



# Online-Magazin

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

## NAFEMS20 DACH CONFERENCE

Fachkonferenz für Modellierung, Berechnung & Simulation  
11. -13. Mai, Bamberg, Deutschland

Vortragsprogramm im Magazin



Vortragsprogramm im Magazin



Ankündigung im Magazin



Ankündigung im Magazin

### Fachbeiträge

#### STRUKTURDYNAMIK

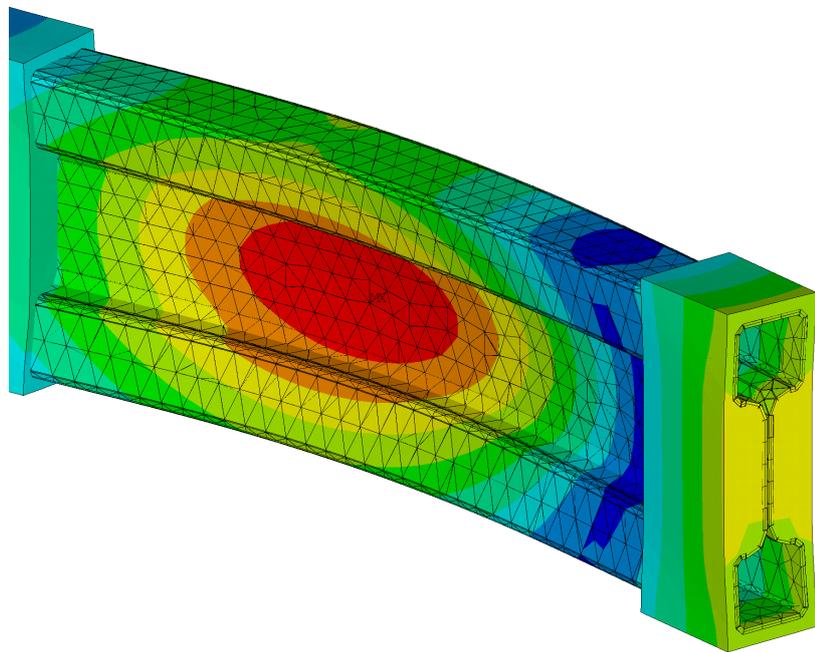
- Parametrische digitale Zwillinge für die Anwendung im Model-Based Systems Engineering

#### STRÖMUNGSMECHANIK

- Anwendungen von Lattice-Boltzmann Methoden für Large-Eddy Simulationen

#### OPTIMIERUNG

- Robuste Optimierung der Magnete einer PMSM unter Berücksichtigung von parametrischen Abweichungen in der Geometrie und im Fahrzyklus
- Aerodynamische Designoptimierung eines Doppелеlement-Heckflügels



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

Sponsoren dieser Ausgabe:



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

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

wann und wie NAFEMS entstanden ist, wird im Magazin BenchMark vom Oktober 2018 sehr anschaulich und detailliert von dem Technical Fellow Trevor Hellen beschrieben. Daraus wird deutlich, dass aus der 1983 angestoßenen, ursprünglich staatlich britischen Institution in Form einer Agency sich nach und nach eine internationale Organisation entwickelte, die sich aus den Beiträgen der Mitglieder und Sponsoren, sowie den Ergebnissen von Konferenzen und Seminaren finanziert. Von Beginn an war es das Ziel, die sichere und zuverlässige Nutzung von numerischen Methoden zu fördern. Inzwischen wurde NAFEMS zu einer weltweit agierenden und geachteten Institution mit Schwerpunkten in Europa und Nord-Amerika. Wegweisende Publikationen zur verlässlichen Anwendung numerischer Simulationen wurden herausgegeben, und in einer wachsenden Anzahl von Seminaren und regionalen Konferenzen werden die aktuellen Entwicklungen präsentiert. Zudem wird alle zwei Jahre der NAFEMS World Congress veranstaltet, der sich als hersteller-übergreifende Veranstaltung etabliert hat. Mit der Definition von Fähigkeiten, Kenntnissen und Fertigkeiten, die ein Anwender numerischer Simulation auf den unterschiedlichsten Fachgebieten beherrschen sollte, werden Standards für die Anerkennung als Professional Simulation Engineer (PSE) aufgestellt und in den relevanten Arbeitsgruppen aktualisiert. Schließlich hat das NAFEMS Steering Committee für den deutschsprachigen Raum 2005 die Herausgabe eines Online Magazins initiiert, in dessen 53. Ausgabe Sie gerade lesen.



*Prof. Dr.-Ing.  
Klaus Rohwer*

Neben interessanten und nützlichen Informationen zu Neuerungen, Nachrichten und Terminen von Veranstaltungen enthält diese Ausgabe vier Fachbeiträge. Aus dem Bereich Strukturmechanik werden Vorteile der parametrischen Reduktion des Modells digitaler Zwillinge herausgearbeitet. Damit werden die virtuelle Produktentwicklung und die Optimierung von Leichtbaustrukturen in Echtzeit möglich. Aus der Strömungsmechanik wird ein entropisches Lattice-Boltzmann Verfahren für Large-Eddy Simulationen vorgestellt. Es erweist sich als eine stabile und sehr genaue Methode, um die turbulente Anströmung eines Massenflusssensors zu analysieren. Zwei Beiträge haben die Optimierung zum Thema, allerdings in sehr unterschiedlichen Anwendungsbereichen. Zum einen geht es um eine permanent erregte Synchronmaschine für ein Kraftfahrzeug. Durch eine affine Zerlegung des untersuchten Bereichs ergibt sich ein effizienter und robuster Optimierungsalgorithmus. Zum anderen wird der Heckflügel eines Motorsportwagens strömungstechnisch untersucht. Er sollte einerseits Abtrieb an den Hinterreifen erzeugen, um die Kurvengeschwindigkeit zu erhöhen, andererseits sollte aber der Widerstand möglichst gering bleiben, um Beschleunigung und Maximalgeschwindigkeit nicht wesentlich zu beeinträchtigen. Der Beitrag schlägt eine gewichtete Summe von Abtrieb und Widerstand als Zielfunktion vor.

Ich bin zuversichtlich, dass die getroffene Auswahl auch für Sie etwas Interessantes bereithält und wünsche Ihnen beim Studium viel Freude und nützliche Erkenntnisse.

Mit freundlichen Grüßen

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

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



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



[www.cadfer.net/de](http://www.cadfer.net/de)



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



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



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



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



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

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

**NAFEMS Events**  
 Übersicht: Konferenzen, Schulungen, e-learnig Kurse .....5  
 NAFEMS DACH Konferenz '20 - Vortragsprogramm .....7  
 VMAP Int. Conf. on CAE Interoperability '20 - Vortragsprogramm .....17  
 NAFEMS World Congress '21 - Vorankündigung .....21  
 NAFEMS Europ. Multiphysics Conference '20 - Vorankündigung .....23  
 NAFEMS Regionalkonferenzen '20 - Übersicht.....24  
 Seminar: CFD-Methoden in der Entwicklung alternativer Antriebe .....26  
 Seminar: Integration von Simulation und Test in der Produktentw. ....28

**NAFEMS Trainings**  
 Onsite Trainings .....6  
 Verification and Validation in Engineering Simulation .....30  
 Festigkeitsnachweis mit der FKM-Richtlinie.....32  
 Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis.....33  
 Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation.....34  
 Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung .....35

**NAFEMS Literatur**  
 Invitation 2 Tender .....36  
 Benchmark Magazin .....38

**Neuigkeiten** .....43

**Veranstaltungskalender** .....48

**Fachbeitrag: Strukturdynamik**  
 - **Parametrische digitale Zwillinge für die Anwendung im Model-Based Systems Engineering** .....50  
 C. Tamm (Fraunhofer LBF)

**Fachbeitrag: Strömungsmechanik**  
 - **Anwendungen von Lattice-Boltzmann Methoden für Large-Eddy Simulationen** .....60  
 C. Feuchter, A. Stief (Hochschule Aalen)

**Fachbeiträge: Optimierung**  
 - **Robuste Optimierung der Magnete einer PMSM unter Berücksichtigung von parametrischen Abweichungen in der Geometrie und im Fahrzyklus** .....71  
 Z. Bontinck (TU Darmstadt/Knorr-Bremse Systeme für Nutzfahrzeuge); L. D'Angelo, S. Schöps, H. De Gersem (Knorr-Bremse Systeme für Nutzfahrzeuge)  
 - **Aerodynamische Designoptimierung eines Doppel-element-Heckflügels** .....81  
 M. S. Schneider, D. Grimmeisen (Cascade)

**Über NAFEMS**  
 Übersicht .....88  
 Ziele .....89  
 Mitglied werden .....90  
 Mitgliedsmodelle .....91  
 Technische Arbeitsgruppen .....92  
 Veranstaltungen .....93  
 PSE Zertifizierung .....94  
 Training .....95  
 Resource Centre .....96  
 Publikationen.....97

**Werbeanzeigen**  
 ITEA3 VMAP Projekt.....39 - 42  
 Dassault Systèmes Simulia.....43

**Rückmeldeformulare** .....98-99

**Impressum**

**Editor-in-Chief**

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

**Redaktioneller Beirat**

Dr. Alfred Svobodnik  
 Mvoid Technologies  
 Prof. Dr. Manfred Zehn  
 TU Berlin

**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 01.01.2020

**Verteilung / Bezug**

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

**Copyright © 2020, 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  
 Einwendung 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**

## Konferenzen/Seminare in DACH

# NAFEMS20 DACH CONFERENCE

[www.nafems.org/dach20](http://www.nafems.org/dach20)

11.-13. Mai Bamberg



13.-14. Mai Bamberg

[www.vmap.eu.com/vmap-conference-2020](http://www.vmap.eu.com/vmap-conference-2020)

**CFD-Methoden in der Entwicklung alternativer Antriebssysteme** 12.-13. Okt. München-Ottobrunn  
[www.nafems.org/cfd20](http://www.nafems.org/cfd20)

**Integration von Simulation und Test in der Produktentwicklung** 14.-15. Okt. München-Ottobrunn  
[www.nafems.org/simtest20](http://www.nafems.org/simtest20)



20.-21. Okt. München

[www.nafems.org/mp2020](http://www.nafems.org/mp2020)

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

## Schulungen in DACH

**Verification and Validation in Engineering Simulation** 02.-03. März München  
[www.nafems.org/vandv20-1](http://www.nafems.org/vandv20-1)

**Festigkeitsnachweis mit der FKM-Richtlinie** 28. - 29. April Wiesbaden  
[www.nafems.org/fkm20-1](http://www.nafems.org/fkm20-1)

**Verification and Validation in Engineering Simulation** 12.-13. Okt. Wiesbaden  
[www.nafems.org/vandv20-2](http://www.nafems.org/vandv20-2)

- Weitere Kurse auf Anfrage bzw. als Inhouse-Kurse:**
- Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation
  - CFD Analysis: Theory and Applications
  - Non-Linear Finite Element Analysis
  - NVH (in Vorbereitung)

Eine Beschreibung der Schulungsinhalte finden Sie auf Seiten 12 - 17. Weitere Schulungen und Kurse, die web-basiert (e-learning bzw. Webinare) oder ausserhalb der deutschsprachigen Region stattfinden, finden Sie unter [www.nafems.org/events](http://www.nafems.org/events).

## e-Learning Kurse

Folgende Themen werden regelmäßig angeboten:  
 10 Steps to Successful Explicit Dynamic Analysis, Advanced Dynamic FEA, Basic FEA, Composite FEA, CFD for Structural Designers and Analysts, Elements of Turbulence Modeling, Fatigue & Fracture Mechanics in FEA, Introduction to Dynamics using FEA, Introduction to Engineering Simulation for Non-Specialists, Introduction to Practical CFD, Non-Linear FEA, Practical Modelling of Joints and Connections, Structural Optimization in FEA

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

# Onsite Training



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



NAFEMS has been providing the engineering analysis, modelling & simulation community with world-class, code-independent training since 1983. Our unique position as an international non-profit, with no affiliation to any software code or provider, means that we are the only organisation in a position to cater for the specific training needs of everyone involved in engineering analysis.

You can be safe in the knowledge that all of our training solutions are backed by the experience that comes with nearly 40 years as a pillar of the simulation community.

## ORGANISATIONS WHICH HAVE BENEFITED FROM THIS TRAINING SO FAR INCLUDE:

- Honda
- Messier-Dowty
- Assystem
- Atkins Global
- Delphi
- Puget Sound
- Worley Parsons
- ASML
- Jaguar Land Rover
- Rolls Royce and many more

## COURSE PROGRAMME

### INTRODUCTORY

- Why do Engineering Simulation?
- Basic FEA
- Practical FEA
- Introduction to Practical CFD
- Introduction to Dynamics using FEA
- CFD for Structural Designers and Analysts
- FEA Day to Day

### MID-LEVEL

- 10 Steps to Successful Explicit Dynamic Analysis
- Practical Modeling of Joints and Connections
- Introduction to Non-Linear FEA
- Composite FEA
- Fatigue & Fracture Mechanics in FEA
- Structural Optimization in FEA

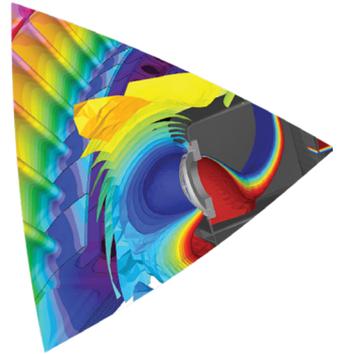
### ADVANCED

- Verification & Validation of Computational Models
- Elements of Turbulence Modeling
- Verification & Validation of Models and Analyses
- Advanced Dynamic FEA
- Verification & Validation in Scientific Computing

To discuss how any of these options could work for you and your company, please contact NAFEMS on [training@nafems.org](mailto:training@nafems.org) or call +44(0)1355 225688

**Einladung und vorläufiges Vortragsprogramm**

# NAFEMS20 DACH CONFERENCE



**Fachkonferenz für Modellierung, Berechnung & Simulation**

**11. - 13. Mai, Bamberg, Deutschland**

- Plenarvorträge:  
IABG, Mendler Engineering Technology, Opel Automobile, ZF  
Deutscher Wetterdienst DWD, Future Matters, Charité Berlin, TU München
- Über 100 Fachvorträge in 34 Sessions
- Kurztrainings/Workshop: Mehrphasenströmungen, Einführung SPDM
- Umfangreiche Hard- und Softwareausstellung
- Networking, Erfahrungs- und Informationsaustausch
- Für NAFEMS Mitglieder (frei\*) und für Nichtmitglieder
- Folgekonferenz: VMAP International Conference on CAE Interoperability

[www.nafems.org/dach20](http://www.nafems.org/dach20)

Platin Sponsor  **Microsoft**

Gold Sponsoren

**BETA**  
SIMULATION SOLUTIONS

**DASSAULT  
SYSTEMES**

**esi**  
get it right®

**HEXAGON**

**MSC Software**

**TECHNIA**  
ADDNODE GROUP

Silber Sponsoren

**gns**

**INTES**

**PROSTEP**  
integrate the future

Medienpartner

**DIGITAL ENGINEERING**



Sehr geehrte Damen und Herren,

wir laden Sie herzlich zur 5. deutschsprachigen NAFEMS Konferenz vom 11. - 13. Mai 2020 nach Bamberg ein.

Die alle zwei Jahre stattfindende Konferenz bietet Ihnen ein unabhängiges, übergreifendes und umfassendes Informationsangebot im Bereich der numerischen Simulationsmethoden – eine Plattform, auf der neue Techniken, Tools und „Best Practices“ präsentiert werden. Für Teilnehmer ergibt sich hier die Möglichkeit, auf breiter Basis erfolgreiche Anwendungen und Trends mit Spezialisten aus Forschung und im besonderen Maße aus der Industrie zu diskutieren.

Es erwarten Sie interessante Plenarvorträge, Fachbeiträge von Anwendern verschiedener Softwareprodukte, von Softwareherstellern und Dienstleistern, sowie Workshops und Kurztrainings. Eine große Ausstellung von Hard- und Softwareausstellern begleitet die Konferenz. Die Teilnahme ist offen für NAFEMS Mitglieder und Nichtmitglieder, wobei NAFEMS Mitglieder im Rahmen ihrer Mitgliedschaft unter Verwendung von „seminar credits“ kostenlos teilnehmen.

Wir freuen uns sehr, Sie in Bamberg begrüßen zu dürfen.

Ihr  
NAFEMS DACH Lenkungsausschuss  
Albert Roger Oswald und das gesamte NAFEMS Team

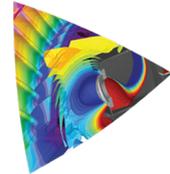
## **Bereits angemeldete Fachaussteller** (Stand: 25.02.2020)

iem engineering methods	GNS	Prostep
Ansys Dynardo	GNS Systems	Sidact
BETA CAE Systems	HBM Prenscia	Technia
Cascade	Hexagon / MSC Software	Volume Graphics
Dassault Systemés	Intes	Win-Verlag
DHCAE	ITEA3 VMAP Project	...
DYNAMore	Microsoft	
ESI Group	NAFEMS	<b>Medienpartner</b>
Fraunhofer IGD	PD Tec	WIN-Verlag (Digital Engineering)

Falls Sie Interesse haben, selbst als Aussteller oder Sponsor teilzunehmen,  
finden Sie Unterlagen unter [www.nafems.org/dach20](http://www.nafems.org/dach20).  
Gerne beraten wir Sie auch persönlich – rufen Sie uns an unter +49 176 217 984 01.

# NAFEMS20 DACH CONFERENCE

Fachkonferenz für Modellierung, Berechnung & Simulation  
11.-13. Mai, Bamberg, Deutschland



## Montag, 11. Mai

- 13:15 Begrüßung (Hegelsaal)
- 13:30 Keynotevorträge (Hegelsaal)
- 15:15 Pause in der Fachausstellung
- 16:15 Digital Twins Optimierung 1 CFD Multiphase 1 Demokratisierung Dynamik Methoden 1
- 18:00 Get-Together in der Ausstellung (bis ca. 22:00)

## Dienstag, 12. Mai

- 08:45 Keynotevorträge (Hegelsaal)
- 10:15 Pause in der Fachausstellung
- 11:15 Material MKS 1 CFD Multiphase 2 CFD Kopplung 1 Machine Learning Visualisierung
- 12:55 Mittagspause
- 14:00 Multiphysik 1 Regler / Sensoren CFD Optimierung Betriebsfestigkeit Systems Eng. CFD Mehrphasen
- 15:15 Pause in der Fachausstellung
- 16:00 Optimierung 2 Kontakt CFD Thermal Methoden 2 SPDM / Data CFD Mehrphasen
- 17:40 Ende der Vorträge
- 19:00 Sektempfang in der Fachausstellung
- 20:00 Abendveranstaltung (Hegelsaal)

## Mittwoch, 13. Mai

- 09:00 Optimierung 3 Multiphysik 2 CFD Workflow 1 CFD Kopplung 2 HPC SPDM
- 10:15 Pause in der Fachausstellung
- 11:00 Fertigungsproz. MKS 2 CFD Workflow 2 CFD Methoden  SPDM
- 12:15 Mittagspause

- 13:15 Keynotevorträge DACH 2020 Konferenz (Hegelsaal)
- inkl. Keynote-/Eröffnungsvortrag zur VMAP International Conference on CAE Interoperability
- 15:00 Ende der NAFEMS DACH Konferenz 2020



Im Anschluss die Konferenz (separate Anmeldung erforderlich):  
[VMAP International Conference on CAE Interoperability](#)

- 15:00 Pause für Teilnehmer der VMAP Konferenz im Foyer Hegelsaal
- 15:45 Plenarvorträge im Welcome Hotel
- 19:00 Get Together

## Donnerstag, 14. Mai

- 08:20 - 15:30 Parallelvorträge (2-fach) im Welcome Hotel

Begleitende Fachausstellung von Softwareanbietern und Dienstleistern

# AGENDA – MONTAG, 11. MAI

Plenum im Hegelsaal (Konzert- und Kongresshalle Bamberg)

## 1-P Keynote- und Sponsorvorträge

- 13:15 **Begrüßung**  
W. Dirschmid (Consultant – Vorsitzender des NAFEMS Lenkungsausschusses Deutschland, Österreich, Schweiz)  
M. Zehn (TU Berlin – Vice Chairman of NAFEMS); A. Oswald, T. Morris (NAFEMS)
- 13:30 **Keynote-Vortrag:**  
**Warum das Potenzial von CAE immer noch nicht vollständig genutzt wird und warum Zukunftstrends diesen Zustand verbessern werden**  
C. Gümbel (Future Matters)
- 14:00 **Keynote-Vortrag:**  
**Modellbasierte Entwicklung und integrierter virtueller Engineering-Prozess gemäß ASPICE-Anforderungen**  
J. Noack (ZF)
- 14:30 **Keynote-Vortrag:**  
**Ganzheitlicher Ansatz für das Konzept des Digitalen Zwillings in der Bewertung der Strukturintegrität und Betriebsfestigkeit**  
D. Wu (IABG)
- 15:00 **Platin Sponsor-Vortrag: Microsoft**  
K. Pischke (Microsoft)
- 15:15 Pause in der Fachausstellung

### Raum A

#### 2-A Digital Twin

- 16:15 **Using the High Fidelity Digital Twin for Design of Electric Motors for Aircraft Propulsion**  
M. Filipenko (Rolls-Royce)
- 16:40 **Herausforderung Digital Twin: Die digitale Durchgängigkeit erfolgreich gestalten**  
M. Strietzel (Prostep)
- 17:05 **Digitaler Zwilling von Verbundwerkstoffen zur Reduktion des experimentellen Aufwandes**  
A. Widera, M. Hümbert (Math2Market);  
T. Schmidt, D. May (Inst. für Verbundwerkstoffe)
- 17:30 **Effizientes High Performance Computing für Multi-physikalische Digital Twins mit Moderater Computer Leistung**  
B. Peters, A. Rousset, X. Besson, W. Mainassara (Univ. Luxemburg);  
Ch. Galletti, A. Lupi (Univ. Pisa)
- 17:55

### Raum B

#### 2-B Optimierung 1

- Sickenoptimierung auf Basis semi-analytischer Sensitivitäten  
R. Meske, M. Scherer, G. Stankiewicz (Tenneco)
- Automatisierte Fertigbarkeitsprüfung im Rapid-Prototyping durch künstlich intelligente RBF-Netze  
F. Richter, M. Ruschitzka (TH Köln);  
P. Gust, A. Schumacher (Univ. Wuppertal)
- Optimierung von Strukturen unter Berücksichtigung von Beulbedingungen  
N. Wagner (Intes)
- Optimierung des Motordesigns einschließlich elektromagnetischer Leistung und mechanischer Belastung  
C. Kremers, P. Veerma, B. Funieru (Dassault Systèmes)
- Anwendung von künstlicher Intelligenz und maschinellen Lernens in Computer Aided Engineering – State of the Art und Anwendungen  
T. Most, L. Gräning, J. Rotermund (Ansys Dynardo)

### Raum C

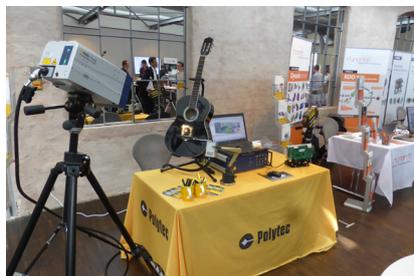
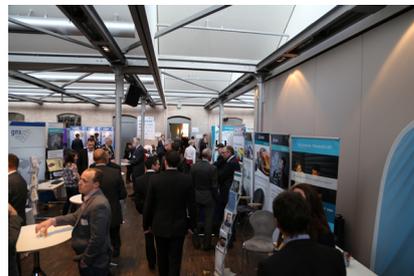
#### 2-C CFD Multiphase 1

- CFD of Multiphase Flow: Applications and Challenges  
J. Schlottke, D. Aul, F. Brotz, W. Kühnel (Mahle Behr)
- Multiskaleneffekte – Herausforderung für die Strömungssimulation in Wälzlagern  
K. Juckelandt, C. Schäfer (Schaeffler)
- CFD-Mehrphasensimulationen zur Rotorinnenkühlung von elektrischen Antrieben  
S. Spring, B. Bock (Tplus Engineering)
- Filtersimulation auf Basis von Euler-Lagrangischen Transportansätzen: Skalenübergreifende Modellierung von der Mikro- auf die Meso- und Makroskala  
U. Heck, M. Becker (DHCAE Tools)

### Fachausstellung

#### Get Together

Networking, Diskussion, Fachgespräche bei Getränken und Imbiss





13:15  
13:30  
14:00  
14:30  
15:00  
15:15

**Raum D**

<p><b>2-D Demokratisierung</b>                  Verbreitung der (FE-) Simulation in der Entwicklung durch Demokratisierung                  M. Spiegel (Festo)</p>
<p><b>SMILE – Trennung der physikalischen und numerischen Modellierung</b>                  B. Näser (BMW Group); D. Friedemann, J. Rademann (HTW Berlin)</p>
<p><b>Next Level Engineering: Digitalisierung von Know-How – Auf dem Weg zu einem intelligenten Produktentwicklungsprozess</b>                  M. Tryfonidis (BETA CAE Systems)</p>
<p><b>Ein Beitrag zur Diskussion über die Demokratisierung der Finite Element Simulation in der Produktentwicklung</b>                  R. Passmann (Technia)</p>

**Raum E**

<p><b>2-E Dynamik</b>                  Dynamische Finite-Elemente-Analyse von fremderregten Mehrmassensystemen                  F. Magerl (OTH Amberg-Weiden)</p>
<p><b>Maximierung der Eigenfrequenzen von Leiterplatten</b>                  R. Helfrich (Intes)</p>
<p><b>Numerische Untersuchung der Bodenverdichtung mit dynamisch angeregten Walzen</b>                  P. Erdmann (TH Köln)</p>
<p><b>Modellfreie Berücksichtigung vermessener Komponenten in der Zeitintegration auf Basis ihrer Impulsantwort</b>                  W. Witteveen, L. Koller, F. Pichler (FH Wels)</p>

**Raum F**

<p><b>2-F Methoden 1</b>                  Parametric Shell for Calculation of Reactor Coil Eigenfrequencies                  L. De Mercato, G. Moroni, S. Vannicola (ABB Power Grids)</p>
<p><b>Robuste Automatisierung und Appifizierung von Simulationsprozessen mit „Abstrakter Modellierung“ einfach machen</b>                  K. Peters (Novus Nexus)</p>
<p><b>Eine generische Programmstruktur zur Durchführung von FE-Analysen</b>                  M. B. Geilen, M. Klein, M. Oechsner (TU Darmstadt)</p>
<p><b>Ein modernes und flexibles Finite Elemente Framework</b>                  C. Lackner (Cerbsim)</p>

16:15  
16:40  
17:05  
17:30  
17:55

<p><b>CFD Fokus Mehrphasenströmung</b></p> <p>Mehrphasenanwendungen gewinnen im Bereich der Strömungssimulation branchenübergreifend immer mehr an Bedeutung. Im Rahmen der NAFEMS-DACH Konferenz wird diesen Anwendungen ein Schwerpunkt eingeräumt. Zusätzlich zu den beiden Sessions „Mehrphasenströmung“ bieten wir Ihnen einen Short Course und einen Workshop an, der von Mitgliedern der NAFEMS DACH CFD Advisory Board geleitet bzw. moderiert wird.</p> <p><b>Sessions</b>                  Wir freuen uns über zahlreiche Beiträge zum diesem Thema, die wir in den Sessions 2-C und 4-C zusammengefasst haben.</p> <p><b>Short Course</b>                  Der Short Course „Kurze Einführung in die Theorie mehrphasiger Strömungen“ soll eine kurze Einführung in die Modellierung und Simulation mehrphasiger Strömungen geben. Die Herausforderungen und Probleme bei der Berechnung mehrphasiger Strömungen werden diskutiert und Ideen für Modellierungsansätze beschrieben. Einfache Beispiele mehrphasiger Strömungen zeigen die Anwendung der Modelle als auch deren Vor- und Nachteile.</p> <p><b>Workshop</b>                  Im Workshop werden Best Practices der Mehrphasenströmungssimulation und deren Stolpersteine anhand mehrerer Beispiele aufgezeigt und diskutiert.</p>
<p><b>NAFEMS DACH Student Award</b></p> <p><b>Auszeichnung für hervorragende studentische Arbeiten: Berechnung und Simulation im Bereich der Ingenieurwissenschaften</b></p> <p>NAFEMS hat einen neuen Studierendenwettbewerb ins Leben gerufen, um begabte Studierende zu fördern und für eine weitere Tätigkeit auf dem Gebiet der Berechnung und Simulation im Bereich der Ingenieurwissenschaften zu motivieren. Die Auszeichnung richtet sich an Studierende, die Abschlussarbeiten im Bereich Berechnung und Simulation in einem Gebiet der Ingenieurwissenschaften angefertigt haben. Der Gewinner / die Gewinnerin nimmt kostenlose an der NAFEMS DACH Regionalkonferenz 2020 teil und präsentiert die Arbeit dort. Der Anmeldeschluss ist der 28. Februar. Wir werden den Beitrag thematisch in die Agenda einordnen.</p>

18:00

# AGENDA – DIENSTAG, 12. MAI

Plenum im Hegelsaal (Konzert- und Kongresshalle Bamberg)

## 3-P Keynote-Vorträge

08:45	<b>Keynote-Vortrag:</b> <b>Virtual Engineering im Kontext der Instandhaltung von zivilen Flugzeugen</b> J. Mandler (Mandler Engineering Technology)
09:15	<b>Keynote-Vortrag:</b> <b>Real Metamaterials: Quasi-Periodic Solutions for Passive Vibroacoustic Control</b> S. Marburg (TU München)
09:45	<b>Keynote-Vortrag:</b> <b>Numerische Simulationen an der Lendenwirbelsäule - Verifikation, Validierung und klinische Applikation</b> H. Schmidt (Charité Berlin)

10:15 Pause in der Fachausstellung

### Raum A

#### 4-A Material

11:15	<b>Development of Selection Method for Composite Panels with Honeycomb Cores by Means of FEM Numerical Simulation</b> L. De Mercato, G. Moroni, L. Michalski (ABB Power Grids)
11:40	<b>85 Durchgehender Arbeitsablauf zur Modellierung von faserverstärkten Kunststoffen (FRPs) mit dem multiskalaren Materialmodell</b> Y. Shi, H. Ji, P. Verma, H. Wen-Jun (Dassault Systèmes)
12:05	<b>Viskoelastische und viskoplastische Modellierung von Kriechen eines kurzfaserverstärkten Polypropylen-Verbundwerkstoffs</b> R. Wesenjak (e-xstream engineering/ MSC Software); V. Lebsak (MSC Software); M. Jerabek (Borealis Polyolefine)
12:30	<b>Wie man mit System das passende Material für ein Produkt herausfindet</b> F. Mailänder (Cadfem) *

12:55 Mittagspause

#### 5-A Multiphysik 1 - Coupling

14:00	<b>Simulation des induktiven Härtens als Beispiel für eine Multiphysics-Anwendung</b> M. Fiderer (Cenit)
14:25	<b>Multiphysikalische FEM Modellierung in Brennstoffzellen beim Abdichten von Wasserstoff</b> M. Achenbach (Ingenieur- & Sachverständigenbüro Achenbach)
14:50	<b>Direkte Simulation magneto-mechanischer Kopplung in 3D</b> L. Kielhorn, T. Rüberg, J. Zechner (Tailsit)

15:15 Pause in der Fachausstellung

#### 6-A Optimierung 2

16:00	<b>Topologieoptimierung an anisotropen Materialien mit Materialorientierung</b> A. Fassas, P. Pantazidis, D. Drougkas, S. Chatzimoyiadis (BETA CAE Systems)
16:25	<b>SLM-Topo – Einfluss unterschiedlicher Modellierung von Randschicht und innerem Volumen auf eine 2D-Topologieoptimierung</b> J. Holoch, L. Träger, A. Albers (Karlsruher Inst. für Technologie IPEK)
16:50	<b>Strategie zur anwendergerechten Bestimmung kontextsensitiver neuronaler Netztopologien für Optimierungsaufgaben in der virtuellen Produktentwicklung</b> A. Nüßgen, M. Ruschitzka (TH Köln)

17:15

### Raum B

#### 4-B MKS 1

11:15	<b>Aufbringung verteilter Lasten auf flexible Körper in Mehrkörpersimulationen</b> T. Ulmer (Airbus Operations)
11:40	<b>Simulativer Ansatz zur Abbildung der Ventilesekundärdynamik von Großmotoren</b> A. Pausin, A. Beck, P. Böhm (MAN Energy Solutions)
12:05	<b>Anwendung der Methode zur virtuellen Lastermittlung durch flexible Körper in Mehrkörpersimulation auf Lkw-Rahmen – Herausforderungen und Abgleich mit Versuchen</b> T. Hufnagel (MAN Truck & Bus/Univ. Erlangen-Nürnberg); D. Meyer (MAN Truck & Bus); S. Wartzack (Univ. Erlangen-Nürnberg)
12:30	<b>Einsatz von Werkzeugen zum simulationsgestützten Design bei der Auslegung von Bohrhämmern</b> V. Keppler (Cenit); L. Braun (Hilti)

#### 5-B Regler / Sensoren

14:00	<b>Entwicklung eines modularen Ansatzes zur automatisierten, simulationsbasierten Validierung der Schaltstrategie moderner Doppelkupplungstriebwerke</b> J. Köber, L. Pflüger (Dr. Ing. h.c. Porsche); A. Albers (Karlsruher Inst. für Technologie IPEK)
14:25	<b>Herausforderungen beim Einsatz von Sensormodellen in der Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen</b> S. Schmidt (Volkswagen); R. Stark (TU Berlin)
14:50	<b>Schnelle Testung des Designs von aktiven Strukturen mit Hilfe einer interaktiven Echtzeit-Simulation</b> M. Zehn, D. Mariankovic (TU Berlin)

#### 6-B Kontakt

16:00	<b>Effiziente und strukturierte Bewertung von allgemeinen Gewindeverbindungen mittels FEM auf Basis des örtlichen Konzepts</b> F. Schüssler, M. Strummer (ACAM Engineering)
16:25	<b>Kontakte noch schneller berechnen</b> R. Helfrich, R. Fischer, M. Ast (Intes)
16:50	<b>Schnelle und hochgenaue numerische Kontaktmechanik mit fein vernetzten FE Strukturen auf Basis von Kontakt- und Spannungsmoden</b> W. Witteveen, F. Pichler, L. Koller (FH Wels)

### Raum C

#### 4-C CFD Multiphase 2

11:15	<b>Potenziale der Smoothed Particle Hydrodynamics Methode für die mehrphasige Simulationen von Wälzlagerströmungen</b> F. Pause (dive solutions); P. Koob, K. Juckelandt (Schaeffler)
11:40	<b>CFD-Simulation von Verdrängerverdichtern mit Mehrphasenströmung, CHT, Verformung und Co-Simulation</b> A. Spille-Kohoff, J. Hesse (CFX Berlin Software)
12:05	<b>Direkte numerische Simulation von kapillaren Mehrphasenströmungen in komplexen Geometrien</b> S. Höcker, O. Iliev (Fraunhofer ITWM/TU Kaiserslautern); D. Niedzela (Fraunhofer ITWM)
12:30	<b>Diskussion</b>

#### 5-C CFD Optimierung

14:00	<b>Automatisierte Modellerstellung für die CFD-basierte Optimierung von Turboladergehäusen</b> B. Kneidl (:em engineering); S. Mihal (Daimler Truck)
14:25	<b>CFD-basierte Optimierung der Kühlleistung eines Li-Ionen-Batteriemoduls</b> M. Schneider, D. Grimmeisen (Cascade)
14:50	<b>Topologieoptimierung mit integrierter CAD Rekonstruktion für durchströmte Bauteile</b> J. Iseler, P. Pagliugh (Dassault Systèmes)

#### 6-C CFD Thermal

16:00	<b>CFD-Simulation zum Thermomanagement im Haushaltsbackofen</b> B. Krüger (Miele)
16:25	<b>Optimierung von Wärmeübertragern mit Hilfe von bionischen Prinzipien und evolutionären Algorithmen</b> D. Becker, A. Behr, N. Kockmann (TU Dortmund)
16:50	<b>Design und Optimierung einer Kühlsystemkomponente zur Verbesserung des Luftstromes</b> F. Cuzzola, R. Mallyala, K. Muthuraman, S. Karmungi, T. Donley (Dassault Systèmes)

ab 19:00 Sekttempfang (19:00 in der Ausstellung) und Gala-Dinner (20:00 Hegelsaal = Plenarsaal in der Kongress-/Konzerthalle)



08:45  
09:15  
09:45  
10:15

**Raum D**

**4-D CFD Kopplung 1**

**Einfluss von Ungenauigkeiten in Spritzguss-simulationen auf die Struktursimulation von kurzfaserverstärkten Kunststoffen**  
L. Veltmaat (Volkswagen); H.-J. Endres, F. Bittner (Univ. Hannover)

**Partitionierte, transiente Fluid-Struktur Kopplung mit open-source Löser-technologie**  
U. Heck, M. Becker (DHCAE Tools)

**Gekoppelte aeroakustische CFD-FE-Simulation für kompaktes aeroakustisches Design**  
A. Poulos, M. Brandstetter, C. Legendre, R. Baudson (Free Field Technologies); M. Bomme (Software Cradle Europe); C. Deller (MSC Software)

**Diskussion**

**Raum E**

**4-E Machine Learning**

**Datengetriebene Simulationsüberwachung durch ML-basierte Ähnlichkeitsanalyse**  
A. Druz, D. Klitzke, S. Slavetinsky, S. Suwelack (Renumics)

**Berechnung der Produktparameter für das Projekt King Abdulaziz Center für World Culture**  
S. Kloker (Seele)

**Innovatives Engineering durch neue Methoden – Wie verbindet man die klassische Ingenieursarbeit mit den Technologien der Zukunft?**  
K. Netzer (ISKO)

**Untersuchung der Anatomie eines Stossdämpfers basierend auf CT-Daten**  
M. Tryfonidis (BETA CAE Systems)

**Raum F**

**4-F Visualisierung/Reporting**

**Berücksichtigung von fertigungsbedingten Defekten in der strukturmechanischen Simulation**  
B. Lauterbach, J. Fieres, K. M. Nigge (Volume Graphics)

**Qualitätsüberwachung der Faserverbundproduktion mittels Bildanalyse in einem virtuellen Produktionsumfeld**  
O. Döbrich, N. Gort, A. Anderegg, C. Brauner (FH Nordostschweiz); F. Pavia, N. Zehnder (Ansys)

**Berichterstellung: flexibel, automatisch und interaktiv**  
C. Kaulich, R. Tempel (GNS)

**Diskussion**

11:15  
11:40  
12:05  
12:30

**5-D Betriebsfestigkeit**

**Verlinkung der Zuverlässigkeitstheorie und der Betriebsfestigkeit im Kontext der Produktfreigabe**  
J. Noack, M. Obermayr, G. Wehr, N. Schmutte, K. Steinle (ZF)

**Probabilistische Ermüdungs- und Zuverlässigkeitssimulation**  
S. Vervoort, A. Halfpenny, A. Chabod (HBM Prenscia); M. Bonatod (Valeo Thermal Systems)

**Effiziente, normgerechte Ermüdungsbewertung von Schweißnähten an Solidmodellen mittels Sensor-Technologie**  
N. Friedl, W. Krach, W. Vonach (CAE Simulation & Solutions)

**5-E Systems Engineering**

**Konzept zur Kopplung von MBSE und Simulation**  
K. Mai, S. Husung, S. Kleiner (:em engineering)

**Systems Engineering meets Simulation**  
F. Fischer (Prostep)

**Die Zukunft der Produktentwicklung mit einem Model Based Systems Engineering Ansatz am Beispiel eines elektrischen Antriebsstrangs**  
G. Fanmuy, P. Lalor, T. Reimer (Dassault Systèmes)

**5-F CFD Training: Mehrphasenströmung**

**Kurze Einführung in die Theorie mehrphasiger Strömungen**  
U. Janoske (Universität Wuppertal / Chairman des NAFEMS DACH CFD Advisory Boards)

Der short course soll eine kurze Einführung in die Modellierung und Simulation mehrphasiger Strömungen geben. Die Herausforderungen und Probleme bei der Berechnung mehrphasiger Strömungen werden diskutiert und Ideen für Modellierungsansätze beschrieben. Einfache Beispiele mehrphasiger Strömungen zeigen die Anwendung der Modelle als auch deren Vor- und Nachteile.

12:55  
14:00  
14:25  
14:50

**6-D Methoden 2**

**Calculation Methodology for the Design of the Transformer Lifting Fame**  
L. De Mercato, G. Moroni, S. Vannicola (ABB Power Grids)

**Rapid Interactive Structural Analysis**  
D. Weber, T. Grasser, J. Mueller-Roemer, A. Stork (Fraunhofer IGD)

**A New Method for Fast Finite Element Explicit Crash Simulations**  
P. Specker, A. Van der Velden, D. Kokan (Dassault Systèmes)

**6-E SPDM / Data**

**Über die Bedeutung des „D’s“ im SPDM-System**  
M. Weinberger (MSC Software)

**Effiziente und vernetzte Produktentwicklung durch die Integration von Simulationsdatenmanagement (SDM) und Prüfstands-Testdatenmanagement (TDM)**  
D. Rensink, M. Krastel (:em engineering)

**Simulationsdatenmanagement für den virtuellen Fahrversuch**  
A. Pfaff (PD Tec)

**Simulations-, Prozessdatenmanagement und Datenanalyse – Wie entscheide ich mich für das richtige SPDM-System?**  
M. Krause (ISKO)

**6-F CFD Workshop: Mehrphasenströmungen**

**Beispiele & Best Practices**  
Moderation: R. Stauch (Hochschule Esslingen / Mitglied des NAFEMS DACH CFD Advisory Boards)

Beiträge:

- Volume of Fluid: CFL Zahl an der freien Oberfläche und Einfluss der Oberflächenspannung, M. Schneider (Cascate)
- Potenzial und Modellierungsansätze für partikelbeladene Strömungen und Sprays, U. Heck (DHCAE)
- Hybride Mehrphasenmodelle: Tor zur effizienten Simulation unterschiedlicher Strömungsregime, T. Eppinger (Siemens Digital Industries Software)
- Overview of Surface Contamination, J. Jilesen, T. Linden (Dassault Systèmes)

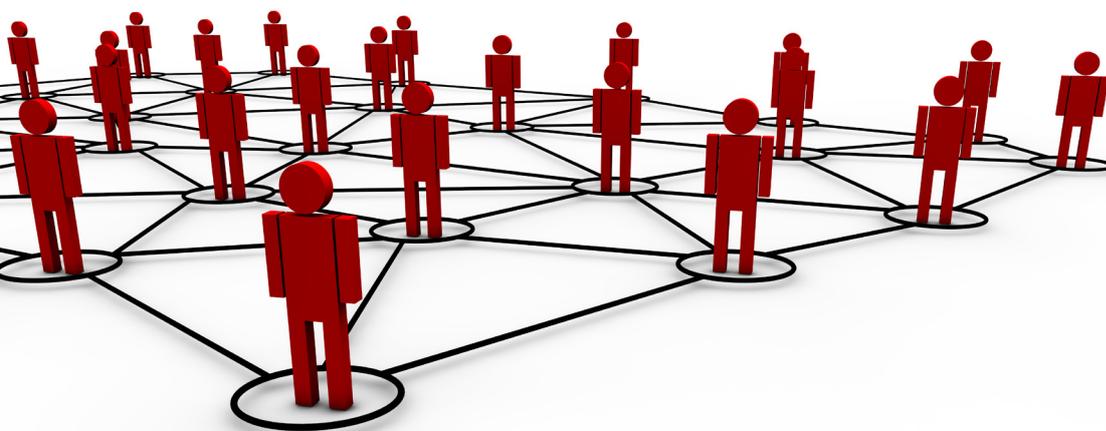
15:15  
16:00  
16:25  
16:50  
17:15

\* Vorbehaltlich finaler Annahme. Programmänderungen vorbehalten.

# AGENDA – MITTWOCH, 13. MAI

	Raum A	Raum B	Raum C
09:00	<b>7-A Optimierung 3</b> <b>Nichtlineare Dynamische Strukturoptimierung unter Berücksichtigung der Deformationsgeschichte mit Differenzenbasierten Äquivalenten Statischen Lasten</b> J. Triller, L. Harzheim (Opel Automobile/ TU Darmstadt); R. Immel (Opel Automobile)	<b>7-B Multiphysik 2 - NVH</b> <b>Mehrdimensionale Optimierung von Lautsprechern basierend auf Multiphysikalischen Modellen</b> T. Gmeiner (Mvoid); P. Maury (Datadance)	<b>7-C CFD Workflow 1</b> <b>Demokratisierung der Strömungssimulation von Reaktoren unter Verwendung eines Machine Learning Regressionsmodells</b> T. Kalkkuhl (WILO)
09:25	<b>Abgleich von Material- und Formparametern zwischen Versuch und Berechnung</b> N. Wagner (Intes)	<b>Multiphysics Assessment of Structural Strength of Outdoor Air Core Reactors to Vortex Induced Vibrations</b> L. De Mercato, G. Moroni, S. Vannicola (ABB Power Grids)	<b>Konstruktionsnahe CFD-Simulation in der Prototypen- &amp; Serienentwicklung eines Automobilzulieferers</b> F. Lang (Dr. Schneider)
09:50	<b>Methode und Werkzeugkette zur thermischen Optimierung mit Finite Elemente Simulationen</b> D. Perchtold, M. Schörgenhuber (Linz Center of Mechatronics); M. Javurek (Univ. Linz)	<b>Verbesserte Materialdämpfung in der Strukturdynamik</b> M. Klein, B. Kirchgäßner (Intes)	<b>Machine-learning basierte Ansätze für globale Optimierung und interaktives Design</b> M. Bauer, J. Lohse (Navasto)
10:15	Pause in der Fachausstellung		
11:00	<b>8-A Fertigungsprozesse</b> <b>Möglichkeiten zur Berücksichtigung von Warmauslagerungseffekten bei Aluminiumbauteilen in der Finite-Elemente-Simulation</b> C. Liebold, D. Koch, A. Haufe (DYNAmore); M. Feucht (Mercedes-Benz)	<b>8-B MKS 2</b> <b>Automatisiertes Simulationsmodell für Transformatorwicklungen</b> E. Karer (Linz Center of Mechatronics)	<b>8-C CFD Workflow 2</b> <b>Effiziente Werkzeuge und Methoden für die Aufbereitung von wasserdichten CFD-Netzen bei Groupe PSA</b> A. Karasavvidis, N. Batsaris (BETA CAE Systems); G. Roy (PSA Group)
11:25	<b>Analyse von Eigenspannungen in Hochtemperatur-Faserverbundbauteilen durch Simulation des Herstellungsprozesses</b> F. Schadt, L. Amirova, M. Grob, C. Brauner (FH Nordwestschweiz); M. Liebisch, T. Wille (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR); I. Ortiz De Zarate Alberdi, J. Navas (Parque Tecnológico de Alava); T. Ricard (North Thin Ply Technology)	<b>Ermittlung von Sensitivitäten vieler Parameter in komplexen Mehrkörpersystemen ohne zusätzliche Simulationen</b> S. Oberpeilsteiner, W. Witteveen (FH Wels)	<b>CFD-Praxis: Abbildung von Schließvorgängen, Strömung und Kavitation am Beispiel eines Ventils</b> B. Neuhierl (Cadffem)
11:50	<b>Effiziente Wärmequellenmodellierung in der Prozesssimulation des pulverbettbasierten Laserstrahlschmelzens</b> K. Bartsch (TU Hamburg-Harburg); C. Emmelmann (TU Hamburg-Harburg/ Fraunhofer IAPT); M. Kühne, M. Zeyn (Fraunhofer IAPT)	<b>Einfluss der Volumen- und Shell-Dickenmodellierung auf die hauptspannungs-basierte Trajektorienberechnung zur Bestimmung von Sickenverläufe</b> S. Revfi, M. Fünkner, A. Albers (Karlsruher Inst. für Technologie IPEK)	Diskussion
12:15	Mittagspause		
13:15	<b>9-A DACH Keynote Presentations in English Language / Start of VMAP Conference</b> <b>DACH Keynote Presentation / VMAP Conference Introduction: VMAP Enabling Interoperability in Integrated CAE Simulation Workflows</b> K. Wolf (Fraunhofer SCAI), G. Duffett (NAFEMS)		
13:45	<b>DACH Keynote Presentation: Modern Forecasting for Weather and Climate – Using and Predicting Uncertainty, Distribution and Risk</b> R. Potthast (Deutscher Wetterdienst (DWD))		
14:15	<b>DACH Keynote Presentation: Transformation of the CAE Organization at Opel</b> T. Pohl (Opel Automobile)		
14:45	<b>Summary of Key Outcomes from NAFEMS DACH 2020 Conference</b> M. Zehn (TU Berlin – Vice Chairman of NAFEMS)		
15:00	End of NAFEMS DACH Conference / Coffee break for VMAP conference participants in the Hegelsaal foyer		

ab 15:45 Uhr geht's weiter mit der 1<sup>st</sup> VMAP International Conference on CAE Interoperability 2020 >>> separate Anmeldung erforderlich!



Raum D	Raum E	Raum F	
<b>7-D CFD Kopplung 2</b> Modellierung von Strömungen in kinematisch komplexen Systemen C. Deller (MSC Software)	<b>7-E HPC</b> Die Zukunft der Simulation in der Exascale-Ära A. Bedouet (Sicos)	<b>7-F Workshop SPDM</b> Introduction to SPDM - 1 M. Norris (the SDMconsultancy)	08:45
Eine Raum-Zeit Finite-Elemente-Methode für die Entleerung von Silos S. Reinstädler (Cenit)	Machine Learning im HPC: Wie lange laufen meine HPC-Jobs? – Der Weg zur besseren Clusternutzung T. Grosch (GNS Systems)	Session 1 covers an introduction to SPDM based on 20 years of production experience. It covers SPDM project successes, the core technology of SDM and SPDM, the different classes of solutions available how SPDM fits with other engineering systems and the value obtainable from SPDM including functional Digital Twins. Sprache: Englisch	09:10
Integration der MRF Modellierung in das CFD-Simulationsmodell eines Formelfahrzeugs J. Pangerl, N. Kaiser, R. Stauch (Hochschule Esslingen)	Machine Learning für CAE-Simulationen: Den richtigen Zeitpunkt für die Job-Einreichung vorhersagen T. Grosch (GNS Systems)		09:35
			10:45
<b>8-D CFD Methoden</b> Rücksprungverhalten komplexer Partikelgeometrien in Diskrete Elemente Methode (DEM) - Simulationen P. Pircher, E. Fimbinger (Univ. Leoben)		<b>8-F Workshop SPDM</b> Introduction to SPDM - 2 M. Norris (the SDMconsultancy)	11:10
Analyse der Stabilität der Strömung einer Defrostanlage mit Model Order Reduction (MOR) S. Müller, P. Putin, C. Thole, N. Abdelhady (Sidact)		Session 2 covers How to succeed at SPDM based on the publication developed for the SDM Working group including how to initiate an SPDM project, identifying the capabilities your organisation will need, evaluating different solutions, running alignment workshops and a PoC, planning a project to deliver value to professional simulation engineers and the enterprise. Sprache: Englisch	11:35
Modellierung des nassen Gleitschleifens mit der Diskrete Elemente Methode J. Fürstenau (Cadfem); S. Yabroudi (TU Berlin); Y. Kuche (Fraunhofer IPK)			12:00
			12:25



We invite you to attend the 1st VMAP International Conference on CAE Interoperability 2020 which will be held from 13 - 14 May 2020 in Bamberg, Germany, following directly on from the NAFEMS DACH Regional Conference at the same venue.

Interoperability is a significant topic for much of the Computer-Aided Engineering (CAE) simulation and analysis sector. Improving accuracy and speed in both product and process design is a constant requirement. A critical factor in this is enabling seamless collaboration between teams, often in different organisations, addressing different simulations and physics. This, however, presents a significant barrier.

Focusing on the many aspects, problems and possible solutions in interoperability including software implementation, simulation process integration, data transfer, standards, ontologies, and collaboration, this will be the first independent, international gathering focussing solely on interoperability.

VMAP is a vendor-neutral standard for CAE data storage to enhance interoperability in virtual engineering workflows. The project is funded by national research agencies from Austria, Netherlands, Germany and Canada.

[www.vmap.eu.com/vmap-conference-2020](http://www.vmap.eu.com/vmap-conference-2020)

# ORGANISATION

## Veranstaltungsort

Welcome Kongresshotel Bamberg  
Mußstraße 7, D-96047 Bamberg  
Tel. +49 (0) 9 51 - 70 00 - 0  
Fax +49 (0) 9 51 - 70 00 - 5 16  
E-Mail: [info.bak@welcome-hotels.com](mailto:info.bak@welcome-hotels.com)  
[www.welcome-hotels.com](http://www.welcome-hotels.com)

## Hotelzimmer

Im Welcome Kongresshotel sowie im Residenzschloss (kurzer Fußweg) haben wir ein Kontingent zu reduzierten Preisen für Konferenzteilnehmer geblockt. Bitte buchen Sie Ihr Hotelzimmer unter der Verwendung des jeweiligen Links und dem Stichwort „NAFEMS“ bis spätestens 29.3. selbst.

- Welcome Kongresshotel Bamberg  
Mußstraße 7, 96047 Bamberg  
*Buchungslink auf unserer Konferenzwebseite*
- Welcome Hotel Residenzschloss Bamberg  
Untere Sandstraße 32, 96049 Bamberg  
*Buchungslink auf unserer Konferenzwebseite*

Eventuelle Voranreisen oder Verlängerungsnächte können über diesen Link leider nicht gebucht werden. Solche Anpassungen, oder falls Sie zur „VMAP Konferenz“ bleiben, bitte direkt mit dem Hotel, Frau Losskarn, Tel. +49 951 7000-500, absprechen.



## Konferenzteilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder: 775,- Euro / Person zzgl. ges. MwSt.  
NAFEMS-Mitglieder: frei (\* Verwendung von seminar credits)  
Proceedings, Mittagessen und Pausengetränke sind in den Teilnahmegebühren enthalten. Das Hotelzimmer ist nicht inbegriffen.

### \* Mitgliedsgebühren für Unternehmen/Institute

Eine Standard NAFEMS site membership kostet 1.200 Euro pro Jahr, eine Academic site membership 750 Euro pro Jahr. NAFEMS Mitglieder erhalten acht seminar credits (1 credit entspricht ~1/2 Seminar-/Konferenztag) pro Jahr. Für diese Veranstaltung werden fünf seminar credits je Teilnehmer für eine kostenlose Teilnahme benötigt – es rechnet sich schnell, Mitglied zu werden. Sollten die seminar credits bereits verwendet worden sein, können NAFEMS Mitglieder zum reduzierten Preis von Euro 500,- pro Person teilnehmen.

## Hard- und Softwareausstellung

Bitte fordern Sie die Ausstellungs-/Sponsoringbroschüre an. Nähere Informationen finden Sie auch unter:  
[www.nafems.org/dach20](http://www.nafems.org/dach20).

## Konferenzsprache

Deutsch (einzelne Vorträge in englischer Sprache)

## Anmeldung / Bestätigung

Bitte melden Sie sich mit dem Anmeldeformular oder Online unter [www.nafems.org/dach20](http://www.nafems.org/dach20) an. Sie erhalten eine Anmeldebestätigung.

## Kosten für Stornierung

Bis 3 Wochen vor Konferenzbeginn: kostenfrei;  
bis 1 Woche vor Konferenzbeginn: 75%, alle seminar credits;  
später und bei Nichterscheinen: 100 %.  
Ersatzteilnehmer können gestellt werden. Die Stornierung muss schriftlich erfolgen.

## Kontakt und Fragen

NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH  
Griesstr. 20, 85567 Grafing b. M.  
Tel.: +49 176 217 984 01  
Fax: +49 3 22 11 08 99 13 41  
E-Mail: [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de)

## Über NAFEMS

NAFEMS ist eine not-for-profit Organisation zur Förderung der sicheren und zuverlässigen Anwendung von Simulationsmethoden wie FEM, CFD, MKS, ... NAFEMS ist eine neutrale, von Software- und Hardwareanbietern unabhängige Institution. Sie vertritt die Interessen der Anwender numerischer Simulationsmethoden aus der Industrie, bindet Hochschulen und Forschungsinstitute in ihre Tätigkeit ein und hält Kontakt zu Systemanbietern. NAFEMS hat international über 1.400 Mitgliedunternehmen und -Institutionen und ist seit 1996 in Deutschland präsent. Um die Aktivitäten von NAFEMS im deutschsprachigen Raum neutral zu leiten und die nationalen Belange innerhalb von NAFEMS zu vertreten, wurde ein Lenkungsausschuss etabliert.

Die Mitglieder des NAFEMS DACH Lenkungsausschusses sind:

Dr.-Ing. Werner Dirschmid - Consultant, Chairman  
Dr.-Ing. Albrecht Gill - Ansys Germany  
Dipl.-Ing. Gerhard Göß - Schaeffler Technologies  
Dr.-Ing. Reinhard Helfrich - Intes  
Dr.-Ing. Christian Hühne - DLR  
Dr.-Ing. Florian Jurecka - Dassault Simulia  
Prof. Dr.-Ing. Casimir Katz - Sofistik  
Dipl.-Ing. Jens Krämer - Festo  
Dr.-Ing. Ralf Meske - Federal-Mogul Nürnberg  
Dipl.-Ing. Werner Moretti - Schindler Elevator  
Dipl.-Ing. Eckardt Niederauer - Siemens PLM Software  
Dipl.-Ing. Joachim Noack - ZF Group  
Dipl.-Ing. Albrecht Pfaff - PDTEc  
Dr. rer. nat. Gerd Rapin - Volkswagen  
Dr.-Ing. Alois Starlinger - Stadler Altenrhein  
Dr. Alfred J. Svobodnik - MVOID Technologies  
Erke Wang - Cadfem  
Dr.-Ing. Don Wu - IABG  
Prof. Dr.-Ing. habil. Manfred Zehn - TU Berlin  
Dipl.-Ing. Martin Züger - pinPlus

Das CFD Advisory Board (CAB) unterstützt den NAFEMS DACH Lenkungsausschuss rund um das Thema CFD.

**Konferenzwebsite:** [www.nafems.org/dach20](http://www.nafems.org/dach20)

## Invitation and preliminary conference agenda



# 1<sup>ST</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON CAE INTEROPERABILITY 2020

**VMAP** 13-14 May 2020 | Bamberg, Germany

We invite you to attend the 1<sup>st</sup> VMAP International Conference on CAE Interoperability 2020 which will be held from 13 - 14 May 2020 in Bamberg, Germany, following directly on from the NAFEMS DACH Regional Conference at the same venue.

Interoperability is a significant topic for much of the Computer-Aided Engineering (CAE) simulation and analysis sector. Improving accuracy and speed in both product and process design is a constant requirement. A critical factor in this is enabling seamless collaboration between teams, often in different organisations, addressing different simulations and physics. This, however, presents a significant barrier.

Focusing on the many aspects, problems and possible solutions in interoperability including software implementation, simulation process integration, data transfer, standards, ontologies, and collaboration, this will be the first independent, international gathering focussing solely on interoperability.

### Conference websites:

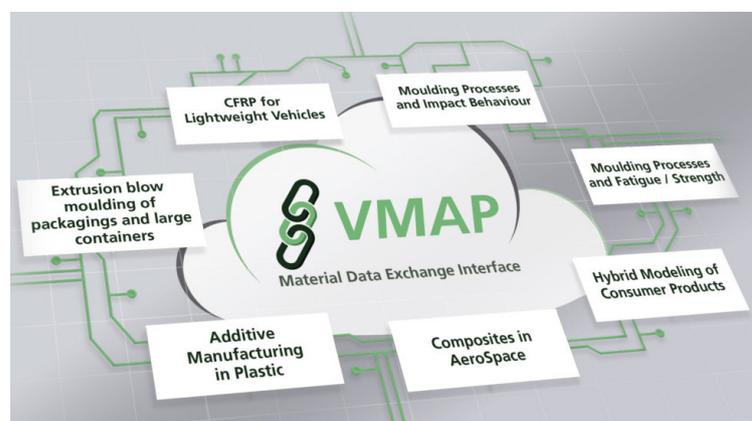
[www.vmap.eu.com/vmap-conference-2020/](http://www.vmap.eu.com/vmap-conference-2020/)

### ITEA 3 VMAP Project

VMAP is a vendor-neutral standard for CAE data storage to enhance interoperability in virtual engineering workflows.

The project is funded by national research agencies from Austria, Netherlands, Germany and Canada.

More information:  
[www.vmap.eu](http://www.vmap.eu)



Industrial Use Cases will show the need and benefits of a standardised Material Exchange Interface.

# Agenda (preliminary) – Wednesday, 13 May

Room P (Plenary room „Hegelsaal“)

Session 1 A – Keynote - VMAP / Final session NAFEMS DACH 2020 Conference

## 13:15 VMAP Enabling Interoperability in Integrated CAE Simulation Workflows K. Wolf, P. Gulati (Fraunhofer SCAI); G. Duffett (NAFEMS)

13:45 **Modern Forecasting for Weather and Climate**  
– Using and Predicting Uncertainty, Distribution and Risk  
R. Potthast (Deutscher Wetterdienst (DWD))

14:15 **Transformation of the CAE Organization at Opel**  
T. Pohl (Opel Automobile)

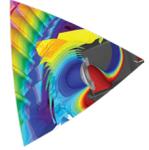
14:45 **Summary of Key Outcomes from NAFEMS DACH 2020 Conference**  
M. Zehn (TU Berlin – Vice Chairman of NAFEMS)

15:00 **Coffee break for VMAP conference participants in the „Hegelsaal“ foyer / end of NAFEMS DACH conference**

# NAFEMS20

## DACH CONFERENCE

Fachkonferenz für Modellierung, Berechnung & Simulation  
11.-13. Mai, Bamberg, Deutschland



Room A

Session 2 A

15:45 **Welcome and Introduction**  
K. Wolf, P. Gulati (Fraunhofer SCAI); G. Duffett (NAFEMS)

16:00 **Boeing's View on Digital Twin and CAE Interoperability**  
J. Dong (The Boeing Company)

16:25 **The VMAP Material Data Interface Standard**  
– A New Approach to Unify Information Transfer in Virtual Manufacturing Workflows  
P. Gulati (Fraunhofer SCAI)

16:50 **Integration of VMAP into the Open Source Library PYLIFE**  
G. Kiss, D. Kreuter, J. Müller (Robert Bosch)

17:15 Coffee Break

Room A

Session 3 A

17:45 **How to make an Interoperability Standard a Tool for Performance?**  
J. M. Crepel (Citran)

18:10 **Digital Thread to Capture and Exchange Content and Intent Across the Product Lifecycle**  
– The Key to Effective Management of Ever-Increasing Product Complexity  
M. Nicolich (ARAS)

18:35 **Implementation Insight and Demonstration of the Advantages of the VMAP Standard for CAE Engineers**  
T. Ustg, C. Liebold, A. Haufe (DYNAmore)

19:00 **Get Together with Beverages and Snacks**

21:30 End of day 1



# Agenda (preliminary) – Thursday, 14 May

## Room A

### Session 4A

- 08:20 **Generative Design for Digital Fabrication**  
G. Sundar Dutta, J. Kottmann, L. Steuernagel, D. Meiners (Technical University Clausthal)
- 08:40 **Enhancing Interoperability of BETA Products within Complex CAE Workflows by Adopting and Integrating the VMAP Standard**  
A. Fassas, G. Mokios (BETA CAE Systems)
- 09:00 **Sheet-Metal Manufacturing Simulations Coupled to Structural Simulations for an Improved Structural Static and Fatigue Response**  
N. Laue, A. Jensen (Grundfos Holding)
- 09:20 **Simulation Chain for Fatigue Strength Assessment of Short-Fiber Reinforced Plastic Parts in the Presence of Weld Lines**  
M. De Monte (Robert Bosch)

09:40 Coffee Break

### Session 5A

- 10:00 **3D Deep-Learning Based Surrogate Modeling and Optimization**  
L. Zampiere, P. Baqué, S. Baset, T. Allard, T. von Tschammer (Neutral Concept)
- 10:20 **An Integrated Design-Process Optimization Methodology – With Two Industrial Cases**  
V. Tsai, F. Buchy (SimpTec)
- 10:40 **Structural Pile-Cap and Pile Layout Parametric Modeling and Optimization Across Multiple Software Platforms**  
R. Villena (Thornton Tomasetti)
- 11:00 **DisMoSim – A Visionary Research Project for Web-Based Team-Oriented Modelling, Simulation, Optimization and Evaluation of Modular Mechanical Systems**  
W. Witteveen, H. Jetter, J. Schönböck, C. Leitner, P. Lonauer, S. Oberpeilsteiner, S. Pöchacker (University of Applied Sciences Upper Austria)
- 11:20 **Minimizing the Weld Distortion by Optimizing the Weld Sequence Using Genetic Algorithm**  
D. Jeyaganesh (UAE University)

11:40 Lunch Break

### Session 6A

- 12:40 **The eCl@ss Standard as Semantic Basis for CAE Product Data Exchange**  
C. Block (eCl@ss)
- 13:00 **Tailored Data Exchange Processes in Automotive Bodywork Engineering**  
A. Kreis, S. Stadler (Graz University of Technology); M. Hirz (Magna Steyr Fahrzeugtechnik)
- 13:20 **QUIMDI Quality in Machining Digitalization**  
H. Sehrs Schön, S. Haslinger (Fill)
- 13:40 **CAE Software Interoperability: Impact of In-Use Properties of a Welded Part on Crash Analysis**  
L. Gaston (Transvalor)

14:00 Coffee Break

## Room A

### Session 7A

- 14:20 **A Robust Approach Towards Prediction of Reflective Image Stability for a Passenger Vehicle ORVM**  
P. Mishra, S. Ganeshan (Daimler India)
- 14:40 **Automotive Mechatronics Systems Validation and Performance Evaluation using Coupled Simulation**  
S. Chikkur, P. Mishra (Daimler India)
- 15:00 **Qualitative Study for Energy Consumption of Domestic Appliances**  
A. Naiknaware, S. Sahoo, J. Chhatre, A. Shukla (Whirlpool)
- 15:20 **Conference Wrap-Up**  
K. Wolf, P. Gulati (Fraunhofer SCAI); G. Duffett (NAFEMS)
- 15:30 End of Conference

## Room B

### Session 4B

- Free-form CAD Geometry Morphing Driven by Simulation Results**  
N. Bergemann (ITI Group)
- Data Exchange and Software Interoperability Based on MOSSEC Standard. Application to a Cabin Aircraft Architecture Process**  
A. Munck, X. Dugros, D. Sauvage (Digital Product Simulation)
- A Value-Focused Approach to the Deployment of Simulation Data Management to Support Multidisciplinary Simulation and Interoperability**  
M. Norris (theSDMconsultancy); G. Neveu (DPS)
- Severstal Engineering Portal: Steel Properties for Computer-Aided Engineering**  
O. Kapaev, A. Shiryaev (Severstal)

Coffee Break

### Session 5B

- On the Way to Reliable Meshing of 10.000 Parts**  
M. Lautsch (Lautsch Finite Elemente)
- An Approach Towards Interoperability of CSM Models in the Virtual Structural Sizing and Testing of Lightweight Composite Structures**  
M. Rädcl (German Aerospace Center DLR)
- Digital Twins in Technical Product Development: Definitions and Insights from an Industrial Case Study**  
J. Trauer, S. Schweigert-Recksiek, M. Zimmermann (Technical University of Munich); C. Engel, K. Spreitzer (Viessmann)
- Enhanced Simulation of Shrinkage and Warpage of Extrusion Blow Molded Parts Using the VMAP Interface Standard**  
O. Bruch (Dr. Reinold Hagen Stiftung/ TREE Institut); P. Michels, D. Grommes (Dr. Reinold Hagen Stiftung)
- Considering the Local Anisotropy in Simulation Process Chain for Short and Long Fiber Reinforced Thermoplastics**  
P. Reithofer, B. Jilka, H. Pothukuchi (4a engineering)

Lunch Break

### Session 6B

- Interoperability in Multiphysical Development Processes**  
D. Friedemann, J. Rademann (HTW Berlin); B. Näser (BMW Group)
- Mapping of Microstructure Information to FE-Meshes by Means of Computed Tomography**  
B. Lauterbach, P. Pinter (Volume Graphics)
- FlexMM: A Standard Method for Material Descriptions in FEM**  
J. Post, (Philips Consumer Lifestyle/University of Groningen); M. Groen (Philips Consumer Lifestyle); S. Solhjoo, A. Vakis (University of Groningen)
- Interfacing Altair MotionView/MotionSolve and CM-Labs Vortex**  
C. Verheul (Sayfield), A. Free (CMLabs Simulations); R. Rampali (Altair)

Coffee Break

## Organization

### Conference venue

Welcome Kongresshotel Bamberg,  
Mußstraße 7, 96047 Bamberg, Germany  
[www.welcome-hotels.com/welcome-kongresshotel-bamberg](http://www.welcome-hotels.com/welcome-kongresshotel-bamberg)

### Hotel accommodation

Welcome Kongresshotel Bamberg  
Mußstraße 7, 96047 Bamberg, Germany  
[info.bak@welcome-hotels.com](mailto:info.bak@welcome-hotels.com)

We have blocked a number of hotel rooms at a reduced rate for conference participants. Please book your hotel room by using a hotel registration link at [www.nafems.org/events/nafems/2020/vmap/](http://www.nafems.org/events/nafems/2020/vmap/)

The hotel rooms at a reduced rate will be available until 15 April 2020. The booking code is "VMAP". Please contact the hotel directly by phone +49 951 7000-509 if you need additional nights.

### Conference language

English

### Delegate Fee

Free of charge for experienced experts, engineers, developers and practitioners in the field. This includes coffee breaks and dinner but does not include hotel accommodation. The number of participants is therefore strictly limited and available on a first-come, first-served basis, with acceptance being solely at the organiser's discretion. Participation will be limited to one person per entity; however, additional registrations can be requested from the organisers if necessary.



Welcome Kongresshotel Bamberg

### NAFEMS Membership

If you are interested in membership please contact Mr. Paul Steward ([paul.steward@nafems.org](mailto:paul.steward@nafems.org)). Please find also information at [www.nafems.org/join](http://www.nafems.org/join).

### Conference Organisation

NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH  
Griesstraße 20, 85567 Grafing b. München, Germany  
Phone: +49 176 217 984 01  
Fax: +49 3 22 11 08 99 13 41  
[info@nafems.de](mailto:info@nafems.de), [www.nafems.org](http://www.nafems.org)

### Conference website and online registration

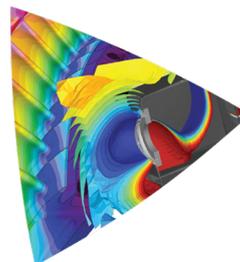
[www.vmap.eu.com/vmap-conference-2020](http://www.vmap.eu.com/vmap-conference-2020)

# NAFEMS20 DACH CONFERENCE

Fachkonferenz für Modellierung, Berechnung & Simulation  
11. - 13. Mai, Bamberg, Deutschland

NAFEMS, the independent international association for the engineering modelling, analysis and simulation community, is holding its DACH Conference 2020 from 11 - 13 May in Bamberg, Germany. This two-day conference will focus on existing best practices as well as state-of-the-art in FEA, CFD and associated technologies – ensuring delegates receive a fully comprehensive overview of the technology available to them.

The conference will increase awareness and provide a discussion forum for topics that are vital to engineering industrialists and academics, offering attendees an unrivalled combination of industrial knowledge, expertise and forward-thinking to aid their deployment of CAE over the next few years.



### Overview

- Plenary presentations: IABG, Mandler Engineering Technologys, Opel Automobile, ZF, Deutscher Wetterdienst DWD, Future Matters, Charité Berlin, Technical University Munich
- + 100 technical presentations in 34 sessions
- Short trainings and workshops: Multiphase Flow, Introduction to SPDM
- Comprehensive software exhibition
- Networking - exchange of experiences and information
- For non-NAFEMS members and free for NAFEMS members towards using seminar credits

Please find more information at  
[www.nafems.org/dach20](http://www.nafems.org/dach20)

Ankündigung



# NWC

NAFEMSWORLD CONGRESS **2021**

**JUNE 14 – 18, 2021 – SALZBURG, AUSTRIA**  
**A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION**

& International SPDM Conference



**INTERNATIONAL CONFERENCE**  
 Simulation Process & Data Management

Wir freuen uns sehr, Ihnen schon heute mitteilen zu können, dass der 13. NAFEMS World Congress & International SPDM Conference (NWC) vom 14. - 18. Juni 2021 in Salzburg, Österreich stattfinden wird.

Folgender Ablauf ist angedacht

MONTAG 14. JUNI	DIENSTAG, 15. JUNI	MITTWOCH 16. JUNI	DONNERSTAG 17. JUNI	FREITAG 18. JUNI
<p><b>CAE Messe/ Ausstellung</b> (Eintritt frei)</p> <p><b>Pre-Con- gress short trainings</b> (nur für Konferenz- teilnehmer)</p>	<p><b>Get together Ausstellungseröffnung</b></p> <p><b>NAFEMS World Congress &amp; Int. SPDM Conference</b></p> <p><b>Kongressbegleitende CAE Messe/Ausstellung</b> (nur für Konferenzteilnehmer)</p>			<p>zus. CAE Events *:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trainings</li> <li>• Projektmeetings</li> <li>• Diskussions- gruppen</li> <li>• Anwendertreffen Softwarehersteller</li> <li>• Meetings von Partner- organisationen</li> <li>• Firmenbesichtigungen</li> <li>• u.a..</li> </ul>

Sollten Sie Interesse haben, Ihren eigenen, ggf. auch zweitägigen CAE-Event (\*) – z.B. Software-Anwendertreffen, Projektmeeting, Organisations-/Vereinsmitgliedertreffen, Hands-on, Firmenvorstellung, Diskussionsrunde etc., am 18. Juni an den NAFEMS World Congress anzukoppeln, setzen Sie sich bitte zeitnah per e-mail an [roger.oswald@nafems.org](mailto:roger.oswald@nafems.org) in Verbindung. Am diesem Tag planen wir auch Firmenbesichtigungen. Die Agenda der letzten Konferenz in Quebec City, Kanada, sowie die Liste der Aussteller und Sponsoren finden Sie unter [www.nafems.org/congress](http://www.nafems.org/congress).

Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie zum Gelingen der Veranstaltung mit einem Vortrag und/oder mit der Teilnahme an der Ausstellung bzw. am Sponsoring beitragen würden. Die Deadline zur Abgabe von Abstracts ist für Anfang November 2020 geplant.

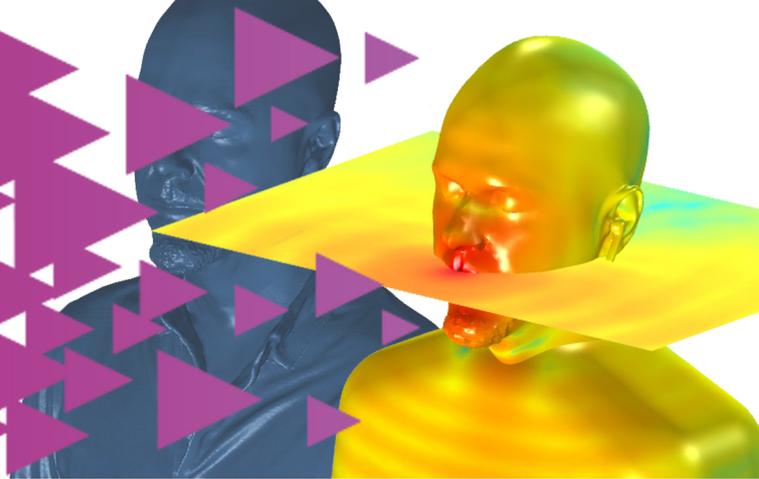
Weitere Informationen finden Sie zeitnah unter [www.nafems.org/congress](http://www.nafems.org/congress)

**NAFEMS World Kongresse:**

2021	Salzburg, Österreich
2019	Quebec City, Kanada
2017	Stockholm, Schweden
2015	San Diego, USA
2013	Salzburg, Österreich
2011	Boston, USA
2009	Kreta, Griechenland
2007	Vancouver, Kanada
2005	Malta
2003	Orlando, USA
2001	Como, Italy
1999	Rhode Island, USA
1997	Stuttgart, Deutschland

# NAFEMS European Conference Multiphysics Simulation 2020

20 - 21 October 2020  
Munich, Germany



**NAFEMS**

THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR THE ENGINEERING  
MODELLING, ANALYSIS AND SIMULATION COMMUNITY

*Save the Date!*

**NAFEMS European Conference**

## Multiphysics Simulation 2020

**20 - 21 October 2020, Munich, Germany**

Technology is changing faster than ever. Global megatrends – such as digitalization, resource scarcity, and the need for renewable energy – drive the demand for innovation and efficient product development. In today's world of almost limitless computing power, numerical simulations need to be both accessible and accurate in order to enable innovation.

The need for more realistic numerical simulations in research and development is continuously growing. Software vendors are responding to this demand by facilitating the coupling of various solvers, making multiphysics easier to set up and use. The main challenge of understanding the different physical effects and to produce reliable simulation results still remains.

NAFEMS is pleased to pre-announce the fifth European Conference devoted to multiphysics simulations. 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 include keynotes, exhibits and breakout sessions.

Your NAFEMS team

The conference will be organized by the NAFEMS Multiphysics Working Group

The NAFEMS Multiphysics Working Group (MPWG) has been set up to promote and support the use of Multiphysics simulations in industry. Please contact the chairman, Alfred Svobodnik, at [mpwg@nafems.org](mailto:mpwg@nafems.org) if you are interested joining the working group.

[www.nafems.org/mp2020](http://www.nafems.org/mp2020)

## Dates

20 October 2020	planned	10:00 - 18:00
21 October 2020	planned	08:30- 16:00

## Venue

Hilton Munich City  
Rosenheimer Strasse 15  
81667 Munich, Germany  
<http://munich-city.hilton.com/>

## Exhibition / Sponsoring

Please find further information on the conference website.

## Conference language

English

## Conference Fee

Non NAFEMS members: 800 Euro / person\*  
NAFEMS member: Free towards using four NAFEMS seminar credits or 550 Euro/person\* if no NAFEMS seminar credits are available  
Includes proceedings, lunches, coffee breaks and a certificate.

## Organisation

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

## About NAFEMS

NAFEMS is the International Association of the Engineering Modelling, Analysis and Simulation Community. Our principal aims are to:

- Improve the professional status of all persons engaged in the use of engineering simulation
- Establish best practice in engineering simulation
- Provide a focal point for the dissemination and exchange of information and knowledge relating to engineering simulation
- Promote collaboration and communication
- Act as an advocate for the deployment of simulation
- Continuously improve the education and training in the use of simulation techniques
- Be recognised as a valued independent authority that operates with neutrality and integrity

We focus on the practical application of numerical engineering simulation techniques such the Finite Element Method for Structural Analysis, Computational Fluid Dynamics, and Multibody Simulation. In addition to end users from all industry sectors, our stakeholders include technology providers, researchers and academics.

## Conference website

[www.nafems.org/mp2020](http://www.nafems.org/mp2020)

\* All prices plus VAT.

---

Please complete and return by fax to + 49 3 22 11 08 99 13 41 or e-mail to [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de)

- I herewith register for the NAFEMS European Conference: Multiphysics Simulation, 20 - 21 October 2020, Munich, Germany
  - I am NAFEMS member – free attendance using 4 seminar credits
  - I am NAFEMS member – no more seminar credits available: 550 Euro/person\*
  - I am not NAFEMS member: 800 Euro/person\*
  - I will submit an abstract which I will send by latest 25 May 2020 to [roger.oswald@nafems.org](mailto:roger.oswald@nafems.org).
- Please send an agenda when published.
- Please send exhibitor information.
- Please send information about sponsoring opportunities.

## Sender

Company / University \_\_\_\_\_

Name \_\_\_\_\_

Address \_\_\_\_\_

Phone \_\_\_\_\_

E-Mail \_\_\_\_\_

Date / Signature: \_\_\_\_\_

Unterschrift \_\_\_\_\_

By registering, you allow us to use and process your information in accordance with our privacy policy: [www.nafems.org/about/privacy/](http://www.nafems.org/about/privacy/)

**Online-Anmeldung: [www.nafems.org/mp2020](http://www.nafems.org/mp2020) (starting in March)**

# NAFEMS20

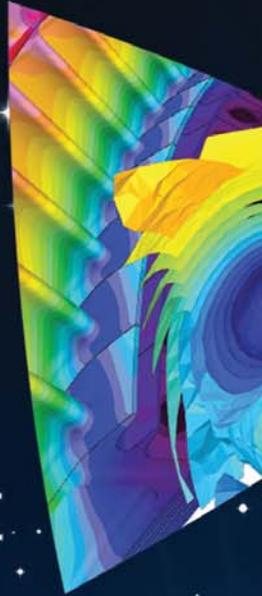
## Regional Conferences

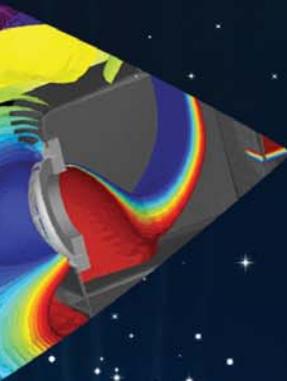
[nafems.org/2020](http://nafems.org/2020)

2020 sees the NAFEMS Regional Conference program take place around the globe. This year, we will be hosting nine regional events, providing the engineering modelling, analysis & simulation community with an unrivalled opportunity to present, attend and exhibit at the only independent conferences of their kind which are dedicated solely to the analysis and simulation world.

The conferences will take place in Germany, Sweden, UK, USA, India, Singapore, Czech Republic, Spain & France, giving you access to a unique program of presentations, workshops and training courses, with an industry-leading line-up of keynote and invited speakers at each event.

Take a look at the programme at [nafems.org/2020](http://nafems.org/2020), explore the opportunities to submit an abstract, sponsor the events or attend as a delegate, and get involved with your community.





**DACH** May 11-13  
Bamberg, Germany

**Nordic** May 26-27  
Göteborg, Sweden

**UK** June 9-10  
Milton Keynes, UK

**CAASE20** June 16-18  
Indianapolis, USA

**India** July 24-25  
Bengaluru, Karnataka

**ASEAN** July 27  
Singapore

**Eastern Europe** September 23-24  
Prague, Czech Republic

**Iberia** November 5  
Barcelona, Spain

**France** November 18-19  
Paris, France

Abstracteinreichungen  
bitte bis 29. Mai 2020  
an [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de)

Call for Papers für das NAFEMS CFD-Seminar

## CFD-Methoden in der Entwicklung alternativer Antriebssysteme

Spezielle neue Herausforderungen bei der Berechnung von E-Motoren,  
Batterien, Brennstoffzellen, Leistungselektronik uvm.

12. - 13. Oktober 2020, München-Ottobrunn (IABG)

### Aufruf zur Vortragseinreichung

Alternative Antriebskonzepte gewinnen heute zunehmend an Bedeutung. Die Abkehr von fossilen Brennstoffen ist ein Trend, der weit über die Automobilbranche hinaus geht. Die Auslegung von Batterien, Brennstoffzellen aber auch Elektromotoren und kompakter Leistungselektronik sind Themenfelder, die für viele der betroffenen Anbieter neu sind. Die geringere Erfahrung und der hohe Innovationsdruck machen einen verstärkten Einsatz von Simulation hier unverzichtbar.

CFD-Simulation deckt heute weit mehr als reine Strömungen ab und kann bei vielen dieser Anforderungen helfen: Von der Thermalauslegung der immer kompakter werdenden Komponenten bis zur Simulation mehrphasiger oder chemischer Vorgänge in Batterien oder Brennstoffzellen ist CFD bei der virtuellen Produktauslegung integraler Bestandteil. Auch die dabei auftretende Herausforderung unterschiedlicher Größen- und Zeitskalen kann heute durch gekoppelte Simulationen bewältigt werden.

Mangels Erfahrung sind Aspekte wie Lebensdauer oder sicherheitsrelevante Anforderungen ohne Simulation kaum einschätzbar und stellen bei innovativen Produkten ein hohes Risiko dar, dass durch Simulation kosteneffizient begrenzt werden kann.

Wir freuen uns über Ihre Beiträge zu diesem spannenden Thema. Dabei sind Beiträge zu Anwendungen von CFD für unterschiedliche Antriebskonzepte, Modellierung unterschiedlicher physikalischer Phänomene (Strömung, magnetische, thermische, elektrochemische Effekte, usw.) als auch gekoppelter Fragestellungen (auf unterschiedlichen Skalen) willkommen.

Wir freuen uns über Ihre Abstracteinreichung bis **spätestens 29. Mai 2020** an [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de).

Ihre NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH

Technische Leitung:

NAFEMS DACH CFD Advisory Board - CAB:

Arzu Avci (Festo)

Werner Dirschmid (Consultant)

Albrecht Gill (Ansys Germany)

Torsten Grahs (Volkswagen)

Ulrich Heck (DHCAE)

Burkhard Hupertz (Ford)

Jens Iseler (Dassault Systèmes)

Uwe Janoske (Universität Wuppertal)

Volker Kassera (CFD Consultants)

Gangolf Kohlen (DHBW Mosbach)

Boris Marovic (Mentor Graphics)

Stefan Rudolph (Cascade)

Christoph Starke (Siemens PLM Software)

Rainer Stauch (Hochschule Esslingen)

Markus Stephan (DHBW Mosbach)

Arthur Stück (DLR Inst. für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung)

[www.nafems.org/cfd20](http://www.nafems.org/cfd20)

## Termin

12. Oktober 2020	voraussichtlich	13:00 - 19:00 Uhr
13. Oktober 2020	voraussichtlich	08:30- 16:00 Uhr

## Einreichung von Vortragsvorschlägen

Bitte senden Sie einen Titel und kurzen Abstract bis **29. Mai 2020** per E-Mail an [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de).

## Vortrag/Manuskript/Extended Abstract

Der mündliche Vortrag (25 min.) sollte in deutscher Sprache gehalten, das Manuskript/Extended Abstract (4-10 Seiten) in englischer Sprache verfasst werden.

Abgabetermin: 18. September 2020

## Publikation

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

## Veranstaltungsort

IABG Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH  
Einsteinstraße 20  
85521 München-Ottobrunn

## Fachausstellung und Sponsoring

Fläche: 600 Euro – bitte fordern Sie nähere Informationen an.

## Tagungssprache

Deutsch (in Ausnahmen in englischer Sprache)

## Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder: Euro 620 / Person  
NAFEMS-Mitglieder: frei <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 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 420,- / Person. Vortragende entrichten die reguläre Teilnahmegebühr.

## Seminarorganisation

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

## Webseite

[www.nafems.org/cfd20](http://www.nafems.org/cfd20)

Alle Preise jeweils zuzügl. ges. MwSt.

---

Bitte ausfüllen und per fax an + 49 3 22 11 08 99 13 41 oder senden an [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de)

Ich melde einen Vortrag an und sende einen Titel und kurzen Abstract per E-Mail an [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de).

Bei Vortragsannahme gilt dies als Anmeldung.

Ich melde mich verbindlich als Teilnehmer an. Ich bin:

- NAFEMS-Mitglied frei – drei „seminar credits“
- NAFEMS-Mitglied ohne freien Seminarplatz – Euro 420\*
- kein NAFEMS-Mitglied – Euro 620\*

Sie erhalten eine Anmeldebestätigung.

Bitte senden Sie mir Aussteller- und Sponsoringinformationen.

Ich bitte um weitere Informationen zu NAFEMS:

- Mitgliedschaft
- Professional Simulation Engineer Certification (PSE)
- World Congress 2021, Salzburg, Österreich
- Fachpublikationen / Literatur
- Seminare
- Kurse / e-learning
- Magazin „Benchmark“
- Deutschsprachiges Online-Magazin (kostenlos)

## Absender

Firma/Universtät \_\_\_\_\_

Name \_\_\_\_\_

Straße, Nr. \_\_\_\_\_

PLZ, Ort \_\_\_\_\_

Land \_\_\_\_\_

Telefon \_\_\_\_\_

E-Mail \_\_\_\_\_

Datum \_\_\_\_\_

Unterschrift \_\_\_\_\_

Declaration of consent to the use of personal data: The NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH collects and process your address data for the organization of the event, for own promotional purposes and allows prestigious companies and institutions (sponsors) to send you information. You may, at any time, revoke your consent by contacting us via phone (+49 176 217 984 01) or in writing to NAFEMS Germany, Austria, Switzerland GmbH, Griesstraße 20, 85567 Grafing b. München, Germany, Fax +49 3 22 11 08 99 13 41, E-Mail: [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de).

Abstracteinreichungen  
bitte bis 29. Mai 2020  
an [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de)

Call for Papers für das NAFEMS Seminar

## Integration von Simulation und Test in der Produktentwicklung

14. - 15. Oktober 2020, München-Ottobrunn (IABG)

### Aufruf zur Vortragseinreichung

„Wird die Simulation künftig den Test vollständig ersetzen?“ war eine Frage, die sich nach dem immer erfolgreicherem Einsatz und der rasanten Entwicklung numerischer Simulationsmethoden stellte. Heute wissen wir, dass sich beide Seiten sinnvoll in ihrer Kombination gegenseitig qualifizieren und ergänzen. Allerdings gibt es auch den immer wiederkehrenden Trend in Fach- und Managementkreisen und in der akademischen Ausbildung der Ingenieure, durch Simulationsmethoden teure Labore für experimentelle Untersuchungen zu reduzieren oder ganz einzusparen.

Beide Welten, Simulation und Test, sind eine Symbiose eingegangen, die immer neue Möglichkeiten erschließt, aber auch neue Anforderungen an die Systementwicklung, den Anwender und die Ausbildung stellt. Das Seminar soll einen Überblick geben zum Stand der Technik des Zusammenwirkens von Test und Simulation in der Produktentwicklung, das weit umfangreicher ist als die experimentelle Bestimmung von Parametern für die Simulation oder die reine Validierung der Ergebnisse.

Die folgenden Fragestellungen:

- Wie qualifizieren und ergänzen sich beide Seiten gegenseitig?
- Wie und womit sollen der Informationsfluss und der Datenfluss auf verschiedenen Ebenen und die Dokumentation erfolgen?
- Wie sehen produktspezifische Workflows aus (welche Elemente haben diese), die Simulation und physische Tests auf verschiedenen Produktebenen verbinden?
- Welche Rolle spielen in diesem Zusammenhang Testmanagement-Systeme?
- Wie müssen Datenablagen mit den Workflows verzahnt sein, damit Anforderungen und Tasks in Test und Simulation abgesichert und für alle Rollen im Unternehmen verknüpft und transparent sind?
- Wie gestaltet sich das Zusammenspiel zwischen Simulation und Versuch bei der Absicherung und dem Zuverlässigkeitsnachweis mechatronischer Systeme?
- Können Prozess-Reifgradmessung, wie z. B. Automotive SPICE, sinnvolle Aussagen zum richtigen Zusammenspiel zwischen Simulation und Versuch liefern?

... sollen Denkanstöße geben, aber keinesfalls inhaltlich begrenzen; Fragen, deren Diskussion und Beantwortung uns näher an die optimale Einbindung von Simulation und Versuch in den Produktentwicklungsprozess bringen soll. Dazu erwarten wir Beiträge aus der industriellen Praxis und der Forschung sowie der Ausbildung und Qualifizierung der Ingenieure. Für das Seminar sind auch Beiträge erwünscht, die zeigen, wie Regelwerke, Standards, etc. das Zusammenwirken von Simulation und Test unterstützen. Ebenso von Interesse ist es, wie der Prozess in PDLM-Systemen organisiert bzw. unterstützt wird. Natürlich sind Best-Practice-Beispiele aus dem Zusammenwirken von Test und Simulation sehr erwünscht. Ein nicht unbedeutender Teilaspekt ist, wie weit Fragen der Produkthaftung eine wesentliche Rolle spielen. Gerne würden wir im Seminar auch diskutieren, welche Anforderungen sich für die akademische Ausbildung unseres Ingenieur Nachwuchses aus der Symbiose von Test und Simulation ergeben.

Diese hier nur angedeutete Vielfalt, der zu bedenkenden Probleme und neuen Möglichkeiten macht es dem Anwender oft schwer, die richtigen Entscheidungen zu treffen. Fehlentscheidungen können aber zu erheblichen Zeitverlusten und kostenintensiven Nachbesserungen führen. Mit dem Seminar will NAFEMS dazu beitragen, sicherer und effizienter mit den vorhandenen Werkzeugen umzugehen und auf Trends und wichtige Entwicklungen eingehen. Ziel ist es, den aktuellen Stand der Technik und Trends zu diskutieren und einen offenen Dialog von Anwendern, Forschern und Lösungsanbietern zu fördern. Abgerundet wird die Veranstaltung durch eine Ausstellung von Anbietern auf dem Gebiet von Simulation und Test, die einen Überblick über verfügbare kommerzielle Lösungen geben.

Wir freuen uns über Ihre Abstracteinreichung bis **spätestens 29. Mai 2020** an [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de).

Ihre NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH

Technische Leitung:

Prof. Dr.-Ing. Manfred Zehn  
TU Berlin  
Vice Chairman of NAFEMS

Dipl.-Ing. Gerhard Göß  
Schaeffler Technologies AG & Co. KG  
Mitglied SC NAFEMS DACH

Dipl.-Ing. Jens Krämer  
Festo AG & Co. KG  
Mitglied SC NAFEMS DACH

## Termin

14. Oktober 2020	voraussichtlich	13:00 - 19:00 Uhr
15. Oktober 2020	voraussichtlich	08:30- 16:00 Uhr

## Einreichung von Vortragsvorschlägen

Bitte senden Sie einen Titel und kurzen Abstract bis **29. Mai 2020** per E-Mail an [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de).

## Vortrag/Manuskript/Extended Abstract

Der mündliche Vortrag (25 min.) sollte in deutscher Sprache gehalten, das Manuskript/Extended Abstract (4-10 Seiten) in englischer Sprache verfasst werden.

Abgabetermin: 18. September 2020

## Publikation

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

## Veranstaltungsort

IABG Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH  
Einsteinstraße 20  
85521 München-Ottobrunn

## Fachausstellung und Sponsoring

Fläche: 600 Euro – bitte fordern Sie nähere Informationen an.

## Tagungssprache

Deutsch (in Ausnahmen in englischer Sprache)

## Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder: Euro 620 / Person  
NAFEMS-Mitglieder: frei <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 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 420,- / Person. Vortragende entrichten die reguläre Teilnahmegebühr.

## Seminarorganisation

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

## Webseite

[www.nafems.org/simtest20](http://www.nafems.org/simtest20)

Alle Preise jeweils zuzügl. ges. MwSt.

---

Bitte ausfüllen und per fax an + 49 3 22 11 08 99 13 41 oder senden an [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de)

Ich melde einen Vortrag an und sende einen Titel und kurzen Abstract per E-Mail an [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de).

Bei Vortragsannahme gilt dies als Anmeldung.

Ich melde mich verbindlich als Teilnehmer an. Ich bin:

- NAFEMS-Mitglied frei – drei „seminar credits“
- NAFEMS-Mitglied ohne freien Seminarplatz – Euro 420\*
- kein NAFEMS-Mitglied – Euro 620\*

Sie erhalten eine Anmeldebestätigung.

Bitte senden Sie mir Aussteller- und Sponsoringinformationen.

Ich bitte um weitere Informationen zu NAFEMS:

- Mitgliedschaft
- Professional Simulation Engineer Certification (PSE)
- World Congress 2021, Salzburg, Österreich
- Fachpublikationen / Literatur
- Seminare
- Kurse / e-learning
- Magazin „Benchmark“
- Deutschsprachiges Online-Magazin (kostenlos)

## Absender

Firma/Universtät \_\_\_\_\_

Name \_\_\_\_\_

Straße, Nr. \_\_\_\_\_

PLZ, Ort \_\_\_\_\_

Land \_\_\_\_\_

Telefon \_\_\_\_\_

E-Mail \_\_\_\_\_

Datum \_\_\_\_\_

Unterschrift \_\_\_\_\_

Declaration of consent to the use of personal data: The NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH collects and process your address data for the organization of the event, for own promotional purposes and allows prestigious companies and institutions (sponsors) to send you information. You may, at any time, revoke your consent by contacting us via phone (+49 176 217 984 01) or in writing to NAFEMS Germany, Austria, Switzerland GmbH, Griesstraße 20, 85567 Grafing b. München, Germany, Fax +49 3 22 11 08 99 13 41, E-Mail: [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de).

## NAFEMS Schulung

*Dieser Kurs wurde bereits über 40 Mal in ganz Europa gehalten!*

## Master Course V&V: Verification and Validation in Engineering Simulation – Building Simulation Credibility in an Industrial Context

2. - 3. März 2020 in München und 12. - 13. Oktober in Wiesbaden / auch als Inhouse-Schulung buchbar

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

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

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

### The Course

#### Participants of this master class will:

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

### Who Should Attend?

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

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

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

### Program

#### Introduction

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

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

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

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

**V&V and Simulation Management**

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

**Realistic Simulation**

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

**V&V Fundamentals and Standards**

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

**Verification**

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

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

**Uncertainty Quantification**

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

**V&V Implementation Strategies**

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

**Course Language**

Englisch

**Informationen und Anmeldung**

2.-3. März in München: [www.nafems.org/vandv20-1](http://www.nafems.org/vandv20-1)  
 12.-13. Oktober in Wiesbaden: [www.nafems.org/vandv20-2](http://www.nafems.org/vandv20-2)

**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..*

## NAFEMS Schulung

# Festigkeitsnachweis mit der FKM-Richtlinie

28. - 29. April 2020 in Wiesbaden / auch als Inhouse-Schulung buchbar

Die FKM-Richtlinie „Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile“, ist ein vom Forschungskuratorium Maschinenbau (FKM) entwickelter Standard für einen statischen und zyklischen Festigkeitsnachweis. Durch die breite Anwendbarkeit hat der Festigkeitsnachweis eine hohe Verbreitung im Maschinenbau und anderen Branchen gefunden. In diesem Seminar lernen Sie den richtlinienkonformen Festigkeitsnachweis mit örtlichen Spannungen sowohl für nichtgeschweißte als auch für geschweißte Bauteile kennen. Neben der Theorie des Nachweises steht dabei auch die praktische Anwendung der Richtlinie auf Basis einer FEM-Simulation im Vordergrund, bei der sich für den Anwender Fragestellungen außerhalb der eigentlichen Richtlinie ergeben. Diese werden im Seminar anhand praxisnaher Beispiele besprochen. Um die verschiedenen Aspekte im Rahmen des Seminars umfassend diskutieren zu können, wird die Berechnung der Beispiele vom Referenten programmgestützt durchgeführt.

Im Seminar wird die Vorgehensweise des rechnerischen Festigkeitsnachweises entsprechend der FKM-Richtlinie für statische und zyklische Belastungen vermittelt, sowohl für nichtgeschweißte als auch geschweißte Bauteile. Sie lernen wie der Nachweis im Zusammenspiel mit einer FEM-Analyse umzusetzen ist und welche Fallstricke zu beachten sind.

### Gliederung

- Grundlegendes zur FKM-Richtlinie
- > Was leistet ein Festigkeitsnachweis?
- > Historie, Quellen und rechtlicher Status der Richtlinie
- > Anwendungsbereich und Umfang

### Informationen und Anmeldung

[www.nafems.org/fkm20-1](http://www.nafems.org/fkm20-1)

Theorie zum statischen Festigkeitsnachweis nichtgeschweißter Bauteile

- > Gliederung des Nachweises
- > Spannungsarten
- > Werkstoffkennwerte
- > Konstruktionsfaktor
- > Sicherheitskonzept
- > Nachweis

Beispiel „Getriebegehäuse“ zum statischen Nachweis

- > Auswahl der Nachweispunkte für manuelle Berechnung
  - > Programmgestützte Berechnung
- Vertiefung zum statischen Nachweis - Plastische Formzahl
- > Ertragbare Dehnung
  - > Plastische Traglast
  - > Beispiele zur Berechnung der plastischen Formzahl

Theorie zum Ermüdungsfestigkeitsnachweis nichtgeschweißter Bauteile

- > Überblick zu Nachweisbereichen (Zeit-, Dauer-, Betriebsfestigkeit)
- > Gliederung des Nachweises
- > Konstruktionsfaktor
- > Mittelspannungseinfluss
- > Sicherheitskonzept

Beispielrechnung „Getriebegehäuse“ zum Ermüdungsfestigkeitsnachweis

- > Auswahl der Nachweispunkte für manuelle Berechnung
  - > Ermittlung des Spannungsgradienten
  - > Programmgestützte Berechnung
- Vertiefung zum Ermüdungsfestigkeitsnachweis
- > Stützwirkungskonzept
  - > Details zum Mittelspannungsfaktor
  - > Betriebsfestigkeitsfaktor
  - > Beispiel zum Betriebsfestigkeitsfaktor

Einführung in die Spannungskonzepte für die Schweißnahtbewertung

- > Nennspannungskonzept
- > Strukturspannungskonzept
- > Kerbspannungskonzept

- > Modellierung für Kerbspannungskonzept

Theorie Statischer Nachweis für geschweißte Bauteile

- > Spannungskomponenten
- > Werkstoffkennwerte
- > Temperatureinfluss
- > Konstruktionskennwerte
- > Sicherheiten
- > Nachweis

Beispiele zum statischen Nachweis geschweißter Bauteile

- > Strukturspannungsnachweis
- > Vergleich Strukturspannungs- und Kerbspannungsnachweis

Theorie Ermüdungsnachweis für geschweißte Bauteile

- > Maßgebende Spannungskomponenten
  - > Werkstoffkennwerte (Temperaturkennwerte)
  - > Konstruktionskennwerte
  - > FAT-Klasse
  - > Mittelspannungseinfluss
  - > Betriebsfestigkeitskonzept
- Beispiele zum Ermüdungsnachweis geschweißter Bauteile
- > Strukturspannungsnachweis
  - > Vergleich Strukturspannungs- und Kerbspannungsnachweis

### Referent

*Dipl.-Ing. (FH) Tim Kirchhoff, ist seit 2007 beim Ingenieurbüro Huß & Feickert im Bereich CAE-Simulation und Softwareentwicklung tätig. Als Teamleiter der Softwareentwicklung ist er verantwortlich für die Entwicklung von Programmen zum statischen und zyklischen Nachweis aufbauend auf FE-Analysen. Herr Kirchhoff arbeitet seit über 10 Jahren aktiv im Fachkreis Bauteilfestigkeit des VDMA zur Weiterentwicklung der FKM-Richtlinie mit. Zudem vertritt er das Ingenieurbüro Huß & Feickert als KMU im Redaktionskreis der FKM-Richtlinie und im Industriekreis des Fachkreises.*

## NAFEMS Schulung

# Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis

Auf Anfrage / auch als Inhouse-Schulung buchbar

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

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

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

### Who Should Attend

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

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

### Technical Content

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

cedures, 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 international 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

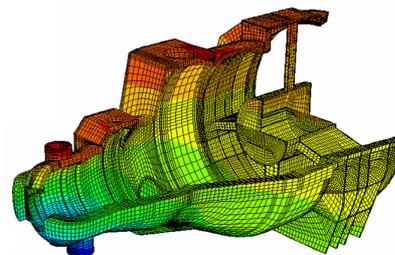
English

### 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.

## NAFEMS Schulung

# Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation



Auf Anfrage / auch als Inhouse-Schulung buchbar

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

### Inhalte

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

### Referent



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

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

### Kurssprache

Deutsch

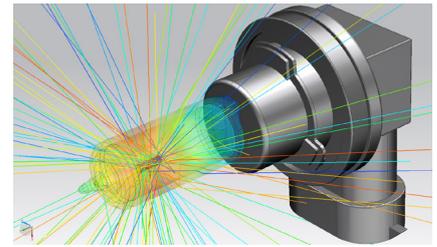
### Inhouse-Kurs

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

**NAFEMS Schulung**

**Strömungssimulation (CFD):  
Theorie und Anwendung**

Auf Anfrage / auch als Inhouse-Schulung buchbar



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

**Inhalte**

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

Problemen / Fehlerquellen beim Lösungsprozess

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

**Referent**



*Prof. Dr.-Ing. Ganguolf Kohnen hat über 25 Jahre Erfahrung mit CAE-Anwendungen mit Schwerpunkten auf dem Gebiet*

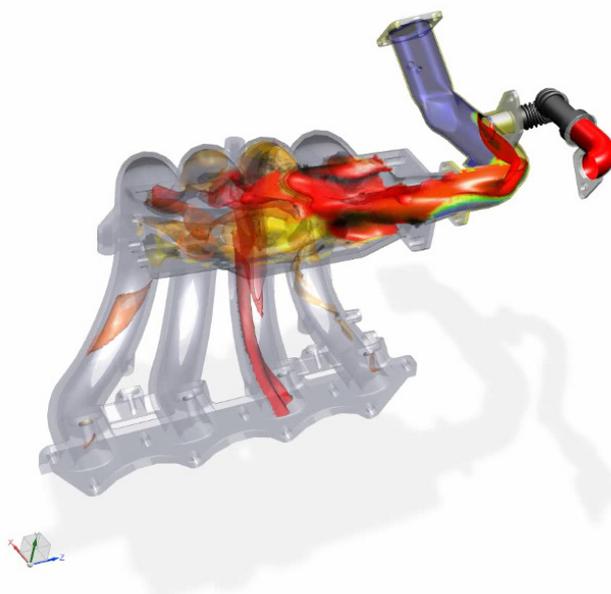
*der Strömungsberechnung CFD in Lehre, Forschung und Industrie. Herr Kohnen leitet den Bereich Maschinenbau und Virtual Engineering an der Hochschule Baden-Württemberg Mosbach.*

**Kurssprache**

Englisch / Deutsch, falls nur deutschsprachige Teilnehmer.

**Inhouse-Kurs**

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



# invitation<sup>2</sup>TENDER



## How to Analyse and Process CFD output

The NAFEMS Computational Fluid Dynamics Working Group (CFDWG), wishes to commission a new How-to guide with the suggested title "How to Analyse and Process CFD output".

The book will focus on the analysis and processing of CFD output. Its aim is to equip analysts with the understanding and techniques necessary to obtain key project data from CFD output. Part of this is to understand that the post processing starts very early in the project and that the post processing requirements may influence the grouping of surfaces or location of interior surfaces and model setup.

### Scope

The book should go further than merely illustrating how to post-process and visualise Computational Fluid Dynamics results: it should also show how to check the output of CFD software to ensure that the results are credible and correctly reflect the intended model set-up. This will include checks for physical realism; global conservation of conserved quantities; etc. The role of visualisation and the numerical processing of CFD output should be highlighted in such checks. The benefits and limitations of cross-checks on the credibility and consistency of Computational Fluid Dynamics results through simple calculations and comparisons to empirical data should also be covered.

Whilst the main focus of the book is on the analysis and processing of CFD output, brief coverage should also be given to checks that the flow solver has converged, that sufficient time-steps have been simulated in an unsteady flow and that the CFD output correctly reflects the intended model set-up, through checks on self-consistency, scrutiny of boundary conditions, etc.

The content should focus on the output of RANS models of turbulent flow. Both steady and unsteady flows should be addressed. The book should also mention the differing requirements imposed by LES and DES.

### Cost

The total cost is not expected to exceed €6000 and the document should be completed within 12 months from NAFEMS approval.

Proposals should be sent to [cfid@nafems.org](mailto:cfid@nafems.org).

Extended details available at [nafe.ms/CFDoutput](http://nafe.ms/CFDoutput)

Deadline for proposals: 1st of April 2020.

## How to Create Geometry and Mesh for CFD

The NAFEMS Computational Fluid Dynamics Working Group (CFDWG), wishes to commission a new document with the suggested title "How to Create Geometry and Mesh for CFD".

The book will focus on the definition of geometry and the generation of meshes for computational fluid dynamics. The content should concentrate on the use of RANS models of turbulent flow, but with some attention given also to the differing requirements for laminar and non-Newtonian flow, and the emerging techniques of LES and DES.

### Scope

The first part of the book should aim to give the reader an engineering-level understanding of the function of the mesh in CFD. The need for geometrical fidelity and the requirements relating to the extent of geometrical domain should be explained with reference to the basics of fluid mechanics. The role played by the mesh in the solution of the equations of fluid flow should then be described in some detail, but referring to mathematical equations only where necessary to avoid ambiguity or verbosity.

Different approaches to mesh design and construction should be explained with reference to: structure, organisation and topology; element/cell geometry; cell resolution and quality; solver type. The volume to surface approach should be included together with the surface to volume approach for 3D domains. As well as covering conventional fully connected structured, unstructured and hybrid meshes, the use of generalised (non-conformal) interfaces should be addressed, and possibly immersed boundary, cut cell and other flexible techniques, such as distributed porosity methods.

Unsteady analysis involving relative motion of complex bodies requires special consideration. Methodologies to handle such case should be introduced such as mesh distortion, mesh removal and addition, moving grids and overset grids. The reader should be made aware that meshless methods are also possible.

The second part of the book should turn attention to the processes of geometry and mesh building and checking. The processes should be described in general terms, indicating the types of software tool commonly employed, but without reference to particular packages or products.

### Cost

The total cost is not expected to exceed €6000 and the document should be completed within 12 months from NAFEMS approval.

Proposals should be sent to [cfid@nafems.org](mailto:cfid@nafems.org)

Extended details available at [nafe.ms/mesh](http://nafe.ms/mesh)

Deadline for proposals: 1st of April 2020.

### Potential authors should submit the following:

- A brief description of the main topics to be covered
- Chapter and section headings with an approximate number of pages per chapter
- Timescale for completing the book
- Cost
- CVs of the authors (Maximum two-pages per author)
- The NAFEMS Professional Simulation Engineer Competencies that the publication is anticipated to address. Contact the NAFEMS Technical Officer for further details.

For full details visit [nafe.ms/tenders](http://nafe.ms/tenders)

## Quantifying the Benefits of Engineering Simulation

The NAFEMS Business Impact Working Group (BIWG) wishes to commission a new document and associated video interviews with the suggested title "Quantifying the Benefits of Engineering Simulation".

The deliverables are expected to include a document describing the various approaches that can be used to justify the greater use of simulation, including examples of how best to present the justification. It is envisaged that this document will be published on the NAFEMS web site and, potentially, as a stand-alone, printed document.

A document with various justifications for adopting simulation identified by members of the BIWG is available for potential authors to view. These justifications should form the core of the document. Members of the BIWG will support the development of the content and it is recommended that calls are set up with various members of the BIWG, particularly the Chairman, to get more information and a greater understanding before writing the document.

### Format

It is suggested that the document is broken down into the various different justifications with a description of each and an example of how to structure an ROI calculation. The document is anticipated to be about 40 A5 sized pages.

### Video Interviews

To complement the document, a series of video interviews is envisaged with managers of engineering simulation teams in large companies that have experience justifying the use of engineering simulation within their companies.

Each interview will feature one member of the BIWG who will discuss one of the different justifications and comment about how they have justified the use of simulation in their companies.

For each interview, the author should contact the BIWG member and agree a "script" for the interview that is consistent with the content and examples in the document. This script can also be approved by the interviewee's company if required.

The interviews themselves will be recorded by NAFEMS.

### Intended Readership

- Senior practitioners of engineering simulation (engineers and scientists) and managers of engineering simulation teams that want to educate senior executives on the benefits of engineering simulation and justify the expanded use of engineering simulation in their companies.
- Engineers and engineering managers that want to introduce engineering simulation into their companies and need advice on how best to do so.

### Guidance for Proposals

Each proposal should consist of:

- The proposed structure of the document with the titles of the sections to be developed
- Work plan including milestones and interim deliveries for early review
- Cost
- The authors' credentials, curriculum vitae, etc. Proposals from single authors and consortia will be considered.

Proposals should be sent to [business-impact@nafems.org](mailto:business-impact@nafems.org)

Extended details available at [nafe.ms/BIWG-Quantify](http://nafe.ms/BIWG-Quantify)

## A Layperson's Guide to Finite Element Analysis of Structures

The NAFEMS Education and Training Working Group (ETWG) wishes to commission new items of guidance titled "A Layperson's Guide to Finite Element Analysis of Structures". The guide will be aimed at non-engineers, and delivered in two formats:

- Book format: See the guidance below for additional details.
- Video script format: Author are requested to write a text script to accompany the book. The script may be developed in future into a short video.

### Content

The headings below are suggestions for the structure and contents to be covered. Potential authors may suggest a different structure if they wish.

What is FEA?

- Why bother with FEA?
- What is the geometry of the structure?
- What happens on the surface?
- Why do we need a computer?
- Is it accurate?
- Can it lead to wrong answers?
- Case studies

And Finally ...

- Concluding remarks on the future of FEA, engineering simulation, virtual reality, etc.

### Cost

The total cost is not expected to exceed £5000 and the document should be completed within 18 months from NAFEMS approval.

Proposals should be sent to [etwg@nafems.org](mailto:etwg@nafems.org)

Extended details available at [nafe.ms/laypersons](http://nafe.ms/laypersons)

Deadline for proposals: 1st of April 2020.

[nafe.ms/tenders](http://nafe.ms/tenders)

For full details visit [nafe.ms/tenders](http://nafe.ms/tenders)

Internationales NAFEMS Magazin

## Benchmark Magazin, Ausgabe Januar 2020

Die internationale NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“ erschien in der Druckauflage zuletzt im Januar 2020. Download für Mitglieder und Abonnenten sowie Informationen zum Abonnement finden Sie unter:

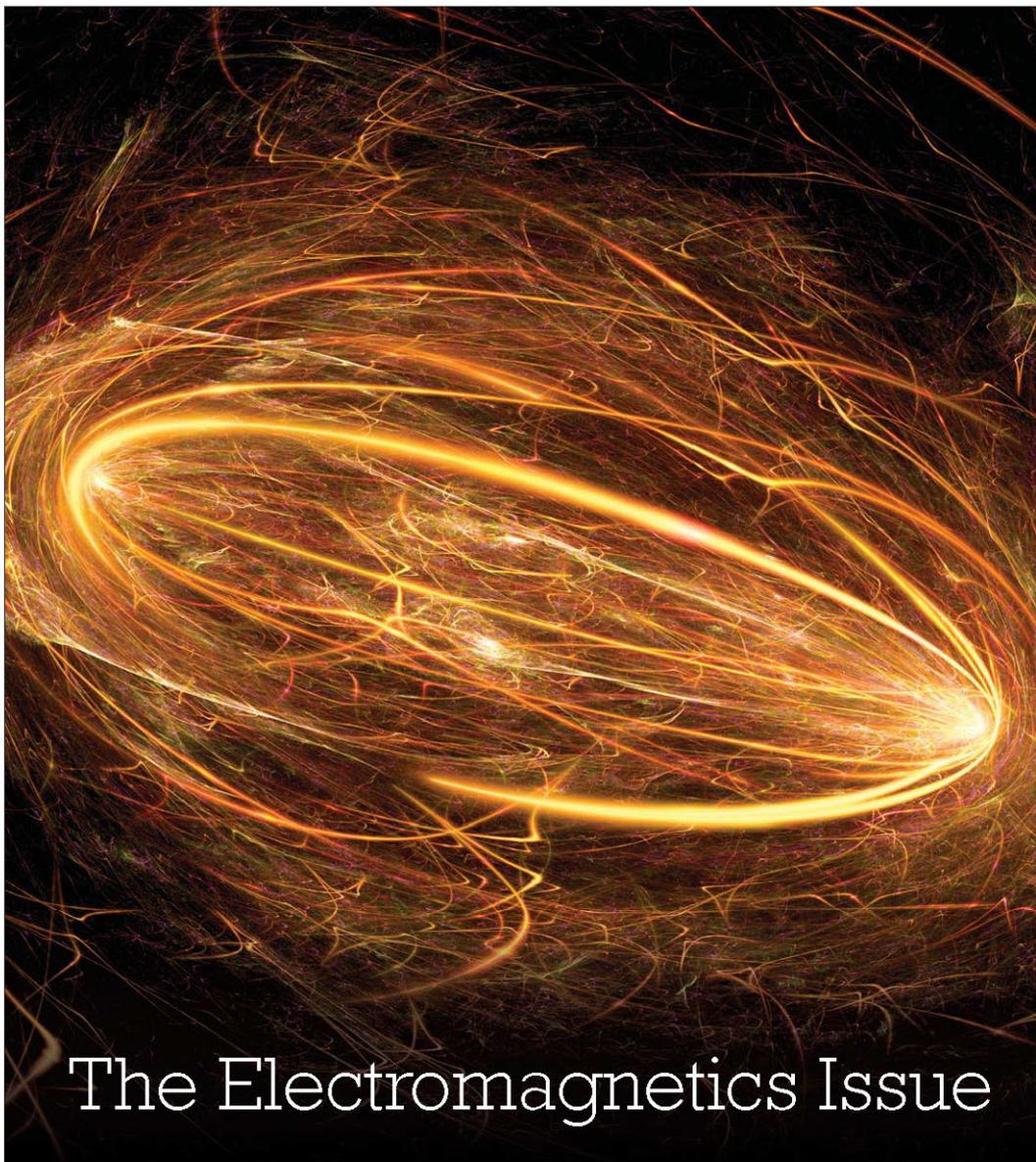
[www.nafems.org/publications/benchmark](http://www.nafems.org/publications/benchmark)

# BENCH MARK

### January 2020 issue . . .

- Protection Against Lightning Impacts in Aircraft: The Role of Electromagnetic Simulation
- Let's do Better Than EDA
- Validation of Electromagnetics Simulations for Vehicle-to-Everything Applications using Measured Results
- Stochastic Challenge Problems - A Summary
- Designer Oriented Software - Is it Accurate?
- How Analysis Engineers Spend their Time
- Design of 5G mm-Wave Compatible Covers for High-End Mobile Phones
- Computational Electromagnetics for Nuclear Fusion Engineering and Design
- Insight from a NAFEMS Technical Fellow

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



The Electromagnetics Issue



# VMAP

**1ST INTERNATIONAL  
CONFERENCE ON CAE  
INTEROPERABILITY 2020**  
VMAP 13-14 May 2020 | Bamberg, Germany

[www.vmap.eu.com/vmap-conference-2020](http://www.vmap.eu.com/vmap-conference-2020)

## Interoperability of Engineering Data within Integrated CAE Workflows

- a defined international standard
- integrated import/export and translation tools
- supported by leading software vendors

The VMAP standard and import/export interface tools will provide users with a vendor-neutral methodology of transferring material and engineering data between different CAE software along the whole simulation process chain.

The VMAP project will be demonstrated by different manufacturing use cases:

- extrusion blow moulding (Rikutec)
- composite light weight vehicles (AUDI)
- injection moulding (Bosch)
- hybrid modelling of consumer products (Philips)
- composite component in aerospace (Convergent)
- additive manufacturing (Bosch)

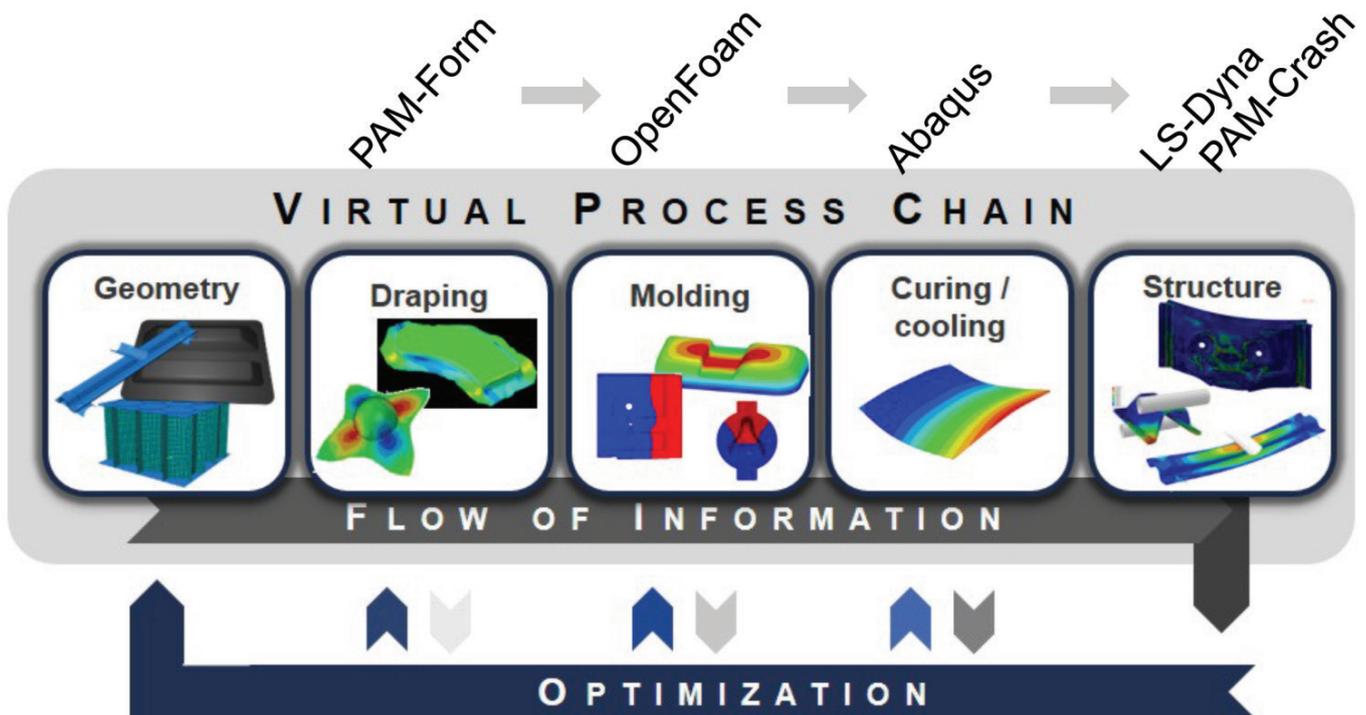
VMAP has already been directly integrated into CAE tools like MSC-Marc, MSC-Nastran, CadMould, PAM-RTM, PAM-Crash, Open-FOAM, COMPRO and RAVEN as well as independent/neutral translation tools like envyo that supports the LS-DYNA suite, Digimat, FiberMap, MpCCI and the ANSA pre-processor.

*The VMAP project objectives are endorsed by Audi, Bosch, EDAG, Rikutec and Philips.*



## Use Case Example – Composite Lightweight Vehicle (AUDI)

Codes integrated in this workflow are: PAM-Form (draping), OpenFOAM (moulding), Abaqus (curing and cooling) and LS-Dyna resp. PAM-Crash (structural analysis).



Kärger, L.; Bernath, A.; Fritz, F.; Galkin, S.; Magagnato, D.; Oeckerath, A.; Schön, A.; Henning, F.  
Development and validation of a CAE chain for unidirectional fibre reinforced composite components.  
Composite Structures 132: 350–358, 2015. dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.05.047

## VMAP Standards Community

The VMAP Standards Community has been established to drive the standards and software development effort during and after the initial project. We have held 2 web-meetings already but on 23 November 2019 we will hold a face-to-face meeting in Frankfurt, Germany.

We are open to all experts and entities who require successful VMAP standards and tools so please contact us without delay [vmap.eu.com/community](http://vmap.eu.com/community)

## Complex workflow?

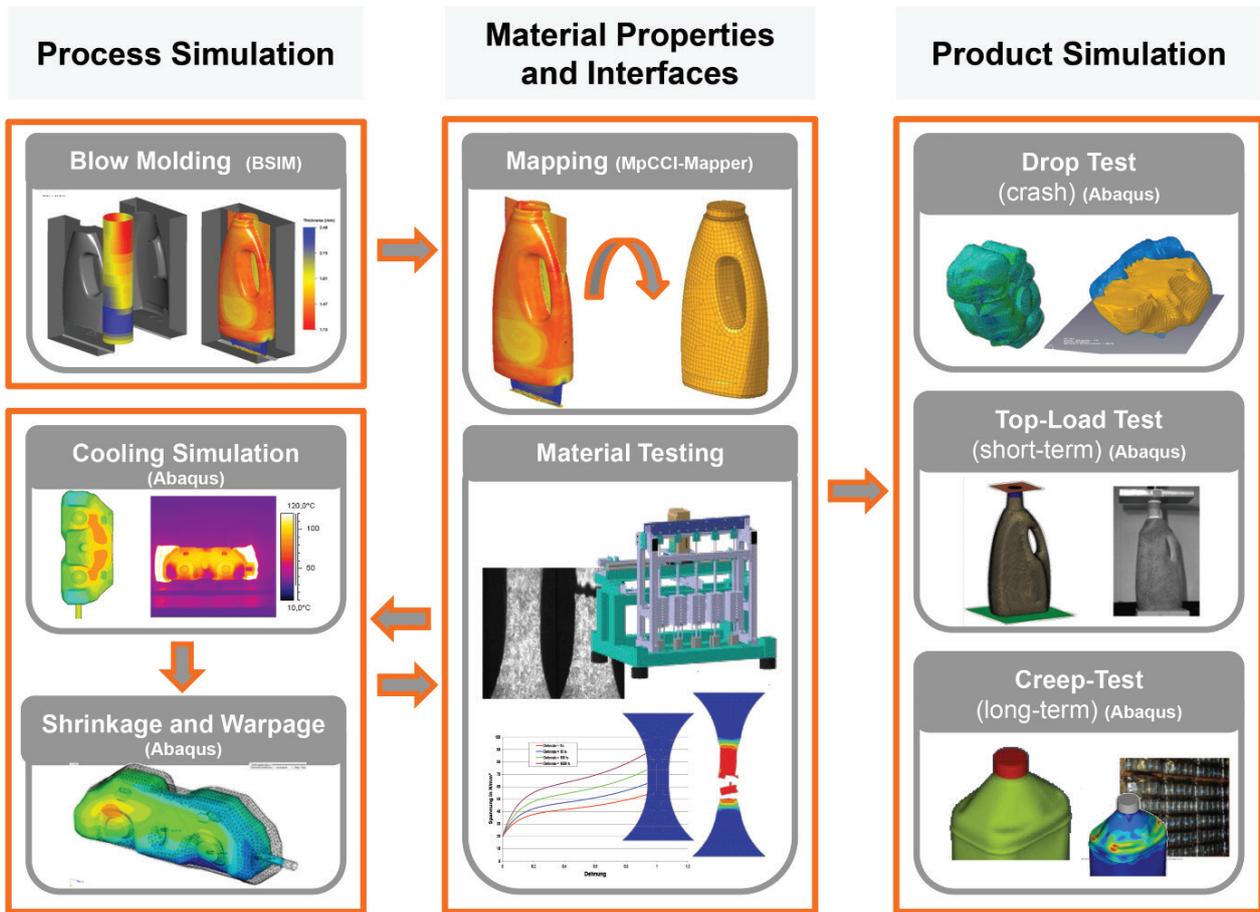
## Difficult material data transfer?

The more simulation processes we look at the better the VMAP Standard will be in a shorter period. Please contact us if you would like us to examine your process and consider it in our work.

[info@vmap.eu.com](mailto:info@vmap.eu.com) | [www.vmap.eu.com](http://www.vmap.eu.com)

## Use Case Example – Extrusion Blow Moulding (Rikutec)

Codes integrated in this workflow are: B-Sim (blow moulding), Abaqus (cooling & shrinkage), Abaqus resp. RADIOSS (structural performance and crash).



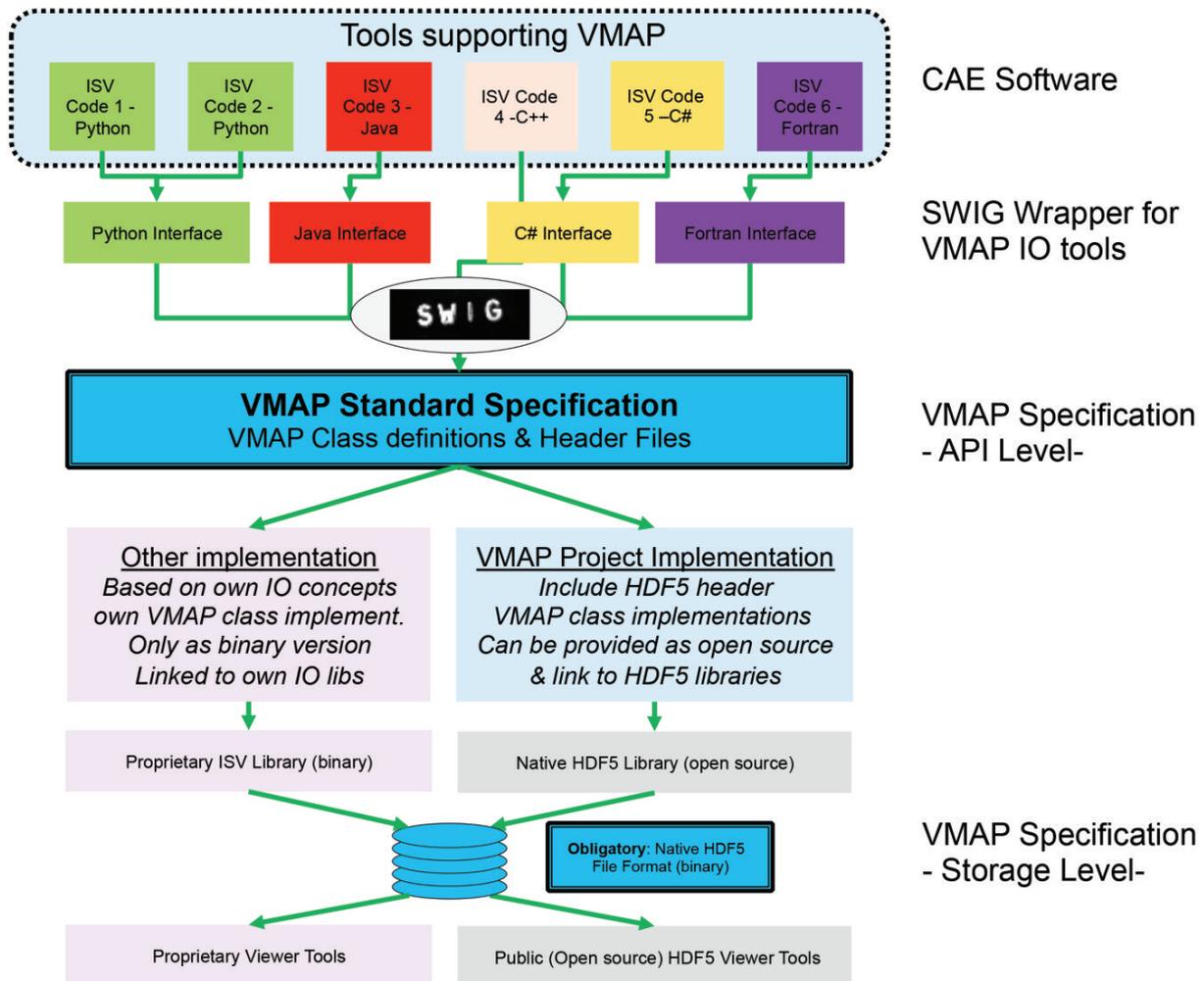
## Help for Software Developers

To enable quick and efficient incorporation of the VMAP standards into any CAE software VMAP will provide a set of Input/Output software tools to write/read directly with the VMAP standard database implemented on top of [HDF5 hdfgroup.org/solutions/hdf5/](https://www.hdfgroup.org/solutions/hdf5/)

These tools will be placed in a **SWIG wrapper swig.org** that will enable CAE software written in any programming language to directly call the VMAP IO tools.

Alternatively, Independent Software Vendors may create their own IO routines for direct and efficient reading/writing to the HDF5 VMAP standard database.

Included in the tools provided for developers will be a series of small test cases that can be used to check the functionality of any implementation.



The project “VMAP: A new Interface Standard for Integrated Virtual Material Modelling in Manufacturing Industry” is organised via the [ITEA programme itea3.org/project/vmap.html](http://itea3.org/project/vmap.html) - project period is from October 2017 to September 2020.

- The Austrian part of the joint project is funded by the Austrian Research Promotion Agency (FFG - Project 864080).
- The Belgian part of the joint project is funded by the companies partaking.
- The Canadian part of the joint project is funded by the Scientific Research and Development Tax Credit Program (SR&ED)
- The German part of the joint project is funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF – Project 01|S17025 A – K).
- The Netherlands part of the joint project is funded by the Netherlands Enterprise Agency.
- The Swiss part of the joint project is funded by the companies partaking.

ITEA is the EUREKA Cluster programme supporting innovative, industry-driven, pre-competitive R&D projects in the area of Software-intensive Systems & Services (SiSS). ITEA stimulates projects in an open community of large industry, SMEs, universities, research institutes and user organisations.

ITEA is a EUREKA Cluster, the community is founded in Europe based on the EUREKA principles and is open to participants worldwide. [itea3.org](http://itea3.org)

**ALTAIR**

**Altair übernimmt newFasant**

Altair, ein weltweit agierendes Technologieunternehmen, das Software- und Cloud-Lösungen für die Bereiche Produktentwicklung, High-Performance Computing (HPC) und Data Analytics anbietet, gab die Übernahme von newFasant, einem Anbieter von branchenführender Technologie im Bereich hochfrequenter Elektromagnetik, bekannt. Die Lösungen von newFasant adressieren eine große Bandbreite elektromagnetischer Aufgabenstellungen, wie zum Beispiel in den Bereichen Antennendesign und -platzierung, Radarquerschnittsanalyse (RCS), V2V/ADAS sowie Infrarot/Thermale Signaturen.

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

**ANSYS / CADFEM**

**Neues Ansys Release 2020 R1 verfügbar**

Ansys hat am 28. Januar 2020 das neue Release Ansys 2020 R1 frei gegeben. Es enthält wie gewohnt eine Vielzahl an Neuerungen und Weiterentwicklungen über das gesamte Einsatzspektrum der Ansys Programmfamilie hinweg. Besonderen Wert hat Ansys beim neuen Release auf Performance und Kollaboration gelegt. Einige technische Highlights:

Für eine einheitliche Materialzuweisung sorgt mit Ansys Granta MI Pro eine neue Lösung, welche die Schranken zwischen CAD und CAE auflöst.

Innerhalb der bestehenden Ansys-Produkte liegt der Fokus auf der Verzahnung der Module: So können jetzt in SpaceClaim Netze für Fluent erstellt werden. Reduced Order Models (ROM) aus Fluent oder Mechanical sind ab sofort auch im AnsysTwin Builder aufrufbar – dank des neuen ROM Viewers.

Aus Ansys Maxwell ist die Übergabe volumetrischer Kräfte an Mechanical möglich. Zudem wurde das Materialangebot in Maxwell um Eisenverlustkoeffizienten erweitert. Sehr effizient ist, dass Analysen in

Discovery Live direkt an Mechanical zur Verifizierung übertragen werden können.

Im Bereich der Performance ist bei mechanischen Berechnungen mit modaler Superposition keine Expansion der Ergebnisse mehr notwendig. CFD-Anwender profitieren von großen Geschwindigkeitsvorteilen beim Overset Mesh und bei der Erstellung von Poly-Hexcore-Netzen auf mehreren Cores.

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

**BETA CAE Systems**

**Neue Versionen**

Beta CAE Systems veröffentlichte kürzlich die neue Version 20.1.0 der ANSA/Epilysis/META software suite.

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

**CPU24/7**

**CPU 24/7 ist Reseller von NICE DCV im DACH-Gebiet**

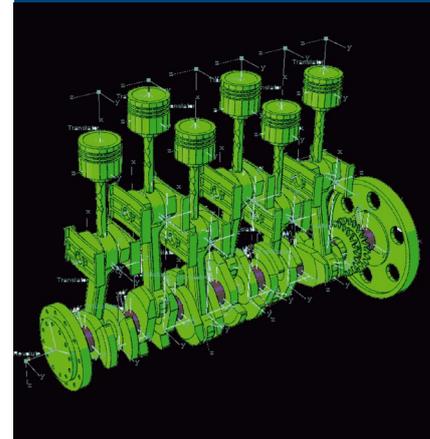
CPU 24/7 GmbH, Deutschlands Nr. 1 Engineering Cloud Provider mit Hauptsitz in Potsdam, verstärkt sein Partnernetzwerk. Der Software Hersteller NI SP und CPU 24/7 unterzeichneten einen Kooperationsvertrag, der CPU 24/7 zum offiziellen Reseller der renommierten 3D-Remote Visualisierungssoftware NICE DCV in der DACH-Region macht. CPU 24/7 kann damit ab sofort Lizenzen für NICE DCV und NICE EnginFrame resellen und entsprechende Support-Services wie Beratung, Installation und Betrieb sowie Fehlerbehebung für Kunden erbringen.

So bekräftigt Dr. Karsten Gaier, Geschäftsführer bei NI SP: «Wir freuen uns sehr über die Partnerschaft mit CPU 24/7, die mit jahrzehntelanger Erfahrung im HPC-Umfeld und der Fähigkeit unsere Kunden bei der Nutzung von NICE Remote 3D- und HPC-Technologien in der Cloud zu unterstützen, ein optimaler Partner ist.

Die Partnerschaft als Reseller von NICE DCV und NICE EnginFrame ist



**DAMIT ES RUND LÄUFT...**



„Digital zur effizienten Produktentwicklung im Mittelstand“

**SIMULATIONSERGEBNISSE AUF EINER PLATTFORM – AKTUELL & SCHNELL FÜR ALLE PROZESSBETEILIGTEN!**

**eSeminar Serie**  
 live und on-demand  
[3ds.com/de/veranstaltungen/alle-eseminare/](https://3ds.com/de/veranstaltungen/alle-eseminare/)



**3DEXPERIENCE**

eine strategische Ergänzung unserer Kompetenzen im HPC und CAE-Bereich. Sie gibt uns die Möglichkeit, Unternehmen sehr viel nahtloser mit professionellen, best-in-class Remote Visualisierungslösungen und Architekturen mit 3D-Beschleunigung für state-of-art HPC-Umgebungen zu bedienen.», so Daniel Gülzow, Head of Presales bei CPU 24/7.

Daniel Gülzow unterstreicht weiter: « Letztendlich verfolgen die HPC-Cloud- und Remote Visualisierungslösungen der CPU 24/7 dasselbe Ziel: dem Endnutzer eine unkomplizierte, sichere, wirtschaftliche und verlustfreie Lösung für die Berechnung und Auswertung von CAE-Daten zu geben. Dabei sehen wir uns stets in der Verpflichtung das Beste aus den HPC-Clustern herauszuholen, so auch bei der Remote Visualisierung, damit sich der Endnutzer wieder voll und ganz auf seine Kernaufgaben konzentrieren kann.

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

## CARHS

### 25 Jahre Wissen für die Fahrzeugentwicklung von morgen

Das am 14. Dezember 1994 gegründete Unternehmen feiert sein 25 jähriges Bestehen. Das Familienunternehmen in zweiter Generation blickt damit auf eine ereignisvolle und erfolgreiche Firmengeschichte zurück.

Die carhs GmbH wurde von Rainer Hoffmann im Jahr 1994 unter dem damaligen Namen EASi Engineering GmbH als Ingenieurbüro für Crash-Simulation gegründet. Schon damals war die Intention die gleiche: Sicherere Autos entwickeln, um Menschenleben zu retten. Kunden waren damals vor allem Dienstleister und OEMs in Deutschland. Im Gründungsjahr starben knapp 10.000 Menschen auf deutschen Straßen. Diese Zahl ist bis heute auf ca. 3.000 Unfalltote pro Jahr gesunken.

Mit zunehmenden Anforderungen im Bereich der Fahrzeugsicherheit war die Herausforderung an die Ingenieure zunehmend größer geworden und der Bedarf an Wei-

terbildung entstanden. Allerdings gab es in diesem jungen Gebiet kein passendes Seminarangebot. Aus diesem Bedarf heraus entstand das TrainingCenter, das inzwischen unter carhs.training weltweit bekannt ist. Mit Hilfe von Experten mit langjähriger Erfahrung aus Industrie, Forschung und Regierung entwickelte man ein Trainingsprogramm um den Automobilingenieur für die Fahrzeugsicherheitsentwicklung mit den passenden Werkzeugen und Strategien zu wappnen. Bis heute haben mehr als 30.000 Teilnehmer an über 2.000 Seminaren und Konferenzen von carhs teilgenommen. Heute bietet carhs.training weltweit Seminare, Konferenzen und aktuelle Nachschlagewerke zu allen Aspekten der Fahrzeugsicherheit für Experten aus der Automobilindustrie an. Der beliebte SafetyCompanion, das weltweit umfassendste Handbuch zu allen internationalen Anforderungen, liegt mittlerweile jährlich auf den Schreibtischen von über 20.000 Ingenieuren. In den vergangenen 25 Jahren hat carhs Ingenieure nationaler und internationaler Automobilhersteller und Zulieferer geschult, um das Auto von heute so sicher zu machen wie nie zuvor.

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

## COMSOL

### Comsol veröffentlicht Multiphysics Simulation 2019

Comsol gab die Veröffentlichung von Multiphysics Simulation 2019 bekannt, einem technischen Magazin über Comsol Multiphysics Anwender aus der Industrie, Forschung und Lehre und deren praxisorientierter und innovativer Einsatz der Multiphysik-Simulation.

Die 2019er-Ausgabe des jährlich erscheinenden Magazins enthält 10 neue Artikel mit Beiträgen von Volkswagen, ITW, Harman, ABB, RadiaSoft, Pinggao Group, Signal Microwave, University of Campinas und der Virginia Commonwealth University. Diese Artikel zeigen, wie die Multiphysik-Simulation für Designverbesserungen, Produkt-

und Prozess-optimierung sowie in der Ausbildung und Lehre genutzt werden kann.

Zentrales Thema dieser Ausgabe ist der Einsatz von Simulations-Applications. Zum Beispiel stellt Harman International innerhalb seiner Organisation Applications für das Design von Audio Entertainment Systemen in Luxusfahrzeugen zur Verfügung, um den Entwicklungsprozess zu verbessern. Volkswagen hingegen beschleunigt den Designprozess für Elektromotoren, indem Simulations-Applications erstellt und verbreitet werden, welche die Festigkeit des Rotorblechs evaluieren. ITW hat eine HF Application für Design und Entwicklung eines „Smarten Ofens“ entwickelt, der Festkörper-Konvektionserhitzung verwendet. Die Application macht es dem Team möglich, einfach verschiedene Designparameter, wie etwa Frequenz und Phasenverlauf, zu testen. RadiaSoft LLC hat eine Simulations-Application erstellt, die es Teammitgliedern aus verschiedenen Fachbereichen ermöglicht, gemeinsam design-optimierte Synchrotron-Unterdruckkammern für Teilchenbeschleuniger zu entwickeln. Ein weiterer Bericht behandelt im Unterricht eines VCU-Professors entwickelte Applications, die es Studierenden der Elektrotechnik ermöglichen, elektromagnetische Konzepte interaktiv zu visualisieren. Multiphysics Simulation ist als Online-Magazin verfügbar und kann unter <https://www.comsol.de/offers/multiphysics-simulation-2019> online angesehen oder im PDF-Format heruntergeladen werden.

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

## DYNAMORE

### DYNAMore Corporation in den USA auf Erfolgskurs

Die DYNAMore Corporation mit Sitz in Dublin, Ohio entwickelt sich gut zweieinhalb Jahre nach Gründung sehr positiv. Die Kunden in den Vereinigten Staaten nehmen das DYNAMore Serviceangebot mit High-End Engineering Lösungen

rund um LS-DYNA sehr gut an und das Unternehmen erwartet auch im Jahr 2020 weiteres Wachstum.

„Dass wir uns im Jahr 2017 zur Gründung der DYNAmore Corporation am Standort Ohio entschieden haben, war eindeutig der richtige Schritt. Das Feedback unserer Kunden vor Ort und die stabile Auftragslage lassen uns positiv in die Zukunft blicken“, erklärt Alexander Gromer, Vice President Engineering der DYNAmore Corporation.

„Der Schlüssel zu unserem Erfolg ist unsere einzigartige Expertise in der Fahrzeugcrash Simulation mit LS-DYNA kombiniert mit der Nähe zum Kunden“, so Dr. Nils Karajan, Managing Engineering der DYNAmore Corporation. „Dieses Erfolgsmodell wollen wir auf Kunden anderer Branchen übertragen und so das komplette Leistungsspektrum von LS-DYNA bestmöglich ausschöpfen.“

Neben der Akquise neuer LS-DYNA Kunden erwartet das Unternehmen mit dem neu gestarteten Vertrieb der Software Femzip-L weiteres Wachstum. „Für Femzip-L konnten wir bereits den ersten Großkunden gewinnen. Dies zeigt, dass hier Bedarf herrscht und wir das Geschäft in naher Zukunft weiter ausbauen können“, gibt sich Gromer optimistisch. Logische Folge der positiven Unternehmensentwicklung ist die Neueinstellung von zwei qualifizierten Ingenieuren. Damit bekennt sich die DYNAmore Corporation zum Standort in Dublin, Ohio und stellt sich für die steigende Nachfrage und eine erfolgreiche Zukunft auf.

Bei Fragen zu den Dienstleistungen und Produkten der DYNAmore Corporation haben, stehen die Kollegen vor Ort gerne zur Verfügung.

DYNAmore Corporation, 565 Metro Place South, Suite 300 Dublin, Ohio, 43017, United States of America, Phone: +1 614 696 3303, E-Mail: info@dynamore.com

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

## INSTAL

### Instal-News

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

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

## MSC SOFTWARE

### Neue Auszeichnung würdigt Innovationen von MSC Nastran-Anwendern

MSC Software, Anbieter von CAE-Simulationssoftware und Dienstleistungen, hat den MSC Nastran Excellence Award ins Leben gerufen, mit dem Engineering- und Design-Innovationen von Anwendern aus aller Welt ausgezeichnet werden sollen.

Die Simulationssoftware MSC Nastran ist in nahezu jeder Industrie zu Hause – von der Luft- und Raumfahrt bis hin zur Medizintechnik. MSC Nastran ist eine weitverbreitete, bewährte und präzise FEA (Finite-Elemente-Analyse)-Plattform für die Strukturberechnung. Seit den Apollo-Missionen der NASA ist MSC Nastran Standard in der Luft- und Raumfahrtindustrie – und wird in allen Branchen zur Optimierung von Performance, Lebensdauer und Komfort von Produkten eingesetzt. Die Auszeichnung würdigt die Arbeit der MSC Nastran-Anwender in der FEA-Simulation, mit der sie Flugzeuge, Züge, Autos, Haushaltsgeräte, Schiffe, Raumfahrzeuge und vieles mehr optimieren. Die interessantesten und vielfältigsten Projekte mit MSC Nastran werden geehrt, und den Ingenieuren, Entwicklern und Herstellern, die das volle Potential der Software nutzen, wird weltweite Anerkennung zuteil. Der Preis ist dotiert mit bis zu 1000 \$ in Amazon-Gutscheinen oder einer Spende an eine wohltätige Organisation ihrer Wahl.

Keith Hanna, Vice President Marketing bei MSC Software, sagt über die neue Auszeichnung: „MSC Nastran hat über die letzten 50 Jahre einige der größten Produktinnovationen

der modernen Welt befeuert, von den grundlegenden Erkundungen des Weltraums durch die NASA bis hin zu unserer heutigen Technologie für Mobilität, Ingenieurwesen und Medizintechnik, indem die Software Designkonzepte optimiert, noch bevor die ersten Prototypen gefertigt werden. Wir bei MSC möchten hervorragende Leistungen im FEA-Bereich würdigen und die unglaublichen Innovationen beleuchten, die heutzutage entstehen, und damit die vielen talentierten Anwender in aller Welt, die mit MSC Nastran die Zukunft gestalten.“

Die eingereichten Vorschläge müssen während der 12 Monate vor der Nominierung öffentlich verfügbar gemacht werden. Dazu können Konferenzvorträge, Artikel in Zeitschriften und Magazinen oder andere in öffentlich verfügbarer Form dokumentierte Originalarbeiten – z.B. aus der Forschung - gehören. Die Projekte sollten einen quantifizierbaren Nutzen aufweisen, beispielsweise Verbesserungen der Qualität oder Produktivität, Nachhaltigkeit oder Kostenreduktion. Sie müssen an die Grenzen von MSC Nastran und darüber hinaus gehen – auch multiphysikalische Anwendungen sind willkommen. Einen vollständigen Überblick über die Kriterien und Fristen finden Sie auf der MSC Nastran Excellence Award Startseite: [www.mscsoftware.com/msc-nastran-excellence-award-2020](http://www.mscsoftware.com/msc-nastran-excellence-award-2020)

### Neuer Schritt in der Entwicklung sicherer autonomer Fahrzeuge

PKW können bereits Verkehrszeichen lesen oder vorbeifahrenden Verkehr wahrnehmen. Doch diese „Level 2+“-Funktionalitäten sind angewiesen auf verbesserte Sensorfusion – die Verknüpfung von Daten verschiedener Sensoren, so dass die abgeleiteten Informationen wesentlich zuverlässiger sind und die elektronischen Systeme sichere Entscheidungen treffen können. Dabei verlangen die zukünftigen Algorithmen für das autonome Fahren realistische Testdaten, um die Modelle weiterzuentwickeln und zu trainieren. Das heute veröffentlichte Adams in VTD beschleunigt die Ent-

wicklung, indem es simuliert, wie ein fahrendes Auto einschließlich dynamischer Effekte und seine Sensoren sich in komplexen Verkehrsumgebungen verhalten werden.

Die Software Adams für die Mehrkörpersimulation ist seit langem bei Fahrzeugherstellern im Einsatz, um die Fahrdynamik mit virtuellen Straßentests zu prüfen und das Fahrverhalten besser zu verstehen. Mittels einer offenen Schnittstelle ist es nun möglich, diese Fahrzeuge in einer simulierten Straßenumgebung - in der Virtual Test Drive (VTD) Plattform – zu „fahren“.

Fahrerassistenzsysteme müssen die Menschen schützen, auch unter extremen Umständen wenn das Fahrzeug an seine physikalischen Grenzen kommt. Adams in VTD simuliert die Bewegungen des Fahrzeugs basierend auf den Straßenverhältnissen (z.B. Gefälle, Reibung) und ermittelt so das Fahrverhalten (z.B. ob das Auto rutscht oder ausbricht) und die optimale Aktion (z.B. ob die Spur gewechselt oder wie stark gebremst werden soll).

Luca Castignani, Automobilstrategie bei MSC Software, sagt dazu: „Die Simulation muss nicht auf Meter, sondern auf Zentimeter genau sein, denn unter komplizierten Bedingungen macht schon ein Sekundenbruchteil den Unterschied. Mit Adams in VTD haben wir Softwareentwicklung und Fahrzeugtechnik zusammengebracht, so dass die Industrie von der Frage „was sollte das Auto tun?“ übergehen kann zu „kommt das Auto mit diesem Befehl zurecht?“ So entsteht die nächste Generation von sicheren Fahrzeugen.“

Fahrerassistenzsysteme verlassen sich auf genaue Informationen von Kameras, Radar/LiDAR oder Satellitennavigation, um ihre sicherheitskritischen Entscheidungen zu treffen. Jetzt kann identifiziert werden, wo das Fahrverhalten auf der Straße zu „blinden Flecken“ bei den Sensoren führt und welchen Sensoren man wann vertrauen kann. Während ein Auto beispielsweise über eine Bodenwelle fährt, soll es

einen Fußgänger zuverlässig erkennen, auch wenn die Kamera diesem aufgrund von Schwingungen nicht lückenlos folgen kann.

Die Fahrzeughersteller können die Funktion der Sensoren bei Schwingungen oder Orientierungswechseln evaluieren, um die Sensorfusion kostengünstig mit virtuellen Straßentests voranzutreiben. Automobilstrategie Luca Castignani erklärt: „Die Wahrnehmung einer aufs LKW-Fahrerhaus montierten Kamera kann sich relativ zu Radarmessungen während eines Bremsmanövers deutlich ändern – wie nah ist dann das voranfahrende Auto? Wir ermöglichen den Entwicklern von Fahrerassistenzsystemen, robuste Testfälle wie diesen zu erarbeiten, um fundierte Entscheidungen zu treffen und eine präzise Sensorfusion zu erreichen.“

Adams-Modelle können jetzt direkt in VTD 2019.1 verwendet werden, mittels Functional Mock-up Interface (FMI). Die Konfiguration ist flexibel und kann alle möglichen Fahrzeuge abbilden, einschließlich LKW mit mehr als 4 Rädern und Anhänger. VTD gewährleistet die Synchronizität für eine robuste Simulation mit Adams in Echtzeit oder noch schneller. Firmen können nun „ihre eigene künstliche Intelligenz einbringen“ – über eine offene Schnittstelle können sie ihren Driver-in-the-Loop in VTD einbauen und dann ihre Algorithmen für das autonome Fahren testen, in einer genaueren Simulation mit reichhaltigeren Daten.

VTD 2019.1 unterstützt die Interoperabilitätsstandards OpenDRIVE 1.5 und OpenScenario 0.9 und glänzt mit erweiterter LiDAR-Simulation mit genauerem, GPU-beschleunigten Raytracing und Funktionalitäten zur Flächen-Interaktion. Es ist verfügbar auf Red Hat Linux 7.3, mit optionaler Docker-Containerisierung von Modulen, welche bei der Integration von VTD in die virtuellen Testumgebungen von Kunden und in die Infrastruktur vor Ort oder in der Cloud hilft.

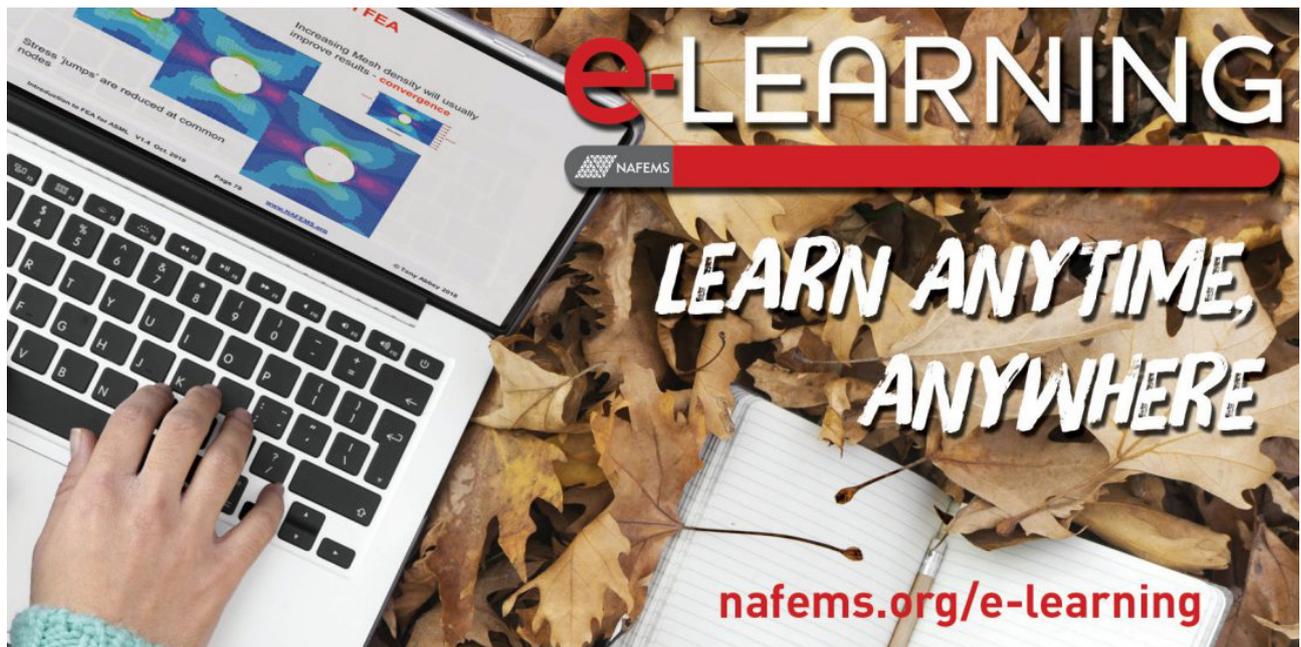
[www.mssoftware.com](http://www.mssoftware.com)

## PDTEC

### Datenmanagement-System für Simulationslösung CarMaker

PDTEC AG, ein führender Anbieter von Software und Services für Simulationsdatenmanagement-Systeme (SDM) und für Lösungen zur Integration von CAE-Daten, -Prozessen und -Systemen, gab die Veröffentlichung des neuen Datenmanagement-Systems „SDM\_for\_CarMaker“ (SDM4CM) bekannt. SDM4CM ermöglicht die effiziente und strukturierte Verwaltung aller simulationsrelevanten Daten entlang des virtuellen Fahrversuchs.

Die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen (ADAS) und autonomen Fahrfunktionen ist ohne den Einsatz von Simulationssoftware kaum möglich. Mit den Softwarelösungen der CarMaker-Produktfamilie aus dem Hause IPG Automotive kann der Anwender reale Testszenarien detailgetreu in die virtuelle Welt übertragen. Die Umgebung ist dabei frei konfigurierbar – inklusive Straße, Verkehrsteilnehmern und Gebäuden. Das parametrisierte Fahrzeugmodell, der sogenannte virtuelle Prototyp, stellt ein virtuelles Abbild des realen Prototyps dar, dessen Komponenten jeweils durch geeignete Modelle abgebildet werden. Sämtliche Fahrzeugkomponenten, vom Motor über den Antriebsstrang und den Steuergeräten bis hin zu Assistenzsystemen, Softwarefunktionen und Bordnetzwerken können so in die Simulation eingebunden und in ihrer Gesamtheit bereits in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses getestet und abgesichert werden. Die dabei entstehenden, großen Datenvolumina sowie zahlreichen Simulationsergebnisse müssen nachvollziehbar, strukturiert und versioniert abgelegt werden. Gerade in globalen Entwicklungsteams gibt es den Bedarf, zentrale Fahrzeug- und Simulationsdaten jederzeit und in der aktuellen Version verfügbar zu haben. PDTEC liefert mit SDM4CM ein Datenmanagementsystem, mit dem CarMaker-Anwender einfach und effizient ihre Simulationsdaten verwalten und insbesondere bei der



Nutzung von HPC-Clustern viel Zeit einsparen können.

„Wir freuen uns, den Anwendern von CarMaker mit der Version 1.4 von SDM4CM nun auch ein Datenmanagementsystem bereitzustellen“, sagte Albrecht Pfaff, Vorstand bei der PD Tec AG. „Die durchgängige, konsistente und direkte Verfügbarkeit simulationsrelevanter Daten ist eine unverzichtbare Anforderung von Simulationsingenieuren an ein Datenmanagementsystem im virtuellen Fahrversuch. Nur so können die immensen Datenvolumina aus den vielen Simulationsszenarien verwendbar ausgewertet und nachhaltig gespeichert werden. Gerade die zukünftigen Technologien werden auch verstärkt auf Künstliche Intelligenz (KI) setzen“.

Die erste Version von SDM4CM wird derzeit bei verschiedenen Automobilfirmen getestet und soll zeitnah in die produktive Nutzung gehen. Weitere Informationen zu SDM4CM finden Sie hier.

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

## SIEMENS PLM SOFTWARE

### Krone etabliert Digitalisierungsstrategie mit digitaler Innovationsplattform von Siemens

Siemens Digital Industries Software gab bekannt, dass sich die Maschinenfabrik Bernard Krone GmbH & Co. KG, einer der führenden Hersteller von Landmaschinen in Deutschland, für die digitale Innovationsplattform von Siemens entschieden hat, um seine Digitalisierungsstrategie zu etablieren. Mit Lösungen wie dem Teamcenter-Portfolio und der NX-Software startet Krone ein neues Digitalisierungsprogramm: Es unterstützt Prozesse über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg und die Zusammenarbeit zwischen Abteilungen, indem es die umfassenden, integrierten Lösungen der digitalen Innovationsplattform von Siemens nutzt.

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

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

<b>4a Technologietag: „Kunststoffe auf dem Prüfstand - Testen und Simulieren“</b>				
03.-04.03.	Werfenweng, A	<a href="http://www.4a.at">www.4a.at</a>		4a engineering
<b>Additive Manufacturing Forum</b>				
11.-12.03.	Berlin, D	<a href="http://www.additivemanufacturingforum.de">www.additivemanufacturingforum.de</a>		IPM
<b>Internationales Stuttgarter Symposium Automobil- und Motorentechnik</b>				
17.-18.03.	Stuttgart	<a href="http://www.fkfs-veranstaltungen.de">www.fkfs-veranstaltungen.de</a>		FKFS
<b>SAXSIM – Saxon Simulation Meeting</b>				
24.03.	Chemnitz, D	<a href="http://www.tu-chemnitz.de">www.tu-chemnitz.de</a>		TU Chemnitz
<b>Wind &amp; Drivetrain Conference</b>				
21.04.	Hamburg, D	<a href="https://events.3ds.com/5th-wind-and-drivetrain-conference">https://events.3ds.com/5th-wind-and-drivetrain-conference</a>		Dassault
<b>Automotive CAE Grand Challenge</b>				
21.-22.04.	Hanau, D	<a href="http://www.carhs.de">www.carhs.de</a>		Carhs
<b>Permas Anwenderkonferenz</b>				
23.-24.04.	Stuttgart, D	<a href="http://www.intes.de">www.intes.de</a>		Intes
<b>NAFEMS Kurs: Festigkeitsnachweis mit der FKM-Richtlinie</b>				
28.-29.04.	Wiesbaden, D	<a href="http://www.nafems.org/fkm20-1">www.nafems.org/fkm20-1</a>		NAFEMS
<b>Graz Symposium Virtual Vehicle (GSVF)</b>				
05.-06.05.	Graz, A	<a href="http://www.gsvf.at">www.gsvf.at</a>		ViF

**NAFEMS DACH Konferenz 2020**

11.-13.05. Bamberg, D  
[www.nafems.org/dach20](http://www.nafems.org/dach20)



**VMAP Int. Conference on CAE Interoperability**

13.-14.05. Bamberg, D  
[www.vmap.eu.com/vmap-conference-2020](http://www.vmap.eu.com/vmap-conference-2020)



<b>NAFEMS Nordic Conference 2020</b>				
26.-27.05.	Göteborg, S	<a href="http://www.nafems.org/nordic20">www.nafems.org/nordic20</a>		NAFEMS
<b>NAFEMS Kurs: Master Course V&amp;V: Verification and Validation in Engineering Simulation – Building Simulation Credibility in an Industrial Context</b>				
26.-27.05.	München, D	<a href="http://www.nafems.org/vandv20-1">www.nafems.org/vandv20-1</a>		NAFEMS
<b>NAFEMS UK Conference 2020</b>				
09.-10.06.	Milton Keynes, UK	<a href="http://www.nafems.org/2020">www.nafems.org/2020</a>		NAFEMS
<b>NAFEMS Americas Conference 2020</b>				
16.-18.06.	Indianapolis, USA	<a href="http://www.nafems.org/2020">www.nafems.org/2020</a>		NAFEMS
<b>MSC Software Conference</b>				
23.-24.06.	München, D	<a href="http://www.mscsoftware.com">www.mscsoftware.com</a>		MSC Software
<b>NAFEMS India Conference 2020</b>				
24.-25.07.	Bangalore, IND	<a href="http://www.nafems.org/2020">www.nafems.org/2020</a>		NAFEMS

<b>NAFEMS ASEAN Conference 2020</b>	27.07.	Singapore	<a href="http://www.nafems.org/2020">www.nafems.org/2020</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS East Europe Conference 2020</b>	23.-24.09.	Prague, CZ	<a href="http://www.nafems.org/2020">www.nafems.org/2020</a>	NAFEMS
<b>LS-DYNA Forum</b>	07.-09.10.	Ulm, D	<a href="http://www.dynamore.de">www.dynamore.de</a>	DYNAmore
<b>NAFEMS Seminar: CFD-Methoden in der Entwicklung alternativer Antriebssysteme</b>	12.-13.10.	München, D	<a href="http://www.nafems.org/cfd20">www.nafems.org/cfd20</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS Seminar: Integration von Simulation und Test in der Produktentwicklung</b>	14.-15.10.	München, D	<a href="http://www.nafems.org/simtest20">www.nafems.org/simtest20</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS Kurs:</b>				
		<b>Master Course V&amp;V: Verification and Validation in Engineering Simulation – Building Simulation Credibility in an Industrial Context</b>		
	12.-13.10.	München, D	<a href="http://www.nafems.org/vandv20-2">www.nafems.org/vandv20-2</a>	NAFEMS
<b>Cadferm Ansys Simulation Conference</b>	13.-14.10.	Stuttgart, D	<a href="http://www.simulation-conference.com">www.simulation-conference.com</a>	
<b>NAFEMS European Multiphysics Conference</b>	20.-21.10.	München, D	<a href="http://www.nafems.org/mp2020">www.nafems.org/mp2020</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS Iberia Conference 2020</b>	05.11.	Barcelona, ESP	<a href="http://www.nafems.org/2020">www.nafems.org/2020</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS France Conference 2020</b>	18.-19.11.	Paris, F	<a href="http://www.nafems.org/2020">www.nafems.org/2020</a>	NAFEMS
<b>International Symposium Human Modeling and Simulation in Automotive Engineering</b>	18.-19.11.	Wiesbaden, D	<a href="http://www.carhs.de">www.carhs.de</a>	

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



**NWFC**   
**NAFEMSWORLD CONGRESS 2021**

**JUNE 14 – 18, 2021 – SALZBURG, AUSTRIA**  
**A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION**

incorporating the

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

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

# Parametrische digitale Zwillinge für die Anwendung im Model-Based Systems Engineering

Christoph Tamm

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

**Digitale Zwillinge sind numerische Modelle, die technische Systeme nachbilden und reale und virtuelle Informationen gleichzeitig verarbeiten. Die Kombination von berechneten und gemessenen Signalen ermöglicht eine detailliertere und umfassendere Analyse dieser Systeme. Darüber hinaus bieten effiziente und parametrische digitale Zwillinge weitere interessante Anwendungsszenarien. Dieser Beitrag konzentriert sich auf die Modellierung parametrischer und echtzeitfähiger digitaler Zwillinge für mechanische Strukturen. Diese Strukturen werden mittels Finite-Elemente-Modellen detailliert beschrieben, und effiziente Modelle, die in Echtzeit gelöst werden können, werden mithilfe Methoden zur parametrischen Modellordnungsreduktion abgeleitet.**

Im Zusammenhang mit der digitalen Transformation und dem Model-Based Systems Engineering (MBSE) ergeben sich für diese Arten der numerischen Modelle verschiedenste Anwendungsszenarien. Beispielsweise können bei Entwurfs- und Optimierungsverfahren in frühen Phasen der Entwicklung die Analysen von Systemen effizienter durchgeführt werden. Der Schwerpunkt liegt insbesondere auf Machbarkeits- und Sensitivitätsanalysen, der Bewertung des zur Verfügung stehenden Entwurfsraums und in späteren Phasen der Produktentwicklung auch auf Parameterstudien in Hardware-in-the-Loop-Tests (z.B. Variation des virtuellen Restsystems). Die numerischen Modelle können zudem in allen Phasen des Systemlebenszyklus verwendet werden, so beispielsweise zur Zustandsüberwachung im laufenden Betrieb. Weiterhin können die berechneten Werte als virtuelle Sensoren und für ein automatisiertes Online-Modellupdate genutzt werden. Für diesen Beitrag ist die Leistungsfähigkeit der vorgestellten Methode anhand von Beispielen aus der Strukturmechanik und der Schwingungstechnik untersucht und analysiert worden.

## 1 Motivation

Eines der Ziele im Kontext der digitalen Transformation und des MBSE ist die Entwicklung von Methoden und Werkzeugen zur Optimierung mehrerer Parameter, die sowohl in der frühen Konzeptionsphase als auch bei der Detailplanung von Komponenten und Systemen eingesetzt werden können. In frühen Entwurfsphasen bieten effiziente und parametrische Modelle die Möglichkeit, softwarebasierte Entscheidungen durch Frontloading zu treffen und führen zu einer Reduzierung der Iterationen in späteren Entwicklungsphasen. Sobald ein neues Konzept ausgewählt ist, muss das Design detailliert und in Bezug auf die gewünschte Funktion, das Gewicht, die Kosten und den Einfluss auf die Gesamtleistung erneut optimiert werden. Eine solche Optimierung muss in einem ganzheitlichen Ansatz erfolgen, bei dem mehrere Parameter berücksichtigt werden müssen. Die entwickelten Methoden und Werkzeuge werden weiterhin für die testgetriebene Entwicklung (z. B. mit Hardware-in-the-Loop-Ansätzen (HIL)) sowie für schnelle Variantenanalysen durch kontinuierliche Validierung des virtuellen und realen Systemdesigns verwendet. Für solche Anwendungen werden sogenannte digitale Zwillinge realer Systeme empfohlen. Diese Zwillinge sind numerische Modelle, die gleichzeitig reale und virtuelle Informationen verarbeiten. Die Kombination von berechneten und gemessenen Signalen ermöglicht eine detailliertere und umfassendere Analyse technischer Systeme. Zudem können Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Effizienz durch die Analyse und Bewertung von Unsicherheiten im Entwicklungsprozess gesteigert werden. Effiziente parametrische Modelle können einen entscheidenden Beitrag zu angepassten, flexiblen und individualisierten Entwicklungsprozessen leisten, die für die komplexen Systeme der Zukunft notwendig sind. Bei Entwurfs- und Optimierungsaufgaben in frühen Phasen der Entwicklung können Systemanalysen effizienter durchgeführt werden, wobei der Schwerpunkt insbesondere auf Machbarkeits- und Sensitivitätsanalysen sowie der Bewertung des Entwurfsraums liegt.

Am Fraunhofer LBF wurden bestehende Methoden zur multidisziplinären und multiparametrischen Optimierung angepasst und erweitert sowie Werkzeuge und Methoden (z.B. Sensitivitätsanalyse, Design of Experiments (DOE)) für ein optimiertes Komponentendesign untersucht. Üblicherweise werden mechanische Strukturen

mittels Finite-Elemente-Modellen (FE-Modellen) detailliert beschrieben und anschließend ordnungsreduzierte Modelle abgeleitet. Hierzu müssen alle notwendigen Schnittstellen zwischen dem vollständigen FE-Modell und dem für die Mehrziel-Optimierung verwendeten Modell reduzierter Ordnung definiert und implementiert werden. In einer integrierten Optimierungsumgebung können verschiedene physikalische Eigenschaften (mechanisch, elektrisch, thermisch), variable Zielfunktionen (Gewicht, Kosten) sowie multiparametrische Modelle einbezogen werden. Die vorgeschlagenen Methoden werden für die rechnergestützte kosten- und zeiteffiziente Entwurfsraumbewertung und Optimierung komplexer Systeme verwendet.

## 2 Konzept

### 2.1 Grundsätzliches Vorgehen

Die Simulationsmodelle innerhalb des Lebenszyklus eines Produkts unterscheiden sich in Zweck, Komplexität und Genauigkeit. In frühen Entwurfsphasen sind einfache Simulationsmodelle ausreichend. Auf Komponentenebene werden anschließend genauere und komplexere Modelle verwendet und in späteren Phasen der Entwicklung ist eine ganzheitliche Simulation auf Systemebene erforderlich. Der Ansatz der modellbasierten Systementwicklung umfasst alle diese Modelle und alle Aktivitäten des V-Modells der Entwurfsmethodik für mechatronische Systeme [1]. In diesem Artikel wird eine konsistente Modellierungsstrategie vom Konzept bis zur Erprobungsphase unter Verwendung des LBF-Softwaretools AdaptoSim® [2] vorgeschlagen. Jeder Block in Abbildung 1 bezieht sich auf einen Makrozyklus innerhalb des V-Modells, der mit einer Simulation auf niedriger Ebene in der Konzeptphase beginnt, die Simulationen auf Komponenten- und Systemebene abdeckt und mit einem echtzeitfähigen Simulationsmodell für HIL-Tests oder Online-Modellupdates endet.

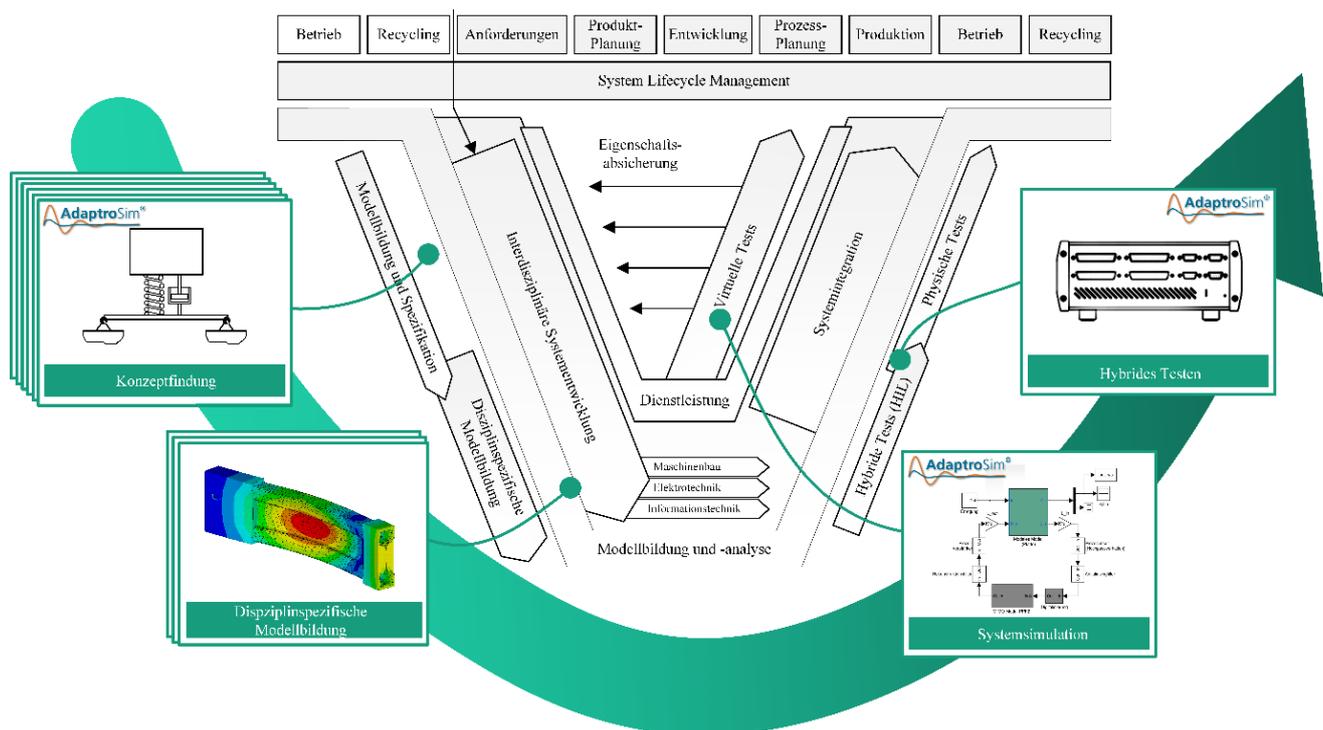
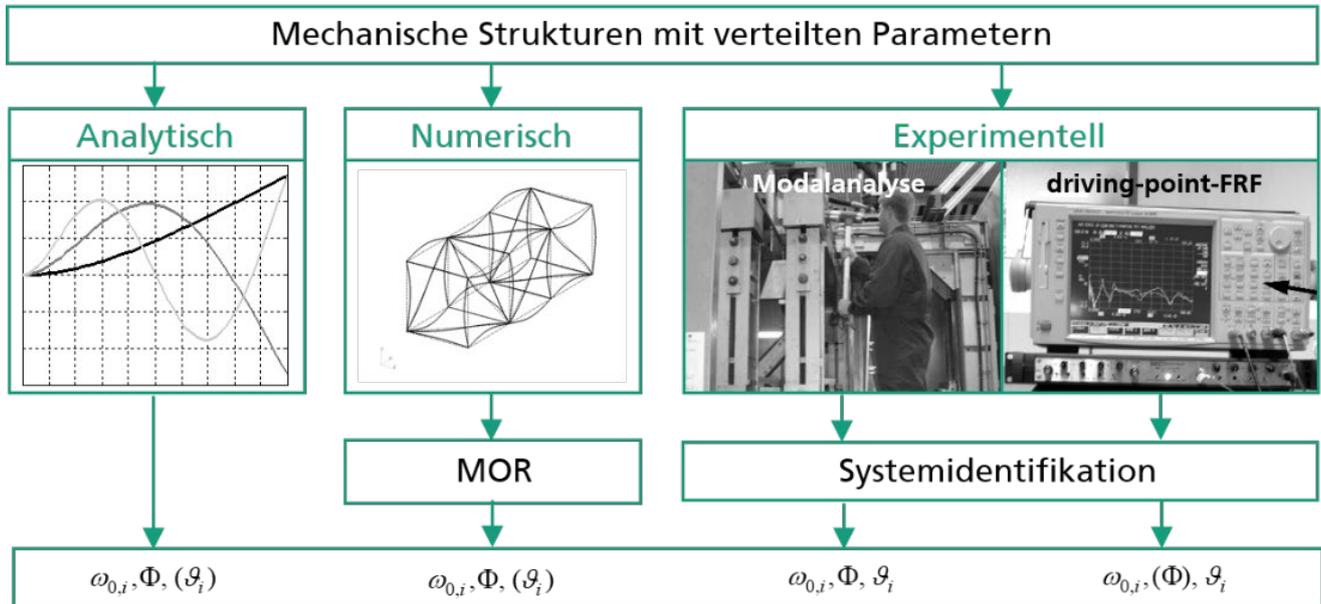


Abb. 1: Konsistente Modellierungsstrategie von der Konzeptentwicklung bis zur Betriebsphase mit der Fraunhofer LBF Software AdaptoSim

Eine modulare und hierarchische Modellierungsstrategie wurde von Herold et al. [3] vorgeschlagen. Der erweiterte Modellierungsansatz umfasst parametrische Modelle in allen beschriebenen Phasen des Systementwicklungsprozesses. Für Entwurfs- und Optimierungsverfahren, Machbarkeits- und Sensitivitätsanalysen, Entwurfsraumbewertungen usw. sind effiziente Modelle nicht obligatorisch, aber wünschenswert. In der Anwendungs-, Validierungs- und Nutzungsphase müssen die Modelle zudem echtzeitfähig sein.

## 2.2 Numerische Beschreibung der Komponenten und Subsysteme

Eine mechanische Struktur kann entweder durch analytische Beschreibungen, durch aus FE-Modellen abgeleitete Modelle oder durch systemidentifizierte Modelle beschrieben werden (siehe Abb. 2). Werden detaillierte aber rechenzeitintensive FE-Modelle genutzt, können die Simulationen durch Methoden zur Modellordnungsreduktion beschleunigt werden. Hierbei werden mathematische Algorithmen verwendet und effiziente reduzierte Modelle mit gleichem Ein- und Ausgangsverhalten bestimmt.



### Resultierende Zustandsraumdarstellung

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{q}(t) \\ q(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -diag(\vartheta_i \omega_{0,i}) & -diag(\omega_{0,i}^2) \\ I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}(t) \\ q(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Phi^T \\ 0 \end{bmatrix} F(t), \quad v(t) = [\Phi \quad 0] \begin{bmatrix} \dot{q}(t) \\ q(t) \end{bmatrix}$$

$F \rightarrow \boxed{Y} \rightarrow v$

Abb. 2: Modellbildung mechanischer Strukturen [3]

Für das vorgeschlagene Konzept ist ein FE-Modell als Ausgangspunkt obligatorisch. In den später vorgestellten Anwendungsfällen werden die Matrizen aus ANSYS abgeleitet.

Die meisten mechanischen Strukturen zeichnen sich durch Eigenfrequenzen und Eigenvektoren aus, die das Verhalten des Gesamtsystems maßgeblich beeinflussen. Die mechanische Struktur trägt wesentlich zu den dynamischen Eigenschaften bei. Wie bereits erläutert, ist die FE-Methode ein etabliertes Verfahren, um ein numerisches Simulationsmodell zu erhalten [4]. Im Wesentlichen basiert das Verfahren auf der Diskretisierung der partiellen Differentialgleichungen und der Lösung des daraus entstehenden gewöhnlichen Differentialgleichungssystems. Für mechanische Strukturen ergibt sich folgende Gleichung

$$M\ddot{x}(t) + D\dot{x}(t) + Kx(t) = F(t) = B_{in}u(t)$$

mit der Massenmatrix **M**, der Steifigkeitsmatrix **K**, der Dämpfungsmatrix **D** und dem Zustandsvektor **x**. Die äußeren Lasten können entweder durch den Vektor **F** oder die Eingangsmatrix **B<sub>in</sub>** und den Vektor **u** dargestellt werden. Die FEM liefert jedoch immer große Gleichungssysteme. Daher muss eine Modellordnungsreduktion durchgeführt werden, bevor eine effiziente transiente Analyse oder eine mathematische Optimierung durchgeführt wird.

### 2.3 Schnittstellen zwischen verschiedenen Software-Tools

Eine Schnittstelle für die numerischen Simulationswerkzeuge *ANSYS* (FE-Modellierung und -Analyse) und *Matlab/Simulink* (Parametervariationen und -optimierung) wurde entworfen und implementiert. Abb. 3 zeigt die Simulations- und Optimierungsumgebung der *AdaptoSim*-Toolbox. Für die Erzeugung eines parametrischen digitalen Zwillings wurde der zweite Pfad von links – mit Startpunkt FE-Simulation – für diese spezielle Anforderung erweitert.

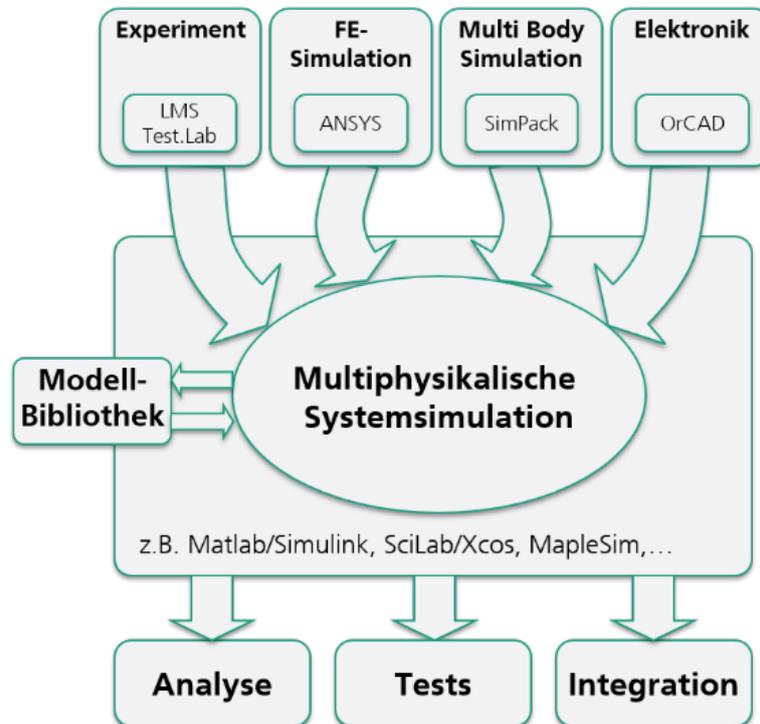


Abb. 3: Simulations- und Optimierungsumgebung der *AdaptoSim* Toolbox

FE-Modelle und Ergebnisdateien von *ANSYS* können in *Matlab* geöffnet und gelesen werden und anschließend in der *Matlab/Simulink*-Umgebung weiterbearbeitet werden. Bei Bedarf können die Ergebnisse der Parametervariationen und -optimierungen erweitert werden, um die Lösung für alle Freiheitsgrade des entsprechenden FE-Modells zu erhalten. Mit der entwickelten variablen Schnittstelle kann der Prozess der Ordnungsreduktion sowohl in *ANSYS* als auch in *Matlab* ausgeführt werden. In beiden Fällen repräsentieren die Modelle mit reduzierter Ordnung das dynamische Verhalten des vollständigen Modells.

### 2.4 Parametrische Modellordnungsreduktion

Methoden zur Modellordnungsreduktion (MOR) werden genutzt, um dynamische Systeme, die durch Differentialgleichungen beschrieben werden, zu vereinfachen. Dabei werden die ursprünglichen Differentialgleichungen erster oder zweiter Ordnung des Ausgangssystems durch ein sehr viel kleineres Gleichungssystem ersetzt, so dass das Verhalten beider Systeme annähernd gleich ist. Je komplexer die zu entwickelnden Systeme, desto größer ist üblicherweise die Anzahl der resultierenden Gleichungen [5]. Trotz hohen Rechenleistungen und großen Speicherkapazitäten in modernen Rechenclustern können umfangreiche Varianten-Berechnungen für sehr detaillierte Modelle in der Praxis so lange dauern, dass sie die Produktentwicklung verzögern oder aus Effizienzgründen gar nicht erst in Betracht gezogen werden. In der Literatur finden sich diverse Verfahren und Algorithmen zur Modellordnungsreduktion für solche großen, dynamischen Systeme [6, 7]. Dabei ist die nicht-parametrische MOR eine gebräuchliche und weit verbreitete Methode bei der Simulation und Optimierung komplexer physikalischer Prozesse. Allerdings können die Eigenschaften des zugrundeliegenden physikalischen Modells, wie beispielsweise die Geometrie, das Material oder die Randbedingungen in dem System reduzierter Ordnung nachträglich nicht mehr variiert werden. Daher

sind neue Methoden zur parametrischen Modellordnungsreduktion (pMOR) erforderlich. Die grundlegende Idee der Methode ist in Abb. 4 dargestellt.

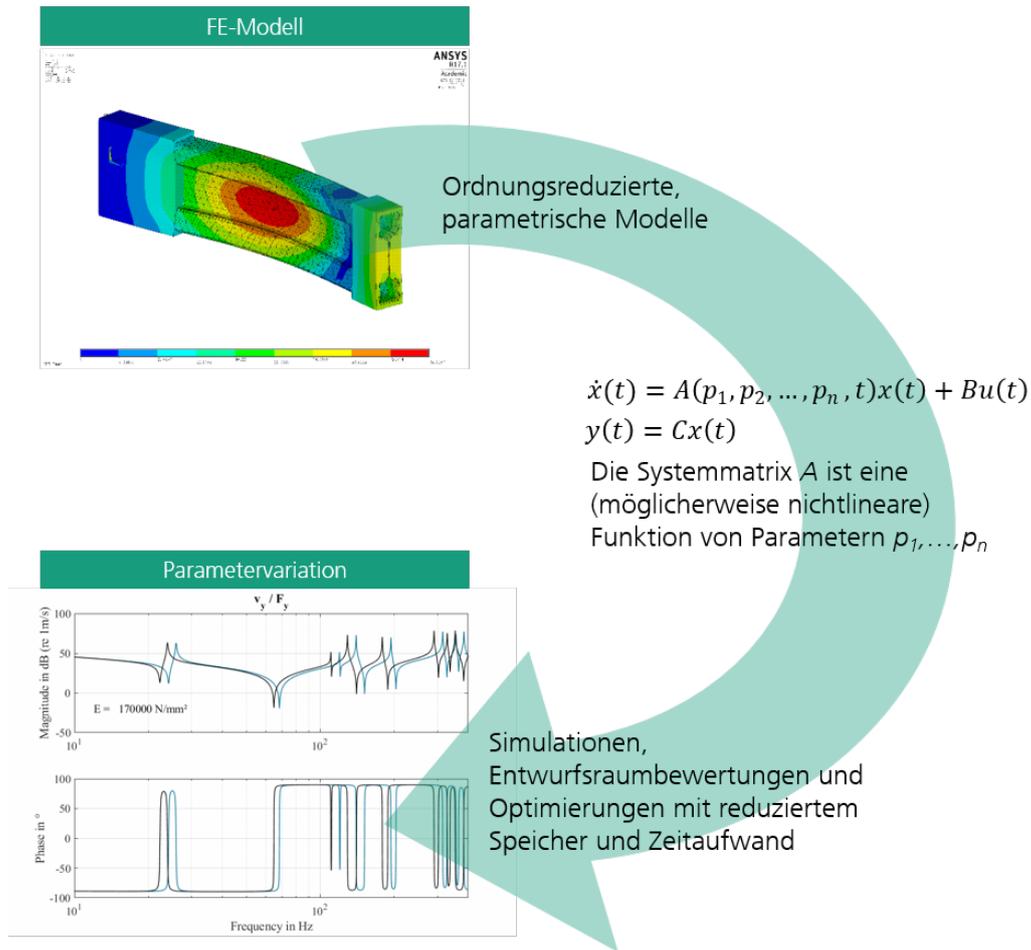


Abb. 4: Schematische Darstellung der grundlegenden Idee von parametrischer MOR

Wie im nicht-parametrischen Fall wird das ordnungsreduzierte Modell aus einem vollständigen FE-Modell erhalten. Der Hauptunterschied besteht darin, dass die Systemmatrix  $A$  eine möglicherweise nicht-lineare Funktion des Parametersatzes  $p_1, p_2, \dots, p_n$  darstellt.

$$\dot{z}(t) = \mathbf{A}(p_1, p_2, \dots, p_n, t)z(t) + \mathbf{B}u(t)$$

$$y(t) = \mathbf{C}z(t) + \mathbf{D}u(t)$$

Parametrische Modelle werden üblicherweise mit dem Ziel zeit- und recheneffizienter Simulationen und Optimierungen erstellt. Die Dimension der Modelle hängt dabei von der geforderten Güte des reduzierten Systems ab. Zunächst wurden für den betrachteten Anwendungsfall die folgenden Parameter betrachtet:

1. Materialeigenschaften (Dichte, Elastizitätsmodul)
2. Dämpfungseigenschaften
3. Geometrieigenschaften (Schalendicke)

In diesem Artikel werden die parametrischen Modelle mittels einer Substrukturierungstechnik, genauer der *Component Mode Synthesis (CMS)*, erstellt [8]. Bei der CMS wird die Dynamik der mechanischen Gesamtstruktur durch die Eigenmoden der vordefinierten Substrukturen beschrieben. Zusätzlich werden die statischen Verformungen an den Schnittstellen der Substrukturen genutzt, um die Kopplungsbedingungen

abzubilden. Die einzelnen Modelle der Substrukturen werden durch eine jeweils separate Modalanalyse generiert und anschließend auf Systemebene zusammengesetzt.

Für komplexe Systeme ist die Anzahl der Schnittstellenknoten von großer Bedeutung, da diese Knoten nicht reduziert werden und somit im zusammengesetzten Gesamtsystem verbleiben. Für FE-Modelle, die ein feines Netz erfordern oder aus vielen Substrukturen bestehen, wird die Dimension des ordnungsreduzierten Modells von diesen Freiheitsgraden dominiert. Dies führt im Allgemeinen ebenfalls dazu, dass diese Modelle hinsichtlich Zeit- und Rechenaufwand ineffizient werden. Daher wurde ein hybrides zweistufiges MOR-Verfahren entwickelt. Im ersten Schritt wird die mechanische Struktur mittels CMS reduziert und im zweiten Schritt werden die Freiheitsgrade der Schnittstellen durch ein balanciertes Abschneiden verringert [9]. Dieses zweistufige Verfahren führt zu einem Modell mit stark reduzierter Ordnung, das als digitaler Zwilling verwendet und in der Regel in Echtzeit gelöst werden kann.

Durch die Nutzung dieser parametrischen digitalen Zwillinge ergeben sich die wesentlichen Vorteile des vorgeschlagenen Modellierungs- und Optimierungsverfahrens. Abbildung 5 zeigt den gebräuchlichen (links) und den erweiterten Ablaufplan (rechts) einer Optimierungsaufgabe. Beide bestehen aus den Arbeitsschritten Modellbildung, Analyse und Ergebnisausgabe. Die MOR ist im Standardfall optional und für den erweiterten Workflow obligatorisch.

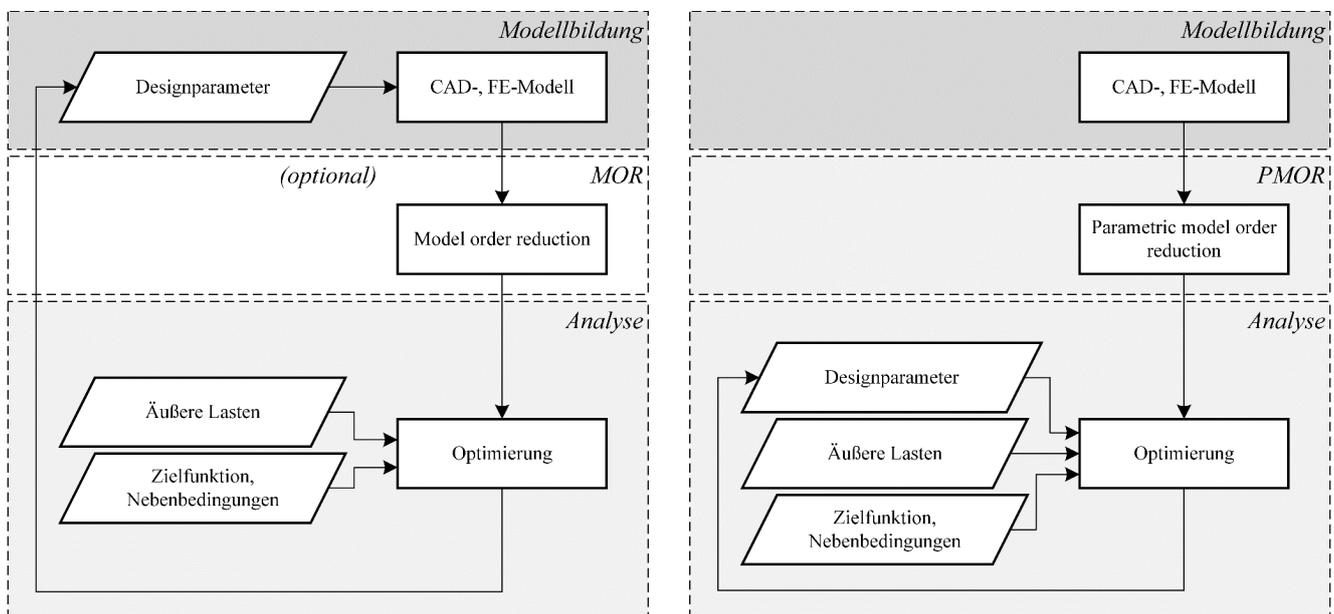


Abb. 5: Standard- (links) und erweiterter Arbeitsablauf (rechts) einer Optimierungsaufgabe

Der Standard-Arbeitsablauf beginnt mit den Designparametern und der FE-Modellierung. Die Optimierung kann entweder in der FE-Umgebung für Bauteile und Komponenten oder in einer Simulationsumgebung auf Systemebene durchgeführt werden. Für letztere muss ein ordnungsreduziertes Modell aufgebaut werden. Äußere Lasten, Zielfunktionen und Nebenbedingungen werden für die Optimierung benötigt, und der resultierende Parametersatz wird verwendet, um die initialen Designparameter zu aktualisieren. Anschließend kann die nächste Iterationsschleife gestartet werden. Dieses Verfahren kann sehr langwierig und ineffizient sein, insbesondere, wenn die FE-Modellierung und die Optimierung nicht in dem gleichen Softwaretool durchgeführt werden.

Das vorgeschlagene erweiterte Verfahren überwindet diese Nachteile, indem ein effizientes parametrisches Modell mit reduzierter Ordnung verwendet wird. Dieses Modell wird ebenfalls aus einem FE-Modell erzeugt, jedoch ist es weiterhin möglich, die Designparameter nachträglich zu ändern (siehe Arbeitsablauf rechts). So kann die Optimierung innerhalb einer effizienten Simulations- und Analyseumgebung durchgeführt werden.

### 3 Anwendung

Die Anwendbarkeit und Leistungsfähigkeit des vorgeschlagenen zweistufigen MOR-Verfahrens wurde anhand einer exemplarischen mechanischen Struktur, einem einfach eingespannten Biegebalken, untersucht (siehe Abbildung 6).

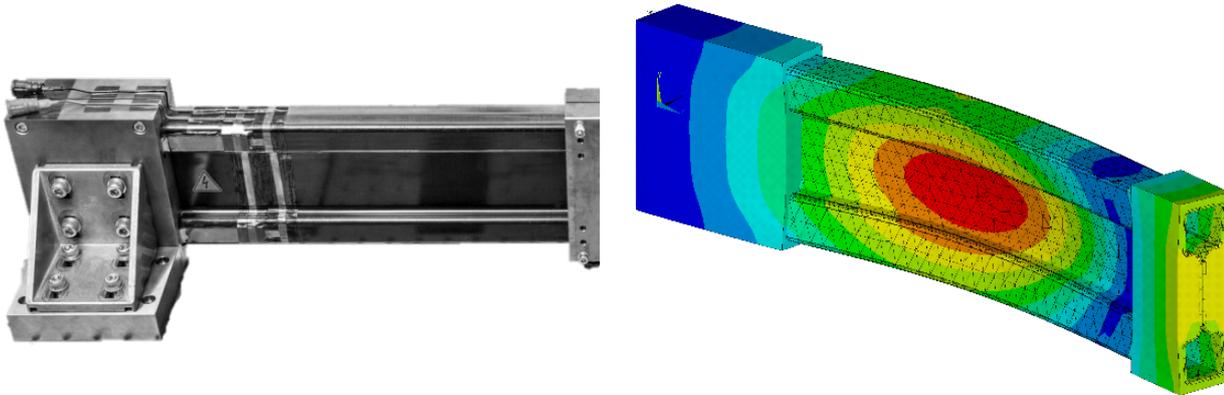


Abb. 6: Einfach eingespannter Biegebalken (links) und dazugehöriges FE-Modell (rechts)

Das FE-Modell des Biegebalkens besteht aus verschiedenen Materialien und Schalendicken sowie einer inneren Versteifung. Es hat ungefähr 120.000 Freiheitsgrade, und eine numerische Modalanalyse dauert ca. 50 Sekunden. Eine Parametervariation führt somit zu einer Gesamtsimulationszeit  $t_{sim} = 50s \cdot k \cdot n$  für  $k$  verschiedene Parameter und  $n$  Variationen pro Parameter.

Mit der vorgeschlagenen Methode wurde ein parametrisches ordnungsreduziertes Modell erstellt, bei dem die Geometrieparameter (Schalendicken), Materialparameter (Elastizitätsmodul (E), Dichte (rho)) und die Rayleigh-Dämpfungswerte (alpha, beta), variiert werden können. In Abbildung 7 ist das parametrische Zustandsraummodell in der *Matlab/Simulink*-Umgebung dargestellt. Neben der üblichen Eingangsgröße Kraft besitzt das erweiterte Simulink-Modell materialbezogene Eingabewerte (E, rho, alpha und beta). Somit ist es möglich, die Materialeigenschaften des Modells während der Simulation zu ändern.

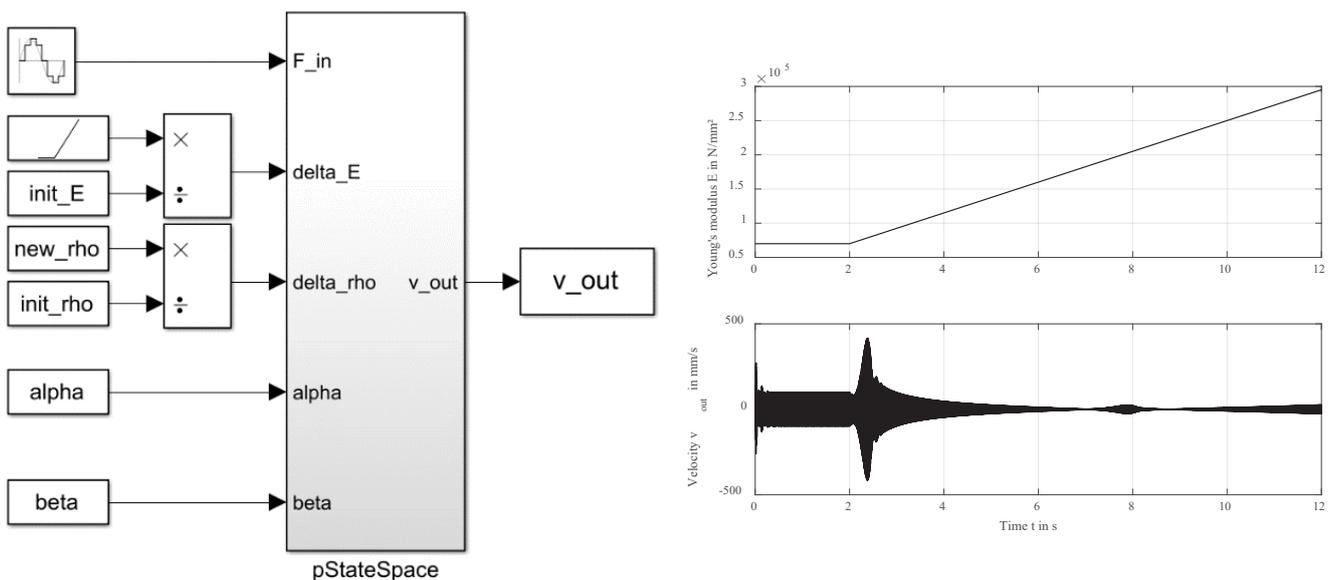


Abb. 7: Parametrisches Zustandsraummodell in der Simulink-Umgebung (links); Simulationsergebnisse im Zeitbereich unter Variation des E-Moduls (rechts)

Erste exemplarische Simulationsergebnisse für das parametrische CMS-Modell sind in Abbildung 7 auf der rechten Seite dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine Zeitbereichssimulation in *Simulink*, bei der der Elastizitätsmodul des Balkens während der Simulation kontinuierlich variiert wurde. Die Änderung des E-Moduls über der Zeit (von 75 bis 300 GPa) ist dabei oben und die resultierende Schwingungsgeschwindigkeit am freien Ende des Biegebalkens ist unten dargestellt.

Der verwendete parametrische digitale Zwilling besitzt 30 Freiheitsgrade, und eine Eigenwertanalyse kann in weniger als 0,02 Sekunden auf einem typischen Arbeitsplatzrechner berechnet werden. Dies entspricht einem Tausendstel der ursprünglichen Zeit für eine Modalanalyse des vollständigen FE-Modells. In dieser beispielhaften Anwendung können die Parametervariationen sowie die daraus resultierenden Geschwindigkeiten in Echtzeit bzw. sogar deutlich schneller bestimmt werden. Insbesondere für Online-Modellupdates oder die Anwendung als virtueller Sensor ermöglichen diese digitalen Zwillinge eine schnellere Bewertung des Entwurfsraums und zeiteffiziente Optimierungen. Aufgrund der vorgestellten Eigenschaften besteht die Möglichkeit, den digitalen Zwilling mit gemessenen Sensordaten zu koppeln und weitere Rückschlüsse auf das reale System zu erhalten.

Die Eigenschaften und Rechenzeiten des FE-Modells und des digitalen Zwillings sind nachstehend zusammengefasst.

Parametervariationen	FE-Modell	Digitaler Zwilling
Freiheitsgrade	~ 120.000	30
Dauer einer Modalanalyse	~ 50 sec.	< 1 sec.
Dauer einer harmonischen Analyse	~ 3 min.	< 1 sec.
Variation des E-Moduls des Biegebalkens	n/a	E = 75-300 GPa 100 Stützstellen t = 5 sec.

Insbesondere bei der Auslegung eignen sich effiziente parametrische Modelle auch zur mathematischen Optimierung. Im Folgenden soll die maximale Amplitude im Frequenzgang der mechanischen Admittanz (Quotient von Schwinggeschwindigkeit zu Kraft) im Bereich von 500 bis 600 Hz minimiert werden. Die Materialparameter Elastizitätsmodul  $E$  und Dichte  $\rho$  werden für die Optimierung berücksichtigt. Die Zielfunktion ist als Minimierungsproblem formuliert:

$$\min_{\vec{x} \in \chi} \max_f |H(s)|$$

Der zulässige Bereich für das Optimierungsproblem wird durch  $\chi = \{\vec{x} \mid 0.5 \leq E, \rho \leq 1.5\}$  mit  $\vec{x} = [E, \rho]^T$  beschrieben. Da die zu minimierende Zielfunktion zwei Entwurfsvariablen aufweist, können die Ergebnisse grafisch in einem 3D-Oberflächendiagramm dargestellt werden (siehe Abbildung 8).

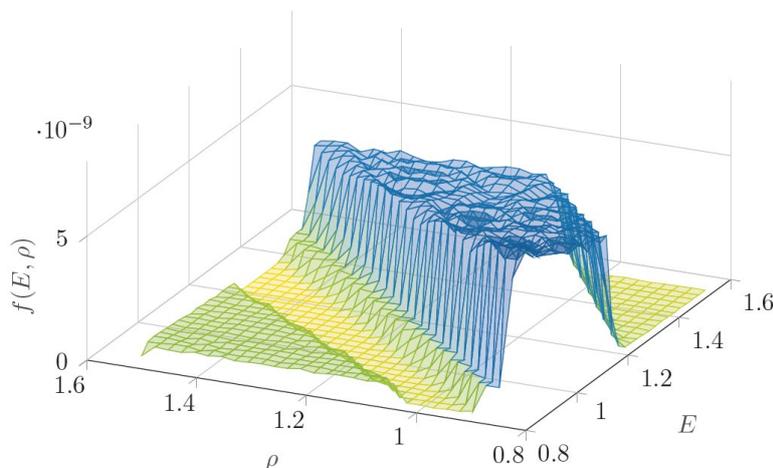


Abb. 8: Einfluss der Designparameter Dichte und E-Modul auf die maximale Amplitude des Admittanz-Frequenzgangs im Frequenzbereich 500-600 Hz

Das Diagramm zeigt ein Plateau mit mehreren lokalen Maxima und Minima (blauer Bereich). Im Bereich rechts davon befindet sich der gesuchte minimale Wert und somit der optimale Auslegungspunkt ( $\vec{x} = [1.5, 1]^T$ ). Abbildung 9 zeigt die resultierenden Frequenzgänge für dieses beispielhafte Optimierungsproblem. Zur Optimierung wurden ein Gradientenabstiegsverfahren [10] sowie eine metaheuristische Methode (*Simulated Annealing* [11]) untersucht. Die gestrichelte Linie zeigt den Frequenzgang des Referenz-Modells.

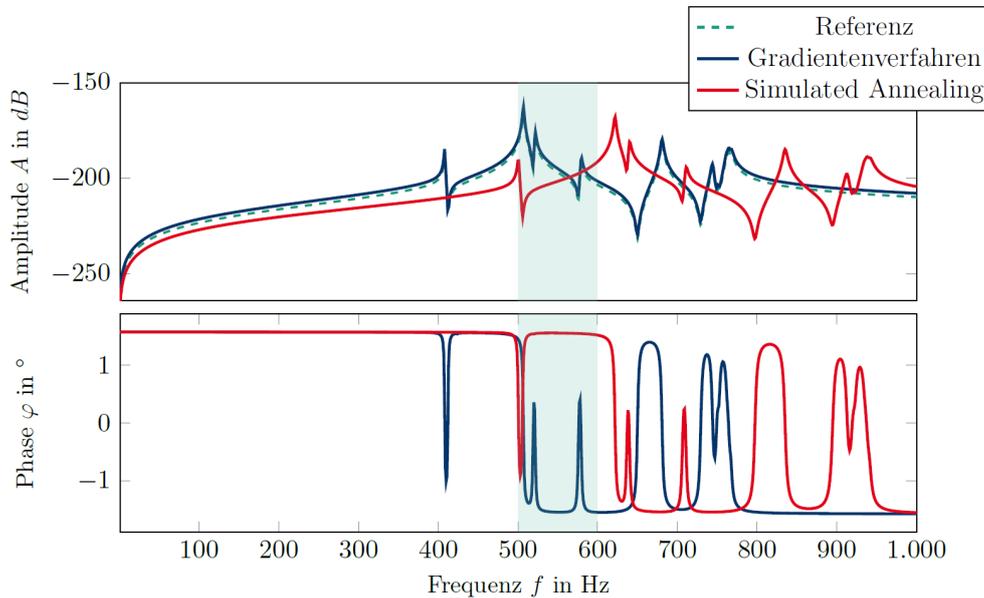


Abb. 9: Frequenzgang der mechanischen Admittanz (Geschwindigkeit/Kraft) des Referenz-FE-Modells (gestrichelt) und der optimierten Varianten (durchgezogen)

Nach 19 Iterationen bricht das *Simulated Annealing* aufgrund einer maximalen Anzahl von 5000 Verwerfungen neu erzeugter Punkte ab und nähert sich dem vermuteten globalen Minimum mit einer gefundenen Lösung von  $\vec{x} = [1.4999, 0.9969]^T$ . Die Gradientenabstiegsverfahren erreicht die maximale Anzahl von 200 Iterationen und führt aufgrund der vielen lokalen Minima zu keiner Verbesserung.

Method	Startwerte	Optimierte Lösung
Gradientenabstiegsverfahren	$[0.8, 0.8]^T$	$[0.8000, 0.8002]^T$
Simulated Annealing	$[0.8, 0.8]^T$	$[1.4999, 0.9969]^T$

#### 4 Zusammenfassung

In dem vorliegenden Beitrag wurde eine Methode für effiziente und parametrische digitale Zwillinge und eine geeignete Optimierungstechnik untersucht und ein gesamter Workflow dargestellt. Anhand eines einfachen Beispiels aus der Strukturtechnik wurden die Leistungsfähigkeit und das Potential untersucht. Die entwickelten Tools sind dabei von der Konzeptentwicklung bis zur Erprobung in eine konsistente Modellierungsstrategie eingeflossen und können zur virtuellen Produktentwicklung und Optimierung von Leichtbaustrukturen eingesetzt werden. Das vorgestellte Verfahren zur parametrischen Modellordnungsreduktion von FE-Modellen ermöglicht eine Änderung von Systemeigenschaften zur Simulationslaufzeit. Dies bringt insbesondere Vorteile für die Anwendung in der modellbasierten Systementwicklung. Zudem eignen sich die digitalen Zwillinge für modellbasierte Zustandsüberwachung, Geräusch- und Vibrationskontrolle oder virtuelle Sensorik.

#### 5 Danksagung

Die Ergebnisse in diesem Beitrag wurden im Rahmen des gemeinschaftlichen Projekts ALLIANCE entwickelt. Das Projekt erhielt finanzielle Unterstützung durch das European Union's Horizon 2020 Forschungs- und Innovationsprogramm aus dem Vertrag No 723893. Die finanzielle Hilfe wird dankbar anerkannt.

## 6 Literatur

- [1] Verein Deutscher Ingenieure: "Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme", VDI-Richtlinien, 2004
- [2] AdaptoSim, Mechanical Simulation in MATLAB ([www.adaptrosim.net](http://www.adaptrosim.net))
- [3] Herold, S.; Jungblut, T.; Kurch, M.: "A Systematic Approach to Simulate Active Mechanical Structures", NAFEMS Seminar: Multi-Disciplinary Simulations – The Future of Virtual Product Development, 2009
- [4] Bathe, K. : "Finite Element Procedures in Engineering Analysis", Prentice-Hall (Prentice-Hall civil engineering and engineering mechanics series), ISBN 9780133173055
- [5] Gugercin, S. : "Projection methods for model reduction of large-scale dynamical systems", Rice University, Dissertation, 2003
- [6] Antoulas, A. C.: "Approximation of large-scale dynamical systems", Advances in Design and Control DC-06, SIAM, Philadelphia, 2005
- [7] Qu, Z.-Q.: "Model order reduction techniques: With applications in finite element analysis", Springer, ISBN 9781852338077
- [8] Craig, R. R.; Bampton, M. C. C.: "Coupling of Substructures for Dynamic Analyses", AIAA Journal 6 (1968), Nr. 7, S. 1313–1319
- [9] Varga, A., "Balancing-Free Square-Root Algorithm for Computing Singular Perturbation Approximations", Proc. of 30th IEEE CDC, Brighton, 1991, pp. 1062-1065.
- [10] Papageorgiou, M.; Leibold, M.; Buss, M.: "Optimierung", Springer Berlin Heidelberg, 2012
- [11] Caires, L. (Hrsg.); Italiano, G. F. (Hrsg.); Monteiro, L. (Hrsg.); Palamidessi, C. (Hrsg.); Yung, M. (Hrsg.): "Automata, Languages and Programming", Springer Berlin Heidelberg, 2005

# Anwendungen von Lattice-Boltzmann Methoden für Large-Eddy Simulationen

Claus Feuchter, Alexander Stief

Fakultät für Maschinenbau und Werkstofftechnik, Hochschule Aalen

**In der vorliegenden Untersuchung wird ein Lattice-Boltzmann Verfahren für die Simulation der turbulenten Strömung an einem Massenflusssensor eines modernen Verbrennungsmotors eingesetzt. Die starke Beeinflussung der Turbulenzstrukturen an der Sensorposition auf die Motorsteuerung des Einspritzvorgangs erfordert eine sehr genaue Erfassung der strömungsmechanischen Vorgänge.**

**Die hier eingesetzte numerische Methode basiert auf einem Multi-Relaxation-Time (MRT) Algorithmus mit entropischer Kontrolle der höheren Momente der Boltzmannschen Verteilungsfunktion. Die Verwendung eines blockstrukturierten Gitteraufbaus erlaubt eine sehr gute Auflösung der relevanten Turbulenzstrukturen am Sensor. Die damit erzielten Simulationsergebnisse stehen in sehr guter Übereinstimmung mit experimentellen Ergebnissen. Somit erweist sich die vorliegende Lattice-Boltzmann Methode für skalenauflösende Strömungssimulationen selbst bei sehr komplexen industriellen Problemfällen als sehr zuverlässig.**

## 1 Einleitung

Die Lattice-Boltzmann (LB) Methode hat sich in den letzten Jahrzehnten als ein sehr zuverlässiges Verfahren der numerischen Strömungsmechanik (CFD) etabliert. Mittlerweile ist es möglich auch sehr komplexe Phänomene zu simulieren, wie etwa turbulente Vorgänge [1,2], Multiphasen- und Multikomponenten-Wechselwirkungen [3-6], Wärmetransport [7-9], Magnetohydrodynamik [10,11] und relativistische Strömungen [12-14]. Darüber hinaus erlauben LB Methoden hoher Ordnung die Erfassung von Strömungseffekten jenseits der Navier-Stokes Gleichungen und ermöglichen somit die Simulation von Mikroströmungen bei höheren Knudsen-Zahlen [15].

Turbulente Strömungen treten bei vielen Anwendungen auf und sind daher von großer Bedeutung für die industrielle Produktentwicklung. Aufgrund der Multiskaleneigenschaft der Turbulenz ist die direkte numerische Simulation (DNS) bei hohen Reynolds-Zahlen selbst für große Computerarchitekturen nur schwer möglich. Aus diesem Grund haben sich Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) Strömungssimulationen, welche lediglich auf gemittelten Strömungsgrößen und statistischen Turbulenzmodellen basieren, für die Anwendung im industriellen Umfeld etabliert. Allerdings erfordert eine zunehmende Zahl von Anwendungsfällen tiefere Einblicke in die Turbulenzstrukturen, welche sich beispielsweise nur durch skalenauflösende Simulationen, wie etwa Large-Eddy Simulationen (LES) oder Direkte Numerische Simulationen (DNS), erzielen lassen. Diese Verfahren ermöglichen verlässliche Vorhersagen, insbesondere bei stark anisotropen Turbulenzphänomenen oder akustischen Effekten.

Aufgrund der sehr geringen numerischen Dissipation [16] und der hohen numerischen Effizienz sind moderne LB Simulationen interessante Alternativen zu herkömmlichen Verfahren für derartige Simulationen (DNS/LES). Das weit verbreitete Bhatnagar-Gross-Krook Lattice-Boltzmann Model (LBGK) ist allerdings begrenzt auf moderate Reynolds-Zahlen, da in nicht aufgelösten Simulationen relativ häufig numerische Instabilitäten auftreten. Eine Möglichkeit dieses Problem zu lösen ist die Verwendung eines  $k$ - $\epsilon$  Modells [1], welches auf einer Renormierungsgruppenanalyse basiert und zu einer effektiven Relaxationszeit bei der Teilchenkollision führt. Alternativ dazu wurden in den letzten Jahren allgemeinere Kollisionsmodelle mit sehr guten Stabilitätseigenschaften abgeleitet. Das Multi-Relaxationsmodell von Geier et al. [17] beruht auf einer kumulanten Momentenbasis und besitzt selbst bei nicht aufgelösten turbulenten Simulationen sowohl sehr gute Stabilität als auch hohe Genauigkeit. Eine andere Gruppe von Multi-Relaxationsmodellen mit ebenfalls sehr guten Stabilitäts- und Genauigkeitseigenschaften wurde von Karlin et al. [18,19] abgeleitet. Bei diesen Modellen werden höhere Momente der Verteilungsfunktion durch eine entropische Zwangsbedingung kontrolliert, welche im Zusammenhang mit dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik steht.

In der vorliegenden Arbeit untersuchen wir die turbulente Strömung an einem Massenflusssensor eines modernen Verbrennungsmotors und analysieren Strömungsphänomene bei denen herkömmliche RANS Strömungssimulationen versagen. Das verwendete LB Verfahren basiert auf einem Multi-Relaxationsmodell mit entropischer Kontrolle der höheren Momente der Boltzmannschen Verteilungs-funktion.

## 2 Numerische Methode

Ausgangspunkt bildet die Lattice-Boltzmann Gleichung

$$f_\alpha(\bar{x} + \bar{e}_\alpha \Delta t, t + \Delta t) - f_\alpha(\bar{x}, t) = \Omega_\alpha \tag{1}$$

für die Einteilchen-Verteilungsfunktion  $f_\alpha$  mit der diskreten Gittergeschwindigkeit  $\bar{e}_\alpha$ , dem Kollisionsoperator  $\Omega_\alpha$  und dem Zeitschritt  $\Delta t$ . Der numerische Algorithmus (1) kann direkt aus der Boltzmann-Gleichung abgeleitet werden. Dabei werden sowohl der Konfigurationsraum durch eine endliche Anzahl von möglichen Teilchengeschwindigkeiten  $\bar{e}_\alpha$ ,  $\alpha=1 \dots Q$ , als auch der physikalische Raum durch eine Gitterstruktur diskretisiert. Für die Simulation der Navier-Stokes Gleichungen im hydrodynamischen Grenzfall sind Geschwindigkeitsmodelle mit 15 (D3Q15), 19 (D3Q19) oder 27 (D3Q27) Geschwindigkeiten möglich. Verschiedene Untersuchungen [20-22] haben gezeigt, dass Geschwindigkeitsmodelle mit 15 bzw. 19 Geschwindigkeiten Gitterartefakte verursachen können, welche auf unzureichende Symmetrie dieser Geschwindigkeitsmodelle zurückzuführen sind. Solche Gitterdefekte lassen sich durch die Verwendung des Geschwindigkeitsmodells D3Q27 erheblich reduzieren. Die Geschwindigkeiten dieses Modells

$$\bar{e}_\alpha = \begin{cases} (0, 0, 0) & \alpha = 0 \\ (\pm c, 0, 0), (0, \pm c, 0), (0, 0, \pm c) & \alpha = 1 - 6 \\ (\pm c, \pm c, 0), (\pm c, 0, \pm c), (0, \pm c, \pm c) & \alpha = 7 - 18 \\ (\pm c, \pm c, \pm c) & \alpha = 19 - 26 \end{cases} \tag{2}$$

bilden zusammen mit den Gewichten

$$w_0 = \frac{8}{27}, \quad w_{1-6} = \frac{2}{27}, \quad w_{7-18} = \frac{1}{54}, \quad w_{19-26} = \frac{1}{216},$$

eine Gauss-Hermite Quadratur im Konfigurationsraum, wobei  $c = \Delta x / \Delta t$  die Gittergeschwindigkeit und  $\Delta x$  die physikalische Gitterweite bezeichnen. Die Geschwindigkeiten gewährleisten bei einem entsprechenden Zeitschritt die exakte Propagation der Teilchen von einem Gitterpunkt (Mittelpunkt einer Volumenzelle) zu einem benachbarten Gitterpunkt und ermöglichen dadurch einen hocheffizienten „stream-and-collide“ Algorithmus. Im Gegensatz zu den Navier-Stokes Gleichungen tritt die Nichtlinearität des numerischen Verfahrens (1) im Kollisionsoperator  $\Omega_\alpha$  in vollständig lokaler Form auf. Die makroskopische Dichte  $\rho$  und Geschwindigkeit  $\bar{u}$  sind an jedem Gitterpunkt im Raum bestimmt durch

$$\rho = \sum_\alpha f_\alpha, \quad \rho u_i = \sum_\alpha f_\alpha e_{\alpha i}. \tag{3}$$

Das in dieser Untersuchung benutzte Multi-Relaxation-Time (MRT) Verfahren [18,19] basiert auf den zentralen Momenten der Verteilungsfunktion

$$M_{ijk} = \sum_\alpha f_\alpha (e_{\alpha x} - u_x)^i (e_{\alpha y} - u_y)^j (e_{\alpha z} - u_z)^k \tag{4}$$

mit  $i, j, k \in \{0, 1, 2\}$  für das D3Q27 Modell. Die Verteilungsfunktion kann durch die folgenden drei Bestandteile dargestellt werden [19]

$$f_\alpha = k_\alpha + s_\alpha + h_\alpha. \quad (5)$$

Der erste Teil  $k_\alpha$  beinhaltet die erhaltenen Momente  $\rho$  und  $\bar{u}$ . Der zweite Teil  $s_\alpha$  enthält die Nebendiagonalelemente der zweiten zentralen Momente

$$M_{110}, M_{101}, M_{011} \quad (6)$$

und die Differenzen der Diagonalelemente

$$N_{xz} = M_{200} - M_{002}, N_{yz} = M_{020} - M_{002}. \quad (7)$$

Die Spur der zweiten Momente

$$T = M_{200} + M_{020} + M_{002} \quad (8)$$

und alle höheren zentralen Momente sind im dritten Term  $h_\alpha$  beinhaltet. Die explizite Darstellung der Zerlegung (5) in Abhängigkeit der zentralen Momente ist in [19] veröffentlicht. Die Kollision der Teilchen an jedem Gitterpunkt wird beschrieben durch

$$\Omega_\alpha = -\omega(s_\alpha - s_\alpha^{eq}) - \omega \frac{\gamma}{2}(h_\alpha - h_\alpha^{eq}) \quad (9)$$

mit der Relaxationsrate  $\omega$  und einem weiteren Parameter  $\gamma$ , welcher die Relaxation der höheren Momente bestimmt. Die Gleichgewichtsanteile  $s_\alpha^{eq}$  und  $h_\alpha^{eq}$  können mit den Gleichungen (4) und (5) unter Verwendung der Gleichgewichtsverteilung

$$f_\alpha^{eq} = \rho w_\alpha \left[ 1 + 3 \frac{u_i e_{\alpha i}}{c^2} + \frac{9}{2} \frac{(u_i e_{\alpha i})^2}{c^4} - \frac{3}{2} \frac{u_i u_i}{c^2} + \frac{9}{2} \frac{u_j e_{\alpha j}}{c^4} \left( \frac{(u_i e_{\alpha i})^2}{c^4} - \frac{u_i u_i}{c^2} \right) \right]. \quad (10)$$

berechnet werden. Dabei wird über doppelte Indizes summiert (Einsteinsche Summenkonvention). Somit werden die zweiten zentralen Momente mit der Rate  $\omega$  relaxiert, wohingegen die Spur (8) mit einer modifizierten Rate  $\omega \gamma / 2$  relaxiert wird. Mit Hilfe der Chapman-Enskog (CE) Analyse [23] kann gezeigt werden, dass dieses numerische Verfahren die Navier-Stokes Gleichungen für kleine Mach-Zahlen in zweiter Genauigkeitsordnung in Raum und Zeit löst. Dabei ist die Scherviskosität durch

$$\nu = \frac{1}{3} \left( \frac{1}{\omega} - \frac{1}{2} \right) c^2 \Delta t \quad (11)$$

und die Volumenviskosität durch

$$\xi = \frac{1}{3} \left( \frac{2}{\omega \gamma} - \frac{1}{2} \right) c^2 \Delta t. \quad (12)$$

bestimmt. Für inkompressible Fluide (kleine Mach-Zahlen) ist die Volumenviskosität frei wählbar und somit kann der Parameter  $\gamma$  benutzt werden, um beispielsweise die Stabilität des Verfahrens zu optimieren. Die Vorgehensweise bei entropischen Verfahren besteht darin, den Parameters  $\gamma$  durch eine Maximierung der Entropiefunktion

$$S(\gamma) = -\sum_{\alpha} f'_{\alpha} \ln\left(\frac{f'_{\alpha}}{w_{\alpha}}\right) \quad (13)$$

zu bestimmen [18]. Dabei bezeichnet  $f'_{\alpha} = f_{\alpha} + \Omega_{\alpha}$  die Verteilungsfunktion nach der Berechnung des Kollisionsprozesses. Dies führt auf eine nichtlineare Bestimmungsgleichung für den Parameter  $\gamma$  (entropischer Stabilisator), welcher für jeden Zeitschritt an jedem Gitterpunkt neu berechnet wird und damit eine lokal fluktuierende Volumenviskosität bewirkt. Eine analytische Näherungsformel für  $\gamma$  ist gegeben durch die Relation [19]

$$\gamma = \frac{2}{\omega} - 2\left(1 - \frac{1}{\omega}\right) \frac{\sum_{\alpha} \frac{1}{f_{\alpha}^{eq}} [s_{\alpha} - s_{\alpha}^{eq}] [h_{\alpha} - h_{\alpha}^{eq}]}{\sum_{\alpha} \frac{1}{f_{\alpha}^{eq}} [h_{\alpha} - h_{\alpha}^{eq}]^2}. \quad (14)$$

Diese Behandlung des freien Parameters  $\gamma$  garantiert eine sehr hohe Stabilität selbst bei nicht aufgelösten turbulenten Strömungen und kann als eine Art implizite Turbulenzmodellierung verstanden werden. Die Gültigkeit dieses Modells für die Navier-Stokes Gleichungen bei sehr kleinen Skalen kann durch die Analyse der Erhaltungsgleichungen für die Energie und die Enstrophie validiert werden [19].

Die Strömungssimulationen der vorliegenden Untersuchung wurden mit einem selbst entwickelten Lattice-Boltzmann Solver durchgeführt, der neben anderen Kollisionsmodellen auch das oben beschriebene entropische Multi-Relaxation-Time Verfahren enthält. Die Behandlung fester Wände erfolgt mit der in [24] entwickelten numerischen Formulierung. Am Strömungseinlass wird eine Geschwindigkeitsrandbedingung verwendet und am Auslass eine nicht-reflektierende Druckrandbedingung, welche auf der Formulierung der charakteristischen Navier-Stokes Randbedingungen [25] beruht. Die Details der numerischen Implementierung sind in [26] detailliert beschrieben. Die Behandlung der blockstrukturierten Gitterübergänge erfolgt nach dem in [27] entwickelten Verfahren. Der Solver wurde sowohl bei zahlreichen akademischen Testfällen als auch bei vielen industriellen Anwendungen validiert.

### 3 Turbulente Anströmung eines Massenflusssensors

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebene Lattice-Boltzmann Methode wird auf die turbulente Anströmung eines Massenflusssensors innerhalb einer Ansaugluftführung angewendet. Der gemessene Massenstrom am Sensor zeigt bei zwei minimal unterschiedlichen Geometrien eine kleine, aber signifikante Abweichung von ca. 4%. Diese Unterschiede konnten mit herkömmlichen RANS Methoden, basierend auf der Finiten Volumen Methode, nicht erfasst werden.

#### 3.1 Geometrie und numerisches Setup

Ausgangspunkt für die Simulation ist die in Fig.1 dargestellte Geometrie. Die einzigen Änderungen sind die Extrusionen an Ein- und Auslass, um dort die Randbedingungen aufprägen zu können. Durch den robusten Algorithmus für die Gittergenerierung sind keine weiteren Vorarbeiten nötig.

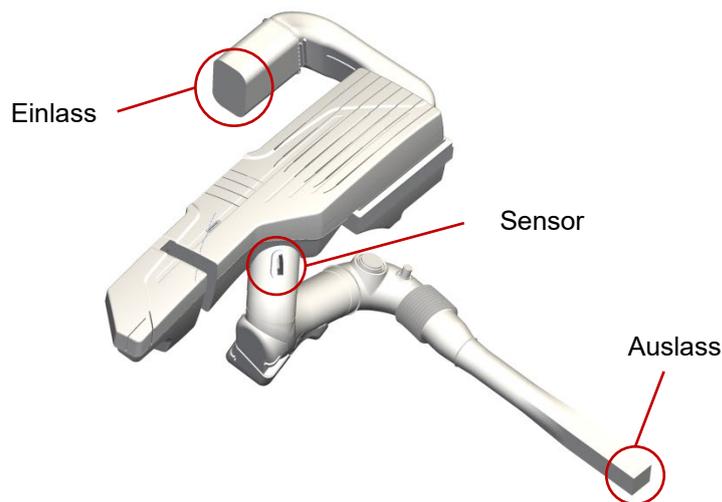


Abb. 1: Geometrie des für die Simulation verwendeten Luftansaugsystems

Die beiden für diese Simulation verwendeten Geometrien unterscheiden sich in einem Detail, welches in der Fig. 2 dargestellt ist. Der Bereich oberhalb des Filterelements ist mit zusätzlichen Rippen versteift, die zusätzlich die Strömung vor dem Massenströmsensor ausrichten sollen. In der links dargestellten Variante sind diese Rippen mit einer zusätzlichen Kante ausgeführt, wodurch sich ihre Dicke um 1.4mm erhöht.

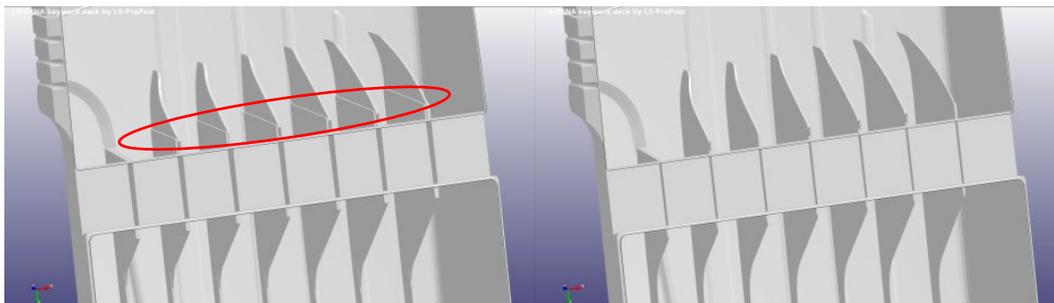


Abb. 2: Unterschied zwischen den beiden verwendeten Geometrien. Links: dicke Rippen, rechts: dünne Rippen

### 3.1.1 Gittergenerierung

Die Erzeugung des Volumengitters für den Lattice-Boltzmann Solver erfordert eine geschlossene, triangulierte Oberfläche. Die Triangulierung der vorhandenen Geometrie besteht aus etwa 1.1 Millionen Elementen. Gesteuert durch einige Nutzereingaben wird das Volumennetz auf Basis der triangulierten Oberfläche automatisch erzeugt. Für den vorliegenden Fall wird ein Netz mit 3 Gitterbereichen verwendet, wobei die relevanten Strömungsbereiche am feinsten vernetzt werden. Das so erzeugte Volumennetz besteht aus ca. 65 Millionen Volumenzellen.

Ein Ausschnitt des Volumennetzes ist in Fig. 3 dargestellt, wobei die Verfeinerungen im Bereich der Rippen und des Massenströmsensors zu erkennen sind. Die Darstellung erfolgt mit einer stair-step Visualisierung, im Strömungssolver ist jedoch eine korrekte Behandlung der tatsächlichen, gekrümmten Oberflächengeometrie implementiert.



Abb. 3: Volumenzellen des Modells. In den Mittelpunkten der würfelförmigen Volumenzellen befinden sich die Kollisionszentren.

In Tab. 1 sind die Ergebnisse der Gittererzeugung nochmals zusammengefasst. Das Volumennetz umfasst insgesamt 65 Millionen Kollisionszentren (Mittelpunkte der Volumenzellen), wodurch die Simulationen auf einem durchschnittlichen Workstation-PC durchgeführt werden können. Eine Analyse der Strömungsergebnisse ergibt an den Rippen einen  $y^+$  Wert von etwa 3.

Tab. 1: Ergebnisse der Gittererzeugung

LB Model	D3Q27
Anzahl Gitterbereiche	3
Gitterweite auf Level 1/2/3	0.25mm / 0.5mm / 1.0mm
Anzahl der Kollisionszentren auf Gitterlevel 1/2/3	29 / 21 / 15 Millionen

### 3.1.2 Simulationsparameter

Die Randbedingungen und Simulationsparameter sind in Tab. 2 zusammengefasst. Während der simulierten Realzeit von 0.69s wird das gesamte Modell etwa 7 Mal durchströmt. Die Reynolds-Zahl, basierend auf den Bedingungen am Einlass, beträgt 38000. Am Einlass wird eine zeitlich und räumlich konstante Geschwindigkeitsrandbedingung verwendet. In der Realität liegen hier zwar andere Strömungsverhältnisse vor, allerdings befindet sich der Einlass weit genug stromaufwärts, so dass sich bis zu den Rippen und zum Sensor eine realistische Strömung ausbilden kann.

Tab. 2: Simulationsparameter und Randbedingungen

Massenfluss	200 kg/h
Dichte	1.2 kg/m <sup>3</sup>
Kinematische Viskosität	1.5·10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s
Zeitschritt auf Gitterbereich 1	7.23·10 <sup>-7</sup> s
Vorbereitung: Zeitschritte / Realzeit auf Gitterbereich 1	640 000 / 0.46s
Auswertung: Zeitschritte / Realzeit auf Gitterbereich 1	320 000 / 0.23s
Einlassrandbedingung	Geschwindigkeit: 7.073 m/s
Auslassrandbedingung	Nicht-reflektierende Druckrandbedingung

## 3.2 Qualitative Analyse von Strömungsfeld und Wirbelstrukturen

In diesem Abschnitt wird das Strömungsfeld qualitativ bewertet, um einen Einblick zu bekommen, welche Phänomene die Diskrepanz bei den gemessenen Massenströmen bewirken könnten. Alle Darstellungen in diesem Kapitel zeigen Ergebnisse der Geometrievariante mit den dicken Rippen. In Fig. 4 ist zu erkennen, wie die Strömung am Einlass mit konstanter Geschwindigkeit eintritt. Der erste Übergang hin zu einer turbulenten Strömung erfolgt an einem Gitter vor der ersten Umlenkung. Weiter stromabwärts tritt die nun turbulente Strömung in das Filtergehäuse ein und verursacht eine sehr inhomogene Anströmung des Filterelements. Das

Filterelement selbst bewirkt eine Gleichrichtung der Strömung und dämpft die großskaligen turbulenten Strukturen, wodurch die Strömung hinter dem Filter wieder nahezu laminar wird.

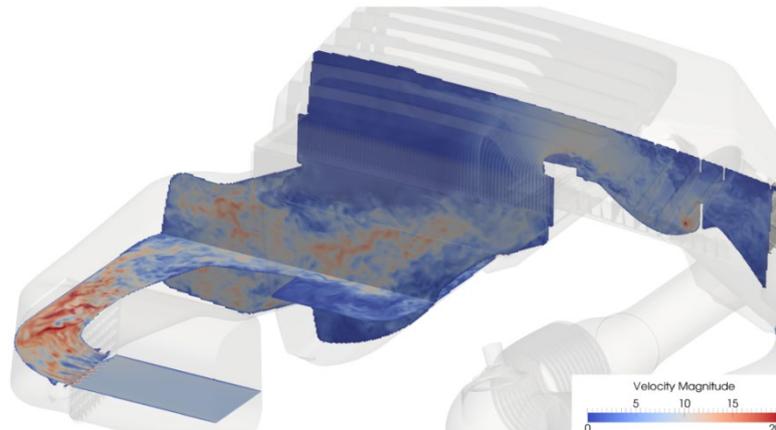


Abb. 4: Strömung zwischen Einlass und Massenströmsensor. Betrag der Geschwindigkeit zu einem festen Zeitpunkt.

Beim Umströmen der Rippen, die im Fokus dieser Untersuchung stehen, schlägt die Strömung ein weiteres Mal zur Turbulenz um. Dieser Vorgang ist in Fig. 5 klar zu erkennen. Die kohärenten Wirbelstrukturen, die an den Rippen entstehen, werden mit der Strömung weiter in Richtung Sensor transportiert. Dabei durchlaufen sie einen turbulenten Zerfallsprozess. Die Strömung, die auf den Sensor trifft, trägt immer noch eine signifikante turbulente Intensität, welche ursprünglich an den Rippen ausgelöst wurde. Das Sensorgehäuse wirkt wie ein stumpfer Körper in der Strömung, an dem sich stromabwärts zusätzliche Wirbel ausbilden. In dieser Simulation verschwinden diese Wirbel relativ schnell, da die Gitterauflösung stromabwärts vergrößert wird und dadurch turbulente Wirbel nicht mehr aufgelöst werden können. Da die Strömungsbereiche hinter dem Sensor von untergeordneter Bedeutung für die vorliegende Untersuchung sind, wurde hier zu Gunsten eines geringeren Rechenaufwandes ein gröberes Gitter gewählt.

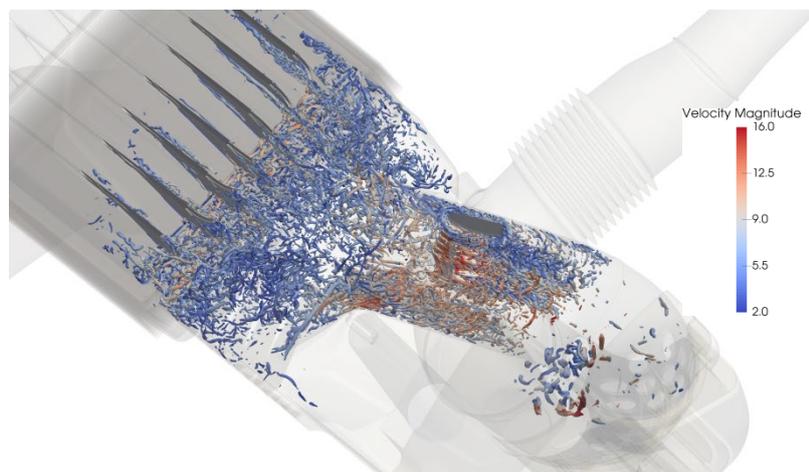


Abb. 5: Turbulente Strukturen zwischen Rippen und Sensor, dargestellt durch Iso-Flächen des Q-Kriteriums. Farbskala: Momentanwerte des Betrages der Geschwindigkeit.

Im Weiteren werden die LES-Ergebnisse mit RANS-Ergebnissen eines kommerziellen CFD-Programms verglichen (Fig. 6). Hier ist die Wirbelablösung hinter den Rippen in den LES-Ergebnissen eindeutig erkennbar. Diese kohärenten Wirbelstrukturen werden relativ weit stromabwärts transportiert und zerfallen nicht komplett bevor sie den Sensor erreichen. Daraus resultiert eine sehr inhomogene Strömung in diesem Bereich, die stark von der Form der Rippen abhängt.

Mit einer RANS-Simulation lassen sich derartig detaillierte Strömungsvorgänge nicht vorhersagen. Das Strömungsfeld erscheint nahezu homogen, und lokale Maxima der Wirbelstärke dissipieren relativ schnell aufgrund der groben Gitterauflösung und der Turbulenzmodellierung. Dies erklärt das Versagen des RANS-Ansatzes, Unterschiede in der Anströmung des Sensors vorherzusagen, welche durch die kleinen Geometrieunterschiede hervorgerufen werden.

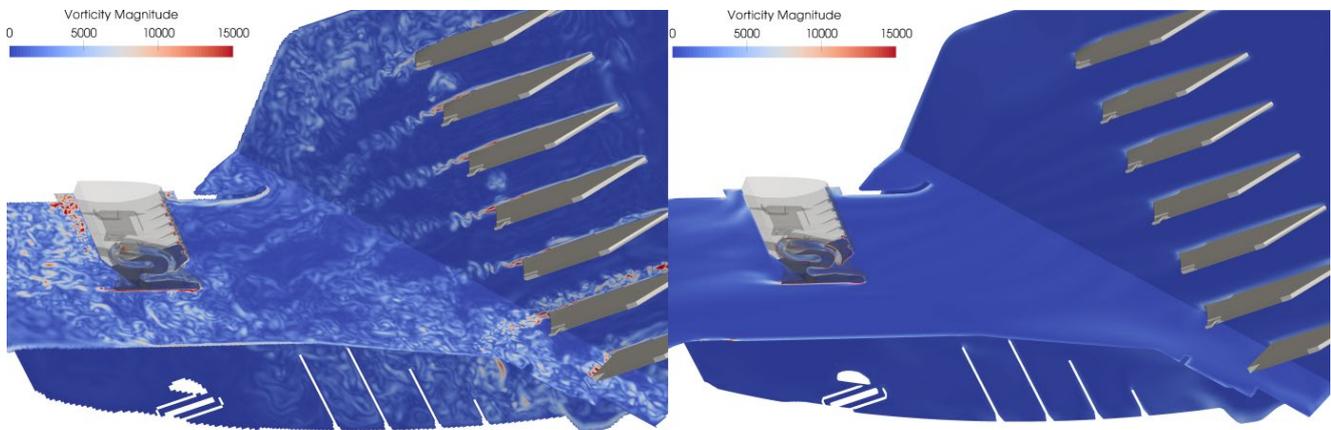


Abb. 6: Konturplot des Betrags der Wirbelstärke im Bereich zwischen Rippen und Sensor. Links: Momentanwerte des LES-Ergebnisses, rechts: RANS Ergebnis.

### 3.3 Quantitative Auswertung

Da die LES-Ergebnisse beider Geometrien keine qualitativen Unterschiede aufweisen, um eindeutige Schlussfolgerungen zuzulassen, wird zusätzlich das Signal des Sensors quantitativ ausgewertet. Hierfür dient die räumlich gemittelte Geschwindigkeit orthogonal zu einer Ebene am Einlass des Massenstromsensors. Die Ergebnisse beider Geometrien sind nach Durchlaufen der Initialisierungsphase in Fig. 7 dargestellt. Diese Daten ermöglichen die folgenden Schlussfolgerungen. Zunächst ist die zeitlich gemittelte Geschwindigkeit bei der Geometrie mit dicken Rippen um 3.98% höher als bei der anderen Geometrievariante. Das 90% Konfidenzintervall für diese Differenz beträgt 0.99%, wodurch das Ergebnis als statistisch signifikant betrachtet werden kann. Dieses Ergebnis stimmt mit der experimentell ermittelten Differenz von 4% sehr gut überein. Im Gegensatz dazu konnten mit den RANS-Simulationen keine statistisch signifikante Differenz zwischen beiden Geometrievarianten berechnet werden (Tab. 3).

Tab. 3: Differenz des Massenstromes zwischen der Geometrie mit dicken und dünnen Rippen für unterschiedlichen Simulationsmethoden.

Messung	+4%
Simulation LES LBM	+3.98% $\pm$ 0.99%
Simulation RANS FV	<+1%

Die Varianz der Geschwindigkeitsfluktuationen bei der Geometrievariante mit den dicken Rippen liegt um etwa 60% höher als bei der Variante mit dünnen Rippen. Die dicken Rippen verursachen offensichtlich eine stärkere Wirbelablösung und damit einen höheren Turbulenzgrad an der Sensorposition.

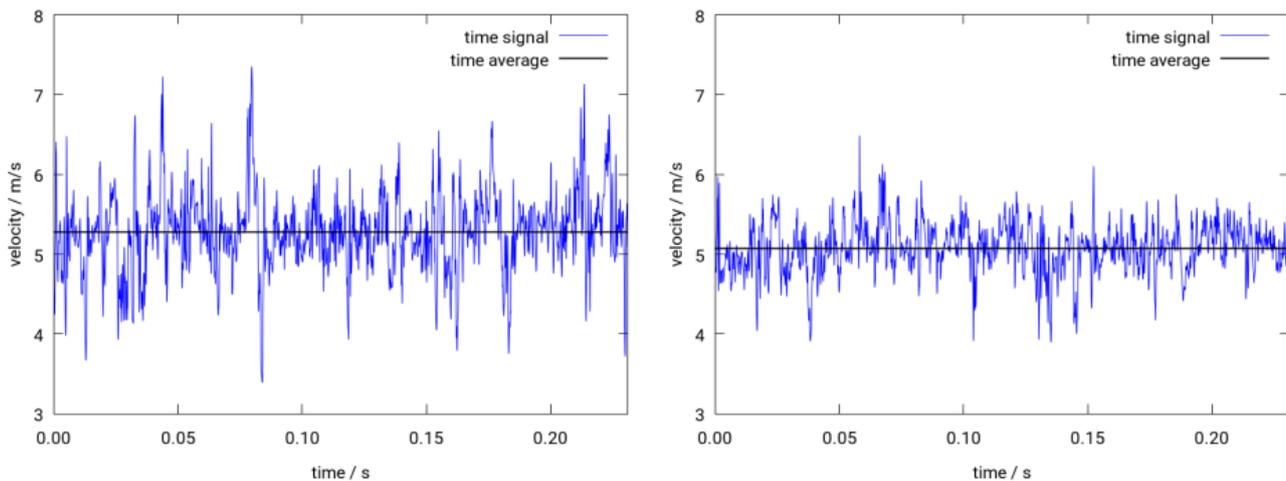


Abb. 7: Vergleich des zeitlichen Verlaufs der räumlich gemittelten Geschwindigkeit am Einlass des Massenströmsensors. Links: Geometrievariante dicke Rippen, rechts: Geometrievariante dünne Rippen.

Dieses Verhalten kann durch die Analyse der Fouriertransformation der Geschwindigkeit, dargestellt in Fig. 8, bestätigt werden. Die Geschwindigkeit im Frequenzraum liegt bei der Geometrievariante mit dicken Rippen im gesamten Frequenzbereich über der Geschwindigkeit der dünnen Rippengeometrie.

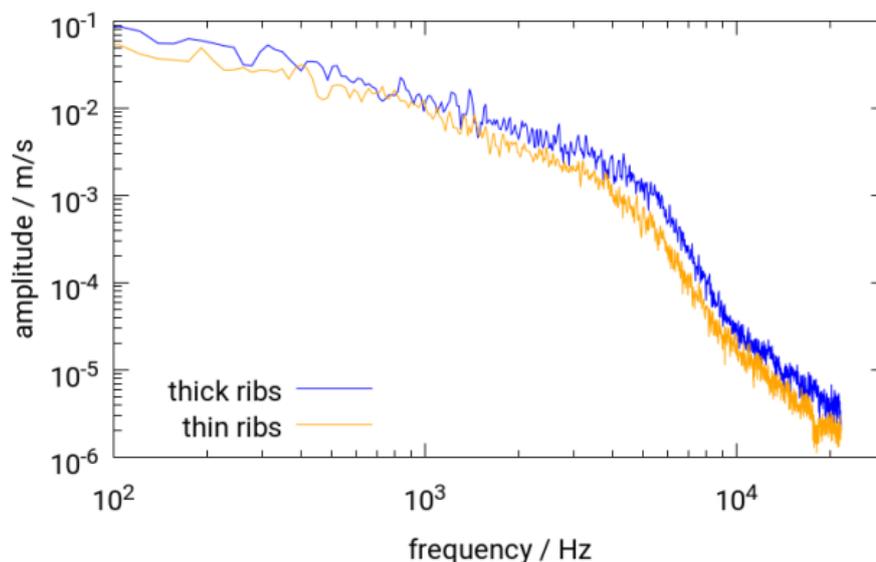


Abb. 8: Frequenzspektrum der räumlich gemittelten Geschwindigkeit am Einlass des Massenströmsensors. Blau: Geometrievariante dicke Rippen, orange: Geometrievariante dünne Rippen.

#### 4 Fazit

In dieser Untersuchung wurde ein entropisches Lattice-Boltzmann Verfahren für die turbulente Anströmung eines Massenströmsensors verwendet. Höhere Momente der Verteilungsfunktion werden durch eine entropische Behandlung bei der Teilchenkollision kontrolliert, wodurch sich sehr gute Stabilitätseigenschaften insbesondere bei nicht aufgelösten Simulationen erzielen lassen. In Kombination mit einer entsprechenden Formulierung der Randbedingungen und einem blockstrukturierten Gitteraufbau, wurde die Methode bei einem komplexen industriellen Strömungsproblem angewendet. Der Massenströmsensor innerhalb des Ansaugsystems liefert bei minimal unterschiedlichen Geometrien signifikant abweichende Messwerte. Diese Unterschiede konnten mit herkömmlichen RANS Methoden nicht vorhergesagt werden. Im Gegensatz dazu war die hier vorgestellte

Lattice-Boltzmann Methode in der Lage, die Abweichung des Signals in Übereinstimmung mit den Messergebnissen zu erfassen. Die skalenauflösenden Simulationen ermöglichen sehr genaue Vorhersagen und liefern wichtige Einblicke in die komplexen, turbulenten Strömungsvorgänge. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für eine effiziente Optimierung des Kraftstoffverbrauchs und der Schadstoffemission.

Skalenauflösende Simulationsmethoden wie etwa LES oder DNS basierend auf modernen Lattice-Boltzmann Methoden bieten damit eine wertvolle Alternative zu den herkömmlichen Verfahren der numerischen Strömungsmechanik und erweisen sich selbst bei sehr komplexen industriellen Problemfällen als sehr zuverlässig.

## 5 Literatur

- [1] Chen H., Kandasamy S., Orszag S., Shock R., Succi, S., Yakhot V.: "Extended Boltzmann kinetic equation for turbulent flows", *Science*, 301 (5633), 2003, 633–636
- [2] Yu H., Girimaji S. S., Luo L.-S.: "Lattice Boltzmann simulations of decaying homogeneous isotropic turbulence", *Phys. Rev. E*, 71, 2005, 016708
- [3] Shan X., Chen H.: "Lattice Boltzmann model for simulating flows with multiple phases and components", *Phys. Rev. E*, 47, 1993, 1815-1819
- [4] Shan X., Chen H.: "Simulation of nonideal gases and liquid-gas phase transitions by the lattice Boltzmann equation", *Phys. Rev. E*, 49, 1994, 2941-2948
- [5] Mazloomi A., Chikatamarla S. S., Karlin I. V.: „Entropic lattice Boltzmann method for multiphase flows: Fluid-solid interfaces“, *Phys. Rev. E*, 92, 2015, 023308
- [6] Swift M. R., Orlandini, E., Osborn, W., Yoemans, J. M.: "Lattice Boltzmann simulations of liquid-gas and binary fluid systems", *Phys. Rev. E*, 54, 1996, 5041-5052
- [7] He X., Chen S., Doolen G. D.: "A Novel Thermal Model for the Lattice Boltzmann Method in Incompressible Limit", *J. Comput. Phys.*, 146(1), 1998, 282-300
- [8] Guo Z., Zheng C., Shi B., Zhao T.S.: "Thermal lattice Boltzmann equation for low Mach number flows: Decoupling model", *Phys. Rev. E*, 75(3), 2007, 036704
- [9] Karlin I.V., Sichau D., Chikatamarla S.S.: „Consistent two-population lattice Boltzmann model for thermal flows“, *Phys. Rev. E*, 88(6), 2013, 063310
- [10] Dellar P. J.: "Lattice Kinetic Schemes for Magnetohydrodynamics", *J. Comput. Phys.*, 179, 2002, 95-126
- [11] Dellar P. J.: "Electromagnetic waves in lattice Boltzmann magnetohydrodynamics", *Europhys. Lett.*, 90, 2010, 50002
- [12] Mendoza, M., Boghosian, B. M., Herrmann, H. J., Succi, S.: "Fast lattice Boltzmann solver for relativistic hydrodynamics", *Phys. Rev. Lett.*, 105, 2010, 014502
- [13] Succi S., Mendoza M., Mohseni F., Karlin I. V.: "Relativistic lattice kinetic theory: Recent developments and future prospects", *Eur. Phys. J. Spec. Top.*, 223, 2014, 2177-2188
- [14] Mohseni F., Mendoza M., Succi S., Herrmann H. J., "Lattice Boltzmann model for resistive relativistic magnetohydrodynamics", *Phys. Rev. E*, 92, 2015, 023309
- [15] Shan X., Yuan X.-F., Chen H.: "Kinetic theory representation of hydrodynamics: a way beyond the Navier–Stokes equation", *J. Fluid Mech.*, 550, 2006, 413-441
- [16] Marié S., Ricot D., Sagaut P.: "Comparison between lattice Boltzmann method and Navier-Stokes high-order schemes for computational aeroacoustics", *J. Comput. Phys.*, 228, 2009, 1056–1070.
- [17] Geier M., Schönherr M., Pasquali A., Krafczyk M.: "The cumulant lattice Boltzmann equation in three dimensions: Theory and validation", *Comput. Math. Appl.*, 70(4), 2015, 507–547
- [18] Karlin I. V., Bösch F., Chikatamarla S.S.: "Gibbs principle for the lattice-kinetic theory of fluid dynamics", *Phys. Rev. E*, 90, 2014, 031302
- [19] Bösch F., Chikatamarla S.S., Karlin I. V.: "Entropic multirelaxation lattice Boltzmann models for turbulent flows", *Phys. Rev. E*, 92, 2015, 043309
- [20] White A. T., Chong C. K.: "Rotational invariance in the three-dimensional lattice Boltzmann method is dependent on the choice of lattice", *J. Comput. Phys.*, 230(16), 2011, 6367-6378.
- [21] Geller S., Uphoff S., Krafczyk M.: "Turbulent jet computations based on MRT and cascaded lattice Boltzmann models", *Comput. Math. Appl.*, 65(12), 2013, 1956-1966
- [22] Silva G., Semiao V.: "Truncation errors and the rotational invariance of three-dimensional lattice models in the lattice Boltzmann method", *J. Comput. Phys.*, 269, 2014, 259-279.
- [23] Bösch F., Chikatamarla S.S., Karlin I. V.: "Entropic multi-relaxation models for simulation of fluid turbulence", *ESAIM: Proc. Surveys*, 52, 2015, 1-24.

- [24] Dorschner B., Chikatamarla S. S., Bösch F., Karlin I. V.: "Grad's approximation for moving and stationary walls in entropic lattice Boltzmann simulation", J. Comput. Phys., 295, 2015, 340-354
- [25] Poinso T., Lalle S. K.: "Boundary conditions for direct simulations of compressible viscous flows", J. Comput. Phys., 101, 1992, 104-129
- [26] Feuchter C., Wagner O., Stief A., Beisswenger T.: "Turbulent flow simulations around a surface-mounted finite cylinder using an entropic multi-relaxation lattice Boltzmann method", 2019 Fluid Dyn. Res. 51 055509
- [27] Schönherr M., Kucher K., Geier M., Stiebler M., Freudiger S., Krafczyk M.: "Multi-thread implementations of the lattice Boltzmann method on non-uniform grids for CPUs and GPUs", Comput. Math. Appl., 61(12), 2011, 3730–3743

# Robuste Optimierung der Magnete einer PMSM unter Berücksichtigung von parametrischen Abweichungen in der Geometrie und im Fahrzyklus

Laura D'Angelo<sup>1</sup>, Zeger Bontinck<sup>1,2</sup>, Sebastian Schöps<sup>1</sup>, Herbert De Gersem<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Darmstadt

<sup>2</sup>Knorr-Bremse Systeme für Nutzfahrzeuge GmbH

Dieses Manuskript behandelt die Optimierung des Volumens der Permanentmagnete in einer permanenten Synchronmaschine unter Beibehaltung des Nenndrehmoments und des Wirkungsgrads der Maschine über einen städtischen Fahrzyklus. Darüber hinaus werden parametrische Schwankungen in das Modell miteinbezogen. Sie entstehen zum Beispiel durch Fertigungsungenauigkeiten, unterschiedliche Fahrweisen und wechselnde Wetterbedingungen. Eine affine Zerlegung wird verwendet, um nicht für jede parametrische Konfiguration neu vernetzen zu müssen und so numerisches Rauschen zu vermeiden. Da sich so auch die Ableitungen der Lösung nach den Geometrieparametern analytisch bestimmen lassen, erhält man einen effizienten gradientenbasierten Optimierungsalgorithmus. Das optimale Design erweist sich als robust gegenüber unterschiedlichen Fahrweisen und Variationen in der Magnetgeometrie. Auch eine Leistungssteigerung wird erreicht. Eine Robustheit gegenüber regnerischen Wetterbedingungen kann jedoch nicht vollständig garantiert werden.

## 1 Einführung

Hohe Leistungsdichten und Wirkungsgrade in elektrischen Maschinen können erreicht werden, wenn man im Rotor Permanentmagnete (PMe) verwendet. Das ist der Fall bei permanentmagneterregten Synchronmaschinen (PMSMen). Der Einsatz von Magneten hat aber auch einige Nachteile. Zum einen enthalten diese Magnete seltene Erden wie Neodym (Nd) und Dysprosium (Dy). Ein höherer Dy-Gehalt erhöht die Koerzitivfeldstärke der NdFeB-Magnete bei höheren Temperaturen. Es ist bekannt, dass die Gewinnung und das Recycling dieser Elemente negative Folgen für die Umwelt haben [1]. Zum anderen ist die Preisentwicklung dieser Materialien schwer vorherzusagen (Abb. 1). Deshalb ist es ein Bestreben, so wenig Permanentmagnetmaterial wie nötig zu verwenden, jedoch ohne die Leistung der Maschine zu verschlechtern. In dieser Arbeit wird die Leistung einer Maschine an ihrem maximal erzeugten Drehmoment und an ihrem Wirkungsgrad über einen städtischen Fahrzyklus gemessen.

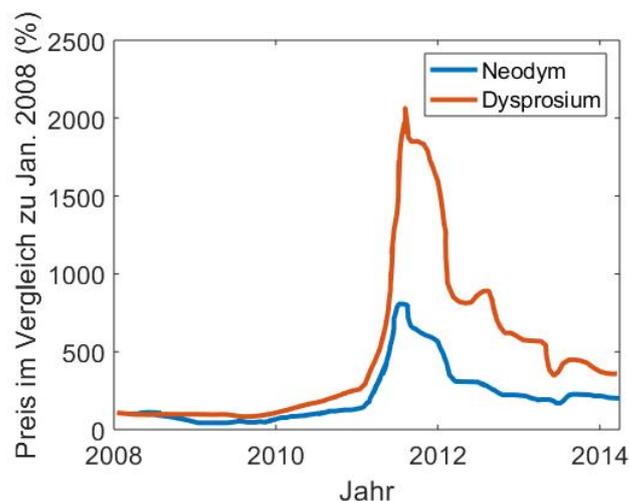


Abb. 1: Historischer Verlauf der Preise von Neodym und Dysprosium (basierend auf [2]).

Die Fertigung verursacht Schwankungen der Maschinenparameter, z.B. bei den Magneten [3]. Sie führen zu Abweichungen zwischen dem digitalen Zwilling und der eigentlichen Maschine und damit zu einer schlechten digitalen Repräsentation der Maschinenleistung. Daher besteht ein zunehmendes Interesse an der Konstruktion digitaler Modelle, die auch stochastische Informationen beinhalten. Das kann man mit der Quantifizierung der Unsicherheiten und robusten Optimierungsalgorithmen bewerkstelligen. In dieser Arbeit werden drei Ursachen von Unsicherheiten berücksichtigt: Der erste Typ wird durch die zuvor genannten Fertigungstoleranzen in den Magneten verursacht; die zweite Ursache liegt in der abweichenden Nutzungsweise des Fahrers, z.B. unterschiedliche Fahrweisen, und der letzte Typ hängt mit Umgebungseinflüssen wie Verkehrs- und Wetterbedingungen zusammen. Um schlussendlich eine zuverlässige Maschine zu produzieren, muss der digitale Zwilling bezüglich der Ungenauigkeiten so robust wie möglich ausgelegt werden. Das kann mit numerischer Optimierung erreicht werden.

Bei einer Optimierung müssen in der Regel viele Konfigurationen berechnet werden. Dies kann insbesondere dann sehr zeitintensiv werden, wenn eine der Nebenbedingungen die Lösung von partiellen Differentialgleichungen (PDGLen) enthält, wie es etwa bei den Maxwellgleichungen der Fall ist. Im Gegensatz zur Partikelschwarmoptimierung oder zu genetischen Algorithmen benötigen gradientenbasierte Optimierungsalgorithmen nur wenige Auswertungen, um eine optimale Konfiguration zu finden [4]. Ein Nachteil ist, dass diese Algorithmen im Allgemeinen nur lokale Optima finden und invasiver sind, weil Informationen über den Gradienten der Kostenfunktion und der Nebenbedingungen (analytisch oder z.B. mit algorithmischen Differenzierungswerkzeugen) ausgerechnet und implementiert werden müssen. Um die Robustheit während der Optimierung zu gewährleisten, wurden verschiedene Ansätze entwickelt [5]. In dieser Arbeit wird eine robuste Formulierung gewählt, die die Erwartungswerte und die Standardabweichungen der Kostenfunktion und der Nebenbedingungen enthält, siehe z.B. [6].

Dieses Manuskript basiert auf [7,8] und ist folgendermaßen gegliedert: der erste Abschnitt beschreibt die Maschine und die Berechnung ihrer Leistung. Danach wird der Fahrzyklus vorgestellt. Im vierten Abschnitt werden das Optimierungsproblem und der Algorithmus erläutert. Im fünften Abschnitt werden die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert. Ein Fazit rundet dieses Manuskript ab.

## 2 Modellierung der Maschine

Dieser Abschnitt beschreibt die PMSM. Die geometrischen Variationen werden vorgestellt, die partielle Differentialgleichung wird diskutiert, und es wird erklärt, wie die Zielgrößen durch eine affine Zerlegung effizient berechnet werden können.

### 2.1 Geometrie

Abbildung 2 zeigt einen Pol der PMSM. Ihr Design basiert auf [9]. Es enthält eine verteilte Zweischichtwicklung mit vier Nuten pro Pol und Phase. Der Rotor enthält pro Pol einen Magneten. Der Magnet wird durch den Vektor  $\mathbf{p} = [p_1, p_2, p_3]$  beschrieben, wobei  $p_1$  die Breite des Magnetes darstellt,  $p_2$  die Höhe des Magnetes und  $p_3$  die Position des Magnetes unterhalb der Rotoroberfläche. Die Größe des Magnetes wird in 2D durch  $S_{pm} = p_1 p_2$  bestimmt. Um die Fertigungstoleranzen nachzuahmen, wird davon ausgegangen, dass diese drei Parameter unabhängige und gleichverteilte Zufallszahlen sind,

$$\mathbf{p}(\theta) \in \mathcal{U}(\bar{\mathbf{p}} - \delta_p, \bar{\mathbf{p}} + \delta_p),$$

mit  $\theta$  als Symbol, das den stochastischen Charakter einer Größe darstellt,  $\bar{\mathbf{p}}$  als Vektor, der die Sollwerte für die drei Parameter enthält, und  $\delta_p$  als Vektor, der die maximalen Abweichungen für jeden Parameter enthält.

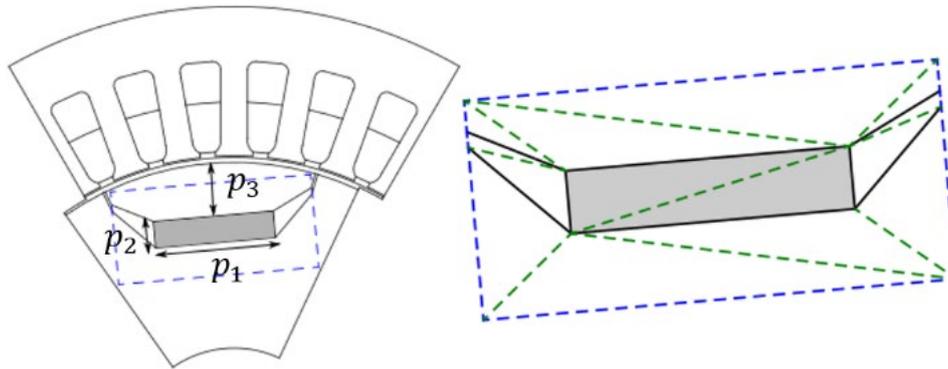


Abb. 2: Ein Pol der Maschine, wobei der Graubereich den Magneten und das blaue Kästchen den Bereich der affinen Zerlegung darstellen. Die grünen Linien markieren die verschiedenen Dreiecke für die Zerlegung.

## 2.2 Diskretisierung der Maxwellgleichungen

In diesem Unterabschnitt werden die Gleichungen vorgestellt, die die physikalischen Phänomene in einer PMSM bestimmen. Auch ihre Diskretisierung wird diskutiert.

### 2.2.1 Schwache magnetostatische Formulierung der Maxwellgleichungen und deren Diskretisierung

Die wichtigsten physikalischen Phänomene in einer PMSM werden durch die magnetostatische Formulierung der Maxwellgleichungen erfasst. Wirbel- und Verschiebungsströme können vernachlässigt werden, sodass man schließlich die PDGL

$$\nabla \times \left( \nu(\vec{x}; \mathbf{p}) \nabla \times \vec{A}(\vec{x}; \mathbf{p}) \right) = \vec{J}_s(\vec{x}) + \vec{J}_{\text{pm}}(\vec{x}; \mathbf{p}) \text{ in } \Omega(\mathbf{p}),$$

mit passenden Randbedingungen erhält. Die Reluktivität ist gegeben durch  $\nu(\vec{x}) = \mu^{-1}(\vec{x})$ , wobei  $\mu(\vec{x})$  die magnetische Permeabilität bezeichnet und hier in einem Arbeitspunkt als linearisiert angenommen wird. Des Weiteren ist  $\vec{x}$  ein Ortsvektor im Rechengebiet  $\Omega$ ,  $\vec{A}$  das magnetische Vektorpotential,  $\vec{J}_s$  die Stromdichte und  $\vec{J}_{\text{pm}}(\vec{x}; \mathbf{p}) = -\nabla \times \vec{H}_{\text{pm}}(\vec{x}; \mathbf{p})$  repräsentiert die Feldanregung durch die Permanentmagnete mit  $\vec{H}_{\text{pm}}$  als Koerzitivfeldstärke der PMen. Im Folgenden verwenden wir für die Quellen  $\vec{J}(\vec{x}; \mathbf{p}) = \vec{J}_s(\vec{x}) + \vec{J}_{\text{pm}}(\vec{x}; \mathbf{p})$ .

Elektrische Maschinen mit Maschinenlängen, die größer sind als der Durchmesser der Maschine, können durch eine 2D-Formulierung ausreichend genau beschrieben werden [10]. Die Annahmen in dieser Formulierung sind  $\vec{A} = (0, 0, u)$  und  $\vec{J} = (0, 0, f)$ , mit  $u = u(\vec{x}; \mathbf{p})$ ,  $f = f(\vec{x}; \mathbf{p})$  und  $\vec{x} = (x_1, x_2)$ . Letztendlich ist es nur nötig das Poisson-Problem

$$-\nabla \cdot (\nu \nabla u) = f \text{ in } \Omega$$

zu lösen.

Nach Einsetzen der vorliegenden Randbedingungen und Einführung von Testfunktionen  $w$  kann dieses Problem in seiner schwachen Formulierung beschrieben werden [11]. Finde  $u$  für alle  $w$ , so dass

$$b(u, w) = (f, w),$$

$$\text{mit } b(u, w) = \int_{\Omega} \nu \nabla u \cdot \nabla w \, d\Omega \text{ und } (f, w) = \int_{\Omega} f w \, d\Omega.$$

In dieser Arbeit wird der Ritz-Galerkin-Ansatz verwendet, d.h. die Formfunktionen zur Diskretisierung von  $u$  werden identisch zu den Testfunktionen gewählt, also  $u = \sum_{j=1}^{N_{\text{dof}}} u_j w_j$ . Durch die Einschränkung auf einen endlich-dimensionalen Unterraum führt die PDGL auf ein lineares Gleichungssystem

$$\mathbf{K} \mathbf{u} = \mathbf{f},$$

wobei  $\mathbf{K}$  Steifigkeitsmatrix genannt wird,  $\mathbf{u}$  ein Vektor ist, der die  $N_{\text{dof}}$  Freiheitsgrade enthält und  $\mathbf{f}$  der diskretisierte Quellterme ist. Mit  $\mathbf{u}$  lassen sich die gewünschten Zielgrößen (englisch Quantities of Interest, QoIs) berechnen.

In der Finite-Elemente-Methode (FEM) niedrigster Ordnung können die Testfunktionen  $w_j$  durch nodale Hütchenfunktionen  $N_j$  dargestellt werden, so dass  $w_j = N_j/\ell_z$ , mit  $\ell_z$  als Länge der Maschine [12].

### 2.2.2 Affine Zerlegung

Eine naive Methodik zur Berechnung der QoIs wäre, während der Optimierung für jede neue Konfiguration eine neue Geometrie zu konstruieren, die PDGL von vorne zu diskretisieren und nachher die Felder mittels FEM zu berechnen, sodass schließlich im Post-Prozess die QoIs bestimmt werden können. Dies wäre nicht nur rechenintensiv, sondern würde die Ergebnisse auch durch numerisches Rauschen verfälschen. Auf diese Weise könnten Informationen zu den Einflüssen von den Zufallsvariablen verloren gehen. Dieses Rauschen wird hauptsächlich durch die erneute Vernetzung des Rechengitters verursacht. Mit einer affinen Zerlegung können diese Probleme umgangen werden.

Zur Durchführung der affinen Zerlegung konstruiert man ein Rechteck in der Geometrie, das in  $N_L$  Dreiecke unterteilt ist (Abb. 2), sodass jedes Teilgebiet ein homogenes Material enthält [13]. Die Referenzgeometrie  $\Omega_{\text{ref}} = \cup_{\ell=1}^{N_L} \Omega_{\text{ref}}^\ell$  wird mit den Parametern  $\mathbf{p}_{\text{ref}}$  aufgebaut. Die Teilgebiete werden ebenfalls vernetzt mit dem Kriterium, dass kein Element die Grenze eines Dreiecks überschreiten darf (Abb. 3). Für jedes Teilgebiet kann man eine affine Abbildung  $T^\ell(\cdot; \mathbf{p}) : \Omega_{\text{ref}}^\ell \rightarrow \Omega^\ell(\mathbf{p}) : \vec{x}_{\text{ref}} \mapsto \vec{x}$ , mit  $\vec{x}_{\text{ref}} \in \Omega_{\text{ref}}^\ell$  und mit  $\vec{x} \in \Omega^\ell$ ,

$$T^\ell(\vec{x}; \mathbf{p}) = \mathbf{C}^\ell(\mathbf{p}) + \mathbf{G}^\ell(\mathbf{p}) \vec{x}$$

definieren. Es gilt  $\mathbf{C}^\ell \in \mathbb{R}^2$  und  $\mathbf{G}^\ell \in \mathbb{R}^{2 \times 2}$ . Da alle Abbildungen  $T^\ell$  bijektiv sind und stetig ineinander übergehen, induzieren sie eine globale Abbildung  $T(\cdot, \mathbf{p}) : \Omega_{\text{ref}} \rightarrow \Omega(\mathbf{p})$ , die Geraden auf Geraden und Parallellinien auf Parallellinien abbildet. Darüber hinaus werden parallele Linien gleicher Länge auf parallele Linien gleicher Länge und Dreiecke auf Dreiecke abgebildet. Das auf  $\Omega_{\text{ref}}$  konstruierte Gitter wird somit durch die Abbildung  $T$  in ein Gitter auf  $\Omega$  umgewandelt (Abb. 3).

Nun ist das Ziel, die Berechnungen auf dem Referenzgebiet durchzuführen. Die Bilinearform für die neue Konfiguration ist gegeben durch [13]

$$b(u, w; \mathbf{p}) = \int_{\Omega(\mathbf{p})} v \nabla u \cdot \nabla w \, d\Omega = \sum_{\ell=1}^{N_L} \sum_{i,j=1}^2 [G^\ell(\mathbf{p})^{-1} v^\ell G^\ell(\mathbf{p})^{-T}]_{i,j} | \det(G^\ell(\mathbf{p})) | \int_{\Omega_{\text{ref}}^\ell} \frac{\partial u_{\text{ref}}}{\partial x_{i,\text{ref}}} \frac{\partial w_{\text{ref}}}{\partial x_{j,\text{ref}}} \, d\Omega_{\text{ref}},$$

und man erhält letztendlich

$$b(u, w; \mathbf{p}) = \sum_{\ell=1}^{N_L} \sum_{i,j=1}^2 \vartheta_{i,j}^\ell(\mathbf{p}) b_{ij}^\ell(u_{\text{ref}}, w_{\text{ref}}).$$

Das gleiche Prinzip lässt sich für die Quellterme verwenden. Unter der Annahme, dass nur ein Teil des Gebiets affin zerlegt wird, erhält man schließlich das Gleichungssystem [13]

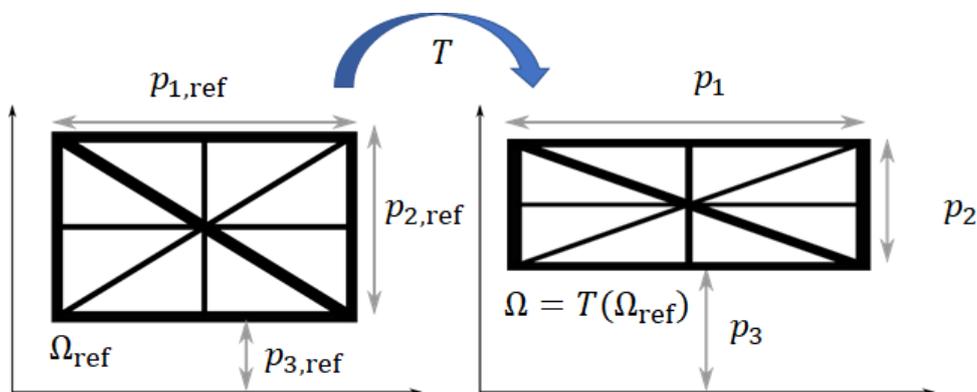


Abb. 3: Referenzgebiet, unterteilt in zwei Teilgebiete, die vier Gitterelemente enthalten. Die Abbildung  $T$  bildet das Referenzgebiet affin auf die neue Konfiguration ab.

$$(\mathbf{K}_{\text{out}} + \sum_{\ell=1}^{N_L} \vartheta_{\mathbf{K}}^{\ell}(\mathbf{p})\mathbf{K}^{\ell}) \mathbf{u} = \mathbf{f}_{\text{out}} + \sum_{\ell=1}^{N_L} \vartheta_{\mathbf{f}}^{\ell}(\mathbf{p})\mathbf{f}^{\ell},$$

mit  $\vartheta_{\mathbf{K}}^{\ell}(\mathbf{p})\mathbf{K}^{\ell} = \vartheta_{1,1}^{\ell}(\mathbf{p})\mathbf{K}_{1,1}^{\ell} + \vartheta_{2,2}^{\ell}(\mathbf{p})\mathbf{K}_{2,2}^{\ell} + \vartheta_{1,2}^{\ell}(\mathbf{p})\mathbf{K}_{1,2}^{\ell} + \vartheta_{2,1}^{\ell}(\mathbf{p})\mathbf{K}_{2,1}^{\ell}$ . Die  $\mathbf{p}$ -Abhängigkeiten tauchen nur in den Faktoren  $\vartheta^{\ell}$  auf. Diese sind rein analytische Funktionen, die vorberechnet und abgeleitet werden können. Ferner werden die Matrizen  $\mathbf{K}^{\ell}$  und die Vektoren  $\mathbf{f}^{\ell}$  auf dem Referenzgebiet konstruiert. Um eine neue Konfiguration zu berechnen, ist es nur nötig,  $\vartheta_{\mathbf{K}}^{\ell}(\mathbf{p})$  und  $\vartheta_{\mathbf{f}}^{\ell}(\mathbf{p})$  auszuwerten, sodass die Geometrie weder erneut aufgebaut noch erneut vernetzt werden muss. Darüber hinaus werden die Elemente des Gitters nicht verformt.

### 3 Europäischer städtischer Fahrzyklus

Dieser Abschnitt befasst sich mit dem europäischen städtischen Fahrzyklus. Es wird erklärt, wie der Wirkungsgrad des Motors über den gesamten Zyklus berechnet wird und welche Szenarien welche parametrischen Abweichungen beinhalten.

#### 3.1 Transformation von Geschwindigkeit-Zeit zu Drehmoment-Drehzahl

Zur Berechnung der Motorleistung wird der Wirkungsgrad der Maschine bezüglich des europäischen städtischen Fahrzyklus (FZ) berechnet. Diese Art von FZ wird häufig für das Benchmarking von Verbrennungsmotoren in der Automobilindustrie eingesetzt. Das Profil der Geschwindigkeit  $v(t)$  des FZs ist in Abb. 4 dargestellt. Mit den mechanischen Beziehungen

$$\omega_m(t) = \frac{v(t)}{R_{\text{wh}}}$$

und

$$M_m(t) = R_{\text{wh}} \frac{m_v a(t) + F_{\text{rr}} + F_d(t)}{N_{\text{dr}}},$$

kann es in ein Drehmoment-Drehzahl-Diagramm überführt werden, wobei Die Drehzahl  $\omega_m(t)$  in rad/s ausgedrückt wird,  $R_{\text{wh}}$  der Radius des Rades ist,  $a(t) = dv(t)/dt$  die Beschleunigung bezeichnet und  $m_v$  die Gesamtmasse des Fahrzeugs darstellt. Die Größen  $F_{\text{rr}} = C_{\text{rr}} m_v g$  und  $F_d(t) = \frac{1}{2} C_d \rho S_f v^2(t)$  repräsentieren Roll- und Luftwiderstand. Die Faktoren in den Kräften sind der Rollwiderstandskoeffizient  $C_{\text{rr}}$ , die Gravitationsbeschleunigung  $g$ , der Strömungswiderstandskoeffizient  $C_d$ , die Luftdichte  $\rho$  und die projizierte Stirnfläche des Fahrzeugs  $S_f$ . Zur Berechnung des Wirkungsgrades der Maschine wird der FZ in der  $M_m(\omega)$ -Ebene über die Zeit integriert. So kann der Wirkungsgrad durch

$$\eta(\mathbf{p}) = \frac{\int_{t_0}^{t_e} \omega_m(t) M_m(t, \mathbf{p}) dt}{\int_{t_0}^{t_e} (\omega_m(t) M_m(t, \mathbf{p}) + m R_{\text{st}} I^2(t)) dt}$$

ausgedrückt werden. Der Zähler repräsentiert die von der Maschine erzeugte mechanische Leistung und der Nenner stellt die Gesamtleistung (mechanische + elektrische Verluste) dar. Bei den Verlusttermen ist  $m$  die Anzahl der Phasen,  $R_{\text{st}}$  ist der Statorwiderstand und  $I$  der Statorstrom. Die Beziehung zwischen dem Strom  $I$  und dem Drehmoment  $M_m$  ist

$$\frac{M_m(t, \mathbf{p})}{N_{\text{pp}} m} = I \sin \beta \left( \Phi_0(\mathbf{p}) + (L_d(\mathbf{p}) - L_q(\mathbf{p})) I \cos \beta \right),$$

wobei  $N_{\text{pp}}$  die Polpaarzahl bezeichnet,  $\Phi_0$  der Rotorfluss,  $L_d$  die Induktanz der Längsachse,  $L_q$  die Induktanz der Querachse und  $\beta$  der Phasenwinkel, der zum maximalen Drehmoment führt.

#### 3.2 Zufallsvariablen

Um Unsicherheiten in den FZ zu berücksichtigen, wird dieser als stückweise linearer Polynomzug betrachtet, der aus 16 Kontrollpunkten besteht (die roten Punkte in Abb. 4). Mit den schwarzen Pfeilen wird die erste Art von Abweichungen verdeutlicht, die mit der Geschwindigkeit zusammenhängt. Diese Geschwindigkeitsabweichungen beziehen sich auf unterschiedliche Verkehrssituationen oder auf den Fall, dass

der Fahrer Geschwindigkeitsbegrenzungen ignoriert. Daraus ergeben sich acht unabhängig voneinander verteilte Zufallsvariablen. Es wird angenommen, dass die Abweichungen einer Gleichverteilung folgen, d.h.

$$v_i \sim \mathcal{U}\left((1 - \delta_{v_i})\bar{v}_i, (1 + \delta_{v_i})\bar{v}_i\right) \text{ mit } i = 1, \dots, 8$$

mit  $\bar{v}_i$  als Nenngeschwindigkeit und  $\delta_{v_i}$  als maximal zulässige Abweichung. Dieses Szenario wird als Szenario A bezeichnet.

Durch die unterschiedlichen Fahrstile können auch bei der Beschleunigung des Fahrzeugs Abweichungen auftreten. Um diese Effekte nachzuahmen, wird davon ausgegangen, dass vier Kontrollpunkte auch horizontal variieren können (dargestellt durch die blauen Pfeile in Abb. 4.). Auch hier wird angenommen, dass die Parameter unabhängig und gleichverteilt sind, d.h.  $\tau \sim \mathcal{U}(-1, 1)$ . Zur Modellierung wird

$$\delta_{t_i} = \begin{cases} \delta_t \tau(\theta)(t_i - t_{i-1}) & \text{für } \tau(\theta) < 0 \\ \delta_t \tau(\theta)(t_{i+1} - t_i) & \text{sonst,} \end{cases}$$

eingeführt, wobei  $\delta_t \in (0,1)$  ein Faktor ist, der die Stärke der Abweichungen steuert. Dieses Szenario wird als Szenario B bezeichnet. Natürlich ist auch eine Kombination beider Szenarien möglich und dies wird Szenario A+B genannt.

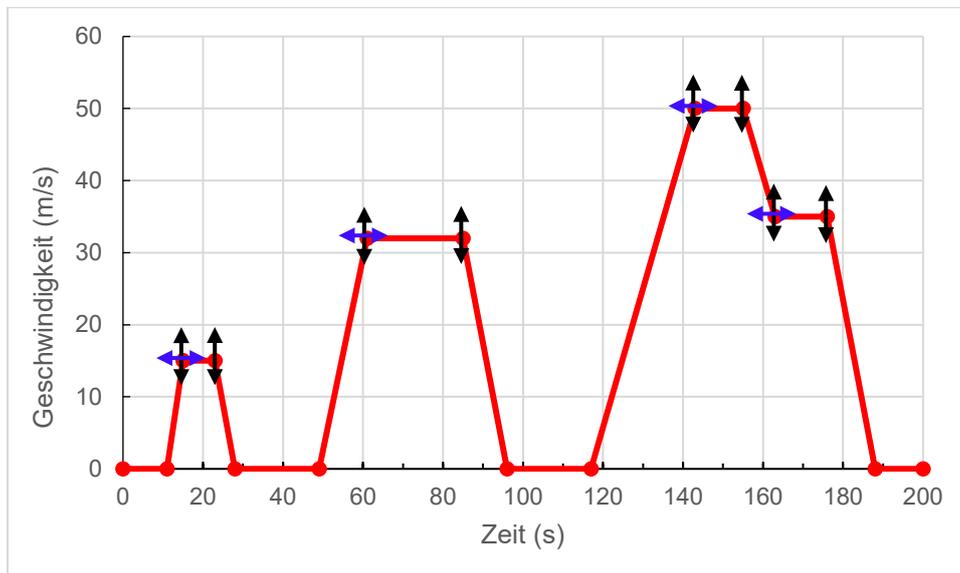


Abb. 4: Die Punkte kennzeichnen die Kontrollpunkte, die den europäischen städtischen Fahrzyklus bilden. Die schwarzen Pfeile zeigen die berücksichtigten Geschwindigkeitsabweichungen an. Die blauen Pfeile zeigen die berücksichtigten Zeitabweichungen an.

Weitere Ursachen für Parametervariationen ergeben sich durch die Koeffizienten des Roll- und Luftwiderstands im mechanischen Modell. Es ist bekannt, dass nasse Straßenbedingungen die Roll- und Widerstandskoeffizienten beeinflussen, nämlich dahingehend, dass  $C_{rr}$  auf nassen Straßen um den Faktor  $\delta_{rr} = 1,3$  [14] und  $C_d$  auf nassen Oberflächen um den Faktor  $\delta_d = 1,2$  zunehmen können [15]. Daher werden in dieser Arbeit folgende Gleichverteilungen für diese Koeffizienten angenommen,

$$C_{rr} \sim \mathcal{U}(C_{rr,tr}, \delta_{rr} C_{rr,tr}),$$

$$C_d \sim \mathcal{U}(C_{d,tr}, \delta_d C_{d,tr}),$$

wobei der Index „tr“ die Werte unter trockenen Bedingungen markiert. Man beachte, dass der erwartete Zustand des Fahrzeugs halb-nass ist. Dieses Szenario wird als Szenario C bezeichnet.

#### 4 Robuste Optimierung und stochastische Kollokation

Die nominale Optimierung, die parametrische Abweichungen nicht berücksichtigt, wird beschrieben durch

$$\min_{\mathbf{p}} p_1 p_2$$

sodass

$$G(\mathbf{p}) = \begin{cases} \eta_d - \eta(\mathbf{p}) \leq 0 \\ M_{\max,d} - M_{\max}(\mathbf{p}) \leq 0 \\ \begin{cases} p_1^l - p_1, \\ p_2^l - p_2, \\ p_3^l - p_3, \\ -p_3^u + p_3, \\ p_2 + p_3 - 15, \\ 3p_1 - 2p_3 - 50, \end{cases} \leq 0. \end{cases}$$

Der Index "d" symbolisiert den angestrebten Wert einer Zielgröße. Die ersten beiden Nebenbedingungen enthalten implizit die Lösung der PDGL. Die darauffolgenden vier Nebenbedingungen setzen Unter- und Obergrenzen für  $\mathbf{p}$ , nämlich  $[p_1^l, p_2^l, p_3^l] = [1, 1, 5]$  und  $[p_1^u, p_2^u, p_3^u] = [\infty, \infty, 14]$ . Die vorletzte Nebenbedingung stellt die Gültigkeit der affinen Zerlegung sicher, so dass die Teilgebiete sich nicht überschneiden. Die letzte Bedingung garantiert, dass der Magnet innerhalb des Rotors eingebettet bleibt.

Um ein robustes Optimum zu finden, werden die Erwartungswerte  $\mathbb{E}[\cdot]$  und die Standardabweichungen  $\text{std}[\cdot]$  in der Kostenfunktion und den Nebenbedingungen berücksichtigt (siehe z.B. [6]). Die Minimierung der Magnetgröße, d.h. der Fläche in zwei Dimensionen, lautet

$$\min_{\bar{\mathbf{p}}} \bar{p}_1 \bar{p}_2 + \lambda \text{std}[p_1 p_2].$$

Zur Vereinfachung der Notation schreiben wir  $p_i = p_i(\theta)$ ,  $\bar{p}_i = \mathbb{E}[p_i]$ . Die Variable  $\lambda$  ist aufgrund der Verwendung der Standardabweichung anstelle der Varianz - im Gegensatz zu [16] - ein dimensionsloser Risikoaversionsparameter. Für die Nebenbedingungen ergibt sich

$$\begin{aligned} \eta_d - \mathbb{E}[\eta(\mathbf{p})] + \lambda \text{std}[\eta(\mathbf{p})] &\leq 0, \\ M_{\max,d} - \mathbb{E}[M_{\max}(\mathbf{p})] + \lambda \text{std}[M_{\max}(\mathbf{p})] &\leq 0, \\ \mathbb{E}[G(\mathbf{p})] + \lambda \text{std}[G(\mathbf{p})] &\leq 0. \end{aligned}$$

Für die Optimierung wird ein gradientenbasiertes Verfahren verwendet: sequentielle quadratische Programmierung (SQP). Die benötigten Hesse-Matrizen werden durch ein Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno-Verfahren approximiert und aktualisiert. Weitere Informationen zu diesen Algorithmen finden sich in [17]. Die Formulierung ermöglicht aber auch die Verwendung anderer Optimierungsalgorithmen, z.B. einen genetischen Algorithmus.

Tab. 1: Anzahl der Zufallsvariablen für die verschiedenen Szenarien. Die zweite und dritte Spalte zeigen die Anzahl der Quadraturpunkte in Abhängigkeit vom Quadratschema.

Szenario	Anzahl der Zufallsvariablen		Smolyak
		Tensoriell	
C	5	3.125	241
B	7	78.126	589
A	11	48.828.125	2.069
A+B	15	$> 10^{10}$	5.021

Bisher ist ungeklärt, wie die Erwartungswerte und Standardabweichungen berechnet werden. Um diese Integrale zu bestimmen, wird eine Quadratur verwendet. Für eine Zufallsvariable  $q$  erhält man

$$\mathbb{E}[q] \approx \sum_{k=1}^N w_k q(z_k) \quad \text{und} \quad \text{std}[q] \approx \sqrt{\sum_{k=1}^N w_k (q(z_k) - \mathbb{E}[q])^2},$$

mit  $N$  als Anzahl der Quadraturpunkte,  $w_k$  als ihre Gewichte und  $z_k$  als die Punkte selbst. Zur Bestimmung dieser Werte könnte man die Monte-Carlo-Methode verwenden. Die Konvergenzrate dieser Methode ist zwar unabhängig von der Anzahl der Zufallsvariablen, jedoch konvergiert die Methode so langsam, dass sie trotz der affinen Zerlegung rechenintensiv wird. Alternativ kann man eine stochastische Kollokation verwenden. Eine tensorielle Kollokationsmethode würde jedoch die Anzahl der Quadraturpunkte drastisch erhöhen (Tab. 1). Dies ist bekannt als „Fluch der Dimensionen“. Um die hohe Anzahl von Quadraturpunkten zu reduzieren, werden für die Quadratur dünnbesetzte Smolyak-Gitter [18] gewählt (Tab. 1). Eine weitere Reduzierung der Anzahl der PDGL-Auswertungen könnte durch ein Clenshaw-Curtis-Gitter [19] oder adaptive Leja-Ansätze [20] erreicht werden.

## 5 Ergebnisse

Die im vorherigen Abschnitt vorgestellten Optimierungsverfahren werden nun auf das im zweiten Abschnitt beschriebene Maschinenmodell angewandt. Die ursprüngliche Magnetgröße beträgt  $133 \text{ mm}^2$ . Der gewünschte Wirkungsgrad wird auf  $97,07 \%$  eingestellt und das maximale Drehmoment auf das während des Fahrzyklus erreichten Werts  $2,57 \text{ Nm}$  gesetzt. Die Maße des Fahrzeuges sind  $R_{\text{wh}} = 120 \text{ mm}$ ,  $m_v = 15 \text{ kg}$ ,  $N_{\text{dr}} = 2$  und  $S_f = 1 \text{ m}^2$ . Man kann diese Werte so interpretieren, dass es sich um ein elektrisches Go-Kart handelt.

Um ein robustes Optimum zu finden, seien die maximalen Abweichungen der Magnetparameter  $\delta_p$  alle  $0,2 \text{ mm}$ , die Schwankungsparameter  $\delta_{v_i}$  für die Geschwindigkeiten  $0,2$  und der Faktor  $\delta_t$  für das Fahrprofil  $0,78$ . Zur Validierung der Robustheit des für jedes Szenario gefundenen Optimums wird ein Monte-Carlo-Verfahren mit Schwankung um den durch die Optimierung gefunden Wert durchgeführt. Insgesamt werden  $10.000$  Zufallsvektoren gemäß den zuvor eingeführten Verteilungen erzeugt. Die Erfolgsrate ist definiert als der Anteil der Proben, die den gewünschten Wirkungsgrad und das maximale Drehmoment erfüllen, zur Gesamtanzahl. Sie zeigt somit an, wie robust das Optimum gegenüber den eingeführten Abweichungen ist.

Die Ergebnisse sind in Tab. 2 dargestellt. Erstens ist zu erkennen, dass mit dem Ziel eines robusten Optimums Kosten einhergehen, denn es ergeben sich größere Magnete. Zweitens sind die ursprüngliche Konfiguration und das nominale Optimum nicht robust gegenüber jedem Szenario. Drittens ändert die Optimierung in Bezug auf Szenario A, Szenario B oder Szenario A+B die Magnetgröße nur geringfügig, während die Robustheit des Optimums durch die Abweichungen in diesen Szenarien nicht beeinflusst wird. Als letzter Punkt stellt sich heraus, dass die Robustheit gegenüber den Abweichungen im mechanischen Modell des Fahrzyklus am schwersten zu erreichen ist. Dies zeigt sich an den niedrigen Erfolgsraten der gefundenen optimalen Konfiguration bezüglich Szenario C. Selbst das für Szenario C gefundene Optimum ist nicht sicher gegenüber diesen Abweichungen [7]. Das könnte durch eine pessimistischere „Worst-Case“-Optimierung erreicht werden, siehe z.B. [6].

In Abb. 5 sind die FZs der Anfangskonfiguration und der nach der Optimierung erhaltenen Konfiguration bezüglich Szenario C dargestellt. Das neue Design benötigt weniger Strom, um die gleiche Drehzahl zu erreichen. Darüber hinaus wird durch das neue Design erreicht, dass sich der Wirkungsgrad der Maschine in den Betriebspunkten etwas steigert. Dies zeigt, dass für jeden Betriebspunkt die Leistung der Maschine verbessert werden konnte.

Tab. 2: Ergebnisse der optimalen Permanentmagnetgrößen nach nominaler und robuster Optimierung bzgl. der Szenarien A, B und C. Die Erfolgsraten zeigen, wie robust das Optimum gegenüber den verschiedenen Szenarien ist [7].

Szenario	Initial	Nom. Opt.	A	B	A+B	C
$S_{pm}$ (mm <sup>2</sup> )	133,00	63,33	82,70	86,69	83,46	100,09
Erfolgsraten (%) gegenüber						
A	42,96	42,88	99,99	100,00	100,00	100,00
B	89,92	83,59	100,00	100,00	100,00	100,00
A+B	74,37	70,89	100,00	100,00	100,00	100,00
C	0,00	0,00	20,45	38,77	23,10	91,14

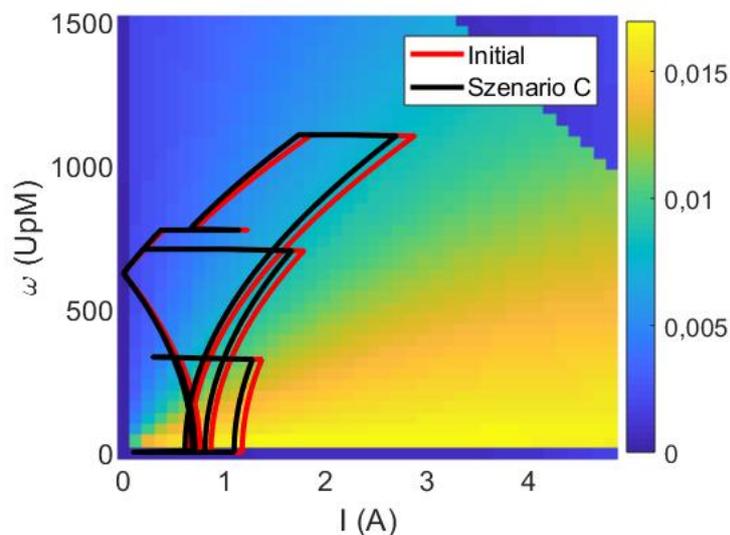


Abb. 5: Die Fahrzyklen für das ursprüngliche Design und für das in Szenario C optimierte Maschinendesign. Die Farbskala zeigt die absolute Änderung der Effizienz der optimierten Maschine gegenüber der ursprünglichen Konfiguration in allen betrachteten Betriebspunkten.

## 6 Fazit

Eine permanentenerregte Synchronmaschine wurde so optimiert, dass ihr Design sowohl robust gegenüber Abweichungen in den Abmessungen der Magnete als auch gegenüber Schwankungen in Geschwindigkeit und Beschleunigung ist. Eine vollständige Robustheit mit Bezug auf ungewisse Wetterbedingungen konnte mit dem probabilistischen Ansatz nicht erreicht werden. Die endgültige Konstruktion erweist sich jedoch als effizienter, nicht nur über den gesamten Fahrzyklus, sondern in allen betrachteten Betriebspunkten. Durch die Anwendung einer affinen Zerlegung wurde ein rechnerisch effizienter Optimierungsalgorithmus etabliert.

## 7 Literatur

- [1] Binnemans, K. et al. „Recycling of rare earths: a critical review“, *J. Clean. Prod.*, vol. 51, pp. 1 – 22, 2013.
- [2] Widmer, J.D. et al. „Electric vehicle tractions motors without rare earth magnets“, *Sust. Mat. Tech.*, vol. 2, pp. 7 –13, 2015.
- [3] Coenen, I. et al. „Manufacturing tolerances: estimation and prediction of cogging torque influenced by magnetization faults“, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 48, no. 5, pp. 1 – 9, 2011.

- [4] Duan, Y. et al. „A review of recent developments in electrical machine design optimization methods with a permanent magnet synchronous motor benchmark study”, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 49, no. 3, pp. 1268–1275, 2013.
- [5] Gabrel, V. et al. „Recent advances in robust optimization: an overview”, *E. J. Oper. Res.*, vol. 235, no. 3, pp. 471–483, 2014.
- [6] Bontinck, Z. et al. „Robust optimization formulations for the design of an electric machine”, *IET Sci., Meas. Tech.*, vol. 12, no. 8, pp. 939–948, 2018.
- [7] D’Angelo, L. et al. „Robust Optimization of a permanent magnet synchronous machine considering Uncertain Driving Cycles”, *IEEE Trans. Magn.*, submitted.
- [8] Bontinck, Z. „Simulation and robust optimization for electric devices with uncertainties“ (Doctoral dissertation), Technische Universität Darmstadt.
- [9] Pahner, U. et al. „A parametric finite element environment tuned for numerical optimization”, *IEEE Trans. Magn.*, vol. 34, no. 5, pp. 2936–2939, 1998.
- [10] Nasar, S.A. et al. *Permanent magnet, reluctance, and self-synchronous motors*. CRC press, 1993.
- [11] Quarteroni, A. et al., *Numerical Approximation of Partial Differential Equations*, ser. Springer Series in Computational Mathematics. Berlin: Springer, 2008, vol. 23.
- [12] P. Monk, *Finite Element Methods for Maxwell’s Equations*. Oxford University Press, 2003.
- [13] Rozza, G. et al., „Reduced basis approximation and a posteriori error estimation for affinely parametrized elliptic coercive partial differential equations”, *Arch. Comput. Methods. Eng.*, vol. 15, no. 3, 2008.
- [14] Ejsmont, J. et al., „Influence of Road Wetness on Tire-Pavement Rolling Resistance”, *J. Civ. Eng. Archit.*, vol. 9, pp. 1302–1310, 2015.
- [15] Gaylard, A. P. et al., „Surface contamination of cars: A review”, *J. Aut. Eng.*, vol. 231, no. 9, pp. 1160–1176, 2017.
- [16] Huan, B. et al., „A robust design method using variable transformation and Gauss–Hermite integration”, *Int. J. Num. Meth. Eng.*, vol. 66, no.12, pp. 1841–1858, 2006.
- [17] Nocedal, J. et al., *Numerical optimization*, 2nd ed., ser. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering. Springer, 2006.
- [18] Bungartz, H. et al., „Sparse grids”, *Acta Numer.*, 2004.
- [19] Barthelmann, V. et al., „High dimensional polynomial interpolation on sparse grids”, *Adv. Comp. Math.*, vol. 12, no. 4, pp. 273–288, 2000.
- [20] Loukrezis, D. et al., „Adaptive Sparse Polynomial Chaos Expansions via Leja Interpolation”, *arXiv Preprint*, 2019.

# Aerodynamische Designoptimierung eines Dopelement-Heckflügels

Marc S. Schneider, Daniel Grimmeisen

CASCATE GmbH

Dieser Artikel beschreibt die aerodynamische Untersuchung und Optimierung eines Dopelement-Heckflügels aus dem Motorsport. Zur Optimierung wurden die Position und die Einstellwinkel der Flügelemente modifiziert. Sowohl die dafür erforderlichen stationären RANS-Simulationen, als auch die Parameteroptimierung wurden in STAR-CCM+ ausgeführt, während die CAD-Geometrie ausschließlich in NX erstellt und modifiziert wurde. In jeder Design-Iteration empfing NX die gewünschten Parameter vom Optimierer in STAR-CCM+, modifizierte die Geometrie und sendete sie über ein bidirektionales Interface an STAR-CCM+ zurück. Anschließend vernetzte STAR-CCM+ die aktualisierte Geometrie und startete eine RANS-Simulation für das Design. Für die Optimierung wurden verschiedene Verfahren und Zielgrößen getestet. Im Vergleich zur Anfangskonfiguration wurde eine deutliche Verbesserung von Abtriebskraft und Widerstand erreicht.

## 1 Einführung

In diesem Artikel soll eine Studie zur geometrischen Designoptimierung eines Heckflügels aus dem Bereich des Motorsports beschrieben werden. Der Heckflügel hat die Aufgabe, eine Abtriebskraft zu erzeugen, die den Anpressdruck an den Hinterreifen und somit die maximale Kurvengeschwindigkeit erhöht. Dabei produziert er aber unvermeidlich auch eine Widerstandskraft, welche die Beschleunigung und die Maximalgeschwindigkeit auf der Geraden reduziert. Die Geometrie des Heckflügels ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Einstellwinkel der beiden Flügel sind veränderbar und sollen Parameter der Designstudie sein. Die horizontalen und vertikalen Positionen der Flügel bezüglich der Endplatten werden ebenfalls als Designparameter betrachtet. Ziel der Designoptimierung ist es, für eine gegebene Geschwindigkeit eine Konfiguration zu finden, die eine möglichst große Abtriebskraft bei verhältnismäßig kleiner Widerstandskraft erzeugt.

Die Geometrie wurde in Siemens NX erstellt und während der Designstudie auch nur dort modifiziert. Die Strömungssimulationen liefen in Simcenter STAR-CCM+. Der Optimierungszyklus wurde von Design Manager gesteuert, einem Werkzeug für Parameterstudien und Optimierung, das in STAR-CCM+ integriert ist. Während der Optimierung schickte Design Manager die gewünschten Werte der Designparameter an NX, NX modifizierte die Geometrie und schickte diese zurück an STAR-CCM+ über den CAD-Client STAR-NX, ein Plug-In für NX, das eine Schnittstelle zur bidirektionalen Kommunikation zwischen den Programmen bereitstellt.

Abschnitt 2 dieses Artikels beschreibt den Ablauf der Optimierungsstudie. Abschnitt 3 umreißt die numerische Modellierung. Abschnitt 4 beschreibt verschiedene Ansätze für die Designoptimierung. Die Ergebnisse sind in Abschnitt 5 dargestellt. Abschnitt 6 gibt eine abschließende Zusammenfassung der Erkenntnisse.



Abb. 1: Der Dopelement-Flügel (blau: großer Flügel, grau: kleiner Flügel, braun: Endplatten)

## 2 Ablauf der Optimierungsstudie

- 1) Die Anfangskonfiguration wird als parametrisierte Geometrie in Siemens NX erstellt
- 2) Über das Plug-In STAR-NX wird die Geometrie an Simcenter STAR-CCM+ übertragen. STAR-NX ermöglicht die direkte Kommunikation zwischen NX und STAR-CCM+ und den Austausch von Daten direkt über den Arbeitsspeicher, ohne dass Dateien auf die Festplatte geschrieben werden müssen
- 3) Das Simulations-Setup und das Gitter werden in Simcenter STAR-CCM+ erstellt
- 4) Die Optimierungsstudien werden mit Design Manger ausgeführt, einem speziellen Tool für Designstudien und Optimierung innerhalb von STAR-CCM+. Design Manager steuert den folgenden Optimierungs-Zyklus:
  - a. Design Manager sendet die Designparameter an STAR-CCM+
  - b. STAR-CCM+ fordert über das Interface STAR-NX eine aktualisierte Geometrie von NX an
  - c. NX modifiziert die Geometrie entsprechend der Parameter und schickt sie über STAR-NX zurück an STAR-CCM+
  - d. STAR-CCM+ erstellt mit der veränderten Geometrie das Strömungsvolumen, vernetzt dieses und startet die Simulation
  - e. Design Manager erhält von STAR-CCM+ die Ergebnisse der Simulation, wählt auf Basis der aktuellen und vergangenen Ergebnisse neue Parameter und startet den Zyklus erneut, bis die maximale Anzahl an Designs erreicht ist
- 5) Das Postprocessing der Ergebnisse erfolgt in Design Manager und/oder in HEEDS Post, dem Postprocessing-Tool der Optimierungssoftware Simcenter HEEDS

Dieser Ablauf ist in Abbildung 2 grafisch veranschaulicht.

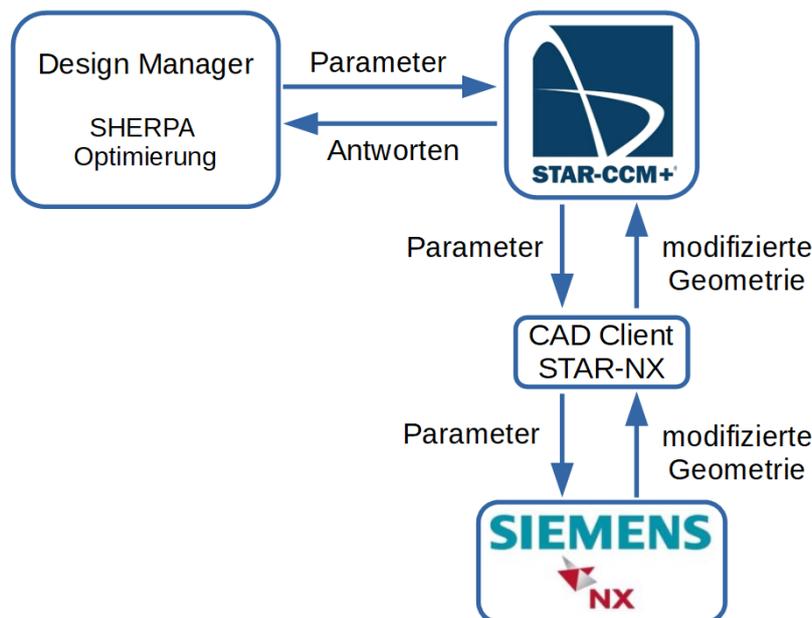


Abb. 2: Der Ablauf der Designstudie mit NX, STAR-CCM+ und Design Manager

## 3 Numerische Modellierung

### 3.1 Geometrie

Der Heckflügel ist ein Doppelflügel mit Endplatten auf beiden Seiten. Nur die Hälfte der Geometrie wird modelliert. Die andere Hälfte wird durch eine Symmetrie-Randbedingung ersetzt, um die Rechenzeit der einzelnen Simulationen kurz zu halten. Die komplette Geometrie ist in Abbildung 1 dargestellt. Sie wurde in Siemens NX mit einem Feature-basierten Workflow erstellt, wobei alle wichtigen Maße als *Expressions* definiert wurden. Die relevanten *Expressions* wurden dann über das Plug-In STAR-NX als Simulationsparameter in STAR-CCM+ und Design Manager verfügbar gemacht.

Die Flügel haben gewölbte Profile mit Dicken von 18 % für den großen und 12 % für den kleinen Flügel. Die Profiltiefen sind 0,3 und 0,15 m. Die Länge beider Flügel beträgt 1,4 m, bzw. 0,7 m für die symmetrische Halb-Geometrie. Die Flügel sind mit ca. 0,4 m langen, 0,14 bis 0,23 m hohen Endplatten verbunden. In der Ausgangskonfiguration befinden sich die Vorderkanten der Flügel bei 16 mm (groß) bzw. 267 mm (klein) Abstand von der Vorderkante der Endplatte. Die Geometrie wurde mit Hilfe des Plug-Ins STAR-NX von NX zu Simcenter STAR-CCM+ übertragen. Dieses Plug-In ermöglicht die direkte Kommunikation zwischen dem CAD-Kernel von NX und dem Server-Prozess von STAR-CCM+ über den Arbeitsspeicher.

### 3.2 Gitter

Das unstrukturierte Rechengitter aus polyederförmigen Zellen wurde in STAR-CCM+ erstellt. Im Nahbereich der Wände wurden Prismenschichten mit geometrischer Dickenverteilung eingebaut, um die turbulente Grenzschicht an der Wand aufzulösen. Das (symmetrische) Rechengebiet umgibt den Doppelflügel in Form einer Halbkugel mit Radius 8,0 m, was ungefähr dem 27-fachen der Flügeltiefe, oder dem 20-fachen der Länge der gesamten Geometrie (in Strömungsrichtung) entspricht. Der große und der kleine Flügel sind mit 50 bzw. 30 polyederförmigen Zellen entlang der Tiefenrichtung aufgelöst, und mit ca. 90 Zellen in Richtung der Spannweite des Halbflügels (außer im Bereich der Flügelnase, dort sind die Zellen deutlich kleiner, um die Krümmung aufzulösen). In der näheren Umgebung und im Nachlauf des Flügels wurden mehrere verfeinerte Volumenbereiche platziert.

### 3.3 Physikalische Modellierung und Randbedingungen

Für jedes Design wurde eine stationäre RANS-Simulation gerechnet. Die Strömung wird als voll turbulent angenommen und die Turbulenz wurde mit dem Menter k-Omega-SST-Modell [1] modelliert. Die turbulente Grenzschicht an den Wänden wird vom Gitter größtenteils gut aufgelöst. Trotzdem werden Wandfunktionen angewandt, um auch in gröber aufgelösten Bereichen brauchbare Ergebnisse zu erzielen. Die Luft wird als isotherm und als ideales Gas angenommen. Am äußeren Rand wird eine Free-Stream-Randbedingung mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 200 km/h, einem Druck von 1013,25 mbar und einer Temperatur von 26,85 °C (300 K) angewandt. Jede Simulation startet von einem homogenen Geschwindigkeits- und Druckfeld als Anfangsbedingung. Die Konvergenz wird sowohl auf Basis der Residuen, als auch mithilfe von Abtriebskraft und Widerstandskraft als integralen Maßen beurteilt. Die Simulationen laufen automatisiert, bis ein brauchbares Maß an Konvergenz sowohl in den Residuen, als auch in den integralen Größen Abtrieb und Widerstand erkennbar ist.

### 3.4 Numerische Methoden

In STAR-CCM+ werden die Navier-Stokes-Gleichungen mit der Finite-Volumen-Methode gelöst. Dabei wird der *Segregated Solver* verwendet, das ist ein druckbasierter Solver, der den *SIMPLE*-Algorithmus für die Kopplung zwischen Druck- und Geschwindigkeitsfeld verwendet (vgl. z.B. [2]). Die Energiegleichung wird nicht gelöst, da die Luft als isotherm betrachtet wird. Alle konvektiven und diffusiven Flüsse werden mit dem Standard-Verfahren von STAR-CCM+ diskretisiert (second-order upwind [3]).

## 4 Designoptimierung

Die Designoptimierung erfolgt in STAR-CCM+ mit Design Manager. Dieses Tool benutzt den Optimierungsalgorithmus *SHERPA*, der eine Kombination aus lokalen und globalen, sowie gradientenbasierten und stochastischen Verfahren ist und der gute Performance bei einer Vielzahl ingenieurmäßiger Anwendungen gezeigt hat [4].

Die Parameter in der Optimierungsstudie sind:

- die vertikale Position,
- die horizontale Position,
- der Einstellwinkel

und zwar jeweils sowohl für den großen als auch für den kleinen Flügel, also insgesamt sechs Parameter. Die Werte der Parameter werden von geometrischen Einschränkungen begrenzt, z.B. müssen die Flügel einen Mindestabstand von den Kanten der Endplatten einhalten und die Positionen der Flügel müssen so gewählt

sein, dass sie bei keiner zulässigen Kombination von Einstellwinkeln miteinander kollidieren. Die Maximal- und Minimalwerte der Parameter sind in Tabelle 1 aufgelistet. Jeder Wert ist als Offset von der Anfangskonfiguration zu verstehen. Für die Designoptimierung werden Schritte von 2 mm für Längen und von 1 Grad für Winkel vorgegeben.

Parameter	Minimum	Maximum
Großer Flügel horizontale Position [mm]	-16	4
Großer Flügel vertikale Position [mm]	0	20
Kleiner Flügel horizontale Position [mm]	0	20
Kleiner Flügel vertikale Position [mm]	-18	2
Großer Flügel Einstellwinkel [deg]	-5	12
Kleiner Flügel Einstellwinkel [deg]	-15	20

Tab. 1: Die Designparameter mit ihren Minimal- und Maximalwerten

Die Zielfunktionen, die in dieser Studie optimiert werden sollen, sind:

- Abtriebskraft, und
- Widerstandskraft

für die gesamte (symmetrisch-halbe) Doppelflügelkonfiguration. Ziel ist es, für eine gegebene Geschwindigkeit die Abtriebskraft möglichst groß zu machen, dabei jedoch die Widerstandskraft möglichst klein zu halten.

Beide Kräfte werden aus den lokalen Oberflächenkräften berechnet, wobei die Abtriebskraft in vertikale Richtung nach unten definiert ist und die Widerstandskraft nach hinten in Anströmrichtung. Für die Auswertung wird außerdem das Verhältnis von Abtriebskraft zu Widerstandskraft verwendet (im Folgenden als  $A/W$  = Auftrieb-zu-Widerstand bezeichnet).

Da die Optimierungsstudie zwei konkurrierende Ziele hat, gibt es verschiedene Wege um die Performance des Designs zu berechnen. In dieser Studie werden die folgenden drei Ansätze benutzt:

- Auflösung einer *Pareto-Front*
- Das  $A/W$ -Verhältnis als skalare Zielfunktion
- Eine gewichtete Summe der Zielgrößen als skalare Zielfunktion

Für jeden dieser Ansätze wurde eine separate Designstudie mit jeweils 100 Designs ausgeführt.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Pareto-Front

Dieser Ansatz versucht, eine Pareto-Front aufzulösen, ohne sich für eine Gewichtung der einzelnen Zielgrößen zu entscheiden. Ein Punkt auf der Pareto-Front ist optimal in dem Sinne, dass es keinen anderen Punkt im Parameterraum gibt, der mindestens gleich gut in einem Ziel und besser im anderen ist. Daraus lässt sich kein eindeutiges Optimum ableiten, sondern nur eine Anzahl formal gleich geeigneter Designs entlang der Pareto-Front, die sich aber in den tatsächlichen Werten der beiden Zielgrößen massiv unterscheiden können. Das gewünschte Design kann durch manuelle Auswahl oder auch durch zusätzliche (nachträgliche) Einführung einer Zielfunktion gewählt werden.

Design Manager bietet dafür den Optimierungstyp *Multi Objective Tradeoff (Pareto)* an. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 als grüne Kreuze dargestellt. Diese Methode erzeugt ein sehr breites Spektrum an Designs und gibt einen guten Überblick über den Parameterraum. Sie erzeugt allerdings auch viele Punkte in Bereichen des Parameterraums, die für das endgültige Design nicht relevant sind. Zum Beispiel liefern die Designs im unteren linken Bereich von Abbildung 3 eine sehr niedrige, nicht ausreichende Abtriebskraft bei gleichzeitig sehr niedrigem Widerstand, während die Designs im oberen rechten Bereich eine sehr hohe Abtriebskraft erzeugen, aber in Verbindung mit inakzeptabel hohem Widerstand. Im Gegensatz dazu sind nur wenige Punkte im Bereich

zwischen 600 und 900 N Abtriebskraft zu finden, einem Bereich, der einen guten Kompromiss zu bieten scheint. Wenn dieser Bereich besser aufgelöst werden soll, sind deutlich mehr Designpunkte oder eine andere Art von Studie erforderlich.

## 5.2 A/W-Verhältnis als skalare Zielfunktion

Dieser Ansatz versucht, die beiden konkurrierenden Zielgrößen in eine einzige Zielgröße zu kombinieren, indem das Verhältnis aus Abtriebskraft und Widerstandskraft verwendet wird. Für diese einzelne Zielgröße wird ein Maximum gesucht (d.h. der Abtrieb soll groß sein im Verhältnis zum Widerstand). Abbildung 3 zeigt das Ergebnis mit roten Kreisen. Das beste Design ist in der Abbildung markiert und in Tabelle 2 dargestellt. Offensichtlich führt die Maximierung des A/W-Verhältnisses in diesem Fall zu Designs, die kleine Abtriebskraft und kleinen Widerstand aufweisen, was aber für das konkrete Problem nicht sinnvoll ist, da eine hohe Abtriebskraft eigentlich höher priorisiert werden sollte als ein niedriger Widerstand. Um die gewünschte Priorisierung sinnvoll zu ermöglichen, wird im folgenden Abschnitt eine andere Zielfunktion eingeführt.

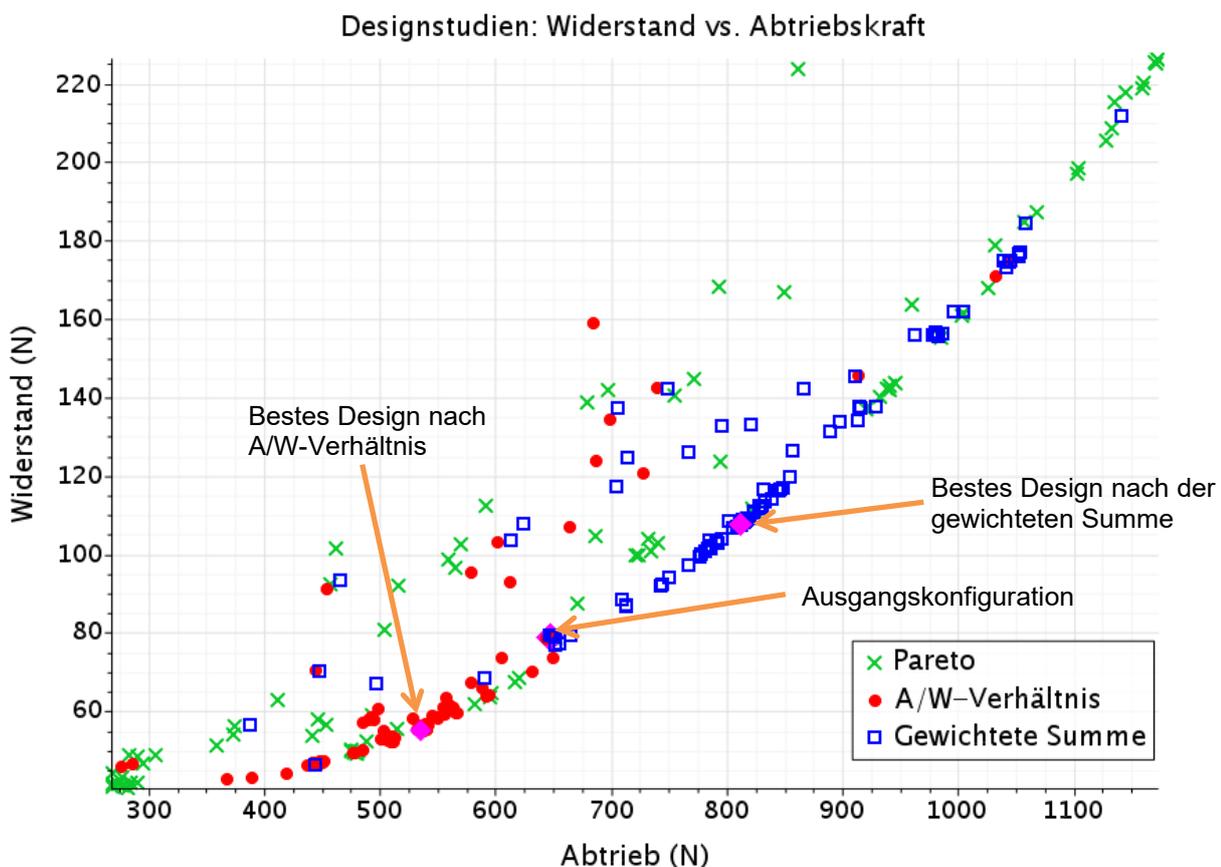


Abb. 3: Ergebnisse der Optimierungsstudien: Widerstandskraft vs. Abtriebskraft

## 5.3 Gewichtete Summe der Zielgrößen

Um eine hohe Auflösung im mittleren Teil der Pareto-Front zu bekommen, wird nun eine Zielfunktion als gewichtete Summe aus Abtrieb und Widerstand definiert. Große Abtriebskraft wird höher bewertet als kleiner Widerstand. Die Abtriebskraft  $A$  wird deshalb mit dem Faktor 2 gewichtet und die Widerstandskraft  $W$  mit dem Faktor -1 (negatives Vorzeichen, weil der Widerstand minimiert werden soll). Dies führt zur folgenden Zielfunktion (die maximiert werden soll):

$$P = 2A - W$$

Die Ergebnisse sind als blaue Quadrate in Abbildung 3 dargestellt. Man sieht, dass der Optimierer die meisten Designs wie gewünscht im mittleren Bereich des Diagramms positioniert und dabei sogar die Pareto-Front in diesem Bereich recht gut auflöst. Das beste Design gemäß dieser Studie ist in Abbildung 3 mit einem Pfeil

markiert und in Tabelle 2 angegeben. In Bezug auf die Zielfunktion ist dieses Ergebnis 25,3 % besser als die Ausgangskonfiguration.

Design	Abtrieb [N]	Widerstand [N]	A/W-Verh.	Gewichtete Summe [N]	Hor. pos. groß [mm]	Vert. pos. groß [mm]	Hor. pos. klein [mm]	Vert. pos. klein [mm]	Winkel groß [deg]	Winkel klein [deg]
Ausgangskonfig.	649	79	8,2	1219	0	0	0	0	0	0
Optimum lt. A/W-Verhältnis	511	52	9,8	970	-16	0	20	2	-5	-3
Optimum lt. gewicht. Summe	818	109	7,5	1527	4	20	0	0	-2	7

Tab. 2: Ausgangskonfiguration und optimale Designs basierend auf dem A/W-Verhältnis und der gewichteten Summe als Zielgröße

#### 5.4 Diskussion und Auswahl des Designs

Der in Abschnitt 5.1 beschriebene Ansatz berücksichtigt, dass es kein eindeutiges optimales Design gibt, sondern nur eine Menge formal gleichberechtigter Designs entlang der Pareto-Front, aus denen später entsprechend der gewünschten Gewichtung der Parameter ausgewählt werden kann. Die Design-Auswahl liegt damit im Ermessen des Anwenders und ist nicht besonders objektiv. Der in Abschnitt 5.2 beschriebene Ansatz hat nicht die gewünschten Ergebnisse geliefert, da das A/W-Verhältnis als Zielfunktion irreführend ist. Der Ansatz aus Abschnitt 5.3 kann tatsächlich ein brauchbares, eindeutiges Optimum liefern, obwohl das Ergebnis von der Wahl der Gewichte in der Zielfunktion abhängt, die wiederum im Ermessen des Anwenders liegen.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde letztendlich das beste Design aus der Studie mit der gewichteten Summe (Abschnitt 5.3) als finales Design gewählt. Ergänzend sei noch angemerkt, dass die Werte für die horizontalen und vertikalen Positionen in Tabelle 2 größtenteils an den Grenzen der erlaubten Werte (aus Tabelle 1) liegen. Dies deutet an, dass vermutlich noch bessere Performance erreichbar wäre, wenn der erlaubte Wertebereich vergrößert würde.

## 6 Zusammenfassung

Eine parametrisierte Geometrie aus Siemens NX wurde erfolgreich in einer Designstudie in STAR-CCM+ benutzt. Die CAD-Geometrie wurde dabei ausschließlich in NX erstellt und modifiziert, während die Designstudie von Design Manager in STAR-CCM+ ausgeführt wurde. Die Parameter und die Geometrie wurden dynamisch modifiziert und mithilfe des NX Plug-Ins STAR-NX über Arbeitsspeicher ausgetauscht. Drei verschiedene Arten von Studien wurden getestet, um Einblick in den Parameterraum zu bekommen. Letztendlich wurde mithilfe einer Zielfunktion auf Basis einer gewichteten Summe von Abtrieb und Widerstand ein Design ausgewählt. In Bezug auf diese Zielfunktion ist das finale Design 25,3 % besser als die Ausgangskonfiguration.

## 7 Literatur

- [1] Menter, F.R.: *Zonal two-equations  $k$ - $\omega$  turbulence models for aerodynamic flows*. AIAA-Paper 93-2906, 1993
- [2] Ferziger, J.H. and Perić, M: *Computational Methods for Fluid Dynamics*, 3rd rev. ed., Springer Verlag, 2002
- [3] Siemens PLM Software: *Documentation of STAR-CCM+ v2019.2*
- [4] Red Cedar Technology: *SHERPA – An Efficient and Robust Optimization/Search Algorithm*, available online: <http://www.redcedartech.com/pdfs/SHERPA.pdf>



Professional Simulation Engineer

A New Standard for  
Simulation Engineers

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

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.

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)
- G. Göß (Schaeffler Technologies)
- R. Helfrich (Intes)
- C. Hühne (DLR)
- C. Katz (Sofistik)
- F. Jurecka (Dassault Simulia)
- J. Krämer (Festo)
- R. Meske (Federal-Mogul Nürnberg)
- W. Moretti (Schindler Elevator)
- E. Niederauer (Siemens PLM Software)
- J. Noack (ZF Group)
- A. Pfaff (PD Tec)
- G. Rapin (Volkswagen)
- A. Starlinger (Stadler Altenrhein)
- A. J. Svobodnik (MVOID Technologies)
- E. Wang (Cadfem)
- D. Wu (IABG)
- M. Zehn (TU Berlin)
- M. Züger (pinPlus)

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

Die Mitglieder sind:

- U. Janoske (Universität Wuppertal), Chair
- A. Avci (Festo)
- R. Banjac (Siemens PLM Software)
- W. Dirschmid (CAE Consulting)
- A. Gill (Ansys Germany)
- T. Grahs (Volkswagen)
- U. Heck (DHCAE)
- B. Hupertz (Ford)

- V. Kassera (CFD Consultants)
- J. Iseler (Dassault Systèmes)
- G. Kohnen (DHBW Mosbach)
- B. Marovic (Mentor Graphics (Deutschland))
- S. Rudolph (Cascade)
- R. Stauch (Hochschule Esslingen)
- M. Stephan (DHBW Mosbach)
- A. Stück (DLR)

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

Folgende Gruppen sind aktuell bei NAFEMS aktiv:

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

Obgleich 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  
mit Ihrem Unternehmen  
NAFEMS-Mitglied!**

NAFEMS hat weltweit über **1.400 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 1.400 Organisationen weltweit

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

**NAFEMS IS THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR THE ENGINEERING MODELLING, ANALYSIS AND SIMULATION COMMUNITY.**

A not-for-profit organisation, our principal aims are to:

Improve the professional status of all persons engaged in the use of engineering simulation

Establish best practice in engineering simulation

Provide a focal point for the dissemination and exchange of information and knowledge relating to engineering simulation

Promote collaboration and communication

Act as an advocate for the deployment of simulation

Continuously improve the education and training in the use of simulation techniques

Be recognised as a valued independent authority that operates with neutrality and integrity

**WE FOCUS ON THE PRACTICAL APPLICATION OF NUMERICAL ENGINEERING SIMULATION TECHNIQUES SUCH AS THE FINITE ELEMENT METHOD FOR STRUCTURAL ANALYSIS, COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS AND MULTIBODY SIMULATION.**

## Why Join?

More than 1300 companies worldwide are members of NAFEMS encompassing industrial practitioners, vendors and academic institutions.

### Better Collaboration

#### **BUILD LASTING BUSINESS ALLIANCES**

NAFEMS events and participation in our various working groups provide outstanding opportunities to forge lasting professional contacts throughout the world of engineering simulation.

#### **EXCHANGE KNOWLEDGE & EXPERIENCE**

NAFEMS is the ultimate forum for exchange of knowledge and experience. Learn from companies who face the same challenges.

#### **LEARN ABOUT THE RESOURCES AVAILABLE**

The requirements of your organisation are unique. We can empower you with the knowledge you need to take the correct business-critical decisions on your requirements.

#### **ENHANCE YOUR COMPANY'S VISIBILITY WORLDWIDE**

NAFEMS is the only organisation that brings together the major software developers, manufacturers, consultancies, and academic institutions from across the globe. Ensure your organisation is visibly part of this global community.

### Increased Productivity

#### **OPTIMIZE THE DESIGN PROCESS**

Learn about potential pitfalls and pick up time saving techniques.

#### **MINIMISE COSTLY PHYSICAL TESTING**

Increase confidence in your company's engineering simulation capabilities.

### Improved Quality

#### **BE COMMITTED TO THE HIGHEST STANDARDS**

NAFEMS membership reinforces your focus on best practice.

#### **BENCHMARK YOUR ORGANISATION'S SIMULATION PROCESS**

Learn first-hand about experiences of other organisations similar to your own.

### Enhanced Innovation

#### **DEVELOP YOUR SKILLS WITH THE LATEST ENGINEERING SIMULATION TECHNIQUES**

Your skills need to keep pace with the ever-advancing world of engineering simulation technology. NAFEMS is the only organisation dedicated to ensuring its members have access to the most advanced, sophisticated methods and thinking in the industry.

#### **BE AT THE FOREFRONT**

The competitive advantage provided by being at the cutting-edge of simulation technology is immeasurable. NAFEMS keeps you there.

#### **PRODUCE BETTER-ENGINEERED PRODUCTS WITH ENHANCED CUSTOMER SATISFACTION**

Customer satisfaction will always be key. NAFEMS provides you with the opportunity use the latest technology in the most efficient manner, ensuring your customers will always receive the most innovative and effective products possible.

## Membership Levels

	<b>Entry</b>	<b>Standard</b>	<b>Corporate Select</b>	<b>Corporate Global</b>
	Ideal for small companies and consultancies, or smaller analysis teams. Also appropriate in areas without a NAFEMS Regional Group.	The perfect level of membership for medium-sized organisations who are looking to get maximum benefit from their involvement.	Tailored for companies who need to share the benefits of membership across several teams and locations. Choose what you need, and where you need it.	Meeting the needs of large multi-national organisations. Covers every employee at every site in your organisation. A truly all-encompassing membership option.
Sites Covered	<b>single site</b>	<b>single site</b>	<b>multiple named sites</b>	<b>all sites globally</b>
Copies of new NAFEMS Publications	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>multiple</b>	<b>multiple</b>
Copies of Benchmark Magazine	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>multiple</b>	<b>multiple</b>
Reduced Rates on NAFEMS Training	4	4	4	4
Discounted Attendance at all NAFEMS Events	4	4	4	4
Preferential Sponsorship rates at NAFEMS Events	4	4	4	4
Access to the PSE Competency Tracker	4	4	4	4
Discounted PSE Certification for all employees	4	4	4	4
Access to the NAFEMS Resource Centre	4	4	4	4
Members-Only Area of the NAFEMS Website	4	4	4	4
Participate in our Technical Working Groups	4	4	4	4
Use of the NAFEMS Member Logo on your Website	4	4	4	4
Free Places at NAFEMS Seminars and Conferences	<b>0</b>	<b>up to 4</b>	<b>multiple</b>	<b>multiple</b>
Company Details, Description and Links on nafems.org	8	4	4	4
Post your Press Releases and News on nafems.org	8	4	4	4
Promotion of your Events on nafems.org	8	4	4	4

**THERE IS A 1 YEAR MINIMUM TERM FOR ALL MEMBERSHIPS. SIGNIFICANT DISCOUNTS ARE AVAILABLE ON LONGER TERMS. ACADEMIC INSTITUTIONS CAN TAKE ADVANTAGE OF THE BENEFITS OF OUR STANDARD MEMBERSHIP FOR THE PRICE OF ENTRY. CONTACT THE TEAM FOR FURTHER DETAILS.**

## Technical Working Groups

The basis of all of NAFEMS activities are co-ordinated by a number of specialist working groups, drawn primarily from our international membership. These working groups identify areas of interest to the engineering simulation community requiring the development of educational materials based on membership surveys and the committee's extensive experience.

An important feature of the publications which are subsequently produced is that each text undergoes a rigorous examination and critique by the experts sitting on the NAFEMS technical working groups which commissioned the work. These working groups draw together a potent blend of leading academic researchers, engineering practitioners and software vendors giving a unique insight and perspective into the problem area being scrutinized.

From time to time, some groups are formed on a short-term basis to address specific issues with experts drawn from the most appropriate technical areas for the duration of the project.

### Technical working groups currently include:

- Analysis Management
- Composites
- Computational Fluid Dynamics
- Computational Structural Mechanics
- Dynamics and Testing
- Education and Training
- Geotechnics
- High Performance Computing

- Manufacturing Process Simulation
- Multi Body Dynamics
- Multiphysics
- Optimisation
- Simulation Data Management
- Stochastics
- Systems Modeling & Simulation

## Nafems Events

**NAFEMS provides our members with as many as fifty seminars, courses, workshops and open forums throughout the world each year. As the only truly independent organisation dedicated to engineering simulation, NAFEMS' events encompass the broadest and most accurate view of the technology.**

### World Congress

As the only truly independent, international event dedicated to engineering simulation, the biennial NAFEMS World Congress has been a fixture on the calendar of everyone involved in FEA, CFD, MBS and CAE for the last three decades. The last Congress welcomed over 600 attendees, all of whom were keenly focussed on analysis and simulation. The Congress is undoubtedly one of the most prestigious and highly focussed simulation and analysis forums available to the community, and is held in highest regard by users, software vendors and academics alike.

### Conferences

Throughout the year, NAFEMS holds a number of conferences including dedicated regional and technology-specific events across the globe.

### Seminar

Several seminars take place every year, focussing on current topics of interest, as well as emerging technology areas.

### Webinars

NAFEMS members benefit from free places\* at many of our seminars as part of membership. Our members also receive significant discounts on our World Congress and Training.

**NAFEMS MEMBERS BENEFIT FROM SEMINAR CREDITS ENABLING MANY OF OUR EVENTS TO BE ATTENDED COMPLETELY INCLUSIVE OF MEMBERSHIP. MEMBERS ALSO RECEIVE SIGNIFICANT DISCOUNTS ON OUR WORLD CONGRESS AND TRAINING.**

## PSE

PSE (Professional Simulation Engineer) Certification allows engineers and analysts within the international simulation community to demonstrate competencies acquired throughout their professional career. Independently assessed by NAFEMS, the international association of the engineering analysis, modelling and simulation community, the certification enables individuals to gain recognition for their level of competency and experience as well as enabling industry to identify suitable and qualified personnel.

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

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



### THE PSE CERTIFICATION STANDARD

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

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

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

### PSE CERTIFICATION HAS BEEN DESIGNED TO:

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

NAFEMS Training

**CLASSROOM COURSES | E-LEARNING | IN-HOUSE TRAINING**

**NAFEMS wealth of experience within the analysis and simulation industry uniquely places us as a provider of quality and worthwhile training.**

**Dedicated to promoting the best use of simulation and analysis, NAFEMS training offers classroom based courses, e-learning and bespoke training solutions.**

**QUALITY**

NAFEMS Training offers courses taught by some of the leading figures within the analysis community who are unrivalled in their experience and expertise. Our tutors are chosen on the basis of their knowledge and practice of the technology involved. All training focuses on practical applications as background theory. We have sought the best in the industry to be able to deliver this to our attendees. Additionally, every single course that we provide is fully accredited by NAFEMS to ensure the highest quality for our members.

**VARIETY**

NAFEMS Training offers a wide variety of courses to meet the various needs of our members. Covering both FEA and CFD, NAFEMS Training courses range from basic to advanced levels. We offer a variety of courses suitable for those relatively new to technology, those who wish to refresh previous knowledge, or for those who wishing to develop their knowledge further. We are committed to providing training that is of real value to the end user so we constantly update our courses and add new courses to reflect the needs of our members.

**FLEXIBILITY**

As NAFEMS Training is dedicated to providing useful and needs driven learning, we also recognise that hectic schedules and budget requirements can often stand in the way of professional development. We have established a programme of training to meet the various needs of the community, from our short based classroom courses, to e-learning to our bespoke in-house training. Through these various options, we are confident that you will find a training solution that will not only meet your needs, but fits around your budget and workload.

**NAFEMS MEMBERS RECEIVE AN EXCLUSIVE 30% DISCOUNT ON ALL COURSES OFFERED BY NAFEMS TRAINING TO FACILITATE THEIR PROFESSIONAL DEVELOPMENT AND ENSURE THEIR SKILLS ARE EVOLVING WITH INDUSTRY NEEDS.**

# Resource Centre

The NAFEMS Resource Centre is a database which aims to collate all of the information produced by the organisation into one central, accessible location.

It's been put together by collating, categorising and tagging hundreds of presentations, books, webinar recordings, magazine articles, journals and much more. Over the past 35 years, we've gathered a wealth of information on engineering analysis, modelling and simulation. The resource centre provides our members with easy access to this valuable material.

It's simple to use. Relevant material can be found by searching by keyword, filtering by multilevel technical categories or filtering by author, organisation, or type of resource

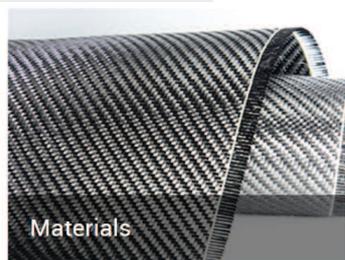
There are currently over 1,500 resources in the centre with this number growing weekly. NAFEMS Members have access to numerous types of resource as part of their membership, including presentations from previous events, conference papers, webinar archives, and much more.



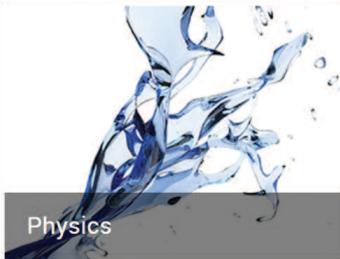
Analysis Management



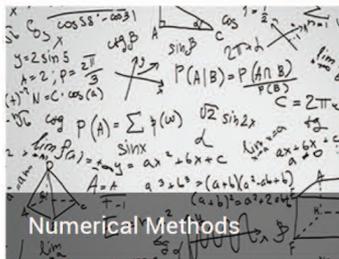
Industry & Products



Materials



Physics



Numerical Methods



All

## Nafems Publications

**AS THE ONLY ASSOCIATION DEDICATED TO THE ENGINEERING MODELLING, ANALYSIS AND SIMULATION COMMUNITY, NAFEMS HAS PUBLISHED IN EXCESS OF 200 ANALYSIS AND SIMULATION SPECIFIC PUBLICATIONS OVER THE LAST 30 YEARS. NAFEMS IS WIDELY ACKNOWLEDGED AS THE PREMIER SOURCE FOR ANALYSIS AND SIMULATION INFORMATION, PRODUCING AN EXTENSIVE RANGE OF QUALITY AND VALUABLE PUBLICATIONS.**

**EVERY YEAR, NAFEMS PRODUCES APPROXIMATELY 8-10 PUBLICATIONS INCLUDING TEXTBOOKS, REPORTS, BENCHMARKS AND JOURNALS ENSURING THAT THE MOST UP-TO-DATE AND RELEVANT INFORMATION IS AVAILABLE TO OUR NAFEMS MEMBERS.**

### BENCH MARK

### eLibrary

Published quarterly by NAFEMS, benchmark has commanded respect for being the only truly independent publication focussed specifically on analysis and simulation. With content encompassing news from all areas of engineering simulation from across the globe, articles in benchmark cover everything from FEA to CFD and incorporate all industries from aerospace to biomedical engineering.

Available to NAFEMS members, an optional e-Library subscription gives access to downloadable copies of over 150 acclaimed NAFEMS publications; including the newest releases. Updated regularly, the Corporate e-Library allows 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.

**WHEN MEMBERS JOIN, THEY RECEIVE A LIBRARY OF 20 OF THEIR CHOSEN NAFEMS PUBLICATIONS. ALL NEW PUBLICATIONS ARE SENT TO MEMBERS AS AND WHEN THEY ARE PRODUCED. THEY ALSO RECEIVE COPIES OF BENCHMARK MAGAZINE EVERY QUARTER.**

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 (1/2020)

- Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:**
  - NAFEMS Mitgliedschaft
  - NAFEMS Magazin „Benchmark“
  - NAFEMS Seminare
  - NAFEMS Trainingskurse
  - NAFEMS e-learning
  - Professional Simulation Engineer PSE
  - Internationale Arbeitsgruppen
  - FKM Trainingskurs (April, Wiesbaden)
  - NAFEMS DACH Konferenz (Mai, Bamberg)
  - CFD Seminar (Oktober, München)
  - FEM Seminar (Oktober, München)
  - Europ. Multiphysics Conference (Oktober, München)
  - V&V Master Trainingskurs (Oktober, Wiesbaden)
  - NAFEMS World Congress (Juni 2021, Salzburg)
- Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.**
- Senden Sie das NAFEMS Magazin bitte auch an meine/n Kollegen/in (Adresse unten).**
- Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:**  
\_\_\_\_\_
- Ich interessiere mich für Werbe-/Stellenanzeigen - bitte senden Sie uns die Mediadaten zu.**

**Absender**

Firma: \_\_\_\_\_  
Abt.: \_\_\_\_\_  
Titel, Vor-/Nachname: \_\_\_\_\_  
Straße: \_\_\_\_\_  
PLZ-Ort: \_\_\_\_\_  
Tel.: \_\_\_\_\_  
Fax: \_\_\_\_\_  
e-mail: \_\_\_\_\_

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

Firma: \_\_\_\_\_  
Abt.: \_\_\_\_\_  
Titel, Vor-/Nachname: \_\_\_\_\_  
Straße: \_\_\_\_\_  
PLZ-Ort: \_\_\_\_\_  
Tel.: \_\_\_\_\_  
Fax: \_\_\_\_\_  
e-mail: \_\_\_\_\_

Bitte per Post oder E-Mail an:  
[magazin@nafems.de](mailto:magazin@nafems.de)

Adresse für Fensterkuvert



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

## Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (1/2020)

- Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:**
- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Mitgliedschaft                | <input type="checkbox"/> FKM Trainingskurs (April, Wiesbaden)              |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Magazin „Benchmark“           | <input type="checkbox"/> NAFEMS DACH Konferenz (Mai, Bamberg)              |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Seminare                      | <input type="checkbox"/> CFD Seminar (Oktober, München)                    |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Trainingskurse                | <input type="checkbox"/> FEM Seminar (Oktober, München)                    |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS e-learning                    | <input type="checkbox"/> Europ. Multiphysics Conference (Oktober, München) |
| <input type="checkbox"/> Professional Simulation Engineer PSE | <input type="checkbox"/> V&V Master Trainingskurs (Oktober, Wiesbaden)     |
| <input type="checkbox"/> Internationale Arbeitsgruppen        | <input type="checkbox"/> NAFEMS World Congress (Juni 2021, Salzburg)       |
- Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.**
- Senden Sie das NAFEMS Magazin bitte auch an meine/n Kollegen/in (Adresse unten).**
- Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:**
- 
- Ich interessiere mich für Werbe-/Stellenanzeigen - bitte senden Sie uns die Mediadaten zu.**

### Absender

Firma: \_\_\_\_\_  
 Abt.: \_\_\_\_\_  
 Titel, Vor-/Nachname: \_\_\_\_\_  
 Straße: \_\_\_\_\_  
 PLZ-Ort: \_\_\_\_\_  
 Tel.: \_\_\_\_\_  
 Fax: \_\_\_\_\_  
 e-mail: \_\_\_\_\_

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

Firma: \_\_\_\_\_  
 Abt.: \_\_\_\_\_  
 Titel, Vor-/Nachname: \_\_\_\_\_  
 Straße: \_\_\_\_\_  
 PLZ-Ort: \_\_\_\_\_  
 Tel.: \_\_\_\_\_  
 Fax: \_\_\_\_\_  
 e-mail: \_\_\_\_\_

