem kann aus mehreren 100.000 Gleichungen bestehen und das Lösen eines solchen Systems ist eine zeitaufwendige Aufgabe. Für die FEM sind zwei Solvertypen von Interesse, um das große Gleichungssystem zu lösen - direkte und iterative Solver.

## 2.2 Solver

Direkte Solver stellen seit vielen Jahren die Standardlösung in den kommerziellen FEM-Programmen dar. Sie sind durch hohe Robustheit und deutliche Optimierungsmöglichkeiten gekennzeichnet. Sie sind oft die erste Wahl des Benutzers für die FEM Berechnungen, wo das Hauptziel die Genauigkeit der erzielten Ergebnisse ist. Iterative Löser haben in den letzten zehn Jahren stark an Bedeutung gewonnen, und zwar nach der Umsetzung bestimmter Modifikationen, die es ihnen ermöglicht hat, mehr als eine anständige Alternative für die direkten Solver in vielen Anwendungsfällen zu werden. Sie ermöglichen die Verwendung der Sparseform von Systemmatrizen, wodurch nur ein Teil des Speichers, den die direkten Löser brauchen, erforderlich ist. Die Autoren verwenden die Methode der vorkonditionierten konjugierten Gradienten (PCG) als Hauptvertreter der iterativen Solver zum Lösen der gekoppelten FE Gleichungssysteme.

Das Verfahren beinhaltet drei Matrix-Vektor-Produkte, drei Vektorupdates und vier innere Produkte pro Iteration, was es numerisch sehr attraktiv macht. Die Anzahl der Operationen ist im Vergleich zu den konjugierten Gradienten Solvern ohne Vorkonditionierung etwas größer, aber eine sorgfältige Wahl eines Vorkonditionierers, der ausreichend die Konditionszahl des Systems reduziert, verbessert die Konvergenzgüte des Verfahrens ausreichend, um die zusätzlichen Aufwendungen, die durch den Vorkonditionierer entstehen, wettzumachen. Als Vorkonditionierer verwenden die Autoren eine Diagonalmatrix, deren Diagonalelemente gleich der der Diagonalelemente der Systemmatrix sind. Die Wahl stellt einen guten Kompromiss dar, weil diese die Konditionszahl deutlich reduziert, wobei die Inversion der Matrix relativ einfach ist. Es sollte betont werden, dass es eine Reihe weiterer Möglichkeiten zur Vorkonditionierung gibt.

Aufgrund geometrischer Nichtlinearitäten werden in jedem Zeitschritt die Systemmatrix wie auch die rechte Seite des Gleichungssystems aktualisiert, was heißt, dass die Erregung während der Simulation auch variabel ist. Mit diesen Simulationsvoraussetzungen können die Vorteile des direkten Lösers, basierend auf Cholesky-Zerlegung, nicht ausgenutzt werden. Andererseits bietet der iterative Löser eine sehr einfache Möglichkeit zur Durchführung eines Ausgleichs zwischen der Lösungsgenauigkeit und dem Rechenaufwand, indem die Anzahl der durchgeführten Iterationen eingeschränkt wird. Weiterhin kann die Leistungsfähigkeit des iterativen Lösers merklich durch eine vernünftige Wahl des Ausgangsvektors des iterativen Prozesses verbessert werden. Dies ist besonders interessant in der Dynamik, wo das Gleichungssystem nach den Knotengeschwindigkeiten gelöst wird. Die Knotengeschwindigkeiten ändern sich nämlich in der Regel nicht dramatisch innerhalb eines Zeitschrittes. Daher wäre es eine gute Wahl die Knotengeschwindigkeiten aus dem vorherigen Zeitschritt als Ausgangsvektor für den iterativen Löser im nächsten Zeitschritt anzuwenden. Dies verbessert die Effizienz der numerischen Simulation, da weniger Iterationsschritte nötig sind, um die Lösung zu erhalten.

## 3 Feder-Masse-Systeme

Wie bereits erwähnt, um die festgelegten Ziele zu erreichen, werden bestimmte Vereinfachungen der Formulierungen, die das Verhalten der verformbaren Körper beschreiben, implementiert. Ein Feder-Masse-System stellt einen stark vereinfachten Ansatz dar, um das elastische Verhalten eines Kontinuums zu beschreiben. Die daraus resultierenden Vorteile sind, dass der Ansatz rechentechnisch sehr effizient wie auch einfach zu implementieren ist, wobei große Verformungen einfach behandelt werden können. Aber diese Vorteile kommen zusammen mit ein paar ziemlich deutlichen Nachteilen, einschließlich der wesentlichen Genauigkeitsprobleme und Mehrdeutigkeit der Masse- und Struktursteifigkeitsverteilung.

Das Paper von Nealen, et al., [2], gibt einen guten Überblick über die möglichen Probleme und die von verschiedenen Autoren für die Feder-Masse-Systeme angebotenen Lösungen. Mit diesen Eigenschaften eignen sich Feder-Masse-Systeme als eine vernünftige Wahl für VR-Simulatoren, die nicht mehr als Plausibilität des Deformationsverhaltens erfordern.

Die Autoren haben diese Formulierung in eine OpenGL-basierten Testumgebung in Kombination mit einem expliziten Zeitintegrationsverfahren implementiert. Screen-Shots von ein paar einfachen Beispielen sind unten gegeben, um einen eher allgemeinen Eindruck über den Ansatz und die erzielbaren Ergebnisse zu verschaffen. Die Abb. 1 zeigt die Anwendung des Feder-Masse-Systems, um eine quasi 2D-Struktur zu modellieren - ein Tuch. Große Verformungen während einer interaktiven Simulation sind in der Abbildung zu erkennen.

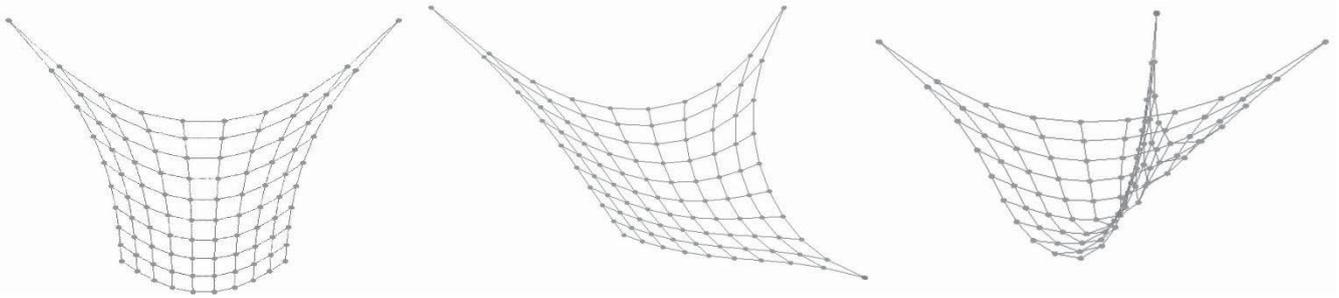


Abb. 1: Anwendung der Feder-Masse-Systeme, um eine 2D-Struktur zu modellieren

Die Abb. 2 zeigt die Anwendung desselben Ansatzes, um eine 3D-Struktur zu modellieren. Der dargestellte Würfel besteht aus Zellwürfeln, wobei die Massen in den einzelnen Zellwürfeln durch die Federn entlang der Kanten, Flächendiagonalen und Raumdiagonalen der Zellwürfel verbunden sind. Die Abbildung zeigt das Drahtmodell, um die Massenverteilung und die Verbindungen der Punktmassen durch Federn zu veranschaulichen.

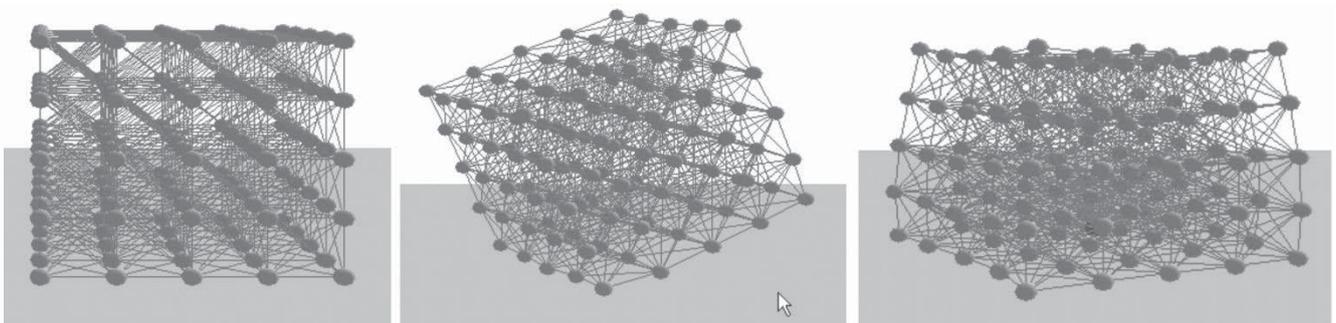


Abb. 2: Anwendung der Feder-Masse-Systeme, um eine 3D-Struktur zu modellieren

#### 4 Modalraum basierte Lösungen

FE-Modelle von Strukturen, die in Ingenieurwissenschaften berechnet werden, haben oft eine große Anzahl von Freiheitsgraden. Diese Zahl könnte bis zu mehreren 100.000 gehen und die Lösung des resultierenden Gleichungssystems ist numerisch sehr anspruchsvoll. Modellreduktion ist eine der grundlegenden Ideen zur Verringerung der Rechenlast. Unter verschiedenen Ansätzen zur Modellreduktion, ist die Lösung im Modalraum sehr beliebt für die Simulation des dynamischen Verhaltens. Die Lösung impliziert, dass orthogonale Schwingungsformen, die in einem Vorschritt vor der Simulation berechnet werden, die modalen Freiheitsgrade bestimmen, die weiter genutzt werden, um das elastische Verhalten des Körpers zu beschreiben. Nicht nur die Anzahl der Freiheitsgrade wird auf diese Weise wesentlich verringert, sondern gleichzeitig werden auch die Gleichungen des elastischen Verhaltens entkoppelt, bzw. die generalisierten Massen- und Steifigkeitsmatrizen werden diagonal. Die Technik ist besonders praktisch für die Strukturen, die einer bandbegrenzten Anregung ausgesetzt werden.

Diese Methode ist die übliche Lösung in MBS-Programmen, um das elastische Verhalten von Strukturen zu berücksichtigen. Die in den kommerziellen Programmen verwendete Lösung ist die Technik der Component-Mode-Synthese (CMS), insbesondere die Craig-Bampton-Methode [3], die jedoch nicht vollständig entkoppelte Matrizen anwendet. MBS-Programme wenden die Vorgehensweise, die als mitbewegendes Referenzkoordinatensystem bezeichnet wird, an. Die Idee hinter dem Ansatz besteht darin, die Gesamtbewegung in eine große Starrkörperbewegung, die durch die Bewegung des Referenzkoordinatensystems beschrieben wird, und eine kleinere Verformungsbewegung, die im Modalraum bezüglich dem mitbewegten Referenzkoordinatensystem beschrieben wird, zu zerlegen. Dies ermöglicht eine Berücksichtigung der Nichtlinearitäten, die aus großen Starrkörperbewegungen resultieren, was eigentlich das ursprüngliche Ziel der Programme für MBS-Dynamik war. Je nach Topologie der flexiblen Körper und dem Deformationsverhalten, kann dieser Ansatz zufriedenstellende Ergebnisse auch bei Deformationen liefern, die in der Regel als mittelgroß beschrieben werden und die sonst geometrisch nichtlineare FEM-Formulierung erfordern würden, um das Verformungsverhalten mit befriedigender Genauigkeit zu bestimmen. Aber ganz allgemein gesprochen, ist der Ansatz der Modalreduktion für lineares Verformungsverhalten gemeint, da die verwendeten Freiheitsgrade (Eigenformen)

eine Eigenschaft des FEM-Modells darstellen, das in seiner ursprünglichen Konfiguration linearisiert wird. Die Autoren haben vor kurzem neue Methoden entwickelt, um das geometrisch nichtlineare Verhalten zu einem gewissen Grad im Modalraum bestimmen zu können.

#### 4.1 Der Ansatz basierend auf der geometrischen Steifigkeitsmatrix

Die Annahme der Linearität impliziert sehr kleine Verschiebungen gegenüber Strukturabmessungen. Diese Annahme ist auch wichtig für die Formulierung, die den linearen Ansatz so erweitert, dass nur die Spannungsversteifigungseffekte durch eine vereinfachte Berechnung der geometrischen Steifigkeitsmatrix berücksichtigt werden. Ein ähnlicher Ansatz existiert bereits im kommerziellen Programm Simpack [4]. Der Ansatz im Simpack unterscheidet zwischen den Kräften, in Bezug auf welche die Struktur recht flexibel ist (d.h. Kräfte, die große Verformungen verursachen können) und den Kräften in Bezug auf welche die Struktur sehr steif ist [5]. Die letztgenannten Kräfte können ziemlich groß sein, wodurch signifikante Spannungen in der Struktur hervorgerufen werden, jedoch ohne große Verformungen. Die großen Spannungen beeinflussen die Steifigkeit der Struktur und der Einfluss wird durch die geometrische Steifigkeitsmatrix berücksichtigt. Da die Verformungen klein sind, wird angenommen, dass die Spannungen linear abhängig sind und der gesamte Spannungszustand aufgrund mehrerer Lastfälle durch eine lineare Überlagerung der Spannungen aufgrund einzelner Belastungsfälle berechnet wird. Dies kann auch als Ansatz der "kraftskalierten geometrischen Steifigkeit" bezeichnet werden.

Die von den Autoren ausgeführte Modifikation des Verfahrens ist eigentlich ein "verformungsskalierter" Ansatz [6]. Das heißt, für jede Schwingungsform werden der entsprechende Spannungszustand und die geometrische "Einheitssteifigkeitsmatrix" berechnet. Die gesamte geometrische Steifigkeitsmatrix wird durch die Skalierung der geometrischen "Einheitssteifigkeitsmatrizen" mit Hilfe von aktuellen modalen Koeffizienten für jede einzelne Mode und deren anschließende Summation erhalten. Die Bestimmung der geometrischen "Einheitssteifigkeitsmatrizen" für jede Mode ist eine ziemlich anspruchsvolle Aufgabe, aber sie wird nur einmal vor der Simulation durchgeführt.

Eine verhältnismäßig einfache Plattenstruktur in Abb. 3a wurde ausgewählt, um das Verfahren zu demonstrieren. In der linearen Analyse bestimmt nur die Biegesteifigkeit das elastische Verhalten der Platte. In Wirklichkeit aber machen die Membraneffekte bereits nach einer kleinen Verformung das elastische Verhalten der Platte wesentlich steifer.

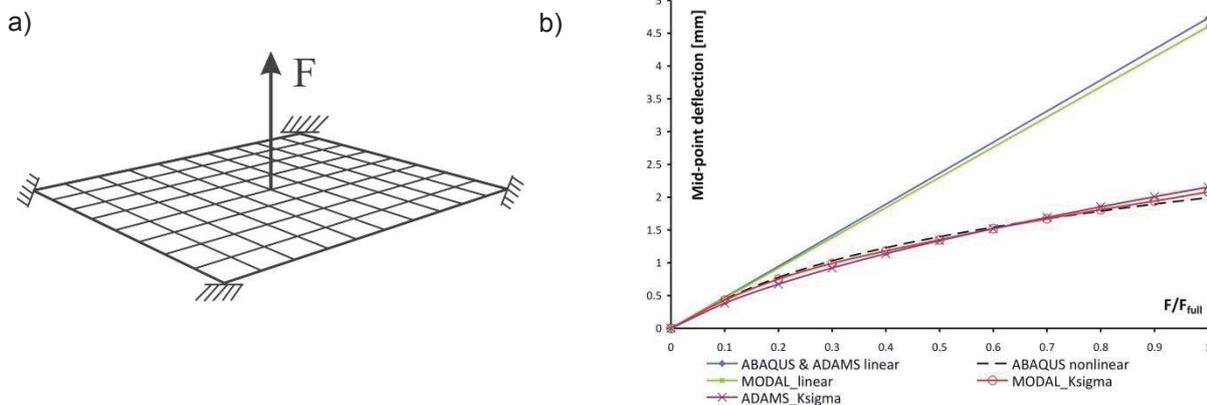


Abb. 3: a) Platte mit eingespannten Ecken und die Anregung; b) Mittelpunktauslenkung nach unterschiedlichen Formulierungen

Das Diagramm in der Abb. 3b zeigt die Auslenkung des Plattenmittelpunktes berechnet mit Hilfe von unterschiedlichen Formulierungen. Das nichtlineare Ergebnis von ABAQUS ist die Referenzlösung. Das vorgeschlagene Verfahren soll eine Verbesserung der linearen Lösung in einem etwas breiteren Bereich um die ursprüngliche Strukturkonfiguration anbieten (die Verformung ist dabei immer noch relativ klein), bzw. die Lösung sollte in einem breiteren Bereich als bei der linearen Lösung gut approximiert werden. Wie in der Abb. 3b zu sehen ist, liefert in diesem speziellen Fall das Verfahren eine sehr gute Annäherung. Aber es muss betont werden, dass der Erfolg des Verfahrens fallabhängig ist, da nur einer der Gründe für das geometrisch nichtlineare Verhalten berücksichtigt wird.

## 4.2 Der Ansatz der partiell gedrehten Verschiebungen

Der Ansatz der partiell gedrehten Verschiebungen soll die geometrisch nichtlinearen Effekte berücksichtigen, die durch relativ große Drehungen der einzelnen Unterbereiche der Struktur in Bezug auf die Struktur als Ganzes entstehen. Die Idee hinter dem Verfahren ist ziemlich einfach und besteht aus zwei Schritten, wie in der Abb. 4 am Beispiel eines eingespannten Balkens dargestellt wird. Im ersten Schritt werden die Verschiebungen der Struktur als eine Folge ihrer Verformung mittels modaler Superponierung (Abb. 4a) bestimmt. Die vorhergesagte Verschiebung des freien Balkenendes wäre senkrecht zu der ursprünglichen Konfiguration, so dass die Spitze auf der senkrechten Gerade zum Balken bleibt. Diese Bewegung ist jedoch teilweise auch eine Starrkörperbewegung, und in der Realität würde das freie Ende des Balkens eine Bewegung ähnlich der gestrichelten Linie in der Abb. 4b ausführen. Die Starrkörperbewegung unterscheidet sich für verschiedene Teilchen der Struktur. Im zweiten Schritt wird eine Art gemittelter Starrkörperdrehung bestimmt (Abb. 4c), und die wird dann verwendet, um im Modalraum bestimmte Verschiebungen des Körpers (Fig. 4d) zu drehen. Die Verbesserung der Genauigkeit, mit der die verformte Konfiguration bestimmt wird, hängt von der Komplexität der Verformung ab wie auch von der Möglichkeit eine adäquate Mittelung der Starrkörperdrehung auszuführen, die in den im Modalraum gerechneten Verschiebungen enthalten ist.

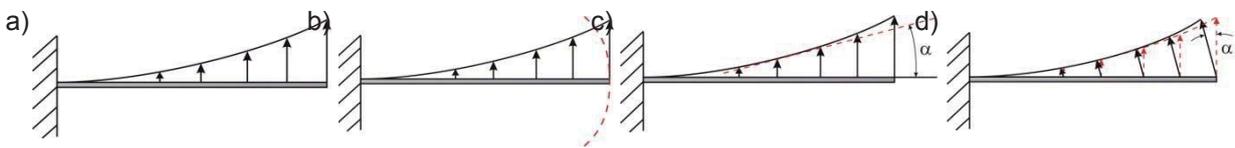


Abb. 4: Die Idee vom Ansatz der partiell gedrehten Verschiebungen

Das Verfahren ist eigentlich für komplexe Strukturen entwickelt, die in Segmente aufgeteilt werden können, die relativ große Starrkörperdrehungen in Bezug auf den Rest der Struktur ausführen. Nach der Verformung ist die mittlere Starrkörperdrehung der einzelnen Segmente ermittelt und die Drehung wird dann verwendet, um den Teil des Verschiebungsfeldes (in Modalraum bestimmt) zu drehen, der den Segmenten gehört. Die Hinterachse eines PKW, dargestellt in Abb. 5, ist eine adäquate Struktur für die Anwendung des vorgeschlagenen Verfahrens.

Das vollständige FEM-Modell (von der Volkswagen AG zur Verfügung gestellt) enthält etwa 44000 lineare Schalelemente und 5000 Solidelemente mit insgesamt mehr als 300000 Freiheitsgraden. Das Deformationsverhalten der Achse verlangt die Berücksichtigung der geometrisch nichtlinearen Effekte, da die Beine der Achse im Betrieb Drehungen von bis zu 15 Grad ausführen können. Gewisse Ähnlichkeiten zwischen diesen Achsensegmenten und dem oben betrachteten eingespannten Balken sind erkennbar. Für eine lineare Berechnung auf der Grundlage des vollen FEM-Modells braucht eine "durchschnittliche PC-Konfiguration" eine Zeit, die mehrere Größenordnungen länger ist, als die für die Berechnung im Modalraum erforderliche Zeit. Die Lösung im Modalraum bedeutet aber auch eine gewisse Verschlechterung der Genauigkeit. Wie von den Autoren [7] berichtet, bietet jedoch das vorgeschlagene Verfahren deutliche Verbesserungen in der Genauigkeit der Berechnung des Federwegs und Vorspurwinkels, wobei eine schnelle transiente Analyse im Modalraum weiterhin möglich ist.

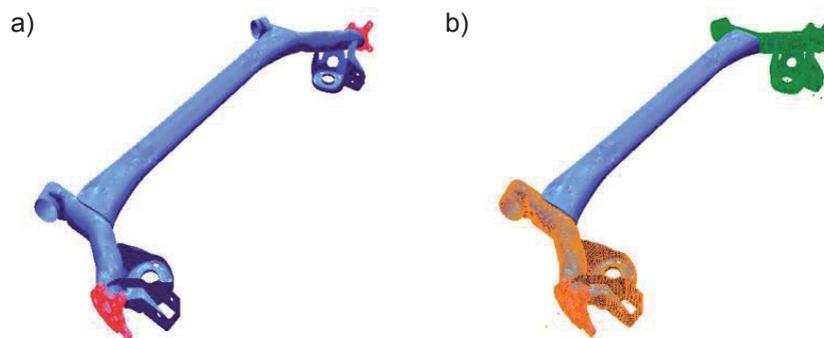


Abb. 5: a) Modell der hinteren Fahrzeugachse; b) Achsenden als Substrukturen für den Ansatz der partiell gedrehten Verschiebungen

### 4.3 Ansatz der kombinierten Modalraum – vollständige FEM Lösung

Während nichtlineares Verhalten für eine große Anzahl von mechanischen Systemen typisch ist, ermöglichen lineare Modelle in vielen Fällen doch eine sehr gute Annäherung des eigentlichen Systemverhaltens innerhalb eines bestimmten, in der Regel kleinen Bereichs um die ursprüngliche Systemkonfiguration. Wenn jedoch das Deformationsverhalten nicht ausreichend akkurat durch ein lineares Modell beschrieben wird, dann wird ein nichtlineares Modell notwendig. Von der Numerik ist die nichtlineare Analyse viel aufwendiger.

Es gibt jedoch Fälle, die lediglich durch lokale Nichtlinearitäten gekennzeichnet sind. Dies impliziert, dass sich ein relativ großer Teil der Struktur linear verhält, wobei aber einzelne Substrukturen ein nichtlineares Verhalten zeigen. Eine mögliche Ursache für lokale Nichtlinearitäten wäre eine relativ große Gesamtbewegung einiger Substrukturen in Bezug auf den Rest der Struktur, so dass sich die Wirkungslinien der internen Kräfte über die Grenzen zwischen den Substrukturen wesentlich ändern. Typische Beispiele für ein solches Verhalten wären Strukturen, die aus mehreren Substrukturen mit relativ "schwachen" Verbindungen zueinander bestehen.

Der Effekt wird noch deutlicher, wenn bestimmte Freiheitsgrade frei sind, beispielsweise wenn Gelenke in einer Struktur vorhanden sind, so dass tatsächlich ein Mechanismus betrachtet wird. Dies würde Starrkörperbewegungen von Substrukturen ermöglichen. In einem solchen Fall ist die Idee der kombinierten linear-nichtlinearen Modellierung geeignet, um die Nichtlinearitäten lokal zu behandeln, während der Rest der Struktur durch ein lineares Modell beschrieben wird. Der Ansatz bietet einen sehr guten Kompromiss zwischen der Komplexität des Modells und der erreichbaren Genauigkeit. Die numerische Effizienz kann weiter mittels modaler Superponierungstechnik für den linearen Teil des Modells verbessert werden.

Die Vorgehensweise kann mittels eines Modells von einem Baukran veranschaulicht werden. Die Spannweite eines Baukrans ist relativ groß und bestimmte Substrukturen, wie beispielsweise der Ausleger, führen große Verschiebungen während des Betriebs des Baukrans aus. Doch im Vergleich zu den Strukturabmessungen sind diese Verschiebungen für typische Betriebsbedingungen und -belastungen des Krans, doch im Bereich des physikalischen Verhaltens, das durch ein lineares Modell ausreichend akkurat beschrieben werden kann. Die in den Seilen hervorgerufenen Kräfte sind die eigentliche Anregung des Baukrans. Die Lastschwingungen, abrupte Laständerungen oder -lösen, usw., sind die Ursachen der Veränderung der Wirkungslinie von inneren Kräften im Stahlseil, Abb. 6.

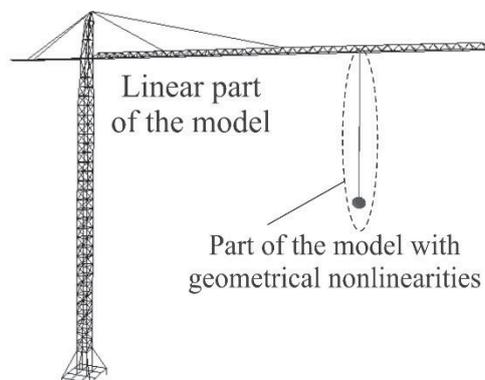


Abb. 6: Modell eines Baukrans als Kombination Modelraum – volles FEM Modell

## 5 3D co-rotationale FEM Formulierung

Lineare 3D FEM-Modelle sind für hohe Effizienz und Stabilität bekannt. Ferner, solange Verformungen im Bereich des materiell linearen Verhaltens bleiben, werden die Translationen des elastischen Körpers mit linearen Modellen problemlos behandelt. Aber bereits moderate Rotationen schaffen es, die Genauigkeit der linearen FEM Ergebnisse so zu verschlechtern, dass sie damit praktisch unnutzbar werden, auch wenn nur die visuelle Darstellung der Verformung von Interesse ist. Auf der anderen Seite bieten geometrisch nichtlineare Formulierungen in ihrer theoretisch reinen Form mehr als eine zufriedenstellende Genauigkeit, sind aber ziemlich aufwendig und weisen auch Probleme mit der Simulationsstabilität auf. Eine relativ einfache, aber deshalb effiziente Formulierung, die die Vorteile der vorherigen beiden kombiniert und die Nachteile vermeiden sollte, wurde von den Autoren angeboten [8].

Die entwickelte Formulierung gehört zur Gruppe der co-rotationalen Formulierungen. Die Grundlage ist die Erweiterung des bereits besprochenen Ansatzes vom mitbewegenden Bezugssystem. Während im Ansatz des mitbewegten Bezugssystems, in der Form wie er in MBS-Programmen verwendet wird, ein einzelnes lokales Bezugssystem dem gesamten Körper zugeordnet wird, um seine Starrkörperbewegung zu beschreiben, wird in der entwickelten FEM-Formulierung die Idee so erweitert, dass jedem einzelnen finiten Element ein lokales Koordinatensystem zugeordnet wird. Weiterhin wird angenommen, dass das Elementverhalten in Bezug auf das lokale Koordinatensystem linear bleibt. Dies ermöglicht die Berechnung von linearen Steifigkeitsmatrizen von Einzelementen,  $K_e$ , vor der interaktiven Simulation. Im Laufe der Simulation ist es notwendig die Informationen über die zuletzt ermittelte und die ursprüngliche Elementkonfiguration ( $x_e$  und  $x_{0e}$  jeweils) zu nutzen, um die Starrkörperdrehung für jedes einzelne Element zu bestimmen, die dann durch die Rotationsmatrix,  $R_e$ , beschrieben wird. Sobald die Rotation bekannt ist, wird die zuletzt ermittelte Konfiguration des Elements zurück, also durch  $R_e^{-1}$ , gedreht. Die so erhaltene Konfiguration wird mit der Anfangskonfiguration verglichen, um die rotationsfreien Verschiebungen zu bestimmen. Die Multiplikation der Elementsteifigkeitsmatrizen mit den rotationsfreien Verschiebungen ergibt interne elastische Kräfte des Elements im ursprünglichen Bezugssystem des Elements. Um die Kräfte bezogen auf das aktuelle Elementbezugssystem,  $f_e$ , zu berechnen, werden einfach die internen Kräfte durch  $R_e$  zur aktuellen Konfiguration gedreht:

$$f_e = R_e K_e (R_e^{-1} x_e - x_{0e}) \quad (2)$$

Die Abb. 7 zeigt eine grafische Interpretation der zuvor erwähnten Schritte:

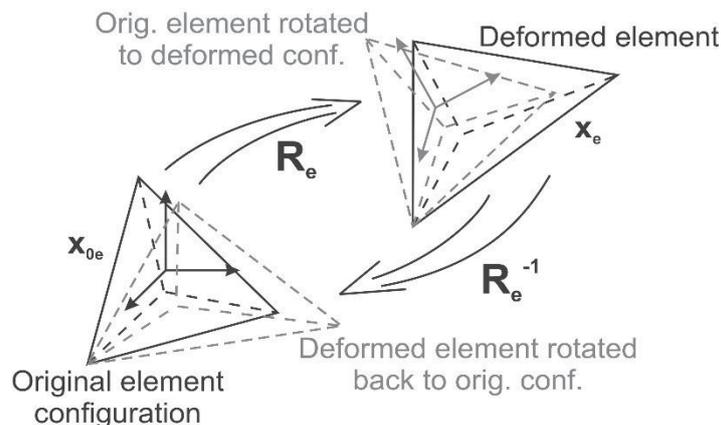


Abb. 7: Die Gesamtbewegung eines Elements als Überlagerung von Starrkörperbewegung und Verformung

Die vorgestellte co-rotationale Formulierung erlaubt die Durchführung eines großen Teils der Berechnung vor der interaktiven Simulation und ermöglicht damit eine sehr hohe numerische Effizienz, trotz Betrachtung der geometrischen Nichtlinearitäten. Mit durchschnittlichen PC-Konfigurationen sind Simulationen bei interaktiver Animationsgeschwindigkeit mit Modellen von bis zu mehreren tausend Elementen möglich. Um einen Eindruck der erreichbaren Ergebnisse zu liefern, wird eine Lasche aus einem relativ weichen Material in der entwickelten Testumgebung berücksichtigt. Das FE Modell enthält 1453 Elemente und 417 Knoten (Abb. 8). Eine interaktive dynamische Simulation wird durchgeführt, wobei die Randbedingungen interaktiv entfernt oder neu eingestellt werden können, so dass eine interaktive Kraft entweder große Verformungen (Abb. 8, Mitte), oder große Starrkörperbewegung (Abb. 8, rechts) hervorruft.

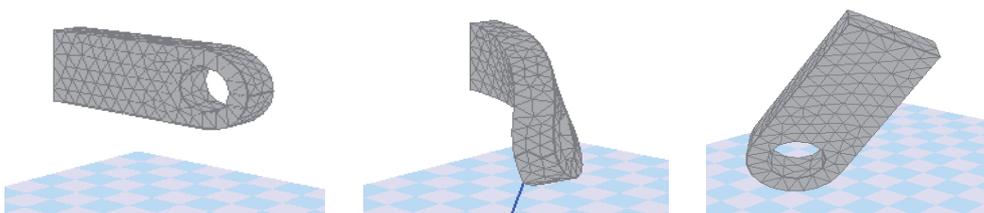


Abb. 8: Bilder aus einer interaktiven Simulation

## 6 2D (Schalen) co-rotational FEM-Formulierung

Bei Schalenelementen werden die translatorischen Freiheitsgrade in der exakt gleichen Weise wie bei Solid-Elementen behandelt. Die Transformation der Drehfreiheitsgrade stellt die eigentliche Komplexität mit dem Schalenelement dar. Die Rotationen haben nicht die gleichen Eigenschaften wie die Translationen und können nicht einfach so rotiert werden. Stattdessen werden die inkrementalen Rotationen in jedem Zeitschritt genutzt, um die Schalenormale an jedem Knoten zu aktualisieren. Dies wird durch die Berechnung der inkrementalen Rotationsmatrix der Schalenormale ausgeführt [9]:

$$Q = I + \frac{\sin \gamma}{\gamma} \tilde{S} + \frac{1}{2} \left( \frac{\sin \frac{\gamma}{2}}{\frac{\gamma}{2}} \right)^2 \tilde{S}^2 \quad (3)$$

mit 
$$\gamma = \sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2 + \theta_3^2} \quad (4)$$

und der Spinmatrix: 
$$\tilde{S} = \begin{bmatrix} 0 & -\theta_3 & \theta_2 \\ \theta_3 & 0 & -\theta_1 \\ -\theta_2 & \theta_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

worin  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  und  $\theta_3$  die 3 inkrementellen globalen Rotationen an den Knoten sind. Die Rotationsmatrix  $Q$  wird ferner verwendet, um die Orientierung der Normalen an den Schalenelementknoten zu aktualisieren. Mittels der transponierten Elementdrehmatrix,  $R^T$ , wird die aktualisierte Normale zurück zu der ursprünglichen Konfiguration rotiert. Die so erhaltene und die ursprüngliche Normale werden verwendet, um die reinen Deformationsdrehungen (ohne Starrkörperdrehung) in der ursprünglichen Konfiguration zu bestimmen und damit auch die inneren Momente zu berechnen. Schließlich werden die inneren Momente zur aktuellen Konfiguration gedreht, um mit der Berechnung fortzufahren.

Die Formulierung für Schalen kann an einer einfachen Balkenstruktur, Abb. 9a, gezeigt werden. Der Balken wird so einem solchen Biegemoment ausgesetzt, dass der zu einem vollständigen Kreis gebogen wird. Das erforderliche Gesamtbiegemoment lässt sich analytisch als  $M = \pi E b h^3 / 6 a$  berechnen. In diesem konkreten Fall ist das verteilte Biegemoment  $M_l = (\pi/3) \cdot 10^4$  N (Länge  $a = 10$  m, die Breite  $b = 0,5$  m, die Dicke  $h = 0,01$  m, und der Elastizitätsmodul  $E = 2 \cdot 10^{11}$  N/m<sup>2</sup>). Die Abb. 9b zeigt die ursprüngliche und die verformten Konfigurationen, berechnet mit der vorliegenden Formulierung und der konstanten Inkrementgröße von 20%.

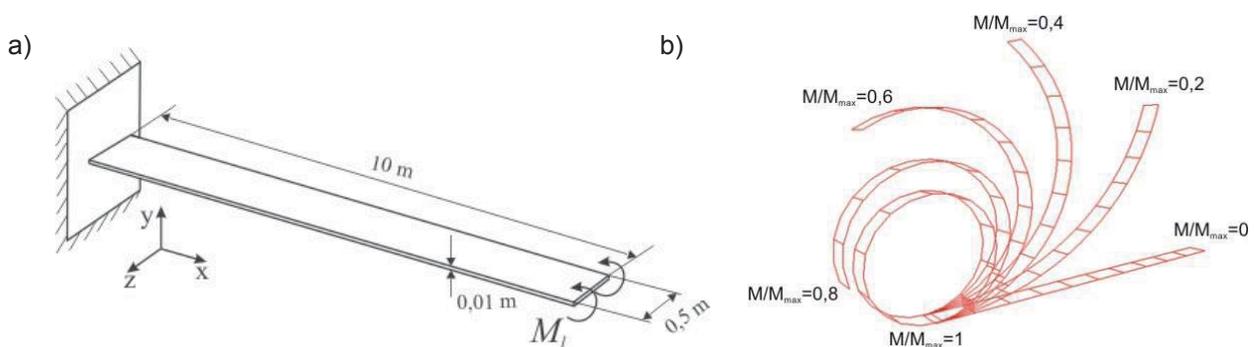


Abb. 9: a) Balkenmodell; b) Verformte Konfigurationen mit konstanter Inkrementgröße von 20%

Bei der Analyse mit Abaqus wurde eingestellt eine automatische Schrittweite mit der Anfangsschrittweite von 10% zu verwenden. Abaqus führte die Analyse in 252 Schritten durch. Jedoch wurde die Berechnung bei einem Lastniveau von 87,28% abgebrochen. Mit der gezeigten Formulierung andererseits wurde die Berechnung bis zur vollen Belastung (100%) erfolgreich durchgeführt. Die vorgestellte Lösung mit der co-rotationalen Formulierung wurde in 5 Iterationsschritten erhalten. Interessanterweise, selbst wenn die volle Last direkt (d.h. nur ein Inkre-

ment) angelegt wird, wurde die Lösung ohne Schwierigkeiten erhalten. Als Konsequenz wird die Rechenzeit im Vergleich zu der Lösung aus Abaqus drastisch reduziert, da Abaqus eine große Anzahl von Schritten benötigt, wobei die Lösung für die Vollast tatsächlich nicht erhalten wurde. Als repräsentatives Ergebnis sind die Verschiebungen des freien Endes vom Balken in der x- und y-Richtung gewählt und in der Abb. 10 dargestellt.

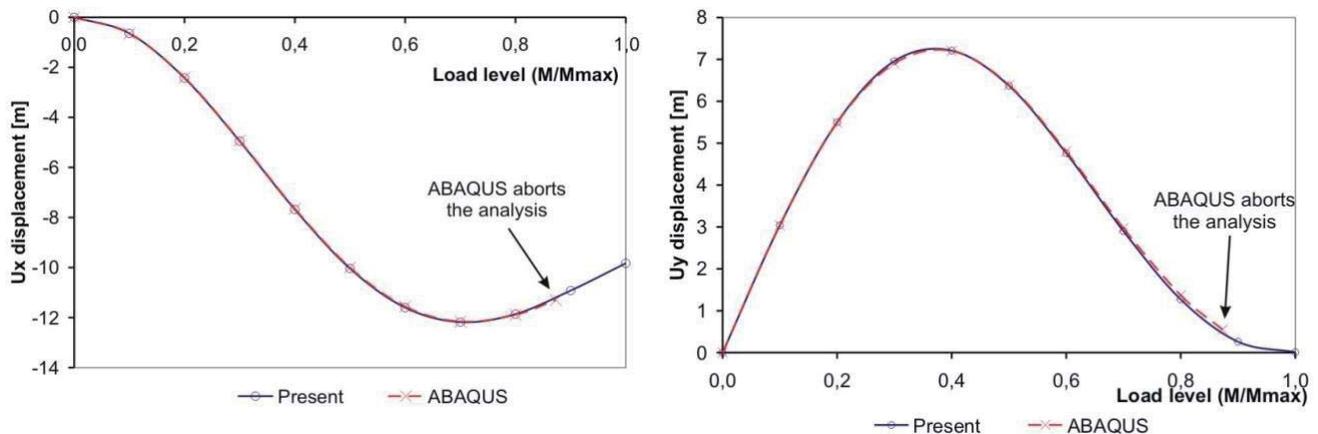


Abb. 10: Verschiebung der Balkenspitze in x- und y-Richtung

## 7 Schlussfolgerungen

Der Artikel gibt einen Überblick über die entwickelten FEM Ansätze für effiziente interaktive Simulationen des elastischen Strukturverhaltens mit geometrischen Nichtlinearitäten. Die Palette der Formulierungen geht von stark vereinfachten Feder-Masse-Systemen, über reduzierte Modelle unter Verwendung des Modalraums, ferner über die Kombination der Modalraum basierten und vollen FEM-Modelle und schließlich bis hin zu den vollen 2D- und 3D-FEM-Modellen. Das Wesentliche aus den FEM-Formulierungen wurde kurz vorgestellt.

Die vorgeschlagenen Formulierungen bieten große Recheneffizienz, die auf unterschiedliche Weise erreicht wird: durch starke Vereinfachung des Modells (Feder-Masse), durch Verwendung von Modellreduktion (Modalraum basierte Modelle) oder durch die Vereinfachung der geometrisch nichtlinearen Formulierungen (co-rotationale FEM mit dem linearen Elementverhalten bezogen auf das lokale Koordinatensystem). Der mit den vollen FEM-Modellen angewendete Solver zeichnet sich durch eine große Flexibilität im Sinne eines möglichen Kompromisses zwischen der Simulationsgenauigkeit und numerischer Effizienz aus. In Abhängigkeit von Anforderungen einer spezifischen Anwendung kann man entscheiden, welchem der beiden Aspekte die Priorität gegeben werden sollte.

Es liegt am Anwender einzuschätzen, ob eine der vorgestellten Formulierungen eine gute Wahl für eine konkrete Strukturberechnungsaufgabe darstellt. Allerdings bietet die Interaktivität der Simulation einige Vorteile in Bezug auf bestimmte Anwendungen im Vergleich zu den klassischen "off-line" Simulationen. Es ist diese Eigenschaft, die eine Vielfalt von Anwendungen, wie z.B. Trainingssimulatoren, effiziente MBS-Dynamik, Unterhaltungsindustrie, etc. ermöglicht.

## 8 Literatur

- [1] Bathe, K.J.: "Finite Element Procedures", Prentice Hall, New York, 1996.
- [2] Nealen, A., Müller, M., Keiser, R., Boxerman, E., Carlson, M.: "Physically based deformable models in computer graphics" Computer Graphics Forum, Vol. 25, No. 4, 2006, pp. 809-836.
- [3] Craig, R.R., Bampton, M.C.C.: "Coupling of substructures for dynamic analyses", AIAA Journal, Vol.6, No.7, 1968, pp 1313-1319.
- [4] Dietz, S., Wallrapp, O., Wiedemann, S.: "Nodal vs. modal representation in flexible multibody system dynamics", Proceedings of Multibody Dynamics 2003, IDMEC/IST, Lisbon, 2003.
- [5] Schwertassek, R., Wallrapp, O.: "Dynamik flexibler Mehrkörpersysteme", Vieweg Verlagsgesellschaft, Braunschweig/Wiesbaden, 1999.
- [6] Marinković, D., Zehn, M.: "Geometric stiffness matrix in modal space for multibody analysis of flexible bodies with moderate deformations", Proceedings of 24<sup>th</sup> International Conference on Noise and Vibration Engineering ISMA2010, Leuven, Belgium, 2010.
- [7] Marinković, D., Zehn, M., Marinković, Z.: "Modal-space based solutions including geometric nonlinearities for flexible MBS", Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Engineering Computational Technology ECT2010, Dubrovnik, Croatia, 2012.
- [8] Marinković, D., Zehn, M., Marinković, Z.: "Finite element formulations for effective computations of geometrically nonlinear deformations", Advances in Engineering Software, Vol. 50, 2012, pp. 3-11.
- [9] Argyris, J. H.: "An excursion into large rotations", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 32, 1982, pp. 85-155

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 (1/2016)

Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

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

Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.

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

Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:

---

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

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

**Absender**

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

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

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

Straße: \_\_\_\_\_

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

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

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

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

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

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

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

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

Straße: \_\_\_\_\_

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

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

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

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



## Online-Magazin

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

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