



Online-Magazin

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

Achtung: Neue Adresse und Telefonnummer:
NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH
Griesstr. 20, D-85567 Grafing b. München
Tel. +49 (0) 176 217 984 01

Fachbeiträge in dieser Ausgabe

Strukturdynamik

- Einsatz hybrider Methoden aus Messung und Simulation bei komplexen Simulationsaufgaben
- Hardware-in-the-Loop Tests für Systeme zur Schwingungsminderung
- Numerische Analyse des Vibrationsverhaltens elektrischer Antriebe

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

Alle bisherigen Ausgaben kostenlos zum Download unter:

www.nafems.org/magazin



NWC NAFEMS
NAFEMSWORLDCONGRESS 2017

Termin vormerken!

11 - 14 JUNE 2017
STOCKHOLM | SWEDEN

A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION
incorporating the 3rd International SPDM Conference



nafems.org/congress

Quick-Info

Trainingskurse

Simulation und Analyse von Composites

10. - 11. Okt., Wiesbaden

Prakt. Anwendung FEM / Ergebnisinterpretation

10. - 11. Okt., München / 14. - 16. Nov. Wiesbaden

Non-Linear Finite Element Analysis

18. - 19. Okt., München

Strömungssimulation (CFD): Theorie / Anwendung

08. - 09. Nov., Wiesbaden

Verification & Validation of Models and Analyses

08. - 09. Nov., Wiesbaden

e-Learning-Kurse

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

Konferenzen

European Conference: Simulation Based Optimisation

12. - 13. Okt., Manchester, UK

Adjungierte CFD-Methoden (Adjoint CFD Methods)

24. - 25. Okt., Wiesbaden

Simulation von Composites – Bereit für Industrie 4.0?

- Airbus Werksbesichtigung ist geplant -

26. - 27. Okt., ZAL Hamburg

European Conference: Multiphysics Simulation

15. - 16. Nov., Kopenhagen, DK

Exploring the Design Freedom of Additive Manufacturing through Simulation

- VTT Besichtigung ist geplant -

22. - 23. Nov., Helsinki, FI

Weitere Termine:

www.nafems.org/events

Sponsoren dieser Ausgabe:



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

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

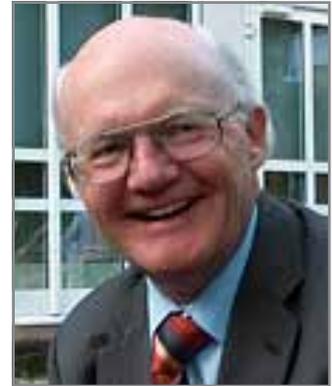
die Simulation hat weite Bereiche unseres Lebens erfasst; die virtuelle Welt ist mitunter von der Realität kaum noch zu unterscheiden. Virtuell ist vieles machbar ist, was in der Realität zumindest mühselig ist. Daher kann man die Faszination verstehen, die die Simulation ausübt. Von Zukunftsforschern hört und liest man oft begeisterte Aussagen hinsichtlich der Entscheidungen durch den Computer. Die ständig wachsende Datenmenge würde dazu führen, dass zumindest eine Vorauswahl vom System getroffen werden muss. Menschliche Experten könnten gar nicht so viel Wissen ansammeln wie Rechner, so dass diese die besser begründeten Antworten geben. Voraussetzung ist allerdings, dass die Informationen, die der Rechner verarbeitet, sowohl relevant als auch valide sind. Zudem sollte bedacht werden, dass die Simulation ein Modell betrachtet, das nicht alle Aspekte mit der Realität gemeinsam hat. Welche Aspekte realitätsnah sind, hängt maßgeblich von der Fragestellung ab, die mit der Simulation beantwortet werden soll. Außerdem wird die Wahl des Modells durch vorhandene Mittel begrenzt; die darauf basierende Simulation muss schließlich auch wirtschaftlich einen Sinn geben. Deshalb werden Modelle möglichst einfach konzipiert. Häufig liefern sie nur in begrenzten Parameterbereichen vernünftige Ergebnisse. Deshalb ist die Validierung so wichtig.

Das vorliegende Heft 38 unseres Online-Magazins enthält neben umfangreichen Informationen über Aktivitäten von NAFEMS sowie über Neuigkeiten aus der Welt der Simulation drei Fachbeiträge aus dem Bereich der Strukturmechanik. Zum einen wird die Ermittlung von Materialparametern durch eine Kombination von Versuch und Simulation erörtert. Demonstriert wird die Anwendung am Beispiel der vibro-akustischen Untersuchung eines Rohrleitungssystems aus dem Automobilbau. Der zweite Beitrag stellt neue Möglichkeiten zur experimentellen Validierung von schwingungstechnischen Systemen durch Echtzeitsimulation mechanischer Strukturen vor. Es wird deutlich, welche Vorteile ein Zusammenspiel von Simulation und realisierter Hardware für die Auslegung von aktiven Systemen zur Schwingungsminderung haben kann. Schließlich werden im dritten Beitrag Schwingungen elektrischer Antriebe behandelt. Insbesondere wird beschrieben, wie die Interaktion zwischen elektromechanischer Analyse und strukturmechanischer Schwingungsuntersuchung simuliert werden kann.

Dieses Heft verdeutlicht die vielfältigen Möglichkeiten der numerischen Simulation in unterschiedlichen Anwendungsfeldern der Strukturmechanik. 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



*Prof. Dr.-Ing.
Klaus Rohwer*

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



www.3ds.com/products-services/simulia



www.dynamore.de



www.esi-group.com



www.intes.de



www.mscsoftware.com

34. CADFEM ANSYS SIMULATION CONFERENCE

Die Fachkonferenz zur Numerischen Simulation in der Produktentwicklung

5.–7. Oktober 2016, Nürnberg

Vom 5.–7. Oktober 2016 dreht sich in Nürnberg alles um den aktuellen Stand der Simulationstechnologie und die ANSYS Programmfamilie. Wir laden Sie herzlich ein, sich an einem, zwei oder drei Tagen persönlich ein Bild zu machen, wie Sie mit erstklassigen Simulationswerkzeugen Ihre Produktentwicklungsprozesse zielgerichtet optimieren können. Stellen Sie sich aus rund 200 Fachvorträgen und Kompaktseminaren selbst Ihr individuelles Informationspaket zusammen und tauschen Sie sich aus Gleichgesinnten.

Schwerpunkte 2016 u. a.:

Simulation und

- ▶ **additive Fertigungsverfahren**
- ▶ **Energieeffizienz**
- ▶ **Turbomaschinen**
- ▶ **Parameteridentifikation:
Von schätzen zu wissen**

CADFEM[®]

ANSYS[®]

www.simulation-conference.com

Impressum

Editor-in-Chief

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

Redaktioneller Beirat

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

Redaktion

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

Gestaltung / Layout / Anzeigen

Werbos GbR
Griesstr. 20
D-85567 Grafing b. München
Germany
Tel. +49 (0) 176 217 984 01
e-mail: info@werbos.de
www.werbos.de

Bezugspreis / Aboservice

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

Anzeigenpreise

Preisliste vom 01.01.2016

Verteilung / Bezug

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

Copyright © 2016, Werbos GbR.

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

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

ISSN 2311-522X

Vorwort des Editor-in-Chief.....2
Sponsoren3
Inhalt / Impressum5

NAFEMS Events

Übersicht 6 - 7
Trainingskurse
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation.....8
Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung9
Verifikation und Validierung (V&V) 10 - 11
Simulation und Analyse von Composites 12
Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis..... 13

Rückblick: DACH Regionalkonferenz 2016..... 14 - 17

NAFEMS Events

NAFEMS World Congress + Int. SPDM Conference..... 18
Seminare
Simulation von Composites – Bereit für Industrie 4.0?19-20
Adjungierte CFD-Methoden in ind. Anwendung / Forschung21
Exploring the Design Freedom of Additive Manufacturing22
NAFEMS European Conferences
Multiphysics Simulation23
Simulation-Based Optimisation24

Literatur

Internationale NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“25
Invitation 2 Tender26 - 27
e-library / Bestellvorgang28

Professional Simulation Engineer PSE28

NAFEMS

Über NAFEMS.....29
NAFEMS Mitgliedschaft.....30

Neuigkeiten 31 - 45
Veranstaltungskalender.....46 - 47

Fachbeiträge zum Thema Strukturdynamik

**Einsatz hybrider Methoden aus Messung und Simulation
bei komplexen Simulationsaufgaben48 - 57**
H. Landes, M. Meiler (SIMetris GmbH)
**Hardware-in-the-Loop Tests für Systeme zur
Schwingungsminderung.....58 - 68**
D. Mayer, T. Jungblut, J. Millitzer, S. Wolter (Fraunhofer LBF)
**Numerische Analyse des Vibrationsverhaltens
elektrischer Antriebe69 - 79**
M. Moosrainer, M. Hanke, D. Bachinski Pinhal (Cadfem GmbH)

Werbeanzeigen

Cadfem4
DYNAmore39
esocaet33
expert verlag41
HSR Rapperswil35
ISKO engineers31
x-technik Verlag37

Rückmeldeformular80/81

CAE-Schlungen 2016

Schulungstitel	Termin	Ort	Teilnahmegebühr Regulär / Mitglied ²⁾	
Inhaltsbeschreibung auf Seiten 8 - 13				
Simulation und Analyse von Composites www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course2	10. - 11. Okt.	W	1.490	1.100
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea3	10. - 12. Okt.	M	1.490	1.100
Non-Linear Finite Element Analysis www.nafems.org/events/nafems/2016/non-linear-2	18. - 19. Okt.	M	1.490	1.100
CFD Analysis: Theory and Applications www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course2	08. - 09. Nov.	W	990	700
Verification & Validation of Models and Analyses www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv3	08. - 09. Nov.	W	1.950	1.560
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea4	14. - 16. Nov.	W	1.490	1.100

¹⁾ W = Wiesbaden, M = München ²⁾ 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.

E-Learning Kursprogramm www.nafems.org/e-learning	kontinuierlich	I	s. Angaben
--	----------------	---	------------

Konferenzen

Konferenztitel	Termin	Ort
Inhaltsbeschreibung auf Seiten 19 - 24		
European Conference: Simulation-Based Optimisation www.nafems.org/events/nafems/2016/simulation-based-optimisation-european-conference/	12. - 13. Okt.	Manchester, UK
Adjungierte CFD-Methoden (Adjoint CFD Methods) in industrieller Anwendung und Forschung www.nafems.org/am16	24. - 25. Okt.	Wiesbaden
Simulation von Composites – Bereit für Industrie 4.0? - Airbus Werksbesichtigung ist geplant - www.nafems.org/comp16	26. - 27. Okt.	ZAL Hamburg
European Conference: Multiphysics Simulation mit Airbus Werksbesichtigung www.nafems.org/mp2016	15. - 16. Nov.	Kopenhagen, DK
Exploring the Design Freedom of Additive Manufacturing through Simulation - Besichtigung des VTT Technical Research Centre of Finland & Aalto University ist geplant - www.nafems.org/am16	22. - 23. Nov.	Helsinki, FI

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

e-Learning Kurse

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

Folgende Themen werden regelmäßig angeboten

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

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

NAFEMS World Congress 2017 und 3rd International SPDM Conference

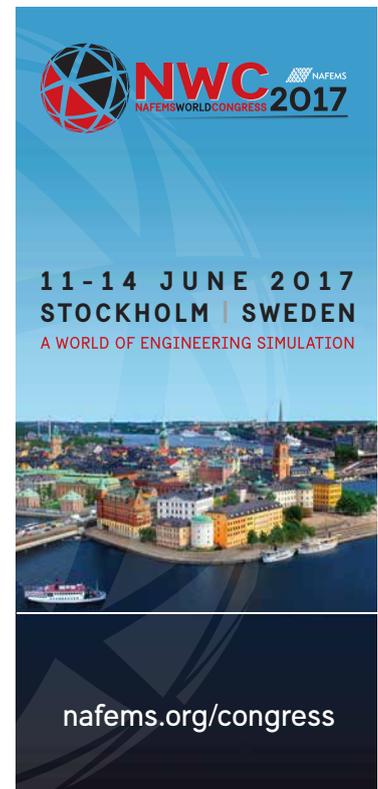
Der NAFEMS World Congress 2017 mit der international SPDM Conference findet vom 11. - 14. Juni 2017 in Stockholm, Schweden, statt. Bitte merken Sie sich den Termin vor. Ein Call for Papers wird in Kürze verfügbar sein.

Aktuelle Termine und weitere Infos unter www.nafems.org/congress

Werden Sie NAFEMS Trainer

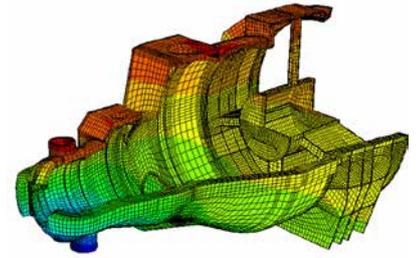
NAFEMS erweitert kontinuierlich das Kursangebot regional und international und sucht Ingenieure aus Industrie und Hochschule, die gerne als Referenten für NAFEMS arbeiten möchten.

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



NAFEMS Schulung

Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation



10. - 12. Okt. in München / 14. - 16. November in Wiesbaden / 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 Versagenskriterien
- Dynamische FE-Berechnungen / Modale Analyse / Dämpfung / Transiente Schwingungen
- Thermische / thermo-mechanische Untersuchungen
- Beispiele für nichtlineare FE-Simulationen
- Voraussetzungen für effiziente FE-Modelle und zuverlässige Ergebnisse
- Optimale FE-Modelle dank gezielter Nutzung der Möglichkeiten von CAD-Software
- Tipps und Tricks für problemgerechte FE-Vernetzung
- Qualitätssicherung bei FE-Analysen / Ursachen möglicher Fehler bei der FE-Modellierung und Tipps für deren Erkennung
- Möglichkeiten zur Überprüfung der Ergebnisse
- Fallbeispiele / Workshop / Diskussion

Referent



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

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.

Online-Anmeldung und weitere Informationen

Oktober: www.nafems.org/events/nafeoms/2016/dach-fea3

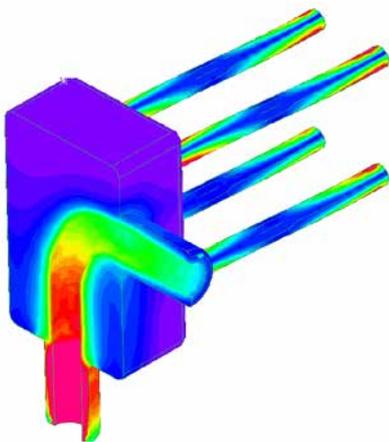
November: www.nafems.org/events/nafeoms/2016/dach-fea4

NAFEMS Schulung

Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung

8. - 9. November 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.

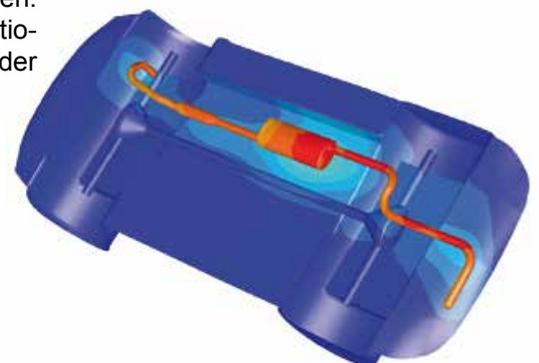
Inhouse-Kurs

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

November: www.nafems.org/events/nafems/2016/cfd-course2

NAFEMS Schulung

Verification & Validation of Models and Analyses

14. - 15. Juni in München / 8. - 9. November in Wiesbaden / 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

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

June: www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv2
 November: www.nafems.org/events/nafems/2016/vandv3

NAFEMS Schulung

Simulation und Analyse von Composites

10. - 11. Oktober 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 Mikro-mechanik
- Festigkeitskriterien und Materialdegradationsmodelle
- Einführung in die Schädigungsmechanik
- Schädigungsmodelle für Verbundwerkstoffe
- Delaminationsmodellierungen

Referent



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

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

Kurssprache

Deutsch

Inhouse-Kurs

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

Online-Anmeldung und weitere Informationen

Oktober: www.nafems.org/events/nafems/2016/comp-course2

NAFEMS Schulung

Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis

18. - 19. Oktober in München / 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

Oktober: www.nafems.org/events/nafeems/2016/non-linear-2



Rückblick:

3. NAFEMS DACH Regionalkonferenz:

unabhängig – übergreifend – neutral

Berechnung und Simulation: Anwendungen – Entwicklungen – Trends

25. - 27. April, Bamberg

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

Wir möchten uns bei allen herzlich bedanken, die diese Veranstaltung möglich gemacht haben: Den Plenarvortragenden von Adam Opel, Audi, Daimler, DLR, John Deere, KTM, Stadler Rail, Universität Erlangen-Nürnberg, den über 110 weiteren Fachreferenten aus Industrie, Forschung und Lehre, den ca. 250 Teilnehmern, den Sessionleitern, den Workshopleitern und Trainern, dem Lenkungsausschuss und dem CFD Advisory Board und natürlich den vielen ehrenamtlichen Helfern vor Ort und vor der Konferenz. Ein ganz besonderer Dank gilt unseren Sponsoren und den ca. 30 Ausstellern.

Ein Spezialforum zum Thema Additive Fertigung / 3D-Druck, verschiedene Workshops, Diskussionsrunden, sowie Schulungen ergänzten die interessanten Beiträge.

Mit dieser Fachkonferenz bot NAFEMS eine Plattform, auf der neue Techniken und Tools präsentiert wurden und den Teilnehmern die Möglichkeit geboten wurde, 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 war gleichsam offen für NAFEMS Mitglieder und Nichtmitglieder, wobei NAFEMS Mitglieder im Rahmen ihrer Mitgliedschaft gegen vier sogenannter NAFEMS seminar credits kostenlos teilnehmen konnten.

Die nächste große NAFEMS Konferenz ist der NAFEMS World Congress mit Int. SPDM Conference vom 11. - 14. Juni in Stockholm, Schweden.

Wir würden uns über Ihre Teilnahme und Vortragseinreichung sehr freuen.

Ihr NAFEMS Team

PS: Auf den folgenden Seiten finden Sie eine Auswahl an Bildern.



Sponsoren

Principal

SIEMENS

Platin

CADFEM[®]

ISKO
engineers

T-Systems

Mentor
Graphics[®]

— Mechanical Analysis

Gold

em engineering
methods AG
Know-how for your virtual product development.

Silber

βBETA
CAE Systems SA

CEU

esi
get it right[®]

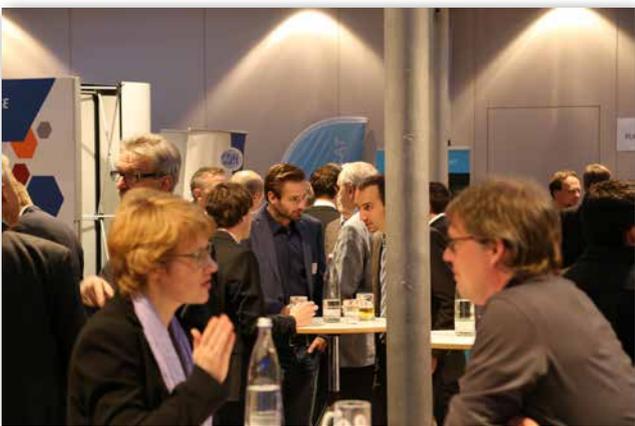
SIMULIA

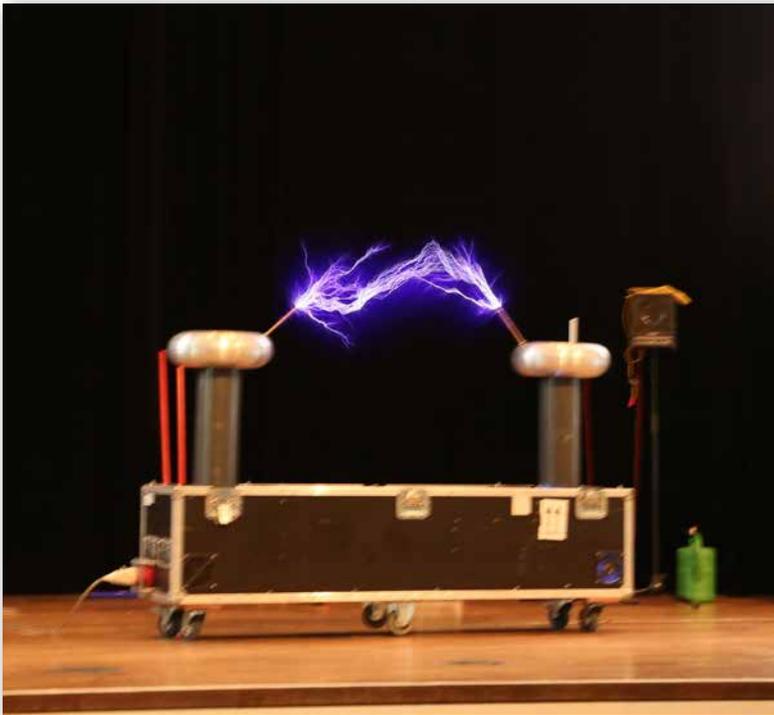
DATADVANCE

SYN
OPT

TECHNIA TRANSCAT
ADDNODE GROUP

Wölfel





Forum „Additive Fertigung“

Bei der diesjährigen Regionalen NAFEMS Konferenz spielte das Thema „Additive Fertigung“ eine zentrale Rolle, denn zunehmend werden Anforderungen zu diesem Thema an Berechnungsingenieure gestellt. Wir haben diesem Thema in Bamberg deshalb den erforderlichen Rahmen gegeben. Möglichkeiten, wie Berechnungsingenieure von dieser Technologie profitieren können, wurden ebenso gezeigt wie die Anforderungen, die für die Simulation daraus entstehen.

Das Forum vermittelte einen Überblick über die Technologie in diesem Bereich, stellte Möglichkeiten, Risiken und Herausforderungen dar und bot die Möglichkeit, sich über aktuellen Entwicklungen bei Systemherstellern und Anbietern zu informieren und sich auszutauschen.

Wir möchten uns herzlich beim x-technik verlag für die angenehme Zusammenarbeit in diesem Bereich bedanken.

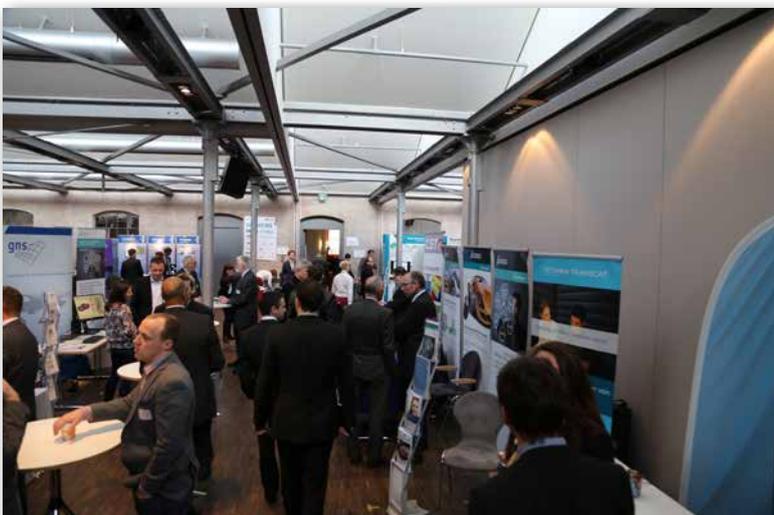
Dieses Thema wird auch beim NAFEMS World Congress 2017 zentral adressiert. Interessenten melden sich bitte unter nwc17@nafems.org.



x-technik
DER FACHVERLAG



Kostenloser Download:
www.additive-fertigung.at
Mehr Informationen
www.x-technik.com





NWCC  NAFEMS
NAFEMSWORLDCONGRESS 2017

11 - 14 JUNE 2017
STOCKHOLM | SWEDEN

A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION
incorporating the 3rd International SPDM Conference



nafems.org/congress

NAFEMS Seminar – Call for Papers

Simulation von Composites – Bereit für Industrie 4.0?

Mit Airbus Werksbesichtigung:

Montage moderner Passagierflugzeuge in Composite-/Metallbauweise am Beispiel A350, A380, A320 *

26. - 27. Oktober, ZAL Hamburg

– Einreichung von Abstracts bitte bis 25. Juli 2016 an info@nafems.de –

Keynotes

- Dr. Ferdinand Dirschmid, BMW:
Der Einsatz von CFK in der BMW i-Serie und im BMW 7er
- Dr. Jörg Jendry, Airbus:
Prozessbedingte Eigenspannungen und Verformungen bei der Verarbeitung duroplastischer Werkstoffe: Modellierung und Kennwertermittlung
- Alexander Buchard, Airbus & Stefan Ritt, DLR:
High-Velocity Impact on Composite High-Lift Systems
- Markus Dix, BMW:
Komplexität beherrschen – Prozesssimulation in der Produktentwicklung von Faserverbundkunststoffen

Call for Papers

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

Numerische Simulation ist der Schlüssel für eine erfolgreiche Composite-Struktur; erst durch sie können aufwändige Testreihen und hohe Ausschussraten vermieden werden. Das beginnt bereits bei der Auswahl der beteiligten Materialien und der Konzeption für deren Zusammenwirken. Die Auslegung und Optimierung weist aufgrund der richtungsabhängigen Eigenschaften erhöhte Möglichkeiten wie auch eine stark erhöhte Anzahl von Design-Parametern auf. Auch

die Herstellungsprozesse wie zum Beispiel die Drapierung trockenen Fasermaterials und die Harzinjektion können durch Simulation optimiert werden. Schrumpfung und Spannungen aus dem Aushärtprozess können zu unerwünschten Verformungen führen, die vorab berechnet und in der Formgebung kompensiert werden müssen. Schließlich zeigen fertige Strukturen aus Verbundwerkstoffen spezielle Eigenschaften, Verhaltensweisen und Schädigungsmechanismen, die besondere Modelle und Analysetechniken erfordern.

Die Methoden der Einzelaspekte sind in effizienten virtuellen Prozessketten zu implementieren, so dass die Einzelergebnisse zwischen den einzelnen Schritten ausgetauscht werden und ein gesamtheitlicher Ansatz entsteht. Nur durch eine geschlossene Prozesskette lassen sich Faserverbundstrukturen mit minimalem Ausschuss und maximaler Kosteneffizienz realisieren. Eine wichtige Voraussetzung ist ein durchgängiges digitales Modell, das allen beteiligten Disziplinen zur Verfügung steht.

Ziel des Seminars

Im Herbst 2007 hat NAFEMS ein erfolgreiches Seminar zum Thema 'Simulation von Verbunden – Material und Strukturen' veranstaltet. Die stürmische Entwicklung war im Frühjahr 2011 auf dem Seminar 'Fortschritte in der Simulation von Composites' zu beobachten. Das galt nicht nur für die Verbundwerkstoffe selber, sondern auch für die Fertigung und die Werkzeuge zur Simulation. Inwiefern sich die vorhandenen Werkzeuge zu einer geschlossenen Prozesskette verdichtet haben wurde anhand der vielen Vorträge in Leipzig im Herbst 2014 deutlich. Hardware konnte im Rahmen der Werksbesichtigung der i-Serie bei BMW begutachtet werden.

In den letzten 2 Jahren ist die Industrie weiter von der Digitalisierung durchdrungen worden, wobei der Simulation eine stetig steigende Bedeutung zukommt. Das Seminar soll beleuchten, ob die Simulation von Composites für die Industrie 4.0 bereit ist. Anwendern wird damit eine umfassende Übersicht über die vorhandenen Möglichkeiten gegeben,

aber auch die Entwickler erhalten Anregungen, wo noch Lücken sind und wie diese vielleicht geschlossen werden können.

Beiträge

Beiträge werden erbeten zu den Themenkreisen virtuelle Produktentwicklung von Verbundstrukturen, Interaktion der sensierten Fertigung und der virtuellen Produktentwicklung, virtuelle Fabrik, Auslegung und Optimierung, Ermüdungs- und Betriebsfestigkeit, Fertigungs- bzw. Prozess-Simulation (Drapierung, Aushärtung, Harzinjektion, etc.) sowie virtuelles Testen von Verbundstrukturen. Auch die Berechnung von Steifigkeit und Festigkeit geschichteter Strukturen auf verschiedenen Skalenebenen, die Analyse von Schadensauswirkungen und Schadensfortschritt sollen thematisiert werden. Die Herausforderungen von multidisziplinären digitalen Modellen wie das benötigten Datenmanagement sind ebenfalls wichtige Themen.

Damit soll die Basis gelegt werden für einen intensiven Meinungsaustausch über Fortschritt und Erfahrungen auf dem Gebiet der Simulation von Composites. Auch die Darstellung von Schwierigkeiten und ungelösten Fällen aus der Praxis wird die Diskussion beleben und ist deshalb ausdrücklich erwünscht.

Wir freuen uns über Ihre Vortragseinreichung bis **25. Juli 2016 an info@nafems.de**.

*Christian Hühne
DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Mitglied des deutschen NAFEMS Steering Committees*

*Michael Kurzawa
Airbus Operations GmbH
Head of Advanced Stress & Design Applications*

Organisation

Termin

26. Oktober 2016
voraussichtlich 13:00 - 19:00 Uhr
27. Oktober 2016
voraussichtlich 08:30- 16:00 Uhr

Einreichung von Abstracts

Bitte senden Sie einen kurzen Abstract bis 25. Juli 2016 (verlängert) per E-Mail an info@nafems.de.

Vortrag/Manuskript

Der mündliche Vortrag (25 min.) sollte in deutscher Sprache gehalten, das Manuskript (4-10 Seiten) in englischer Sprache verfasst werden. Abgabetermin: 3. Oktober 2016

Publikation

Es ist beabsichtigt, nach einer Rezension einzelne Vorträge im NAFEMS Benchmark Magazin und/oder im deutschsprachigen NAFEMS Online-Magazin zu veröffentlichen.

Veranstaltungsort

ZAL Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung GmbH
Hein-Saß-Weg 22,
21129 Hamburg
www.zal.aero

Fachausstellung und Sponsoring

Ausstellungsfläche: 600,- Euro¹⁾
Bitte fordern Sie nähere Informationen zu den Sponsoringmöglichkeiten an.

Tagungssprache

Deutsch (in Ausnahmen in englischer Sprache)

Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder: 590,- Euro¹⁾
NAFEMS-Mitglieder: frei*
* NAFEMS Mitglieder erhalten sechs „seminar credits“ pro Jahr. Für dieses Seminar werden drei credits je Teilnehmer benötigt.
Falls bereits verwendet, können NAFEMS Mitglieder zu einem reduzierten Preis teilnehmen: 410,- Euro¹⁾. Vortragende entrichten die reguläre Teilnahmegebühr.

Teilnahmegebühr für Studenten

Für Studenten steht ein begrenzte Anzahl an freien Seminarplätzen zur Verfügung. Die Annahme erfolgt in der Reihenfolge der Anmeldungen (bitte Immatrikulationsbescheinigung beifügen).

Seminarorganisation

Achtung: Neue Adresse/Telefon!
NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH
Griesstraße 20
85567 Grafing b. München
Tel. +49 176 217 984 01
Fax +49 3 22 11 08 99 13 41
e-mail: info@nafems.de

¹⁾ Preise zzgl. ges. MwSt

Online-Anmeldung und weitere Informationen
www.nafems.org/comp16

Einladung und Agenda für das NAFEMS CFD-Seminar

Adjungierte CFD-Methoden (Adjoint CFD Methods) in industrieller Anwendung und Forschung

24. - 25. Oktober, Wiesbaden

Zeit- und Ressourcen-intensive CFD-Simulationen stellen im industriellen Entwicklungs- und Optimierungsprozess oft einen limitierenden Faktor dar. Dabei ist das Verständnis von Abhängigkeiten zwischen Optimierungszielen und -parametern von entscheidender Bedeutung im Entwurf komplexer Konfigurationen mit vielen Designparametern.

Die adjungierte Methode ermöglicht eine hocheffiziente CFD-basierte Sensitivitätsanalyse, die sowohl für den manuellen Entwurfsprozess als auch für Optimierungsalgorithmen von Bedeutung ist. Damit kommt adjungierten Verfahren in vielen Fällen eine Schlüsselrolle im zeitgetriebenen Design- und Optimierungsprozess zu. In den letzten Jahren haben adjungierte CFD-Methoden verstärkt Eingang in industrielle Entwurfs- und Optimierungsanwendungen gefunden.

Das Ziel des Seminars ist es, sowohl auf die theoretischen Zusammenhänge näher einzugehen als auch die Vorteile und den Einsatzbereich dieser Technik in der industriellen Anwendung aufzuzeigen. CFD-Spezialisten, die adjungierte Verfahren noch nicht einsetzen, haben die Möglichkeit, die Methode und ihr Potenzial für den eigenen Aufgabenbereich kennenzulernen. Abgerundet wird die Veranstaltung durch eine Fachausstellung, in der Sie einen Überblick über verfügbare kommerzielle Lösungen und Dienstleistungen erhalten.

Wir freuen uns auf Ihre Teilnahme.

NAFEMS DACH CFD Advisory Board (CAB) in Zusammenarbeit mit dem NAFEMS DACH Steering Committee

Vortragsprogramm

Montag, 24. Oktober

13:30

Begrüßung und NAFEMS Vorstellung

NAFEMS DACH CFD Advisory Board (CAB);
A. Oswald (NAFEMS)

13:45

Keynote-Vortrag: Vom Bauraum zum Produkt mittels adjungierter CFD Verfahren

C. Hinterberger (Faurecia Emissions Control Technologies)

14:30

Keynote-Vortrag: A Practical Continuous Adjoint Optimisation Framework

E. de Villiers (Engys)

15:15

Pause

16:00

Adjoint Methods for Efficient Optimization and Control in CFD and CAA

N. R. Gauger, T. Albring, E. Özka-ya, M. Sagebaum, B. Y. Zhou (TU Kaiserslautern)

16:30

Optimization of a High-Speed Train Head to Reduce the Cross-Wind Sensitivity

S. Cochard (Stadler Altenrhein);
S. Evans (CD-adapco)

17:00

Diskret-Adjungierter aerodynamischer Formoptimierungsprozess am Beispiel eines getrimmten Transportflugzeugs mit aktivem Triebwerk

A. Merle, A. Stück, A. Rempke (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – DLR)

17:30

Diskussion

Moderation: NAFEMS DACH CFD Advisory Board (CAB)

18:00

Imbiß und Getränke in der Ausstellung

Dienstag, 25. Oktober

08:30

Keynote-Vortrag: Continuous Adjoint in Shape, Flow Control and Topology Optimization – Recent Developments & Applications

K. C. Giannakoglou (National Technical University of Athens – NTUA)

09:15

Keynote-Vortrag: A Benchmark Study on Unconstrained Optimization in CFD Optimization

M. Büchner (NTB Buchs)

10:00

Pause

Fortsetzung nächste Seite -->

10:30

Direct Coupling of Parametric CAD and Adjoint CFD for the Efficient Optimization of Flow Geometries

M. Brenner, C. Fütterer, S. Harries (Friendship Systems)

11:00

Das Adjungiertenverfahren in der Fahrzeugoptimierung unter Verwendung eines Sphärizität-basierten Morphers

C. Kapellos (Volkswagen); P. Alexias, E. De Villiers (Engys)

11:30

Adjungierte Formoptimierung für maritime Zweiphasenströmungen

T. Rung, J. Kröger, N. Kühl (TU Hamburg)

12:00

Optimization of Confined Internal Flows

D. Caridi, D. Hill, M. Xu (Ansys)

12:30

Mittagspause

13:30

Adjoint-Based Data Assimilation for the Advanced Analysis of Compressible and Reactive Flows

M. Lemke, J. Reiss, J. Sesterhenn (TU Berlin)

14:00

Multi-Objective Adjoint Optimization of Intake Port Designs

G. Kotnik, M. Rainer (AVL)

15:00

Investigation on the Weighted Product Method using Adjoint CFD

P. Murthy (Universität Wuppertal)

15:30

Wrap-Up und Schlußworte

NAFEMS DACH CFD Advisory Board (CAB)

15:45

Ende

Organisation

Veranstaltungsort / Hotel

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

Fachausstellung und Sponsoring

Ausstellungsfläche: 500,- Euro¹⁾. Bitte fordern Sie nähere Informationen zu den Sponsoringmöglichkeiten an.

Tagungssprache

Deutsch und Englisch

Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder: 590,-Euro¹⁾
NAFEMS-Mitglieder: frei*

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

Falls bereits verwendet, können NAFEMS Mitglieder zu einem reduzierten Preis teilnehmen: Euro 410,-Euro¹⁾. Vortragende entrichten die reguläre Teilnahmegebühr.

Teilnahmegebühr für Studenten

Für Studenten steht ein begrenzte Anzahl an freien Seminarplätzen zur Verfügung. Die Annahme erfolgt in der Reihenfolge der Anmeldungen (bitte Immatrikulationsbescheinigung beifügen).

Seminarorganisation

Achtung: Neue Adresse/Telefon!

NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH
Griesstraße 20
85567 Grafing b. München
Tel. +49 176 217 984 01
Fax +49 3 22 11 08 99 13 41
e-mail: info@nafems.de

Die Veranstaltung wird gesponsort von



¹⁾ Preise zzgl. ges. MwSt

**NAFEMS NORDIC
Call for Papers**

Exploring the Design Freedom of Additive Manufacturing through Simulation

Including a visit of the AM facilities at VTT Technical Research Centre of Finland & Aalto University

**22 – 23 November 2016
Helsinki, Finland**

Additive manufacturing (AM), also called 3D printing, enables the manufacture of nearly any geometry without the constraints imposed by traditional manufacturing techniques. As this technology advances and the costs of 3D printed parts continue to fall, AM will become a more prevalent and viable engineering and business solution. In order to take full advantage of these technologies, new approaches to simulation and design need to be implemented in order to facilitate innovative and cost-effective solutions. The aim of this seminar is to give delegates a comprehensive overview of the current state of AM, along with the challenges, risks, and opportunities – both for simulation engineers and for use within industry.

Abstracts on the topics of computational modelling, simulation and optimization related to any of the additive manufacturing processes, materials, or printed components are welcome. You are invited to submit an abstract by **latest 26 August** to nordic@nafems.org.

The conference will be organized by NAFEMS in cooperation with VTT Technical Research Centre of Finland.



www.nafems.org/am16

Einladung zur NAFEMS European Conference:

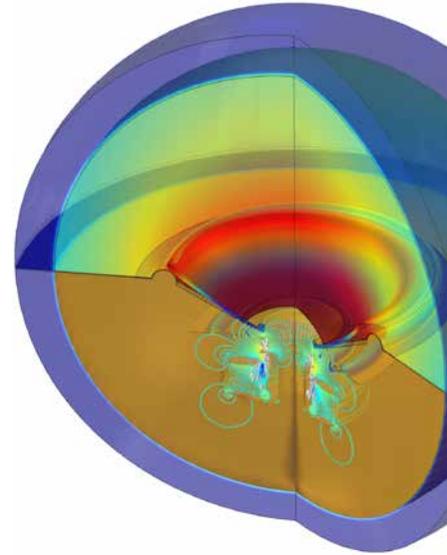
Multiphysics Simulation 2016

15 .- 16. November, Kopenhagen, Dänemark

– Das Vortragsprogramm mit über 50 Vorträgen (!) wird in Kürze veröffentlicht –

Plenary speakers

- Virtual Package Development utilizing Multiphysics
E. Andreasson (Packaging Solutions AB, S)
- Challenges in Combustion Chamber Design for Large 2 Stroke Diesels
H. Andersson (MAN Diesel & Turbo, DK)
- Topology Optimization in Multiphysics Applications
Prof. O. Sigmund (Technical University of Denmark, DK)
- From Maxwell to Fourier and Newton: Thermal Management in Power Engineering
R. Bel Fdhila (ABB AB, Corporate Research, S)
- Numerical Simulation of Fluid-Structure-Acoustics Interaction
Prof. M. Schäfer (Technical University Darmstadt, GER)



Courtesy of Konzept-X

The need for more realistic numerical simulations in research and development continues to grow. Software vendors are responding to this demand by facilitating the coupling of various solvers, making multiphysics easier to setup and use. The main challenge of understanding the different physical effects and to produce reliable simulation results for complex systems with a large number of physical parameters still remains.

NAFEMS is pleased to pre-announce the third European Conference devoted to multiphysics simulations in autumn 2016. The conference will provide an overview of state-of-the-art-methods for coupled and multiphysics simulations, mainly within the context of industrial applications and CAE.

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

of multiphysics and coupled simulations.

The conference will be organized by the NAFEMS Multiphysics Working Group in collaboration with

MULTIPHYSICS
www.multiphysics.org

 **Fraunhofer**
SCAI

Organization

Conference language
English

Conference venue
Copenhagen, Denmark

Exhibition and sponsoring
The conference will be accompanied by an exhibition of software and hardware vendors, solution providers, and consultants. There are several exhibition and sponsoring

Online-Anmeldung und weitere Informationen
www.nafems.org/mp2016

opportunities available. Please request further information.

Registration fees

NAFEMS members: Free*
Non NAFEMS members:
6.000 DKK ¹⁾

* NAFEMS members can use seminar credits towards free attendance at this event. This event will charge four seminar credits per delegate. Members without seminar credits: 4.200 DKK ¹⁾. The registration fee includes conference attendance, proceedings, lunches, break refreshments and get together. Hotel accommodation is not included.

Contact and further information

Attention: New address/phone!
NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH, Griesstraße 20
85567 Grafing b. München
Tel. +49 176 217 984 01
Fax +49 3 22 11 08 99 13 41
e-mail: info@nafems.de

¹⁾ All prices plus VAT

Call for Papers zur NAFEMS European Conference:

Simulation-Based Optimisation

12. - 13. Oktober 2016 in Manchester, UK

– Einreichung von Abstracts bitte bis 15. Juli 2016 an jo.davenport@nafems.org –

Confirmed Invited Speakers:

- Ming Zhou (Altair): Concept Design and Optimisation for ALM
- Carlo Poloni (University of Trieste & Esteco): MOO or RRBDO
- Ashutosh Tiwari (University of Cranfield): Process Optimisation
- Shahrokh Shahpar (Rolls Royce): tba

Optimisation has become a key ingredient in many engineering disciplines and has been experiencing a fast growth in recent years due to innovations in optimisation algorithms and techniques, coupled with rapid development in computer hardware and software capabilities. The growing popularity of optimisation in engineering applications is driven by ever increasing competition pressure, where optimised products and/or processes can offer improved performance and cost effectiveness which are difficult to achieve with a traditional design approach. However, there are still many open challenges for optimisation to be used routinely for engineering applications.

This event aims at bringing together practitioners and academics in all relevant disciplines to share their knowledge and experiences, to discuss problems and challenges, and to facilitate further improvements in optimisation techniques for engineering applications.

The format of this event is designed to promote knowledge sharing, with keynote presentations from academia, software vendors and end

users, followed by breakout sessions, and a session on optimisation Best Practices, Tips & Tricks.

Call for Presentations

We invite you to submit your presentation for consideration at the seminar. Presentations are welcomed from across all industries and every domain engaged in Optimisation. Presentations from global conglomerates will share the stage with those from one-man consultancies, academics and industry leaders.

This is your opportunity to get involved!

Submission Requirements

In the first instance, abstracts of 300-600 words should be submitted for consideration by 15th July 2016. Abstracts must be clearly marked with presentation title, author's name, organisation, address, phone numbers and email address. E-mail your abstract to jo.davenport@nafems.org

Themes

- Multi-disciplinary optimisation
- Topology/Concept design optimisation
- Shape/Parametric design optimisation
- Process optimisation
- Reliability and robustness based design optimisation
- Multi-objective optimisation
-

Organising Committee

- Fatma Y. Koçer
Altair Engineering
- Nadir Ince
GE Power
- Mariapia Marchi
Esteco
- Vassili Toropov
University of London

If you have any further queries, please contact Jo Davenport on +44(0)1355 22 56 88.

Online-Anmeldung und weitere Informationen

www.nafems.org/events/nafems/2016/simulation-based-optimisation-european-conference/

Internationales NAFEMS Magazin

Benchmark Magazin, Ausgabe April 2016

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

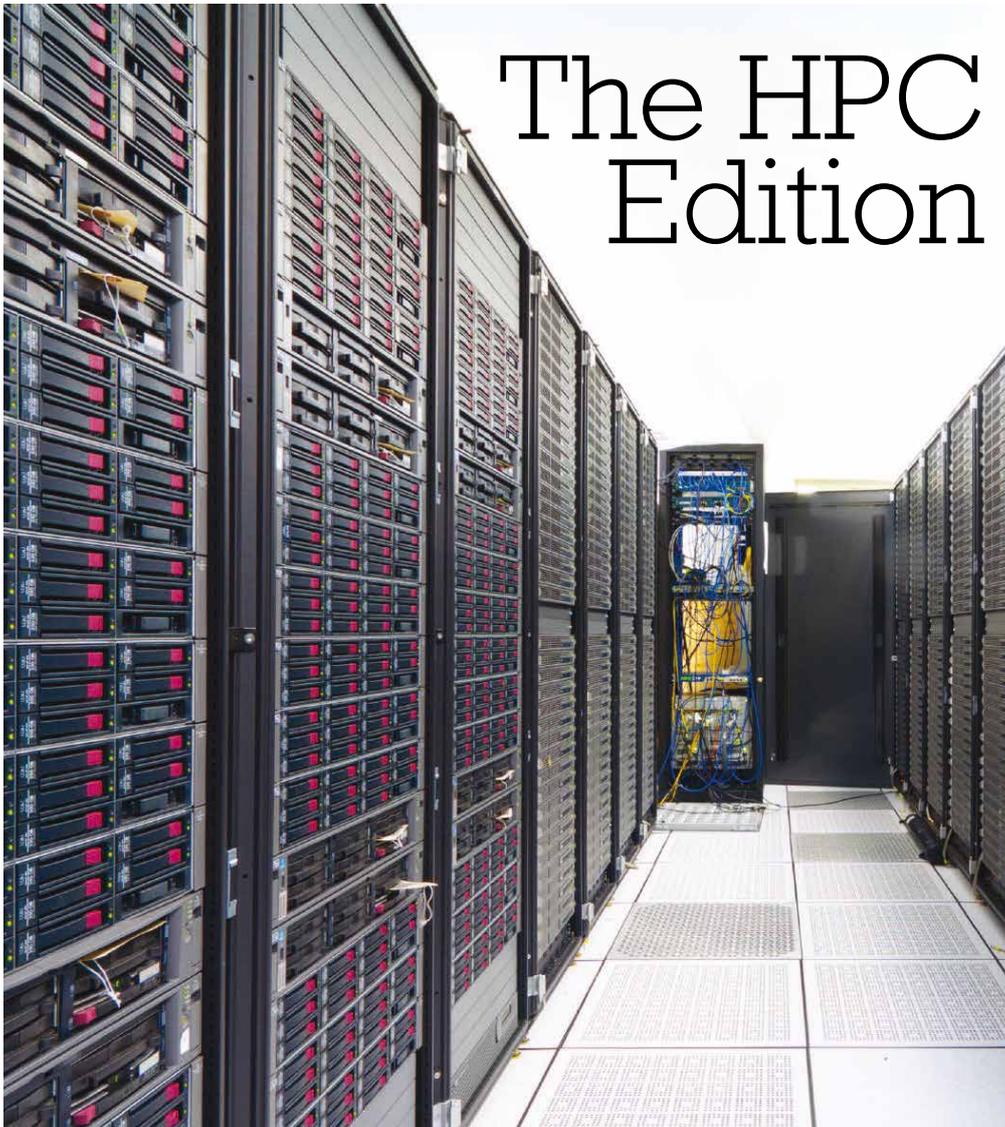
www.nafems.org/publications/benchmark

BENCH MARK

April 2016 issue ...

- HPC & NAFEMS
- SMEs Speeding up with HPC
- HPC - The Genesis of SDM
- An Engineers' Guide to Using an External HPC Facility
- The Use of HPC for Undertaking Probabilistic Explosion Assessments
- CAE Clouds with Silver Linings
- Manufacturing Process Simulation Working Group
- Modelling at Nanoscales for All
- NAFEMS Benchmark Challenge

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



invitation²TENDER



How to Analyse and Process CFD Output

NAFEMS' Computational Fluid Dynamics Working Group (CFDWG), wishes to commission a new document with the suggested title 'How to Analyse and Process CFD Output' to equip analysts with the understanding and techniques necessary to obtain key project data and insight from CFD output.

The book should show how post-processing and flow visualisation are key in obtaining flow variables and derived quantities in a form that is useful for project requirements. The flow variables which are typically modelled in CFD and quantities frequently derived from the flow variables should be stated, with a description of their usefulness. The different uses, advantages and disadvantages of numerical values (both averaged and single point values), static and animated images should be explained. Issues with geometrically and physically complex 3D simulations, where there is a danger of missing important results if arbitrary post-processing locations or instances are used, should be commented on with tips on how best to achieve the required output.

Comparison of results from different simulations and with test data, is an important aspect of post-processing. Although this document should not aim to cover validation issues, guidance would be appropriate on how to compare results produced using different modelling methods or test data with simulated data and the importance of a standard post-processing approach. Similarly, the role of post-processing to check the results are credible and correctly reflect the intended model set-up should be covered and comments should be made on the data storage requirements and implications for using an SDM (Simulation Data Management) system.

The book must be illustrated by examples, ideally taken from a wide range of industries. There must be no bias towards any particular CFD or visualisation software and both solver integrated and third party post-processors should be mentioned.

The expected length of the book would be up to 100 pages.

Costs

The total cost of authoring, maintaining and producing a publication collating challenges, solutions and points to note from the submissions received is not expected to exceed £4-6000 (GBP).

Submission

Interested potential author can submit tenders or request additional information using the following email address: cfdf@nafems.org

Deadline

Interested parties are encouraged to submit proposals by June 1st 2016.

How to Model the Welding Process with FEA

The NAFEMS' Computational Structural Mechanics Working Group (CSMWG) wishes to commission a new book with the suggested title "How to Model the Welding Process with the Finite Element Method". The publication is intended to provide guidance on how to simulate the welding process with regard to the detailed micromechanical and thermal behaviour that occurs immediately at, and adjacent to, the weld bead. The document should be seen as an extension to the State of the Art Review on weld simulation using Finite Element Methods, published by NAFEMS in 2005.

The document should be applicable to those familiar with or involved with thermal and structural engineering analysis, but with little or no familiarity with welding processes or weld simulation. It should be assumed that the analysts are familiar with basic finite element theory, both for thermal and structural analyses.

The book should describe the key steps necessary to plan, undertake and verify a simulation of welding processes.

The expected length of the book would be between 60 and 100 pages.

Costs

The total cost of authoring, maintaining and producing a publication collating challenges, solutions and points to note from the submissions received is not expected to exceed £4-7000 (GBP).

Submission

Interested potential author can submit tenders or request additional information using the following email address: csmwg@nafems.org

Deadline

Interested parties are encouraged to submit proposals by July 1st 2016.

How to Model and Assess Welded Structures with FEA

NAFEMS' Computational Structural Mechanics Working Group (CSMWG) wishes to commission a new document with the suggested title "How to model and assess welded structures with FEA". The document is intended to be a state of the art review into the idealisation of welded joints in large structures, and how the results from such simulations are used in industry assessment Codes. It is complimentary to, but separate from, a parallel Invitation To Tender for the detailed modelling of welding processes; this state of the art review is concerned with the macro-scale modelling of joints in structures, and should not consider the local region around the weld itself. The document should be complimentary to existing NAFEMS publications, particularly the 2009 Seminar on welded joints which took place in the UK and also the FENET benchmarks on joint modelling. Since the seminar and benchmarks were published, some Codes and standards have been updated to include modelling guidelines and a re-review of the state of the art is now required.

The review should summarise the methods of modelling welded joints (including seam welded joints and spot welded joints) in thick and thin plate fabrications, their relative merits and demerits, and also how the results from simulations are used to perform assessments of the structures. The review should encompass a wide range of industry best practice, including regulatory Codes from sources such as the ASME Boiler and Pressure Vessel Code, DNV, as well as applicable British Standards, eg BS7608. The use of computer software for automation of processing for fatigue life should also be explored.

The expected length of the review would be between 10 and 30 pages.

Costs

The total cost of authoring, maintaining and producing a publication collating challenges, solutions and points to note from the submissions received is not expected to exceed £2-4000 (GBP).

Submission

Interested potential author can submit tenders or request additional information using the following email address: csmwg@nafems.org

Deadline

Interested parties are encouraged to submit proposals by July 1st 2016.

Why Do Discrete Element Analysis

The NAFEMS' Education and Training Working Group (ETWG) wishes to commission a new document with the suggested title "Why Do Discrete Element Analysis" The publication would cover typical uses for the discrete element method and would also cover the strengths and weaknesses of the technique when compared to other numerical analysis methods e.g. the Finite Element Method. In addition to providing a basic introduction to the DEM method the publication would describe the typical steps involved in setting up a DEM analysis. Examples demonstrating typical use cases for the DEM covering a range of industries should be included in the publication along with the business benefits obtained using DEM. It is suggested that the publication would contain details of what makes a problem suitable to be tackled using the DEM. The intended readership would engineers and scientists who are regular users of engineering analysis software. The publication is not expected to act as a detailed guide to carrying out discrete element analysis.

The publication should be software independent although a listing of commonly used discrete element analysis packages can be included in the document.

The publication is expected to be around 40-60 pages in length.

Costs

The total cost of authoring, maintaining and producing a publication collating challenges, solutions and points to note from the submissions received is not expected to exceed £4-6000 (GBP).

Submission

Interested potential author can submit tenders or request additional information using the following email address: etwg@nafems.org

Deadline

Interested parties are encouraged to submit proposals by July 1st 2016.

for full details visit nafems.org/publications/tender



NAFEMS reference library at the click of a button

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

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

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

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

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

Find out about subscription today

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

www.nafems.org/publications/e-library

NAFEMS Publikationen auch über NAFEMS GmbH bestellen

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

www.nafems.org/publications

PSE
Professional Simulation Engineer

A New Standard for
Simulation Engineers

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

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

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

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

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

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

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

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

- R. Banjac (Siemens PLM Software)
- W. Dirschmid (CAE Consulting)
- A. Frenk (Dassault Simulia)

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

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

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



Membership to suit you

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

Site membership

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

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

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

Corporate membership

Tailored membership for large companies with multiple locations

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

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

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

Small company membership

Cost-effective membership for small to medium sized enterprises

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

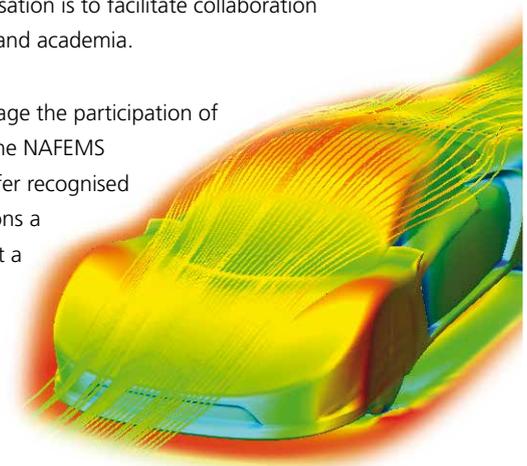
Small Company Membership is tailored to the specific needs of small to medium sized enterprises, and can also be appropriate in areas without a NAFEMS Regional Group.

Academic membership

Offering the benefits of site membership to recognised academic institutions

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

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



www.nafems.org/involved

ALTAIR ENGINEERING

Vereinbarung zur Förderung der Zusammenarbeit mit Progresstech

Altair und Progresstech haben auf der International Farnborough Air Show, eine Absichtserklärung unterzeichnet, im Rahmen derer Progresstech seine Engineering-Expertise und Marktposition dafür nutzen wird, Altairs Softwaretechnologie und -methoden in Russland sowie in der Gemeinschaft unabhängiger Staaten (GUS) zu fördern und zu vertreiben. Darunter fallen die Altair HyperWorks Suite, die solidThinking Produkte sowie Altairs Methoden zur Lead Time Reduction und zur Gewichtsoptimierung. Altair wird Progresstech dabei unterstützen, die vorhandene Kompetenz in Altairs Optimierungs-Methodik weiter auszubauen. Beide Unternehmen werden sich gemeinsam in Engineering-Projekte einbringen, wenn dies für die gemeinsamen Kunden von Vorteil ist. Sie werden an einer formellen Distributionsvereinbarung arbeiten, damit Progresstech ein offizieller HyperWorks Reseller in Russland und in der GUS wird.

Open Source Lizenzierung für Altairs PBS Professional ab sofort verfügbar

Die Open Source Lizenzierung für Altairs marktführenden High-Performance Computing (HPC) Workload Manager, PBS Professional (PBS Pro), ist ab sofort verfügbar. Die PBS Pro Entwicklungs-Communities bilden sich gerade und die Full-Core Open Source Version von PBS Pro kann nun unter www.pbspro.org heruntergeladen werden. Mit der Veröffentlichung dieser, mit der Open Source Initiative konformen Version, unterstützt PBS Pro ein Umfeld der Zusammenarbeit für die HPC Community. Dadurch kann der Fokus auf die Erreichung gemeinsamer Ziele für High-Performance Computing gelegt werden. PBS Pro wird seit über 20 Jahren kommerziell entwickelt und unterstützt. Tausende Organisationen weltweit nutzen seine mehrfach ausgezeichnete, skalierbare Workload Management Plattform, um die Effizienz und die

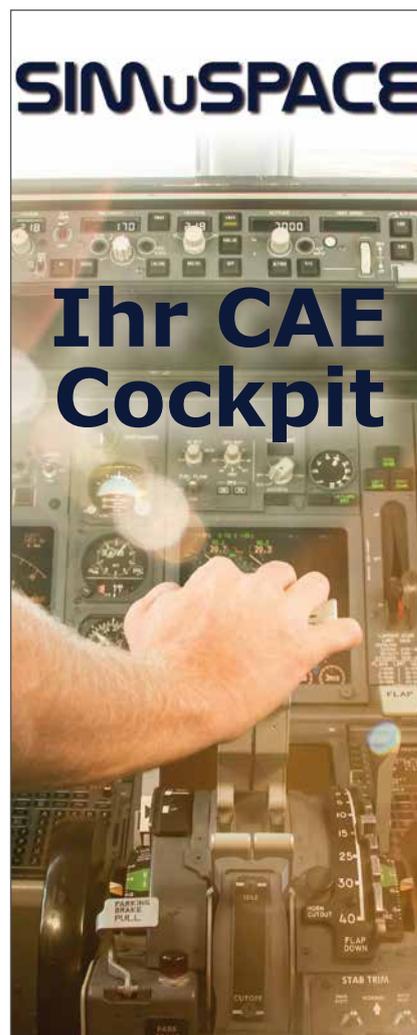
Performance ihrer Berechnungsinfrastruktur zu verbessern.

Partnerschaft zur Einbindung der MapleSim Modelica Engine

Altair und Maplesoft haben eine strategische Partnerschaft vereinbart, die es Altair ermöglicht, die Modelica Engine von MapleSim, Maplesofts moderne System-Modellierungs- und Simulationsplattform, zu lizenzieren. Altair wird die MapleSim Modelica Engine in ihre Produkte zur modellbasierten Systementwicklung einbinden. Modelica ist eine nicht-proprietäre, objektorientierte, gleichungsbasierende Sprache, mit der komplexe physikalische Systeme komfortabel modelliert werden können. Die flexible Multi-Domain Modelica Grundstruktur wird es Altair Kunden ermöglichen, Komponenten aus verschiedenen Disziplinen nahtlos in System-Modelle einzubinden. Diese Modelle und Komponenten liegen offen vor und können modifiziert werden, so dass sie einfach wiederverwendet, angepasst und erweitert werden können. Die Anwender erhalten darüber hinaus Zugriff auf das stetig wachsende Ökosystem der Modelica-basierenden Komponenten. Diese sind oft sehr spezialisiert und enthalten das konzentrierte technische Fachwissen der entsprechenden Experten.

Kostenfreie Studentenversion von HyperWorks 14.0

Altair hat vor kurzem die neueste Version der HyperWorks 14.0 Student Edition, der umfangreichsten Computer-Aided Engineering (CAE) Suite für Studenten der Ingenieur- und Naturwissenschaften auf den Markt gebracht. Altair Hyperworks 14.0 ist die umfassendste auf dem Markt erhältliche, Open-Architecture, Multiphysik CAE Plattform. Die CAE Suite kann unter anderem zur Verbesserung der Produkt-Performance und für die Entwicklung von Leichtbaukomponenten verwendet werden. HyperWorks bietet Zugang zu neuen Technologien und unterstützt die Anwender dabei, ihre Produkte schneller auf den Markt zu bringen. HyperWorks umfasst Werkzeuge für Modellierung und Visualisierung, lineare und nichtlineare Analysen,



Die schlanke SDM-Lösung für den Mittelstand

Wir maximieren Ihre Effizienz:

- **Bedarfsanalyse**
- **Konzeption**
- **Implementierung**
- **Training**
- **Support**

Professional CAE Solutions
powered by



www.isko-engineers.de
Fon: +49 89 37062-0

Struktur- und Systemleveloptimierung, CFD und MKS Simulation, elektromagnetische Simulation (EMC) und Antennenausrichtung, multiphysikalische Analysen, modellbasierte Entwicklung und Lösungen für das Datenmanagement. Die kostenfreie HyperWorks 14.0 Student Edition bietet Studierenden weltweit all diese Funktionen. Die Software kann einfach auf einem PC oder Laptop installiert werden. Die Student Edition basiert auf HyperWorks Desktop, eine integrierte Benutzerumgebung für die Modellierung und Visualisierung. Sie kann für Pre- und Postprocessing-Aufgaben bei der Finite Elemente Analyse und bei dynamischen Mehrkörpersimulationen sowie zur Verwaltung und Visualisierung von Simulationsergebnissen und Versuchsdaten eingesetzt werden.

Altair übernimmt Cedrat

Altair hat die Übernahme des Unternehmens Cedrat S.A. und seiner in New York ansässigen Tochterfirma Magsoft Corporation abgeschlossen. Damit werden die Funktionen der HyperWorks CAE Suite in den Bereichen Elektromagnetismus und thermische Simulation deutlich erweitert. Mit mehr als 35 Jahren Erfahrung im Bereich Elektroentwicklung ist Cedrat ein führendes Unternehmen auf dem Gebiet der niederfrequenten elektromagnetischen Simulation zum Design von Elektromotoren. Das hochrangige Technologieunternehmen für elektromagnetische Software hat seinen Sitz in Grenoble, Frankreich, und entwickelt und nutzt Simulationssoftware, die auch von Herstellern eingesetzt wird, um die Entwicklung zuverlässiger und optimierter Lösungen für elektrische und elektromagnetische Geräte wie Motoren, Transformatoren, Aktuatoren, Sensoren, Wärmebehandlungsprozesse, Übertragungsleitungen, EMV, Lichtbogenkammern und Supraleitungsanwendungen zu beschleunigen.

Altair, RUAG und Morf3D treiben die additive Fertigung in der Luft- und Raumfahrt voran

Altair, RUAG und Morf3D haben vor kurzem eine nicht-exklusive Partnerschaft zur Zusammenarbeit bei der Verbesserung der additiven Fertigung (AM) für Luft- und Raumfahrtanwendungen unterzeichnet. Die Partnerschaft adressiert den kompletten additiven Fertigungsprozess, vom Design über die Analyse, Herstellung und den Test bis zur Zertifizierung. Im Rahmen dieser Partnerschaft soll ein „Rundum“-Service angeboten werden, der in erster Linie für die additive Fertigung in der Luft und Raumfahrt gedacht ist, und Anwendungsbereiche wie Raumfahrt, Antriebssysteme, Flugzeuginnenraum und Flugzeugstrukturen umfasst. Weitere Bereiche werden folgen, sobald sich neue Anwendungsmöglichkeiten bieten. Während die Partner gemeinsam an Veröffentlichungen, Trainings, Forschungen und Fachbeiträgen, etc. arbeiten werden, um die gemeinsamen Aktivitäten zu fördern, liegt bei Altair der Tätigkeitsschwerpunkt auf der Bereitstellung der Software solidThinking Inspire™, ein Werkzeug für Design und Analyse. Morf3D kümmert sich um das Programm-Management, die Komponentenherstellung, Forschung & Entwicklung sowie um die damit verbundene Qualitätskontrolle und RUAG übernimmt die Führungsrolle in den Bereichen Design, Analyse, Dokumentation, Test und Zertifizierung. Das Team wird die AM Anlagen im Morf3D Innovation Center nutzen, die verschiedene DMLS Systeme umfassen, sowie die Testanlagen bei RUAG.

www.altair.de

ANSYS (siehe „CADFEM“)

BETA CAE

Neue Releases verfügbar

Beta CAE gab die Veröffentlichung der Releases ANSA v16.2.1, BetaCAE Software Suite v16.1.3 und SPDRM v1.2.0 bekannt.

www.beta-cae.com

CADFEM

Klubert + Schmidt entscheidet sich für Ansys AIM von Cadfem

– siehe auch Ansys –

Eigentlich suchten die Produktentwickler der Klubert + Schmidt GmbH eine in ihr CAD-System integrierte Simulationssoftware zur Strömungsanalyse. Aber nachdem Cadfem ihnen die neuartige Software Ansys AIM präsentierte, kam alles ganz anders. Folglich hat sich der Automobilzulieferer Klubert + Schmidt dafür entschieden, mit Ansys AIM zukünftig erweiterte Produktsimulationen durchzuführen. Bisher wurden vom Automobilzulieferer lediglich konstruktionsbegleitende strukturmechanische Berechnungen mit den schon vorhandenen CAD-integrierten Simulations-Tools durchgeführt.

Diese sollten jedoch durch eigens durchgeführte Strömungsanalysen – die bisher an externe Dienstleister vergeben wurden – ergänzt werden. Deshalb wurde nach einer entsprechenden Softwarelösung gesucht, mit der strukturmechanische und strömungsmechanische Simulationen miteinander verknüpft werden können.

Überzeugt hat die Verantwortlichen von Klubert + Schmidt die neuen Simulationssoftware Ansys AIM, die ihnen von Cadfem, dem Ansys Elite Channel Partner, präsentiert wurde. Ansys AIM verknüpft bei Multiphysik-Analysen verschiedene Physikdomänen direkt miteinander, ohne auf das sonst teilweise schwierige und aufwendige Mapping zwischen den einzelnen Physikdomänen angewiesen zu sein. „Trotz unserer anfänglichen Skepsis – bezüglich zu hoher Komplexität, des erforderlichen Spezialistenwissens

und des notwendigen Arbeits- und Kostenaufwandes – haben wir sehr schnell die überzeugenden Vorteile von Ansys AIM erkannt“, erklärt Richard Krellner, Konstruktionsleiter bei Klubert + Schmidt. „Dazu gehört die intuitive Bedienung, die einfach ergänzbaren Workflow-Templates, die gute Benutzerführung und Übersichtlichkeit der gesamten Lösung, aber auch der integrierte Geometriemodellierer SpaceClaim und das attraktive Preis/Leistungs-Verhältnis.“ Produktsimulation für jeden Ingenieur

Mit Ansys AIM sind auch Techniker und Ingenieure ohne spezielles Simulationswissen in der Lage, bei ihrer täglichen Konstruktions- und Entwicklungstätigkeit Simulationen zu nutzen. Das zeigte sich schon in der Einführungsphase, bei der auf eine Standardschulung verzichtet wurde. Stattdessen wurde eine anwendungsbezogene, firmenspezifische Schulung inklusive Pilotprojekt von Cadfem vorbereitet und mit sechs Konstrukteuren des Automobilzulieferers durchgeführt. Unter anderem wurde hierbei das physikalische Verhalten einer Gaststromregelinheit von Klubert + Schmidt untersucht.

„Mit den neuen Möglichkeiten der Produktsimulation können wir nun sowohl die gestiegenen internen Anforderung an die Produktentwicklung besser erfüllen als auch die vermehrten Nachfragen unserer Kunden hinsichtlich komplexer Multiphysik-Berechnungen noch detaillierter beantworten“, betont Richard Krellner, „und das sogar auch mit Standard-CAD-Rechnern, nachdem wir deren Arbeitsspeicher erweitert haben.“

Cadfem esocaet ergänzt Weiterbildungsangebot

Komplexe Computersimulationen sind heute Bestandteil des täglichen Lebens geworden und wissenschaftliche Herausforderungen können nicht mehr ohne sie gelöst werden. Die Angebote von Cadfem esocaet dienen seit mehr als zehn Jahren zur Qualifizierung zum Simulationspezialisten, denn Zertifikats- und Masterprogramme sowie ein Mo-

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

+ + by **CADFEM**

dulstudium bieten karrierefördernde, berufsbegleitende Weiterbildungsmöglichkeiten.

Cadferm esocaet hat jetzt seine Kooperationen mit Hochschulen erweitert und bietet nun auch entsprechende Studienprogramme mit den Schwerpunkten Strömungssimulation sowie Medizin und Medizintechnik an. Für das Masterstudium ist eine Studienzzeit von rund zwei Jahren vorgesehen, in der sich die eigene Berufserfahrung mit wissenschaftlichen Methoden und erlerntem Fachwissen verbinden lässt. Alternativ können vom Studienangebot auch nur einzelne Module belegt werden, die mit einem Certificate of Advanced Studies (CAS) der jeweiligen Hochschule abgeschlossen werden. Auf Grund der kurzen Studiendauer von etwa sechs Monate besteht eine sehr gute Planbarkeit, wobei jedes Modul bei Äquivalenz auf ein späteres Masterstudium angerechnet werden kann. Der berufsbegleitende Masterstudiengang Applied Computational Mechanics wird bereits seit 2005 von den Hochschulen Landshut und Ingolstadt gemeinsam mit Cadferm esocaet für Ingenieure und Naturwissenschaftler angeboten. An der tunesischen Hochschule Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sousse soll im nächsten Herbst ebenfalls der Masterstudiengang SBES (Simulation Based Engineering Sciences) mit Schwerpunkt Strukturmechanik / Applied Computational Mechanics starten.

Von der HSR Hochschule für Technik Rapperswil in der Schweiz soll erstmalig im Wintersemester 2016/17 ein Certificate of Advanced Studies (CAS, Hochschulzertifikat) mit dem Schwerpunkt Strömungssimulation angeboten werden. Gleichzeitig startet an der Universität Witten-Herdecke das neue Hochschulzertifikat „Simulation in Human Medicine“. Dieses richtet sich an Ingenieure, die im Bereich Medizin oder Medizintechnik arbeiten und sich notwendiges medizinisches Fachwissen als Basis für ihre Simulationen aneignen wollen.

Cadferm Ansys Extensions für Ansys 17.1 verfügbar

Die Cadferm Ansys Extensions sind von Cadferm und Partnern entwickelte Engineering-Werkzeuge für Ansys. Integriert in Ansys Workbench erweitern sie den Funktionsumfang von Ansys punktuell um spezifische Anwendungen. Die Cadferm Ansys Extensions sind ab sofort auch für Ansys 17.1. verfügbar. Cadferm Ansys Extensions sind Engineering-Werkzeuge für Ansys, die erweiterte Funktionen bereitstellen: unter anderem Nachweise (FKM, VDI 2230), Schnittstellen oder Datenkomprimierung. Alle Cadferm Ansys Extensions sind ab sofort auch für Ansys 17.1. verfügbar, die entsprechenden Lizenzen können ab sofort heruntergeladen werden.

Aus „optiSLang for Ansys“ wird „Ansys optiSLang“

optiSLang inside Ansys ist eine Cadferm Ansys Extension, d. h. ein Engineering-Werkzeug innerhalb Ansys Workbench, das von Cadferm gemeinsam mit dem Partner Dynardo GmbH auf den Weg gebracht wurde. Zusammen mit dem Programm optiSLang in einer eigenen GUI wurde es bisher als optiSLang for Ansys lizenziert. Cadferm und der Partner Dynardo GmbH sind stolz und freuen sich, dass Ansys, Inc. die Lösung optiSLang for Ansys nun über einen Distributionsvertrag mit Dynardo in das eigene Produktportfolio aufgenommen hat und künftig als AnsysoptiSLang weltweit anbieten wird.

www.cadferm.de

www.ansys-germany.com

CD-ADAPCO

Neue Version Star-CCM+ 11.04

CD-Adapco hat die Star-CCM+ Version 11.04 freigegeben. In dieser Version bekommt die Simulationslösung neue Modellierfunktionen sowie verbesserte Simulationsabläufe, die eine Verkürzung der Time-to-Solution ermöglichen.

www.cd-adapco.com

COMSOL

Neue Version von Comsol Multiphysics und Comsol Server

Die Comsol Multiphysics GmbH hat heute die Verfügbarkeit der neuesten Version der Comsol Multiphysics und Comsol Server Simulationsumgebung bekannt gegeben. In Comsol Multiphysics, Comsol Server sowie in den Add-on Produkten wurden hunderte nutzerorientierte Funktionen und Erweiterungen implementiert. Die Neuerungen ermöglichen eine höhere Genauigkeit, bieten eine bessere Anwenderfreundlichkeit und steigern die Produktivität. Mit neuen Lösern und Methoden bis hin zu Applikations-Design- und Bereitstellungs-Werkzeugen, erweitert die Version 5.2a der Comsol Software Design- und Optimierungsmöglichkeiten in den Bereichen Elektromagnetik, Mechanik, Strömungsmechanik und chemische Verfahrenstechnik.

www.comsol.de

CPU 24/7

CPU 24/7 führt Elastic Licensing Units von Ansys ein

Die Kooperation zwischen CAE as a Service-Provider CPU 24/7 und ANSYS wird mit der Einführung eines neuen Pay-per-Use-Lizenzmodells für die CAE-Simulationssoftware Ansys auf das nächste Level gehoben. Mit den Ansys Elastic Licensing Units haben Unternehmen und Forschungseinrichtungen weltweit ab sofort nahezu unbegrenzte Flexibilität in der Simulation von komplexen Aufgabenstellungen im Computer Aided Engineering (CAE).

Diese neue Form der Lizenzierung ermöglicht es Kunden der CPU 24/7, ihre Lizenznutzung an sich ständig ändernde Projektbedingungen, u.a. Auslastung, situativ anzupassen. Neben traditionellen Leasing, Paid-Up-Modellen und Cloud-Angeboten sind die Ansys Elastic Licensing Units der erste CAE-Lizenzierungsstandard, der Stunden-basierten Zugriff auf die gesamte Palette der Ansys Software bietet – und das in einer einzigen Lizenz. Sie ermöglicht es Kunden, die Größe der Lizenzen

an ihre jeweilige Arbeitsbelastung anzupassen. Zugleich können Entwicklungsteams jetzt aber auch eine On-demand-Nutzung in Zeiten von Spitzenlasten vornehmen.

CPU 24/7 ist Cloud Hosting Partner der ersten Stunde für die AnsysElastic Licensing Units. Damit bieten die Potsdamer CAE as a Service-Experten als einziger in Deutschland ansässiger Cloud Hosting Partner ihren Kunden ungehinderten Zugang zum Ansys-Multiplattform-Angebot. Unabhängig vom Kundenstandort können ab sofort alle bestehenden Lizenzbeschränkungen entfernt und angepasst werden. Dies gilt auch für bisherige On-premise und Paid-Up Lizenzen.

Daniel Gülzow, CPU 24/7: „Sicherheit, Performance und Flexibilität sind für unsere Kunden die Schlüsselbegriffe im CAE. Die Sicherheit und Performance gewähren wir als On-demand-Service-Provider für High Performance Computing mit unseren physikalisch-bereitge-

stellten HPC-Servern in unserem zertifizierten Rechenzentrum. Zusätzlich können wir ab sofort mit dem neuen Ansys-Lizenz-Standard auch softwaretechnisch sehr flexibel und dynamisch auf den Bedarf der Ingenieure und Entwickler reagieren. Für viele Unternehmen, die bereits Ansys nutzen, wird die Nutzung unserer CAE as a Service-Lösung damit noch praktikabler und einfacher.“ CPU 24/7 stellt auf Nachfrage und in Abstimmung mit Ansys die Ansys Elastic Licensing Units für Kunden bereit.

www.cpu-24-7.com

DASSULT SIMULIA (siehe „SIMPACT“)

3DExperience Plattform steht im Mittelpunkt von Flugzeugprogrammen

Dassault Systèmes hat bekanntgegeben, dass die Airbus Group die Nutzung der 3DExperience Platt-

form von Dassault Systèmes auf ihre Additive-Manufacturing-Programme ausweitet und so durchgängig in der Konstruktion, Simulation und Fertigung einsetzt. Dieser Entscheidung war ein umfassender, zweijähriger Benchmarking-Prozess vorangegangen.

Die Airbus Group wird die Collaborative Design- und Simulationsanwendungen von Dassault Systèmes als Teil der Branchenlösung „Co-Design to Target“ für das Additive Manufacturing von Werkzeugen, Prototypen und Bauteilen für Testflüge sowie in der Produktion ziviler Flugzeuge einsetzen. Auf diese Weise erreicht die Airbus Group eine digitale Kontinuität bei der Optimierung ihrer konzeptionellen Entwürfe, da jede Phase des Prozesses im Additive Manufacturing virtuell validiert werden kann. Durch die Nutzung der Anwendungen von Dassault Systèmes und der eigenen technischen Kompetenz und Erfahrung in der additiven Fertigung eröffnen sich



HSR
HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL
FHO Fachhochschule Ostschweiz

Kursstart: 29. September 2016
Informieren Sie sich jetzt!
www.hsr.ch/cas-cfd

Neues berufsbegleitendes Weiterbildungsangebot

CAS Computational Fluid Dynamics

Im CAS Computational Fluid Dynamics vermitteln Ihnen unsere Dozierenden umfassendes Fachwissen für die erfolgreiche Anwendung von Strömungssimulationen – wissenschaftlich fundiert und praxisorientiert.

Modul A	Modul B	Modul C
CFD in Practice	Fluid Dynamics and Heat Transfer	Mathematics and Computational Methods
Eigene Praxiserfahrung mit CFD-Simulationen sammeln.	Die Physik von Strömungen verstehen.	Die numerischen Methoden hinter CFD-Simulationen begreifen.

Bestimmen Sie den Umfang Ihrer Weiterbildung nach Ihren Bedürfnissen. Buchen Sie den CAS-Lehrgang oder einzelne Module. Oder erweitern Sie den Lehrgang zu einem berufsbegleitenden esocaet-Masterstudium.



Werden Sie Expertin oder Experte für numerische Strömungssimulation. Profis haben nie ausgelernet.

der Airbus Group zusätzliche Möglichkeiten in der Konstruktion und Fertigung, um den technischen und produktionsbezogenen Anforderungen des Additive Manufacturing von Werkzeugen und Bauteilen gerecht zu werden.

Additive Manufacturing, auch bekannt als 3D-Druck, ist eine Alternative zu herkömmlichen Produktionsverfahren, wie etwa Fräsen, Schmelzen und Gießen oder Präzisionsschmieden. Nachdem dieses Verfahren in der Luft- und Raumfahrtbranche bereits seit einiger Zeit für kreatives Produktdesign und den Prototypenbau eingesetzt wird, findet Additive Manufacturing jetzt auch nach und nach Einzug in die Massenfertigung. Die Branchenlösung „Co-Design to Target“ nutzt Anwendungen für das Additive Manufacturing, um eine hohe Flexibilität in der Konstruktion, Fertigung und Erprobung von Bauteilen bieten zu können. So lassen sich Abfall und Kosten bei der Fertigung komplexer Flugzeugteile reduzieren, ohne dabei Abstriche bei Stabilität und Leistung hinnehmen zu müssen.

„Zahlreiche Projekte bei Airbus setzen im Bereich Prototypenerstellung und Bauteilfertigung auf additive Fertigungsverfahren, da sie potentiell leichtere und kostengünstigere Ergebnisse erzielen, die zudem sowohl technische als auch leistungs-, sicherheits- und kostenbezogene Standards erfüllen“, sagt Robert Nardini, Senior Vice President Engineering Airframe, Airbus. „Airbus nutzt schon lange die Simulationsanwendungen von Dassault Systèmes, um die Strukturanalyse und die virtuelle Erprobung von Flugzeugen zu beschleunigen. Jetzt können wir bei der Konstruktion von Bauteilen einen neuen Weg gehen, indem wir die simulationsbasierte Konstruktion nutzen, um besser auf die Bedürfnisse der Luftfahrtbranche reagieren zu können.“

„Additive Manufacturing bietet in vielen unterschiedlichen Bereichen neue Chancen, wie etwa bei der Remote-Produktion im Rahmen von Support und Wartung, der schnelleren Prototypenerstellung zur Umsetzung neuer Konzepte und Erlebnisse sowie insbesondere bei der

Entwicklung von Designs, die bisher als nicht herstellbar galten“, so Dominique Florack, Senior Executive Vice President, Research & Development, Dassault Systèmes. „Mit diesem Ansatz wird die Airbus Group von den Vorteilen profitieren können, welche die 3DEXperience Plattform mit dem neuartigen automatisieren Konstruktionsassistenten für Teile bietet, und so eine neue Welle der Veränderungen in der Luft- und Raumfahrtbranche anstoßen – ganz egal ob die jeweiligen Bauteile nun aus dem 3D-Drucker kommen oder nicht. Mit der 3DEXperience Plattform bieten wir eine Komplettlösung, die alle technischen Parameter für das Additive Manufacturing von Bauteilen umfasst, einschließlich Werkstoffkunde, Funktionsspezifikationen, generative Konstruktion, 3D-Druckoptimierung, Fertigung und Zertifizierung.“

www.3ds.com

DHCAE TOOLS

Neuer Cloud-Service

Dhcae Tools bietet einen neuen Cloud-Service an, der ermöglicht, CFD-Anwendungen und strukturmechanische Berechnungen mit leistungsstarken HPC-Ressourcen in der Cloud zu erweitern. Die Nutzung von Cloud Computing macht die Anschaffung großer HPC-Ressourcen und Rechner in Firmen überflüssig. Ein weiterer signifikanter Vorteil ist, dass keine Lizenzkosten für CFD-/FEA-Solver entstehen, da Dhcae-Tools Lösungen auf Open-Source Löser-Technologie beruhen.

In der Cloud steht Kunden eine komplette, vorinstallierte Simulations-Umgebung für CFD, Strukturanalyse und für gekoppelte Probleme zur Verfügung. Selbst komplexe Geometrien mit anspruchsvollen Mehrphasenanwendungen im CFD-Bereich oder rechenintensive nicht-lineare Kontaktanalysen im Strukturbereich können in der Cloud leicht und schnell gelöst werden. Zudem können Berechnungsfälle direkt aus der CAD-basierten GUI-Umgebung an die Cloud gesendet werden.

Verschiedene Cloud-Pakete stehen zur Verfügung, aus denen die

erforderlichen Komponenten nach Bedarf gewählt werden können. Darüber hinaus bietet Dhcae Tools auf Anfrage auch auf spezielle Anforderungen des Kunden zugeschnittene Lösungen an.

Der Cloud-Zugang kann flexibel in den vorhandenen Firmen-Workflow integriert werden: Unternehmen können jederzeit entscheiden, ob sie z.B. 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 Simulations-Anwendungen in ihrer bekannten Windows-Umgebung belassen und bei Bedarf auf externe, leistungsstarke Cloud-basierte Linux-Hochleistungssysteme zugreifen.

www.dhcae-cloud.com
www.dhcae-tools.de

DYNARDO

Dynardo gewinnt Ansys als Reseller für optiSLang, Dynardo's high-end Softwarelösung für Robust Design Optimierung (RDO)

Die Dynardo GmbH und Ansys möchten bekanntgeben, dass Dynardos optiSLang – die führende Software für CAE-basierte Robust Design Optimierung im virtuellen Prototyping - jetzt weltweit von Ansys und seinen Channel-Partnern unter dem Namen Ansys optiSLang vertrieben wird.

Johannes Will, Geschäftsführer von Dynardo, erklärte, dass „... Dynardo und Ansys modernste Technologie und einzigartiges Know-how für diese Partnerschaft vereinigen.“ Das neue Produkt Ansys optiSLang vereint effiziente Methoden CAE-basierter Optimierung und CAE-basierter stochastischer Analyse mit der weltweit führenden parametrischen CAE-Modellierungsumgebung in der Ansys-Suite.

Ansys optiSLang ermöglicht CAE-basierte virtuelle Produktentwick-

lung in allen Industriebranchen, um entscheidende Wettbewerbsziele zu erreichen, wie optimale und zuverlässige Produkte bei gleichzeitiger Kostenreduzierung. Benutzerfreundlichkeit und Effizienz helfen dabei, die Entwicklungszeit bis zur Marktreife zu minimieren. In Kombination mit der branchenführenden Ansys-CAE-Simulationssoftware ermöglichen Variantenstudien mit optiSLang ein besseres Designverständnis bezüglich der Wechselwirkungen mit variierenden Einsatzbedingungen bei gleichzeitiger Sicherung der Designrobustheit gegenüber Materialtoleranzen und anderen umweltbedingten Streuungen. Diese Funktionalitäten erlauben den Kunden, die Leistungsfähigkeit, Robustheit und Zuverlässigkeit von Produkten der nächsten Generation zu verifizieren und zu verbessern. Ansys optiSLang unterstützt die virtuelle Produktentwicklung mittels automatisch generierter und durchgeführter Designstudien innerhalb der parametrischen Modellierungs-

umgebung Ansys für die folgenden Aufgabenstellungen:

- Kalibrierung von virtuellen CAE-Modellen gegenüber Messdaten
- Sensitivität von Optimierungsvariablen für ein besseres Verständnis wie Parametervariationen auf Produkte wirken
- Untersuchung von Optimierungspotenzialen
- Überprüfung und Verbesserung der Designrobustheit und Zuverlässigkeit
- Durchführung von Robust Design Optimierungen

www.dynardo.de

ESI-GROUP

ESI veröffentlicht Virtual Seat Solution 2016 für das virtuelle Prototyping von Automobil- und Flugzeugsitzen

Die ESI Group gab die Veröffentlichung von Virtual Seat Solution 2016 bekannt. Die Software-Lösung

versetzt OEMs und Sitz-Zulieferer in die Lage, ihre Sitz-Prototypen vollständig und virtuell zu entwickeln, zu testen, zu verbessern und vorzuzertifizieren, ohne kostspielige physische Prototypen. Industrielle Kunden können so nicht nur Zeit und Kosten sparen, sondern hochinnovative Leichtbau-Sitze liefern, die gleichzeitig alle geforderten Leistungskriterien erfüllen. Virtual Seat Solution, die sich schon in der Automobilindustrie etabliert hat, bietet mit der Version 2016 zusätzlich speziell auf die Anforderungen der Luftfahrtindustrie abgestimmte Funktionalitäten. Virtual Seat Solution 2016 ermöglicht Herstellern die Evaluierung des Sitzkomforts bereits in der Entwicklungsphase, ebenso wie die Bewertung der Bein- und Bewegungsfreiheit für Passagiere sowie die virtuelle Vorzertifizierung der Sitze.

Ein immer heißer umkämpfter Reisemarkt zwingt Fluggesellschaften, nach Differenzierungsmöglichkeiten gegenüber Mitbewerbern zu suchen



Alle x-technik
Fachmagazine und
Ausgaben in einer App

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



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



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

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

und ihren Passagieren ein möglichst angenehmes Reiseerlebnis zu vermitteln. Vor diesem Hintergrund sind die Anstrengungen der Ingenieure naheliegend, die Kabinen-Ausstattungen kontinuierlich zu verbessern, wobei den Sitzen eine für den Passagierkomfort zentrale Rolle zufällt. ESI Virtual Seat Solution 2016 ermöglicht es Sitzherstellern, das Verhalten und den Komfort ihrer Sitze unter Berücksichtigung diverser Kriterien virtuell zu bewerten. Dazu gehören u. a. die Bewegungsfreiheit, statischer und thermischer Komfort des Passagiers sowie die Eigenschaft der Sitze, Flugvibrationen zu absorbieren.

Neben der Erfüllung der stetig wachsenden Erwartungen der Passagiere bezüglich des Sitzkomforts werden bei Flugzeugsitzen zukünftig verstärkt unterschiedliche Aspekte der Gewichtsreduktion berücksichtigt werden müssen. Derart wird es Fluggesellschaften ermöglicht, signifikante Treibstoffmengen einzusparen. Dies alles muss entsprechend den zunehmend schärferen Sicherheitsbestimmungen umgesetzt werden, ohne die Sicherheit der Passagiere zu beeinflussen.

Heute vertrauen Hersteller in der Luftfahrttechnik auf das virtuelle Testen, um die Produktentwicklung zu beschleunigen. Zum Beispiel hat die Französische Firma Expliseat zügig die Zertifizierung für ihren revolutionären Titan-Sitz erhalten – den leichtesten bisher von der European Aviation Safety Agency (EASA) zertifizierten Sitz. „Virtual Prototyping ist ein erprobter industrieller Ansatz, den Fertigungsprozess und das Verhalten eines innovativen Produktes – wie unser Titan-Sitz – vorzuzertifizieren“, kommentiert Vincent Tejedor, CTO von Expliseat. „Unsere Erfahrungen bei der Arbeit mit ESIs Virtual Seat Solution bestätigen die Effizienz dieser Lösung, Innovationen zu beschleunigen. Die Virtual Seat Solution hat uns geholfen, die für ein innovatives Produkt notwendige Entwicklungszeit erheblich zu reduzieren und den Geschäftswert unseres Unternehmens in Rekordzeit zu steigern!“

Nachdem die Software-Lösung sich bereits in der Automobilindustrie

bewährt hat, bietet die Virtual Seat Solution 2016 nun auch eine vollständige End-to-End Virtual Prototyping-Lösung speziell für die Luftfahrtindustrie: Von der Sitzmodellierung und – dank virtueller Menschmodelle, virtuellen Verhaltenstests – bis zur virtuellen Zertifizierung.

Die neue Virtual Seat Solution 2016 bietet auch für die Automobilindustrie wichtige Verbesserungen, um im Entwicklungsprozess die frühzeitige Bewertung von Verhalten und Eigenschaften neuer Sitze zu ermöglichen. Mit der neuen Funktionalität einer gesteuerten Generierung von Sitzmodellen ermöglicht Virtual Seat Solution 2016 Ingenieuren, ganz einfach neue Sitzkonzepte zu definieren. Sie können nun auch in der initialen Entwicklungsphase effizient arbeiten, indem sie bereits modellierte Bauteile erneut verwenden und mit fortschreitendem Projekt einfach die notwendigen Änderungen und Anpassungen vornehmen. Virtual Seat Solution aktualisiert automatisch das Sitzmodell, um das Verhalten des Sitzes mit den neuen bzw. geänderten Bauteilen zu berechnen. Dies führt zu erheblicher Flexibilität und spart Zeit ein.

Im Rahmen von Schleudertraumata-Tests zur Gewährleistung der Insassensicherheit wird ab sofort auch der ChinaNCAP-Prozess von Virtual Seat Solution 2016 unterstützt. Dies vervollständigt die bereits bestehenden Software-Funktionalitäten durch Unterstützung der EuroNCA- und JNCAP-Zertifizierungen. Zusätzlich zum bereits angebotenen Dummy-Modell BioRID II v.2.6 ist nun auch das Modell BioRID II v.3.0. verfügbar. Außerdem wird ein neues Werkzeug zur Sitzpositionierung angeboten, um so den Sitz in der Konfiguration gemäß den NCAP-Protokollen anzupassen. Schließlich können die Berechnungen der zahlreichen Aufprallimpuls-Level während des Schleudertrauma-Tests für einen einmaligen Start gleichzeitig vorbereitet werden.

Lesen Sie mehr darüber in einem Anwenderbericht des japanischen Sitzherstellers Tachi-S und die Durchführung von Schleudertraumata-Tests mit Virtual Seat Solution.

ESI verbindet Virtual Prototyping mit betriebsbedingtem Produktverhalten

Die ESI Group stellte ein komplettes Angebot vor, welches das traditionelle „Product Lifecycle Management“ (PLM) weitreichend verändert. Hersteller werden dabei unterstützt, ihr traditionelles PLM mit Fokus auf Planung und Entwicklung zu hinterfragen und stattdessen ihren „Product Performance Lifecycle“ (PPL) während der zu erwartenden Produktlaufzeit zu steuern – von der Wartung bis zur Produkteinstellung. Mit den jüngsten Akquisitionen im Bereich Systemmodellierung, Cloud, Datenanalyse und maschinelles Lernen (Machine Learning), hat ESI den Kundennutzen seines Kerngeschäfts Virtual Prototyping drastisch erweitert. Heute ermöglicht es ESI seinen Kunden, den Kreislauf in folgenden Bereichen zu schließen:

- **Produktentwicklung:** Anwendung von digitalen Modellen, um Produkte virtuell zu planen und zu entwickeln, z.B. zu testen, zu erzeugen und herzustellen, bevor sie überhaupt existieren.
- **Tatsächlicher Produkteinsatz:** Berücksichtigung von Echtzeit- und einsatzbezogenen Daten, sobald das Produkt vom Montageband gerollt ist. Besseres Verständnis und Reaktion auf Produkt-Nutzung oder falsche Nutzung, Alterungsprozess und letztlich Produkt-Versagen.

Die Product Performance Lifecycle-Implementierung ist besonders wichtig für den Bereich der autonomen Systeme (wie autonome Fahrzeuge) und darüber hinaus für alle Märkte mit einem Bezug zu gekoppelten Sensoren und Cyber-Objekten, die derzeit eine exponentielle Wachstumsphase durchlaufen. ESIs Virtual Prototyping-Lösungen, die bereits detaillierte 3D/4D „passive“ Modellierung und reduzierte 0D/1D „aktive“ Systemintegration kombinieren, werden jetzt um eine Lernfähigkeit erweitert, die sie autonom und smart machen. Ein in PPL eingebundenes Virtual Prototyping wird eine größere Gruppe professioneller Nutzer in der Welt des intelligenten Arbeitsablaufs, der vorausschauenden Instandhaltung

und wettbewerbsfähiger Services erreichen.

Mehr Produktivität und Zeitgewinne mit der neuesten Version von ESIs Multi-Domain Plattform Visual-Environment 11.5

Die ESI Group gab die Veröffentlichung der neuesten Version seiner Multi-Domain Simulationsplattform Visual-Environment 11.5 bekannt. ESIs Visual-Environment bewältigt Simulationsprozesse über unterschiedliche Aufgabenbereiche in einer gemeinsamen, vereinheitlichten Umgebung – von Pre- und Post-Processing und Vernetzung bis hin zur Ergebnisdarstellung und Aufgabenautomatisierung. Mit dem zugrunde liegenden Single Core Compute Model eliminiert Visual-Environment langwierigen Datenaustausch und hilft so Fertigungsunternehmen, Produktentwicklungskosten und -zeiten zu reduzieren. Die aktuelle Version Visual-Environment 11.5 unterstützt nun die Modelica-basierende Sys-

temmodellierung und Simulation sowie die virtuelle Produktmontage. Darüber hinaus ermöglicht der neue ESI-Player Ingenieuren, ihre ESI-Ergebnisdateien überall und zu jeder Zeit zu visualisieren.

www.esi-group.com

GRANTA DESIGN

Granta und Senvol

Granta und Senvol haben bekannt gegeben, dass die Senvol Database, die erste und umfangreichste Datenbank für Werkstoffe und Maschinen in der additiven Fertigung (AM), in Grantas branchenführender Materialsoftware, Granta MI und CES Selector, verfügbar sein wird. Dadurch werden Entwicklungsteams nützliche AM Daten noch einfacher finden und die Maschinen und Werkstoffe identifizieren können, die sich am besten für ihr Projekt

eignen. Mittlerweile gibt es hunderte industrieller AM Maschinen und kompatible Werkstoffe. Neue Produkte kommen wöchentlich auf den Markt. In diesem, sich rasant entwickelnden Umfeld ist es schwierig, die beste Wahl für ein Fertigungs- oder Forschungsprojekt zu treffen und eine Fehlentscheidung kann mit erheblichen Kosten verbunden sein. Die Senvol Database bietet Detailinformationen zu über 550 Maschinen und über 700 Werkstoffen. Innerhalb der Granta Software können die Anwender Materialien, basierend auf ihren Eigenschaften, dem Werkstofftyp oder kompatiblen Maschinen, suchen und vergleichen. Darüber hinaus können AM Maschinen, basierend auf unterstützten Prozessen, Herstellern, erforderlicher Bauteilgröße, Kosten oder kompatiblen Werkstoffen, inklusive ihrer Kennwerte, identifiziert und verglichen werden. Dadurch ist es bei der Untersuchung der vorhandenen AM Optionen deutlich einfacher,



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™

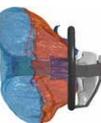
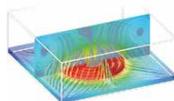
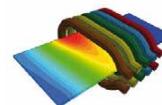
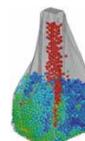
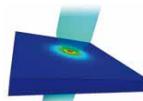


Bild: Daimler AG



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

neue Ideen zu finden und sich auf den produktivsten Kurs für ein Projekt zu konzentrieren.

Mit Granta MI können Unternehmen, eine einzige, einfach zugängliche Quelle für sämtliche Werkstoffdaten eines Unternehmens erstellen. Dies gilt sowohl für geschütztes geistiges Eigentum als auch für Referenzdaten aus anderen vertrauenswürdigen Quellen. Das Granta MI:Additive Manufacturing Paket bietet Datenstrukturen und Werkzeuge, die sich in der Praxis bewährt haben. Dadurch können AM Daten verwaltet, wertvolles geistiges Eigentum zur weiteren Nutzung erfasst, unnötige Aufwände vermieden und eine Wissensdatenbank aufgebaut werden, die für das Verständnis und die Verbesserung von AM Prozessen erforderlich ist. Durch die Integration in dieses System ist die Senvol Database für Wissenschaftler und Ingenieure sofort zugänglich und durchsuchbar. Dabei wird das gleiche, einfach anwendbare Web-Browser Interface verwendet, das Nutzer auch beim normalen Zugriff auf ihre eigenen AM Daten sowie die Werkstoff- und Prozessinformationen ihres Unternehmens einsetzen.

Die CES Selector Software ist ein einfach anwendbares PC-Werkzeug für die Darstellung, den Vergleich und die Werkstoffauswahl beim Einsatz von Materialdaten. Mit seinen leistungsstarken Diagrammwerkzeugen können nun auch Daten der Senvol Database analysiert und dargestellt werden, z. B. kann nun ein Schaubild für den Vergleich der Kennwerte aller Ti-6Al-4V Werkstoffe, die mit einer spezifischen Maschine kompatibel sind, einfach erstellt werden. Mit den systematischen Auswahlfunktionen von CES Selector können Maschinen- und Materialoptionen, basierend auf ihren Eigenschaften, gefiltert werden. Dies hilft dem Anwender bei der Bewertung von Zielkonflikten bei der Identifizierung geeigneter Maschinen und Werkstoffe für eine bestimmte Anwendung.

In beiden Granta Produkten wird die Senvol Database zu einem Bestandteil der umfassenden, integrierten Materialdatenbibliothek, die Metalle,

Verbundwerkstoffe, Kunststoffe, Keramik und weitere Materialien abdeckt.

Vermeidung von Risiken im Zusammenhang mit Stoffverboten

Granta Design hat die neuesten Erweiterungen der Granta MI:Restricted Substances Software angekündigt. Diese werden Luft- und Raumfahrtunternehmen dabei unterstützen, das Compliance-Risiko im Zusammenhang mit Materialien und Prozessen zu reduzieren, richtlinienkonform zu entwickeln und Produkte noch genauer zu analysieren. Die neuesten Entwicklungen umfassen erweiterte Referenzdaten zur Abdeckung vorhandener Lücken in firmeninternen Informationen, verbesserte Werkzeuge zur Verwaltung des geistigen Eigentums sowie schnelle Apps zur Beantwortung geschäftsentscheidender Fragen wie: „Welche meiner Produktspezifikationen enthalten risikobehaftete Substanzen?“. Die Erweiterungen wurden beim Treffen des Environmental Materials Information Technology (EMIT) Konsortiums in Cambridge, UK, im April besprochen. Mitglieder dieses Konsortiums sind unter anderem Airbus, Boeing, Emerson Electric, GKN Aerospace, Honeywell, Rolls-Royce und Pratt & Whitney.

Verwaltung wichtiger Werkstoffdaten der Schweiß- und Füge-technik

Granta Design hat heute neue Granta MI Werkzeuge für die Verwaltung wichtiger Materialeigenschaftsdaten von Schweiß- und anderen Füge-techniken angekündigt. Diese Daten sind für Automobilunternehmen, in den Bereichen Konstruktion und Berechnung sehr wertvoll. Bisher wurden diese Daten nur bedingt systematisch verwaltet, was zu Ineffizienz, Inkonsistenz und einem erhöhten Risiko geführt hat. Granta arbeitet gemeinsam mit OEMs und Zulieferern im Automotive Material Intelligence (AutoMatIC) Consortium an anwendungsfertigen, erweiterbaren Informationssystemen, die sicherstellen, dass firmeneigene Daten für Schweißen und andere Füge-techniken erfasst werden sowie rückverfolgbar, durchsuchbar und

zugänglich sind. Die Anwender werden dadurch Zeit sparen und können so den größtmöglichen Nutzen aus dem Firmenwissen ziehen.

www.grantadesign.com

HBM-nCode

Neue nCode Version 12

HBM-nCode, Entwickler der führenden Marke für Betriebsfestigkeits-, Test- und Analyseprodukte, hat heute die Veröffentlichung der Version 12 seiner Software-Suite bekanntgegeben. Mit nCode 12 werden ein neues Produkt zur Durchführung von Geräusch- und Vibrationsanalysen, ein neuer Solver für Versagenskriterien bei Verbundwerkstoffen und verbesserte Funktionalitäten innerhalb der kompletten Software-Suite von nCode eingeführt. Die Software für Zuverlässigkeitstechnik von ReliaSoft ist nun ebenfalls unter dem neuen und flexiblen Lizenzierungssystem Prensicia Access verfügbar. „Diese neueste Version unserer Suite verstärkt unser Engagement für die Entwicklung technologisch ausgereifter Lösungen, wie sie unsere Anwender erwarten“, erläutert Jon Aldred, Direktor für Produktmanagement bei HBM-nCode. „Die neuen Lösungsansätze der Version nCode 12, ermöglichen es unseren Kunden, völlig unabhängig von Datenerfassungs-Hardware, eine Reihe von technischen Herausforderungen in einer intuitiven Umgebung zu lösen.“

Geräusch- und Vibrationsanalyse. nCode VibeSys ist ein neues Datenverarbeitungssystem, mit dem Ingenieure für Akustik und Schwingungstechnik ein zuverlässiges Produkt entwickeln können, das bezüglich Klang und Komfort sowie regulatorischen Vorgaben alle Kundenerwartungen erfüllt. Diese einfach anzuwendende Software umfasst eine Reihe von vordefinierten Prozessen für Geräusch- und Schwingungsprobleme, wie zugrundeliegende Strukturmechanik, Auswertung der menschlichen Wahrnehmung sowie die Identifizierung der Hauptursachen von Geräusch- und Vibrationsproblemen

in rotierenden Maschinen.

Composite-Analyse. Eine neue Analyse-Option für Verbundwerkstoffe in nCode DesignLife ermöglicht dem Anwender die Beurteilung der Strukturfestigkeit nach standardmäßigen Versagenskriterien bei Verbundwerkstoffen, wie Tsai-Hill und Tsai-Wu. Belastungen können durch Anwendung von ausgewählten Ausfallkriterien über den realistischen Lebensdauerzyklus hinweg abgeschätzt werden, wobei kritische Stellen, Lastkombinationen und relevante Faktoren bezüglich Konstruktionsreserven leicht identifiziert werden können. Dieser Ansatz vereinfacht und automatisiert gängige Fehleranalysemethoden für Verbundwerkstoffe bei Leichtbauweise-Projekten in der Fahrzeug- und

Lufffahrtindustrie.

Zugriff auf ReliaSoft Produkte. Mit nCode 12 wird die Kompatibilität mit Prensia Access eingeführt ein einheitliches Lizenzierungsmodell, das einen jahresbasierten Lizenzzugriff auf beide Produktbereiche, nCode und ReliaSoft, ermöglicht. Prensia Access erweitert die CDS-Lizenzeinheiten von nCode und ermöglicht den Zugriff auf ReliaSoft Produkte, wie beispielsweise Weibull++ und Xfmea.

„Wir haben die strategische Integration der ReliaSoft Corporation durchgeführt, um neue Möglichkeiten für die Entwicklung innovativer Methoden zu eröffnen, die Haltbarkeits- und Zuverlässigkeitstechnologien verbinden“, erläutert Aldred. „Die Einführung von Prensia Access

gibt unseren Kunden die Möglichkeit, die Produktzuverlässigkeit zu verbessern, die Produktivität zu erhöhen und die Kapitalrendite (ROI) zu steigern.“

Neuer angepasster Lizenz-Manager. Ab Version 12 werden die nCode Software-Lizenzen durch den LM-X Lizenz-Manager verwaltet. Ein neues Lizenzverwaltungs-Tool erleichtert die Installation des Lizenzservers auf der erforderlichen Hardware sowie die Verwaltung von Lizenzen. Die Einführung von LM-X gewährleistet zudem mehr Sicherheit und verbessert die Berichterstattung über die Nutzung von CDS-Einheiten.

www.hbmncode.com



Dr. sc. techn. ETH/SIA Yasar Deger

Die Methode der Finiten Elemente **Grundlagen und Einsatz in der Praxis**

7. Auflage 2015, 159 Seiten, 131 Abb., A5, broschiert, 29,80 €
(Kontakt & Studium, 551) ISBN 978-3-8169-3319-9

Das Buch ist Bestandteil der Schulungsunterlagen des NAFEMS FEM-Kurses „Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation“

Das Buch vermittelt Neueinsteigern, Anwendern und Entscheidungsträgern einen Überblick über Grundlagen, Möglichkeiten und Grenzen der FE-(Finite-Elemente-) Methode. Es erklärt die Arbeitsweise der zugehörigen Programme auf leicht verständliche Art und beschreibt die Voraussetzungen und Vorgehensschritte für den erfolgreichen und effizienten Einsatz in der Ingenieurpraxis. Dabei wird besonders darauf Wert gelegt, das physikalische Problem als ein mechanisch/mathematisches Modell so einfach wie möglich, aber so genau wie nötig zu simulieren, die aussagekräftigen Ergebnisse aus der Berechnung zu selektieren und diese kritisch auszuwerten bzw. kompetent zu interpretieren. Die zahlreichen, einfach gehaltenen, anwendungsspezifischen Beispiele

aus einer breiten Palette von Problemen mit Praxisbezug regen den Leser zum selbständigen Üben an.

Inhalt

Theoretische Grundlagen – Finite Elemente als Ersatz für elastische Körper – Rotationssymmetrie – Modellierung des Materialverhaltens – Stabilitätsuntersuchungen / Nichtlinearitäten – Dynamische FE-Berechnungen – Thermische FE-Berechnungen – Regeln für den Umgang mit der FE-Methode – Übungen

Interessenten

- Entwicklungs- und Berechnungsingenieure aus Maschinenbau, Fahrzeugbau, Luft-/Raumfahrt, Anlagen- und Apparatebau, Bauwesen, Forschung/Entwicklung, Konstrukteure,

- Entscheidungsträger mit entsprechendem Zuständigkeitsbereich
- Lehrer und Studenten an Fachhochschulen

Autor

Dr. Y. Deger befasst sich seit über 25 Jahren mit der Theorie und Praxis der Methode der Finiten Elemente. Er ist als Partner am Sitec, Institut für Anlagen- und Sicherheitstechnik, tätig und lehrt zugleich an der HSR, Hochschule für Technik, Rapperswil, in der Schweiz. Seit 1992 erteilt er zudem Weiterbildungskurse an der TAE, Technische Akademie Esslingen.

Buchbestellung

www.expertverlag.de/3319

HSR HOCHSCHULE FÜR TECHNIK RAPPERSWIL

CAS Computational Fluid Dynamics: Neue berufs begleitende Weiterbildung an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil

Wie lässt sich die Effizienz von Pumpen und Turbinen steigern? Wie sind elektrische Maschinen oder Microchips optimal zu kühlen? Wie lässt sich der Treibstoffverbrauch von Fahrzeugen reduzieren?

Die Strömungstechnik bietet in zahlreichen Anwendungen Ansätze zur erfolgreichen Produktinnovation. Um Strömungen zu optimieren, werden heutzutage zunehmend numerische Strömungssimulationen (Computational Fluid Dynamics, CFD) eingesetzt.

Strömungssimulationen durchzuführen ist für einen Ingenieur dank leistungsstarker CFD-Software keine besondere Herausforderung mehr, ihre Resultate zu interpretieren und die richtigen Schlüsse daraus zu ziehen jedoch mehr denn je. Dafür braucht es Praxiserfahrung, aber auch ein Verständnis der physikalischen Modelle und mathematischen Konzepte, die CFD-Simulationen zu Grunde liegen.

Hier setzt ein neuer Weiterbildungslehrgang an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil in der Schweiz an. Im CAS Computational Fluid Dynamics vermitteln Dozenten der Hochschule und Experten aus der Praxis umfassendes Fachwissen für die erfolgreiche Anwendung von Strömungssimulation – wissenschaftlich fundiert und praxisorientiert.

Der Wissenstransfer zwischen der Hochschule und den Weiterbildungsteilnehmern aus der Praxis steht dabei im Zentrum. Durch den berufsbegleitenden Unterricht während einem halben Jahr wird eine gute Vereinbarkeit mit den beruflichen Verpflichtungen der Teilnehmer sichergestellt. Mit der betreuten Projektarbeit, in der die Teilnehmer selbstständig eine CFD-Analyse für eine Problemstellung aus dem eigenen Berufsalltag durchführen, erarbeiten sich die Teilnehmer ab dem ersten Kurstag einen Mehrwert für Ihren Arbeitgeber.

Das CAS Computational Fluid Dynamics besteht aus den folgenden Modulen:

- Modul CFD in Practice: Eigene Praxiserfahrung mit CFD-Simulationen sammeln.
- Modul Fluid Dynamics and Heat Transfer: Die Physik von Strömungen verstehen.
- Modul Mathematics and Computational Methods: Die numerischen Methoden hinter CFD-Simulationen begreifen.

Der berufsbegleitende Lehrgang dauert 6 Monate und umfasst 18 Unterrichtstage in Blöcken à 2-3 Tagen (Do, Fr, Sa), jeweils ganztags. Der Start erfolgt am 29. September 2016. Weiterführende Informationen zum CAS Computational Fluid Dynamics finden Sie online: www.hsr.ch/CAS-CFD.

www.hsr.ch/CAS-CFD

INSTAL

Instal-News

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

www.4innovative-engineers.com

ISKO ENGINEERS

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-Werkzeugaufbaukasten 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

MSC SOFTWARE

Silberner Stevie Award bei den „German Stevie Awards 2016“

MSC Software wurde am 24. Februar 2016 als Gewinner des Silbernen Stevie Awards in der Kategorie: Bestes neues Produkt - Software Development-Lösungen bei den German Stevie Awards 2016 bekannt gegeben.

Die German Stevie Awards sind ein hochkarätiger Wirtschaftspreis für die deutsche Unternehmerwelt. Herausragende Leistungen werden in über 80 verschiedenen Kategorien prämiert. Seit mehr als einem Jahrzehnt zeichnen die Stevie Awards die Leistungen in der Arbeitswelt in sechs unterschiedlichen Programmen aus. Bei den German Stevie Awards sind alle Unternehmen und Organisationen in Deutschland berechtigt, Bewerbungen einzureichen.

Die Auszeichnungen wurden den Gewinnern am 8. April 2016, im Rahmen einer feierlichen Preisverleihung im Hotel Vier Jahreszeiten Kempinski in München überreicht. Mit dem Silbernen Stevie Award wurde MSC Apex in der Kategorie „Bestes neues Produkt – Software Development-Lösungen“ ausgezeichnet. MSC Apex ist eine CAE – Plattform, von Grund auf mit innovativer patentierter Technologie programmiert. Die generative Umgebung zeichnet sich durch leichten Einstieg sowie Benutzer-

freundlichkeit aus, beschleunigt die Geometriebearbeitung und macht die FEM-Simulation einer breiteren Ingenieurs-Community zugänglich. Frau Cornelia Thieme, Technical Support Coordinator, MSC Software, Deutschland gab ein kurzes Interview auf der Stevie Award Verleihung, das auf Youtube, unter dem eingefügten Link zur Verfügung steht: <https://www.youtube.com/watch?v=7g6idxlW7aY&list=PLxZrTaLFgyELwhawL86Ea5WdkFjp7G5ej&index=23>

Unter über 300 Nominierten wurden die Preisträger der Goldenen, Silbernen und Bronzenen Stevie Awards von mehr als 50 Führungskräften aus ganz Deutschland bewertet.

Die Stevie Awards werden in sechs Programmen verliehen: Asia-Pacific Stevie Awards, German Stevie Awards, American Business Awards, International Business Awards, Stevie Awards for Women in Business, Stevie Awards for Sales & Customer Service. Die Stevie Awards Programme erhalten jedes Jahr insgesamt weit über 10.000 Bewerbungen von Organisationen aus mehr als 60 Ländern. Durch die Auszeichnung von Unternehmen und Organisationen aller Größen und Arten sowie den Menschen, die hinter diesen Unternehmen stehen, erkennen die Stevies herausragende Leistungen in der Arbeitswelt weltweit an. Erfahren Sie mehr über die Stevie Awards unter: www.StevieAwards.com.

www.mscsoftware.com

SCHEIDER DIGITAL

Die neue SpaceMouse Enterprise von 3Dconnexion

Wie man die beste 3D-Maus aller Zeiten entwickelt? Man fragt professionelle Anwender nach ihren Anforderungen und erfüllt diese. Genau das hat 3Dconnexion getan. Das Ergebnis ist die neue SpaceMouse Enterprise – das bis dato leistungsstärkste und nutzerfreundlichste 3D-Eingabegerät für CAD-Profis. Selbst der neue Treiber 3DxWare 10 ist so konzipiert, dass er problemlos alle 3Dconnexion mit allen bisherigen Geräten kompatibel ist. Erhältlich ist

das neue SpaceMouse Enterprise Kit ab sofort direkt bei Schneider Digital bis zum 30.09.2016 zum Einführungspreis.

www.schneider-digital.com

SIEMENS PLM SOFTWARE

Siemens bringt Simcenter auf den Markt

- Umfassendes Portfolio aus Simulationssoftware und Testlösungen für Innovation durch digitalen Zwilling in allen Phasen der Produktentwicklung
- Eckpfeiler für die Digitalisierungsstrategie von Siemens und die systemorientierte Produktentwicklung
- Ebenfall neu: Simcenter 3D, die nächste Generation der multidisziplinären 3D-CAE-Lösung

Produktneuheit aus der Siemens-Sparte Product Lifecycle Management (PLM): Das Portfolio Simcenter kommt heute auf den Markt. Die robuste Suite aus Simulationssoftware und Testlösungen soll die anspruchsvolle Entwicklung von komplexen Produkten erleichtern. Simcenter verbindet Simulationen und Tests mit Berichtsfunktionen und Datenanalysen. So lassen sich digitale Zwillinge erstellen, die die künftigen Produkteigenschaften in allen Phasen des Entwicklungsprozesses virtuell exakter abbilden. Das bedeutet für Entwicklungsabteilungen: Innovationen werden dadurch schneller und kostengünstiger umgesetzt. Zum Portfolio gehört auch das neue Simcenter 3D, eine 3D-CAE-Lösung der nächsten Generation auf der NX-Softwareplattform von Siemens. Hier fließen die Fähigkeiten mehrerer Lösungen zusammen und decken eine breite Palette an Simulationsaufgaben und branchenspezifischen Anwendungen ab. Mit der Einführung von Simcenter treibt Siemens den nächsten Schritt im Rahmen seiner Digitalisierungsstrategie und der Vision der „Predictive Engineering Analytics“ voran. Hierbei werden Simulation und Verifizierung von Konstruktionslösungen in einem für die systemorientierte Produktentwicklung entscheidenden

Analysetool gebündelt.

„Die Fertigungsunternehmen stehen unter großem Druck. Sie müssen ihre Produktentwicklung an neue Anforderungen anpassen. Sonst riskieren sie, den Anschluss zu verlieren“, stellt Peter Bilello, President der CIMdata Inc., fest. „Mit dem Simcenter-Portfolio und der Vision der Predictive Engineering Analytics geht Siemens diese Anforderungen proaktiv an und stützt sich dabei auf seine leistungsstarken Technologien und Zukäufe wie LMS und, in jüngster Vergangenheit, CD-adapco. So kann Siemens seinen Kunden weiterhin bei der Entwicklung komplexer Produkte zur Seite stehen und bereitet den Boden für neue Produktgenerationen“, betont Bilello. Viele Produkte erfordern anspruchsvolle Entwicklungsumgebungen, in denen alle Bereiche gleichzeitig angesprochen werden: Mechanik, Elektronik, Software und Steuerung. Entwicklungsabteilungen müssen diese Aspekte in intelligente Produkte einbinden und dabei neue Materialien und Fertigungsverfahren einsetzen. Zugleich soll die Entwicklung immer schneller ablaufen. Da sind moderne Verfahren gefragt, mit denen sich Produkteigenschaften verifizieren lassen und die verstärkt auf vorausschauende Berechnungen setzen, damit Entwickler den Weg der Digitalisierung und der systemorientierten Produktentwicklung gehen können.

Simcenter ist auf diese Anforderungen zugeschnitten und setzt die Vision der Predictive Engineering Analytics von Siemens um, indem verschiedene Technologien für Simulation und Tests miteinander verknüpft werden. Dazu gehören numerische Festkörpermechanik und Finite-Elemente-Methode (FEM), numerische Strömungsmechanik (CFD), Mehrkörperdynamik, Steuerung und Regelung, Prototypentests, Visualisierung, multidisziplinäre Berechnungen und Datenanalysen. Mit der Siemens-Software Teamcenter werden diese Technologien in einem PLM-Konzept zusammen gebracht – für die Konstruktion und Entwicklung komplexer Systeme.

Im Rahmen von Simcenter nutzen die Anwendungen durch die Integ-

ration von sensorbasierten Daten mit realistischen Simulationen mit hoher Wiedergabetreue auch das Industrial Internet of Things (IIoT). So können Hersteller digitale Zwillinge ihrer Produkte erstellen und mit dem physischen Gegenstück abstimmen. Dies ist entscheidend für aussagekräftige, realistische Berechnungen der Produkteigenschaften. So können die Produkte an neue Nutzungsbedingungen angepasst, ihre Nutzungsdauer verlängert und einer Abnahme der Produktqualität gegengesteuert werden.

„Die Vision der Predictive Engineering Analytics und die Strategie der Digitalisierung von Siemens fasst Produktleistungsdaten vermehrt ganzheitlich auf. Dies hilft den Herstellern bei der anspruchsvollen Entwicklung der komplexen Produkte und Systeme von heute“, erläutert Chuck Grindstaff, President und Chief Executive Officer, Siemens PLM Software. „Mit Simcenter unternehmen wir den nächsten Schritt im Rahmen dieser Strategie. Dabei stützen wir uns auf die umfangreichen Investitionen der letzten Jahre durch interne F&E, strategische Zukäufe von Branchenführern wie LMS und CD-adapco und zukünftige Entwicklungen und Expansionen.“

„Im Rahmen des Simcenter-Portfolios bietet Simcenter 3D eine einheitliche, skalierbare, offene und erweiterbare Umgebung für 3D CAE mit Verknüpfungen zu Design, Systemsimulationen, Tests und Datenmanagement“, erläutert Dr. Jan Leuridan, Senior Vice President für Simulations- und Testlösungen von Siemens PLM Software. „Wir haben die Fähigkeiten von NX CAE, LMS Virtual.Lab und LMS Samtech zusammengeführt und bringen damit eine umfassende 3D-CAE-Lösung für CAE-Analysten und Experten für einzelne Bereiche auf den Markt.“ Weitere Informationen unter www.siemens.com/plm/simcenter.

Jet Aviation Basel setzt bei Digitalisierung auf PLM-Software von Siemens

- NX und Teamcenter bilden Basis für digitales Unternehmen
- Kernargumente für die Wahl: Offene Standards und hohe Skalierbarkeit
- Neutrales Datenformat JT ermöglicht LOTAR-Compliance

Jet Aviation Basel hat Siemens damit beauftragt, die Software-Basis für seine künftige Digitalisierungsstrategie zu liefern. Das Unternehmen wollte sein bestehendes Softwaresystem für Product Lifecycle Management (PLM) ersetzen, das die Anforderungen im Hinblick auf Offenheit und Skalierbarkeit nicht mehr erfüllte. Nach einem umfassenden Auswahlverfahren entschied sich der in Basel ansässige MRO- und Completion-Standort für NX, die integrierte Computer-aided Design, Manufacturing und Engineering (CAD/CAM/CAE) Software von Siemens, sowie das Teamcenter Portfolio, das weltweit am häufigsten eingesetzte System für digitales Lifecycle Management. Sie bilden in Zukunft die Basis für das digitale Unternehmen. Mit den beiden Lösungen, die auf das ISO-standardisierte Dateiformat JT setzen, kann Jet Aviation Basel seine Dokumentationsprozesse schlanker gestalten und entspricht dem Long-term Archiving and Retrieval (LOTAR)-Standard. Das ist in der Luftfahrtbranche von entscheidender Bedeutung. Der Roll-out wird in mehreren Stufen erfolgen und beginnt im September 2016.

Jet Aviation Basel musste seine digitale Transformation beschleunigen und bestehende Systeme auf den Prüfstand stellen. Das Unternehmen wollte zum einen Daten als JT-Dateien speichern, um die nachgelagerten Prozesse zu unterstützen. Darüber hinaus wollte es 2D-Zeichnungen abschaffen und sicherstellen, dass die neuen 3D-Prozesse alle Kriterien für eine Zertifizierung erfüllen. Die Software-Suite für das digitale Unternehmen von Siemens, die sich aus NX und Teamcenter zusammensetzt, erfüllte alle diese Anforderungen.

Siemens und HP entwickeln 3D-Druck weiter

- Siemens Software entfaltet volles Potential der neuen 3D-Drucker von HP
- Dank Multi-Material-Unterstützung Baugruppen als ein Teil fertigen
- Additive Fertigungstechnologie mit Druckersteuerung bis auf Voxel-Ebene

Siemens gibt die Zusammenarbeit mit HP Inc. bekannt. Gemeinsames Ziel ist es, neue Lösungen zu entwickeln, um die additive Fertigung (AM – Additive Manufacturing) von einem reinen Werkzeug für das Prototyping zu einem kompletten Verfahren für die industrielle Produktion zu machen. Die neue Technologie ermöglicht den 3D-Druck funktionsfähiger Produktionsteile, auch wenn verschiedene Materialien und unterschiedliche Farben verwendet werden. Mit diesem neuen Angebot für die additive Fertigung werden die neue, skalierbare Multi Jet Fusion-Technologie sowie die neuen HP Jet Fusion 3D-Drucker weiter vorangebracht. Diese Kombination ermöglicht Designern und Ingenieuren, Produkte zu entwickeln, die weit über die heutigen Fertigungsgrenzen hinausgehen. Zudem lassen sie sich mit dieser 3D-Druck-Methode wesentlich schneller herstellen. Das neue Angebot von Siemens für additive Fertigung basiert auf der umfassenden End-to-End-Technologie des Unternehmens von der Konstruktion bis hin zur Produktion. Zusammen mit der HP Multi Jet Fusion-Technologie soll die Lösung beispiellose die Steuerung des 3D-Druckers ermöglichen, einschließlich der Materialeigenschaften bis in die Voxel-Ebene hinein – bis zu zehnmals schneller und für die Hälfte der Kosten aktueller 3D-Drucksysteme („Voxel“ bezeichnet ein 3D-Pixel.).

www.siemens.com/plm

SIMPACK

Simpack 9.10, jetzt verfügbar!

– siehe auch „Dassault Simulia“ –
Simpack ist eine Software für die nichtlineare Mehrkörpersimulation, mit der auch das Verhalten von flexiblen Körpern berücksichtigt werden kann. Mit Simpack werden z.B. Vibrationen, Bewegungsverhalten und Belastung von mechanischen und mechatronischen Systemen analysiert. Neben der Simulation Hauptgebiete von Automobilen, Nutz- und Schienenfahrzeugen, Verbrennungsmotoren und Windkraftanlagen ist Simpack auch in anderen Gebieten wie Luftfahrzeugen und Agrarmaschinen sowie im HiL/SiL-Bereich angewendet werden.

Simpack ist heute Marktführer in der Simulation von Vibrationen im hohen Frequenz- und im „Shock Contact“-Bereich und somit erste Wahl für Analyse von Fahr- und Komfortverhalten sowie NVH und Lebensdauerberechnung. Simpack's Vielseitigkeit und leichte Verknüpfbarkeit mit verschiedensten CAD-, Regelungstechnik-, Hydraulik- und FE-Programmen ermöglicht ein einfaches Einbinden in jeden bereits bestehenden Entwicklungsprozess.

Mit der Veröffentlichung von Simpack 9.10 werden dem Anwender über 140 neue und 190 verbesserte innovative Entwicklungen innerhalb des Simpack Portfolios bereitgestellt. Die wichtigsten sind wie folgt:

- Multi-Physics Simulation: FMI 2.0 Import, Support Matlab R2015b
- Flexible Körper: Interface zu fe-safe (Dauerfestigkeit, Lebensdauer), Support Abaqus 6.16/2016x, Berücksichtigung der Strukturdämpfung in Simpack
- Der Prozess der Spannungsberechnung flexibler Körper in Simpack wurde für die Abaqus Schnittstelle erheblich vereinfacht. Alle erforderlichen Daten können jetzt vorab in der Reduktion in Abaqus berechnet werden, ohne Beeinträchtigung der Genauigkeit der Spannungsberechnung. Dieser neue Prozess wird für alle veröffentlichten Abaqus Versionen unterstützt. Zusätzlich unterstützt Simpack 9.10 Abaqus

6.16 und 2016x. Mit der neuen Schnittstelle zu fe-safe wurde die gesamte Prozesskette für Lebensdauer flexibler Bauteile im Kontext mechanischer Systeme stark vereinfacht.

- Erweiterungen folgender Modellierungselemente: Hydrodynamische Gleitlager (EHD), CDTire, Rollen-/Wälzlager, Simpack Maneuver, Simpack Driver, Verschleiß-Berechnung für Rad-Schiene Kontakt
- Solver: Beschleunigung Constraint Berechnung, Verbessertes Animations-Handling für große Modelle in Simpack Post
- Unterstützung DSLS (Dassault Systemes License Server)

www.simpack.com
www.3ds.com/simulia

TECOSIM

Wachstum in Indien

Tecosim expandiert weiter. Am Standort Bangalore bezogen die Mitarbeiter des weltweit führenden Entwicklungspartners für Computer Aided Engineering (CAE) am 4. Juni ein neues größeres Bürogebäude. „Mit diesem Schritt reagieren wir auf die wachsende Nachfrage nach unseren Dienstleistungen in Indien“, so Udo Jankowski, Vorstand Tecosim. Tecosim ist seit 2009 mit einer eigenständigen Gesellschaft im indischen Bangalore präsent. Im Jahr 2013 folgte die Niederlassung in Pune, die ebenfalls Anfang des Jahres 2016 ausgebaut wurde. Die Büros an beiden Standorten zusammen bieten nun Platz für 200 Mitarbeiter, die virtuelle Engineering-Projekte für Kunden aus der internationalen Mobilitäts-industrie vor Ort und weltweit realisieren. Über das bewährte Angebot von Berechnung und Simulation sowie CAD hinaus bietet Tecosim in Indien auch Lösungen für die Produktion an.

Das Unternehmen unterstützt dabei die Prozessplanung. Hierbei konzipieren die Tecosim-Ingenieure anhand von Berechnungen und Analysen den Einsatz der Maschinen und Roboter. Auch die Designentwicklung von Werkzeugen und Berei-

chen von Fertigungslinien gehören zum Portfolio. Mit der Fertigungssimulation komplettiert Tecosim sein Angebot im Bereich Virtual Engineering. Das Unternehmen positioniert die Dienstleistung als weiteren Lösungsbaustein zur Realisierung immer kürzerer Entwicklungszeiten bei gleichzeitig konstant steigender Anzahl von Modellderivaten in der Automobilindustrie. „Mit den neuen Räumlichkeiten sehen wir uns für die anhaltende Nachfrage nach spezialisierter virtueller Engineering-Dienstleistung sehr gut aufgestellt“ erläutert Jankowski. „Darüber hinaus bieten wir unseren Mitarbeitern attraktive Arbeitsplätze und stärken unser weltweites Standortnetz. Wir freuen uns, unseren Kunden umfassende Kapazitäten rund um die virtuelle Entwicklung von kompletten Fahrzeugen und Produktionsanlagen anbieten zu können.“

Studenten und Tecosim geben Gas bei der Formula Student 2016

Bei dem internationalen Konstruktionswettbewerb Formula Student Germany (FSG) treten vom 9. bis 14. August Studenten in selbstgebaute Rennwagen in mehreren anspruchsvollen Disziplinen auf dem Hockenheimring gegeneinander an. Tecosim, Spezialist für Computer Aided Engineering (CAE), unterstützt in der laufenden Saison drei Formula Student Teams.

www.tecosim.com

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

NAFEMS e-Learning Kurs: Elements of Turbulence Modeling

03.08. Internet www.nafems.org/e-learning NAFEMS

NAFEMS e-Learning Kurs: Advanced Dynamic Finite Element Analysis

16.08. Internet www.nafems.org/e-learning NAFEMS

International Symposium on Composites Manufacturing (ISCM)

24.-25.08. Braunschweig, D www.dlr.de/ISCM2016 DLR

India NAFEMS Regionalkonferenz

29.-31.08. Bangalore, IND www.nafems.org/2016/india NAFEMS

AMB

13.-17.09. Stuttgart, D www.messe-stuttgart.de/amb Messe Stuttgart

MSC Software User Meeting

20.-21.09. Erfurt, D www.mssoftware.com MSC

Bayreuther Konstrukteurstag

21.09. Bayreuth, D www.konstrukteurstag.de Univ. Bayreuth

Experience Composites

21.-22.09. Augsburg, D www.experience-composites.com JEC Group

Grazer SafetyUpDate

27.-28.09. Graz, A www.carhs.de Carhs

WindEnergy

27.-30.09. Hamburg, D www.windenergyhamburg.com Messe Hamburg

Ansys Conference & 33. CADFEM Users' Meeting

05.-07.10. Nürnberg, D www.usersmeeting.com Ansys/Cadferm

NAFEMS Schulung: Simulation und Analyse von Composites

10.-11.10. Wiesbaden, D 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 NAFEMS

Deutsches LS-Dyna Forum

10.-12.10. Bamberg, D www.dynamore.de DYNAMore

ESI OpenFOAM Conference

11.-13.10. Köln, D www.esi-group.com ESI

NAFEMS European Conference: Simulation Based Optimisation

12.-13.10. Manchester, UK www.nafems.org NAFEMS

ESI Vibro-Acoustic User Conference

12.-13.10. Köln, D www.esi-group.com ESI

Europäische Comsol Anwenderkonferenz

12.-14.10. München, D 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 NAFEMS

Human Modeling Symposium

20.-21.10. Heidelberg, D www.carhs.de Carhs

NAFEMS Seminar: Adjungierte CFD-Methoden in industrieller Anwendung und Forschung

24.-25.10. Wiesbaden, D www.nafems.org/adjoint NAFEMS

Euroblech Internationale Technologiemesse für Blechbearbeitung

25.-29.10. - Hannover, D www.euroblech.com Mack Brooks

Euromold parallel zur Airtec

25.-27.10. München, D www.euromold.com und www.airtec.aero Demat

NAFEMS Seminar NAFEMS Simulation von Composites – Bereit für Industrie 4.0?

26.-27.10. Hamburg, D www.nafems.org/comp16 NAFEMS

FloEFD Simulation Conference

08.-09.11. Frankfurt, D www.mentor.com Mentor Graphics

NAFEMS Schulung: CFD Analysis: Theory and Applications

08.-09.11. Wiesbaden, D 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 NAFEMS

Deutsches Simulia Anwendertreffen + Europäisches Simulia Anwendertreffen MKS

09.-11. 11. Darmstadt, D www.3ds.com Dassault

NAFEMS Schulung: Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation

14.-16.11. Wiesbaden, D www.nafems.org/events/nafems/2016/dach-fea4 NAFEMS

Simulia Austria Regional User Meeting

14.-15.11. Salzburg, A www.3ds.com Dassault

NAFEMS European Conference: Multiphysics

15.-16.11. Kopenhagen, DK www.nafems.org/mp2016 NAFEMS

NAFEMS Seminar: Exploring the Design Freedom of Additive Manufacturing through Simulation

22.-23.11. Helsinki, FI www.nafems.org/am16 NAFEMS

Simvec - Simulation und Erprobung in der Fahrzeugentwicklung

22.-23.11. Baden-Baden, D www.simvec.de vdi

International Composites Congress

28.-29.11. Düsseldorf, D www.composites-germany.org Composites Germany

Weitere Veranstaltungen: www.nafems.org/events

Einsatz hybrider Methoden aus Messung und Simulation bei komplexen Simulationsaufgaben

Hermann Landes, Martin Meiler
SIMetris GmbH

Es werden zwei Verfahren vorgestellt, die vom kombinierten Einsatz von Messung und Simulation profitieren. Das erste Verfahren dient zur Bestimmung effektiver Materialparameter mittels einer Methode, die auf der Verwendung eines inversen Verfahrens beruht. Dabei können diese Parameter, je nach Ansatz, für unterschiedliche Auflösungs-Skalen bis hin zu komplett homogenisierten Daten ermittelt werden. Ebenfalls möglich ist die Bestimmung der Frequenzabhängigkeit sowie von Dämpfungseigenschaften. Als weiteres Verfahren wird ein Modal Assurance Criterion vorgestellt, welches im Falle von Strukturschwingungen verwendet werden kann, um eine Korrelation von Mess- und Simulationsergebnisse zu ermöglichen. Mit diesem Verfahren lassen sich auch leicht Auswirkung bzw. Eignung unterschiedlicher Gitterdichten in Simulationsmodellen untersuchen. Die Anwendung dieser Werkzeuge wird bei der vibroakustischen Analyse komplexer Rohrkonstruktionen, wie sie in der Automobilindustrie im Abgasstrang verwendet werden, der Modalanalyse der Wicklungen von Leistungstransformatoren und der Impedanzanalyse piezoelektrischer Wandler vorgestellt.

1 Einleitung

Typischerweise erfordern Auslegung und Optimierung von Bauteilen den Einsatz sowohl von Messung als auch Simulation. Dabei kann die Simulation, da diese ohne einen vorhandenen physikalischen Prototyp möglich ist, bereits in einem sehr frühen Stadium des Entwicklungsprozesses eingesetzt werden. Um hier allerdings echte Vorhersagekraft zu erreichen und aussagekräftige Ergebnisse für reale Probleme liefern zu können, ist für die Simulation die Verfügbarkeit genauer Daten für mehrere Parameter von entscheidender Bedeutung. Diese umfassen unter anderem eine entsprechende physikalische Beschreibung, geeignete Materialmodelle, korrekte und präzise Materialdaten sowie, wie bei jedem Diskretisierungsverfahren, die Verwendung von geeigneten Netzdichten um die Verfälschung der Ergebnisse durch zu grobe Gitter zu vermeiden.

Materialdaten, soweit sie nicht aus der Literatur bekannt sind, müssen durch geeignete Messungen bereitgestellt werden. Allerdings kann die Korrektheit und Genauigkeit der hierbei ermittelten Ergebnisse stark durch Messfehler, insbesondere versteckte und somit schwer erkennbare, beeinflusst werden. Des Weiteren werden Messungen auch häufig eingesetzt, um einen Simulationsaufbau zu validieren. In diesem Fall können lokale Sensitivitäten, z.B. bei Vibrationsmessungen an einzelnen Messpunkten, die Ergebnisse stark verfälschen. Ein Vergleich von Simulation und Messung, die lediglich lokale Parameter betrachten, kann daher sehr schwierig, wenn nicht gar unmöglich sein.

In diesem Artikel wird die Anwendung von Hybridverfahren, basierend auf dem kombinierten Einsatz von Messung und Simulation, betrachtet und an zwei Beispielen vorgestellt. Zum einen wird ein Verfahren zur Bestimmung von Materialparametern präsentiert, welches auf der Verwendung von Messungen, einem inversen Verfahren und Simulationen beruht. Zum anderen betrachten wir ein Modal Assurance Criterion (MAC), welches die Überprüfung und Zuordnung von Simulationsergebnissen und Schwingungsmessungen ermöglicht; dieses gestattet auch die Untersuchung der Sensitivität von Simulationsergebnissen auf die verwendeten Netzdichten.

Im Rest des Artikels geben wir zunächst eine kurze Einführung in den notwendigen Hintergrund für die Berechnungsschemata zur Bestimmung der Materialparameter sowie des Modal Assurance Criterion. Dabei wird auf die Bestimmung von Materialparametern für eine piezokeramische Scheibe und den Abgleich von Simulation und Messergebnissen eingegangen. Die komplexe Wicklungsstruktur eines Leistungstransformators dient als ein Beispiel für die Anwendung der Materialdatenbestimmung. Dabei wurde dieses Verfahren in diesem Fall zur Homogenisierung von Materialdaten für den

Wicklungsaufbau verwendet. Zum Abschluss wird das akustische Verhalten eines Rohrsystems mit komplexer lokaler Struktur, wie es in der Automobilindustrie eingesetzt wird, untersucht.

2 Material Parameter Identifizierung

Die Verfügbarkeit korrekter Materialparameter ist für genaue numerische Simulationen unverzichtbar. In vielen Fällen ist jedoch nicht sichergestellt, dass die allgemein verfügbaren bzw. aus der Literatur bekannten Materialparameter diesen Anforderungen im konkreten Fall genügen. Daher sollten die Materialparameter zumindest einmal während des Validierungsprozesses eines Simulationsmodells überprüft und gegebenenfalls ermittelt werden.

2.1 Materialparameter für piezoelektrische Wandler

Der Einsatzbereich piezoelektrischer Materialien reicht von Mehrschichtaktoren bis hin zu einzelnen Wandlern im Ultraschallbereich. Dabei werden piezoelektrische Wandler für eine Vielzahl von Sensoren und Aktoren sowie dynamische Prozesse verwendet. Hierzu zählen u.a. Einspritzventile für Common-Rail-Dieselmotoren, Abstandssensoren im Automobilbereich, Ultraschallbildgebung in der medizinischen Diagnostik oder Ultraschall-Durchflussmesser.

Die Grundgleichungen der piezoelektrischen Wandler sind in Abb. 1 und 2 angegeben. Sie beschreiben die Wechselwirkung zwischen mechanischer Dehnung und Spannung sowie der dielektrischen Verschiebung und dem elektrischen Feld.

$$\begin{aligned}\vec{\sigma} &= \mathbf{c}^E \vec{S} - \mathbf{e}^T \vec{E} \\ \vec{D} &= \mathbf{e} \vec{S} + \epsilon^S \vec{E}.\end{aligned}$$

Abb. 1: Piezoelektrische Grundgleichung in der sog. **e-Form** (Stress-Charge-Form)

$$\begin{aligned}\vec{S} &= \mathbf{s}^E \vec{\sigma} + \mathbf{d}^T \vec{E} \\ \vec{D} &= \mathbf{d} \vec{\sigma} + \epsilon^T \vec{E},\end{aligned}$$

Abb. 2: Piezoelektrische Grundgleichung in der sog. **d-Form** (Strain-Charge-Form)

2.1.1 Bestimmung piezoelektrischer Materialparameter

Die Bestimmung piezoelektrischer Materialparameter erfolgt typischerweise mittels speziell angefertigter Probekörper mit gezielt gewählten Abmessungen und Polarisationsrichtungen sowie entsprechenden Messungen. Die so ermittelten Materialparameter liegen dann in der Regel in der d-Form vor, während in der Simulation typischerweise die e-Form benötigt wird. Zwar ist eine Konvertierung der Parameter zwischen beiden Formen theoretisch problemlos möglich; durch jede Umwandlung der gemessenen Daten können sich jedoch die Datenfehler erhöhen und so die Genauigkeit der Parameter verringern.

Ein weiteres Problem ist die Konsistenz des so erhaltenen Materialdatensatzes. Der IEEE-Standard, der typischerweise zur Bestimmung der piezoelektrischen Materialparameter verwendet wird, ist sehr zeit- und kostenintensiv und beruht auf 1D Vereinfachungen sowie der Annahme eines quasi-monomodalen Verhaltens der Testkörper; dies kann in der Praxis jedoch häufig nicht in der benötigten Reinheit garantiert werden. Darüber hinaus entsprechen Piezoaktoren in heutigen Wandlern in den meisten Fällen nicht den im IEEE-Standard geforderten Randbedingungen wie Geometriertyp, Polarisationszustand, Alter und Temperatur.

Um diese Nachteile zu überwinden und genaue piezoelektrische Materialparameter zu erhalten, wurden verschiedene neue Ansätze entwickelt [1-3]. Diese basieren auf Messungen der elektrischen Impedanzkurve sowie entsprechenden Simulationen in Verbindung mit einem inversen Verfahren, wodurch direkt die Bestimmung der Materialparameter in der e-Form ermöglicht wird.

Normalerweise wird eine Finite-Elemente-Analyse (FEA) für eine gekoppelte elektro-mechanische Berechnung wie in Abb. 3 gezeigt durchgeführt. Elektrische und mechanische Ergebnisgrößen werden in der Simulation durch ein vorgegebenes Gitter, Materialparameter, Anregungssignale sowie Randbedingungen berechnet.



Abb. 3: Typisches Ablaufdiagramm einer Finite Element Simulation.

Beim inversen Verfahren indessen wird aus der bekannten Ergebnisgröße, in diesem Fall der elektrischen Impedanzkurve, auf die unbekannt Materialparameter zurückgerechnet, um einen mit dem Ergebnis konsistenten Satz an Materialdaten zu erhalten. Diese Vorgehensweise führt zu einem nichtlinearen Problem, zu dessen Lösung ein Newton-Verfahren in Kombination mit einer Regularisierung des schlecht konditionierten algebraischen Systems eingesetzt wird. Es ist jedoch zu beachten, dass dieses Verfahren nicht notwendigerweise zu einer eindeutigen Lösung führt.

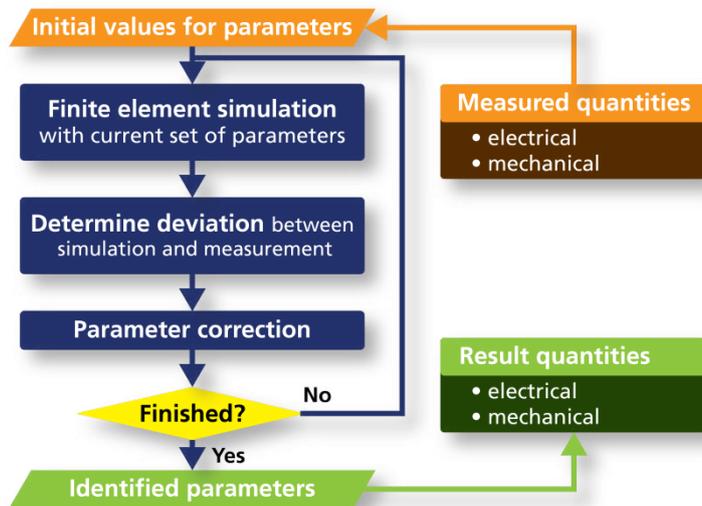


Abb. 4: Flussdiagramm für die Materialparameter Identifizierung

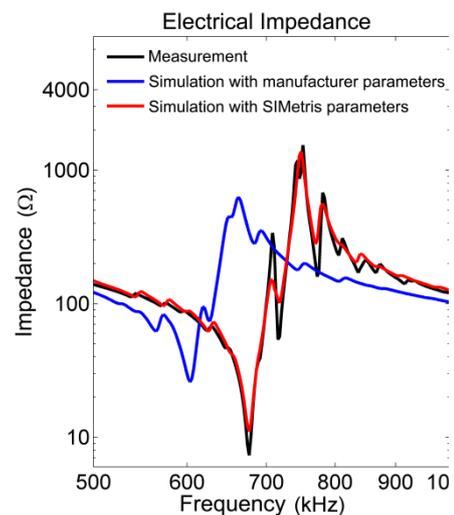


Abb. 5: Vergleich von gemessener und simulierter Impedanzkurve

Abb. 4 zeigt das Flussdiagramm des Prozesses, der bei der Bestimmung der Materialparameter automatisch abläuft. Zuerst werden die elektrischen Größen (Impedanzkurven) mittels eines Impedanz-Analysators ermittelt. Zwei Proben mit gleicher Geometrie, aber unterschiedlichen Polarisationsrichtungen werden verwendet, um den vollständigen piezoelektrischen Materialtensor zu bestimmen. Diese Daten sowie eine erste Schätzung der Materialparameter, in der Regel die Herstellerwerte, werden nun in Simulationen verwendet. Die gemessenen und simulierten Größen werden verglichen, und im Falle einer zu großen Abweichung der Parametersatz aktualisiert. Dieser Vorgang wird nun wiederholt durchgeführt, bis die Ergebnisse die vorgegebenen Konvergenzkriterien erfüllen.

In Abb. 5 wird die gemessene elektrische Impedanzkurve mit Simulationsergebnissen basierend auf Herstellerparametern sowie den nach dem oben beschriebenen Verfahren, aber an einer vollkommen anderen Probe ermittelten, Parametern verglichen. Es ist offensichtlich, dass die mit dem inversen Verfahren identifizierten Materialparameter deutlich besser geeignet sind, als die ursprünglich vom Hersteller zur Verfügung gestellten.

2.1.2 Anmerkungen zum Frequenzbereich

Oft werden Wandler nur innerhalb eines bestimmten Frequenzbereichs eingesetzt. Daher scheint es zunächst sinnvoll, den Parameter-Identifizierungsprozess auf den erforderlichen Frequenzbereich zu begrenzen. Dies kann jedoch die Qualität der ermittelten Materialparameter signifikant reduzieren, da relevante Informationen wie weitere Frequenzen und Resonanzen ignoriert werden. Der so bestimmte

Materialdatensatz würde zwar hinsichtlich der elektrischen Impedanz für den vorgegebenen Probekörper und den betrachteten Frequenzbereich hervorragende Ergebnisse liefern; bei unterschiedlichen Geometrien, Frequenzen außerhalb des betrachteten Bereiches oder anderen Kenngrößen wie z.B. Vibrationen ist dieser aber häufig vollkommen fehlerhaft.

Auch aus diesem Grund wird die Validierung des oben beschriebenen Verfahrens an Proben mit völlig unterschiedlichen Geometrien vorgenommen.

2.2 Mechanische Materialparameter

Der in 2.1 beschriebene Prozess zur Bestimmung von Materialparametern kann auf die Bestimmung von weiteren Materialparametern und unterschiedliche Materialmodelle übertragen werden. Der einzige Unterschied liegt in der Bestimmung der Messergebnisse, die die Identifizierung der benötigten Materialparameter erlauben sowie der Materialmodelle die das betrachtete Material charakterisieren. Damit ist die Bestimmung von Materialdaten z.B. für Elastomere, thermoplastische Polymere, Metalle oder transversal isotrope Materialien möglich.

2.2.1 Bestimmung mechanischer Materialparameter

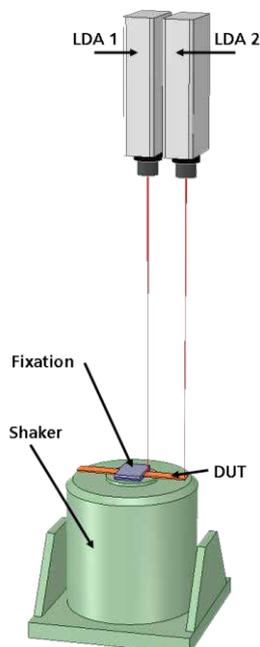


Abb. 6: Messaufbau für isotropes Material

Im Falle eines elastischen Materialmodells ist es möglich, die frequenzabhängigen Materialeigenschaften (Elastizitätsmodul, Poissonzahl, Dämpfung) zu bestimmen. Hierzu kann eine einseitig eingespannte Platte, welche mit einem Shaker angeregt wird, verwendet werden. Die resultierenden Auslenkungen können an mehreren Messpunkten z.B. mittels eines Laser-Doppler-Vibrometers rückwirkungsfrei bestimmt werden, wie in Abb. 6 dargestellt. Dabei müssen die Positionen der Messpunkte dem Materialmodell entsprechend gewählt werden und sollten ein Maximum an Informationen liefern.

Dieser Messaufbau muss nun in einem Finite-Element-Modell mit vergleichbaren Randbedingungen und Anregung abgebildet werden. Die Transferfunktion der Messdaten wird in mehrere Frequenzintervalle unterteilt und die Materialparameter werden für jedes Frequenzintervall bestimmt. In einem letzten Schritt werden nun die Materialparameter in jedem Frequenzintervall hinsichtlich dem funktionalen Zusammenhang für ein isotropes oder anisotropes Materialgesetz optimiert. Bei einem isotropen Materialverhalten geschieht dies entsprechend der folgenden Gleichung für den Elastizitätsmodul bei der Frequenz f , frequenzabhängigen Koeffizienten $\alpha_{1/2}$ und dem statischen Elastizitätsmodul E_0 bei der Frequenz $f = 0\text{Hz}$.

$$E(f) = E_0 \left[1 + \alpha_1 f + \alpha_2 \log \left(\frac{f + 1\text{Hz}}{\text{Hz}} \right) \right]$$

3 Modal Assurance Criterion

In der Strukturdynamik ist der Vergleich von gemessenen und simulierten Eigenfrequenzen und Modenformen ein vielfach eingesetztes Verfahren, um einen Modellaufbau gegen die physikalische Realität zu testen. Dazu wird das Vibrationsverhalten (Beschleunigungen) an mehreren, ausgewählten Positionen gemessen und mit entsprechenden Simulationsergebnissen verglichen. Die Aufgabe, Messdaten und Simulationsergebnisse zu korrelieren, ist jedoch nicht immer einfach zu erfüllen. So können lokale Sensitivitäten, hohe Modendichten oder auch ungeeignet gewählte Netzdichten die Ergebnisse stark beeinflussen. Um diese potentiellen Schwierigkeiten zu überwinden wurde das Modal Assurance Criterion (MAC) entwickelt, welches mittlerweile ein bewährtes Tool zum Auffinden und zur Identifikation sich entsprechender Paare von Eigenmoden und -frequenzen bei Messung und Simulation darstellt.

Die grundlegende Idee für das MAC ist einfach und kann wie folgt beschrieben werden:

1. Wähle N Messpunkte an unterschiedlichen Positionen des Strukturteils.
2. Erstelle ein Simulationsmodell und wähle ebenfalls N Punkte so nah wie möglich an den Positionen der Messpunkte (im Idealfall an denselben Positionen).
3. Bestimme mittels Messung und Simulation M Eigenfrequenzen und daraus resultierend jeweils M N-Vektoren für die Messung und die Simulation.
4. Berechne die Winkelabweichungen zwischen den 2M N-Vektoren in einer M x M Matrix.
5. Verwende diese Matrix um korrelierende Frequenzen der Messung und der Simulation zu bestimmen.

Etwas formaler ergibt sich folgende Vorgehensweise:

- Seien $\xi_m(1, \dots, N), m = 1, \dots, M$ und $\eta_m(1, \dots, N), m = 1, \dots, M$ die Vektoren aus Messdaten bzw. Simulationsergebnissen
- Sei $\lambda_{i,j}$ das normalisierte innere Produkt zwischen Messergebnis ξ_i für die i -te Frequenz und Simulationsergebnis η_j für Frequenz j , dh.

$$\mu_{i,j} = \frac{\langle \xi_i | \eta_j \rangle}{\|\xi_i\| \|\eta_j\|} \text{ und } \lambda_{i,j} = |\mu_{i,j}|$$

- Sei $\Lambda = (\lambda_{i,j}), i,j=1, \dots, M$ die sich ergebende Matrix mit Einträgen zwischen $0, \dots, 1$
- Ein Eintrag mit einem Wert nahe 1 deutet nun auf eine hohe Korrelation zwischen der i -ten gemessenen und der j -ten berechneten Eigenfrequenz, wohingegen kleine Einträge auf eine schwache Korrelation hinweisen

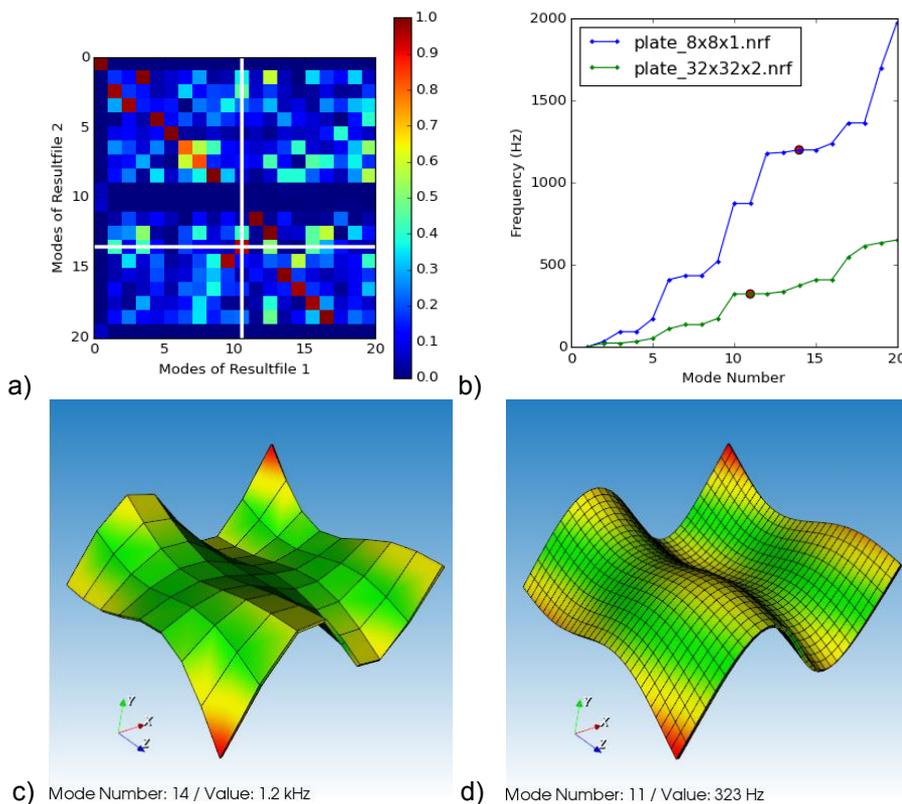


Abb. 7: a) Korrelations-Matrix Λ bei 20 betrachteten Frequenzen;
 b) Frequenz-Modennummer-Diagramm der betrachteten Gitter;
 c) 14. Eigenmode grobes Netz bei 1.2 kHz, d) 11. Eigenmode feiner Netz bei 323 Hz

Ein typisches Beispiel für die sich ergebende Korrelations-Matrix ist in Abb. 7a) dargestellt. Im Idealfall sind nun alle Diagonaleinträge der Matrix Λ nahezu gleich 1 während alle Nichtdiagonaleinträge praktisch verschwinden.

Das beschriebene Verfahren ist nicht nur auf den Vergleich von Messung und Simulation beschränkt, sondern kann auch zur Validierung eines Finite-Elemente-Gitters in einem vorliegenden Simulationsmodell eingesetzt werden. Bei Verwendung eines groben und eines feinen Gitters (Abb. 7c, d) können dabei sich entsprechende Eigenfrequenzen und -Moden einfach identifiziert werden. Ein großer Nebendiagonaleintrag deutet dabei auf eine Modenvertauschung hin, was z.B. bei Strukturen mit stark lokalem Verhalten oft beobachtet werden kann.

Das hier in seiner Basis-Variante vorgestellte MAC kann u.a. durch feinere lokale Abtastungen in Verbindung mit Mittelungsverfahren oder durch Substruktur-Techniken weiter verbessert werden.

4 Modalanalyse des Wicklungsaufbaus eines Leistungstransformators

Leistungstransformatoren sind für die Energieverteilung und -versorgung unverzichtbar. Aufgrund der magnetomechanischen Wechselwirkungen weisen diese eine erhebliche niederfrequente Lärmemission auf [4]. Durch die Interaktion von stromdurchflossenen Leiterschleifen und dem magnetischen Streufeld wirken Lorentzkräfte auf die Wicklungen, die eine mechanische Schwingung des gesamten Wicklungsaufbaus bewirken. Diese Schwingung wird mittels mechanischer Verbindungen sowie durch Schallwellen durch das isolierende Öl zwischen dem Aktivteil des Transformators und dem Tank übertragen. Die Tankwand selbst strahlt Schallwellen ab, wobei die Schwingungsform der Tankwand durch die starke Kopplung auch vom Tankinneren abhängt. Sollte eine gekoppelte Tankresonanz im Bereich von Vielfachen der anregenden Netzfrequenz liegen, wird der Transformator voraussichtlich eine hohe Schallemission aufweisen.



Abb. 8: Aufbau eines Leistungstransformators

Zur Reduktion der Schallemission müssen komplexe strukturmechanische sowie Fluid-Struktur-Wechselwirkungen erfasst werden. Daher ist immer der Gesamtaufbau des Transformators bei der Erstellung des Simulationsmodells in Betracht zu ziehen (Abb. 8). Trotz der hohen Modendichte des ölgefüllten Tanks hält sich dessen Modellierungsaufwand in Grenzen. Eine einzelne Wicklungslage weist häufig eine deutlich größere Komplexität auf, da hier Kupferleiter, Papierisolierung sowie unterschiedliche Abstandshalter und Ölkanäle berücksichtigt werden müssen, die zudem hochgradig unterschiedliches Materialverhalten zeigen.

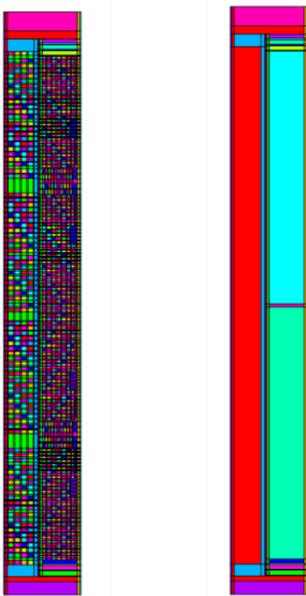


Abb. 9: Detaillierter und vereinfachter Aufbau einer Wicklung

Zur Ermittlung der Materialdaten wird der homogenisierte Aktivteil nun mit statischen Kräften in Axial- und Radialrichtung beaufschlagt und die Deformation an unterschiedlichen Punkten untersucht und mit Simulationsergebnissen des detaillierten Modells verglichen. In einem iterativen Verfahren können so die effektiven Materialparameter ermittelt werden. Abbildung 10 zeigt den Vergleich der Auslenkung einiger der untersuchten Punkte anhand des Detailmodells, der Startwerte sowie der endgültig ermittelten Materialparameter.

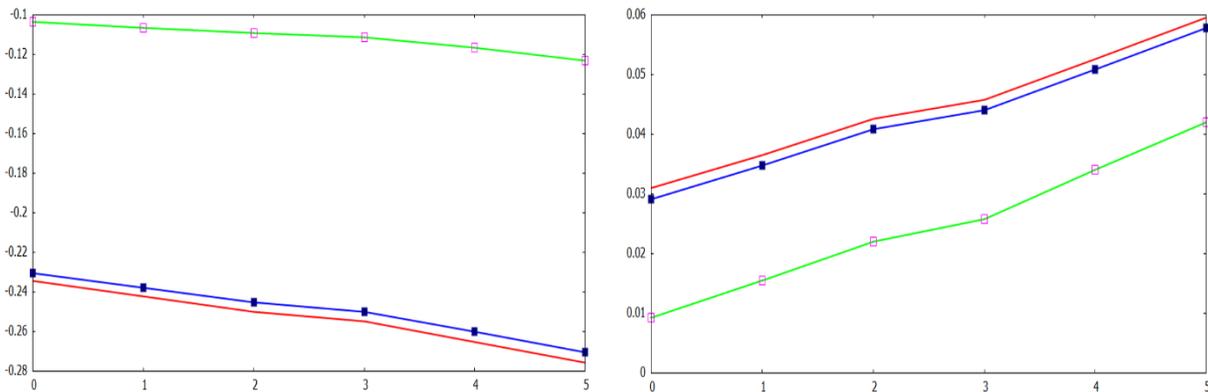


Abb. 10: Axial- (links) und Radialauslenkung der Monitorpunkte (rot – gemessen, grün Startwerte, blau – effektive, ermittelte Materialparameter)

Diese Materialparameterermittlung muss aufgrund des unterschiedlichen Wicklungsaufbaus für Ober- und Niederspannungsspule separat erfolgen. Tabelle 1 zeigt die ermittelten Materialparameter für beide Spulen sowie die Startwerte der Materialparameter.

Da keine Messergebnisse vorliegen, wird die Gültigkeit der ermittelten Materialparameter durch eine Modalanalyse nachgewiesen, wobei die Ergebnisse zwischen Detailmodell und homogenisiertem Modell für die ersten 10 Eigenfrequenzen verglichen werden. Dies ist in Tabelle 2 dargestellt, in der zusätzlich die Eigenfrequenzergebnisse unter Verwendung der Startwerte der Materialparameter für Ober- und Niederspannungsspule aufgeführt sind. Die Eigenfrequenzen des homogenisierten Simulationsmodells weisen einen Fehler kleiner 1,5 % im Vergleich zum Detailmodell auf. Diese Materialparameter wurden in darauffolgenden Simulationen erfolgreich eingesetzt um das komplexe Schwingungsverhalten des Transformators sowie die Schallemission desselben mittels einer transienten Simulation zu berechnen.

	Original	Fitted (LV)	Fitted (HV)
$E_1 (= E_2)$	120 GPa	60 GPa	60 GPa
E_3	120 GPa	35.5 GPa	27.5 GPa
$\nu_1 (= \nu_2)$	0.34	0.28	0.28
ν_3	0.34	0.18	0.15
$g_1 (= g_2)$	44.8 GPa	44.8 GPa	44.8 GPa
g_3	44.8 GPa	11.8 GPa	10.8 GPa
ρ	8960 kg/m ³	5378 kg/m ³	4516 kg/m ³

Tab. 1: Vergleich der Startwerte mit den homogenisierten Materialparametern für die Ober-(HV) und Niederspannungsspule (LV)

Detailed Model	Homogenized Model	
	Initial Data	Fitted Data
449 Hz	406 Hz	450 Hz
830 Hz	1.123 Hz	842 Hz
1.042 Hz	1.267 Hz	1.054 Hz
1.333 Hz	1.366 Hz	1.338 Hz
1.384 Hz	1.413 Hz	1.390 Hz
1.424 Hz	1.498 Hz	1.426 Hz
1.443 Hz	1.599 Hz	1.446 Hz
1.549 Hz	1.676 Hz	1.554 Hz
1.564 Hz	1.758 Hz	1.555 Hz
1.693 Hz	1.856 Hz	1.683 Hz

Tab. 2: Vergleich der ersten Eigenfrequenzen des Detail- und des homogenisierten Modells

5 Schallabstrahlung von Edelstahl-Faltenbälgen

Edelstahl-Faltenbälge werden im Abgasstrang von Kraftfahrzeugen verwendet um Schwingungen, thermisch bedingte Ausdehnung oder Toleranzen ausgleichen zu können. Die Vorteile dieser Bauteile liegen vor allem in der Korrosionsbeständigkeit sowie dem großen Temperatureinsatzbereich.

5.1 Problemstellung: hohe Lärmemission

Dieses Kapitel beschreibt die Untersuchung eines Faltenbalgs, der eine hohe, tonale Lärmemission aufweist, die sich durch ein Pfeifgeräusch äußert. Die Geräuschemission ist abhängig vom Volumenstrom und tritt vor allem bei hohen Durchsätzen auf. Im ersten Schritt werden Messdaten, die durch eine Mikrofonmessung erzeugt wurden, analysiert. Anhand eines Spektrogramms (Waterfall-Diagramm), also der Darstellung der zeitabhängigen Spektralkomponenten des Mikrofonsignals, können, wie in Abb. 11 dargestellt, unterschiedliche tonale Komponenten identifiziert werden. Als Ursache der Pfeiftöne werden Turbulenzen im Rohrinernen vermutet, die durch starke Verwirbelungen in den Falten des Bauteils erzeugt werden.

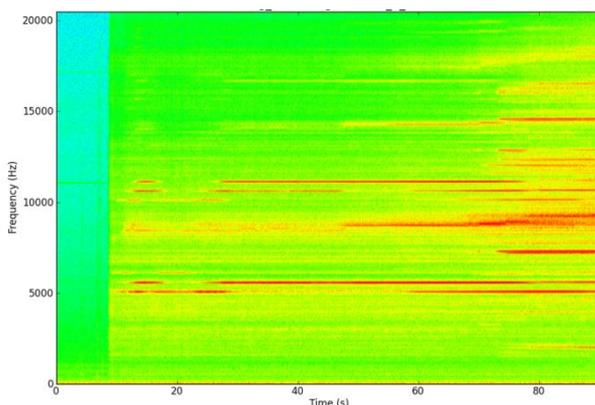


Abb. 11: Spektrogramm des Pfeifgeräuschs

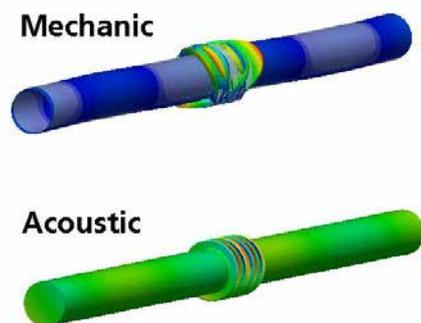


Abb. 12: Gekoppelte Eigenfrequenz und zugehörige Modenformen

5.2 Eigenfrequenz-Analyse

Zunächst werden die Eigenfrequenzen des gekoppelten, vibroakustischen Systems mittels einer Finite-Elemente-Simulation berechnet. Hierbei können verschiedene Eigenfrequenzen sowie die zugehörigen Modenformen den entsprechenden kritischen Messfrequenzen zugeordnet werden. Da

keine Messdaten bzgl. der Schwingform zur Verfügung stehen, kann hier das Modal Assurance Criterion (MAC) nicht angewendet werden. Die Durchführung einer solchen Messung, z.B. unter Verwendung eines Laser-Doppler-Scanning-Vibrometers, ist bei Bedarf jedoch leicht möglich. Dennoch konnte das MAC bei der Überprüfung der Gitterfeinheit im Hinblick auf die Bestimmung der Einfügedämpfung erfolgreich eingesetzt werden.

5.3 Ermittlung der Einfügedämpfung

Um die akustischen Eigenschaften des Faltenbalgs zu erhalten, wird eine Finite-Elemente-Simulation zur Ermittlung der Einfügedämpfung durchgeführt. Hierbei wird eine beliebige Zahl (im konkreten Fall vier) akustischer Punktquellen zufällig im Inneren des Faltenbalgs platziert, und der Unterschied zwischen der akustischen Leistung im Rohrinernen und dem Rohräußeren bestimmt. Diese Untersuchung wurde anhand eines 3D Modells des Faltenbalgs durchgeführt, wobei als Freifeldrandbedingung sowohl absorbierende Randbedingungen wie auch Perfectly Matched Layer (PML) zum Einsatz kommen. Die Schallemission in radialer Richtung wird dabei mit absorbierenden Randbedingungen behandelt, die Schallemission sowie die Rohrschwingung in Axialrichtung des Rohres wird mittels PML realisiert. Die frequenzabhängige Einfügedämpfung wird mittels

$$\text{Einfügedämpfung} = 10 \log_{10} \frac{P_{acou_power_in}}{P_{acou_power_out}}$$

berechnet, wobei $P_{acou_power_in}$ die Schalleistung im Rohrinernen und $P_{acou_power_out}$ die Schalleistung im Rohräußeren beschreibt.

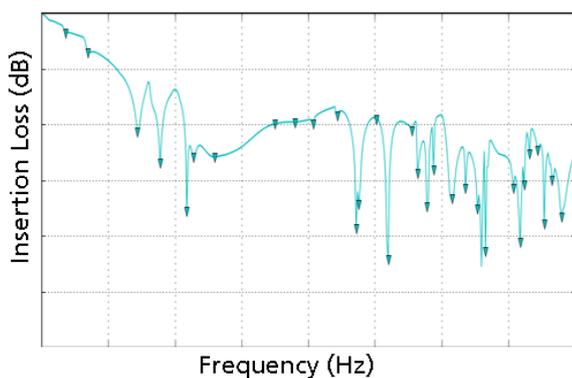


Abb. 13: Ermittelte Einfügedämpfung

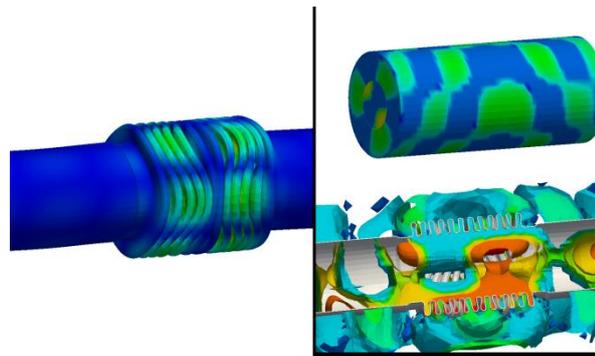


Abb. 14: Ergebnis der harmonischen Analyse: deformierte Geometrie (links), Schallfeld im Außenraum (oben rechts) und akustische Isobare (unten rechts)

Abbildung 13 zeigt die berechnete Einfügedämpfung. Frequenzen, die kritisch in Bezug auf die Schallemission des Faltenbalgs sind, können durch die Kurvenminima ermittelt werden. Für ein solches Minimum der Einfügedämpfung ist das Außenraumschallfeld, die deformierte Geometrie sowie Isobare im Innen- und Außenraum des Faltenbalgs in Abb. 14 dargestellt. Nachdem die kritischen Frequenzen sowie die zugehörigen deformierten Geometrien und Schallfelder des Faltenbalgs nun bekannt sind, kann das Design überarbeitet werden, um die Schallemission zu reduzieren.

5.4 Ausblick: Ermittlung von Materialparametern für mehrlagige Faltenbälge

Die bisher vorgestellten Ergebnisse behandelten einlagige Bälge. In der Praxis werden zumeist jedoch mehrlagige Faltenbälge verwenden. Die Beschreibung der Materialparameter sowie der Dämpfungseigenschaften ist für diese zurzeit jedoch nur unzureichend möglich. Daher kann der Einsatz des in Abschnitt 2.2 beschriebenen hybriden Verfahrens aus Messung und Simulation zur Identifizierung von effektiven, transversal-isotropen mechanischen Materialparametern mittels eines inversen Verfahrens sinnvoll sein. Wenngleich die erhaltenen Materialparameter nicht notwendigerweise alle physikalischen Zusammenhänge des Faltenbalgs korrekt beschreiben, kann

zumindest das Schwingverhalten des Faltenbalgs sowie die Einfügedämpfung desselben analysiert und optimiert werden.

6 Literatur

- [1] Ilg, J., „Determination of Dynamic Material Properties of Silicone Rubber Using One-Point Measurements and Finite Element Simulations“, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 61(11), 2012: 3031-3038
- [2] Rupitsch, S. J., „Complete Characterization of Piezoceramic Materials by Means of Two Block-Shaped Test Samples“, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 62(7), 2015: 1403-1413
- [3] Rupitsch, S. J., „Simulation based estimation of dynamic mechanical properties for viscoelastic materials used for vocal fold models“, Journal of Sound and Vibration, 330, 2011, 4447-4459
- [4] Landes, H., Hauck, A., „Anwendung von Finite-Element Verfahren zur Berechnung gekoppelter magneto-mechanischer Probleme“, NAFEMS DACH Conference, Bamberg, 2012

Hardware-in-the-Loop Tests für Systeme zur Schwingungsminderung

Dirk Mayer, Timo Jungblut, Jonathan Millitzer, Stefan Wolter
Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Adaptive und aktive Systeme zur Schwingungsminderung sind komplexe mechatronische Systeme, deren Komponenten untereinander und mit den angekoppelten mechanischen Strukturen interagieren. Diese Effekte sollten berücksichtigt werden, um zuverlässige und leistungsfähige Systeme zu entwickeln. Allerdings sind vereinfachte Laborversuche oft nicht ausreichend, um beispielsweise die Leistungsaufnahme und Dynamik von Schwingungsaktoren zu evaluieren. Meist erfordert die Implementierung in der Zielanwendung allerdings einen hohen Aufwand, was iteratives Vorgehen bei der Integration des Gesamtsystems erschwert. Bei Anwendungen wie aktiven Lagern für Schiffsmotoren ist darüber hinaus bereits ein Labor-aufbau zur Prüfung der Komponenten im Systemkontext sehr aufwändig zu realisieren.

In diesem Beitrag sollen daher neue Möglichkeiten zur experimentellen Validierung von schwingungstechnischen Systemen durch Echtzeitsimulation mechanischer Strukturen thematisiert werden. Insbesondere sollen die hauptsächlichen Herausforderungen bei der Realisierung der Schnittstelle zwischen Simulation und experimentellem Aufbau anhand eines Beispiels diskutiert werden.

1 Einleitung

In Automobilen, Flugzeugen, Schiffen oder Maschinen kommt es im Betrieb oft zu störenden Schwingungen. Wenn rein mechanische Maßnahmen (wie z.B. die Erhöhung der Dämpfung oder Steifigkeit) nicht ausreichend sind oder die hohe zusätzliche Masse eines Schwingungsilgers nicht akzeptabel erscheint, sind aktive und adaptive Systeme zur Schwingungsreduktion eine leistungsfähige Alternative. In der Vergangenheit sind bereits zahlreiche dieser Systeme entwickelt worden. Ausgehend von einfachen Laborversuchen an elastischen Balken und Platten [1,2] wurden auch reale Anwendungen in der Luftfahrt [3], dem Schiffbau [4, 5] und im Automobilbau [6, 7] untersucht. Dennoch sind bisher nur recht wenige Systeme in Produkte überführt worden [8, 9, 10, 11].

Aktive Systeme zur Schwingungsminderung bringen bei der Entwicklung spezielle Herausforderungen mit sich. Unter anderem ist ein aktives System komplexer als ein passives, ferner sind die Komponenten teurer und erfordern darüber hinaus die Betrachtung zusätzlicher Themen wie die elektromagnetische Verträglichkeit.

Für mechatronische Systeme, zu denen auch die aktive Schwingungsminderung gezählt werden kann, existiert ein strukturiertes Vorgehen bei der Entwicklung, welches inzwischen in der Industrie weit verbreitet ist [12]. Neben modellbasierten Methoden stellt hierbei die entwicklungsbegleitende Validierung ein Kernelement für die Umsetzung zuverlässiger und leistungsfähiger Produkte dar.

Während die modellbasierte Entwicklung, beispielsweise durch die Nutzung von Simulationswerkzeugen, für aktive Systeme oft genutzt wird [13, 14], sind nur wenige systematische Ansätze zur Validierung während der Entwicklung vorhanden, wie sie bei beispielsweise in der Automobilentwicklung üblich sind. Insbesondere für elektronische Teilsysteme ermöglichen Hardware-in-the-Loop-Tests eine Validierung im Labor, ohne das komplette Gesamtsystem aufbauen zu müssen. Diese wurden bereits vor über 50 Jahren beim Test der Regelelektronik für die Gemini-Mission angewandt, wobei die Elektronik mit einer Echtzeitsimulation von Aktoren der Avionik, Sensoren und der Flugdynamik gekoppelt wurde [15].

Wenn aktive oder passive schwingungstechnische Komponenten auf eine entsprechende Weise getestet werden sollen, muss die dynamische mechanische Anbindungsimpedanz an der Koppelstelle realisiert werden. Eine vereinfachte Lösung hierfür ist die Verwendung von Teilen der mechanischen Struktur, beispielsweise einem Segment eines Schiffsrumpfs im Labor als Entwicklungsumgebung für aktive Motorlager [16, 17]. Allerdings ist es sehr schwierig, auf diese Weise das dynamische Verhalten der Anbindungsstellen darzustellen.

Ansätze zur Optimierung bestehen zum Beispiel in der Anbringung von weiteren konzentrierten mechanischen Schwingern, um zusätzliche Freiheitsgrade zu simulieren [18].

Erweiterte Möglichkeiten zur Simulation einer dynamischen Anbindungsstruktur ergeben sich durch geregelt betriebene dynamische Aktoren (Mechanical Level Hardware-in-the-Loop, real-time substructuring, hybrid testing) [19-26]. Allerdings ergeben sich dabei hohe Anforderungen an die Dynamik der Regelung für die Aktorik [27].

In den folgenden Abschnitten werden zunächst noch einmal die gängigen modellbasierten Methoden bei der Entwicklung aktiver Systeme vorgestellt. Anhand einiger Beispiele werden Erfahrungen in der Realisierung von Laborversuchen zusammengefasst. Danach geht der Beitrag auf die Mechanical Level Hardware-in-the-Loop Konfiguration ein, welche abschließend an einem einfachen Beispiel demonstriert wird.

2 Modellbasierte Entwicklung

Aktive Systeme bieten zahlreiche Möglichkeiten zur Realisierung einer Schwingungsminderung. Die Kombination von unterschiedlichen Aktoren, Sensoren und Regelungskonzepten ermöglicht eine große Zahl von potentiellen Problemlösungen.

Bei der Umsetzung können allerdings unerwünschte Effekte durch die Interaktion zwischen den Komponenten des aktiven Systems und der elastischen mechanischen Struktur auftreten, beispielsweise die Anregung von höherfrequenten Resonanzen durch ein nichtlineares Verhalten der Aktorik. Daher ist eine frühzeitige Systembetrachtung, die alle relevanten Komponenten berücksichtigt, wichtig.

Hierbei ist ein modellbasiertes Vorgehen sinnvoll, welches unterschiedliche Domänen wie Mechanik, Aktorik und Regelungstechnik zusammenführt [13,14].

Wie in Abb.1 dargestellt, lassen sich die entsprechenden Teilmodelle durch die jeweils am besten geeignete experimentelle oder numerische Methode, welche im Allgemeinen durch entsprechende Softwarewerkzeuge implementiert wird, miteinander kombinieren, um eine Systemsimulation aufzubauen. Dabei ist ein iteratives Vorgehen sinnvoll, bei dem die Modelle schrittweise verbessert werden, wenn umfangreichere Informationen über die entsprechende Komponente vorhanden sind. Am Anfang einer Entwicklung stehen unter Umständen nur wenige Daten zur Verfügung, so dass nur einfache analytische Modelle aufgebaut werden können. Wenn ein detaillierter Entwurf der Komponente vorhanden ist, können die Eigenschaften durch Finite Elemente (FEM) oder Mehrkörpersimulation (MKS) ermittelt werden und durch Modellordnungsreduktion mitunter automatisiert in eine Systemsimulation eingebunden werden. Wenn eine Komponente realisiert worden ist, lassen sich die Parameter durch experimentelle Verfahren validieren, was zu einer weiteren Verbesserung der Modelle beiträgt. Der Validierung kommt somit in der Entwicklung eine besondere Bedeutung zu, da nur dieser Schritt neue Erkenntnisse über die Eigenschaften der entworfenen Komponente ermöglicht [28]. Im folgenden Abschnitt werden daher einige Erfahrungen aus der Umsetzung von experimentellen Validierungs- bzw. Entwicklungsumgebungen im Labor wiedergegeben.

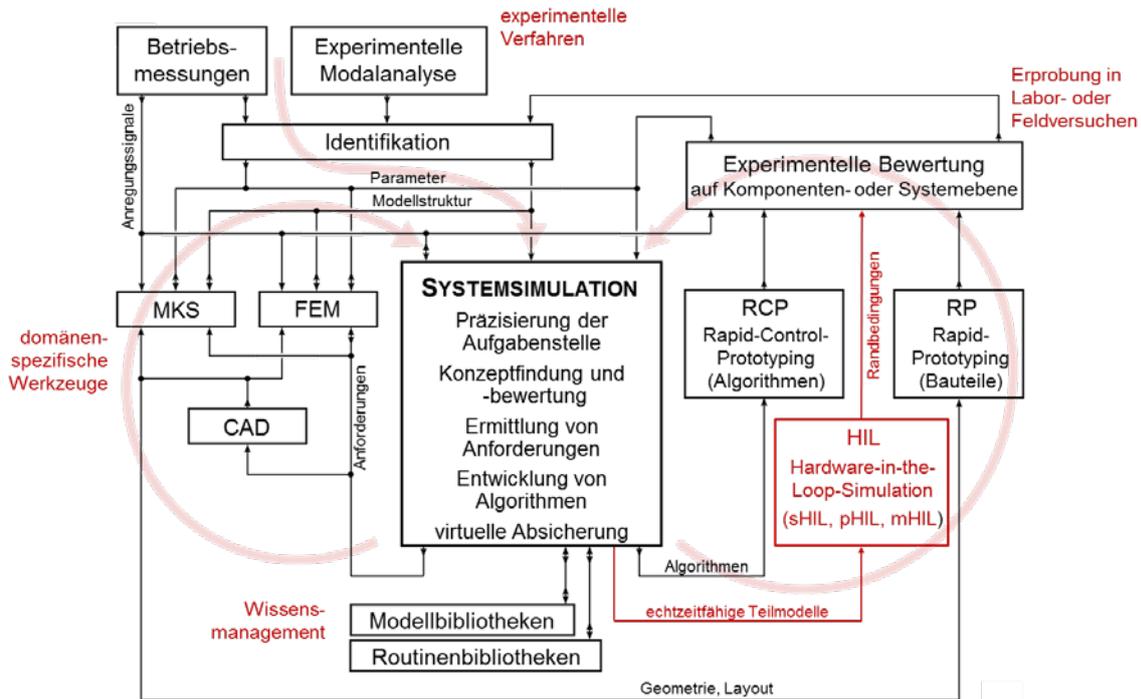


Abb. 1: Zusammenführung von experimentellen und numerischen Methoden in einer Systemsimulation

3 Experimentelle Validierung

Die Absicherung der Eigenschaften im Versuch stellt einen der letzten und wichtigsten Schritte der Entwicklung dar, da sich viele Eigenschaften in Simulationen nur unzureichend analysieren lassen. Im Allgemeinen werden zunächst die entwickelten Komponenten charakterisiert und falls notwendig verbessert. Um die Interaktion der Komponenten untereinander, und im Fall schwingungstechnischer Systeme auch mit der mechanischen Anbindungsstruktur zu analysieren, muss der entsprechende Versuchsaufbau allerdings so erweitert werden, dass letztere hinsichtlich ihrer dynamischen Eigenschaften geeignet abgebildet wird. Durch die beabsichtigten starken Wechselwirkungen zwischen dem aktiven System und der mechanischen Struktur wird sich beispielsweise die Leistungsaufnahme eines Aktors nur unter Berücksichtigung der Impedanz der angekoppelten Struktur analysieren lassen. Dies kann zu erheblichem Aufwand bei der Realisierung von Versuchsaufbauten führen. Beispielsweise wurden für den Test aktiver Motorlager ein Segment eines Schiffs sowie der reale Dieselmotor verwendet (Abb. 2, links). Es zeigt sich aber, dass die mit diesem Versuchsaufbau erzielten Ergebnisse dennoch von denen bei der späteren Realisierung abweichen, da neben dem Rest des Schiffs auch die Interaktion mit dem umgebenden Wasser nicht abgebildet wird [17].

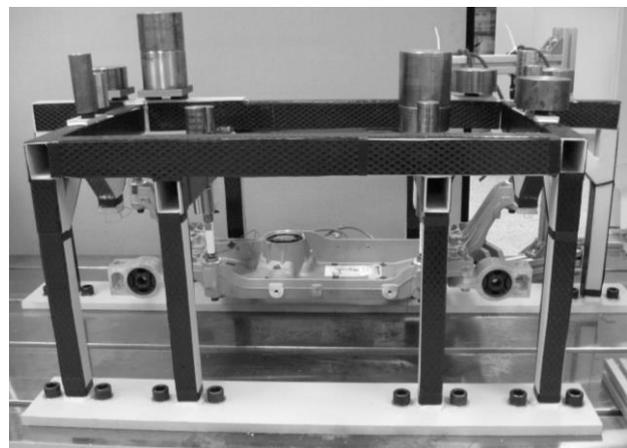
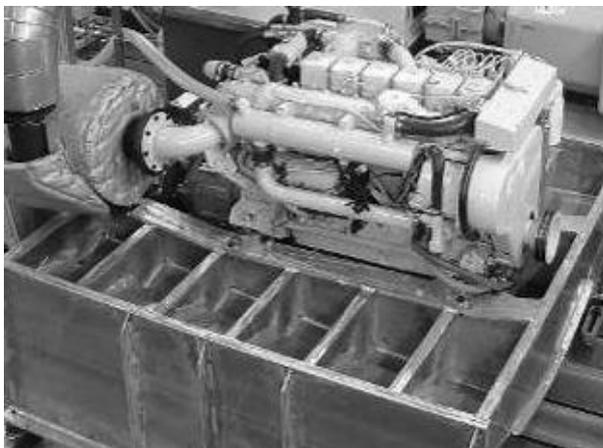


Abb. 2: Testaufbau für aktive Motorlager [16] (links); Testaufbau für die aktive Lagerung eines Fahrzeughilfsrahmens [18] (rechts)

Eine Möglichkeit zur besseren Abbildung realer Impedanzverläufe stellt die Ankopplung von mechanischen Oszillatoren dar (Abb. 2, rechts). Für gute Ergebnisse sind allerdings umfangreiche numerische Optimierungen vorzunehmen [18].

Zusammenfassend erscheint angesichts der immer noch vorhandenen Ungenauigkeiten der Aufwand für die Realisierung solcher Versuche relativ hoch. Eine Testumgebung für aktive Systeme zur Schwingungsminderung sollte aber neben einer besseren Abbildung der Anbindungsimpedanzen im Versuch noch weitere Möglichkeiten bieten:

- Tests in einer frühen Entwicklungsphase, wenn die Anbindungsstrukturen noch gar nicht vorhanden sind.
- Simulation sehr großer Strukturen (Infrastrukturprojekte, Schiffe, Windenergieanlagen)
- Simulation von Fehlermoden und Unsicherheiten in der Struktur

4 Hardware-in-the-Loop

Bei einer modellbasierten Entwicklung sind für Teilsysteme und Komponenten während der Entwicklung Modelle zur Beschreibung vorhanden. Von diesen können echtzeitfähige Beschreibungen abgeleitet werden, welche die Basis für eine Hardware-in-the-Loop Simulation darstellen. Indem eine realisierte Komponente im Zusammenspiel mit einer Simulation der Umgebung getestet wird, ergeben sich mehrere Vorteile:

- Beschleunigung der Entwicklung: Nur Teile des Gesamtsystems müssen als Hardware realisiert werden.
- Reduzierung des Testaufwands: Teure Betriebserprobungen können ins Labor verlagert werden.
- Einfache Anpassung des Versuchsaufbaus: Variationen sind einfach durch den Austausch oder Modifikation der Echtzeitmodelle möglich.
- Reproduzierbarkeit: Im Gegensatz zu einer Erprobung im Betrieb können definierte Zustände immer wieder angefahren werden. Dies ermöglicht Parameterstudien, Sensitivitätsanalysen und eine zielgerichtete iterative Verbesserung der zu testenden Hardware.
- Simulation von Fehlern und Schäden: Durch zeitvariante Echtzeitmodelle wird die Erprobung des aktiven Systems bei auftretenden unerwünschten oder in der Realität sogar gefährlichen Zuständen ermöglicht.

Während die ersten Hardware-in-the-Loop Versuche allein den Test von Regelelektronik zum Ziel hatten, gibt es inzwischen Erweiterungen der Methoden [29]. Zusammenfassend ergeben sich im Wesentlichen folgende Möglichkeiten zur Realisierung eines Hardware-in-the-Loop Tests, (Abb. 4):

- Signal Level HIL (sHIL): Bei einem Signal Level Hardware-in-the-Loop Test erfolgt die Kopplung einer realisierten Komponente mit einer Echtzeitsimulation des restlichen Systems auf Signalebene. Eine interessante Anwendung aus dem Bereich der Schwingungsminderung ist die Parametrierung und Validierung von Regelungsalgorithmen und Signalverarbeitungssysteme für den Einsatz aktiver Systeme im Bereich der Aggregat-lagerung [30]. Insbesondere wenn ein vorhandenes Steuergerät neben der Steuerung des Antriebsstranges auch zur Ansteuerung des aktiven Systems (AVC) verwendet wird, ergibt sich die interessante Möglichkeit, zwei HIL-Tests unterschiedlicher Dynamik synchron zu nutzen (Abb. 3).
- Power Level HIL (pHIL): Steht im Zuge der Entwicklung bereits eine realisierte Leistungselektronik zur Verfügung, so wird durch die Erweiterung des sHIL-Konzeptes der Test von Leistungselektronischen Komponenten ermöglicht. Die Echtzeitsimulation eines Verbrauchers, der an den Energiesteller angeschlossen wird, erfordert in diesem Fall allerdings die Realisierung einer elektrischen Leistungssenke [33]. Der Vorteil eines solchen Tests bei der Entwicklung einer aktiven Schwingungsminderung ist, dass man im Vorfeld die Leistungsverstärker für die Aktorik unter realitätsnahen Anforderungen testen kann, was zum Beispiel bei der Dimensionierung der Wärmeabfuhr oder der Stromversorgung relevant ist. Zudem ergeben sich bei der Kopplung des Leistungsverstärkers mit der Aktorik und der angeschlossenen mechanischen Struktur wechselseitige Rückwirkungen, die beim Entwurf des Energiestellers und des Gesamtsystems berücksichtigt werden müssen.
- Mechanical Level HIL (mHIL): Dieses Konzept realisiert die Echtzeitsimulation einer mechanischen Struktur, um aktorische Elemente zu testen. Hierfür ist eine Schnittstelle notwendig, welche ein dynamisches, elastisches Verhalten einer mechanischen Struktur in Echtzeit realisiert.

Die beiden letzteren Konzepte erfordern den Austausch realer elektrischer oder mechanischer Leistung mittels geeigneter leistungselektronischer oder mechanischer Schnittstellen und eine Echtzeitsimulation, die das verbleibende Systemverhalten abbildet. Der Austausch von elektrischen oder mechanischen Leistungssignalen (pHIL und mHIL) stellt dabei eine Erweiterung gegenüber dem Austausch von Informationen auf Signalebene

(sHIL) dar (Abb. 4). Bei der Realisierung der jeweiligen Leistungsschnittstelle werden wiederum aktive Elemente verwendet, d.h. der Test eines aktorischen Elements benötigt ein weiteres aktorisches Element, welches eine mechanische Anbindungsimpedanz simuliert. Zur Nachbildung der Anbindungsimpedanz in Echtzeit ist eine hochdynamische Regelung erforderlich, die an der Schnittstelle zur jeweils gemessenen Kraft eine im Verhältnis der Impedanz passende Schwinggeschwindigkeit stellt.

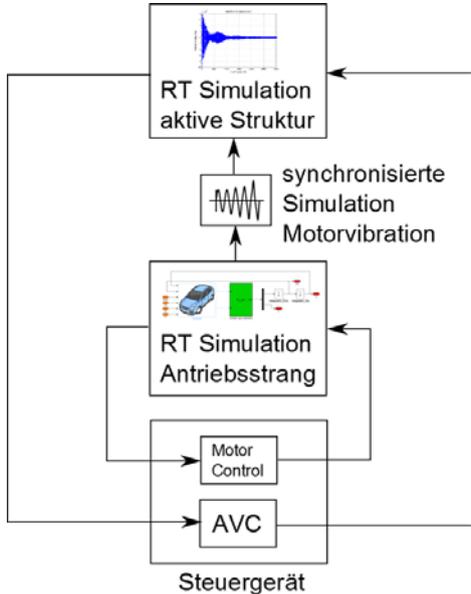
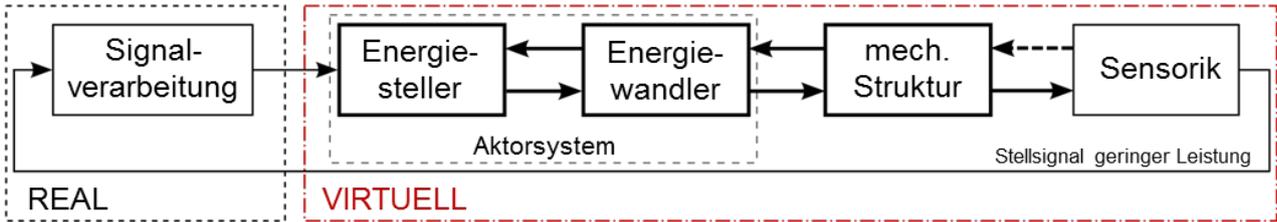
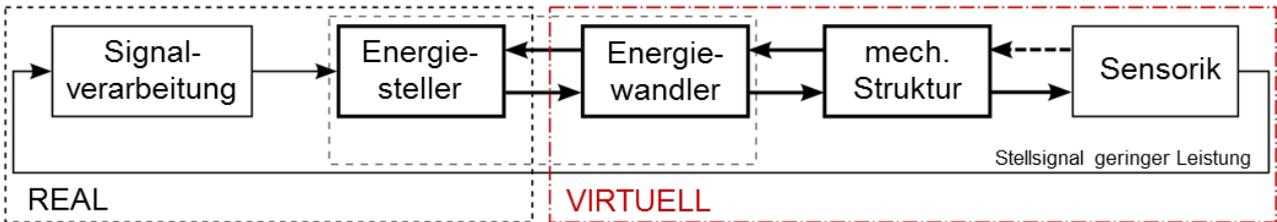


Abb. 3: Integration von HIL Tests für Antriebsstrang und Schwingungsminderung

a) signal level Hardware-in-the-Loop (sHIL)



b) power level Hardware-in-the-Loop (pHIL)



c) mechanical level Hardware-in-the-Loop (mHIL)

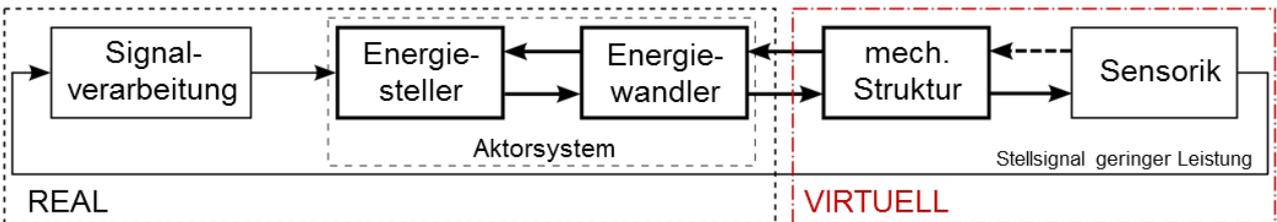


Abb. 4: Hardware-in-the-Loop Konzepte

5 Charakterisierung eines piezoelektrischen Aktorsystems

Piezoaktoren sind in Systemen zur aktiven Schwingungsminderung weit verbreitet. Da sie eine hohe Steifigkeit und elektromechanische Kopplung aufweisen, hängen ihre elektrischen Eigenschaften bei dynamischer Belastung von der mechanischen Struktur ab, an welche sie angekoppelt werden [34]. Dieser Effekt lässt sich durch eine Überdimensionierung des Aktors verringern, was im Allgemeinen nicht gewollt ist; eine geeignete Dimensionierung der Aktorik kann daher nur unter Berücksichtigung der angeschlossenen mechanischen Struktur erfolgen. Entsprechend muss auch die Validierung piezoelektrischer Aktoren das umgebende mechanische System berücksichtigen, weshalb ein Testaufbau nach dem Konzept des Mechanical Level Hardware-in-the-Loop Test hier vorteilhaft erscheint, um die Realisierung eines umfangreichen mechanischen Versuchsaufbaus im Labor zu vermeiden.

5.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 5 schematisch dargestellt. Der die Admittanz der mechanischen Struktur simulierende Aktor wird zwischen dem zu testenden Aktor und die hier als steif angenommenen Einspannung des Versuchsstands angeordnet. Ein Impedanzmesskopf misst dabei die an der Schnittstelle auftretende Kraft und Beschleunigung bzw. nach integrierender Verstärkung die Geschwindigkeit. In Abb.6 (links) ist der Aufbau noch einmal vereinfacht dargestellt, wobei Y_A und F_A die Admittanz und Blockierkraft des zu testenden Aktors darstellen. Entsprechend sind die mit dem Index S bezeichneten Größen die Blockierkraft F_S und Admittanz Y_S des Aktors für die aktive mechanische Admittanzsimulation. F_I und v_I sind die vom Impedanzmesskopf erfassten Größen.

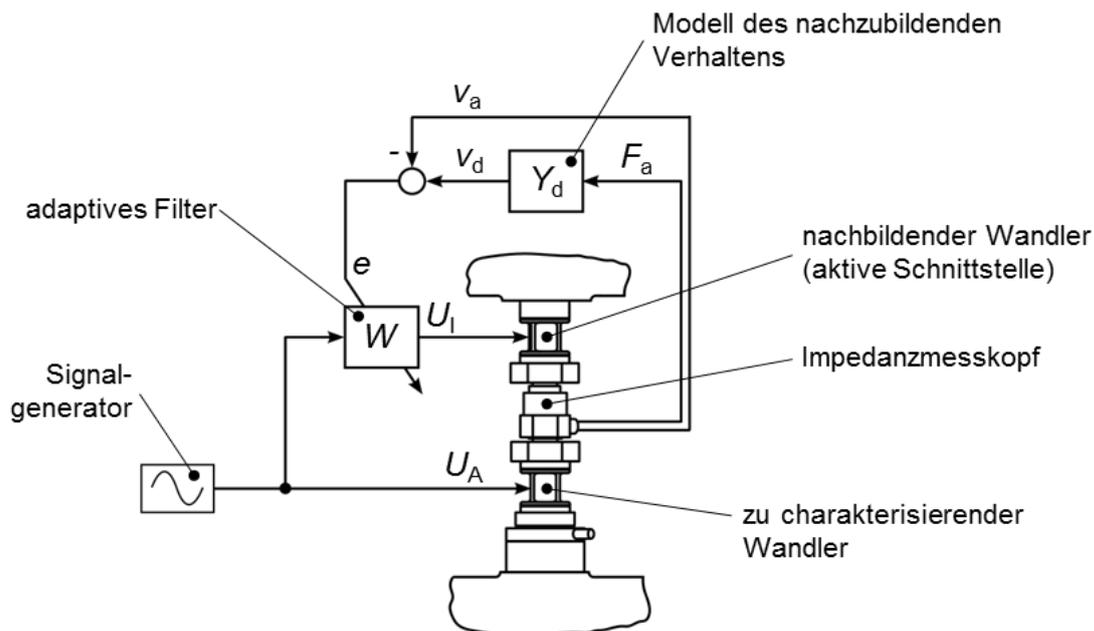


Abb. 5: Versuchsaufbau für den Test eines Piezoaktors

Ziel ist es, mit einer aktorischen Kraft F_S die gemessene Kraft F_A und Geschwindigkeit v_A an der Schnittstelle so zu korrigieren, dass das Verhältnis beider der vorgegebenen Admittanz Y_{soll} der zu simulierenden Struktur entspricht:

$$v_I = Y_{soll} F_I$$

Da die Testsignale für die Ansteuerung des Versuchsstands hier als harmonisch und bekannt vorausgesetzt werden können, bietet es sich an, eine Steuerung zu verwenden, welche die korrigierenden Signale erzeugt.

Abb 6. (rechts) zeigt den Aufbau unter der idealisierenden Annahme, dass direkt aktorische Kräfte gestellt werden. Ein Filter W dient hierbei dazu, aus dem Testsignal ein entsprechendes Ansteuersignal zu generieren:

$$F_S = WF_A$$

Das optimale Filter ergibt sich schließlich zu:

$$W = \frac{Y_{soll}/Y_S - 1}{1 - Y_{soll}/Y_A}$$

Aus den Gleichungen kann abgelesen werden, dass das Filter und damit die aktorische Kraft zur Simulation einer beliebigen Admittanz umso größere Werte annehmen wird, je größer der Unterschied zur tatsächlichen mechanischen Admittanz ist. Für niedrige Testfrequenzen kann dies vereinfacht mit dem Unterschied zwischen der Eigensteifigkeit des Aktors und der zu simulierenden Steifigkeit gleichgesetzt werden. Hieraus ergibt sich direkt eine Anforderung an die mechanische Auslegung des Versuchsstands: Offensichtlich ist es notwendig, einen Aktor zu konstruieren, der eine statische Steifigkeit aufweist, die möglichst ähnlich zur darzustellenden Steifigkeit ist. Die aktive Steuerung des Aktors wird dann dafür genutzt, weitere Effekte wie Resonanzen und Dämpfungseffekte zu simulieren.

Im Versuch wird die Filterung einen modifizierten FXLMS-Algorithmus, der in der aktiven Schall- und Schwingungsminderung gebräuchlich ist, realisiert. Das Filter W ist dabei ein adaptives digitales Filter, welches so adaptiert wird, dass das Signal e (Abb. 6) verschwindet.

Eine ausführliche Darstellung des Verfahrens, welche auch Betrachtungen zur Stabilität des Algorithmus enthält, findet sich in [27].

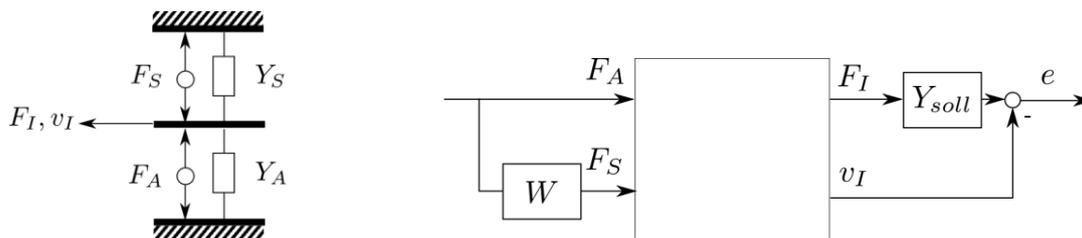


Abb 6.: Vereinfachtes mechanisches und regelungstechnisches Ersatzbild des Versuchs

5.2 Ergebnisse

Zur Validierung des Hardware-in-the-Loop Versuchs wird die Eingangsadmittanz des aktiven Versuchsstands mit Messergebnissen, welche an der realen Struktur ermittelt worden sind, verglichen (Abb. 7). Darüber hinaus reproduziert die HIL-Simulation auch für harmonische Testsignale kleinere Nichtlinearitäten erfolgreich (Abb. 8 und Abb. 9), die durch das nichtlineare Verhalten der Piezoaktorik verursacht werden.

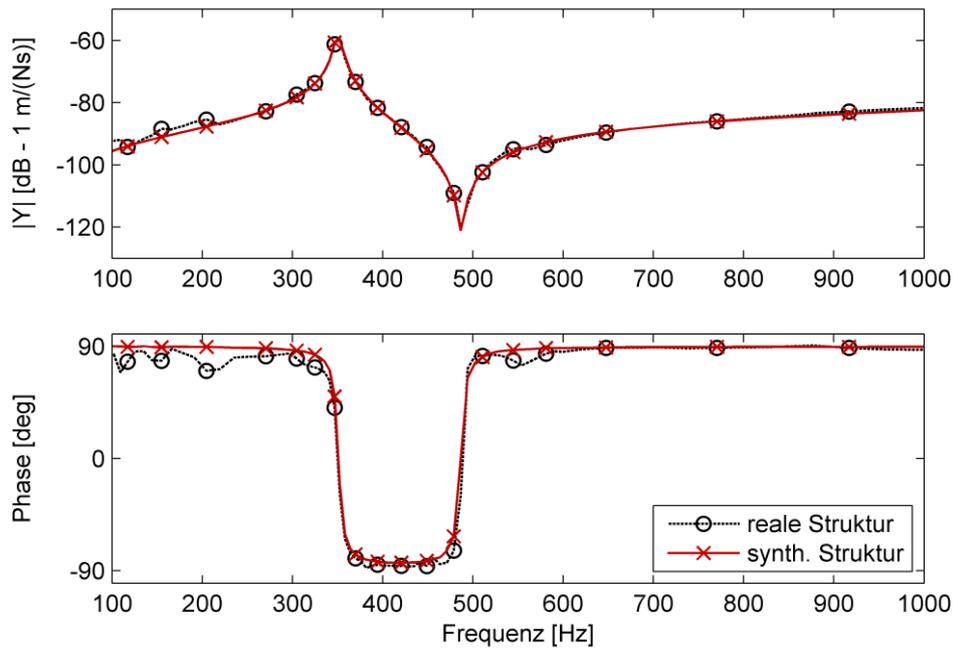


Abb. 7: Eingangsadmittanz der realen Struktur und der HIL-Simulation

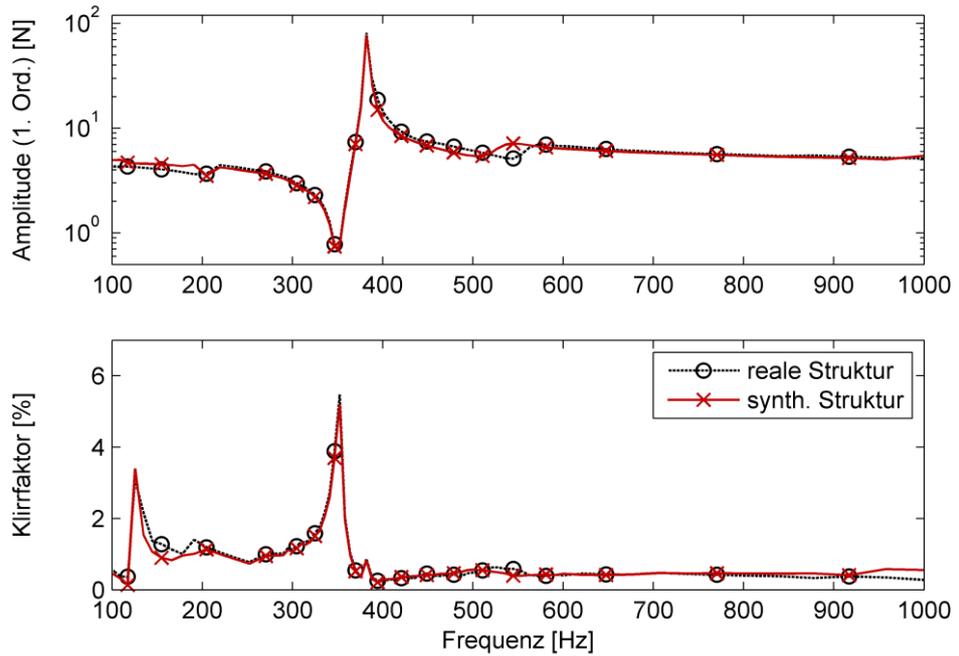


Abb. 8: Vergleich der Eingangskraft an der realen Struktur und der und der HIL-Simulation, sowie gemessener Klirrfaktor

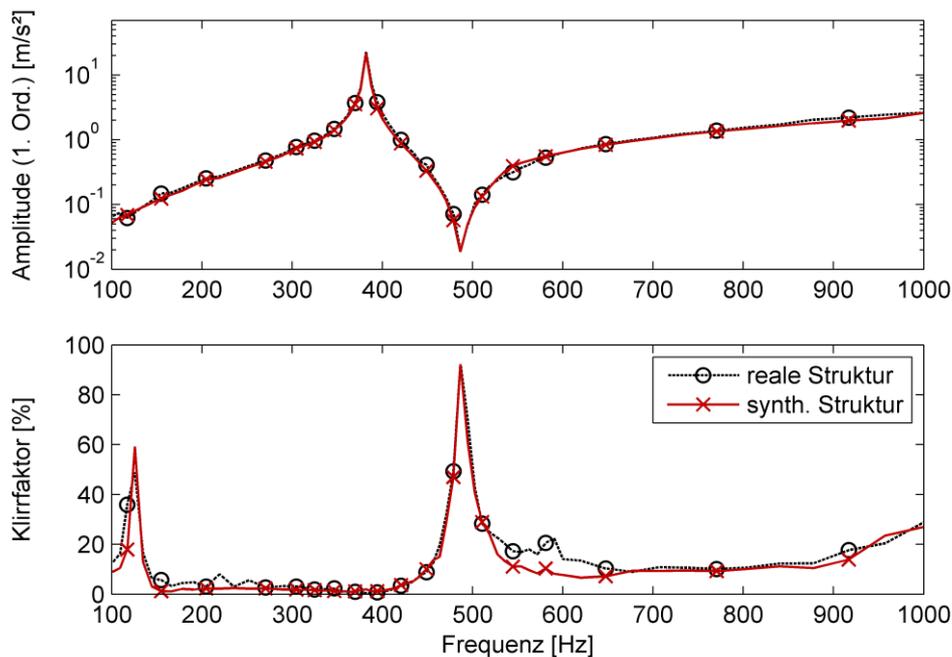


Abb. 9: Vergleich der Beschleunigung an der realen Struktur und der und der HIL-Simulation, sowie gemessener Klirrfaktor

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Validierung ist ein wesentlicher Bestandteil der Systementwicklung. Dabei lassen sich aus Tests an Komponenten, die die Interaktion mit dem Gesamtsystem berücksichtigen, deutlich bessere Erkenntnisse gewinnen, als wenn der Test mit allgemeinen Randbedingungen durchgeführt wird. Erweiterte Hardware-in-the-Loop Tests ermöglichen durch eine Echtzeitsimulation solche Versuche auch ohne den Aufbau des gesamten Systems.

Bei der Entwicklung aktiver Systeme zur Schwingungsminderung verspricht die Nutzung von Hardware-in-the-Loop Versuchen einen großen Mehrwert, da Komponenten wie Leistungsverstärkung und Aktorik in starker Wechselwirkung mit dem umgebenden System stehen.

Wenn für jede Komponente eine entsprechende Versuchsumgebung zur Verfügung steht, lässt sich während der Entwicklung eine schrittweise Validierung aller Komponenten vornehmen, so dass der Aufwand für die Umsetzung umfangreicher Systemaufbauten verringert und so die Entwicklung beschleunigt wird. Ein weiterer Vorteil ist, dass reproduzierbare Testbedingungen vorliegen und so in kurzer Zeit eine große Anzahl an Testfällen durchgespielt werden kann.

Bei der Umsetzung entsprechender Versuche ergibt sich allerdings die Notwendigkeit, aktive Schnittstellen zu realisieren, welche beispielsweise die Anbindungsimpedanz einer elastischen mechanischen Struktur in Echtzeit simulieren. In diesem Beitrag wurde zunächst ein überschaubares Beispiel umgesetzt. An diesem lassen sich bereits die wesentlichen notwendigen weiteren Entwicklungsschritte ableiten:

Die Regelung der aktiven Schnittstelle muss über eine sehr hohe Dynamik verfügen, so dass auch Impedanzen in einem breiteren Frequenzbereich nachgefahren werden können. Ebenso sind erweiterte Regelungsverfahren zur Nachbildung von realistischen Randbedingungen für transiente und breitbandige Signalverläufe zu erarbeiten. Da der Regelaufwand direkt mit dem Verhältnis zwischen der passiven mechanischen Steifigkeit des Aktors und derjenigen der zu simulierenden Struktur zusammenhängt, ist beim Versuchsaufbau auch auf eine geeignete Aktorik oder unterstützende Ersatzstrukturen zu achten.

Relevant wird danach auch die Ableitung von Modellen für mechanische Strukturen, welche einerseits in Echtzeit berechnet werden können, die aber auch Parametervariationen zulassen, um beispielsweise zeitvariantes Verhalten oder Fehler in die Tests mit einzubeziehen.

Ein mechanischer, dynamischer Hardware-in-the-Loop Test ist darüber hinaus auch für die Entwicklung passiver Systeme zur Schwingungsminderung wie Dämpfer oder Tilger interessant.

7 Literatur

- [1] Fuller, C. C.; Elliott, S.; Nelson, P. A.: Active Control of Vibration, Academic Press, 1996
- [2] Crawley, E. F.; de Luis, J.: Use of piezoelectric actuators as elements of intelligent structures. In: AIAA Journal 25 (10), pp. 1373 – 1385, 1987.
- [3] Jänker, P.; et.al.: New Actuators for Aircraft and Space Applications. In: Actuator 2008, Bremen, Germany, 2008.
- [4] Klötzer, P.; Siebald, H.; Fehren, H.; Schiebler, A.; Kurth, D.: Aktive Reduktion von motorinduzierten Schwingungen großer Verbrennungsmotoren. In: Tagungsband VDI-Fachtagung Maschinenakustik. Leonberg, 2010
- [5] Schlote, D.; Bach, M.; Hasan, M.: Umsetzung einer aktiven Maßnahme zur Minderung von Torsionsschwingungen an einem Schiffsantrieb. In: Tagungsband VDI-Fachkonferenz Schwingungsreduzierer in mobilen Systemen 2015, Karlsruhe, 2015
- [6] Millitzer, J.; Ehrh, T.; Plückhahn, A.; Knauer, P.: Design, system integration and control concepts of an adaptive active vibration absorber for a convertible. In: Proceedings of the International Conference on Noise and Vibration Engineering (ISMA). Leuven, Belgium, 2012
- [7] Kraus, R.; Millitzer, J.; Hansmann, J.; Wolter, S.; Jackel, M.: Experimental study on active noise- and active vibration-control for a passenger car using novel piezoelectric engine mounts and electrodynamic inertial mass actuators. In: Proceedings of the 25th International Conference on Adaptive Structures and Technologies (ICAST). The Hague, Netherlands, 2014
- [8] Gertsen & Olufsen: G&O Vibration Compensator. [http://www.gertsen-olufsen.com/ Ship-Offshore/Products/G-O_Brands/G-O_Vibration_Compensator.aspx](http://www.gertsen-olufsen.com/Ship-Offshore/Products/G-O_Brands/G-O_Vibration_Compensator.aspx), 28.08.2014
- [9] MTU Friedrichshafen GmbH: Ships get quieter with MTU engines. www.rppowersystems.com/press/press-releases/pressdetail/news/ships_get_quieter_with_mtu_engines/news_smode/text/, 28.08.2014
- [10] Römling, S.; Vollmann, S.; Kolkhorst, T.: Active Engine Mount System in the new Audi S8. In: MTZ worldwide 74 (2013), No. 1, pp. 34 – 38
- [11] Wölfel Beratende Ingenieure: Getriebetonalitäten beherrschen. http://download.woelfel.de/fileadmin/ftp/Produkte/Windenergie/Broschuere_Getriebetonalitaeten_beherrschen_2014_D.pdf, 21.10.2015
- [12] VDI Richtlinie 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. VDI-Verlag, Düsseldorf, 2004
- [13] Herold, S.; Jungblut, T.; Kraus, R.; Melz, T.: Modellbasierte Entwicklung aktiver strukturdynamischer Systeme am Beispiel eines aktiven Lagerungssystems. In: Tagungsband VDI-Mechatroniktagung. Dresden, pp. 157 – 162, 2011
- [14] Jungblut, T.; Kraus, R.; Millitzer, J.; Herold, S.; Melz, T.; Hanselka, H.: Modellbasierte Entwicklung einer aktiven elastischen Lagerung für Aggregate. In: Konstruktion, No. 9, pp. 68 – 74, 2012
- [15] Gross, J. L. (1967): Real time hardware-in-the-loop simulation verifies performance of Gemini computer and operational program. In: Simulation 9 (3), S. 141–148. DOI: 10.1177/003754976700900309.
- [16] Matthias, M.; Friedmann, A.; Koch, T.; Drögemüller, T.: Active Mounts for Marine Application; The BMBF Research Project “Active Aggregate Mounts to Reduce Structure Vibrations and Structure-borne Sound Transmission”. In: Proceedings of SPIE, 2006
- [17] Kauba, M.; Herold, S.; Koch, T.; Mayer, D.; Melz, T.: Design and application of an active vibration control system for a marine engine mount. In: Proceedings of ISMA 2008, Leuven, Belgium, 2008.
- [18] Kraus, R.: Auslegung und Umsetzung eines Labordemonstrators zur aktiven Lagerung im Fahrwerksbereich eines Kraftfahrzeugs. Diplomarbeit, Fachhochschule Gießen-Friedberg, 2010.
- [19] Batterbee, D.; Sims, N.: Hardware-in-the-loop simulation of magnetorheological dampers for vehicle suspension systems. In: Journal of Systems and Control Engineering 221 No. 2, pp. 265 – 278, 2007
- [20] Bras, J.-M. F.: Development of a standardized method for actuator characterization using active control of impedance, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Master Thesis, 1999
- [21] Enokida, R.; Stoten, D.; Kajiwara, K.: Stability analysis and comparative experimentation for two substructuring schemes, with a pure time delay in the actuation system. In: Journal of Sound and Vibration 346, pp. 1 – 16, 2015

- [22] Facchinetti, A.; Bruni, S.: Hardware-in-the-loop hybrid simulation of pantograph - catenary interaction. In: *Journal of Sound and Vibration* 331, No. 12, pp. 2783 – 2797, 2012
- [23] Gawthrop, P.; Wallace, M.; Neild, S.; Wagg, D.: Robust real-time substructuring techniques for under-damped systems. In: *Structural Control and Health Monitoring* 14, pp. 591 – 608, 2007
- [24] Jungblut, T.; Wolter, S.; Matthias, M.; Hanselka, H.: Using Numerical Models to Complement Experimental Setups by Means of Active Control of Mobility. In: *Applied Mechanics and Materials* 70, pp. 357 – 362, 2011
- [25] Plummer, A.: Model-in-the-loop testing. In: *Journal of Systems and Control Engineering* 220, No. 3, pp. 183 – 199, 2006
- [26] Stoten, D. P.; Lim, C. N.; Neild, S. A.: Assessment of controller strategies for real-time dynamic substructuring of a lightly damped system. In: *Journal of Systems and Control Engineering* 221, No. 2, pp. 235 – 250, 2007
- [27] Jungblut, T.: Ein Beitrag zur modellbasierten, hybriden Entwicklung elektromechanischer Systeme zur Schwingungsminderung. Dissertation, TU Darmstadt, 2015
- [28] Albers, A.; Matros, K.; Behrendt, M.; Jetzinger, H.: Das Pull-Prinzip der Validierung - Ein Referenzmodell zur effizienten Integration von Validierungsaktivitäten in den Produktentstehungsprozess. In: *Konstruktion* Juni, S. 64–81., 2015
- [29] Bouscayrol, A.: Different types of Hardware-In-the-Loop simulation for electric drives. In: *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, pp. 2146 – 2151, 2008
- [30] Vrbata, J.; Millitzer, J.; Mayer, D.; Röglin, T.; Bartel, T.: Development of a hardware-in-the-loop test facility for signal processing units with adaptive control algorithms for an automotive application. In: *Proceedings of the 42nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Internoise)*. Innsbruck, Austria, 2013
- [31] Bacic, M.; Neild, S.; Gawthrop, P.: Introduction to the special issue on hardware-in-the-loop simulation. In: *Mechatronics* 19, No. 7, pp. 1041 – 1042, 2009
- [32] Neild, S. A.; Drury, D.; Stoten, D. P.: An Improved Substructuring Control Strategy based on the Adaptive Minimal Control Synthesis Control Algorithm. In: *Journal of Systems and Control Engineering* 219, No. 5, pp. 305 – 317, 2005
- [33] Millitzer, J.; Ranisch, C.; Klopfer, J.: Electrical Power Hardware-in-the-Loop simulation for the early validation of power amplifiers used in Active Vibration Control. 4SMARTS Symposium für Smarte Strukturen und Systeme, Darmstadt, April 2016
- [34] Mayer, D.; Atzrodt, H.; Herold, S.; Thomaier, M.: An Approach for the Model Based Monitoring of Piezoelectric Actuators. *Computers & Structures* 86, Nr. 3–5, S. 314–21, 2008

Numerische Analyse des Vibrationsverhaltens Elektrischer Antriebe

Dr.-Ing. Marold Moosrainer, Dr. Martin Hanke, Dipl.-Ing. Daniel Bachinski Pinhal
CADFEM GmbH

1 Einleitung

Die Vibration bzw. Schallabstrahlung von Geräten gewinnt immer mehr an Bedeutung am Entwicklungsprozess technischer Baugruppen. In Anwendungen, wo hohe Stellgenauigkeiten wichtig sind, ist die Vermeidung von Vibration essentiell. Darüber hinaus ist ein leiser Betrieb bzw. eine hohe Laufruhe eines Gerätes oft ein wichtiges Qualitätsmerkmal und somit ein Verkaufsargument.

Elektromotoren gewinnen immer mehr Bedeutung in der Antriebstechnik, sowohl für Präzision als auch in Traktionsanwendungen. Als Beispiel seien moderne PKWs genannt. Einerseits sind in einem modernen Automobil mehrere dezentrale Elektromotoren eingebaut, andererseits gewinnt neuerdings der Elektromotor als Haupt- oder Hybridantrieb auch im Antriebsstrang an Bedeutung.

Der Aspekt der Vibration und Schallabstrahlung sollte bei der Auslegung elektrischer Maschinen immer mit betrachtet werden, da diese Baugruppen immer periodischen Erregungen ausgesetzt sind. Sowie das Magnetfeld sich am Luftspalt räumlich und zeitlich periodisch wiederholt, tun das auch die Kraftwirkungen an Rotor und Stator. Die magnetischen Kräfte, die den Rotor zum Drehen bringen, sind immer mit entsprechenden Gegenkräften verbunden, die vom Stator aufgenommen werden und eine Vibration einleiten. Dieser Sachverhalt lässt sich nicht grundsätzlich umgehen. Es kann jedoch beeinflusst werden, bei welchen Frequenzen eine Anregung stattfindet. Hier sollte der Entwickler versuchen, das Reaktionsvermögen der mechanischen Struktur auf die wirkenden Kräfte zu minimieren.

Abgesehen von einigen Ausnahmen arbeiten moderne Elektromotoren in einem weiten Drehzahlbereich. Bei jeder Drehzahl ändert sich die Charakteristik der wirkenden magnetischen Kräfte bzw. deren Spektrum. Um eine gewissenhafte Auslegung hinsichtlich Vibration durchführen zu können, müssen Berechnungen bei mehreren Drehzahlen durchgeführt werden.

In diesem Artikel wird eine Synchron-Reluktanz-Maschine (SyRM) beispielhaft gewählt, um die Untersuchungs- bzw. Berechnungsschritte zu verdeutlichen. Dieser Maschinentyp wird heute für die Elektromobilität in Erwägung gezogen. In diesem Einsatzfeld ist die Variabilität der Drehzahl offensichtlich.

Als erstes wird das grundsätzliche Vorgehen einer magnetisch-mechanischen Kraftkopplung gezeigt, welches in ANSYS über die graphische Benutzeroberfläche definiert wird. Anschließend sollen wichtige Erweiterungen vorgestellt werden, die zum Beschleunigen der Analyse bzw. Reduzierung der generierten Datenmenge dienen. Diese werden umso wichtiger, wenn Parametervariationen, wie z.B. der Drehzahl, an Bedeutung gewinnen.

2 Der zugeschnittene Workflow für Vibrationsanalysen

ANSYS Workbench sieht einen zugeschnittenen Workflow für das Analysieren von Schwingungen, welche aus elektromagnetischen Kräften herrühren, vor. Auf der sogenannten Projektebene wird eine magnetische Feldsimulation mit einer harmonisch-mechanischen Analyse gekoppelt. Diese Kopplung wird durch einen entsprechenden Linienzug dargestellt, wie in Abb. 1 zu sehen.

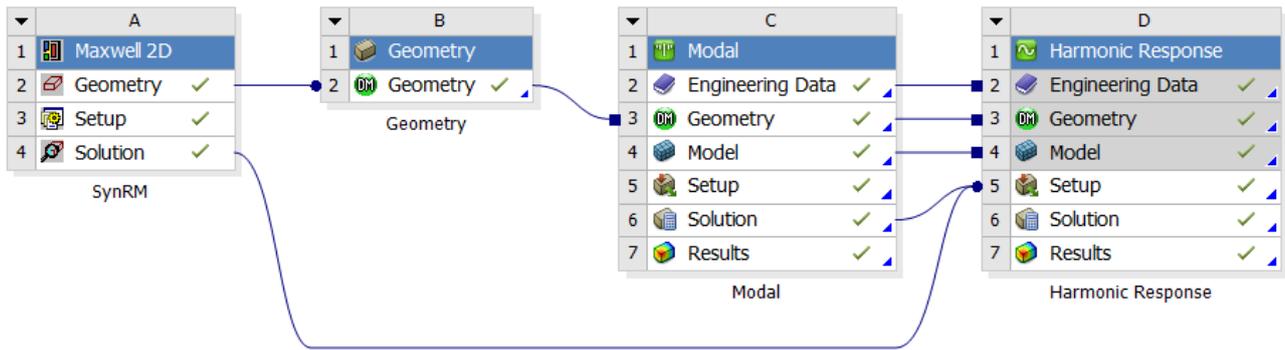


Abb. 1: Magneto-Mechanische Kraftkopplung in ANSYS Workbench, auf der Projektebene dargestellt

Dieser Simulationsprozess besteht aus einer transienten elektromagnetischen Analyse (A), einer Geometrieangepassung bzw. -erweiterung (B), einer Modalanalyse (C) und schließlich aus einer harmonisch-mechanische Analyse (D), in der Schwingungen der Struktur berechnet werden.

2.1 Transiente magnetische Analyse

Für die Berechnung der wirkenden Magnetkräfte wird in der Regel eine zeittransiente Analyse gewählt. Dies erlaubt sowohl das Berücksichtigen von dynamischen Effekten, wie z.B. Wirbelströme, als auch die Zuweisung nichtlinearer Materialeigenschaften. Das Ergebnis einer solchen Analyse ist die Magnetfeldverteilung in der Baugruppe, woraus Magnetkräfte abgeleitet werden können.

Als Beispiel stellt Abb. 2 die berechnete Verteilung der magnetischen Flussdichte in einer SyRM dar. In diesem Fall handelt es sich um eine 2D-Magnetfeldsimulation, in der angenommen wird, dass das magnetische Feld konstant entlang einer Koordinatenachse ist. Ohne Einschränkung der Allgemeinheit wird festgelegt, dass die zu berechnende planare Magnetfeldverteilung auf der xy-Ebene liegt.

$$\vec{B}(x, y, z) = \vec{B}(x, y) \quad (\text{Gl. 1})$$

Diese Annahme ist zulässig, wenn sich die Hauptflusspfade der elektrischen Maschine auf einer Ebene beschreiben lassen. Dies ist u.a. bei Radialflussmaschinen mit kleinem Luftspalt gegenüber der Maschinenlänge und vernachlässigbarer Flusstreuung an den Stirnflächen gegeben.

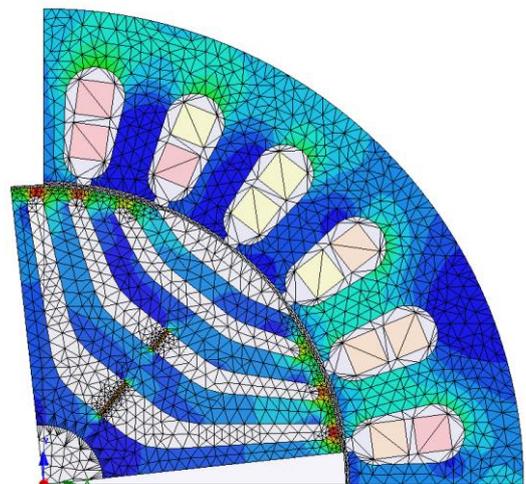


Abb. 2: Berechnete 2D B-Feldverteilung im Blechschnitt einer SyRM

Ausgehend von einer bekannten Verteilung der magnetischen Flussdichte und Feldstärke kann die auf einen Körper wirkende Kraft mittels des sogenannten Maxwell'schen Spannungstensors σ_M berechnet werden.

In der Indexnotation lässt sich der Spannungstensor schreiben als

$$\sigma_{M_{i,j}} = H_i B_j - H_k B_k \cdot \delta_{i,j} \quad (\text{Gl. 2})$$

Die magnetische Kraftwechselwirkung zwischen Rotor und Stator wird mit Hilfe einer zylindrischen Auswertelinie (im 3D: Auswertefläche) am Luftspalt bestimmt. Durch Tensormultiplikation von σ_M mit dem Normalvektor, werden infinitesimalen Kraftdichten gewonnen (vgl. Abb. 3).

$$d\vec{F} = \sigma_M \cdot \vec{n} \quad (\text{Gl. 3})$$

Durch Integration von $d\vec{F}$ entlang der entsprechenden Teilbereiche k des Auswertezylinders werden Kräfte und Momente auf die Statorzähne berechnet.

$$\vec{F}_k = \int_k d\vec{F}; \vec{M}_k = \int_k \vec{r} \times d\vec{F} \quad (\text{Gl. 4})$$

Die so ermittelten Größen sind Funktionen der Zeit. Die nachfolgenden Vibrationsuntersuchungen werden jedoch typischerweise im Frequenzbereich durchgeführt. Um diese Erregungen als Last verwenden zu können werden diese Fourier-transformiert. Dadurch erhält man ein Frequenzspektrum pro Komponente des Kraft- bzw. Momentenvektors.

Alle diese Rechenschritte sind in ANSYS Maxwell automatisiert. Der Anwender muss lediglich die zylindrische Auswertelinien aktivieren und die Erregungsberechnung vor dem Simulationsstart anfordern.

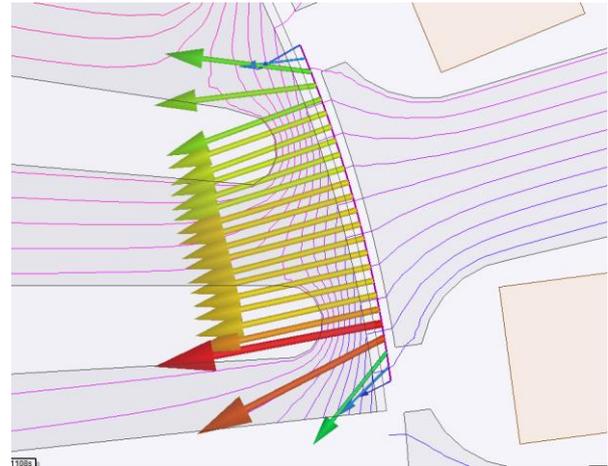


Abb. 3: Durch Spannungstensor gewonnener Kraftdichteverlauf auf zylindrischen Auswertelinien

2.2 Strukturmechanische Vibrationsanalyse

Die harmonisch-mechanische Vibrationsanalyse wird typischerweise im Frequenzbereich durchgeführt. Voraussetzung dafür ist, dass diese Analyse linear durchführbar ist. Dies setzt folgende Punkte voraus:

- Lineares Materialverhalten
- Verformung vernachlässigbar gegenüber Abmessungen der Bauteile
- Kontakte linear oder linearisiert (kein „Abheben“)

Unter diesen Voraussetzungen sind alle periodischen Erregungen als Spektrum von harmonischen Erregungen darstellbar.

Diese Punkte treffen bei vielen Vibrationsanalysen zu. Im Frequenzbereich wird die Matrixgleichung

$$(\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M})\vec{u} + j\omega \mathbf{C}\vec{u} = \vec{F} \quad (\text{Gl. 5})$$

gelöst.

Zur Lösung des Gleichungssystems ist es zweckmäßig die modale Superposition zu verwenden. Dabei wird der Verschiebungsvektor \vec{u} als lineare Superposition einer endlichen Anzahl von Eigenvektoren $\vec{\phi}_m$ approximiert. Diese werden durch Lösung des Eigenwertproblems.

$$(\mathbf{K} - \omega_0^2 \mathbf{M})\vec{\phi}_m = 0 \quad (\text{Gl. 6})$$

Berechnet.

Dabei besitzt ω_0 die physikalische Bedeutung einer Resonanzfrequenz der Struktur.

Die Konversion zwischen modalen Koordinaten \vec{y} und Verschiebungen \vec{u} erfolgt durch Multiplikation mit der Modalmatrix, deren Spalten aus den Vektoren $\vec{\phi}_m$ bestehen.

$$\vec{u}(\omega) = \Phi_M \cdot \vec{y}(\omega) \quad (\text{Gl. 7})$$

Durch Einsetzen von Gl. 7 in Gl. 5 und Multiplikation des Gleichungssystems mit Φ_M^T von links erhält man, für den ungedämpften Fall, ein diagonalisiertes Gleichungssystem.

Die Dämpfung kann nach diesem Schritt als Rayleigh- oder modale Dämpfung ergänzt werden ohne die Diagonalform des Systems zu zerstören.

$$\Phi_M^T (\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}) \Phi_M \cdot \vec{y}(\omega) = \Phi_M^T \vec{F} \quad (\text{Gl. 8})$$

Gl. 8 verdeutlicht, dass die angreifenden Lasten durch Multiplikation mit der Transponierten der Modalmatrix in den modalen Raum konvertiert werden müssen. Dieser Schritt wird von ANSYS automatisch im Hintergrund aufgerufen, so dass die Lastdefinition bequem im natürlichen Raum durchgeführt werden kann. Die in Gl. 4 berechneten Kräfte und Momente pro Zahn werden automatisch ortsbasiert zugeordnet und übertragen.

Abb. 4 zeigt eine beispielhafte Darstellung der berechneten Verschiebungen am Gehäuse des Elektromotors.

Als Bewertungskriterium für die Vibration einer Struktur bietet sich die sogenannte „Equivalent Radiated Power“ (ERP) nach [1] an. Dieses integrale Kriterium berücksichtigt die Normalkomponente der Oberflächenschnellen entlang der Außenflächen einer Struktur.

$$ERP = \frac{1}{2} \rho c_0 \int_A (\vec{v} \cdot d\vec{n})^2 dA \quad (\text{Gl. 9})$$

Die ERP wird als konservatives Maß für die abgestrahlte Schalleistung gesehen und wird typischerweise in dB bezogen auf 1pW angegeben. Dieser skalare Wert lässt sich bei harmonischer Anregung für jede Komponente des Linienspektrums darstellen (vgl. Abb. 5).

Somit kann das Vibrationsverhalten einer E-Maschine bei einem Betriebspunkt bequem mit Hilfe der FE-Simulation analysiert werden.

D: Harmonic Response
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Frequency: 400. Hz
 Sweeping Phase: 0. °
 Unit: m
 21.03.2016 15:34

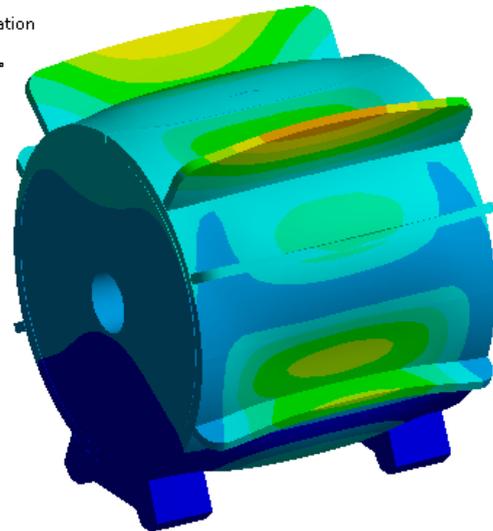
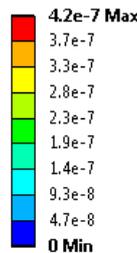


Abb. 4: Darstellung der berechneten Verschiebungen am Gehäuse eines Elektromotors

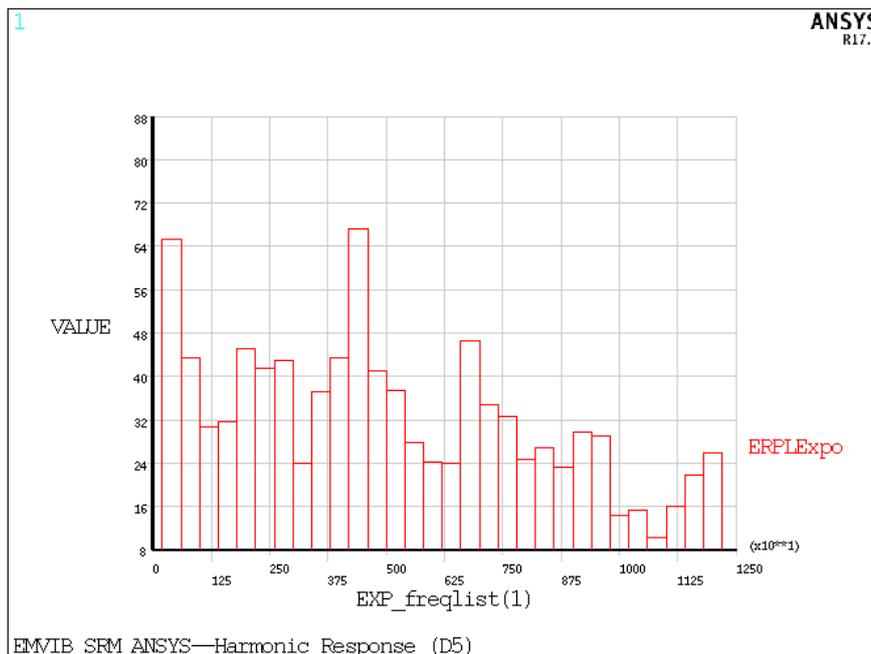


Abb. 5: Berechnete ERP in logarithmischer Darstellung

3 Materialeigenschaften für typische Strukturen im Elektromaschinenbau

Es ist wichtig, die mechanischen Materialeigenschaften der Struktur realitätstreu abzubilden. Der Stator besteht in der Regel aus laminiertem, ferromagnetischem Blech. Typischerweise werden Blechdicken von 0.1mm bis 1mm durch eine Lackschicht von einigen μm gegeneinander isoliert.

Das ist ein typischer Fall einer Multiskalen-Aufgabenstellung. Es ist i.d.R. nicht zweckmäßig diese feine Struktur im FE-Motormodel aufzulösen und zu vernetzen.

Eine geeignete Simulationsstrategie für die Abbildung der mechanischen Eigenschaften des Laminats ist das Ableiten anisotroper Materialeigenschaften und Homogenisierung des Blechpaketes im Motormodell.

Zur Ermittlung der Materialkonstanten können in einer virtuellen repräsentativen Materialprobe, die sich periodisch wiederholt, mit Hilfe der FE-Simulation Versuche durchgeführt werden. Abb. 6 stellt eine solche exemplarische Materialprobe für das Elektroblech dar. In diesem Beispiel werden zwei je 0.25mm dicken Eisenschichten durch einer Lackschicht von $50\mu\text{m}$ getrennt.

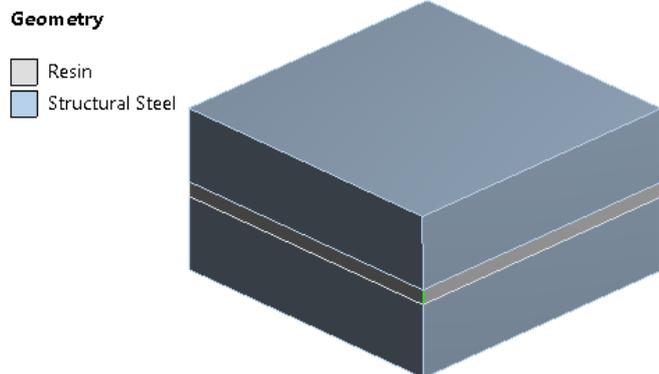


Abb. 6: Virtuelle Materialprobe für das Elektroblechlaminat

Für lineares Materialverhalten kann der Zusammenhang zwischen Spannungen σ und Dehnungen ϵ mit Hilfe der Elastizitätsmatrix \mathbf{E} beschrieben werden:

$$\vec{\sigma} = \mathbf{E} \cdot \vec{\epsilon} \quad (\text{Gl. 10})$$

Dabei wurde hier die Vektornotation von Spannungen und Dehnungen gewählt.

Aus den Grundlagen der FEM ist ferner bekannt, dass ein Minimum eines Energiefunktional gesucht wird. Die Zunahme an innerer Energie U und äußere Arbeit W wird gleichgesetzt:

$$\delta U = \delta W$$

$$\int_V \delta \vec{\epsilon}^T \mathbf{E} \vec{\epsilon} dV = \delta \vec{u}^T \vec{f} \quad (\text{Gl. 11})$$

Dabei bezeichnen \vec{u} und \vec{f} die Vektoren für die lokalen Verschiebungen bzw. für die wirkenden äußeren Kräfte in einem Volumen V .

Der Zusammenhang zwischen Dehnungen und Verschiebungen wird durch eine örtliche Differentiationsmatrix \mathbf{B} beschrieben, welche aus den Elementformfunktionen gewonnen wird.

$$\vec{\epsilon} = \mathbf{B} \cdot \vec{u} \quad (\text{Gl. 12})$$

Setzt man Gl. 12 in Gl. 11 ein erhält man nun den Ausdruck:

$$\delta \vec{u}^T \int_V \mathbf{B}^T \mathbf{E} \mathbf{B} dV \cdot \vec{u} = \delta \vec{u}^T \vec{f}$$

$$\int_V \mathbf{B}^T \mathbf{E} \mathbf{B} dV \cdot \vec{u} = \vec{f} \quad (\text{Gl. 13})$$

Wobei mit dem Integral die Steifigkeitsmatrix \mathbf{K} berechnet wird.

Gl. 10 stellt die Grundlage für die nun anstehende Homogenisierung dar. Gesucht wird ein homogenes, anisotropes Material welches auf vorgegebenen Verschiebungsvektoren \vec{u} mit denselben äußeren Kräften \vec{f} reagiert wie die Struktur in Abb. 6.

Die repräsentative Materialprobe wird nun numerischen Zug- und Scherversuchen ausgesetzt. In jedem Versuchsszenario wird auf die Probe eine Einheitsverschiebung bzw. -rotation aufgetragen. Die erhaltenen Reaktionskräfte bzw. -drehmomente entsprechen dann einer Spalte der Steifigkeitsmatrix \mathbf{K} . Für eine Einheitskraft in der zweiten Komponente des Kraftvektors erhält man beispielsweise

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} & K_{15} & K_{16} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} & K_{25} & K_{26} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} & K_{35} & K_{36} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} & K_{45} & K_{46} \\ K_{51} & K_{52} & K_{53} & K_{54} & K_{55} & K_{56} \\ K_{61} & K_{62} & K_{63} & K_{64} & K_{65} & K_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1^{(2)} \\ f_2^{(2)} \\ f_3^{(2)} \\ f_4^{(2)} \\ f_5^{(2)} \\ f_6^{(2)} \end{bmatrix} = \vec{f}^{(2)}. \quad (\text{Gl. 14})$$

Die Spalten der anisotropen Elastizitätsmatrix \mathbf{E} sind die volumenbezogenen Reaktionsvektoren $\vec{f}^{(i)}$.

$$\mathbf{E} = \frac{1}{V} [\vec{f}^{(1)}; \vec{f}^{(2)}; \vec{f}^{(3)}; \vec{f}^{(4)}; \vec{f}^{(5)}; \vec{f}^{(6)}] \quad (\text{Gl. 15})$$

Die verformte Materialprobe und die erhaltene Elastizitätsmatrix sind in Abb. 7 dargestellt.

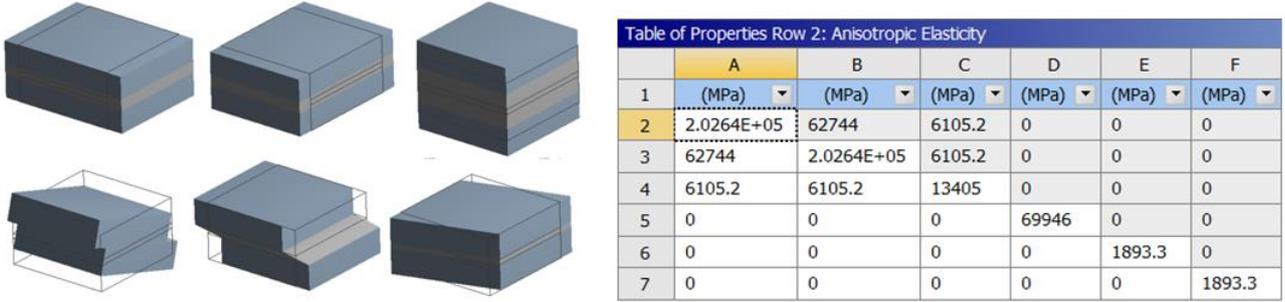


Abb. 7: Verformte Materialprobe bei den virtuellen Zug- und Scherversuchen und erhaltene Elastizitätsmatrix

Da die Materialprobe einen Ausschnitt aus einer periodischen Struktur darstellt, ist es notwendig, für die Durchführung der virtuellen Zug- und Scherversuche, periodische Randbedingungen an den sich gegenüberliegenden Flächen zu verwenden. Dabei wird die Abhängigkeit zwischen den Freiheitsgraden einer „master“ und einer „slave“ Seite beschrieben.

$$u_i^{(\text{slave})} = u_i^{(\text{master})} + u_0 \quad (\text{Gl. 16})$$

Wobei für u_0 die aufzutragende Einheitsverschiebungen eingesetzt werden. Solch ein Zusammenhang zwischen Freiheitsgraden lässt sich in ANSYS mit Hilfe von sogenannten „constraint equations“ (CEs) mit der Skriptsprache APDL definieren.

Für den Spulenkörper ist eine ähnliche Vorgehensweise denkbar, solange diese sich durch eine sich periodisch wiederholende Struktur annähern lassen (vgl. Abb. 8). Dies ist beispielsweise bei sehr kompakten, maschinengewickelten und umgossenen Wicklungen der Fall.

Dabei muss bei der Verwendung des Ersatzmaterials stets auf die richtige Orientierung des Koordinatensystems geachtet werden, das für die Materialbeschreibung verwendet wird. Für unregelmäßige oder lose Wicklungen ist die Verwendung von Massenbelägen ohne Steifigkeitsbeitrag oder empirisch ermittelten Materialeigenschaften eher geeignet.

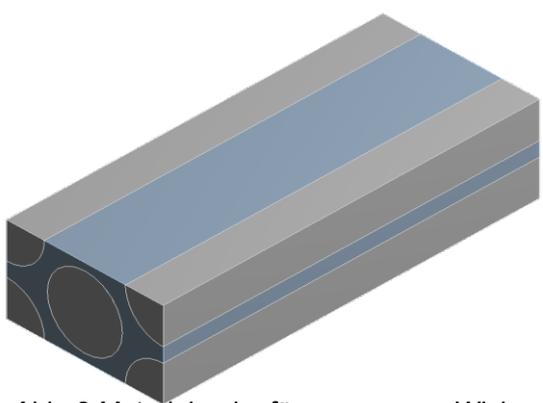


Abb. 8: Materialprobe für umgossene Wicklung

4 Kalibrierung der Ergebnisse mit Messungen

Trotz sorgfältiger Modellbildung sind zunächst einige Abweichungen zwischen simulierten und gemessenen Ergebnissen zu erwarten, da einige Einflussfaktoren in der Realität unbekannt bzw. mit großen Unsicherheiten versehen sind. Beispiele für solche Einflussfaktoren sind streuende Materialeigenschaften der Isolationslacke, Schraubenvorspannungen am Gehäuse oder der anzunehmende Massenbelag einer losen Wicklung.

Um solche Einflussfaktoren zu erfassen empfiehlt es sich ein neu erstelltes Simulationsmodell zunächst mit einigen repräsentativen Messergebnissen zu kalibrieren. Hier werden die unbekanntes Eingangsparameter, innerhalb bestimmter Grenzen, variiert, um eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen berechneten Eigenfrequenzen und Eigenformen zu erreichen.

Für skalare Vergleichsgrößen, wie z.B. Eigenfrequenzen, ist das Berechnen eines Abweichungsmaßes trivial. Für vektorielle Größen, wie z.B. Eigenvektoren, empfiehlt sich die Verwendung des sogenannten MAC (Modal Assurance Criterion). Hier wird die Projektion der durch EMA („Experimental Modal Analysis“) erhaltenen Verschiebungsmuster auf die berechneten Eigenvektoren gebildet.

$$MAC_{i,j} = \frac{|\vec{\Phi}_i^{FEM} \cdot \vec{\Phi}_j^{EMA}|^2}{|\vec{\Phi}_i^{FEM}|^2 \cdot |\vec{\Phi}_j^{EMA}|^2} \quad MAC_{i,j} \in [0; 1] \quad (Gl. 17)$$

Stehen nun geeignete Abweichungsnormen zur Verfügung kann ein Optimierungsalgorithmus verwendet werden, um die unbekanntes Eingangsparameter so zu kalibrieren, dass eine bessere Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Eigenvektoren erhalten wird.

Die einzelnen Schritte einer solchen Optimierungsaufgabe werden durch Abb. 9 verdeutlicht:

1. Import und Animation der gemessenen EMA-Daten
2. Ggf. statische Analyse(n) des Montagezustandes für die Berücksichtigung von Vorspannungen (Schrauben, Passungen, thermische Lasten, etc.)
3. Vorgespannte Modalanalyse mittels FEM
4. Berechnung der MAC-Werte und Darstellung der MAC-Matrix, welche den Grad der Übereinstimmung beschreibt
5. Wahl der zu variierenden Eingangsparameter und Definition der MAC-Werte als Ausgangsparameter auf der Workbench-Projektseite
6. Sensitivitätsanalyse mit optiSLang für die Bestimmung der relevanten bzw. dominanten Eingangsparameter und evtl. Reduzierung des Parametersatzes für die Optimierung
7. Optimierungslauf mit optiSLang zur Minimierung einer Straffunktion

Als Strafffunktion F kann beispielsweise der Ausdruck

$$F = a \sum_{i=1}^m \frac{f_i^{FEM} - f_i^{EMA}}{f_i^{EMA}} + b \sum_{i=1}^m \left| MAC \left(\vec{\Phi}_i^{FEM}; \vec{\Phi}_i^{EMA} \right) - 1 \right| \quad (Gl. 18)$$

verwendet werden. Dabei bezeichnet f die Resonanzfrequenzen und a und b gewählte Wichtungsfaktoren.

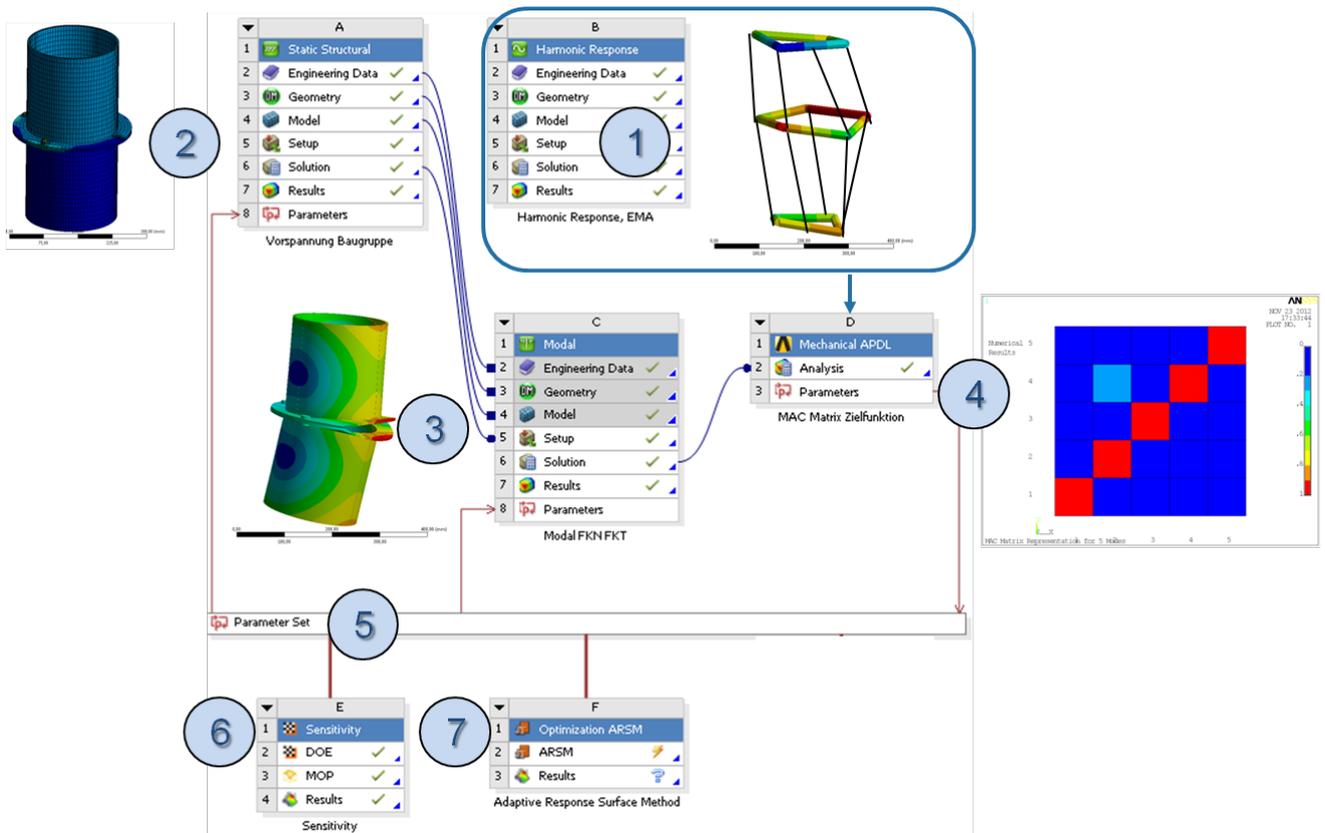


Abb. 9: Exemplarischer "Workflow" einer Modellkalibrierung unter Verwendung des MAC-Kriteriums

5 Analyseprozedur zur effizienten Berechnung eines Wasserfalldiagramms

Die Analyse, die im Abschnitt 2 beschrieben wurde, kann für mehrere Drehzahlen bzw. Arbeitspunkte wiederholt werden, um so das Vibrationsverhalten des Elektromotors in einem weiten Drehzahlbereich zu untersuchen. Jede Drehzahl liefert dabei ein eigenes Spektrum der ERP (vgl. Abb. 5). Typischerweise werden die Spektren mehrerer Arbeitspunkte in kompakter Form in einem sogenannten Wasserfalldiagramm dargestellt. Dabei wird die Frequenz auf der Abszissen-, die Drehzahl auf der Ordinaten- und der ERP-Pegel auf der Applikatenachse bzw. farblich kodiert dargestellt.

Ein typisches Diagramm ist in Abb. 10 dargestellt.

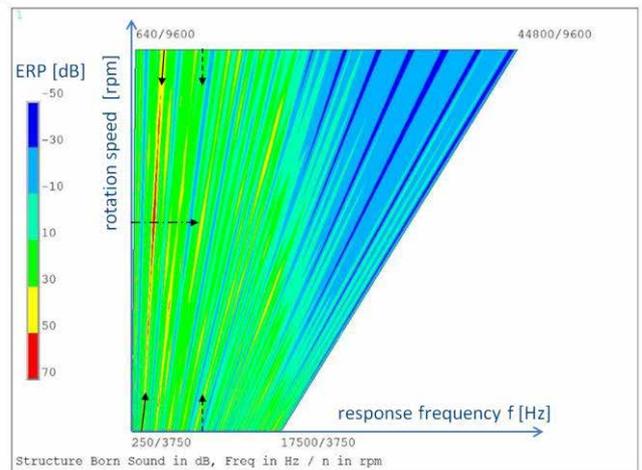


Abb. 10: Wasserfalldiagramm mit farbkodierter ERP(f,n)

Die Analysen mehrerer Arbeitspunkte, auf denen ein Wasserfalldiagramm basiert, können unter Umständen sehr zeitintensiv werden. Zudem werden viele Daten für jede Drehzahl generiert, sodass der Festplattenspeicherbedarf sehr groß werden kann. Um diese Probleme elegant zu lösen, wird ein Simulationsprozess benötigt, der sich auf möglichst wenige verteilte Felddaten stützt und der die Wiederverwertung von Daten unterstützt.

Für die Berechnung der ERP nach Gl. 9 werden die lokalen Oberflächenschnellen benötigt. Diese erhält man durch Multiplikation des Verschiebungsvektors mit $j\omega$. Um den Verschiebungsvektor \vec{u} aus den berechneten modalen Koordinaten zu ermitteln, wird Gl. 7 herangezogen („expansion pass“). CADFEM entwickelte hierzu einen Simulationsprozess, der die Ergebnisse der modalen Analyse wiederverwendet und einen „expansion pass“ in der harmonischen Analyse bei der Berechnung der ERP umgeht. Dabei wird die Projektionsmatrix $U_{m,ERP}$ zur Projektion der modalen Koordinaten auf die ERP nach der Modalanalyse berechnet. Nach der harmonischen Analyse muss schließlich der Vektor der modalen Koordinaten mit der Projektionsmatrix multipliziert werden.

Ferner wird eine Lastinterpolation für die Berechnung der wirkenden Kräfte und Momente an den Statorzähnen angewandt. Zunächst werden dabei k diskrete Drehzahlen in der Elektromagnetik berechnet. Für die feine Variation der Drehzahl zur Erstellung des Wasserfalldiagramms werden die Lasten zwischen den berechneten Werten interpoliert. Dieses Vorgehen ist besonders wirksam wenn eine 3D elektromagnetische Simulation als erster Schritt notwendig ist.

Abb. 11 zeigt die Projektebene eines solchen Simulationsprozesses, bei dem drei Drehzahlen für berechnet wurden und für eine Interpolation zur Verfügung stehen.

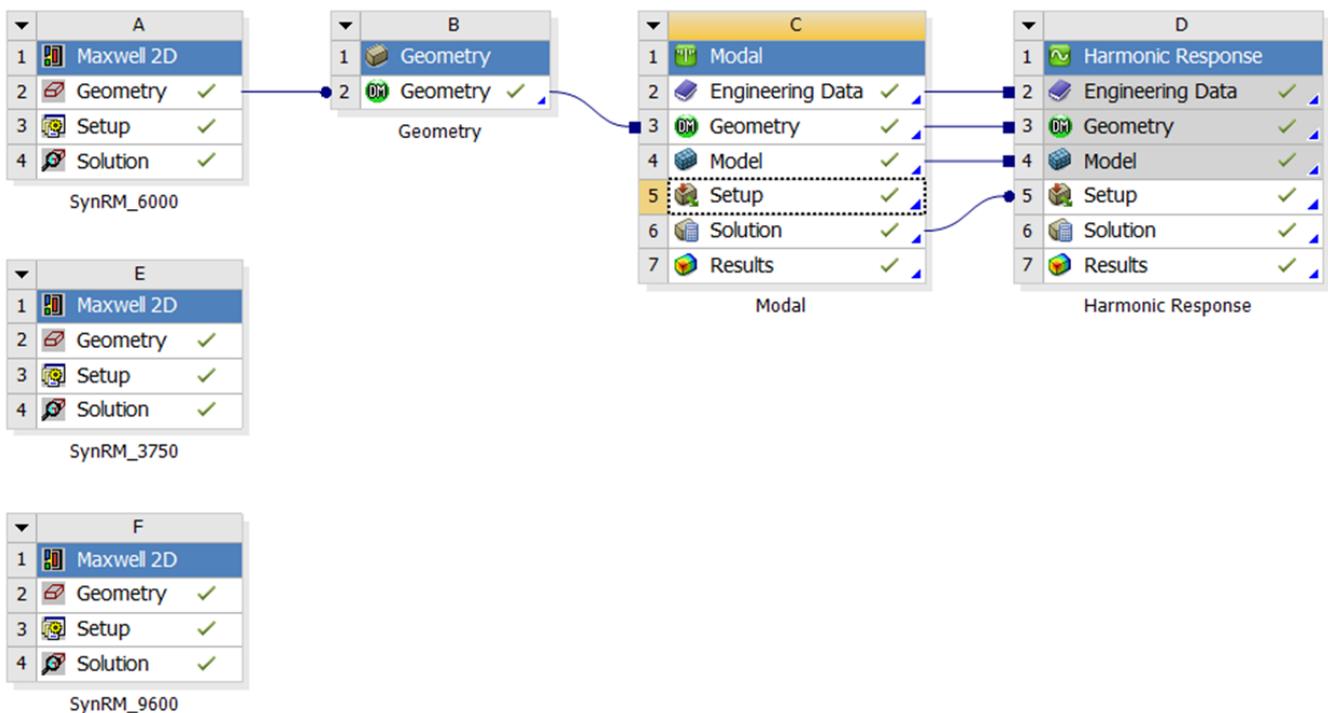


Abb. 11: Darstellung der Projektebene des von CADFEM entwickelten Simulationsprozesses

Die mathematisch-physikalischen Grundlagen der Kraftbestimmung mit Hilfe des Maxwell'schen Spannungstensors, das Ableiten konzentrierter Kräfte und Momente und die Übertragung in das strukturelle Modell sind analog zu dem im Abschnitt 2 beschriebenen Prozess. Jedoch müssen in diesem Fall die Schritte manuell bzw. durch entsprechende Skripte durchgeführt werden.

Die Kräfte und Drehmomente in Gl. 4 werden in ANSYS Maxwell mittels eines Python-Skripts bestimmt und als Zeitfunktionen auf csv-Dateien gespeichert. Diese werden anschließend in ANSYS Mechanical durch einen APDL (ANSYS parametric design language)-Skript eingelesen, Fourier-transformiert und als Lastspektrum aufgebracht.

Da in diesem Fall die Kraftübertragung vom Anwender per Skript implementiert wird, lassen sich hier auch zugeschnittene Varianten der Kraftübertragung nutzen, um den Simulationsprozess noch weiter zu beschleunigen. Wenn sich beispielsweise die Kräfte und Momente an den Zähnen nur durch einen Phasen- bzw. Zeitversatz unterscheiden, kann man die Kraftermittlung nur für die repräsentativen Zähne durchführen. Im mechanischen Modell werden diese nun in Umfangsrichtung vervielfältigt und phasenverschoben.

Eine andere Kraftberechnungsmöglichkeit ist die Entwicklung der Kraftdichten am Luftspalt mit Hilfe einer räumlichen Fourier-Analyse in tangentialer Richtung. Man stellt also eine Druckverteilung als Linearkombination von sinusförmigen Druckverteilungen entlang des Luftspaltes dar.

$$\vec{g}_k(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha=0}^{2\pi} \vec{f}(t) \cdot e^{-jk\alpha} d\alpha \quad (\text{Gl. 19})$$

Dabei bezeichnet α den Polarwinkel, k die Ordnung der räumlichen Kraftwelle und j die imaginäre Einheit. Die Zeitfunktionen \vec{g}_k können dann auch zeitlich Fourier entwickelt werden, um die Spektren der sinusförmigen Druckverteilungen zu bestimmen. Diese Methode eignet sich besonders für die Beschreibung von Maschinen mit wenigen Zähnen, bei denen die Approximation einer Druckverteilung nicht mehr hinreichend genau durch eine konzentrierte Kraft und ein Drehmoment pro Zahn beschrieben werden kann.

In dem dargestellten Beispiel der SyRM sind 6 Zähne pro Pol vorgesehen, daher wurde eine Kraftberechnung nach Gl. 4 gewählt.

Nachdem keine Expansion der modalen Ergebnisse für die Berechnung der ERP notwendig ist und die angreifenden Zahnlasten effizient durch Interpolation gewonnen werden, lässt sich ein sehr feines Raster für die Drehzahl in der harmonisch-mechanischen Simulation verwenden. Die Ergebnisse dieser Parametervariation werden in Abb. 10 dargestellt. Der waagerechte Pfeil kennzeichnet die Nenn Drehzahl der Maschine. Im Wasserfalldiagramm sind deutlich diagonale Linien zu erkennen, die auf eine Proportionalität zwischen relevanten Spektralanteilen und der Drehzahl hinweisen. Dieser Sachverhalt ist für Synchronmaschinen typisch. Das Wasserfalldiagramm lässt klar erkennen bei welchen Drehzahlen einer dieser Hauptspektralanteile mit einer Resonanzfrequenz der Struktur zusammenfällt und zur Überhöhung der ERP führt. Somit lässt sich das Vibrationsverhalten einer elektrischen Maschine für einen weiten Drehzahlbereich effizient simulieren und übersichtlich darstellen.

6 Luftschallsimulation

Nach erfolgreicher harmonisch-dynamischer Simulation und Expansion der Lösung, können die lokalen Oberflächenschnellen als Randbedingung für eine Luftschallsimulation verwendet werden.

In dieser Analyse lassen sich sowohl die Richtcharakteristik der Schallabstrahlung als auch lokale Schalldruckpegel analysieren (vgl. Abb. 12). Typischerweise geht man dabei von einem idealen Gas in der Fluiddomäne aus, bei dem nur die Schnellenkomponente normal zur abstrahlenden Oberfläche relevant ist.

Durch eine weitere Verknüpfung auf der ANSYS Workbench-Projektebene (vgl. Abb. 1) wird sowohl die Konvertierung des Verschiebungsvektors \vec{u} in den Schnellenvektor \vec{v} durch Multiplikation mit $j\omega$ als auch die Projektion der Oberflächenschnellen auf die Flächennormalvektoren automatisch durchgeführt.

Ferner berücksichtigt man mit der Luftschallsimulation, dass nicht die Gesamtleistung der ERP in die Luftdomäne als akustische Welle übertragen wird. Meist wird der Zusammenhang zwischen Schalleistungspegel (SPWL) und ERP mit Hilfe eines frequenzabhängigen Proportionalitätsfaktors σ beschrieben. Durch akustische Kurzschlüsse im Nahfeldbereich wird die abgestrahlte Leistung bei niedrigeren Frequenzen gegenüber der ERP deutlich reduziert. Dabei nimmt der sogenannte Abstrahlgrad σ in der Regel Werte zwischen 0 und 1 an.

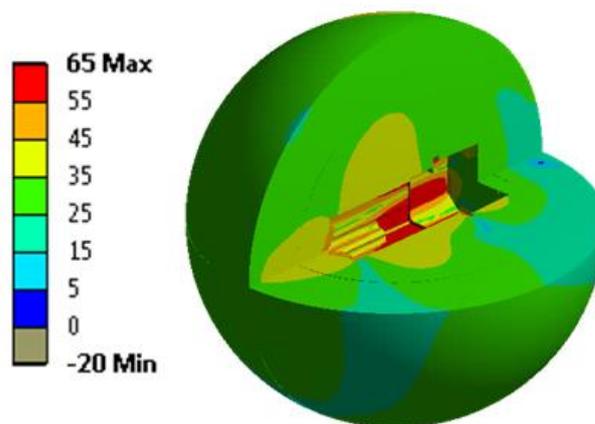


Abb. 12: Simulierter Schalldruckpegel im Nahfeldbereich eines abstrahlenden Elektromotors

$$\text{SPWL} = \sigma(f) \cdot \text{ERP} \quad (\text{Gl. 20})$$

Die Funktion $\sigma(f)$ lässt sich jedoch nur für sehr einfache, in der Praxis selten vorkommende Strukturen, analytisch berechnen. Eine Luftschallanalyse erlaubt es die tatsächlich in den Luftraum abgestrahlte Leistung zu quantifizieren, falls das konservative Maß der ERP nicht ausreichend ist. Abb. 13 stellt einen exemplarischen Vergleich zwischen den Größen ERP und SPWL eines abstrahlenden Elektromotors dar.

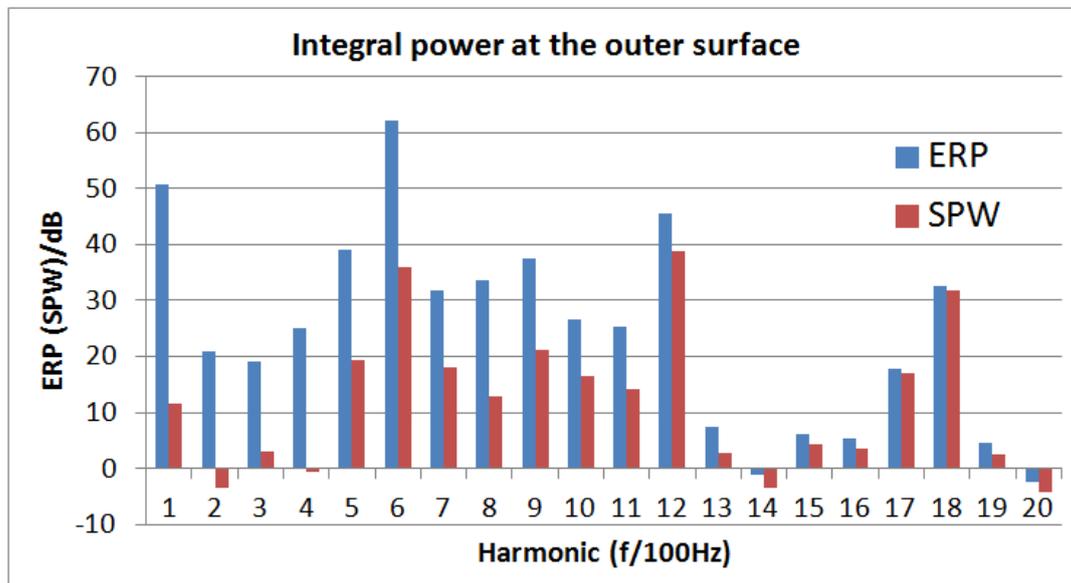


Abb. 13: Exemplarischer Vergleich zwischen simulierter ERP und Schalleistungspegeln

Typischerweise wird mit FE-Simulation der Nahfeldbereich um eine abstrahlende Struktur modelliert auf dessen Außenflächen geeignete Abstrahlungsrandbedingungen (infinite Elemente oder „perfectly matched layers“) gesetzt werden.

7 Anwendung auf Getriebe

Elektromotoren werden oft im Zusammenspiel mit einem Getriebe eingesetzt. Die Zahneingriffskräfte werden auch durch die entsprechende Wellen an das Gehäuse übertragen und können Schwingungen verursachen. Auch in diesem Fall sind die Eingriffskräfte periodisch. Dabei besitzt jede Getriebestufe eine spezifische Periodizität.

Eine Anpassung des vorgestellten Simulationsprozesses auf die Getriebeanalyse ist möglich. In diesem Fall werden die Erregungskräfte nicht durch eine elektromagnetische, sondern durch eine nichtlineare mechanische Simulation des Zahneingriffs bestimmt. Die Reaktionskräfte an den Lagern können dann als Gehäuseerregung für eine nachfolgende harmonische Analyse eingesetzt werden.

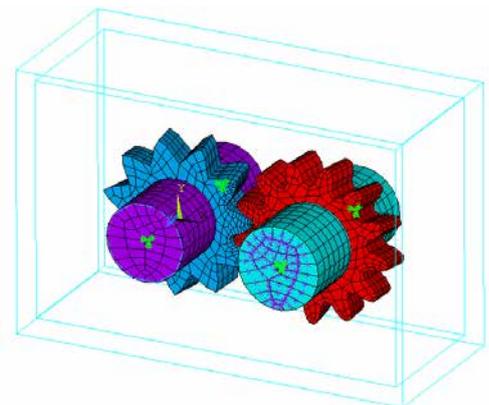


Abb. 14: Nichtlineares FE-Modell eines generischen Stirnradgetriebes

8 Literatur

[1] F. G. Kollmann und T. u. A. R. Schösser, Praktische Maschinenakustik, Berlin: Springer, 2006.

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

Adresse für Fensterkuvert



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

Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (2/2016)

Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Mitgliedschaft | <input type="checkbox"/> NAFEMS e-learning |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Magazin „Benchmark“ | <input type="checkbox"/> Professional Simulation Engineer PSE |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Seminare | <input type="checkbox"/> Internationale Arbeitsgruppen |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Trainingskurse | <input type="checkbox"/> NAFEMS World Congress / Int. SPDM Conf. 2017 |

Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.

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

Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:

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

Ich interessiere mich für www.CAEjobsite.com. Bitte kontaktieren Sie uns.

Absender

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____

Bitte senden Sie das NAFEMS Magazin auch an:

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____

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

Adresse für Fensterkuvert



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

Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (2/2016)

Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Mitgliedschaft | <input type="checkbox"/> NAFEMS e-learning |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Magazin „Benchmark“ | <input type="checkbox"/> Professional Simulation Engineer PSE |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Seminare | <input type="checkbox"/> Internationale Arbeitsgruppen |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Trainingskurse | <input type="checkbox"/> NAFEMS World Congress / Int. SPDM Conf. 2017 |

Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.

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

Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:

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

Ich interessiere mich für www.CAEjobsite.com. Bitte kontaktieren Sie uns.

Absender

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____

Bitte senden Sie das NAFEMS Magazin auch an:

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____



Online-Magazin

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

Tel. +49 (0) 176 217 984 01
e-mail: info@nafems.de

www.nafems.org/magazin

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

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

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

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



www.nafems.org