



Online-Magazin

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

Fachbeiträge

DIGITALER ZWILLING

- **Simulationsbasierte Entwicklung von Werkzeugmaschinen**
Dr. Binde Ingenieure Design & Engineering

STRUKTUROPTIMIERUNG

- **Über das Design von Gitterstrukturen für die additive Fertigung, basierend auf Topologieoptimierung**
Siemens Industry Software / Materialise / Ghent University / Siemens Corporate Technology
- **Automatisierung der Strukturoptimierung für eine einfache und fehlerfreie Prozesskette**
Universität Bayreuth

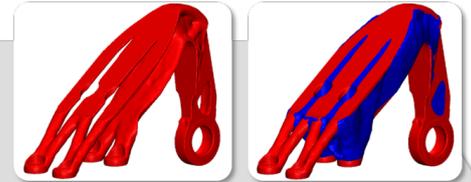
CFD – COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

- **Nutzung von CFD Simulation zur Entwicklung innovativer Kühllösungen für Hochleistungsmodule**
Danfoss Silicon Power / Mentor Graphics (Deutschland)

Topologie Optimierung zum Auffinden von Zonen für Lattice und Bulk unter Berücksichtigung der wahren Gittermaterial-eigenschaften und der Herstellbarkeit

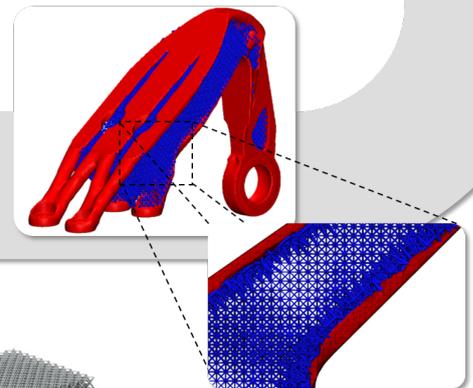
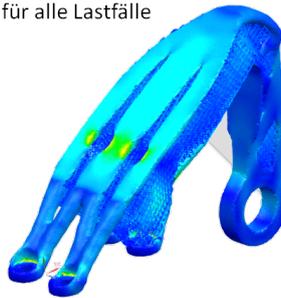


Post-Processing nach der Topologie Optimierung für raue Oberflächen



Erstellung von **Leichtbaustrukturen** unter Berücksichtigung des variablen lokalen Gitterdurchmessers basierend auf Ergebnissen der Topologieoptimierung

FE Verifikation des Designs für alle Lastfälle



NAFEMS World Congress 2019:
Call for Papers ab Anfang August
Abstrakteinreichung bis 21.11.2018

www.nafems.org/congress



incorporating the

NWC 
NAFEMSWORLDCONGRESS 2019

17-20 JUNE | QUEBEC CITY | CANADA
A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION

spdm INTERNATIONAL CONFERENCE
Simulation Process & Data Management

Alle bisherigen Ausgaben kostenlos zum Download unter: 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,

um Entwicklungen schneller voran zu bringen und unnötige Umwege zu vermeiden, werden seit Jahrzehnten numerische Simulationen in vielfältiger Weise eingesetzt. So lassen sich Eindrücke gewinnen, wie das geplante Produkt funktionieren wird und welche Eigenschaften noch zu verbessern sind. Vor etwas mehr als fünf Jahren wurde der Begriff „Industrie 4.0“ geprägt. Dabei geht es um eine erheblich engere Verzahnung der industriellen Produktion mit moderner Informations- und Kommunikationstechnik. Mit Hilfe vernetzter Systeme soll eine weitestgehend selbstorganisierte Produktion möglich werden: Mensch, Maschine, Anlagen, Logistik und Produkt kooperieren direkt miteinander. Damit kann nicht nur ein Produktionsschritt, sondern die ganze Wertschöpfungskette optimiert werden. Das schließt alle Phasen des Lebenszyklus ein, von der Idee eines Produkts über die Entwicklung, Fertigung, Nutzung und Wartung bis hin zum Recycling. Ein wichtiges Glied in dieser Kette ist der sogenannte „digital twin“, also ein digitaler Zwilling, der das Verhalten seines realen Gegenübers möglichst genau abbildet. Damit kann vor dem Anlaufen der Produktion das Verhalten analysiert und gegebenenfalls optimiert werden. Man sollte sich jedoch bewusst sein, dass der digitale Zwilling ein idealisiertes Modell darstellt. Die damit gewonnenen Erkenntnisse dürfen daher nicht ungeprüft übernommen werden.

Ziele mit Bezug zu Industrie 4.0 und Wege zum Erreichen dieser Ziele wurden auch in dem NAFEMS Seminar „Simulation Driven Engineering“ vorgestellt, das im November letzten Jahres in Neuendettelsau in Bayern abgehalten wurde. Das vorliegende Heft 46 des NAFEMS Online-Magazins enthält drei Beiträge, die auf Vorträge dieses Seminars zurückgehen. Der erste Beitrag demonstriert die Vorteile eines digitalen Zwillings für die Auslegung von Werkzeugmaschinen hinsichtlich ihres dynamischen Verhaltens. Mit additiven Fertigungsmethoden lassen sich Gitterstrukturen leicht realisieren. Der zweite Beitrag zeigt, wie Gitter- und Vollmaterial zu einer optimalen Leichtbaustruktur kombiniert werden können. Elementfreie Methoden und parametrische Topologieoptimierung werden in dem dritten Beitrag eingesetzt, um den gesamten Prozess der Strukturoptimierung zu automatisieren. Ebenfalls in Neuendettelsau fand dann auch ein Seminar zum Thema „CFD Methods for the Simulation of Heat Transfer“ statt, aus dem der vierte Artikel dieses Heftes stammt. Dabei geht es um den optimalen Wärmetransfer flüssiggekühlter Leistungselektronik.

Ich bin zuversichtlich, dass dieses Angebot auch für Sie interessante und nützliche Informationen enthält und wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen.

Mit freundlichen Grüßen

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



*Prof. Dr.-Ing.
Klaus Rohwer*

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



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



www.dynamore.de



www.esi-group.com



www.intes.de



www.mscsoftware.com

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

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

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

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

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

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

- W. Dirschmid (CAE Consulting), Chair
- A. Gill (Ansys Germany)
- R. Helfrich (Intes)
- C. Hühne (DLR)
- F. Jurecka (Dassault Systèmes)
- C. Katz (Sofistik)
- W. Moretti (Schindler Elevator)
- E. Niederauer (Siemens PLM Software)
- A. Pfaff (PD Tec)
- A. Starlinger (Stadler Altenrhein)
- A. Svobodnik (Mvoid Technologies)
- E. Wang (Cadferm)
- M. Zehn (TU Berlin)

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)
- J. Iseler (Dassault Systèmes)
- G. Kohnen (DHBW Mosbach)
- B. Marovic (Mentor Graphics (Deutschland))
- S. Rudolph (Cascade)
- R. Stauch (FH 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:

- 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

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

Werden auch Sie mit Ihrem Unternehmen NAFEMS-Mitglied!

NAFEMS hat weltweit über **1.300 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 1.300 Organisationen weltweit

Werden auch Sie Mitglied !
www.nafems.org/involved

Impressum

Editor-in-Chief

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

Redaktioneller Beirat

Dr. Alfred Svobodnik
Mvoid Technologies
Prof. Dr. Manfred Zehn
TU Berlin / Femcos mbH

Redaktion

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

Gestaltung / Layout / Anzeigen

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

Bezugspreis / Aboservice

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

Anzeigenpreise

Preisliste vom 01.01.2018

Verteilung / Bezug

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

Copyright © 2018, Werbos GbR.

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

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

ISSN 2311-522X

Vorwort des Editor-in-Chief.....2
Sponsoren3
NAFEMS
Über NAFEMS.....4
Inhalt / Impressum5
Mitgliedschaft.....6
NAFEMS Events
Übersicht: Konferenzen/Seminare, Schulungen, e-learnig Kurse 7
European Multiphysics Conference8
European SPDM Conference.....9
DACH Seminar: Neue Methoden in der numerischen
Strömungsberechnung (CFD) – Alternativen zu
Finite-Volumen-Methoden? 10 - 11
DACH Seminar: Bessere Produkte mit Modellbasiertem
Systems Engineering (MBSE) und CAE12 - 13
NORDIC Seminar: Exploring the Design Freedom of
Additive Manufacturing through Simulation..... 14
NAFEMS World Congress 2019 15
Rückblick: DACH Regionalkonferenz 2018..... 16 - 17
NAFEMS Trainings
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation..... 18
Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung 19
Verification and Validation in Engineering Simulation10 - 21
Simulation und Analyse von Composites22
Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis.....23
Literatur
E-Library.....24 - 27
Internationale NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“28
Professional Simulation Engineer PSE29
Projekt: ITEA3 VMAP30 - 31
Neuigkeiten32 - 44
Veranstaltungskalender45
Fachbeiträge
Digitaler Zwilling
Simulationsbasierte Entwicklung von Werkzeugmaschinen
J. Hamann, H. Klause
(Dr. Binde Ingenieure Design & Engineering)46 - 53
Strukturoptimierung
**Über das Design von Gitterstrukturen für die additive
Fertigung, basierend auf Topologieoptimierung**
H. Erdelyi, A. Remouchamps, S. Donders, L. Farkas, C. Liefoghe
(Siemens Industry Software); T. Craeghs (Materialise); W. Van
Paepegem (Ghent University); U. Wever (Siemens Corporate
Technology).....54 - 63
**Automatisierung der Strukturoptimierung für eine
einfache und fehlerfreie Prozesskette**
K. Deese, J. Glamsch, F. Rieg (Universität Bayreuth)64 - 70
CFD – Computational Fluid Dynamics
**Nutzung von CFD Simulation zur Entwicklung innovativer
Kühlösungen für Hochleistungsmodule**
K. Olesen (Danfoss Silicon Power);
M. Gruetzmacher (Mentor Graphics (Deutschland)).....71 - 81
Werbeanzeigen
Dassault Systèmes.....33
esocet35
MSC Software37
VMAP30 - 31
Rückmeldeformulare.....82 - 83



Membership to suit you

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

Site membership

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

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

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

Corporate membership

Tailored membership for large companies with multiple locations

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

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

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

Small company membership

Cost-effective membership for small to medium sized enterprises

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

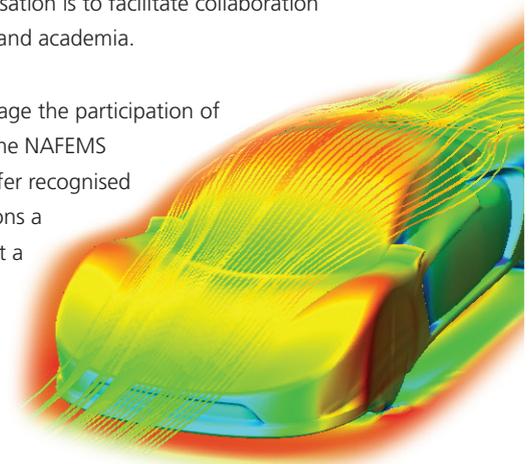
Small Company Membership is tailored to the specific needs of small to medium sized enterprises, and can also be appropriate in areas without a NAFEMS Regional Group.

Academic membership

Offering the benefits of site membership to recognised academic institutions

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

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



www.nafems.org/join

Konferenzen und Seminare

Konferenz-/Seminartitel	Termin	Ort
European Multiphysics Conference www.nafems.org/mp2018	11.-12.10.	Budapest, Ungarn
Neue Methoden in der numerischen Strömungsberechnung (CFD) – Alternativen zu Finite-Volumen-Methoden? www.nafems.org/cfd18	12.-13.11.	Wiesbaden
Model Based Systems Engineering (MBSE) and CAE www.nafems.org/mbse18	14.-15.11.	Wiesbaden
European SPDM Conference www.nafems.org/spdm2018	28.-29.11.	München

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

Schulungen

Schulungstitel	Termin	Ort	Teilnahmegebühr
Verification and Validation in Engineering Simulation www.nafems.org/events/nafevents/2018/vandv2/	28.-29.11.	Wiesbaden	1.950 / 1.560 ¹⁾
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation	auf Anfrage / Inhouse		
CFD Analysis: Theory and Applications	auf Anfrage / Inhouse		
Non-Linear Finite Element Analysis	auf Anfrage / Inhouse		
Simulation und Analyse von Composites	auf Anfrage / Inhouse		

¹⁾ in Euro zzgl. ges. MwSt. je Teilnehmer (Nichtmitglied / NAFEMS Mitglied)

Eine Beschreibung der Schulungsinhalte finden Sie auf Seiten 14 - 19. Weitere Schulungen und Kurse, die web-basiert (e-learning bzw. Webinare) oder ausserhalb der deutschsprachigen Region stattfinden, finden Sie unter www.nafems.org/events.

e-Learning Kurse

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

Folgende Themen werden regelmäßig angeboten:

- Basic FEA
- Composite FEA
- CFD for Structural Designers and Analysts
- Dynamic FEA
- Elements of Turbulence Modeling
- Fatigue & Fracture Mechanics in FEA
- Non-Linear FEA
- Practical CFD
- Practical Modelling of Joints and Connections
- Structural Optimization in FEA



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

conference

NAFEMS European Conference on Multiphysics Simulations 2018:

Accurate Modelling for Tomorrow's Technologies

11th & 12th October 2018 : Budapest

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.

NAFEMS are pleased to announce the fourth European Conference on Multiphysics simulations in October 2018. It will cover the use of Multiphysics simulations in industry, including the following topics:

- Industrial applications of Multiphysics
- Multi-scale & Multidisciplinary modelling
- Multiphysics simulations for renewable energy
- Validation & Verification
- Collaborations of industry with academia
- Multiphysics in the Cloud
- Code coupling and interfaces
- Optimization
- Teaching Multiphysics
- Co-simulation
- Accurate simulation for Digital Twin

The Scientific Committee

- Henrik Nordborg (HSR Rapperswil, Switzerland)
- Klaus Wolf (Fraunhofer Institute SCAI, Germany)
- Moji Moatamedi (University of Manchester, UK)
- Bernard Peters (University of Luxemburg)
- Alfred J. Svobodnik (MVOID Group, Germany)
- Albert Kurkchubasche (Dassault Systèmes Simulia Corp, USA)

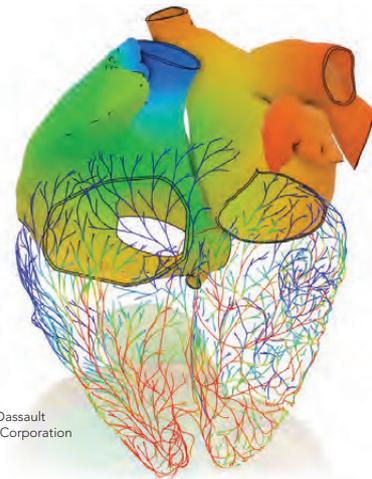


image courtesy of Dassault Systèmes SIMULIA Corporation

exhibition

There is an opportunity available for your company to support this event, giving you maximum exposure to a highly targeted audience of delegates, who are all directly involved in simulation, analysis, and design. Please contact Jo Davenport at NAFEMS if you would like more information. **+44 (0)1355 225688** jo.davenport@nafems.org

registration

NAFEMS European Conference on Multiphysics Simulations 2018 11-12 October 2018

Non Members Price £800** | Members of NAFEMS FREE* (see notes below) or £550.00** (**Free places are subject to your available seminar credits. **Tax at applicable rate will be added for all delegates)

Please register online at nafems.org/mp2018

Information and registration

www.nafems.org/mp2018

Call for Papers

**Abstract submission deadline
extended to 6 August 2018!**

NAFEMS European Conference: Simulation Process and Data Management – SPDM

28 - 29 November 2018, Munich, Germany

The European NAFEMS SPDM Conference will offer a unique forum where experts from different industries, academia, consultancies and software vendors will share their knowledge regarding Simulation Process and Data Management concepts and solutions covering the following topics:

- Deployment of SDM solutions
 - Examples of deployments in industrial companies and elsewhere
 - Examples of SDM deployments for the management of CFD data and processes
 - Methodologies for the deployment of SDM solutions
 - Best practices for SDM deployment
- Analysis planning and reporting
 - Analysis planning for any simulation domain
 - Analysis planning and reporting as a route to prepare for SDM deployment
- Business processes implemented in SDM
 - Robust design using SDM
 - Verification and Validation using SDM
 - Collaborative concept and product development using SDM
- Digital threads and digital twins implemented in SDM
 - Examples of digital threads to demonstrate how results were obtained to regulatory authorities
 - Examples of digital twins implemented in SDM
- Business value of SDM solutions
 - Examples of business benefits obtained with SDM
- Standards based approaches in SDM
 - Standards for exchange and collaborative working
 - Standards for long term archival of simulation data sets
- Open source approaches to SDM
 - SDM solutions built on open-source platforms
 - Open source SDM solutions
- Essential components of an SDM solution
 - Simulation Process Management solutions
 - Design of experiments/design space exploration tools
 - Data translation and visualisation solutions
 - Data compression solutions
- Data and process integration tools
 - Integration with Product Data Management (PDM) systems
 - Integration with Product Lifecycle Management (PLM) systems
 - Integration with Materials Data Management (MDM) systems
- Platforms for the deployment of industrialised/democratised simulation processes
 - Templates for deploying simulation to replace hand calculations or expert analysis
- SDM strategy
 - Papers describing an organisations SDM strategy
 - SDM strategy to integrate to Systems Engineering
 - Papers describing the future challenges for SDM capabilities and deployment

NAFEMS is looking for your expertise and experience. If you are interested in talking to the SDM community about the Simulation Process and Data Management projects in your organization and sharing your thoughts about future

trends, you are invited to submit a presentation for this European NAFEMS SPDM conference. The conference welcomes participation from every type of organization – large and small, across all sectors.

Your abstract submission

Please submit abstracts of approx. 300 words, including title and author contact information by 6 August 2018 (extended deadline) to roger.oswald@nafems.org.

Conference venue

Infinity Hotel & Conference
Munich/Unterschleißheim (formerly Dolce), Germany
www.infinity-munich.de

Exhibition and sponsoring

The conference will be accompanied by an exhibition of software and hardware vendors, solution providers, and consultants. There are several exhibition and sponsoring opportunities available. Please request further information.

Registration fees

- NAFEMS members: Free
NAFEMS members can use seminar credits towards free attendance at this event. This event will charge four seminar credits per delegate.
- Members (no credits): 500 Euro
- Non members: 800 Euro

Conference language

English

Information and registration

www.nafems.org/spdm2018

Einladung und Vortragsprogramm

Neue Methoden in der numerischen Strömungsberechnung (CFD) – Alternativen zu Finite-Volumen-Methoden?

12. - 13. November 2018, Wiesbaden

Einladung

Die numerische Strömungssimulation hat sich in den letzten Jahren sowohl in Anzahl und Breite der Anwendungen als auch der Komplexität der Aufgaben enorm entwickelt. Immer aufwendigere physikalische Modelle lassen sich in akzeptablen Rechenzeiten auf großen Rechengebieten lösen. Dabei kamen in den letzten Jahren meist klassische Finite-Volumen- bzw. Finite-Elemente- oder Finite-Differenzen-Methoden zur Lösung der Gleichungen zum Einsatz. Nachteilig bei diesen Verfahren ist, dass Berechnungsgitter im Preprocessing aufwendig erstellt werden müssen.

Bereits seit geraumer Zeit bieten sich alternative Verfahren an. Neben gitterfreien Methoden, z. B. der Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) oder der Finite Pointset Methode (FPM), werden Lattice-Boltzmann Methoden erfolgreich eingesetzt. Spektralmethoden als auch Randelement-Methoden ergänzen das umfangreiche Spektrum an Optionen in der Strömungsberechnung. Dadurch ergeben sich auch neue Möglichkeiten hinsichtlich der Nutzung moderner Rechnerarchitekturen (z. B. GPU), die die Grenzen des Machbaren in der numerischen Strömungsberechnung ständig erweitern.

Zahlreiche dieser Lösungsverfahren stehen am Beginn ihres industriellen Einsatzes bzw. sind bereits im produktiven Einsatz. Insbesondere für spezielle Anwendungen (z.B. Bewegung freier Oberflächen, große Deformationen des Rechengebietes) ergeben sich interessante Optionen für den Berechnungsingenieur.

Im Rahmen dieses Seminars sollen neue Methoden der numerischen Strömungsmechanik und insbesondere deren industrieller Einsatz beleuchtet werden.

Wir hoffen, Ihr Interesse geweckt zu haben und freuen uns auf Ihre Teilnahme.

Ihre NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH

Technische Leitung:

NAFEMS CFD Advisory Board (CAB)

NAFEMS Steering Committee für Deutschland, Österreich und der Schweiz

Veranstaltungsort / Zimmer

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

Fachausstellung und Sponsoring

Ausstellungsfläche: 600,- Euro*
Bitte fordern Sie Informationen zum Sponsoring an.

Tagungssprache

Deutsch (in Ausnahmen in englischer Sprache)

Teilnahmegebühr

Nicht-Mitglieder:

Euro 620,- / Person*

NAFEMS-Mitglieder:

frei*

* NAFEMS Mitglieder erhalten acht „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.

Für Studenten steht ein begrenzte Anzahl an freien Seminarplätzen zur Verfügung. Die Annahme erfolgt in der Reihenfolge der Anmeldungen und setzt die Bereitschaft zur Mithilfe bei der Organisation vor Ort voraus - bitte Immatrikulationsbescheinigung beifügen.

*Alle Preise jeweils zuzügl. ges. MwSt.

Informationen und Anmeldung

www.nafems.org/cfd18

Vortragsprogramm

12. November

- 13:30 Begrüßung und technische Einführung**
Mitglieder des NAFEMS CFD Advisory Boards
- 13:45 Keynote-Vortrag:**
Meshfree-echt gitterfreie Strömungssimulation
J. Kuhnert (Fraunhofer ITWM)
- 14:30 n.n.**
M. Böhle (TU Kaiserslautern)
- 15:00 Kaffeepause**
- 15:45 Performanceaspekte in gitterfreien CFD-Methoden**
B. Metsch, F. Nick, H. Plum (Fraunhofer SCAI)
- 16:15 Virtuelle Fahrzeugentwicklung unter realistischen Fahrbedingungen am Beispiel von Wasserdurchfahrt**
M. Schäfer (ESI Software)
- 16:45 Anforderungen und Grenzen traditioneller FV- und neuer SPH-Methoden für Strömungsuntersuchungen in Fahrzeuggetrieben**
G. Maier, F. Testa, A. Diemath, W. Baier (AVL)
- 17:15 Anwendung der Smoothed-Particle-Hydrodynamics-Methode in der Analyse und Entwicklung von Abwassersystemen**
F. Pause, P. Sabrowski (dive solutions)
- 17:45 Get together**

13. November

- 08:30 Keynote-Vortrag:**
GPU-basierte Lattice-Boltzmann-Methoden höherer Ordnung für DNS/LES Simulation
M. Krafczyk, M. Geier, K. Kutscher, M. Schönherr, H. Safari (TU Braunschweig)
- 09:15 Einsatz von LBM im HPC-Bereich – Anwendungen: Automotive, Marina, freie Oberflächen**
C. Jansen (TU Hamburg-Harburg)
- 09:45 Kaffeepause**
- 10:30 Entropische Lattice-Boltzmann Methoden für Large-Eddy Simulationen**
C. Feuchter, A. Stief, O. Wagner (Hochschule Aalen)
- 11:00 CFD Analyse zum Flugverhalten einer Drohnenkonfiguration mittels Lattice-Boltzmann Methode**
G. Öttl (Dassault Systemés)
- 11:30 Simulation von dünnen Wasserschichten auf beliebigen Oberflächen mithilfe von Smoothed-Particle-Hydrodynamics kombiniert mit einer Finite-Particle Methode**
S. Härdi, M. Schreiner (NTB); U. Janoske (Univ. Wuppertal)
- 12:00 Mittagspause**
- 13:00 Zeitspektrales Verfahren zur Berechnung viskoser, inkompressibler Strömungen in der industriellen Anwendung**
S. Baumbach (Volkswagen); A. Stück (DLR)
- 13:30 Spezialisierte Methoden zur direkten numerischen Simulation in porösen Medien**
S. Linden, C. Cheng, A. Wiegmann (Math2Market)
- 14:00 Eine Immersed Boundary Methode zur Berechnung komplexer Partikelinteraktionen für volumetrisch aufgelöste Partikel**
K. Braschke, U. Janoske (Univ. Wuppertal)
- 14:30 Kaffeepause**
- 15:00 Simulation der Luftansaugung des Klimageräts eines in Starkregen stehenden Fahrzeugs**
D. Bäder (AUDI)
- 15:30 Wrap-up/Diskussion: Bewertung der Methoden & Perspektiven**
Mitglieder des NAFEMS CFD Advisory Boards
- 16:15 Ende der Veranstaltung**

Einladung und Vorträge

Bessere Produkte mit Modellbasiertem Systems Engineering (MBSE) und CAE

14. - 15. November 2018, Wiesbaden

Einladung

Modellbasiertes Systems Engineering (MBSE) kommt in immer mehr Unternehmen zum Einsatz, denn dieser Entwicklungsansatz hilft dabei, die Fähigkeiten zur Systemauslegung zu verbessern und so größere Projekterfolge zu erzielen. Ziel einer jeglichen Entwicklung ist ein optimales Gesamtsystem, um das bestmögliche Produkt zu bauen, welches alle Anforderungen erfüllt.

Bisher wurden in der Produktentwicklung die Bereiche System Engineering und CAE jedoch oft getrennt betrachtet: Auf der einen Seite optimieren Systemingenieure das Gesamtsystem und sind für dessen übergreifende Eigenschaften verantwortlich, auf der anderen Seite setzen Entwicklungsingenieure CAE-Werkzeuge ein, um detaillierte Aussagen über die Eigenschaften der einzelnen, im Gesamtsystem verbauten Komponenten oder Baugruppen zu ermöglichen. Ein gegenseitiger Austausch oder die Interaktion zwischen den Bereichen fand dabei oft nicht ausreichend statt.

So musste fast jeder CAE-Ingenieur schon einmal feststellen, dass das vom ihm erstellte und vom Systemingenieur verwendete Modell nach Änderungen auf Systemebene bezüglich Geometrie, Randbedingungen oder Lasten nicht mehr aktuell war. Mit einem übergreifenden, robusten, modellbasierenden System-Engineering-Ansatz werden alle Aktualisierungen direkt an den Analysten weitergeleitet – und dieser kann noch vor dem Erstellen

eines Prototypen sehen, ob Konstruktionsänderungen notwendig sind, um die neuen Anforderungen zu erfüllen.

Unter MBSE versteht man die formalisierte Anwendung von Modellierung, um Systemanforderungen, Entwurf, Analyse, Verifizierung und Validierung von Aktivitäten zu unterstützen. Der Prozess beginnt bereits in der Konzeptionsphase und wird dann kontinuierlich in allen Entwicklungs- sowie den späteren Lebenszyklusphasen angewandt. Ziel von MBSE ist daher auch, durch einen konsequenten Einsatz der modellbasierten Entwicklungsmethode die Kommunikation zwischen Konstrukteuren, System- und Entwicklungsingenieuren zu verbessern. So kann das Zusammenwirken einzelner Disziplinen, Prozesse, Methoden und Tools optimal genutzt werden. Darüber hinaus ermöglicht es diese Methode, die Unsicherheit des Systemmodells in den Entscheidungsprozess mit einzubeziehen. Für ein erfolgreiches System-Engineering müssen alle Anforderungen sorgfältig berücksichtigt werden – nur so kann sichergestellt werden, dass alle erforderlichen physikalischen Modelle in das Systemmodell integriert wurden. Bei dieser Vorgehensweise treiben die einzelnen Modelle das interdisziplinäre Systemdesign und den Integrationsprozess des Systems an. Dies geschieht in einer sequenziellen Reihe von Aktivitäten, die über die Modellierung, die Produktrealisierung und schließlich über die Veri-

fizierung im typischen V-Diagramm dargestellt wird.

Ziel des Seminars ist es, anhand von Anwendungsbeispielen aus verschiedenen Branchen modellbasiertes System Engineering darzustellen und zu zeigen, wie CAE-Modellierung schon in den frühen Entwicklungsphasen mit Hilfe von 0D-, 1D-, 2D- und 3D-Methoden erfolgreich in die Systementwicklung eingebunden werden kann. Es wird gezeigt, was mit derzeit verfügbaren Werkzeugen machbar ist und welchen Entwicklungsstand Theorie und Software für die praktische Anwendung erreicht haben. Mittels aktueller Fallbeispiele werden Kenntnisse und Erfahrungen zur Anwendung von MBSE vermittelt, Grenzen und Möglichkeiten aufgezeigt sowie Trends dargestellt.

Wir hoffen, Ihr Interesse geweckt zu haben und freuen uns auf Ihre Teilnahme.

Ihre NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH

Technische Leitung:

W. Moretti (Schindler Elevator) und M. Hoffmann (Altair Engineering) Mitglieder des NAFEMS Steering Committees für Deutschland, Österreich und der Schweiz

Informationen und Anmeldung
www.nafems.org/mbse18

Veranstaltungsort / Zimmer

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

Fachausstellung und Sponsoring

Ausstellungsfläche: 600,- Euro*
Bitte fordern Sie Informationen zum Sponsoring an.

Tagungssprache

Deutsch (in Ausnahmen in englischer Sprache)

Teilnahmegebühr

Nicht-Mitglieder:
Euro 620,- / Person*
NAFEMS-Mitglieder:
frei*

* NAFEMS Mitglieder erhalten acht „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.

Für Studenten steht eine begrenzte Anzahl an freien Seminarplätzen zur Verfügung. Die Annahme erfolgt in der Reihenfolge der Anmeldungen und setzt die Bereitschaft zur Mithilfe bei der Organisation vor Ort voraus - bitte Immatrikulationsbescheinigung beifügen.

*Alle Preise jeweils zuzügl. ges. MwSt.

Vorträge

vorläufig - das gesamte Vortragsprogramm wird in Kürze veröffentlicht

Keynote-Vortrag:**MBSE heute und der zukünftige Bedarf**

S.-O. Schulze (GfSE)

MBSE und Simulation im Automotive Systems Engineering

S. Kleiner (em:engineering methods)

From V-Curve to V-Circle – Towards the Re-Use of Efforts through Different Stages of the Product Lifecycle

T. Bernard, L. Mariano, C. Kehrer (Altair Engineering)

Bessere Produkte mit Modellbasiertem Systems Engineering (MBSE) und CAE: Airbag-Simulation

F. Kryszohn (Autoliv)

PLM-based Integration of System Simulation and MBSE for Continuous Engineering

L. Kirsch (Contact Software); B. Binder, T. Blochwitz, M. Gottschall (ESI ITI)

MBSE - a Key Instrument in the Development of Electric Vehicles

n.n. (Dassault Systèmes)

MBSE im Sondermaschinenbau

A. Holzinger, H. Sehrsön, T. Murauer (FILL)

Effiziente und parametrische Digitale Zwillinge für Systems Engineering Anwendungen

C. Tamm (Fraunhofer LBF)

Integrierte Systemsimulation einer Fräsmaschine

R. Helfrich, B. Kirchgäßner, G. Nötzel-Steidle (Intes)

MBSE + CAE für Audiosysteme – ein Überblick

A. Svobodnik (Mvoid Group)

Einsatz des Artefaktmodells zur Modellierung von CAE-Artefakten im MBSE-Prozess

M. Brandstätter, C. Bühler (Prostep)

n.n.

n.n. (Schindler Elevator)

Ist der digitale Zwilling für eine erfolgreiche Produktentwicklung ausreichend? Herausforderungen in der Integration und Kollaboration

D. Berghaeger (Siemens Industry Software)

Profiting from Model Based Design (MBD) Even in Case of Lacking Input Data

H. Enkler, L. Sporleder (Universität Furtwangen)

The Executable "V" – An Approach for Automation of Digital Processes in Product Development Continuous Design of Electrified Powertrains

S. Rudolph (Universität Stuttgart); M. Till (Hochschule Ravensburg-Weingarten); C. Kehrer (Altair Engineering)

**Abstract submission deadline:
20 August 2018!**

Call for Papers

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

10 - 11 December 2018, Helsinki, Finland

Additive manufacturing (AM), also called 3D printing, enables the manufacture of complex and intricate geometries without many of the constraints imposed by traditional manufacturing techniques. As this technology advances and the costs of 3D printed parts continue to fall, AM will become a more prevalent and viable engineering and business solution. In order to take full advantage of these technologies, new approaches to simulation and design need to be implemented in order to facilitate innovative and cost-effective solutions.

The aim of this seminar is to give delegates a comprehensive overview of the current state of AM, along with the challenges, risks, and opportunities - both for simulation engineers and for use within industry.

Some of the expected topics of discussion include:

- > Optimization and design for AM – creating lightweight and/or functionally superior products
- > Advanced materials modelling to show the effects of e.g. print parameters, print direction and part orientation on component microstructure
- > Lattice or lightweight structure design and analysis
- > Computational methods for prediction of e.g. residual stress and geometric distortion, surface topology, and microstructure (including defects) in additive manufactured components

- > Use of simulation to help correct part distortion
- > Process monitoring and feedback control for quality assurance and minimization of defects and residual stresses
- > Multi-physics and multi-scale simulations of various additive manufacturing technologies
- > Simulation showing effect of material imperfections on part performance (e.g. fatigue)
- > Integration of optimization, design, and the requirements/restrictions of a given AM method
- > Topology and shape optimization to take advantage of the design freedom offered by AM
- > Optimization and control analysis of the manufacturing process
- > Simulation of the manufacturing process for smart materials, sensors, nano-devices, etc.
- > CAD to printed component part chain
- > Validation and verification of AM products

In essence, abstracts on the topics of computational modelling, simulation and optimization related to any of the additive manufacturing processes, materials, or printed components are welcome.

The conference will include keynotes, technical presentations, and exhibits.

You are invited to submit an abstract by **latest 20 August** to nordic@nafems.org.

Organized by
NAFEMS NORDIC in cooperation
with



**VTT Technical Research
Centre of Finland (www.vtt.fi)**

Conference venue

Hilton Helsinki Kalastajatorppa
Kalastajatorpantie 1
00330 Helsinki, Finland

Exhibition and sponsoring

The conference will be accompanied by an exhibition of software and hardware vendors, solution providers, and consultants. There are several exhibition and sponsoring opportunities available. Please request further information.

Registration fees

NAFEMS members: Free ¹⁾

¹⁾ NAFEMS members can use seminar credits towards free attendance at this event. This event will charge four seminar credits per delegate.

Members with no credits: 450 Euro
Non NAFEMS members: 600 Euro
Students: Free ²⁾

²⁾ A limited number of students attend free of charge (first come, first serve – matriculation certificate required)
Presenters need to pay regular participation fees.

All prices plus local VAT.

Mediapartner



Information and registration
www.nafems.org/am18

**Abstract submission deadline:
21 November 2018!**



NWC

NAFEMSWORLDCONGRESS



17-20 JUNE | QUEBEC CITY | CANADA

A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION

incorporating the

spdm INTERNATIONAL CONFERENCE
Simulation Process & Data Management

We are delighted to announce that the 17th NAFEMS World Congress will take place in Quebec City, Canada, 17 - 20 June 2019

The Call for Papers opens early August at www.nafems.org/congress!

This is the 2nd time that the World Congress will take place in Canada, with the 2007 event having taken place in Vancouver, and we are looking forward to another fantastic event.

A call for papers will be made available early August, alongside sponsorship & exhibition opportunities. If you would like to let us know that you are interested in presenting, sponsoring or attending, please contact the Congress Manager, Roger Oswald, on nwc19@nafems.org

The Congress will host an outstanding, multi-faceted agenda, covering every aspect of engineering modelling, analysis & simulation and featuring industry-leading keynote speakers, as well as providing numerous training opportunities, workshops, discussion rounds and networking opportunities.



Jeff Frenette Photography

As part of the Congress, we will also host the

- **4th International Conference on Simulation Process & Data Management (SPDM)** as well as technical symposia on
- **Manufacturing Process Simulation & Additive Manufacturing**
- **Systems Modelling & Simulation**
- **Digital trends** and what they mean for the engineering simulation community
- **VMAP** - Interface Standard for Integrated Virtual Material Modelling in Manufacturing Industry.

The Congress will give a truly unique overview of the world of engineering simulation.

This is the only major international event dedicated to your community and your technology. Every aspect of analysis, modelling and simulation will be addressed, covering numerous industries globally. There's nothing quite like it.

Be Part of It - submit your abstract by 21 November 2019!

Information and registration
www.nafems.org/congress

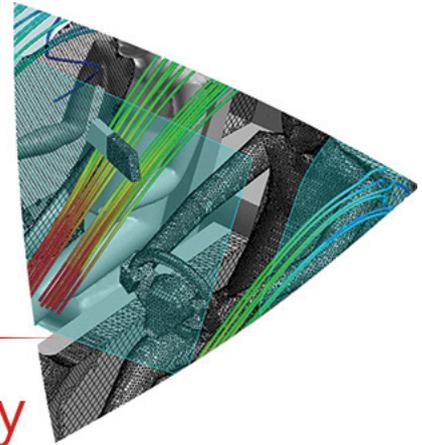


Rückblick

NAFEMS 18

DACH Conference

Berechnung und Simulation:
Anwendungen, Entwicklungen, Trends



14-16 May, Bamberg, Germany

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



Die 4. deutschsprachige NAFEMS Konferenz fand vom 14. - 16. Mai 2018 in Bamberg statt. Die alle zwei Jahre stattfindende Konferenz bot ein unabhängiges, übergreifendes und umfassendes Informationsangebot im Bereich der numerischen Simulationsmethoden – eine Plattform, auf der neue Techniken, Tools und „Best Practises“ präsentiert wurden. Über 250 Teilnehmer nutzten die Möglichkeit, auf breiter Basis erfolgreiche Anwendungen und Trends mit Spezialisten aus Forschung und im besonderen Maße aus der Industrie zu diskutieren.

Die Teilnehmer hörten hochinteressante Plenar- und Fachbeiträge von Anwendern verschiedener Softwareprodukte sowie von Softwareherstellern und Dienstleistern. Das Forum „Additive Manufacturing“ sowie Workshops und Diskussionen rundeten die Veranstaltung ab. Eine große Ausstellung mit 30 Hard- und Softwareausstellern begleitete die Konferenz.

Die Teilnahme war für NAFEMS Mitglieder und Nichtmitglieder offen – NAFEMS Mitglieder konnten im Rahmen ihrer Mitgliedschaft unter Verwendung von „seminar credits“ kostenlos teilnehmen. Der Anteil an NAFEMS Mitglieder war mit etwa 2/3 der Teilnehmer hoch, insgesamt hat NAFEMS mittlerweile weltweit über 1.300 Mitgliedsunternehmen und -institutionen. Wir möchten uns an dieser Stelle bei allen Vortragenden, Ausstellern, Sponsoren und Besuchern bedanken und freuen uns auf die nächste NAFEMS DACH Regionalkonferenz, die vom **11. - 13. Mai 2020 wieder in Bamberg** stattfinden wird.

Übersicht

- Plenarvorträge: EDAG engineering, SIMconcept, Opel Automobile, Sulzer Rotating Equipment Services, Charité - Univ.-medizin Berlin, Univ. Duisburg-Essen, Hochschule Esslingen
- Über 100 Fachvorträge in 36 Sessions
- Forum: Additive Fertigung
- Kurztrainings: Verification/Validation (V&V) / CFD
- Diskussion: NAFEMS CFD Working Group
- Workshop: ITEA3 VMAP
- Umfangreiche Hard- und Softwareausstellung
- Networking, Erfahrungs- und Informationsaustausch
- Teilnahme für NAFEMS Mitglieder frei (seminar credits) und auch für Nichtmitglieder



Konferenz-
sponsoren

Principal

SIEMENS

Platinum



Gold



Silver



Medienpartner



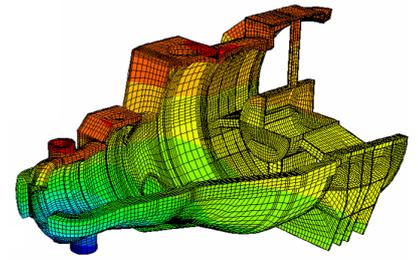
Fachaussteller

- | | | | |
|-------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------------|
| Advania | Engineering Center Steyr - Magna | ISKO engineers | Polytec |
| Beta CAE Systems | EnginSoft | ITEA3 VMAP Project | Scale |
| Cascate | ESI Group | Key To Metals | Siemens PLM Software |
| CDH | GNS | Mentor | Synopsys |
| Dassault Systemés | GNS Systems | Microsoft | Technia Transcat |
| Datadvance | HBM Prenscia | MSC Software | Volume Graphics |
| DYNAmore | Ing.-büro Huß & Feickert | NAFEMS | Medienpartner: |
| Dynardo | Intes | PD Tec | WIN-Verlag bei NAFEMS |
| | | | x-technik Verlag |

www.nafems.org/2018/dach

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

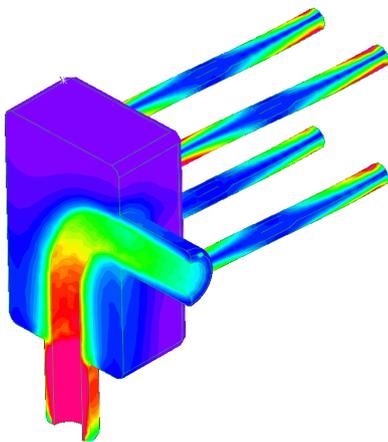
Dieser Kurs wird auch als Inhouse-Kurs bei Ihnen vor Ort angeboten. Bitte fordern Sie nähere Informationen an - Rückmeldeformular auf der vorletzten Seite.

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

Kurssprache

Englisch / Deutsch, falls nur deutschsprachige Teilnehmer.

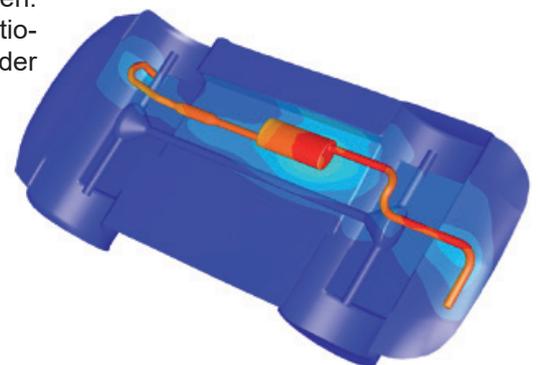
Inhouse-Kurs

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

Referent



Prof. Dr.-Ing. 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.



NAFEMS Schulung

Dieser Kurs wurde bereits über 30 Mal in ganz Europa gehalten!

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

28. - 29. November 2018 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

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..

Informationen und Anmeldung

www.nafems.org/events/nafems/2018/vandv2/

NAFEMS Schulung

Simulation und Analyse von Composites

Auf Anfrage / auch als Inhouse-Schulung buchbar

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

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

Training

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

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

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

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

Wer sollte teilnehmen

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

Inhalte

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

Referent



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

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

Kurssprache

Deutsch

Inhouse-Kurs

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

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 procedures, Difficulties in modelling non-linear problems.

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

Tutor



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

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

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

Course Language

English

Inhouse-Kurs

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

e library

Corporate Subscription

NAFEMS reference library at the click of a button





e library

The NAFEMS Corporate e-Library gives access to downloadable copies of over 140 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.

The NAFEMS Corporate e-Library is easily accessed through www.nafems.org. Once logged in, subscribed members have instant access to the library and the downloadable publications available creating a NAFEMS reference archive that is available at the click of a button.

Within the Corporate e-Library, users can browse the available downloadable publications by:

- 19 different technical areas
- Book type
- Recently added

The e-Library also provides convenient access to the most recent articles from 'benchmark' magazine.

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

subscribe today elibrary@nafems.org +441355 225688

Benefits of the NAFEMS Corporate e-Library

There are many benefits to subscription to the Corporate e-Library including:

- Easy access to an extensive range of NAFEMS publications
- No delay in receiving the analysis and simulation information you require as all publications included are available as instantly downloadable PDFs
- Access to new publications produced regularly by NAFEMS
- Unlimited number of downloads
- Zero shipping costs & no shipping time

The Corporate e-Library offers a unique opportunity for companies to have their own NAFEMS reference library of over 140 publications available at the touch of a button with the total value of the included publications is over \$19,500*. The publications can be downloaded at any time, by any site covered by the subscription agreement. There is no limit to how many or how often publications can be downloaded and individual publications can be downloaded several times if needed by more than one employee covered within the subscription.

Subscription to the Corporate e-Library

For initial subscription, NAFEMS will consult with your company regarding your needs and the company sites that will require access to the e-Library. Following this, a tailored subscription package will be designed to meet your company's specific needs.

Access to the NAFEMS e-Library is available as an annual subscription to member companies. After the initial subscription period, an annual maintenance fee will enable continued access to the e-Library.

Once subscribed, your company will be able to enjoy instant access to the e-Library of NAFEMS publications which can be downloaded and utilised at your convenience.



* Value based on non-members rate for one physical copy of each publication included within the NAFEMS Corporate e-Library excluding any associated shipping costs

subscribe today elibrary@nafems.org +441355 225688

About NAFEMS Publications

As the only association dedicated to the engineering simulation and analysis community, NAFEMS has published in excess of 200 analysis and simulation specific publications over the last 30 years. NAFEMS is recognised as the premier source for analysis and simulation information producing an extensive range of quality and valuable publications.

Encompassing a wide range of subjects, NAFEMS publications are available in the following areas:

- Acoustics
- Benchmark Tests
- Buying Guides
- CFD
- Composites
- Conference Proceedings
- Contact & Friction
- Data Exchange
- Dynamics & Vibration
- Education & Training
- Fracture Mechanics
- Linear Analysis
- Non-Linear Analysis
- Quality Assurance
- Reviews & Studies
- Seminar & Course Proceedings
- Thermal Analysis

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 NAFEMS members and the wider analysis community. All new publications are added to the Corporate e-Library so can be utilised by those covered within the subscription.



subscribe today elibrary@nafems.org +441355 215688

Internationales NAFEMS Magazin

Benchmark Magazin, Ausgabe April 2018

Die internationale NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“ erschien in der Druckauflage im April 2018. Download (nur für Mitglieder) und Informationen zum Abonnement finden Sie unter:

www.nafems.org/publications/benchmark





PSE

Professional Simulation Engineer

A New Standard for Simulation Engineers

nafems.org/pse



Project Profile

VMAP

Virtual Material Modelling in Manufacturing

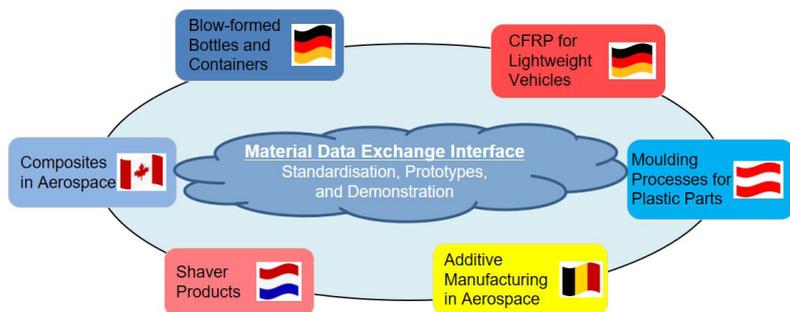
The ITEA VMAP project aims to gain a common understanding of and interoperable definitions for virtual material models in CAE. Using industrial use cases from major material domains and with representative manufacturing processes, new concepts will be created for a universal material exchange interface for virtual engineering workflows.

ADDRESSING THE CHALLENGE

The lack of software standards in virtual engineering workflows and incompatible interfaces for the transfer of virtual material information not only cause additional costs and complex manual adaptation but also lead to inflexible IT solutions, loss of information and significant delays in the overall design process. The standardisation of material interfaces in CAE is therefore vital for all industry segments where material behaviour is central to product and process design.

PROPOSED SOLUTIONS

The concepts generated within the VMAP project will be concretised in an open software interface standard and implemented in a number of software tools. The advantages of integrated material handling will be demonstrated by six industrial use cases from different material categories, manufacturing domains and industry segments. In brief, VMAP will generate universal concepts and open software interface specifications for the exchange of material information in CAE workflows. Implementation will be realised for extended CAE tool interfaces and, where necessary, translation tools that follow the open interface specification. VMAP will also implement virtual industrial demonstrators for relevant material domains and manufacturing processes as well as provide best-practice guidelines for the



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

community. The establishment of an open and vendor-neutral 'Material Data Exchange Interface Standard' community will ensure that standardisation efforts continue into the future.

PROJECTED RESULTS AND IMPACT

Interoperable virtual material models and a seamless transfer of material data history in a CAE workflow enables industry users to develop and produce better products in a shorter time and in more efficient manufacturing processes. Interface standards will also help CAE software developers and vendors to realise further virtual material models that can be easily integrated in

holistic design, simulation and optimisation workflows. In Europe's growing and future manufacturing market whereby materials technology is a key factor, especially in the rapidly emerging market of additive manufacturing for metal and plastics, an open software interface standard for virtual material modelling can have significant benefits.

The image shows a map of Europe with several countries highlighted in green. Surrounding the map are boxes containing logos of participating organizations from those countries:

- Netherlands:** TU Delft (Delft University of Technology), DevControl, In Summa Innovation, KE-works, MSC Software, m2i materials innovation institute, PHILIPS, reden (research development nederland), university of groningen.
- Canada:** CONVERGENT MANUFACTURING TECHNOLOGIES.
- Germany:** Audi, AF-COLOR (Think Masterbatch), DYNA MORE, Dr. Reinefeld Hagen Stiftung, EDAG, esi (get it right*), Fraunhofer, Hagen GmbH Engineering, KIT (Karlsruher Institut für Technologie), KAUTEX MASCHINENBAU, NAFEMS, RIKUTEC®, BOSCH (Invented for life), simcon (SUPPLYING SOLUTIONS), inuTech.
- Belgium:** GEONX, Stream ENGINEERING.
- Switzerland:** BETA SIMULATION SOLUTIONS, Sintratec.
- Austria:** 4Q ENGINEERING, Wilmann, Botzenfeld.

Project start

September 2017

Project leader

Klaus Wolf, Fraunhofer SCAI

Project website

<https://itea3.org/project/vmap.html>

Project end

September 2020

Project email

klaus.wolf@scai.fraunhofer.de

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. As ITEA is a EUREKA Cluster, the community is founded in Europe based on the EUREKA principles and is open to participants worldwide.

<https://itea3.org>

ADDITIVE WORKS

Additive Works präsentierte neues Amphyon Modul erstmals auf der Rapid.Tech in Erfurt

Additive Works hat sein neues Amphyon Modul erstmals auf der Rapid.Tech in Erfurt vorgestellt. Amphyon ist eine simulationsbasierte Prozesssoftware für additive Fertigungsverfahren wie das pulverbettbasierte Laserstrahlschmelzen. Die Software ermöglicht eine automatische Optimierung der Bauteilorientierung und die Simulation des Aufbauprozesses. Mit Amphyon können Prozessparameter angepasst werden, um eine höhere Bauteilqualität und eine bessere Prozessstabilität zu erreichen. Mit dem neuesten Modul verfügt die Software nun auch über einen automatisierten Prozess zur „First-Time-Right“ Generierung von Stützstrukturen für das Laserstrahlschmelzen.

Stützstrukturen sind essentiell für einen hochwertigen Druck. Wenn die Struktur nicht stabil genug ist oder nicht darauf ausgelegt ist, die Prozesswärme zureichend abzuführen, kann die Qualität oder die Form des Bauteils stark vom gewünschten Ergebnis abweichen. Darüber hinaus kann eine Rissbildung während des Prozesses zum Prozessabbruch führen. Wenn Bauteile zum ersten Mal gedruckt werden, kann dies die Kosten pro Bauteil aufgrund von manuellen Iterationsschleifen mit Software für die Generierung der Stützstrukturen um den Faktor zwei oder mehr erhöhen.

Das neue Amphyon Modul kann diesen Prozess durch den neuen Arbeitsablauf für die automatisierte „First-Time-Right“ Generierung von Stützstrukturen erheblich verbessern. Dies führt bei der Entwicklung von Modellen für die additive Fertigung im Laserstrahlschmelzverfahren zu einer deutlichen Zeit- und Kostenersparnis.

www.additive.works

ANSYS

Mit Ansys-Technologie – Volkswagen präsentiert voll-elektrischen Supersportwagen

Ansys unterstützt Volkswagen Motorsport bei der Entwicklung ihres ersten vollelektrischen Rennwagen I.D. R Pikes Peak. Dieser rund 680 PS starke Sportwagen-Prototyp soll bei der 96. Auflage des legendären Pikes Peak Bergrennens mit Roman Dumas (F) am Steuer einen neuen Zeitrekord für Elektroautos aufstellen. „Volkswagen Motorsport nutzt die Pervasive Engineering Simulationslösungen von Ansys, um einen digitalen Prototyp des Batteriesystems zu erstellen und das elektrische Antriebssystem des Volkswagen I.D. R Pikes Peak Rennwagens zu optimieren“, berichtet Thomas Zanzinger, Geschäftsführer von Ansys in DACH. „Gerade das Pikes Peak-Projekt zeigt die Bedeutung der Simulationslösungen von Ansys, da die Kunden neue Herausforderungen annehmen und neue Grenzen im Bereich des elektrischen Antriebs erkunden.“

Die einzigartige Strecke des Pikes Peak Bergrennens ist 19,99 Kilometer lang und besitzt 156 Kurven. Während der Start in 2862 Meter über dem Meeresspiegel erfolgt, befindet sich das Ziel in 4302 Metern Höhe. Für diese extremen äußeren Bedingungen sowie die besonderen Herausforderungen des Rennens wurde auch die Aerodynamik des I.D. R Pikes Peak entwickelt. Schließlich führt die große Höhe zu einer im Schnitt rund 35 Prozent geringeren Luftdichte, was andere aerodynamische Bedingungen schafft als bei einer Rennstrecke auf ebenem Gelände.

Neben Echtzeitdaten und sofortigen Ergebnissen wurden die Ansys-Lösungen zur Simulation von Fahrbedingungen eingesetzt, die in einem herkömmlichen Windkanal nicht nachgebildet werden können. Mit Ansys berechneten die Volkswagen Ingenieure die ideale Balance zwischen Kühlluftstrom und aerodynamischen Verlusten und ermittelten die beste Strategie für die Batteriekühlung, um die optimale Performance des Fahrzeugs

sicherzustellen. So treibt Ansys mit Multiphysik-Lösungen und Pervasive Engineering Simulation den Fortschritt in der Elektrifizierung der nächsten Fahrzeuggeneration voran.

Ansys 19.1 steigert die Produktivität und reduziert die Produktkomplexität in der gesamten Physik

Ansys bietet in der neuen Version Ansys 19.1 Updates für die gesamte Physik, die von der additiven Fertigung bis hin zum 3D-Design reichen. „Im Wesentlichen werden produktübergreifend die Komplexität reduziert und die Analysefunktionen verbessert“, erläutert Thomas Zanzinger, Geschäftsführer von Ansys in DACH, die Vorteile von Ansys 19.1. „Dadurch profitieren die Benutzer von einer höheren Produktivität sowie präziseren Designs und Ergebnissen.“ Highlights von Ansys 19.1 sind u.a. die neuen Funktionen und Ressourcen, die nun in der Mechanical-Suite verfügbar sind, dazu gehören auch mehr als 100 Materialmodelle von Granta. Die umfangreiche Materialbibliothek in Mechanical erleichtert Ingenieuren die Zuordnung und Validierung der Materialauswahl. Außerdem bietet Ansys 19.1 Anwendern von Topologieoptimierungen eine erhöhte Flexibilität bei der Ausführung von Berechnungen, bei denen Einschränkungen oder Antworten definiert sind.

Ansys und SAP: Gemeinsam Einblicke in die Abläufe entlang der betrieblichen Wertschöpfungskette gewinnen

Ansys und SAP haben ihr erstes gemeinsam entwickeltes Produkt vorgestellt. Die Innovation für das intelligente Unternehmen ermöglicht eine Verknüpfung der Abläufe in der Entwicklung und Fertigung.

Im Zuge der Partnerschaft wurden die Ansys-Lösungen zur Simulation von digitalen Zwillingen in das SAP-Portfolio für die digitale Logistikkette, Fertigung und das Anlagenmanagement integriert. Die erste aus dieser Partnerschaft hervorgegangene Lösung heißt SAP Predictive Engineering Insights enabled by Ansys

und wird auf der SAP Cloud Platform laufen. Industrieanlagenbetreiber gewinnen damit Echtzeiteinblicke, um Betrieb und Instandhaltung zu optimieren, Durchlaufzeiten zu verkürzen und die Profitabilität zu steigern.

Die Vorteile sind enorm, wenn sie die riesigen Datenmengen nutzen, die durch Simulationen erzeugt und von Sensoren an den Anlagen übermittelt werden. Durch Verknüpfung dieser verschiedenen Datensätze können die Ingenieure wertvolle Einblicke in das Produktverhalten gewinnen. So lassen sich künftige Entwicklungen verbessern und Innovationen vorantreiben. Darüber hinaus haben sie die Möglichkeit, Hybridmodelle zu entwickeln, die maschinelles Lernen mit physikalischen Simulationsmodellen verbinden. Damit lässt sich genau vorhersagen, wie oder wann eine Störung auftreten kann, nachdem eine Anlage in Betrieb genommen wurde.

Kunden profitieren von den Echtzeiteinblicken und können über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg verfolgen, wie Anlagen konzipiert, erstellt und betrieben werden. SAP Predictive Engineering Insights enabled by Ansys ersetzt die zeitabhängige Instandhaltung industrieller Anlagen durch vorausschauende Wartung. Die cloud-basierte IoT-Lösung für die Industrie ermöglicht genaue Einblicke. Sie kombiniert dazu die Daten aus Echtzeit- und Vorhersage-Analysen mit den Informationen, die der Ansys Twin Builder liefert. Der Twin Builder ist die Software, mit der sich digitale Zwillinge schnell erstellen, validieren und implementieren lassen.

www.ansys.com

BETA CAE Systems

Software Suite Version 18.1.1 veröffentlicht

BETA CAE Systems gab die Verfügbarkeit der neuen Software Suite 18.1.1 bekannt.

www.beta-cae.com

COMSOL

Strahlenoptische Simulation rotierender Bauelemente für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt sowie im Verteidigungssektor

Ingenieure, die Technologien wie Laser- und Faserkreisel für zivile und militärische Anwendungen entwickeln, können nun neue Ideen und Konfigurationen mithilfe der numerischen Simulation in der virtuellen Welt testen. Das Ray Optics Module, ein Add-on Produkt der Comsol Multiphysics Software, unterstützt die Möglichkeit, Lichtstrahlen durch eine sich bewegende Geometrie exakt zu verfolgen.

Zur Demonstration dieser Funktionalität hat Comsol das Sagnac Interferometer Beispielmmodell seiner Anwendungsgalerie mit vollständiger Dokumentation und Lösung hinzugefügt. Das neue Beispiel stellt Simulationsexperten eine funktionsfähige Anwendung des Sagnac-Effekts, dem Grundprinzip von Ringlaserkreisen, zur Verfügung und unterstützt all diejenigen, die sich mit Lagenerkennung beschäftigen, um ein besseres Verständnis der Empfindlichkeit und Genauigkeit von solch komplexen Trägheitsnavigationssystemen zu erlangen.

„Wir freuen uns sehr, dass wir allen Anwendern das Sagnac Interferometer Modell zur Verfügung stellen können“, sagt Christopher Boucher, Technischer Produktmanager bei Comsol, Inc. „Nach einfachem Definieren der Winkelgeschwindigkeit kann man die Strahlen durch das Interferometer während der Rotation exakt verfolgen, auch wenn die zwei Phänomene in völlig unterschiedlichen Zeitskalen stattfinden. Für alle, die in der Luft- und Raumfahrt und in Verteidigungsindustrie arbeiten, ist das eine bahnbrechende Neuerung. Soweit wir wissen, ist keine andere kommerzielle Software dazu in der Lage.“ Die Bewegung im Beispielmmodell ist eine einfache Drehung, jedoch ist die Funktion auch auf Kombinationen von Verschiebungen und Rotationen anwendbar. Darüber hinaus können multiphysikalische Modelle erstellt werden, die Ray Tracing mit Strukturverformung kop-



No fairy tale
**MORE VALUE,
SYNERGY AND
TECHNOLOGY**



Gebrüder Grimm

The first joint
**CATIA & SIMULIA
User Community Event**

**DASSAULT SYSTÈMES
USER CONFERENCE**

4–6 December 2018

@Congress Park Hanau,
near Frankfurt

Call for Papers!
www.3ds.com/events



3DEXPERIENCE

peln, einschließlich der thermischen Spannung. Die Anwendungsgalerie verfügt über hunderte Beispielmuster und Apps, um Simulationsexperten den Einstieg in das Arbeiten mit Comsol Multiphysics zu erleichtern.

www.comsol.com

DASSAULT SYSTÈMES

Simulia Simpack 2019 verfügbar

Die Version Simpack 2019 ist seit 8. Juni verfügbar und beinhaltet unter anderem eine Vielzahl funktionaler Erweiterungen wie:

- Neuer Standard-Solver inkl. verbessertem Newton Verfahren für Statik, Quasi-Statik und Driven Equilibrium
- Erweiterung des Rolling Bearing Kraftelement 88 für flexible Innen- und Aussenringe, sowie benutzerdefinierte Wälzkörper Verschiebungen
- Erweiterung des HydroDyn Interfaces zur Berücksichtigung in den Linear Solver Tasks und Einbindung eines benutzerdefinierten Wellenspektrums

Die kompletten Release Notes, sowie Hinweise zur Installation und Lizenzierung sind im Simpack Program Directory aufgeführt (SIMULIA – Simpack 2019). Die Simpack Media Files erhalten Sie über Ihren SIMULIA Vertriebsansprechpartner.

Simulia XFlow 2018 verfügbar

XFlow, die Lattice-Boltzmann basierte Technologie für CFD, ist in der neuen Version 2018 verfügbar. Ein kleiner Einblick in die Neuerungen:

- Co-Simulation mit Abaqus für bewegte Geometrien
- Unterschiedliche Lattice-Auflösungen sind nun auch für Free Surface und Multiphase Particle-based tracking Simulationen möglich

Übernahme von Mehrheitsanteilen an Centric Software

Dassault Systèmes gab bekannt, dass eine verbindliche Einigung über die Übernahme der Mehrheitsanteile an Centric Software getroffen wurde. Die Firma Centric Software ist in Privatbesitz und Marktführer bei der digitalen Transformation im Bereich Fashion, Bekleidung, Luxusgüter und Retail. Mit dieser Investition will Dassault Systèmes die digitale Transformation von Unternehmen beschleunigen, die nach Lösungen für die zunehmend komplexe Entwicklung von Kollektionen suchen, die sowohl aktuelle Trends als auch die Wünsche von On-Demand-Konsumenten berücksichtigen. Das Marktvolumen hier beträgt mehrere Milliarden US-Dollar.

Mit Sitz in Silicon Valley, Kalifornien, USA, und Büros in 13 Ländern bietet Centric Software ‚Product Lifecycle Management‘-Softwarelösungen für mehr als 600 weltweit bekannte Marken. Dazu gehören beispielsweise ASICS, Bass Pro, Belle China, Bestseller, Etam, Kate Spade, Loblaws, Louis Vuitton, Michael Kors, Samsonite, Ted Baker und Tommy Hilfiger. 2017 konnte Centric Software eine Wachstumsrate von 60 Prozent, einen Umsatz von 61 Millionen Dollar und einen positiven Reinertrag verbuchen. Die branchenspezifische kollaborative PLM-Plattform von Centric wird für Warenplanung, Produktspezifikationen, Materialwirtschaft, Produktbeschaffung, Kostenszenarien, Kollektionsmanagement, Kalendermanagement und Qualitätsmanagement eingesetzt und kann auf dem Desktop und auf mobilen Geräten genutzt werden. Das steigert die Effizienz, beschleunigt die Time-to-Market und verbessert die Verkaufs- und Produktmargen.

„Da wir die Punkte des Wertschöpfungsnetzwerks für Kunden in 12 Branchen und 70 Segmenten verbinden, verstehen wir die spezifischen Bedürfnisse der Branchen, die ihre Produkte als Kollektion einführen“, sagte Bernard Charlès, Vice President und CEO von Dassault Systèmes. „Centric Software steht uns nicht nur mit einer marktführenden, maßgeschneiderten, konfigurierba-

ren PLM-Lösung zur Seite, sondern auch mit einem großartigen Team von Experten, die sich voll und ganz für den Erfolg dieser speziellen Kunden einsetzen. Gemeinsam werden wir ihre Transformation mit PLM beschleunigen und mit unseren 3DExperience Industrieprozessen die Wertschöpfung noch weiter steigern. Wie Solidworks vor 20 Jahren, werden wir auch Centric Software unabhängig betreiben.“

Die Verbraucher heutzutage kennen sich mit Produkten besser aus als je zuvor. Sie setzen und folgen sehr schnell Trends in einer Welt, in der das Digitale und das Physische zusammenwachsen. Wettbewerbsfähige Bekleidungs- und Modemarken kämpfen darum, die Erwartungen der Verbraucher an Trend- und On-Demand-Produkte zu erfüllen, indem sie die Anzahl der Kollektionen, die sie jedes Jahr produzieren, erhöhen und ihre Markteinführung beschleunigen. Für Tausende von Unternehmen bedeutet diese Herausforderung, jeden Tag kurzfristige Entscheidungen zu treffen und Geschäftsprozesse von der Produktentwicklung bis hin zur Markteinführung schnell neu aufzustellen, ohne dabei Margen oder Qualität zu beeinträchtigen.

„Durch die Partnerschaft mit Dassault Systèmes wird Centric Software von einem weltweit führenden Innovationsunternehmen unterstützt“, so Chris Groves, President und CEO von Centric Software. „Unsere kombinierte Expertise in den Bereichen digitale Transformation und PLM kombiniert mit der 3DExperience Plattform wird es uns ermöglichen, die Entwicklung marktgerechter Innovationen zu beschleunigen, um unseren Kunden zu helfen, einen Wettbewerbsvorteil zu erlangen und ihr Wachstum voranzutreiben.“

„Wissenschaftsorientierte Unternehmen, die zur Erforschung von Materialien auf die 3DExperience Plattform zurückgreifen, gewinnen nun eine höhere Sicherheit und mehr Flexibilität in ihrem Innovationsprozess“, sagte Leif Pedersen, CEO, Biovia bei Dassault Systèmes. „Die Möglichkeit, das richtige Material zu suchen und zuzuweisen hat einen direkten Einfluss auf das Nutzererlebnis, von der Steifigkeit eines Tennisschlägers oder der Polsterung eines Autositzes bis hin zum passenden Werkstoff für die additive Fertigung. Gleichzeitig muss dem wachsenden Verbraucherbewusstsein im Hinblick auf den Umwelteinfluss ihrer Produktinvestition Rechnung getragen werden. Unsere Kunden müssen die von ihnen verwendeten Materialien während des gesamten Produktinnovationsprozesses verstehen.“

Werkstoffe bilden die Basis für die nächste Generation an Produkten und ermöglichen leichtere und schnellere Flugzeuge und Autos, flexible High-Tech Geräte, intelligente Bekleidung oder 3D gedruckte Medizintechnik. Ein verbesserter und konsistenter Zugang zu Werkstoffdaten während des Design-, Entwicklungs- und Produktionsprozesses wird die Innovationskraft steigern, die Zeit bis zur Markteinführung verkürzen sowie das Risiko für Produktentwicklungsfehler oder mangelhafte Produktleistung senken. Weitere Details zur Integration wurden auf der internationalen Konferenz Science in the Age of Experience präsentiert, die vom 18. - 21. Juni in Boston, Massachusetts, stattgefunden hat.

www.3ds.com

ESI GROUP

ESI CEM One 2018 erleichtert die Integration von Sensoren in ihre Betriebsumgebung

Als Spezialist der Materialphysik hat ESI eine einzigartige Kompetenz entwickelt, industrielle Hersteller dabei zu unterstützen, physische Prototypen durch virtuelle Prototypen zu ersetzen. Dies ermöglicht die virtuelle Fertigung, Montage, Erprobung und Vorzertifizierung zukünftiger Produkte.

CEM One 2018, ESIs Lösung für die Berechnung elektromagnetischer Problemstellungen, bietet alle wichtigen Simulationstechniken in einer konsolidierten Benutzerumgebung. Sie ermöglicht virtuelle elektromagnetische Tests für vollständig bestückte große Industriemodelle über ein breites Frequenzspektrum – von der Hochfrequenz bis hin zu Millimeterwellen. ESI CEM One unterstützt Ingenieure und Experten auf dem Gebiet des Elektromagnetismus bei der täglichen Herausforderung, EMV-sichere Produkte, Systeme und Subsysteme zu entwickeln und bietet einzigartige Kopplungs- und Verkettungsmöglichkeiten, die es erlauben, mehrstufige elektromagnetische Phänomene in realistischen Szenarien zu bewältigen. Als Krönung der Version 2018 wurde der Schwerpunkt auf die Integration von Sensoren für eine bessere Leistungsbewertung gelegt.

Yasushi Hamada, Staff Manager der Integrated Control System Development Division bei Mazda Motor Corporation, kommentiert die neueste Version von ESI CEM One: „Im Vergleich zu früher wurde der Zeitaufwand und die Anzahl der Prozesse mit der neuesten Version von ESI CEM One drastisch reduziert. Deshalb können wir die dadurch gewonnene Zeit bis zum Stichtag für kreativere „Trial and Error“-Methoden anstatt für triviale Dinge wie Datenkonvertierung nutzen. Wir können unsere Pflicht erfüllen und nach Herzenslust danach streben, das beste Produkt zu entwickeln, das wir produzieren können. Während der Testphase bestätigte sich wieder einmal, dass der technische Support der ESI Group ausgezeichnet

net ist.“

Angetrieben durch den Wettlauf in Richtung der nächsten Mobilfunkgeneration 5G und das Internet der Dinge soll die Gesamtzahl der verbundenen Geräte in den nächsten Jahren auf 50 Milliarden ansteigen und dabei mehr als 200 Milliarden Sensoren benötigen. Die Leistungsbewertung unter realistischen Betriebsbedingungen gilt dabei als eine der wichtigsten Herausforderungen für Elektromagnetismus-Experten und bildet mit einer einfacheren Sensorintegration bei vollausgestatteten Modellen den Schwerpunkt der neuesten ESI CEM One Version.

Dieses Ziel wurde durch zwei Schlüsselmerkmale erreicht: eine genaue Modellierung gedruckter Antennen in Kombination mit einer erweiterten 3D/3D-Kopplung ermöglicht eine schnelle, einfache und flexible Integration. Um ein breiteres Anwendungsspektrum abzudecken, verfügt der CEM-FD MoM (Method of Moments)-Solver nun über ein spezielles Einspeisemodul für Patch-Antennen. Mit dem enormen Anstieg der Bordelektronik in der Automobilindustrie werden die Anforderungen an interne elektromagnetische Umgebungen immer anspruchsvoller. Angestoßen durch die Einführung von Fahrerassistenzsystemen (FAS), können dedizierte ESI CEM One Funktionen in enger Zusammenarbeit mit industriellen Endanwendern optimiert werden, um die Leistungsbewertung von integrierten Sensoren auf zahlreiche andere kabellose Geräte zu erweitern, wie z.B. Notrufe, intelligente Verkehrssteuerung und verbundene Fahrzeuge, oder für Mobilitäts- oder Unterhaltungszwecke.

Ähnliche Trends sind im Bereich Luft- und Raumfahrt und Verteidigung zu beobachten, wobei die Zunahme von elektronischen Geräten an Bord eine besondere Herausforderung für deren EMV-sichere Integration darstellt. Die neueste Version von ESI CEM One konsolidiert durch viele zusätzliche Upgrades Anwendungen, die sich auf Radarsignatur, Tarnung und absorbierende Materialien konzentrieren, indem eine erweiterte Ausgabe, Frequenzdurchlauf oder ein



MSC Software

MSC Software Conference 2018

Fachkonferenz für Simulation und Berechnung

09. & 10. Oktober in Berlin

Anwendervorträge, Trends, Product Updates,
Industrieblöcke, Keynotes

http://pages.mscsoftware.com/MSC-Software-Conference-2018_Home.html

hochauflösendes Reichweitenprofil für Zielerkennung und Hot Spot-Lokalisierung geboten wird. Darüber hinaus adressiert ESI CEM One auch die Bedürfnisse von Smart Factories durch Sensoren für industrielle IdD-Lösungen (Internet der Dinge), die eine Kommunikation von Maschine zu Maschine entlang der gesamten Produktionskette oder an strategischen Positionen in Großanlagen ermöglichen. ESI CEM One 2018 hilft Herstellern, die Datenüberwachung zu verbessern und unterstützt sie bei der Umwandlung ihrer Fertigungsstätten zu intelligenteren und sichereren Anlagen.

Hwaseung R&A verbessert die Produktzuverlässigkeit bei gleichzeitiger Reduzierung von Entwicklungszeit und -kosten

Die ESI Group gab die erfolgreiche Einführung von Virtual Prototyping bei Hwaseung R&A bekannt, einem auf Hoch- und Niederdruckschläuche sowie Dichtungen spezialisierten koreanischen Automobilzulieferer. Durch die Automatisierung der Simulationsprozesse für das Einsetzen von Dichtungen in ESI Visual-Environment war der Ausrüstungshersteller in der Lage, Dichtungsdefekte zu korrigieren und das Design zu verbessern, bei gleichzeitiger Senkung von Entwicklungszeit und -kosten.

Die Ingenieure von Hwaseung R&A sahen in der Simulation das geeignete Werkzeug zur Behebung ihrer Designprobleme und stellten sich einen vollautomatischen Prozess zur Modellerzeugung vor. Ihre

Recherchen führten sie zu ESIs Virtual Prototyping-Lösungen und speziell zu ESI Visual-Environment, einer Plattform für Computer Aided Engineering (CAE) und zur Automatisierung des Simulationsprozesses. Durch die Arbeit mit ESI konnte das Team von Hwaseung R&A den gewünschten automatisierten Prozess realisieren und so die Zeit für den Modellaufbau reduzieren und gleichzeitig eine Evaluierung der Eigenschaften und des Verhaltens der Dichtungen durchführen. Der entwickelte Prozess nutzt Computer Aided Design (CAD)- Geometrie sowie Produktdesign- und Modellierungsparameter zur automatischen Erzeugung eines gebrauchsfertigen 3D-Modells. Mit diesem Prozess war es dem koreanischen Unternehmen möglich, schnelle Parameterstudien durchzuführen, bei denen mit unterschiedlichen Positionierungsmethoden für unterschiedliche Querschnittsformen experimentiert werden konnte. Dank der auf ESIs Visual-Plattform aufbauenden Lösung sind die Ingenieure von Hwaseung R&A nun in der Lage, ohne reale Prototypen die Montage von Kofferraumdichtungen virtuell zu simulieren sowie ihre Eigenschaften und ihr Verhalten zu bewerten. Chang-Soo Lee, Deputy Manager bei der Hwaseung R&A Corporation, stellt fest: „Die in ESI Visual-Environment für uns maßgeschneiderte Prozessautomatisierung hat die Simulation der Montage der Kofferraumdichtung ermöglicht. Wir können durch die Prozesssimulation der Dichtungsmontage nun

den Einfluss von Designänderungen analysieren. Die von uns mit ESI Visual-Environment gebaute Lösung ist vollständig in unseren Produktionsprozess integriert und unser Hauptwerkzeug für die Wahl der Designparameter in der ersten Entwicklungsphase und darüber hinaus für Problemlösungen in der laufenden Produktion.“

Hwaseung R&A war nicht nur in der Lage, die Defekte im Bereich der Kofferraumdichtungen zu beheben und Entwicklungszeiten und -kosten zu senken. Die Prozessautomatisierung in ESI Visual-Environment war so erfolgreich, dass sie als Standard in den Designprozess für Hauben- und Karosseriedichtungen integriert wurde. Heute wird die Lösung auch eingesetzt, um den Bau von Modellen für das Schließen von Hauben und Türen zu unterstützen.

ESI minimiert mit PAM-STAMP 2018 Zeit und Kosten für Fertigungs-Tryouts

Als Spezialist der Materialphysik hat ESI die einzigartige Kompetenz entwickelt, industrielle Hersteller dabei zu unterstützen, physische Prototypen durch virtuelle Prototypen zu ersetzen. Dies ermöglicht die virtuelle Herstellung, Fertigung, Erprobung und Vorzertifizierung zukünftiger Produkte.

ESI stellt eine neue Version von ESI PAM-Stamp vor, einer Lösung, die darauf fokussiert ist, Zeit und Kosten für Tryouts (Erprobungen) bei der Blechumformung zu minimieren. Die Version 2018 bietet ein innovatives Werkzeug, um Ingenieuren zu

helfen, auch die letzten Unsicherheiten vor dem Eintritt in die reale Testphase zu beseitigen. Ebenso sagt PAM-Stamp die Qualität nach dem Montageprozess der gesamten Komponente voraus. PAM-Stamp versetzt Anwender in die Lage, effektiv das vollständige Verhalten der Presse und der gesamten Anlage während des Umformprozesses zu berücksichtigen und ermittelt automatisch die Materialparameter für hoch- genaue Materialmodelle. Ebenso ermöglichen neue Merkmale dieser Version die Inspektion der finalen Bauteilqualität in ESIs Virtual Light Room.

Mit der neuesten Version von PAM-Stamp profitieren Automobilhersteller von einer Lösung, die ein komplettes virtuelles Tryout ermöglicht und so letzte Unsicherheiten vor einem physischen Tryout eliminiert. Die zentrale Herausforderung für OEMs und Zulieferer in der Automobilindustrie ist heute die Produktion von Leichtbau-Fahrzeugen mit hoher Qualität und einem exzellenten Crash-Verhalten - und all dies in der kürzest möglichen Zeit und bei niedrigen Entwicklungskosten. Um diese Maßgaben zu erreichen, werden zahlreiche Umformsimulationen durchgeführt. Trotzdem sind bislang ein oder mehrere Iterationsschleifen während der physischen Tryouts erforderlich, um alle Spezifikationen zu erfüllen. Auch wenn die individuellen Bauteile innerhalb der geforderten Toleranzen gefertigt werden, können nach der Montage die Komponenten als ein Resultat von Fügeprozessen (z. B. thermische Effekte beim Punktschweißen) oder eines nicht optimalen Setups beim (Roll-)Säumen außerhalb der Spezifikationen liegen. In schweren Fällen kann das späte Erkennen von Problemen bei der Fertigungsqualität zu Produktionsverzögerungen führen.

Damit sichergestellt ist, dass die fertig montierte Komponente innerhalb der Toleranzen liegt, können nun nicht nur individuelle Bauteile betrachtet werden, sondern ebenso der vollständige Montageprozess für Türen und Verschlüsse. PAM-Stamp 2018 berücksichtigt thermische Fügeeffekte, hervorgerufen durch Punktschweißen, und bietet eine

intermediäre Verzerrungsanalyse (z. B. Rückfederung). Die neuen Fähigkeiten sind ebenfalls verfügbar für das (Roll-)Säumen, mit oder ohne Kleben der Komponenten. Eine finale Dimensionskontrolle ist aktiviert und die Qualität der montierten Teile kann in einem virtuellen Light Room (Lichtraum) geprüft werden.

Um die höchstmögliche Simulationsgenauigkeit zu erzielen, hat das ESI-Team an einem effizienten Assistenten für die Materialcharakterisierung gearbeitet, der es Ingenieuren ermöglicht, ohne zusätzliche Kosten und Aufwand mit den fortschrittlichsten Materialmodellen zu arbeiten. Alle Materialparameter werden automatisch aus Standard-Testdaten (uniaxialer Zugversuch) ermittelt.

Unterschiede zwischen Simulation und physischen Prototypen lassen sich oftmals mit einer Deformation der gesamten Pressenanlage während des Umformprozesses erklären. In Standardsimulationen werden die Werkzeuge üblicherweise als starre Körper betrachtet. Mit der neuesten Version führt ESI eine äußerst effektive Methode ein, bei der die Umformsimulation und die Simulation der Werkzeugverformung in Echtzeit gekoppelt werden, um so Änderungen der Werkzeugform über den gesamten Umformprozess nachzubilden. Die Methode ermöglicht es Anwendern, höchste Genauigkeit für die Vorhersage von Rückfederungen sowie die Analyse kosmetischer Defekte.

Um bestmöglich von allen aktuellen Entwicklungen zu profitieren und Simulationen mit höchster Genauigkeit durchführen zu können, hat ESI die HPC (High Performance Computing)-Fähigkeiten des Solvers für die Blechumformung nochmals signifikant verbessert. Eine exzellente Skalierbarkeit bis zu 128 Kernen ist nun verfügbar, was in der Praxis bedeutet, das auch für die größten Werkstücke ein Minimum von zwei Iterationen einer hochqualitativen Umformsimulation während der normalen Arbeitszeit durchgeführt werden kann.

PAM-Stamp 2018 bietet bedeutende Effizienzverbesserungen und Anwendern die Möglichkeit, ihre

Designs zu verbessern und zu verfeinern. Die Lösung unterstützt Ingenieure bei ihren täglichen Herausforderungen, ambitionierte Anforderungen zu erfüllen, indem sie höchste Genauigkeit in allen Phasen des Designprozesses und für alle Blechumformungsprozesse bietet; von der Analyse von einzelnen Bauteilen bis hin zu kompletten Zusammenbauten.

www.esi-group.com

GRANTA DESIGN

Continental entscheidet sich für Granta MI

Granta Design hat heute bekanntgegeben, dass sich vier Continental Divisionen für Granta MI, dem führenden Werkstoffinformations-Managementsystem entschieden haben, um eine zentrale Sammelstelle sowie einen Zugang für seine Materialdaten zu schaffen, von der Werkstofftechnik über Design bis hin zur Simulation. Continental hat sich seit mehr als 100 Jahren der Innovation im Automobilbereich verschrieben. Mit zunehmender Ausrichtung auf CAD (Computer Aided Design) und CAE (Computer Aided Engineering), benötigte das internationale Unternehmen ein zentrales, standardisiertes und rückverfolgbares Verfahren, um seine wichtigen firmeneigenen Daten in sämtlichen Divisionen seines Automobilgeschäfts zu verwalten.

Um die richtigen Konstruktions- und Designentscheidungen zu treffen, welche die Produktleistung verbessern, das Risiko minimieren und eine frühe Marktreife gewährleisten, sind Automobilunternehmen auf den Zugang zu präzisen, hochwertigen Materialinformationen angewiesen. Dabei ist es eine Herausforderung, diese großen Mengen spezialisierter Werkstoffinformationen zu erfassen und zu verwalten sowie sie all jenen, die sie benötigen, zur Verfügung zu stellen – und das im richtigen Format und genau dann, wenn sie benötigt werden. Wenn diese Informationen den Design- und Simulationsteams ohne Rückverfolgbarkeit,

e-LEARNING



Learn Anytime, Anywhere.

Konsistenz und Kontextdaten zur Verfügung gestellt werden, besteht darüber hinaus Zweifel an der Richtigkeit der Ergebnisse.

Continental löste diese Herausforderung mit der Entscheidung für Granta MI als eine bewährte „Single Source of Truth“ für den Einsatz und die Wiederverwendbarkeit seiner Werkstoffinformationen im gesamten Produktentwicklungszyklus der Unternehmensgruppe. Durch Granta MI werden unternehmenseigene Materialinformationen mit umfassenden, zuverlässigen Referenzdaten ergänzt. Automobilunternehmen wie Continental setzen Granta MI als zentrale und unternehmensweite Plattform von freigegebenen, versionierten Daten ein, um die virtuelle Produktentwicklung zu unterstützen, den Qualifizierungsprozess für Zulieferer zu steuern sowie Hilfe zur Einhaltung von Umweltvorschriften zu leisten. Hochentwickelte Werkzeuge erleichtern die Visualisierung und die Analyse von Versuchsdaten, steuern das Produktrisiko, und stel-

len einen robusten Arbeitsablauf im Datenmanagement sicher.

Nach Abschluss der Pilotphase zur Implementierung wird Continental bald damit beginnen, die Granta MI Lösung breiter einzusetzen, um so mittelfristig mehr als 4.000 Anwendern in seinem Automobilgeschäft direkten Zugriff zu ermöglichen.

Dassault Systèmes und Granta Design kooperieren bei der Bereitstellung von Werkstoffwissen

- siehe auch *Dassault Systèmes* - Granta Design kooperiert mit Dassault Systèmes, um innovative Produktentwicklungsteams dabei zu unterstützen, fundiertere Entscheidungen zu den in der Produktentwicklung eingesetzten Werkstoffen zu treffen und den Anwendern dadurch ein verbessertes Nutzererlebnis zu bieten. Die 3DExperience Plattform von Dassault Systèmes integriert das Materialinformationsmanagementsystem Granta MI von Granta Design und verbessert so

die Produktivität und die Zusammenarbeit.

Dank der Integration der Granta MI Technologie stehen den Produktinnovationsteams die qualifizierten Informationen aus der Materialdatenbank des Unternehmens direkt in der 3DExperience Plattform zur Verfügung. Konstrukteure, Ingenieure, Simulationsexperten und andere Beteiligte können schnell auf präzise und konsistente Werkstoffinformationen und Materialeigenschaften zugreifen und überprüfen, ob die Anforderungen an Strukturverhalten, Kosten, Anwendung, Konformität oder Nachhaltigkeit erfüllt werden. „Wissenschaftsorientierte Unternehmen, die zur Erforschung von Materialien auf die 3DExperience Plattform zurückgreifen, gewinnen nun eine höhere Sicherheit und mehr Flexibilität in ihrem Innovationsprozess“, sagte Leif Pedersen, CEO, Biovia bei Dassault Systèmes. „Die Möglichkeit, das richtige Material zu suchen und zuzuweisen hat einen direkten Einfluss auf das Nut-

zererlebnis, von der Steifigkeit eines Tennisschlägers oder der Polsterung eines Autositzes bis hin zum passenden Werkstoff für die additive Fertigung. Gleichzeitig muss dem wachsenden Verbraucherbewusstsein im Hinblick auf den Umwelteinfluss ihrer Produktinvestition Rechnung getragen werden. Unsere Kunden müssen die von ihnen verwendeten Materialien während des gesamten Produktinnovationsprozesses verstehen.“

Werkstoffe bilden die Basis für die nächste Generation an Produkten und ermöglichen leichtere und schnellere Flugzeuge und Autos, flexible High-Tech Geräte, intelligente Bekleidung oder 3D gedruckte Medizintechnik. Ein verbesserter und konsistenter Zugang zu Werkstoffdaten während des Design-, Entwicklungs- und Produktionsprozesses wird die Innovationskraft steigern, die Zeit bis zur Markteinführung verkürzen sowie das Risiko für Produktentwicklungsfehler oder mangelhafte Produktleistung senken. Weitere Details zur Integration wurden auf der internationalen Konferenz Science in the Age of Experience präsentiert, die vom 18.-21. Juni in Boston, Massachusetts, stattgefunden hat.

Granta Design eröffnet neues Büro in Nürnberg

Granta Design hat heute die Eröffnung einer neuen Niederlassung in Nürnberg bekannt gegeben, die den zahlreichen Granta Kunden in Deutschland, Österreich und in der Schweiz mehr Unterstützung bei der Softwarebeschaffung sowie einen noch besseren technischen Support bieten wird. Dies ist der jüngste Schritt in Grantas langjähriger Zusammenarbeit mit der Industrie in dieser Region. Bisher unterstützte Granta unter anderem branchenführende Unternehmen wie Continental Automotive, Sulzer, ABB, Rheinmetall Automotive, MTU, RUAG und BMW Designworks dabei, ihre Werkstoffinformationen zu verwalten und anzuwenden.

www.grantadesign.com

INSTAL

Instal-News

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

www.4innovative-engineers.com

MSC SOFTWARE

MSC erhält den Silver Boeing Performance Excellence Award

MSC Software hat bekannt gegeben, dass sie einen 2017 Boeing Performance Excellence Award erhalten hat. Diese Auszeichnung vergibt die Boeing Company jedes Jahr an Zulieferer, die herausragende Leistungen erzielt haben. MSC Software erfüllte in allen 12 Bewertungsmonaten – von Oktober 2016 bis September 2017 – die Kriterien für die Silber-Bewertung. Dieses Jahr zeichnete Boeing Zulieferer aus, welche einen Boeing Performance Excellence Award in Gold oder Silber erreichten. MSC ist einer der vielen Zulieferer mit Silber-Level. „Wir sind besonders stolz auf diese Auszeichnung. Sie ist ein Beweis für unsere gemeinsame Geschichte und starke Geschäftsbeziehung zu Boeing und würdigt die Qualität unserer Zusammenarbeit, Technologie und unseres Engagements für die Kundenzufriedenheit. Für MSC bedeutet diese Anerkennung sowohl Stolz auf Erreichtes als auch einen Ansporn für weitere Leistungssteigerung und vertiefte Partnerschaften mit unseren Kunden“, sagt der CEO & Präsident von MSC Software, Paolo Guglielmini.

Unicaragil – Kooperationsprojekt zur Mobilität der Zukunft

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts Unicaragil haben sich die führenden deutschen Hochschulen im Automobilbereich mit ausgewählten Forschern aus der Industrie zusammengeschlossen, um das Fahrzeug und seine Entwicklungsprozesse revolutionär neu zu denken. Das Projektkonsor-

tium unter Leitung von Prof. Lutz Eckstein, Institut für Krafffahrzeuge der RWTH Aachen, wird im Rahmen des vierjährigen Projektes eine neue disruptive, modulare und agile Fahrzeugarchitektur sowie Plattform konzipieren. Ausgehend von dieser Plattform werden vier verschiedene Anwendungsfälle vom automatisierten Familientaxi bis zur mobilen Packstation prototypisch aufgebaut und abgesichert.

Autonome, elektrische Fahrzeuge werden essentieller Baustein der Mobilität der Zukunft sein: sie schaffen die Grundlage für einen nachhaltigen und intelligenten Straßenverkehr, neuartige Mobilitäts- und Transportkonzepte, Verbesserungen der Verkehrssicherheit sowie Steigerung der Lebensqualität in urbanen Räumen.

Dafür geeignete Fahrzeugkonzepte erfordern jedoch eine wesentlich zentralisiertere und leistungsfähige Informationsverarbeitung und -übertragung im Krafffahrzeug und damit eine Abkehr von etablierten Architekturen und Prozessen. Die in der Automobilindustrie vorherrschenden und in den letzten 130 Jahren bewährten Methoden der evolutionären Weiterentwicklung bestehender Systeme und Konzepte werden daher nur begrenzt Erfolg haben können.

Im Vorhaben Unicaragil werden neueste Ergebnisse der Forschung zur Elektromobilität sowie zum automatisierten und vernetzten Fahren genutzt, um autonome elektrische Fahrzeuge für vielfältige zukünftige Anwendungsszenarien zu entwickeln. Dabei werden Anleihen aus der IT-Industrie mit ihren schnellen Entwicklungszyklen und Aktualisierungsmechanismen genommen. Basis ist ein modulares und skalierbares Fahrzeugkonzept, bestehend aus Nutz- und Antriebseinheiten, das sich flexibel an vielfältige Anwendungsfälle in Logistik und Personentransport anpassen lässt. Kernelement der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist die funktionale Fahrzeugarchitektur, die mit der Cloud, der Straßeninfrastruktur und sogenannten Info-Bienen (Drohnen als fliegende Sensorcluster) vernetzt ist. Weitere Schwerpunkte liegen

in der Entwicklung generischer Sensormodule für die Umfeldfassung, einer flexibel erweiterbaren und update-fähigen Software- und Hardware-Architektur sowie Dynamikmodulen zum individuellen Lenken, Antreiben und Verzögern einzelner Räder, die völlig neue Bewegungsformen im Straßenverkehr erlauben.

Das Projektkonsortium umfasst sechs Professoren aus dem Netzwerk des Uni-DAS e.V., die das Projekt initiiert haben. Hinzu kommen weitere Partner aus der Wissenschaft sowie Firmen aus den Bereichen Antrieb, Simulation, IT-Sicherheit, Embedded Software und Systeme, Kommunikation, Kartierung und Lokalisierung, Logistik sowie Elektromobilität. Das Vorhaben bietet die Chance, vielfältige Innovationen hinsichtlich Komponenten und Systemen für autonome elektrische Automobile sowie bei der Umsetzung automatisierter Fahrfunktionen zu initiieren.

Der Parlamentarische Staatssekretär Thomas Rachel sagte bei der heutigen Auftaktveranstaltung in Aachen: „Der Bedarf an alltagstauglichen Elektrofahrzeugen ist groß, ob als Taxi oder Lieferfahrzeug. Wir wollen mit der Forschung dafür sorgen, dass Fahrzeuge entwickelt werden, die leistungsfähig, zuverlässig und emissionsfrei funktionieren. Mit Unicaragil starten wir ein in Deutschland einzigartiges Leuchtturmprojekt.“

Unicaragil leistet damit einen substantiellen Beitrag zur Steigerung der Innovationskraft am Standort Deutschland im autonomen elektrischen Fahren. Darüber hinaus wird die interdisziplinäre Forschung, Entwicklung und Lehre an mehreren Wissenschaftsstandorten in Deutschland im Vorhaben systematisch verzahnt sowie nachhaltig gestärkt.

Im Rahmen des Gesamtprojekts wird Vires Simulationstechnologie GmbH in enger Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen eine Simulation komplexer Verkehrsszenarien implementieren und somit die Arbeiten zur Erreichung des Ziels der „Realisierung eines cloud-basierten externen Umfeldmodells“ wesentlich unter-

stützen. Insbesondere die Befüllung und Validierung des Umfeldmodells werden als Kernaufgaben gesehen. Das Projekt startete am 01. Februar 2018 und hat eine Laufzeit von 4 Jahren. Es wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Förderschwerpunktes „Disruptive Fahrzeugkonzepte für die autonome elektrische Mobilität“ (Auto-Dis) unterstützt. Das Projektvolumen beträgt 23,3 Millionen Euro (davon 94 % Förderanteil durch BMBF). Mitglieder des Konsortiums sind: RWTH Aachen, TU Braunschweig, TU Darmstadt, Karlsruher Institut für Technologie, TU München, Universität Stuttgart und Universität Ulm sowie die folgenden Industriepartner Atlatec GmbH, flyXdrive GmbH, iMAR Navigation GmbH, IPG Automotive GmbH, Schaeffler Technologies AG & Co. KG und Vires Simulationstechnologie GmbH.

www.mssoftware.com

MVOID GROUP

Virtuelle Entwicklung von Soundsystemen – auf die Datenqualität kommt es an

Unternehmen, deren Produkte akustische Eigenschaften besitzen, setzen in der Produktentwicklung zunehmend auf multidisziplinäre Simulationen und Methoden der virtuellen Akustik oder planen deren Einsatz, um die Qualität ihrer Produkte weiter zu optimieren. Die Nutzung der modernen Technologien versprechen neue Lösungsmöglichkeiten, deutliche Effizienzsteigerungen und Zeitersparnis in der kompletten Phase der Produktentwicklung. Das Fundament dafür liegt in der Qualität und Vollständigkeit der CAD-Daten. Die Entwicklung von modernen Soundsystemen ist oft ein langwieriger und aufwendiger Prozess. Die Verwendung von multidisziplinärer Simulation und moderner Methoden der virtuellen Akustik helfen, frühzeitig Unzulänglichkeiten in der Positionierung von Lautsprechern oder Fehler in der Integration von Lautsprechern zu erkennen, bevor sie sich kostspielig in späteren Pha-

sen des Entwicklungs- und Produktionsprozesses niederschlagen und die Zeitplanung aus dem Ruder läuft. Für ein realitätsnahes virtuelles Soundsystem, das hörbar ist, ist das einwandfreie Zusammenspiel der CAE-Infrastruktur entscheidend. Wie gut und detailliert die Daten des Konstruktionsprogramms im virtuellen Modell umgerechnet werden, hängt vor allem von der Qualität und Vollständigkeit der CAD-Daten ab. In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Definition von Datenqualitätskriterien für jede wesentliche Entwicklungsphase ratsam ist. Die Vollständigkeit der Daten in den jeweiligen Entwicklungsphasen, die Aktualität und Genauigkeit der Daten zählen zu den wichtigsten Kriterien. Nichts ist ärgerlicher als im laufenden Projekt festzustellen, dass wichtige Daten fehlen bzw. nicht den Qualitätsanforderungen entsprechen. Dies kann zu erheblichen Nacharbeiten führen. Ein hohes Know-how und viel Erfahrung der CAD-/CAE-Experten ist gefordert. Gewöhnlich liegen die CAD-Daten nicht in der für die multiphysikalische Simulation benötigten Struktur vor. Die riesigen Datenmengen müssen zunächst auf ihre Relevanz für die virtuelle akustische Simulation analysiert werden. Abhängig davon, in welcher Phase sich das Projekt befindet, ist ein unterschiedlicher Detaillierungsgrad notwendig. In der Vorentwicklung kommt es zunächst vorwiegend auf die optimale Positionierung der einzelnen Lautsprecher an. Hier sind insbesondere Angaben zu den wesentlichen Bauteilen, A-, B- und C-Säule sowie Verkleidungsbauteile bedeutend. Es ist in diesem Stadium nicht erforderlich, jeden kleinen Schalter oder Knopf im Simulationsmodell aufzunehmen. Häufig liegen zu diesem Zeitpunkt auch noch nicht so viele Informationen vor. Teilweise werden in dieser Phase sogar Dummybauteile aus Vorgängervarianten als Platzhalter genutzt.

Für realitätsnahe Ergebnisse werden die Modelle mit Annäherung an den Produktionsbeginn kontinuierlich verfeinert. Alle beeinflussenden Bauteile mit ihren jeweiligen Eigenschaften werden nun im Simulati-

onsmodell aufgenommen – Verkleidungsteile aus Plastik, Aluminium oder Leder, Sitzmaterialien, Teppich und Glas etc. Auch scheinbar unwichtige Bauteile oder die Verbindung von Bauteilen können bedeutend sein. So sind beispielsweise Informationen zu Dämmmaterialien ebenso wie die Information, wie Bauteile miteinander verklebt oder verschraubt sind unerlässlich. Alle diese Faktoren nehmen Einfluss auf den Klang im Fahrzeug.

Das Fahrzeugprofil, Ausstattung und Materialeigenschaften eines Fahrzeugs ändern sich gewöhnlich im Verlauf der Entwicklungszeit. Nicht selten werden Bauteile in der späteren Entwicklungsphase nochmal ausgetauscht. Für eine realitätsnahe, virtuelle akustische Simulation ist es notwendig, dass in jeder wesentlichen Entwicklungsphase ein Datenabgleich vollzogen wird. Wird dies versäumt, können spätere Störgeräusche oder Unzulänglichkeiten nicht ausgeschlossen werden. Vermeintlich kleine, unbedeutende Details können fatale Auswirkungen mit sich bringen. Der Import der Daten kann aus den am Markt üblichen CAD-Systemen, wie Catia, NX (früher UG), PTC Creo (früher Pro Engineer) oder Austauschsystemen erfolgen. Unternehmen sind nicht an ein spezifisches Tool gebunden. Die Daten werden zunächst in ein 3D-Programm eingelesen und auf die für die virtuelle akustische Simulation notwendigen Daten vereinfacht. Um die für die jeweilige Entwicklungsphase relevanten Informationen zu transportieren und alle physikalischen Gegebenheiten und Disziplinen zu berücksichtigen, setzt Mvoid dafür unterschiedliche CAE-Software-Pakete ein. Erst durch die intelligente Anwendung von CAE-Softwarepaketen wird die optimale Funktionalität über die komplette Entwicklungszeit abgesichert und optimiert. Für realitätsnahe Ergebnisse werden die Simulationsmodelle mit Annäherung an den Produktionsbeginn kontinuierlich verfeinert.

Heute gewinnen moderne Methoden der virtuellen Akustik immer mehr an Bedeutung, heben sie doch realitätsnahe Simulationen auf ein neues

Niveau. In unserer schnelllebigen Zeit mit stetig kürzer werdenden Modell- und Produktlebenszyklen kommt den virtuellen Methoden eine Schlüsselrolle in der Produktentwicklung zu. Sie ermöglichen die jederzeitige Beurteilung und Kontrolle der Produktqualität und Entwicklungsergebnisse über den gesamten Prozess der Produktentwicklung.

Die modernen Methoden sind heute soweit, dass sie die meisten akustischen Anforderungen erfüllen. Die CAD-Daten und die intelligente Anwendung von CAE-Software bilden das Fundament erfolgreicher Produkte von morgen. Die Datenqualität und Vollständigkeit der Daten sind dabei entscheidend.

Die Experten von Mvoid sind Vorreiter in der Implementierung von multidisziplinärer Simulation und Methoden der virtuellen Akustik im Bereich Automotive Audio. Sie verfügen über ein hohes Know-how und viel Erfahrung von der Evaluierung erster Ideen in der Vorentwicklung über die Evaluierung des Akustikkonzepts in der Detailentwicklung bis hin zum Abgleich von virtuellem und realem Modell.

www.mvoid-group.com

SIEMENS PLM SOFTWARE

Turkish Aerospace Industries wählt Siemens als Technologiepartner für die digitale Transformation

Turkish Aerospace Industries mit Sitz in Ankara, hat sich für Lösungen von Siemens PLM Software entschieden, um den vollständigen digitalen Zwilling im Fertigungsbereich des Unternehmens zu implementieren. Mittlerweile ist Turkish Aerospace Industries Technologiehochburg für Konstruktion, Entwicklung, Modernisierung, Fertigung und Life-Cycle-Support von integrierten Luft- und Raumfahrtssystemen. Ob Flugzeuge oder Helikopter, unbemannte Luftfahrzeuge (UAV) oder Satelliten – hier entsteht alles. Das Unternehmen plant, seine Partnerschaft mit Siemens um weitere elf Jahre zu verlängern und eine

große Auswahl an Software aus der durchgängigen digitalen Innovationsplattform von Siemens zu implementieren. Darunter finden sich das Teamcenter-Portfolio, die Software NX, die Simcenter-Lösung und das Tecnomatix-Portfolio. All diese Softwarelösungen werden dazu beitragen, komplexe Programme schneller bereitzustellen, das physische Prototyping zu reduzieren und wertvolle Zeit bis zur Markteinführung zu gewinnen.

Neueste Version von Teamcenter bietet PLM-Mehrwert bei niedrigeren Betriebskosten

Siemens kündigt die neueste Version von Teamcenter an, der weltweit meistgenutzten Product Lifecycle Management (PLM) Software. Teamcenter trägt dazu bei, die Gesamtkosten für die Verwaltung und Wartung von PLM durch Cloud-basierte Bereitstellungsoptionen zu reduzieren und bietet gleichzeitig einen komfortableren Webbrowser-Zugriff auf jedem intelligenten Endgerät sowie Tools zur einfacheren Verwaltung und Wartung der Software selbst. Neue Lösungen erweitern die technische Bandbreite des PLM-Portfolios von Teamcenter. Das ermöglicht es Kunden, ihr Geschäft zu digitalisieren und fundierte Entscheidungen auf der Grundlage des digitalen Zwillings zu treffen.

Teamcenter unterstützt Kunden bei der Realisierung von Innovationen durch höhere IT-Effizienz mit modernen, anpassbaren PLM-Implementierungen. Deployment Center, ein webbasiertes Installationsprogramm, hilft Kunden bei der Verwaltung von Teamcenter in einer unbegrenzten Anzahl von Umgebungen. Die neue Version bietet eine volle Plattformunterstützung und erleichtert die Einrichtung einer Teamcenter-Umgebung.

Teamcenter bietet Kunden mehr Möglichkeiten, die Kosten ihres PLM-Betriebs zu senken, indem es mit einer Vielzahl von Cloud-Partnern, darunter Microsoft Azure und Amazon Web Services, zusammenarbeitet und die Cloud-Expertise der globalen Services-Organisation und Channel-Partner von Siemens nutzt.

Teamcenter auf Amazon Web Services verbessert kosten-effiziente Cloud-Bereitstellung

Siemens hat die aktualisierte Zertifizierung des Teamcenter-Produktportfolios, Bestandteil seiner Product Lifecycle Management (PLM-) Lösungen, auf Amazon Web Services (AWS) bekannt gegeben. Ebenfalls fertiggestellt wurde die Leistungsprüfung für mehrere Cloud-Services von AWS, die mit Teamcenter genutzt werden. Eine Zertifizierung neuer AWS-Komponenten für Teamcenter erfolgt weiterhin auf kontinuierlicher Basis. PLM on the Cloud vereinfacht die PLM-Implementierung, vermeidet hohe Vorabkosten für die Infrastruktur und verbessert den Zugriff auf PLM-Daten und -Prozesse im Unternehmen. Das hilft den Kunden, intelligente Entscheidungen zu treffen und ihr Geschäft durch Digitalisierung zu verändern. Dies führt wiederum zur Entwicklung besserer Produkte.

HP und Siemens ermöglichen weitere Innovationen für 3D-Konstruktionen und die additive Fertigung

Auf der Siemens PLM Connection Americas 2018, einer der größten Veranstaltungen für Anwender von Siemens PLM Software, erweiterten HP Inc. und Siemens ihre langjährige Zusammenarbeit. Dafür werden zusätzliche Funktionen in einer breiten Palette von Siemens PLM Software bereitgestellt, die sowohl die Entwicklung wie auch die Druckvorbereitung für Multi Jet Fusion 3D-Drucktechnologie von HP optimieren.

NX und Solid Edge Software von Siemens unterstützen die 3D-Farbdruckfunktionen mit HP Multi Jet Fusion. Mit den neuesten Versionen ermöglichen Siemens, führender Anbieter digitaler Innovationssoftware, und HP, weltweiter Branchenführer im 3D-Druck, Anwendern der Software NX und Solid Edge die Konstruktion und Produktion von 3D-Druckteilen in Farbe.

Die Jet Fusion 3D 300/500 Serie von HP ist die erste 3D-Drucklösung für die Herstellung von funktionalen Bauteilen in Farbe, Schwarz oder Weiß auf Voxel-Level – gefertigt in

einem Bruchteil der Zeit verglichen mit anderen Technologien.

Die Jet Fusion 3D 300/500 Serie unterstützt die führenden Farbdateiformate, einschließlich 3MF, und ermöglicht damit den Konstrukteuren einen durchgängigen Workflow für farbige Bauteile. Anwender von NX und Solid Edge können daraus die Vorteile für die Multi Jet Fusion-Technologie von HP nutzen und haben Zugriff auf das gesamte HP-Druckerportfolio, einschließlich der industriellen HP Jet Fusion 4200/4210- und 300/500-Lösungen.

Solid Edge liefert Werkzeuge der Zukunft zur Produktherstellung in integriertem Portfolio

Siemens bringt die neueste Version von Solid Edge auf den Markt. Sie umfasst ein Portfolio von erschwinglichen und leicht bedienbaren Software-Tools, die alle Aspekte des Produktentwicklungsprozesses unterstützen: Dazu zählen beispielsweise mechanische und elektronische Konstruktionen, Simulation, Fertigung, technische Dokumentation und Datenmanagement. Solid Edge 2019 bietet erstklassige Technologien für die Konstruktion von elektrischen Leitungen und Leiterplatten (PCBs), neue Möglichkeiten für das Anforderungsmanagement, vollständig integrierte Simulationsanalysen, die neuesten Tools für die subtraktive und additive Fertigung sowie kostenlose, sichere Möglichkeiten, cloudbasiert an einem Projekt zusammenzuarbeiten. Das erweiterte Portfolio macht es für Kunden aller Unternehmensgrößen noch einfacher, Innovationen durch die Nutzung eines durchgängigen digitalen Zwillings zu realisieren.

Neuer Virtual Reality Client für Simcenter Star-CCM+ verfügbar

Die aktuelle Version von Simcenter Star-CCM+ ist ab sofort mit neuem Virtual Reality Client verfügbar. Simulationsmodelle waren bisher die Aufgabe von spezialisierten CFD-Ingenieuren, die mit vielen Mausclicks und komplexen Tastaturkombinationen an den Modellen arbeiteten. Der neue Virtual Reality Client in Simcenter Star-CCM+ V13 verändert das Modell grundlegend:

Er ermöglicht es auch weniger erfahrenen Ingenieuren, direkt in eine Simulation einzutauchen – mit intuitiven Handgesten und Kopfbewegungen.

Zudem ermöglicht der neue Client Nutzern die geometrische Darstellung der Simulation zu überprüfen, indem sie durch das Modell „laufen“, Problembereiche, die die Produktleistung beeinträchtigen, zu identifizieren und mittels masseloser Partikel zu beheben, die der Strömung innerhalb eines Modells folgen, Risikofaktoren für den Menschen, wie schädliche Abgase oder Rauch, direkt in der simulierten Umgebung zu identifizieren

www.siemens.com/plm

TECOSIM

Forschungsprojekt: Deep learning analysiert Low-Speed-Crash

Gemeinsam mit der IoT Venture GmbH startet der CAE-Spezialist Tecosim jetzt das Forschungsprojekt Low-Speed-Crash-Detector. Das Vorhaben nutzt die Internet-of-Things-Technologie um Kollisionen bei niedrigen Geschwindigkeiten, sogenannte Low-Speed-Crashes, bei Mietfahrzeugen in Echtzeit zu analysieren und zu melden. Um Zusammenstöße zu identifizieren, entwickelt das Engineering-Unternehmen Algorithmen aus bestehenden Crash-Simulationsdaten. Bei der Analyse der Daten wendet Tecosim auch Deep-Learning-Technologien an - eine besonders effiziente Methode des maschinellen Lernens. Die IoT Venture GmbH konstruiert und vermarktet anschließend die dazugehörige Hardware.

Bei der Rückgabe von vermieteten Fahrzeugen muss der Vermieter bei der Frage nach Schäden in der Regel den Aussagen des Mieters vertrauen. Oftmals bleiben Mängel unentdeckt. Und das häufig ohne Vorsatz, denn ein Touchieren beim Parken wird vom Fahrzeugmieter nicht immer wahrgenommen. Dazu kommt: Bei einer geringen Geschwindigkeit (Low-Speed-Crash)

sind die Schäden am Fahrzeug oft nicht direkt sichtbar. Der Vermieter muss das Fahrzeug aufwendig kontrollieren.

Das Internet der Dinge (Internet of Things – IoT) kann solche Prozesse künftig vereinfachen. Intelligente Sensoren (IoT-Devices) können Zustände automatisch überwachen und Aktionen auslösen. Im konkreten Fall kann ein IoT-Modul Low-Speed-Crash-Ereignisse am Fahrzeug erfassen, analysieren und unmittelbar an den Verleiher oder Besitzer senden. Eine zeitintensive Nachkontrolle entfällt. Tecosim und IoT Venture nutzen für das Projekt die neuartige Narrowband Internet-of-Things-Technologie. Diese sehr effiziente Übertragungsmöglichkeit wird in Deutschland seit diesem Jahr sukzessive ausgerollt.

Mit dem Forschungsprojekt verfolgt Tecosim das Ziel eine solche Lösung anzubieten. Die Funktionsweise wird durch die neue IoT-Technologie möglich: Ein Beschleunigungssensor misst am Fahrzeug auftretende Erschütterungen und identifiziert daraus mögliche Aufprallereignisse. Die Software analysiert die Beschleunigungssignale und stellt fest, ob ein Low-Speed-Crash vorliegt oder ein anderes Ereignis das Signal ausgelöst hat. Das System unterscheidet also, ob ein kleiner Parkunfall oder ein großes Schlagloch die Ursache ist.

Der Fokus des Tecosim-Forschungsprojekts liegt somit auf der Steigerung der Lernfähigkeit sowie der Programmierung der benötigten Software. Bei der Entwicklung der Algorithmen nutzt Tecosim sein jahrzehntelanges Know-how in der Crash-Simulation und greift auf die daraus gewonnenen Erkenntnisse zurück. Zusätzlich fließen die vorhandenen Simulationsdaten aus dem eigenentwickelten Reverse

Engineering Prozess TEC|Bench mit ein. Bei diesem Verfahren werden auf dem Markt verfügbare Fahrzeuge gescannt und die gewonnenen Geometriedaten in CAE-Modelle zur Crashesimulation aufbereitet. Bei der Verarbeitung und Zuordnung der Daten verwendet Tecosim „Deep Learning“. Die Methode nutzt künstliche Intelligenz und lernt durch neuronale Netzwerke Muster und Gesetzmäßigkeiten anhand von Beispieldaten auch in unbekanntem Informationen zu erkennen.

Das gemeinsame Forschungsprojekt ist auf zwei Jahre angelegt und wird gefördert durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Mit dem Programm sollen die Innovationskraft und die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen nachhaltig unterstützt werden. Das Forschungsteam des Projektes setzt sich aus Mitarbeitern von Tecosim und der IoT Venture zusammen. Beide Unternehmen nutzen ihre digitale Kompetenz um das Internet der Dinge im Alltag zu etablieren.

www.tecosim.com

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

World Molding – Innovation Day	18.09.	Balingen, D	www.simpatec.com	Simpatec
MSC Software Conference	09.-10.10.	Berlin, D	www.mssoftware.com	MSC Software
Cadferm Ansys Simulation Conference	10.-12.10.	Leipziger, D	www.simulation-conference.com	Cadferm/Ansys
NAFEMS European Multiphysics Conference	11.-12.10.	Budapest, H	www.nafems.org/mp2018	NAFEMS
DYNAmore LS-DYNA Forum	15.-17.10	Bamberg, D	www.dynamore.de	DYNAmore
Numeca User Meeting	16.-17.10.	Berlin, D	www.numeca.com	Numeca
Vom virtuellen Produkt zum digitalen Zwilling – Faserverbundleichtbau 4.0	18.10.	Braunschweig, D	www.dlr.de	DLR
3DExperience Forum 2018	18.-19.10.	Göttingen, D	www.3ds.com	Dassault Systemés
Human Modeling Symposium	18.-19.10.	Berlin, D	www.carhs.de	Carhs
Comsol Konferenz	22.-24.10.	Lausanne, CH	www.comsol.com	Comsol
ESI OpenFOAM Conference 2018	23.-25.10.	Hamburg, D	www.esi-group.com	ESI
ICC - International Composites Congress	05.-06.11.	Stuttgart, D	www.composites-germany.org	Composites Germany
NAFEMS Seminar: Neue Methoden in der numerischen Strömungsberechnung (CFD)	12.-13.11.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/cfd18	NAFEMS
formnext	13.-16.11.	Frankfurt/Main, D	www.mesago.de	Mesago
NAFEMS Seminar: Model Based Systems Engineering (MBSE) und CAE	14.-15.11.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/mbse18	NAFEMS
Simvec	20.-21.11.	Baden-Baden, D	www.vdi-wissensforum.de	VDI
NAFEMS European SPDM Conference	28.-29.11.	München, D	www.nafems.org/spdm2018	NAFEMS
NAFEMS Nordic AM Seminar	10.-11.12.	Helsinki, FI	www.nafems.org/am2018	NAFEMS



NWC NAFEMS
NAFEMS WORLD CONGRESS 2019
 17-20 JUNE | QUEBEC CITY | CANADA
A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION
 incorporating the
spdm INTERNATIONAL CONFERENCE
 Simulation Process & Data Management

www.nafems.org/congress

NAFEMS World Congress 2019:
 Call for Papers ab Anfang August
 Abstracteinreichung bis 21.11.2018

Weitere Veranstaltungen: www.nafems.org/events

Simulationsbasierte Entwicklung von Werkzeugmaschinen

Jens Hamann, Haiko Klaus
(Dr. Binde Ingenieure Design & Engineering GmbH)

Die Rolle der Simulation in der Produktentwicklung von Werkzeug- und Produktionsmaschinen wurde in den letzten 20 Jahren durch Dienstleistungsspezialisten wie Siemens „Mechatronic Support“ und „Planlauf GmbH“ unterstützt. Nur solche Spezialisten waren in der Lage, die unterschiedlich notwendigen Disziplinen in einem Simulationsmodell darzustellen:

- Antriebe,
- Steuerungen,
- Regelungstechnik,
- Messtechnik
- und die von den Herstellern zu betrachtende Mechanik

Dieses Simulationsmodell wurde in den letzten 20 Jahren so verbessert, dass heute ein virtueller Prototyp vorliegt, der für die erforderlichen Aufgabenstellungen wie dynamisches Verhalten am Tool-Center-Point (TCP) als digitaler Zwilling angesehen werden kann. Die Hersteller von Werkzeug- und Produktionsmaschinen möchten sich von solchen System-Dienstleistungsspezialisten unabhängiger machen. Die Dr. Binde Ingenieure GmbH unterstützt die Hersteller in diesem Bestreben und zeigt auf, welche Fragestellungen nur mit dem Tool NX Simcenter 3D beantwortet werden können.

Unser Ziel ist es, den Maschinenherstellern zu erläutern, wie ein Antriebsstrang in eine Simulation zu integrieren ist, wie die Mechanik anhand von Übertragungsfrequenzgängen identifiziert wird, wie ein Kraftstoß am TCP realisiert wird und wie die dynamische Nachgiebigkeit am Tool Center Point simuliert wird.

1 Dynamisches Verhalten als Qualitätsmerkmal von Werkzeugmaschinen

Das dynamische Verhalten von Werkzeugmaschinen ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal. Schwächen im dynamischen Verhalten sind Überschwingen, Konturfehler, Bearbeitungsmarken oder niedrige Produktivität. Um das dynamische Verhalten von Werkzeugmaschinen zu verbessern, ist es notwendig, eine gut ausgelegte Mechanik mit dem passenden Antriebsstrang und einer optimal eingestellten Regelung zu kombinieren.

Um hierbei schneller und kostengünstiger eine optimale Lösung zu erhalten, bietet sich eine dynamische Simulation als Werkzeug an. Wichtige dynamische Simulationen sind:

- Übertragungsfunktion Drehzahlregelstrecke
- Mechanikfrequenzgang
- Dynamische Nachgiebigkeit / Dynamische Steifigkeit
- Kraftstoß am Tool Center Point

2 Simulationsmodell der Werkzeugmaschine

Das mechanische Verhalten einer Maschine kann in einer Simulation in NX Simcenter 3D dargestellt werden. Für das Erstellen eines Simulationsmodelles sind die notwendigen Informationen meist schon vorhanden. Diese Informationen sind:

- die 3D-CAD Daten
- die zu verwendenden Werkstoffe und deren Eigenschaften
- Die Steifigkeiten der Führungen, der Lager und der Kugelrollspindeln
- Die Trägheitsmomente der Motoren, der Kupplungen und der Kugelrollspindeln

In diesem Artikel verwenden wir als Prinzipbeispiel eine einachsige Werkzeugmaschine (*Abbildung 1*). Die Hauptteile dieser Werkzeugmaschine sind:

- Grundgestell mit 4 Aufstellelementen (Kran-Haken-Maschine)
- Verfahrbarer Turm in X-Richtung mit 4 linearen Führungsschuhen
- Direktes Messsystem DMS
- Aufspannfläche für das Werkstück mit Tool Center Point Workpiece (TCPW)
- Hauptspindel zum Fräsen mit Tool Center Point (TCP)

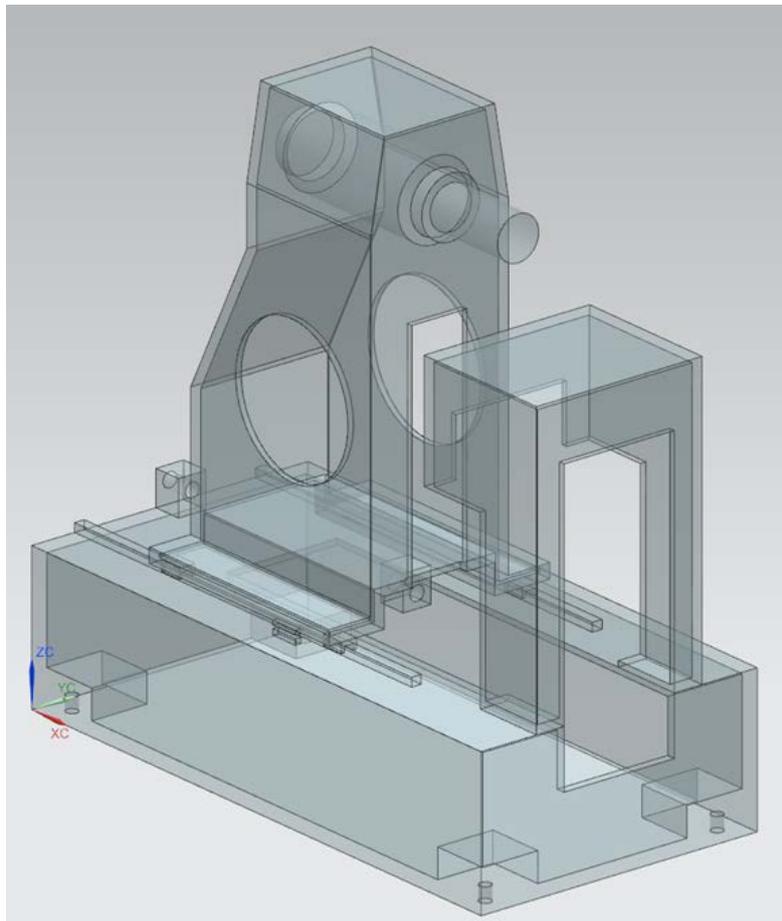


Abb. 1: Prinzipbeispiel: einachsige Werkzeugmaschine

Das Simulationsmodell haben wir in NX Simcenter 3D als FEM-Modell unter Verwendung von Solid-, Feder-, Rigid- und Punktmasse-Elementen erstellt. Die Führungselemente und Wälzlager wurden mit Federn und Rigid-Elementen modelliert.

Die Modellierung des Antriebsstranges erfolgte mit Massepunkten und Federn. Die Kugelrollspindel wird durch das Modell des Antriebsstranges ersetzt und durch eine Manual Coupling zwischen dem Festlager des Gestells und der Lagerung am Schlitten eingebunden. Die Abstraktion des Antriebsstranges vom mechanischen Modell zum äquivalenten Modell für die Simulation zeigt *Abbildung.2*.

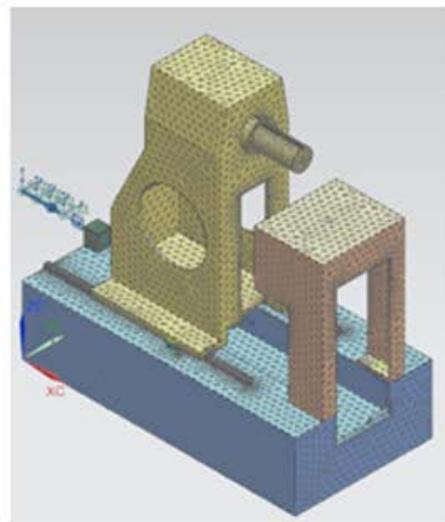
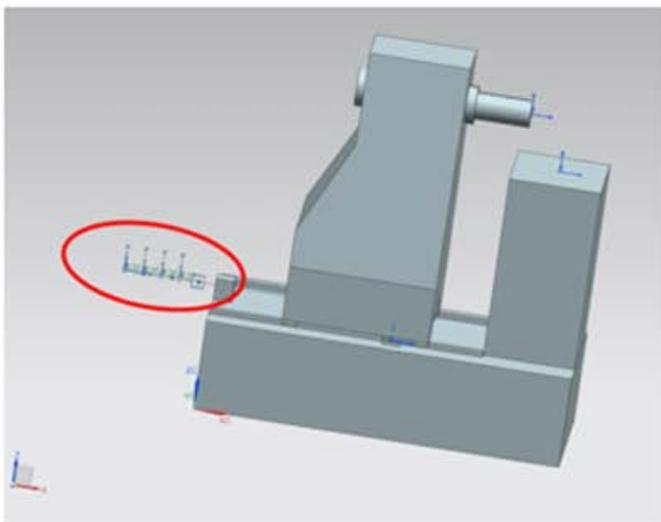
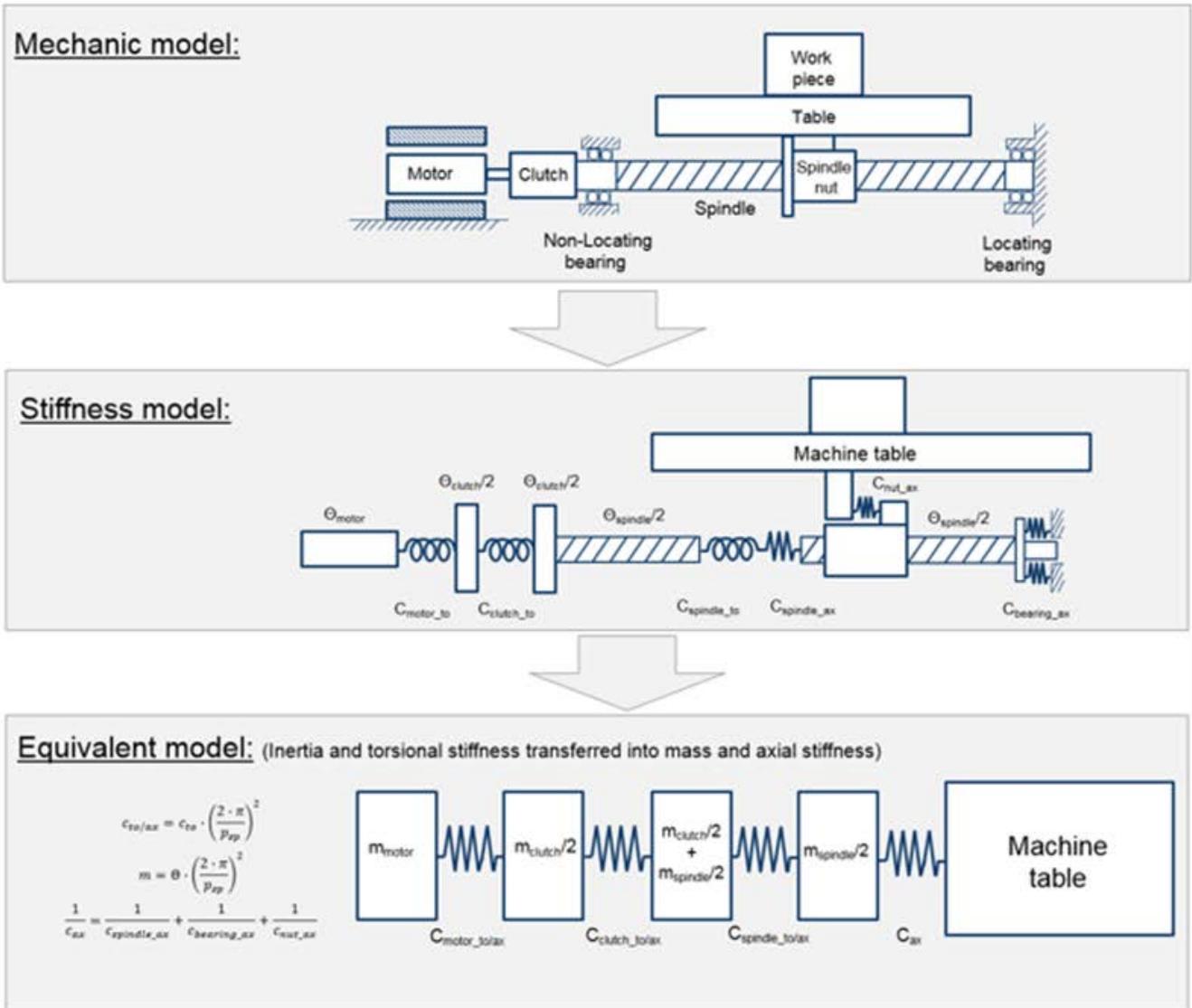


Abb. 2: Abstraktion des Antriebsstranges

An folgenden Stellen wurden Input- und Outputknoten definiert: Motor und Motormesssystem MMS, direktes Messsystem DMS (bewegt und fest), Tool Center Point (TCP und TCPW). Die Dämpfung wird in der Simulation durch modale Dämpfung abgebildet

3 Simulationen mit NX Simcenter 3D

3.1 Übertragungsfunktion der Drehzahlregelstrecke

Die Übertragungsfunktion der Drehzahlregelstrecke wird zwischen Kraft am Motor und Geschwindigkeit am Motormesssystem gebildet.

- input: Kraft am Motor (1 N, von 1 Hz bis 200 Hz)
- output: Geschwindigkeit am Motormesssystem (MMS)
- transfer function: zwischen Geschwindigkeit am Motormesssystem und der Kraft am Motor

Vom XY-Plot (Bode-Diagramm) der Übertragungsfunktion der Drehzahlregelstrecke (*Abbildung 3*) können wir folgende Informationen gewinnen:

- Nullstellen und Polstellen
- niedrigste Eigenfrequenz bestimmt Proportionalverstärkung des Lagereglers
- Fingerabdruck der Maschine
- Maschinenklasse einordnen

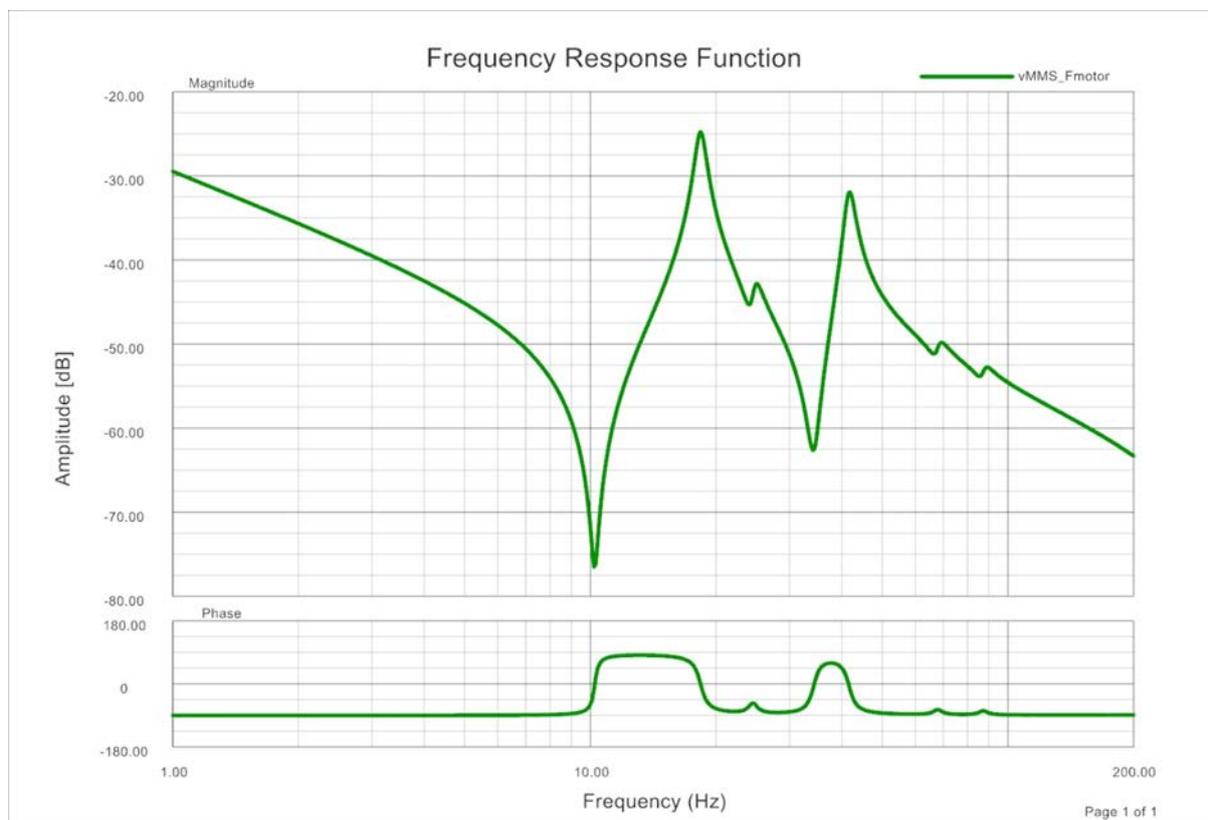


Abb. 3: XY-Plot der Übertragungsfunktion der Drehzahlregelstrecke

3.2 Mechanikfrequenzgang

Der Mechanikfrequenzgang ist die Übertragungsfunktion zwischen der Geschwindigkeit am Motormesssystem (MMS) und der Geschwindigkeit am direkten Messsystem (DMS).

- input: Kraft am Motor (1 N, von 1 Hz bis 200 Hz)
- output: Geschwindigkeit am direkten Messsystem (relativ bewegt-fest), Geschwindigkeit am Motormesssystem (relativ bewegt-fest)
- transfer function: Aus den Frequenzgängen v_{MMS} / F_{Motor} und v_{DMS} / F_{Motor} wird der Frequenzgang v_{DMS} / v_{MMS} gebildet

Vom XY-Plot (Bode-Diagramm) des Mechanikfrequenzganges (*Abbildung 4*) können wir folgende Informationen gewinnen:

- Welcher Mode begrenzt die Bearbeitung am TCP?
- Wichtiger Anhaltspunkt für das Positionierverhalten

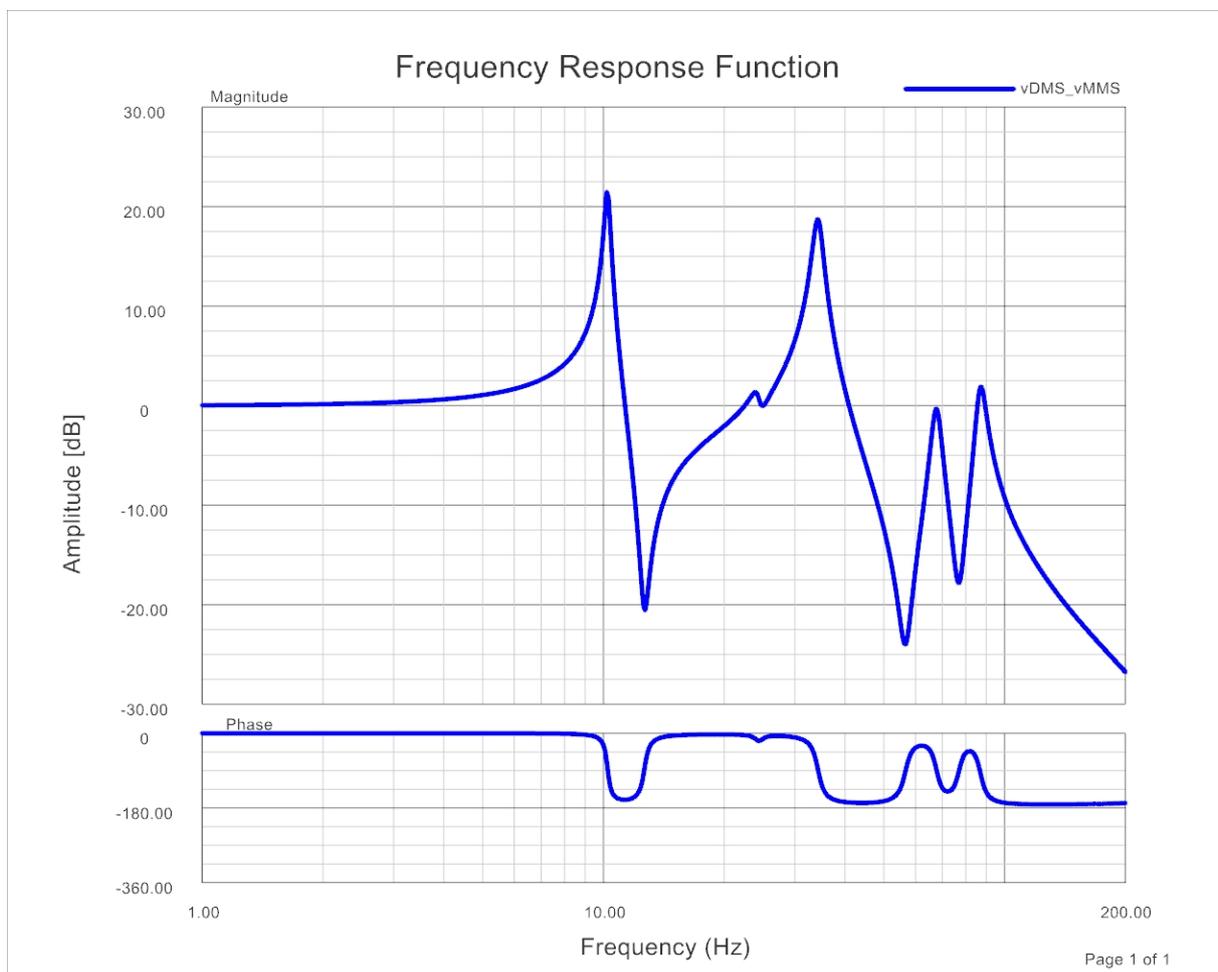


Abb. 4: XY-Plot des Mechanikfrequenzganges

3.3 Dynamische Steifigkeit / Dynamische Nachgiebigkeit

Die dynamische Steifigkeit (bzw. als Kehrwert die dynamische Nachgiebigkeit) wird bestimmt zwischen Kraft am TCP (Anregung) und der Verschiebung am TCP-TCPW (Antwort).

- Motor: fixed (Vereinfachung, entspricht idealem Motor und idealem Regler)
- input: Kräftepaar an TCP und TCPW (1 N, -1 N, von 1 Hz bis 200 Hz)
- output: Verschiebung am Tool Center Point (relativ TCP-TCPW)
- transfer function: Übertragungsfunktion zwischen Kraft am TCP und der Verschiebung am TCP

Vom XY-Plot (Bode-Diagramm) der dynamischen Nachgiebigkeit (*Abbildung 5*) können wir folgende Informationen gewinnen:

- Zeigt Frequenzen, bei denen die Maschine weicher ist als die statische Steifigkeit und mit welchem Faktor
- Ermöglicht Aussage: Ist das Maschinenkonzept realisierbar?
- Ermöglicht Aussage: Reicht die dynamische Steifigkeit für die geplante Anwendung?

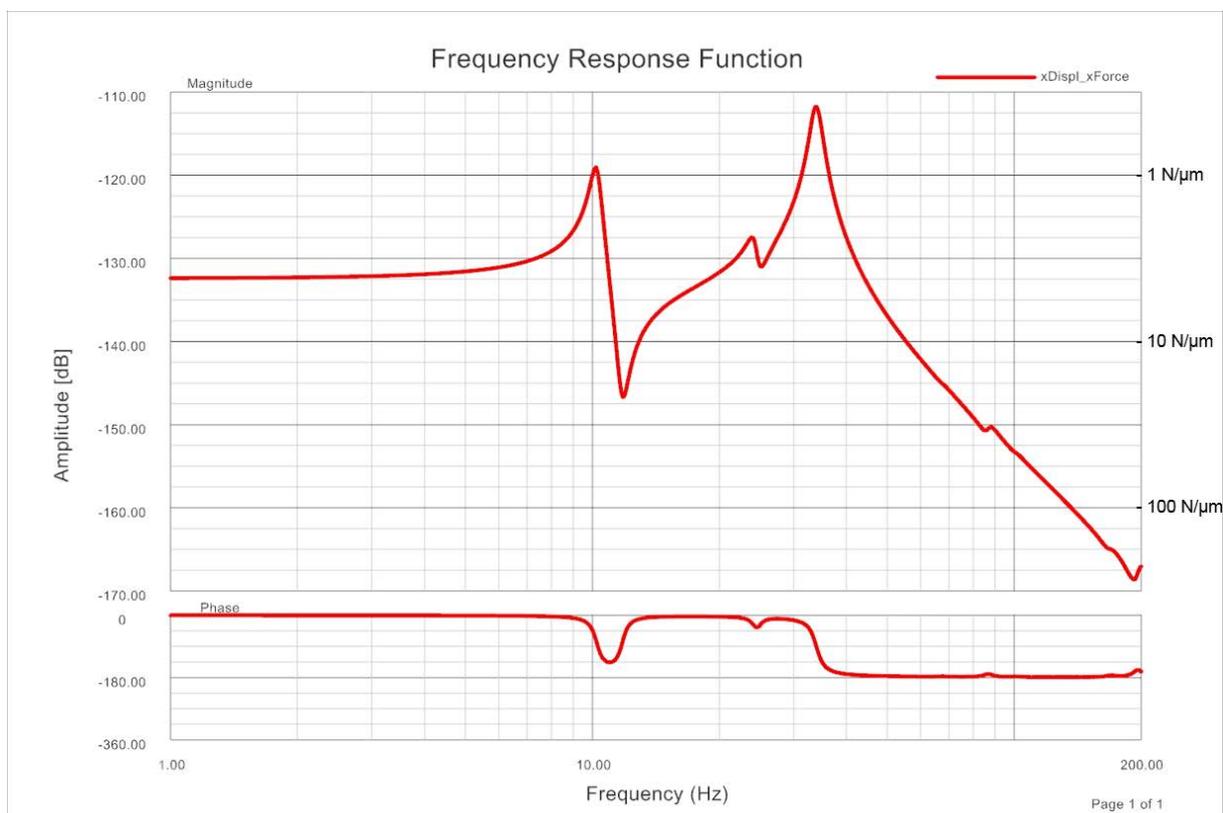


Abb. 5: XY-Plot der dynamischen Nachgiebigkeit

3.4 Transiente Antwort auf die Anregung durch einen Kraftstoß am Tool Center Point

Eine Anregung mit einem Kraftstoß generiert als Antwort Schwingungen am TCP.

- Motor: fixed (Vereinfachung, entspricht idealem Motor und idealem Regler)
- input: Kräftepaar an TCP und TCPW (transienter Verlauf, Aktio und Reaktio)
- output: Verschiebung am Tool Center Point

Anstiegszeit und Krafhöhe bestimmen: Welche Moden werden angeregt, wie stark werden diese Moden angeregt

Vom XY-Plot der transienten Antwort auf die Anregung durch den Kraftstoß (*Abbildung 6*) können wir folgende Informationen gewinnen:

- Transientes Verhalten der Achse nach Einleitung eines Kraftstoßes
- Welche Moden werden auf TCP-Seite bzw. auf TCPW-Seite angeregt?
- Indikator für Bearbeitungsmarken auf der Oberfläche

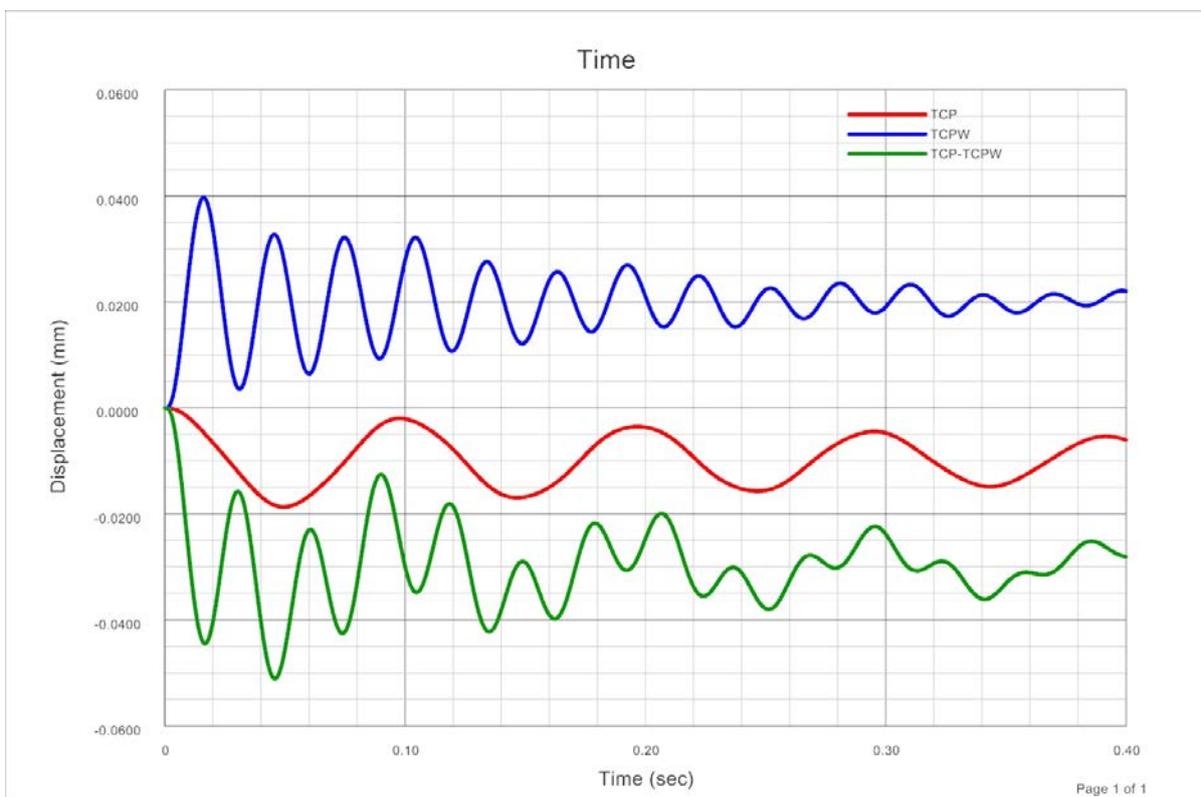


Abb. 6: XY-Plot der transienten Antwort auf einen Kraftstoß am Tool Center Point

4 Zusammenfassung

Dieser Artikel gab einen Überblick über die Möglichkeiten, Werkzeugmaschinen mittels dynamischer Simulation zu analysieren. Das Identifizieren der Mechanik geschieht mit Hilfe von Übertragungsfunktionen und Frequenzgängen, der dynamischen Nachgiebigkeit und der transienten Antwort auf eine Kraftstoßanregung. Mit dieser Art der Simulation kann das mechanische Verhalten der Werkzeugmaschine analysiert werden, ohne das Regelungssystem der Maschine in die Simulation mit einbeziehen zu müssen.

Diese Simulationsergebnisse können im Entwicklungsprozess von Werkzeugmaschinen verwendet werden, um die vordefinierten mechanischen Ziele zu erreichen

5 Literatur

- [1]: Systementwurf für Werkzeugmaschinen, J. Hamann, U. Ladra, E. Schäfers
Beitrag_Hamann_Ladra_Schäfers_Systementwurf für Werkzeugmaschinen_25_03_2010_dt.doc
- [2] Verein deutscher Ingenieure (VDI): Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. VDI-Richtlinie 2206, Beuth Verlag, Berlin, 2004.
- [3] J. Lückel: The Concept of Mechatronic Function Modules applied to Compound Active Suspension Systems. Symposium: Research Issues in Automotive Integrated Chassis Control Systems, International Symposium for Vehicle System Dynamics, Herbertov, CSFR, 1992.
- [4] J. Lückel, T. Hestermeyer, X. Liu-Henke: Generalization of the Cascade Principle in View of a Structured Form of Mechatronic Systems. IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2001), Como, 2001.
- [5] J. Lückel, C. Etingshausen, T. Hestermeyer, P. Schlautmann: Neue Bahntechnik Paderborn - Eine Anwendung der verallgemeinerten Kaskade. Innovative Antriebssysteme - Erstes Internationales Symposium für Mechatronik (ISOM'02), 21. - 22. März 2002 – Chemnitz.
- [6] E. Schäfers, J. Hamann, H.-P. Tröndle: Zum Einfluss der Abstützung von Antriebssträngen auf die Dynamik mechatronischer Systeme am Beispiel von Werkzeugmaschinen. Tagungsband 1. Paderborner Workshop „Intelligente mechatronische Systeme“, 20. und 21. März 2003; HNI-Verlagsschriftenreihe, Bd. 122, Paderborn 2003.
- [7] E. Schäfers, J. Hamann, H.-P. Tröndle: Dynamische Eigenschaften direkt angetriebener Systeme. Tagungsband 3. Paderborner Workshop „Intelligente mechatronische Systeme“, 17. und 18. März 2005, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2005.
- [8] E. Schäfers, J. Denk, J. Hamann: Schwingungsdämpfung für Be- und Verarbeitungsmaschinen. VDI/VDE-Fachtagung Elektrisch-mechanische Antriebssysteme, 27.-28. September 2006, Böblingen, 2006.
- [9] E. Schäfers, U. Ladra: Einfluss der Abstützung von Antriebssträngen auf das Gesamtsystem. Tagungsband SPS IPC Drives Nürnberg 2004.
- [10] H. Groß, J. Hamann, G. Wiegärtner: Elektrische Vorschubantriebe in der Automatisierungstechnik. Publicis MCD Verlag, Erlangen und München, 2000.
- [11] Industrial Technology Research Institute (ITRI), Taichung, Taiwan.

Über das Design von Gitterstrukturen für die additive Fertigung, basierend auf Topologieoptimierung

Hunor Erdelyi, Alain Remouchamps, Stijn Donders, Laszlo Farkas, Christophe Liefoghe
(Siemens Industry Software NV);
Tom Craeghs (Materialise);
Wim Van Paepegem (Ghent University);
Utz Wever (Siemens Corporate Technology)

Mit den jüngsten Fortschritten in der additiven Fertigung werden Gitterstrukturen zur Erreichung eines minimalen Gewichts immer beliebter. Nichtsdestoweniger ist das Design solcher Strukturen im industriellen Kontext noch nicht vollständig erforscht und lässt Raum, um designbezogene Aspekte zu untersuchen: Wo können Gitterstrukturen in einer strukturellen Komponente verwendet werden, wie können diese effizient erzeugt und dimensioniert werden und wie kann dabei immer noch ein möglichst geringes Gewicht gewährleistet werden.

Um den oben genannten Herausforderungen zu begegnen, schlagen die Autoren eine auf Topologieoptimierung basierende Methodik vor, die für Gitterstrukturen unter Berücksichtigung ihrer tatsächlichen Materialeigenschaften angepasst ist. Die Fertigbarkeit wird berücksichtigt, indem Bereiche definiert werden, die für Gitter- und Vollmaterial bestimmt sind. Gitterstrukturen werden in den Zielregionen für Gittermaterial erzeugt, und ihre Streben werden basierend auf den Ergebnissen der Topologieoptimierung dimensioniert. Abschließend wird die strukturmechanische Leistungsfähigkeit des erhaltenen Leichtbaus mit einer Finite-Elemente-Analyse bewertet. Die vorgeschlagene Methodik wird an Hand eines industriellen Anwendungsfalls dargestellt.

1 Einleitung

Zelluläre raumfüllende Materialien werden seit vielen Jahren in verschiedenen Anwendungen verwendet, um Gewichtsersparnis, Energieabsorption oder andere spezielle Eigenschaften, wie Wärmeableitungseffizienz, zu verbessern. In die letzten Jahre hat sich der Großteil des zellulären Materialeinsatzes auf Schäume gestützt und sich hauptsächlich auf Anwendungen im Bauwesen, in der Fertigungs- und in der Luft- und Raumfahrtindustrie ausgebreitet [1], [2]. Auf Grund der jüngsten Fortschritte bei der additiven Fertigung gewinnt jedoch eine andere Art von zellulärem Material schnell an Bedeutung: Die sogenannten Gitterstrukturen (*Abbildung 1*). Gitterstrukturen sind poröse Materialien, die durch Wiederholen einer Elementarzelle eine gesamte Struktur erzeugen. Durch Variieren ihrer Dichte und Größe können gewünschte lokale und globale mechanische Eigenschaften erzielt werden.

Obwohl die Gitterstrukturen als solche im Hinblick auf ihr individuelles Design [3], [4] und ihre mechanischen Eigenschaften [5] - [8] eingehend untersucht wurden, ist der vollständige Arbeitsablauf beim Entwurf einer Strukturkomponente mit Gitterstrukturen selten untersucht worden. Betreffend der design-spezifischen Aspekte konzentrieren sich die meisten Forschungsarbeiten auf die Optimierung der Strebendurchmesser eines gegebenen Gitter-Designs, um optimale mechanische Eigenschaften zu erzielen [9], [10]. Diese Ansätze nehmen jedoch ein bereits existierendes Volumen von Gitterstrukturen an.

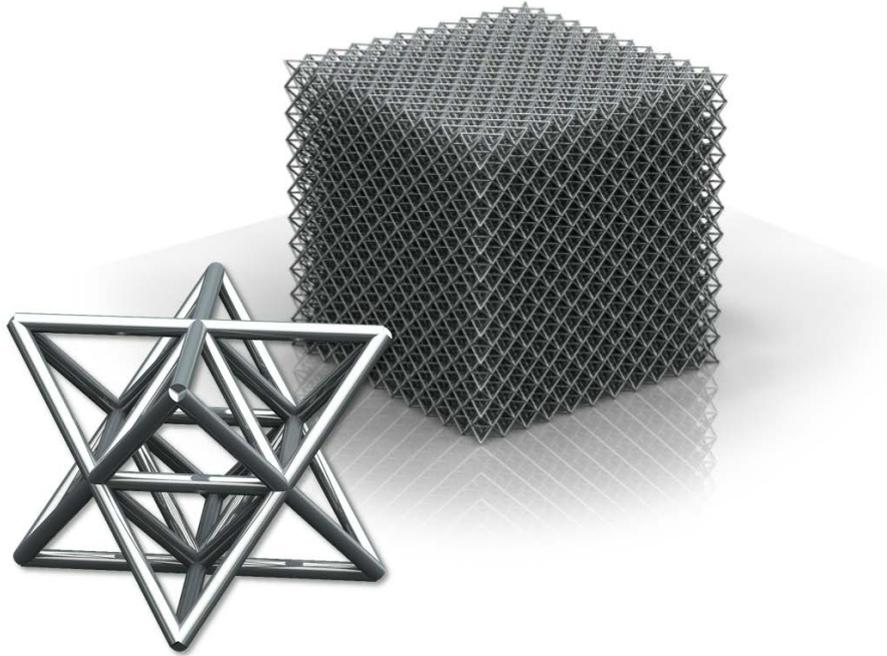


Abb. 1 Gitterstruktur Beispiel: Octet Einheitszelle und ein Cluster von 11^3 Zellen

Die wichtigsten Herausforderungen für den Leichtbau werden wie folgt identifiziert:

- Wo werden Gitterstrukturen innerhalb einer Struktur verwendet?
- Wie lassen sich die Gitterstrukturen effizient erzeugen (vom Konstruktionsraum zur tatsächlichen Geometrie)?
- Wie müssen Gitterstrukturen dimensioniert werden, um optimale mechanische Eigenschaften zu erreichen?

Um diese Fragen zu beantworten, schlagen die Autoren eine auf Software basierende Methodik vor, die die optimale Dimensionierung von Gitterstrukturen zur Erzielung höchster Struktursteifigkeiten berechnet. Gleichzeitig wird auch die Frage beantwortet, wo Gitterstrukturen platziert werden müssen, um die besten mechanische Eigenschaften bei geringstmöglichem Gewicht zu erreichen. Dies wird erreicht, indem Topologieoptimierungen eingesetzt werden, um so zu steuern, wo Gitterstrukturen als auch Volumenstrukturen im Entwurfsraum zu platzieren sind. Darüber hinaus bestimmt die Topologieoptimierung auch die optimale Dichteverteilung für die Gitterzellen, die implizit die erforderlichen Durchmesser der Gitterstreben bestimmt (hohe Dichte führt zu dicken Gitterstreben, während geringe Dichte zu dünnen Gitterstreben führt).

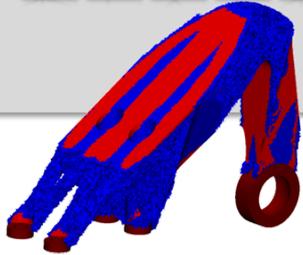
2 Methodologie

Die hier beschriebene Designmethodik betrachtet das Gittermaterial eines bestimmten ausgewählten Topologietyps (z. B. Oktett, kubisch, BCC usw.) und entsprechend deren tatsächliche Elastizität. Die aktuelle Materialeigenschaft des Gitters wird im gesamten Prozess durch alle Stufen verwendet.

Die Methodik beruht auf der Topologieoptimierung, die das Design der Gitterstruktur steuert. Die Prozessübersicht ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Arbeitsablauf besteht aus den folgenden Hauptschritten:

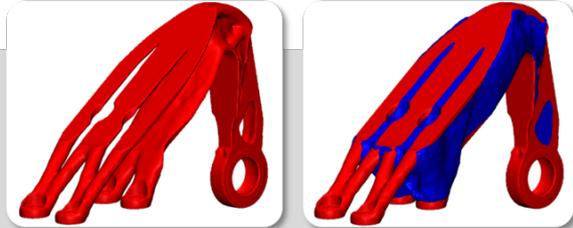
- Topologieoptimierung (TO) für Gitterstrukturen,
- Nachbearbeitung des Ergebnisses von TO und Erstellung der Gitterstrukturen,
- Designverifikation durch Finite-Elemente-Analyse

Topologie Optimierung zum Auffinden von **Zonen** für Lattice und Bulk unter Berücksichtigung der wahren Gittermaterial-eigenschaften und der Herstellbarkeit



Rot = Bulk
Blau = Lattice

Post-Processing nach der Topologie Optimierung für raue Oberflächen



Erstellung von **Leichtbaustrukturen** unter Berücksichtigung des variablen lokalen Gitterdurchmessers basierend auf Ergebnissen der Topologieoptimierung

FE Verifikation des Designs für alle Lastfälle

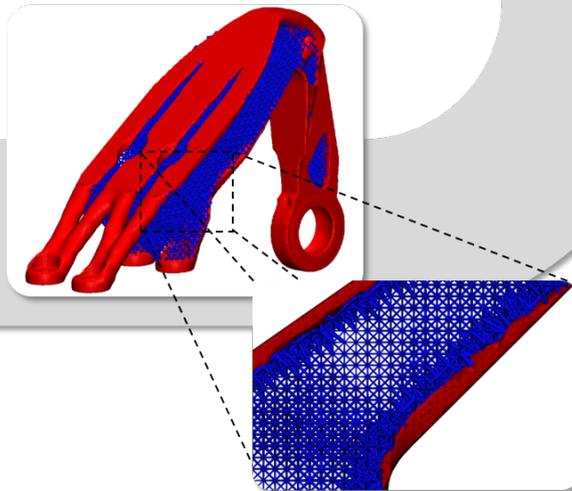
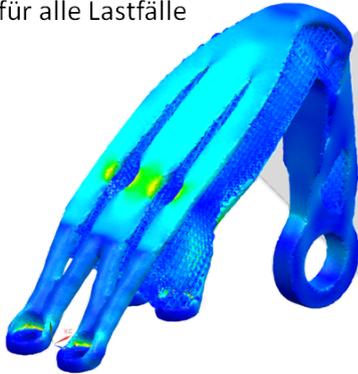


Abb. 2 Design und Analyse von Leichtbaustrukturen für die Additive Fertigung

Es wird angenommen, dass die Streben der Gitterzellen einen zylindrischen Querschnitt aufweisen, der in Knotenpunkten miteinander verbunden ist. Die Knotenpunkte sind entweder in den 8 Ecken der periodischen Zelle, den Mittelpunkten auf jeder der 6 Zellenflächen oder dem volumetrischen Mittelpunkt der periodischen Zelle angeordnet. Alle Durchmesser innerhalb der zellulären Strukturen werden als gleich angenommen.

Um die optimale Verteilung des Gittermaterials im Entwurfsraum zu definieren, wurde die TO so angepasst, dass das dichteabhängige Materialverhalten der Gitterzellen berücksichtigt wurde. Die Fertigbarkeit der Zellen wird für Pulverbett-AM-Prozesse berücksichtigt, indem obere und untere Dichtegrenzen definiert werden.

Die oberen Dichtegrenzen definieren die Strebendurchmesser, bei denen die Zellen beginnen, das in dem AM-Prozess verwendete Materialpulver einzuschließen (basierend auf einer minimalen Pulverkorngröße). Die unteren Grenzen sind definiert durch die minimal druckbare Dicke der Strebe, die in dem AM-Prozess möglich ist und den damit verknüpften minimal druckbaren Strukturgrößen und Wanddicken.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Ober- und Untergrenzen leitet die TO Gebiete ab, in denen Gittermaterial verwendet werden sollte, Zonen, in denen volles Material platziert werden sollte (wo die optimale berechnete Dichte über dem oberen Dichtegrenzwert liegt) und Zonen, in denen kein Material benötigt wird (die optimale berechnete Dichte liegt unter der unteren Dichtegrenze).

Der nächste Schritt besteht darin, die Ergebnisse von der TO nachzubearbeiten und die Gitterstrukturen zu erzeugen. Da der Konstruktionsraum für die TO mit finiten Elementen diskretisiert wird, sind die resultierenden Oberflächen entsprechend der gewählten Gittergröße rau. Um ein fertiges Produkt zu erhalten, müssen die resultierenden rauen Oberflächen geglättet werden.

Das für die Gitterstrukturen bestimmte Volumen muss mit dem ausgewählten Gittertyp aufgefüllt werden. Um den aufgestellten Regeln zu entsprechen, wird ein getrimmter Ansatz zum Auffüllen der Gitterstrukturen verwendet. Dieser Ansatz füllt die Gitterstrukturen aus und stellt sicher, dass die Zellen nicht verzerrt werden. Der Ansatz führt jedoch zu abgeschnittenen Zellen an den Rändern, was wiederum zu unzureichend verbundenen Streben führt. Diese müssten entfernt werden, um eine gute Druckqualität zu erhalten. Das Trimmen und Filtern von unzureichend verbundenen Streben führt zu einem Verlust der Konnektivität mit der Oberfläche des Vollmaterials. Die Verbindung wird wiederhergestellt, indem neue Streben erstellt werden, die den Gitterraum mit der Volumenoberfläche verbinden. Nach dem Erstellen der Gitterstrukturen besteht der nächste Schritt darin, die Strebendurchmesser der einzelnen Zellen so zu bemessen, dass die durch die TO bestimmte Dichteverteilung eingehalten wird. Dies wird erreicht, indem die lokalen, durch die TO bestimmten Dichtewerte mit den Federbeindurchmessern der Zellen durch Dimensionierungskurven verknüpft werden, die für die verschiedenen Gitterzelltypen spezifisch sind. Im Gegensatz zur parametrischen, zeitaufwendigen Optimierung bietet dieses Verfahren eine schnelle Dimensionierung der Gitterstreben.

In diesem Stadium kann das Design gedruckt werden; aus konstruktiver Sicht ist es jedoch wichtig, auch die mechanische Stabilität des Leichtbaus zu analysieren und die Spannungsverteilung innerhalb des Bauteils zu bewerten. Folglich wird ein FE-Modell erstellt und mit den ursprünglichen Randbedingungen und Lasten eine Strukturanalyse durchgeführt.

Die verschiedenen Aspekte der vorgeschlagenen Designmethode werden in den folgenden Abschnitten detailliert beschrieben.

2.1 Topologie-Optimierung mit Gittermaterial

Gitterstrukturen sind im Prinzip dichteabhängige Metamaterialien, die wie jedes andere Material charakterisiert werden können. Somit kann eine dichteabhängige Elastizitätskurve erhalten werden, die die elastische Antwort des Gittermaterials charakterisiert. Für verschiedene Gittertypen wurden die dichteabhängigen Materialkurven im Voraus bestimmt, so dass diese in dem Prozess verwendet werden können.

Abbildung 3 zeigt die normalisierten Elastizitätskurven (E^*) als eine Funktion der relativen Dichte (ρ) für drei Arten von Gitterstrukturlayouts (Oktett, kubisch, BCC), die Teil der Bibliothek charakterisierter Gitterzellen sind.

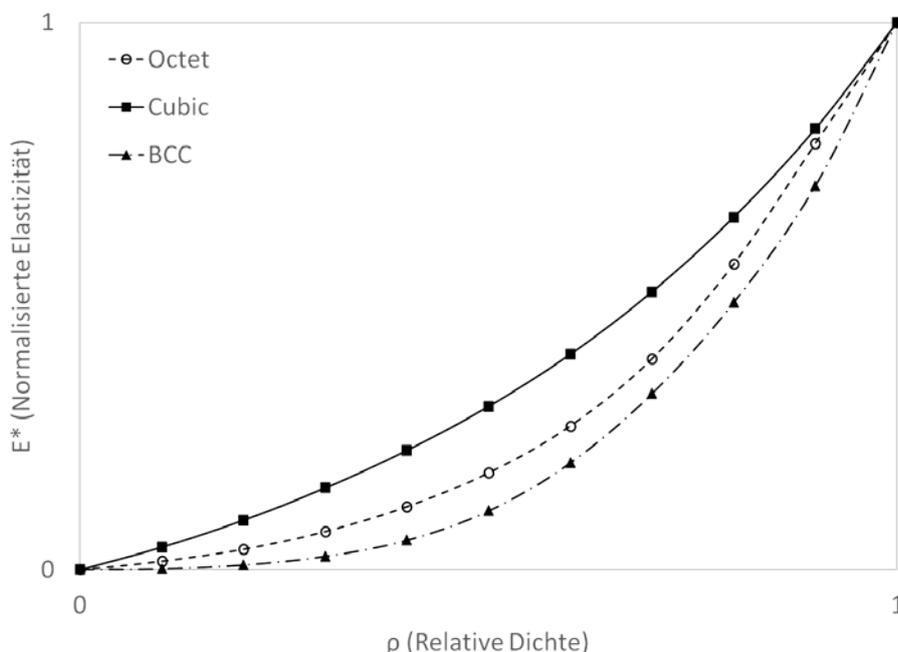


Abb. 3 Normalisierte Elastizität E^* als Funktion der relativen Dichte ρ für drei Typen von Gitterstruktur- Layouts (oktet, kubisch, BCC)

Die Kurven wurden unter Berücksichtigung der relativen Dichten und der relativen Elastizität konstruiert und sind daher weder von dem tatsächlich verwendeten Material noch von den tatsächlichen geometrischen Abmessungen abhängig, sondern ausschliesslich von der Topologie der Gitterzelle. Dieser Ansatz erlaubt es, die Kurven für verschiedene Größen von Gitterzellen zu verwenden, unabhängig von dem tatsächlichen, bei dem additiven Fertigungsverfahren verwendeten Material.

Diese Gittermaterialkurven werden im Prozess der Topologieoptimierung unter Berücksichtigung einer Zielvolumenanteil-Bedingung (TVF) verwendet, mit dem Ziel, die Steifigkeit der Struktur zu maximieren (Minimierung der Nachgiebigkeit). In diesem Sinne wird die Topologieoptimierung für einen bestimmten Gittermaterialtyp durchgeführt, um dadurch eine optimale Dichteverteilung für diesen speziellen Gittertyp zu erhalten.

Als Resultat der Topologieoptimierung wird eine optimale Dichteverteilung für den gewählten Gittermaterialtyp unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Lastfälle erhalten.

2.2 Identifizierung von Regionen für Gitter- und Vollmaterial

Die Topologieoptimierung liefert eine kontinuierliche Verteilung von relativen Dichten im Bereich von 0 bis 1 für das ausgewählte Gittermaterial im Designraum, das die für den gegebenen Fall definierten Ziele und Beschränkungen erfüllt. Jedoch kann nicht der gesamte Bereich der Gitterdichte mit der additiven Herstellung auf der Basis von Pulvern erzeugt werden. Gitterzellen unterhalb einer bestimmten Dichte haben Streben unterhalb der minimal fertigmachen Wandstärke, während Gitterzellen oberhalb einer bestimmten Dichte dicke Streben haben, die zu inneren Hohlräumen führen, die ungeschmolzenes Pulver einschließen.

Tanlakt al. [11] haben dieses geometrische Problem studiert und Kurven abgeleitet, die die relativen Radien der Streben den relativen Dichten der Zellen zuordnen; sie haben auch die Grenzen der Fertigbarkeit berechnet. Die untere Grenze wird durch die minimale fertigmachen Wanddicke beeinflusst, während die obere Grenze mit der Pulverkorngröße in Beziehung steht und einer Dichte entspricht, bei der die Gitterzelle beginnt, Pulver einzuschließen.

Betrachtet man eine $3 \times 3 \times 3 \text{ mm}^3$ Zellgröße, eine minimale fertigmachen Dicke von 0,2 mm und eine Pulverkorngröße von 0,075 mm, sind die berechneten oberen und unteren Dichtegrenzen für die verschiedenen Zellen in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 Untere und obere Dichteschranken für verschiedene Gittertypen

Zelltyp		Unteres Limit [%]	Oberes Limit [%]
Cubic		1.01	91.39
BCC		2.27	96.23
FCC		2.76	85.19
Octahedral		2.73	49.38
Cubic + BCC		3.21	82.11
Cubic + FCC		3.67	64.51
BCC + FCC		4.88	82.71
Cubic + BCC + FCC		5.80	88.83
Octet		5.35	82.26

Nach Festlegung der Limits für die Fertigbarkeit der verschiedenen Zelltypen kann man das zu füllende Volumen aufteilen zwischen Gittermaterial und Vollmaterial.

2.3 Post-Processing der Ergebnisse aus der Topologieoptimierung und Generierung von Gitterstrukturen

Nachdem die Topologieoptimierung für einen ausgewählten Gittertyp durchgeführt wurde, werden sowohl die optimale relative Dichteverteilung als auch die für Voll- und Gittermaterial bestimmten Bereiche erhalten. Die Herausforderung besteht nun darin, die Gitterstrukturgeometrie so zu erzeugen, dass innerhalb des Designraums die gleiche Dichteverteilung erhalten wird, wie sie durch die Topologieoptimierung berechnet wurde.

Die Topologieoptimierung wird typischerweise mit einer angepassten Gitterweite durchgeführt, und daher sind die erhaltenen Oberflächen der Volumen- und Gitterregionen typischerweise grob und nicht direkt für weitere Modellierungszwecke geeignet. Um eine glatte Geometrie zu erhalten, müssen diese rauhen Oberflächen nachbearbeitet werden.

Die Nachbearbeitung der Strukturen aus der Topologieoptimierung besteht hauptsächlich darin, in einem Wrapping-Prozess eine geglättete Oberfläche zu erzeugen. Neben den für das Vollmaterial bestimmten Regionen müssen auch die Regionen, die mit Gitterstrukturen gefüllt werden, nachbearbeitet werden.

Da die Wrapping-Vorgänge die für Voll- und Gittermaterial bestimmten Volumina leicht verkleinern oder vergrößern können, können die resultierenden umhüllten Volumina möglicherweise Durchdringungen aufweisen und auch den Designraum sprengen. Um sicherzustellen, dass eine konforme Oberflächengrenze zwischen den Voll- und Gitterregionen existiert und dass das Design innerhalb des Designraums bleibt, müssen Boolesche Operationen ausgeführt werden.

Als ein Beispiel für einen Kragbalken (mit vertikaler Kraft nach unten an der rechten unteren Ecke und Fixierung an der linken Seite) zeigt Abbildung 4 die anfängliche grobe Geometrie als Ergebnis der Topologieoptimierung (links) und das nachbearbeitete Endergebnis (rechts). In dieser Abbildung wurde Vollmaterial mit rot und Gitterstruktur mit blau hervorgehoben.

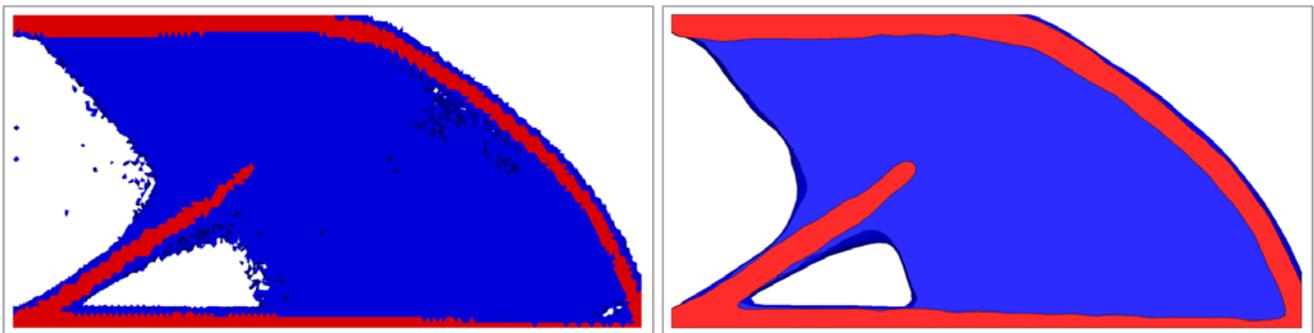


Abb. 4 Topologieoptimierung mit octet lattice Material angewendet auf einen Kragbalken :
Rauhe Geometrie (links), und nachbearbeitete Volumen (rechts)

Als nächstes werden die Gitterstrukturen mit ihrer tatsächlichen Geometrie in den entsprechenden Bereichen erzeugt. Darüber hinaus werden die Gitterstrukturen durch Zuordnen entsprechender Durchmesser derart dimensioniert, dass die resultierenden lokalen relativen Dichten mit den relativen Dichten übereinstimmen, die durch die TO für den gegebenen Gittertyp bestimmt werden. Abbildung 5 links zeigt die Dichteverteilung, die durch die Topologieoptimierung für das Kragbalken-Problem unter Berücksichtigung des Oktettgittertyps erzeugt wurde. Die rechte Seite von Abbildung 5 zeigt die Oktett-Gitterstrukturen, die auf der Dichteverteilung basieren. Man beachte das Mappen der Gitterdichte auf die durch die Topologieoptimierung gegebene Dichteverteilung: Regionen mit niedriger Dichte führen zu Gitterzellen mit dünnen Streben und Regionen mit hoher Dichte zu dicken Gitterstreben. Dieser Vorgang gewährleistet eine korrekte Dichteverteilung des Gittermaterials innerhalb der für Gitterstrukturen bestimmten Bereiche.

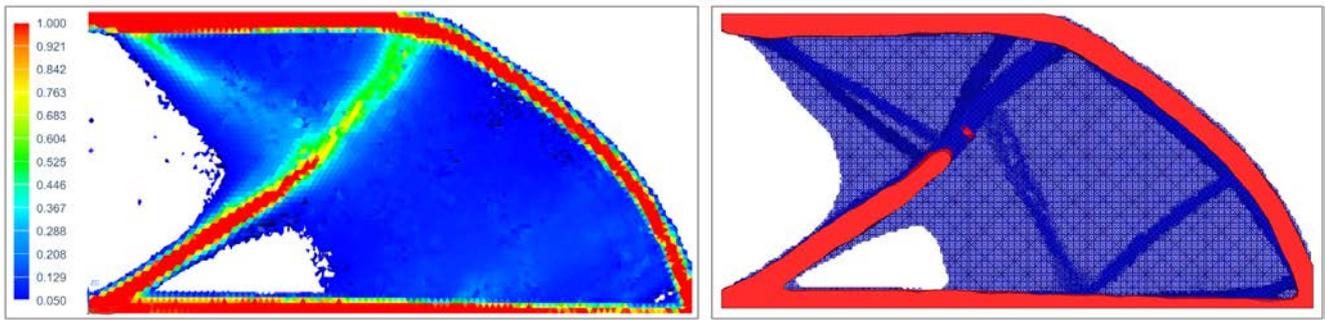


Abb. 5 Dichteverteilung für das Kragbalken-Problem (links) und Octet Gitterstrukturen basierend auf der Dichteverteilung (rechts)

3 Industrielle Fallstudie

Die vorgeschlagene Methode wird an Hand des ALCOA-Flugzeuglagergehäuses [12] demonstriert. Der Designraum wurde mit einem uniformen Netz vergittert, das lineare 1mm Tetraeder mit einheitlicher Größe umfasst. Es wurden drei Lastfälle berücksichtigt: Horizontale Last von 5560,277 N, geneigte Last (45°) von 8340,416 N und eine vertikale Last von 11120,55 N. Der Einfachheit halber wurden die Fixpunkte gleich gelassen und die Lasten wurden als verteilte Kräfte modelliert, die in 3 verschiedenen Lastfälle gruppiert wurden. Ein isotropes linear elastisches Material wurde als Basismaterial mit den folgenden Eigenschaften verwendet: E-Modul von 200 GPa, Querzahl von 0,27 und Fließgrenze von 1000 MPa.

Die Topologieoptimierung wurde für das Oktett-Gittermaterial unter Berücksichtigung von Zielvolumenverhältnisbeschränkungen von 10%, 20% und 30% durchgeführt. Die Berechnung wurde mit einem kommerziellen Optimierungs- und Simulationswerkzeug (20 Iterationen) durchgeführt [13]. Das Optimierungsziel der TO war die Minimierung der Nachgiebigkeiten. Für die untersuchten Fälle wurden die für den Oktett-Gittertyp berechneten Dichtegrenzen verwendet (Tabelle 1).

Für jedes Modell wurde die aus der TO resultierende grobe Geometrie nachbearbeitet, um glatte Oberflächen zu erhalten. Die Gitterstrukturen wurden in den Zielregionen unter Verwendung eines kommerziellen Entwurfswerkzeugs für additive Fertigung nach dem Stand der Technik erzeugt [14]. Die Dimensionierung der Gitterzellen für die verschiedenen Modelle wurde basierend auf den Dichteverteilungen entsprechend den verschiedenen Modellen erreicht. Ein Beispiel für die aus der TO erhaltene Dichteverteilung (10% Zielvolumen) ist in Abbildung 6 gezeigt.

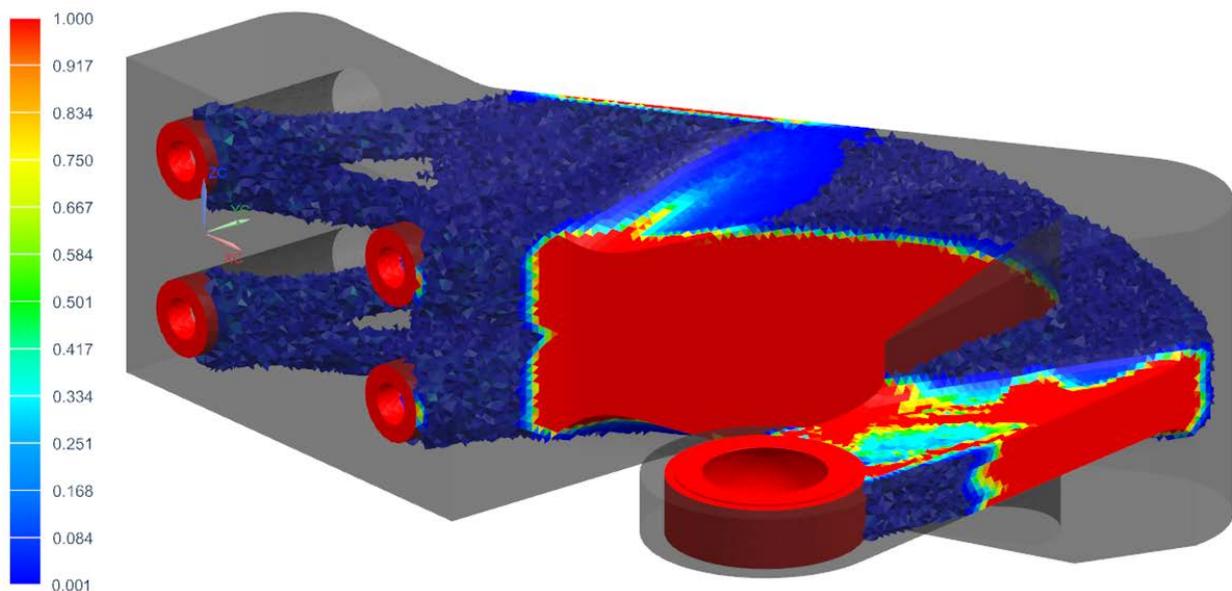


Abb. 6: Dichteverteilung für den Fall von 10% Zielvolumen

Die oben beschriebene Methodik ermöglicht es, Zellen mit höherer Dichte (dickere Gitterstreben) zu erhalten, was zu einer lokalen Verstärkung des Strukturmodells führt. Ein Zoom in die erhaltenen Gitterstrukturen mit auf der lokalen Dichteverteilung basierenden Gitterstreben ist in Abbildung 7 dargestellt.

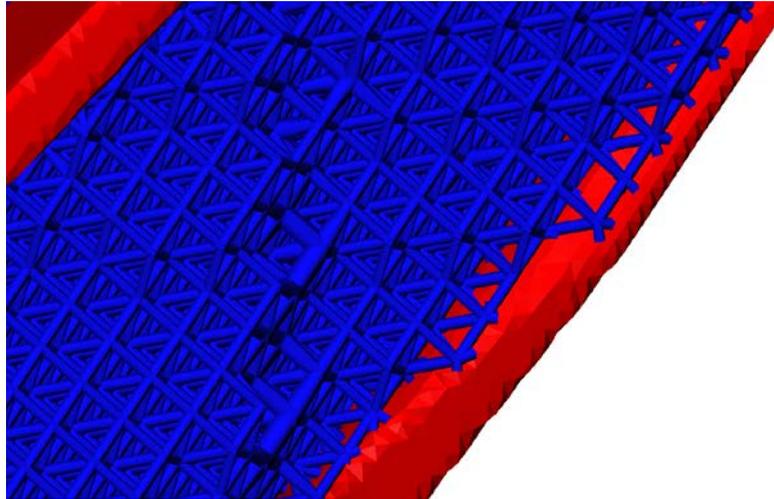


Abb. 7 Zoom in die erhaltenen Gitterstrukturen, die lokal variable Durchmesser der Gitterstreben zeigen

Abbildung 8 zeigt die erhaltenen Volumenbereiche nach dem Post-Processing der Oberflächen. Desweiteren werden auch die Gitterstrukturen gezeigt, die in die verschiedenen Modelle der 3 Fallstudien eingefügt wurden. Man sieht, dass bei höheren Zielvolumenanteilen die Lösung zu höheren Vollmaterialbereichen konvergiert. Folglich führt das Modell mit 10% TVF zu 56957 Gitterstreben, das mit 20% TVF zu 33980 und das mit 30% TVF nur zu 28680 Streben.

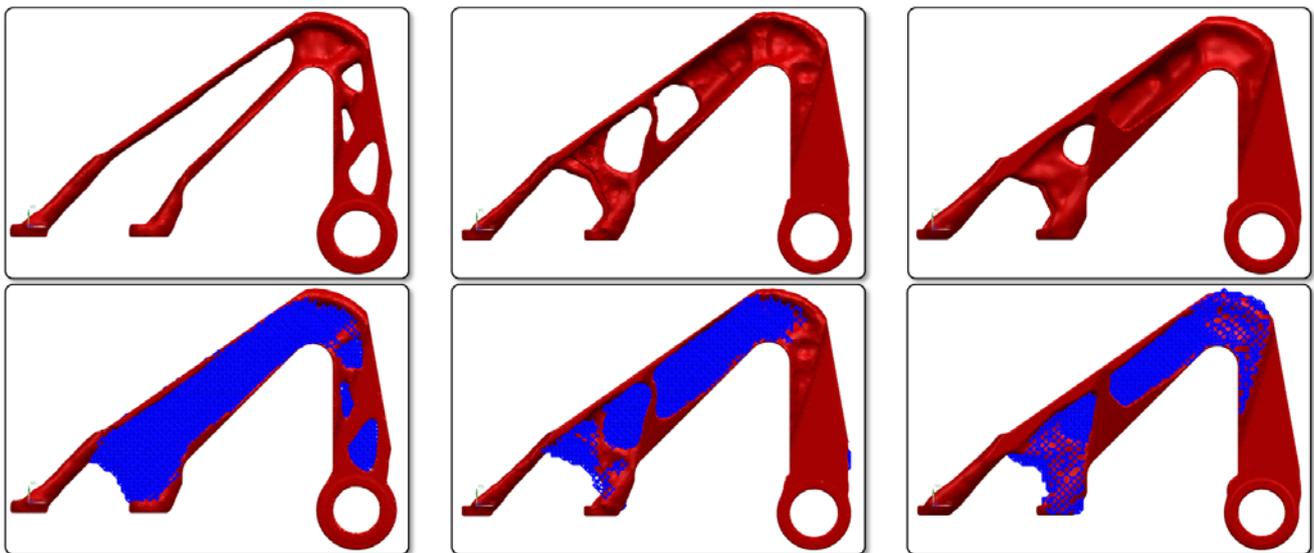


Abb. 8 Design nach der TO, das die bearbeiteten Vollmaterialregionen und die eingebetteten Gitterstrukturen für die drei Fälle zeigen: 10% (links), 20% (Mitte) and 30% (rechts) Zielvolumenanteil

Die den drei Fällen entsprechenden Modelle wurden für die FEM-Strukturanalyse vernetzt. Lineare Tetraeder wurden für die Vernetzung verwendet. Die drei Modelle bestanden aus 711965, 889364 und 1491498 Tetraeder, die den 10%, 20% bzw. 30% TVF-Fällen entsprachen. Die Gitterstrukturen wurden unter Verwendung von Balkenelementen modelliert, was zu dieser hohen Zahl von Elementen führte. Abschließend wurden die FE-Modelle wieder mit den Randbedingungen und den Lasten versehen, und die Strukturanalyse

wurde jeweils für die 3 Lastfälle durchgeführt. Die Ergebnisse der Strukturanalyse können wie folgt zusammengefasst werden:

Abbildung 9 zeigt die von-Mises Vergleichsspannungen für die drei Lastfälle: Lastfall 1 oben, Lastfall 2 in der Mitte und Lastfall 3 unten. Die erhaltenen maximalen von-Mises Spannungen sind in Tabelle 2 angegeben.

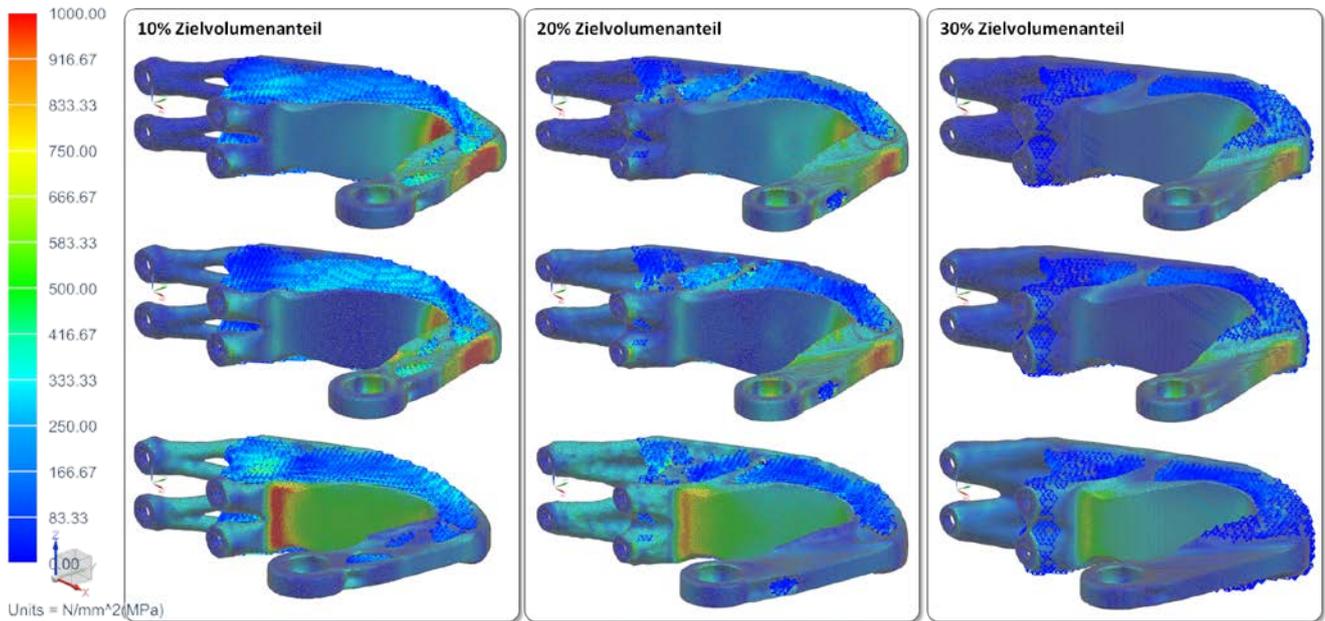


Abb. 9 Von-Mises Spannungen: Lastfall 1 oben, Lastfall 2 Mitte and Lastfall 3 unten; für die 3 Fälle des Zielvolumenanteils: 10% (links), 20% (Mitte) and 30% (rechts)

Neben den Belastungsergebnissen wurde auch die Durchbiegung der Struktur für die verschiedenen Modelle und Lastfälle gemessen und in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2 Durchbiegung der Struktur und maximale von Mises Vergleichsspannung für die drei Lastfälle und Modelle

Fall	Maximale Vergleichsspannung [MPa]			Durchbiegung [mm]		
	Lastfall 1	Lastfall 2	Lastfall 3	Lastfall 1	Lastfall 2	Lastfall 3
10 % TVF	1385	1515	1229	2.659	2.123	1.735
20 % TVF	1189	1302	922	2.183	1.766	1.421
30 % TVF	950	1020	658	1.569	1.26	0.998

Die erhaltenen Ergebnisse spiegeln gut die Zunahme des Zielvolumenanteils wider, was zu einem vergrößerten Anteil des Vollmaterials im Modell und somit zu einer erhöhten Gesamtsteifigkeit des Teils führt und wiederum zu geringeren Spannungen und geringeren Durchbiegungen.

4 Fazit

Es wurde eine neue Methodik für den Entwurf und die Optimierung von 3D-Gitterstrukturen vorgestellt, die sicherstellt, dass ein Bauteil für einen ausgewählten Gittertyp optimiert ist. Das Verfahren stellt sicher, dass die physikalischen Eigenschaften mit den zugrunde liegenden Eigenschaften des Gittertyps in allen Schritten übereinstimmen und somit die steifsten und leichtest möglichen Strukturdesigns erzeugt werden. Die Methodik erlaubt nicht nur die optimale Dimensionierung der Gitterstrukturen für höchste strukturelle Steifigkeit, sondern definiert auch, wo Gitterstrukturen benötigt werden, um die beste mechanische Festigkeit bei möglichst geringem Gewicht zu erzielen.

Das Design von Gitterstrukturen wird durch die Gittermaterialeigenschaften gesteuert, und daher wird ein optimales Gitterlayout nur für einen ausgewählten Gittertyp erhalten. Durch Hinzunahme einer Bibliothek für die charakterisierten Gitterwerkstoffe lassen sich Designs für unterschiedliche Gittertypen erzielen. Die Dimensionierung der Gitterstreben wird direkt auf Basis der Dichteverteilung berechnet, was eine zeitaufwendige Optimierungsschleife überflüssig macht. Die Dimensionierungsfunktionen stellen sicher, dass korrekte Dichten aus der Topologieoptimierung erhalten werden.

Schließlich kann auf Basis des resultierenden Leichtbau-Designs eine Strukturanalyse durchgeführt werden, die sicherstellt, dass alle Konstruktionsanforderungen erfüllt werden. Die Methodik wurde an einem industriellen Lagergehäuse demonstriert.

Die Methodik wurde von kommerziellen Softwaretools der Siemens PLM Software zur Topologieoptimierung für Gitterstrukturen und Computer Aided Engineering [13] unterstützt. Zur Behandlung des Modells nach der TO und für die Gitterstrukturgenerierung wurde das System Materialise [14] benutzt.

5 Danksagung

Die Autoren möchten sich für die finanzielle Unterstützung von SIM (Strategic Initiative Materials in Flandern) und VLAIO (Flämische Behörde, Flanders Innovation & Entrepreneurship) durch das M3-AMCAE-Projekt (VLAIO-Projekt 130526/27) bedanken. Des Weiteren danken die Autoren Prof. Dr. Dirk Frederik De Lange und Dr. Niyazi Tanlak für ihre wertvollen Beiträge.

6 Literatur

- [1] B.H. Smith, S. Szyniszewski, J.F. Hajjar, B.W. Schafer and S.R. Arwade. Steel foam for structures: A review of applications, manufacturing and material properties. *Journal of Constructional Steel Research*, 71, 2012.
- [2] L.-P. Lefebvre, J. Banhart and D.C. Dunand. Porous metals and metallic foams: current status and recent developments. *Advanced Engineering Materials*, 10, 2008.
- [3] M. Fazelpour and J. D. Summers. A comparison of design approaches to meso-structure development. *Proceedings of the ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE*, 2013.
- [4] G. Gurtner and M. Durand. Stiffest elastic networks. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science*, 47:2164, 2014.
- [5] S.N. Khaderi, V.S. Deshpande and N.A. Fleck. The stiffness and strength of the gyroid lattice. *International Journal of Solids and Structures*, 51:23–24, 2014.
- [6] S. Babaei, B. H. Jahromi, A. Ajdari, H. Nayeb-Hashemi and A. Vaziri. Mechanical properties of open-cell rhombic dodecahedron cellular structures. *Acta Materialia*, 60:6–7, 2012.
- [7] L. Dong, V. Deshpande and H. Wadley. Mechanical response of Ti–6Al–4V octet-truss lattice structures. *International Journal of Solids and Structures*, 60–61, 2015.
- [8] N. Francois, T. Arnoux, L. Garcia, S. T. Hyde, V. Robins, M. Saadatfar, M. Saba and T. J. Senden. Experimental investigation of the mechanical stiffness of periodic framework-patterned elastomers. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 372, 2008.
- [9] D. W. Rosen. Computer-Aided Design for Additive Manufacturing of Cellular Structures, *Computer-Aided Design and Applications*, 4:5, 2007.
- [10] G. Reinhart and S. Teufelhart. Optimization of mechanical loaded lattice structures by orientating their struts along the flux of force. *Procedia CIRP*, 12, 2013.
- [11] N. Tanlak, D. F. De Lange, W. Van Paepegem. Numerical prediction of the printable density range of lattice structures for additive manufacturing. *Accepted for Materials & Design*, 2017.
- [12] Alcoa Airplane Bearing Bracket Challenge: <https://grabcad.com/challenges/airplane-bearing-bracket-challenge>
- [13] Siemens PLM Software, Simcenter 3D: <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/simcenter/3d/>
- [14] Materialise, 3-maticSTL: <http://www.materialise.com/en/software/3-matic>

Automatisierung der Strukturoptimierung für eine einfache und fehlerfreie Prozesskette

Kevin Deese, Johannes Glamsch, Frank Rieg
(Universität Bayreuth – Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD)

Beim Entwurf von Konstruktionsbauteilen gewinnt die Strukturoptimierung zunehmend an Bedeutung. Insbesondere die Topologieoptimierung ermöglicht neue Designs, die vorher undenkbar waren. Dank der additiven Fertigung können solche Leichtbau-Designs nun auch hergestellt werden.

In der heutigen Nutzungsform erfordert der typische Prozess der Strukturoptimierung Expertenwissen in verschiedenen Bereichen. Normalerweise beginnt der Prozess mit der Topologieoptimierung, gefolgt von einem Glättungsschritt und der Neugestaltung des resultierenden Konstruktionsvorschlags in der CAD-Software. Eine anschließende Formoptimierung reduziert spannungskritische Bereiche im Bauteil und eine weitere Neugestaltung mithilfe der CAD-Software führt zur endgültigen Geometrie.

Das EU-finanzierte Projekt (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung EFRE) OptiOnEn zielt darauf ab, das notwendige Expertenwissen und die möglichen Fehler zu reduzieren, die durch die Schnittstellen zwischen verschiedenen Prozessschritten entstehen. Ziel ist es, den gesamten Prozess der Strukturoptimierung zu automatisieren, so dass nur die Eingabedaten einmalig bereitgestellt werden müssen und keine Zwischenschritte erforderlich sind.

In diesem Artikel werden Möglichkeiten zur Automatisierung mithilfe von elementfreien Simulationsmethoden und parametrischer Topologieoptimierung aufgezeigt. Es wird gezeigt, dass der abschließende Prozess der Strukturoptimierung mit den neuen Methoden auf einen Schritt reduziert wird. Es wird auch dargestellt, dass die potenziellen Fehler, die im Prozess der Strukturoptimierung auftreten, eliminiert werden.

1 Der Strukturoptimierungsprozess und seine Schwächen

1.1 Strukturoptimierung

In der modernen Produktentwicklung gehört die Strukturoptimierung zum Stand der Technik. Ohne derartige computergestützte Methoden wäre es unmöglich, derart optimierte Strukturen für Maschinenelemente und ähnliche Anwendungsbereiche zu finden. [1] Die Bezeichnung optimales Design hängt vollständig von den Anforderungen des Entwicklers und dem verwendeten Algorithmus ab. Beispielsweise könnte es sich um ein voll belastetes Design (engl.: fully stressed design) handeln, oder aber eines mit einer maximalen Steifigkeit bei gegebenem Gewicht bzw. Volumen. [2,3,4]

Strukturoptimierung kann in mehrere Kategorien unterteilt werden. [5] Für diesen Artikel sind die sogenannte Topologieoptimierung sowie die Formoptimierung von Interesse.

Die Topologieoptimierung wird verwendet, um ein generalisiertes Designraummodell in ein Modell zu überführen, das bestimmten Ansprüchen genügt. So können bei gleichzeitiger Maximierung der Steifigkeit das Ausgangsvolumen und das Ausgangsgewicht reduziert werden. Erreicht wird dies durch das iterative Entfernen und Hinzufügen von Material an nichtkritischen, bzw. kritischen Stellen. Abb. 1 zeigt ein beispielhaftes Ergebnis einer Topologieoptimierung eines Balkens. Üblicherweise wird bei der Topologieoptimierung die Finite-Elemente-Methode (FEM) zur Berechnung der strukturellen Belastungen und Verschiebungen verwendet. Das FE Netz wird dann verwendet, um die Struktur weiterzuentwickeln. Da sich dadurch ein diskretes Netz statt einer glatten Oberfläche ergibt, ist in der Regel ein weiterer Prozessschritt nötig, um das Ergebnis bewerten zu können.

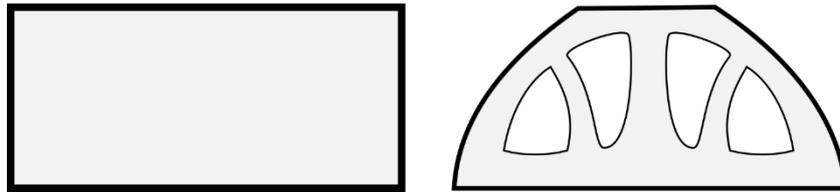


Abb. 1: Ursprünglicher Balken (links) und optimierte Struktur (rechts)

Formoptimierung dagegen erzeugt keine Löcher innerhalb der Struktur, da kein Material im Inneren entfernt wird. Wie der Name schon andeutet, wird die äußere Form der Struktur verändert, indem sie an bestimmten Stellen größer oder kleiner gemacht wird. Üblicherweise ist das Ziel, die Maximalspannungen zu reduzieren, um die Lebensdauer der Struktur zu erhöhen, in anderen Worten, das Versagen hinauszuzögern. In Abb. 2 ist die zur Verringerung der Kerbwirkung hinzugefügte Ausrundung einer spitzen Kerbe dargestellt. Auch die Formoptimierung verwendet den Ansatz der FEM und nutzt das erzeugte Netz, um die Struktur weiterzuentwickeln.

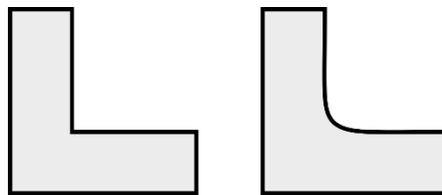


Abb. 2: Ursprüngliche gerade Kerbe (links) und gerundete Kerbe (rechts)

1.2 Verbesserung des Strukturoptimierungsprozesses

In der Regel ist der Strukturoptimierungsprozess in aufeinanderfolgende Schritte unterteilt, die jeweils von Fachleuten mit spezialisiertem Wissen durchgeführt werden müssen. Durch die Verwendung unterschiedlicher Softwarelösungen zur Bearbeitung der einzelnen Schritte werden Schnittstellen zwischen den Schritten nötig. Dies können softwarebasierte Schnittstellen sein, die die Umwandlung der Daten automatisch durchführen, aber auch solche, die die Mitwirkung menschlicher Arbeit erfordern. Beide Schnittstellenarten können zu Fehlern im Output führen, die den gesamten Prozess der Strukturoptimierung fehlerbehaftet und somit unbrauchbar machen können.

Der ursprüngliche Prozess unter Einbeziehung mehrerer Spezialisten und Schnittstellen ist in Abb. 3 dargestellt. Nach dem Erstellen eines FE Modells des Designraummodells und dessen erster Analyse beginnt der eigentliche Optimierungsprozess. Nach der Topologieoptimierung folgt eine Glättung der Oberfläche, um die Interpretation des Ergebnisses zu erleichtern. Die Glättung verändert das errechnete Ergebnis und führt somit zumindest einen kleinen Fehler ein.

Da das Ergebnis der Topologieoptimierung und der Glättungsschritte auf der Veränderung eines FE Netzes beruht, existiert es nicht in der Form eines parametrischen Modells. Um weiter mit dem Modell arbeiten zu können, ist eine parametrische Darstellung nötig, was zum nächsten Schritt, der Neugestaltung mittels CAD Software führt. Diese Umwandlung ist fehleranfällig, da das manuelle Neuerstellen nicht die gleiche Genauigkeit wie das errechnete Modell haben kann. Es wird also eine weitere Abweichung vom Idealmodell in Kauf genommen.

Es wird eine weitere Finite-Elemente-Analyse (FEA) durchgeführt, um sicherzustellen, dass das erstellte Modell noch immer den Anforderungen entspricht, bevor die Formoptimierung beginnt. Je nachdem welche Methode dabei angewandt wird, ist eine weitere Neuerstellung des Modells nötig. Wiederum können bei diesen Schritten Fehler auftreten, die das Ergebnis verfälschen.

Eine abschließende Analyse des Designs führt zum letzten Schritt des Produktentwicklungsprozesses, der computergestützten Fertigung (Computer Aided Manufacturing, CAM).

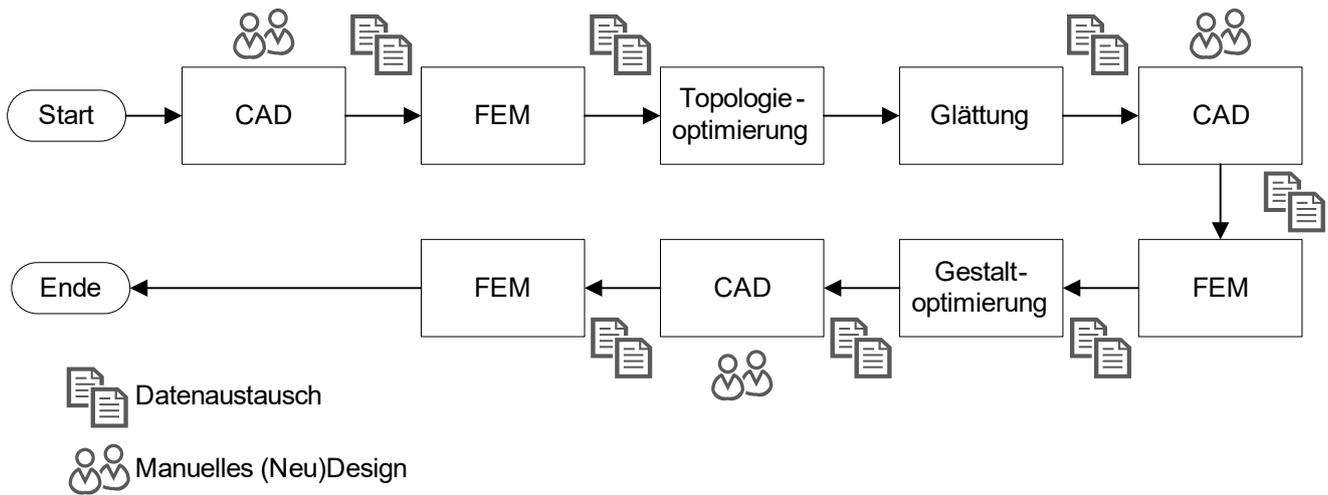


Abb. 3: Ursprünglicher Prozess der Strukturoptimierung

Das von der EU finanzierte Projekt (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung EFRE) OptiOnEn zielt auf die Reduzierung von nötigem Fachwissen und auf die Vermeidung von Fehlerquellen durch Schnittstellen ab. Ziel ist die vollständige Automatisierung des gesamten Strukturentwicklungsprozesses, sodass die Anforderungen und Parameter nur einmal eingegeben werden müssen und es keine Zwischenschritte gibt. Abb. 4 zeigt einen solchen Prozess.

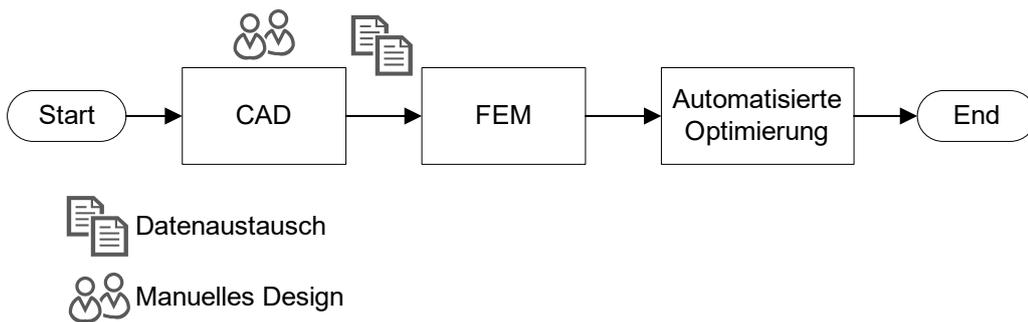


Abb. 4: Resultierender Prozess mit automatisierter Optimierung

Die folgenden Abschnitte werden Möglichkeiten zur Automatisierung mithilfe elementfreier Simulationsmethoden und parametrischer Topologieoptimierung aufzeigen. Der resultierende Prozess der Strukturoptimierung ist auf einen Schritt reduziert und die Fehlerquellen innerhalb des Prozesses sind beseitigt.

2 Elementfreie Strukturanalyse

Eine übliche numerische Methode zur mechanischen Strukturanalyse ist die bekannte Finite-Elemente-Analyse. Dabei wird der gesamte Bereich in einzelne Elemente diskretisiert, um die zugrunde liegenden Differenzialgleichungen zu lösen. Das Netz aller Elemente beschreibt, wie die einzelnen Elementknoten miteinander verknüpft sind. Elementfreie oder netzfreie Ansätze versuchen, das Problem ohne ein vordefiniertes Netz zu lösen. Die Geometrie ist ausschließlich durch Knoten innerhalb des Bauteils und eine Begrenzung gegeben. Manche Methoden kommen auch ohne Knoten im Inneren aus und erfordern lediglich eine diskrete Begrenzungsoberfläche. Elementfreie Ansätze benötigen keinerlei Informationen bezüglich der Knotenverbindungen. Es gibt verschiedene Ansätze der elementfreien Strukturanalyse, wie beispielsweise die Elementfreie Galerkin (EFG) Methode. [6, 7]

Zusätzlich zu der Tatsache, dass kein Netz generiert werden muss (was häufig ein zeitaufwändiger Prozess mit viel manueller Arbeit ist), haben netzfreie Ansätze noch weitere Vorteile. So sind die Spannungsergebnisse häufig genauer und die Methoden stabiler, was Analysen nichtlinearer großer Verschiebungen betrifft.

Die zuvor erwähnte EFG Methode beruht auf der globalen schwachen Form und verwendet Interpolanten nach der Methode der beweglichen kleinsten Fehlerquadrate (engl.: moving least-squares interpolants). Die Konvergenzrate ist im Vergleich zur FEM deutlich höher. Es ist jedoch anzumerken, dass die Methode nicht komplett netzfrei arbeitet, da ein Integrationsnetz im Hintergrund erstellt wird, das jedoch nicht mit den Bereichsgrenzen zusammenfallen muss. Ein Beispiel der EFG Analyse ist in Abb. 5 dargestellt. [6]

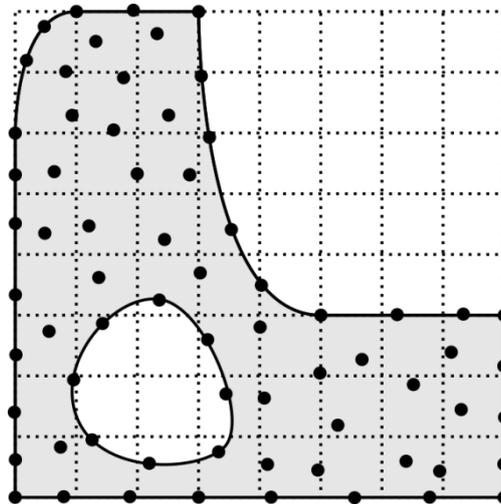


Abb. 5: Beispiel einer EFG Analyse (gepunktete Quadrate: Integrationszellen) [6]

Wie in der FEM ist das resultierende lineare Gleichungssystem $\mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{F}$, wobei \mathbf{K} die globale Steifigkeitsmatrix, \mathbf{u} den Verschiebungs- und \mathbf{F} den Kraftvektor repräsentieren. Die globale Steifigkeitsmatrix ist aus den Knotensteifigkeitsmatrizen aufgebaut: $K_{ij} = \int_V \mathbf{B}^T \mathbf{C} \mathbf{B} dV$ (\mathbf{B} : Spannungsverschiebungstransformationsmatrix, \mathbf{C} : Materialmatrix). Die Integrationszellen sind für die Berechnung notwendig. [6]

3 Parametrische Optimierung mittels elementfreier Methoden

3.1 Parametrische Optimierung

Strukturoptimierungsmethoden arbeiten hauptsächlich mit der Berechnung der Strukturbeanspruchung durch eine Finite-Elemente-Analyse. Es wird also ein FE Netz benötigt, um die Struktur manipulieren zu können. [1, 8] Dieser Ansatz bringt mehrere Schwierigkeiten mit sich, so auch die unter Umständen kostenintensive Aufbereitung des Ergebnisses einer Topologieoptimierung, damit es überhaupt vom Benutzer interpretiert werden kann.

Alternativmethoden sind nicht durch die Verwendung des Elementnetzes eingeschränkt. Level-Set Methoden zum Beispiel verwenden die Nullniveaumenge einer skalaren Funktion um die Begrenzung der Struktur darzustellen. Während des Optimierungsprozesses wird diese Begrenzung iterativ verändert, indem die skalare Funktion angepasst wird. [1, 9] Level-Set Methoden verwenden zwar kein FE Netz, um die Struktur anzupassen, aber sie machen dennoch von der FEM Gebrauch, um die Strukturbeanspruchungen zu berechnen. [1]

Da die Strukturgrenzen durch die Kontur einer parametrischen, skalaren Funktion repräsentiert werden, ist auch der resultierende Designvorschlag parametrisch. Diese Eigenschaft ist ein großer Vorteil im Vergleich zu den nichtparametrischen Optimierungen, die das Finite Elemente Netz nutzen. Der parametrische Vorschlag hat glatte Kanten und muss nicht aufwendig nachbearbeitet werden. Zusätzlich fallen die fehleranfälligen Schritte der Neugestaltung weg, sowie die ungenaue Diskretisierung und die Formoptimierung. Der Designvorschlag kann direkt weiterverwendet werden.

3.2 Kombination mit elementfreien Ansätzen

Eine parametrische Darstellung der Strukturgrenzen ist außerdem von Vorteil bei dem Versuch, den Strukturoptimierungsprozess zu automatisieren. Das zuvor beschriebene manuelle Neugestalten, ein entscheidendes Hindernis der Automatisierung, entfällt. Weiterhin ist der kritische Punkt des Datentransfers zwischen verschiedenen Softwareanwendungen nicht mehr nötig, da die parametrische Optimierung das Arbeiten mit einer einzigen Software ermöglicht.

Trotzdem kann es im beschriebenen parametrischen Ansatz zu Problemen kommen, da noch immer die FEM verwendet wird. Jede neue Iteration verändert die Geometrie, das FE Netz der vorangegangenen Iteration kann also nicht wiederverwendet werden. Ein neues Netz muss automatisch erzeugt werden, was aufgrund verschiedener geometrischer Beschaffenheit fehlschlagen kann. Beispielsweise können Strukturen, die sowohl sehr feine Details als auch große Blöcke haben, zu stark ungleichmäßigen Netzen führen, oder Elemente können verzerrt werden. Die FEM ist also für den parametrischen Ansatz nicht geeignet.

Die hier vorgestellte Lösung ist stattdessen eine elementfreie Methode. Sie hat die gerade beschriebenen Schwächen nicht und kann mit einer Geometrieänderung durch das einfache Hinzufügen oder Entfernen von Knoten ohne Probleme umgehen. Da die Knoten dieses Ansatzes nicht gleichmäßig verteilt sein müssen, stellen auch Geometrien mit feinen Details und großen Blöcken keine Schwierigkeit dar. Logischerweise tritt bei der elementfreien Methode auch keine Verzerrung von Elementen auf. Die automatische Anpassung der Knoten, die die Struktur diskretisieren, funktioniert reibungslos. Die elementfreien Ansätze können zudem relativ einfach erweitert werden. Basierend auf diesem Ansatz ist eine parametrische Optimierung mit dynamischen Lasten und Strukturbeanspruchungen oder Nichtlinearitäten verhältnismäßig leicht zu implementieren.

Der Prozess aus Abb. 4 wird also durch die Anpassungen zu dem Prozess in Abb. 6. Kritischer Aspekt ist der Schritt „Parametrisches Update“, das parametrische Anpassen. Untersuchungen müssen sich darauf konzentrieren, wie die Struktur derart verändert wird, dass am Ende des Designvorgangs tatsächlich die optimale Designlösung steht. Dabei gibt es zwei Kernprobleme, nämlich an welcher Stelle die Struktur angepasst wird und wie sie angepasst wird. Die folgenden Überlegungen befassen sich mit der Frage, wie die Struktur angepasst wird.

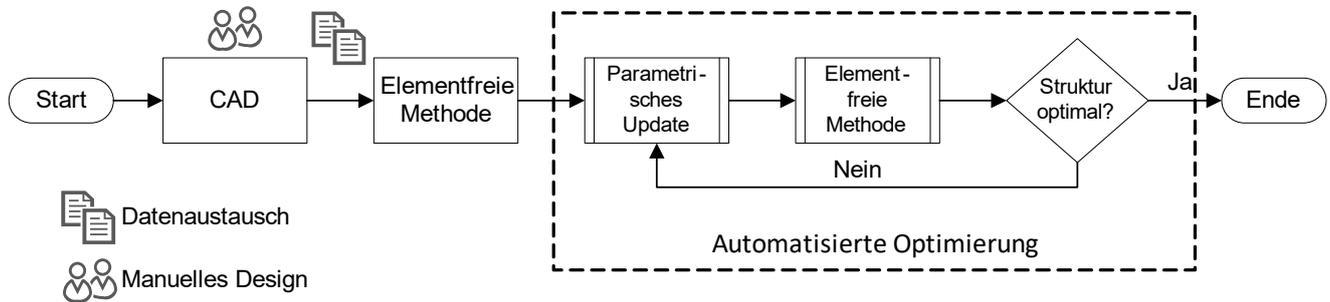


Abb. 6: Automatisierter Optimierungsprozess mit einer elementfreien Methode

Damit das resultierende Design parametrisch ist, müssen auch alle Änderungen der Struktur parametrisch erfolgen. Ein einfacher Ansatz wäre das Einfügen primitiver geometrischer Formen, wie beispielsweise Kreise und Ovale in die Struktur, um Löcher zu erzeugen. Abb. 7 zeigt beispielhaft das Einfügen eines Kreises und das Ansiedeln neuer Knoten an seiner Kontur. Knoten, die sich jetzt außerhalb der Struktur befinden werden entfernt, beziehungsweise werden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Die vom Optimierungsalgorithmus zu verändernden Designvariablen wären dann die Platzierung des Kreismittelpunkts und dessen Radius. Ein fortgeschrittener Ansatz verwendet nicht-uniforme rationale B-Splines (NURBS) um die Struktur zu verändern. [10] NURBS ermöglichen mehr Designflexibilität, da sie nicht auf einfache, feste Geometrien beschränkt sind. Die Designvariablen wären dann Kontrollpunktplatzierungen der Splines.

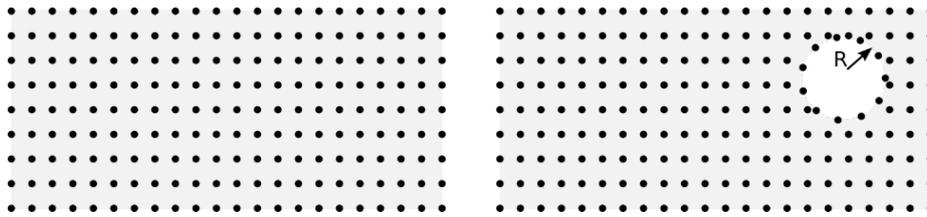


Abb. 7: Elementfreies Balkenmodell (links) und eingefügtes kreisförmiges Loch (rechts)

4 Fazit und Diskussion

4.1 Prozessautomatisierung

Strukturoptimierung im Rahmen des virtuellen Produktentwicklungsprozesses ist häufig sehr komplex. Verschiedene Schritte erfordern Fachwissen, manuelles Eingreifen und Handeln, sowie Datentransfer. All diese Aspekte machen den Prozess ineffizient, zeitaufwendig und fehleranfällig.

Das Verwenden parametrischer Optimierung ermöglicht die Automatisierung des Prozesses. Einzelne Schritte sind nicht mehr nötig und werden durch implizites Verhalten der neuen Methode ersetzt. Auch der Datentransfer wird nicht mehr gebraucht, da der integrierte Ansatz der parametrischen Optimierung nur eine Softwareanwendung erfordert und somit keine Softwareschnittstellen mehr vorhanden sind.

Um den Prozess tatsächlich zu optimieren sind elementfreie Berechnungsmethoden ein gutes Werkzeug. Die traditionelle Finite-Elemente-Methode hat mehrere Probleme, die eine Automatisierung erschweren. Elementfreie Methoden überwinden diese Probleme und lassen sich daher relativ leicht automatisieren. Das Risiko, dass die automatisierte Prozesskette abbricht und ein manuelles Handeln erfordert, entfällt.

4.2 Weitere Forschung

Die nächsten Schritte werden sich mit der Entscheidung befassen, wo die Struktur während des Prozesses geändert werden soll. Etablierte Topologieoptimierungsmethoden wie ESO/BESO oder die Soft Kill Option können dabei eventuell eine Vorbildrolle einnehmen.

Diese Überlegungen sind rein methodischer Natur und werden mit eigenen Implementierungen getestet. Nur dann kann ein tatsächliches Funktionieren des Ansatzes garantiert werden. Vor allem die Frage, wie NURBS effektiv manipuliert werden sollen, z. B. durch Neupositionierung der Kontrollpunkte oder durch Hinzufügen neuer Punkte, muss noch weiter überprüft werden.

Zusätzlich muss die Methode auch für dreidimensionale Probleme anwendbar sein, um von praktischem Nutzen zu sein. Dazu werden NURBS-Flächen untersucht.

5 Danksagung

Diese Forschung wurde von der Europäischen Union durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) unterstützt.



Europäische Union

Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

6 References

- [1] Deaton, J. D.; Grandhi, R. V.: "A survey of structural and multidisciplinary continuum topology optimization: post 2000", *Structural and Multidisciplinary Optimization* 49, 2014, 1-38
- [2] Baumgartner, A.; Harzheim, L.; Mattheck, C.: "SKO (Soft Kill Option): The Biological Way to Find an Optimum Structure Topology", *International Journal of Fatigue* 14, 6, 1992, 387-393
- [3] Mattheck, C.: "Design and Growth Rule for Biological Structures and their Application in Engineering", *Fatigue Fract Eng Mater Struct* 13, 5, 1990, 535-550
- [4] Bendsøe, M. P.: "Topology Optimization – Theory, Methods and Applications", Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2003
- [5] Harzheim, L.: "Strukturoptimierung – Grundlagen und Anwendungen", Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 2008
- [6] Belytschko T.; Lu, Y. Y.; Gu, L.: "Element-Free Galerkin Methods", *International Journal for Numerical Methods in Engineering* 37, 1994, 229-256
- [7] Liu, G. R.: "Mesh Free Methods", CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C., 2003
- [8] Eschenauer, H. A.: "Topology optimization of continuum structures", *Applied mechanics reviews* 54, 4, 2001, 331-390
- [9] Sethian, J. A.; Wiegmann, A.: "Structural boundary design via level set and immersed interface methods", *Journal of Computational Physics* 163, 2, 489-528
- [10] Cervera, E.: "Evolutionary Structural Optimisation Based on Boundary Element Representation of B-spline Geometry", PhD thesis, University of Durham, 2003

Nutzung von CFD Simulation zur Entwicklung innovativer Kühllösungen für Hochleistungsmodule

Klaus Olesen (Danfoss Silicon Power GmbH)

Mike Gruetzmacher (Mentor Graphics (Deutschland) GmbH)

Leistungsmodule (IGBT oder MOSFET basierend) für Hochleistungsanwendungen, wie z.B. für den Fahrzeugantrieb (Elektro- und Hybridautos) und für Windkraftanlagen, sind auf effiziente Technologien zur Flüssigkühlung angewiesen. In all diesen Anwendungsgebieten steigen die Anforderungen an effizientere, zuverlässigere, kompaktere und kostengünstigere Lösungen.

Die Leistungselektronikindustrie erfüllt diese Herausforderungen durch die Entwicklung neuer Halbleitermaterialien, neuer Prozesstechnologien/Materialien und damit den einhergehenden Bedarf an noch effizienteren Kühltechnologien. Da gleichzeitig die Markteinführungszeit immer kürzer wird, können diese Aufgaben nicht ohne einen ausgiebigen Einsatz einer Reihe von Simulationswerkzeugen gelöst werden.

Dieser Artikel erläutert den Einsatz von CFD Simulationen in der Entwicklung der nächsten Generation flüssiggekühlter Leistungselektronik und wie die optimalen Lösungen identifiziert werden können.

1 Hintergrund

Leistungshalbleiter, wie z.B. Transistoren und Dioden, die in Hochleistungsanwendungen zum Einsatz kommen, werden meist in sogenannten Power-Modulen montiert. Die Leistungsmodule müssen in der Lage sein, hohe Stromstärken zu bewältigen, gegen hohe Spannungen isoliert zu sein und die von den Halbleitern erzeugten Wärmeverluste abzuführen. Ein Power-Modul nach aktuellem Stand der Technik ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

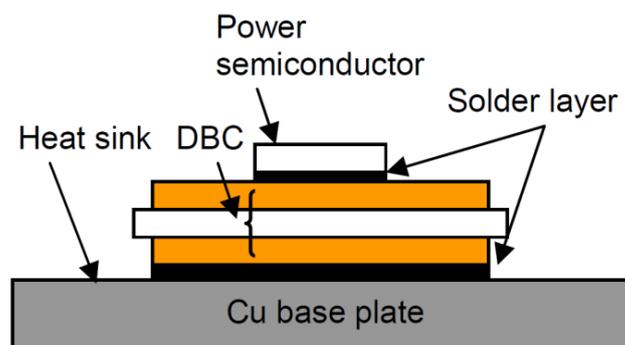


Abb. 1: Querschnitt eines typischen Power-Moduls.

Der Halbleiterchip wird auf das DBC-Substrat (Direct Bonded Copper) gelötet, das mehrere Funktionen hat: Das Kupfer auf der Oberseite weist die elektrischen Leiterbahnen auf und trägt die Halbleiter, die Keramikschiene stützt die Leiterbahnen und fungiert als elektrischer Isolator. Die untere Kupferschicht erzeugt eine thermomechanische Symmetrie im DCB-Substrat und kann auf eine Grundplatte gelötet werden.

Die ausschlaggebenden Ausfallmechanismen bei Leistungsmodulen beziehen sich auf die Temperatur:

- Die Absolute Temperatur
- Schnelle Temperaturzyklen, die aus den Betriebsbedingungen der Elektronik resultieren
- Langsame Temperaturzyklen, abhängig von den Umgebungsbedingungen

Diese können unterschiedliche Ausfallmodi auslösen und beeinflussen damit die Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Geräte. Daher ist eine effiziente Kühlung entscheidend, denn je besser die Kühlung, desto höher ist auch die Zuverlässigkeit.

Luftkühlung ist für das Thermomanagement die am weitesten verbreitete Lösung. Bei Anwendungen mit höherer Leistung, bei denen der Platz begrenzt ist und die Luftkühlung unpraktisch wird, kommt allerdings die Flüssigkühlung zum Einsatz.

2 Flüssigkühlung

Die Flüssigkühlung ist weitaus effizienter als die Luftkühlung. Typische Wärmeübergangs-koeffizienten bei natürlicher Konvektion und erzwungener Luftkühlung liegen bei 5-10 W/(m²K) bzw. 20-40 W/(m²K), während bei flüssig gekühlten Anwendungen Werte im Bereich von 3000-12000 W/(m²K) erreicht werden.

2.1 Indirekte Flüssigkühlung

Der Begriff indirekte Flüssigkeitskühlung weist darauf hin, dass das Kühlmittel flüssigkeitsdicht in einer Kühlplatte enthalten ist. Die Kühlplatten existieren in vielen Ausführungen und Formen, von einfachen stranggepressten Aluminiumplatten mit Kupferrohren bis hin zu fortschrittlichen Ausführungen mit komplizierten Innenkanalgeometrien.

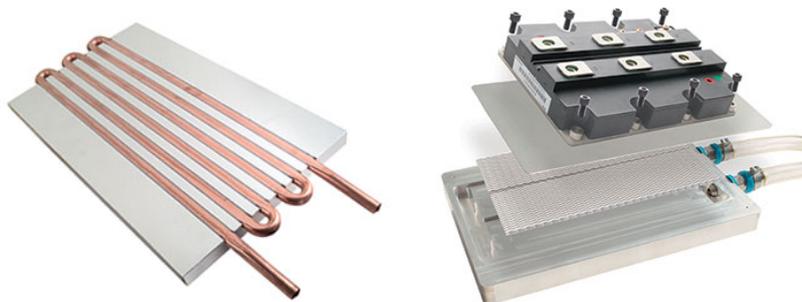


Abb. 2: Kühlplatten in verschiedenen Ausführungen [1]

Da unter realen Bedingungen Oberflächen nicht vollkommen flach und eben sind, wird Wärmeleitpaste, TIM (thermisches Interface-Material), zwischen dem Leistungsmodul und dem Kühler benötigt, die ein besserer Wärmeleiter als Luft ist. Obwohl die Wärmeleitpasten immer weiter verbessert werden, so erzeugen diese immer noch einen thermischen Flaschenhals. Die folgende Tabelle zeigt die Anteile am Wärmewiderstand (Übergang zur Umgebung) der verschiedenen Schichten eines typischen thermischen Aufbaus. Auf der rechten Seite wird ein Querschnitt eines typischen Leistungsmoduls auf einem Kühler ohne und mit TIM (grüne Schicht) gezeigt.

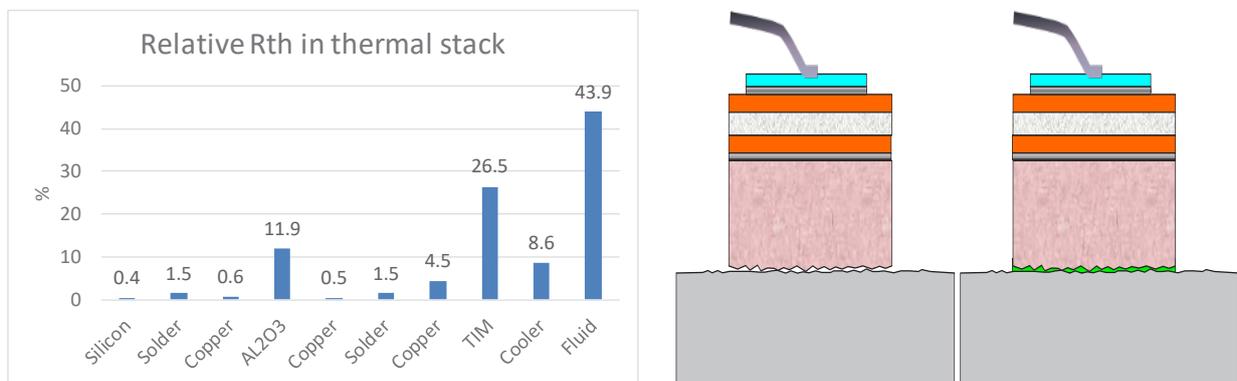


Abb. 3: Anteile am Wärmewiderstand durch einen thermischen Aufbau. Rechts: Prinzip TIM.

Es zeigt sich, dass der keramische Isolator, das TIM und der Kühlerwirkungsgrad am meisten zum Wärmewiderstand beitragen. Das TIM macht 20-40% des gesamten thermischen Widerstandes aus, abhängig von den thermischen Eigenschaften, der Schichtdicke usw. TIMs sind jedoch anfällig für „Pump-Out-“ und „Dry-Out“-Effekte, die die Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Leistungselektronik-Systeme einschränken. Daher werden die TIM-Schichten oft eliminiert.

2.2 Direkte Flüssigkühlung

Bei Wegfall des TIMs steht das Kühlmittel im direkten Kontakt mit der Unterseite des Power Moduls.

Die Beseitigung des oben beschriebenen Problems hat allerdings zur Folge, dass zwei neue Aufgabenstellungen zu berücksichtigen sind:

1. Dichtigkeit: Zwischen Kühler und Power Modul ist eine Abdichtung erforderlich.
2. Korrosion: Die im Kontakt zur Flüssigkeit stehenden Werkstoffe müssen sorgfältig ausgewählt werden und das Kühlmittel muss geeignete Korrosionsschutzmittel enthalten.

Direkt flüssiggekühlte Kühlkörper sind meist als Stiftkühlkörper aufgebaut, die dazu beitragen die Kühlfläche zu vergrößern.

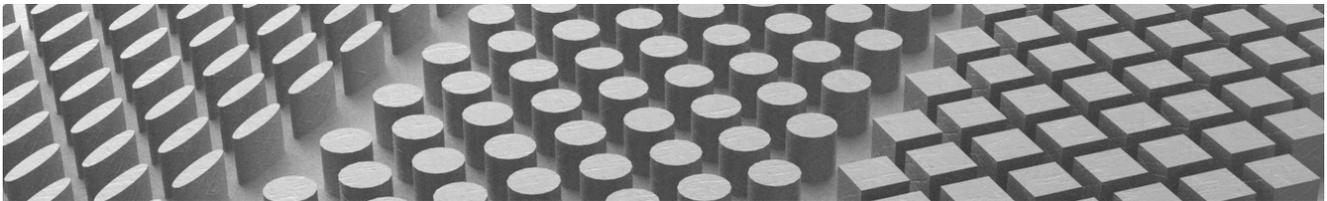


Abbildung 4: Kühlkörper-Stifte in verschiedenen Formen

Stiftkühlkörper sind hocheffizient, haben aber einige Nachteile:

- Temperaturgradienten: Das Kühlmedium wird beim Durchströmen durch den Kühler erwärmt.
- Das Power Modul ist kein Standardbauteil mehr. Häufig werden Leistungsmodule aus mehreren Lieferquellen verlangt. Bei Stiftkühlkörpern mit verschiedenen Formen handelt es sich nicht mehr um Standardmodule.
- Die Strukturierung der Grundplatte ist aufwendig. Im Vergleich dazu wird eine flache Standard-Grundplatte durch Stanzen von Blechen hergestellt, bei Kosten, die vergleichbar sind mit dem Weltmarktpreis für Kupfer.

4 Direkte Flüssigkühlung mit glatter Oberfläche

Die Lösung für die oben genannten Probleme ist der Einsatz eines einfachen Kunststoffteils, das das Kühlmittel über die zu kühlende Oberfläche verteilt.

4.1 Das ShowerPower® Konzept

Das ShowerPower® Konzept basiert auf einem Kunststoffteil, das als Strömungsverteiler mit den folgenden Eigenschaften fungiert:

1. Mehrere "Zellen" werden mit dem Kühlmedium bei gleicher Temperatur versorgt. Die zu kühlende Oberfläche wird über die gesamte Fläche gleichmäßig gekühlt. Temperaturgradienten innerhalb der Abschnitte des Power Moduls werden durch die Wärmeleitfähigkeit der Grundplatte (Kupfer) ausgeglichen, da die vorliegenden Abstände lediglich wenige Millimeter betragen.
2. Jede Zelle verfügt über eine Mäanderstruktur, bei der das Kühlmittel zu häufigen Richtungswechseln gezwungen wird.
3. Die Verteilerstruktur auf der Unterseite sorgt dafür, dass die Zellen die gleiche Kühlmedium-Eintrittstemperatur haben.

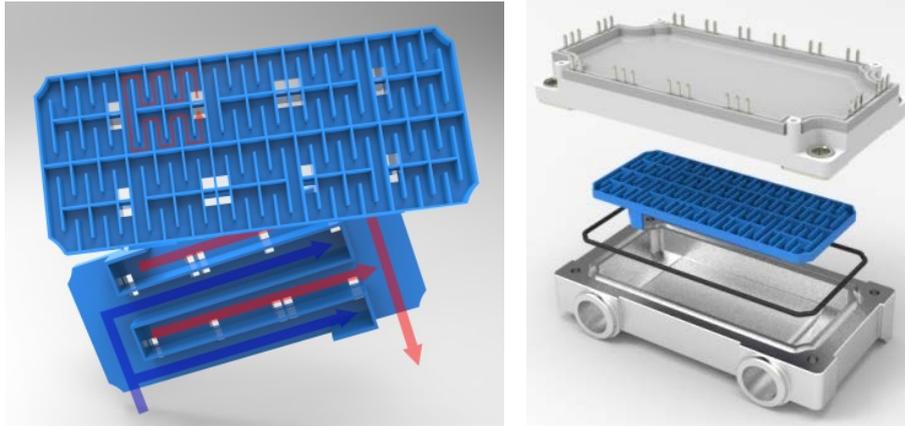


Abb. 5: Das ShowerPower® Kunststoffteil.

4.2 Der Bypass

Aufgrund von Toleranzen wird es immer einen kleinen Spalt oder Bypass zwischen dem ShowerPower®-Einsatz und der zu kühlenden Oberfläche geben. Dieser Spalt beträgt einige, wenige hundert Mikrometer.

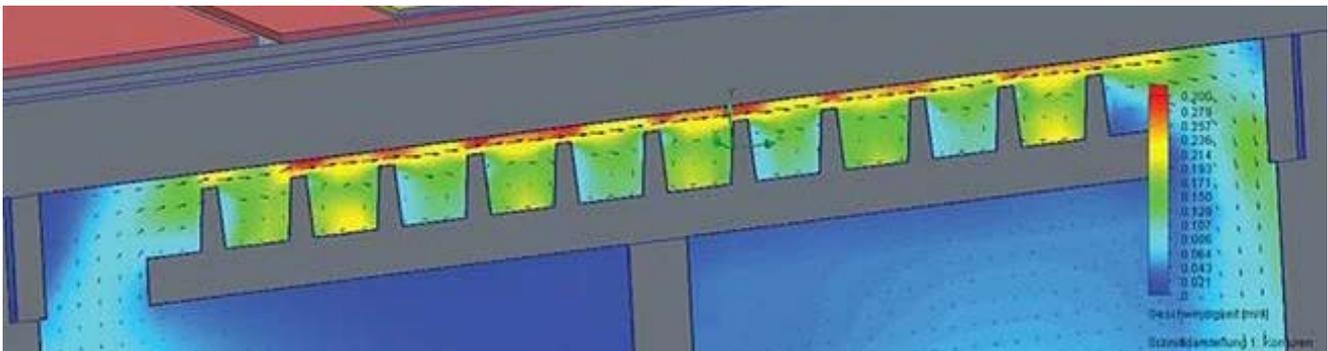


Abb. 6: Der Bypass [2].

In der ersten Phase der Entwicklung des ShowerPower®-Konzepts gab der Bypass Anlass zu der Befürchtung, dass das Konzept nicht funktionieren würde, wenn ein Teil des Kühlmediums durch den Bypass und nicht durch die Mäanderkanäle fließt. Umfangreiche CFD-Untersuchungen an verschiedenen Mäanderkanälen zeigten, dass sich der Bypass sehr positiv auf die thermische Leistung auswirkt.

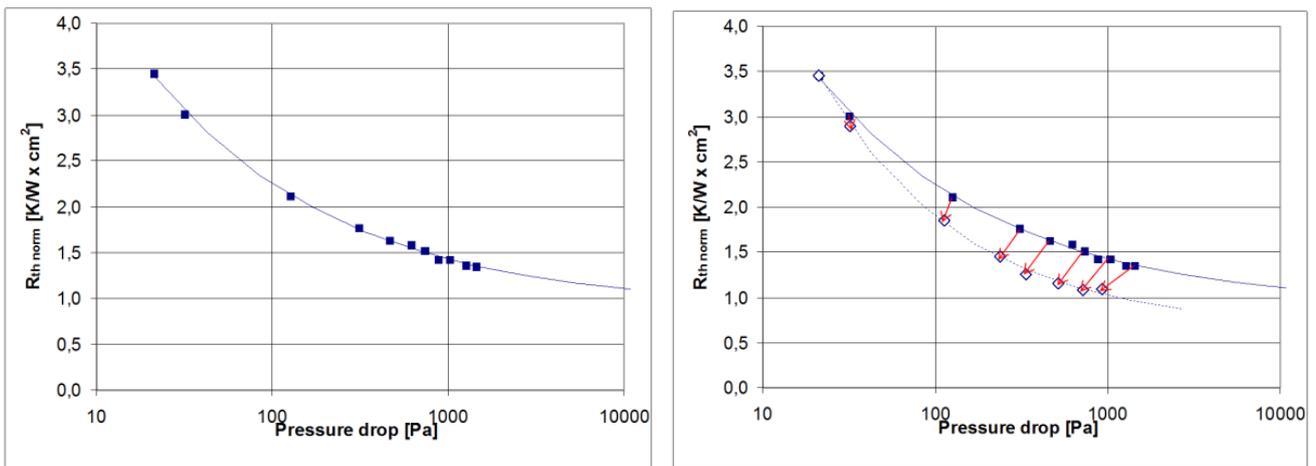


Abb. 7: CFD Simulationen an einer Reihe von Mäander Kanal-Geometrien, ohne und mit Bypass.

Wie den Diagrammen zu entnehmen ist, verbessert der Bypass sogar die Situation: Druckverluste UND thermische Widerstände werden reduziert - ein Problem wird zur Option.

Die Erklärung ist ein Wirbeleffekt in den Mäanderkanälen. Die Strömung in den Mäanderkanälen ist laminar, die Reynolds-Zahlen liegen zwischen 200-300 bis 1000, was auf eine reine laminare Strömung hindeutet. Dies ist positiv hinsichtlich des Druckverlustes, aber nachteilig für die thermische Effizienz, aufgrund der klassischen Ausbildung der Grenzschicht, die den Wärmeübergang reduziert. Die Mäanderkanäle zwingen allerdings den Fluidstrom zu ständigen, abrupten Richtungsänderungen um 180°. In makroskopischen Fällen führen Richtungsänderungen einer laminaren Fluidströmung häufig zu einem Drall-Effekt, bei dem sich das Strömungsprofil wendet oder dreht. Dieses Phänomen ist eine Folge der Impulserhaltung und wird häufig an Flüssen beobachtet. In den hier genutzten kleinen Mäanderkanälen ist der Effekt allerdings schwer zu beobachten.

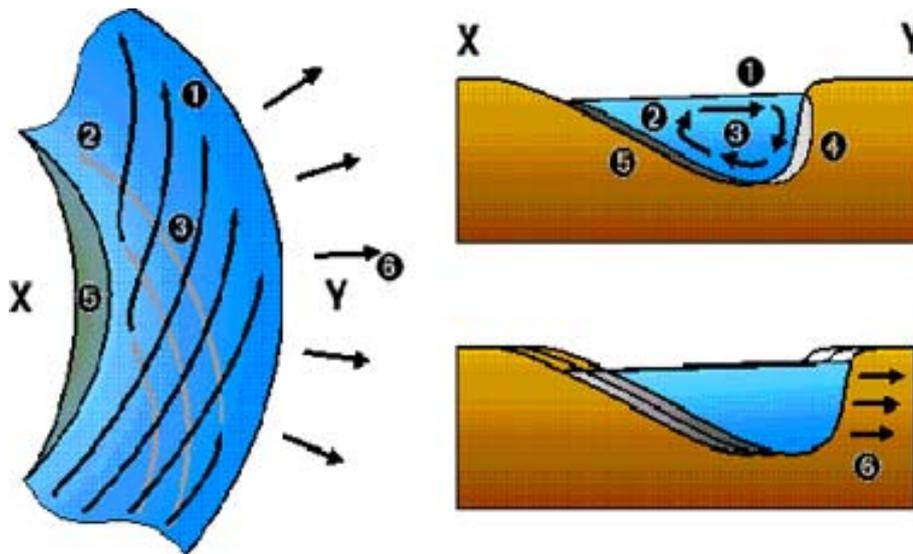


Abb. 8: Drall-Effekt in Flüssen [3].

Der Bypass erzeugt eine Strömung quer zur Strömungsrichtung in den Mäandernkanälen und erzeugt dadurch einen tiefgreifenden Dralleffekt, siehe unten in Abbildung 9, so dass kaltes Kühlmedium ständig mit der zu kühlenden Oberfläche in Kontakt gebracht wird.

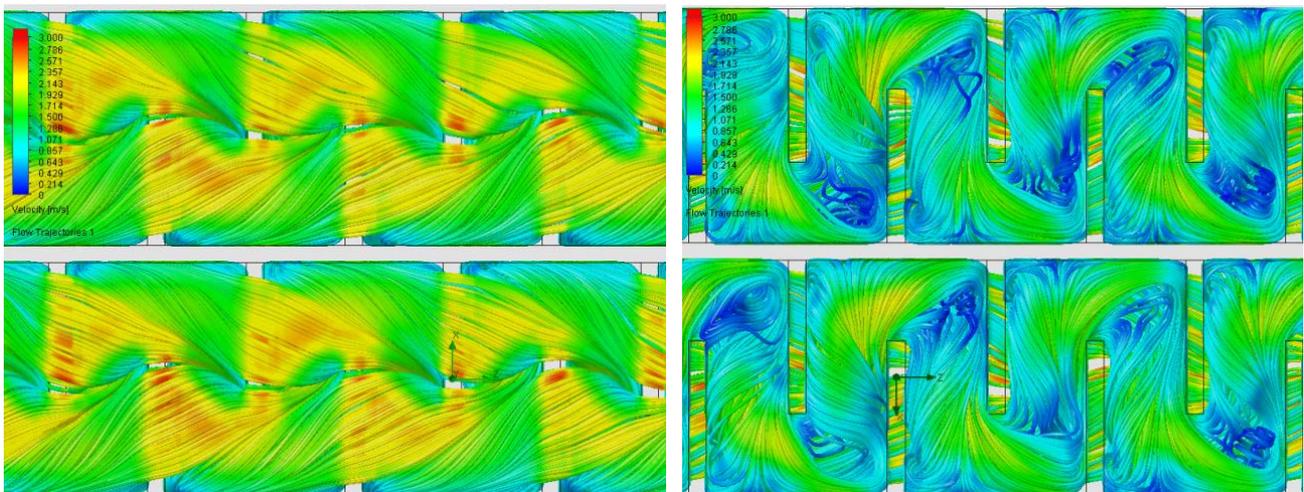


Abb. 9: Links: Strömung durch den Bypass; Rechts: Ansicht von unten auf die Kanäle. Die Farbleiste zeigt die Geschwindigkeit.

Weitere Informationen zu dem Konzept siehe unter [4].

5 Beispiele

Die folgenden zwei Beispiele zeigen, wie CFD Simulationen umfassend bei der Entwicklung von flüssig gekühlten Kühlkörpern in zwei sehr unterschiedlichen Fällen eingesetzt werden: In einem Kühler für Umrichter einer Windkraftanlage und für Wechselrichter im Elektrofahrzeug.

5.1 Kühler für einen Umrichter in einer Windkraftanlage

Der Kühleraufbau besteht aus einem großen Aluminium-Strangpressprofil mit einer Anzahl von bearbeiteten Wannen, eine für jedes Power Modul. Typische Abmessungen sind 750 x 275 x 35 mm. Auf jeder Wanne wird ein P3-Power-Modul mit Dichtung und ShowerPower®-Einsatz montiert. Bei den P3s handelt es sich um große Halbbrückenmodule 1200-1700 V/1000-1800 A mit den Abmessungen 250 x 90 x 40 mm. Jede Wanne hat ihren eigenen Ein- und Auslass, der die Wannen mit den beiden Hauptverteilern verbindet, die durch den Kühler laufen. Der typische Durchmesser der Verteiler beträgt 23-25 mm. Der Gesamtvolumenstrom reicht von 30-60 l/min Glykol/Wasser (50/50) bei einer Eintrittstemperatur von 50-60°C. Die Verlustleistung jedes Leistungsmoduls liegt zwischen 1,5 und 2,5 kW, so dass die Gesamtverlustleistung zwischen ~10 und 20 kW liegt. [5], [6].

Die zwei Auslegungsziele sind:

- Durch jede dieser Wannen muss der gleiche Volumenstrom erreicht werden, so dass die Leistungsmodule gleichmäßig gekühlt werden, und die bestmögliche thermische Gesamtleistung erzielt wird.
- Der Druckverlust sollte niedrig gehalten werden, typischerweise unter 0,5 bar. Unter Verwendung der angegebenen Durchflussmenge und des zulässigen Druckabfalls wird ein Einsatz mit der besten Druckverlust-/Leistungskennlinie gewählt, siehe Abbildung 10.

Drei Ausführungen des Einsatzes mit unterschiedlichen Kanalgeometrien sind unten dargestellt.

Wären die Druckverluste in den beiden Hauptverteilern sehr gering im Vergleich zu den Druckverlusten der einzelnen Wannen (einschließlich der Einsätze), wäre die Lösung einfach: Alle Durchflussöffnungen müssten identisch sein.

Jedoch ist die Strömung sehr turbulent in den Hauptverteilern und laminar in den einzelnen Wannen und den Mäanderkanälen, so dass die Druckverluste in den Verteilern nicht vernachlässigbar sind. Folglich müssen die Einlässe und die Auslässe für jede Wanne individuell angepasst werden. Um einen möglichst geringen Differenzdruck zu erreichen, werden die Ein- und Auslässe für jede Wanne möglichst groß ausgeführt. Jede Einlass und Auslass-Konfiguration hat ihr eigenes optimales Design.

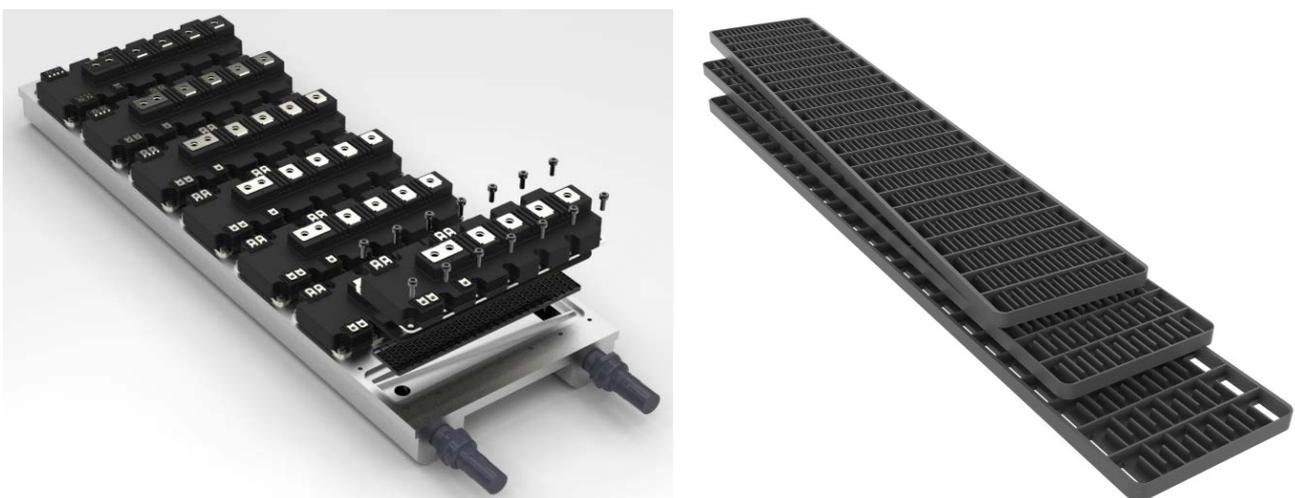


Abb. 10: Montage der Einsätze, Dichtungen und Leistungsmodule. Rechts: Drei Versionen des Einsatzes.

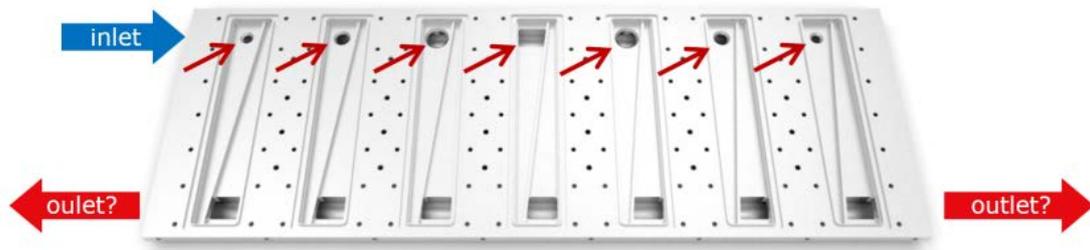


Abb. 11: Die Auslegung der Öffnungen ist abhängig von der Konfiguration der Ein- und Auslässe.

Die Auslegung der Bohrungen kann durch die Durchführung einer statistischen Versuchsplanung (DoE, Design of Experiments) und der Ermittlung analytischer Ausdrücke für die Durchflussmengen als Funktion der Bohrungsdurchmesser vervollständigt werden. Nachfolgend sind einige Beispiele der CFD-Ergebnisse aus der Designstudie aufgeführt.

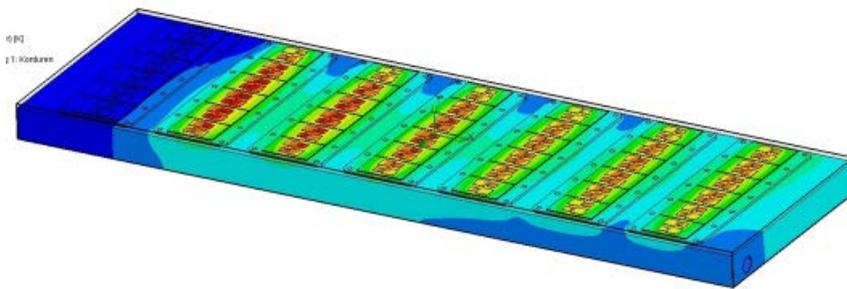


Abb. 12: Bohrungsdesign 1, die linken Module sind relativ warm.

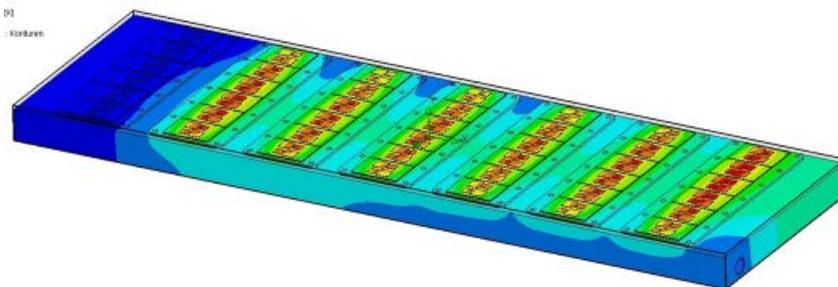


Abb. 13: Bohrungsdesign 2, die rechten Module sind relativ warm.

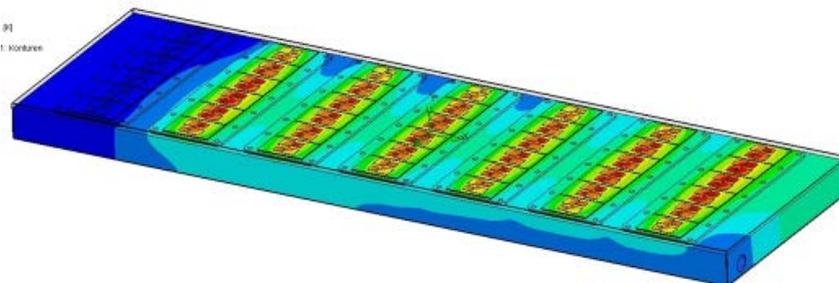


Abb. 14: Bohrungsdesign 3, gutes Design mit gleichmäßiger Temperaturverteilung.

5.2 Kühler für ein Elektrofahrzeug

Der Wechselrichter für ein Elektrofahrzeug besteht aus mehreren Leistungsmodulen, die auf einem Kühler montiert sind. Die Aufgabenstellung ähnelt dem oben beschriebenen Gehäuse der Windkraftanlage: beste Kühlleistung und eine homogene Kühlung bei gleichzeitig möglichst geringem Druckverlust. Es existieren allerdings einige wesentliche Unterschiede: Der Aufbau besteht typischerweise aus drei Halbbrückenmodulen mit einer elektrischen Spezifikation von 600-900 V/450-800 A. Jedes Modul misst ca. 60 x 60 x 10 mm und die Verlustleistung pro Leistungsmodul beträgt 1,5-2 kW. Der Kühler ist wesentlich kleiner als der Windkraftanlagenkühler mit einer Größe von ca. 250 x 100 x 15 mm. Der Volumenstrom beträgt 5-8 l/min. Das Kühlmittel besteht wiederum aus einem 50/50-prozentigem Wasser/Glykol-Gemisch, jedoch mit einer höheren Eintrittstemperatur von 70-90 °C.

Die Leistungsdichte ist mit Verlustdichten von $\sim 75-100 \text{ W/cm}^2$ gegenüber $\sim 20-25 \text{ W/cm}^2$ wesentlich höher als bei der Windkraftanlage. In Kombination mit der höheren Kühlmittelintrittstemperatur ist der ShowerPower® Standard-Ansatz nicht mehr ausreichend. Darüber hinaus sind die Begrenzungen des maximalen Druckverlustes im Vergleich zum Gehäuse der Windkraftanlage wesentlich extremer: Der maximal zulässige dP-Wert liegt bei 50-100 mbar, d.h. eine Größenordnung kleiner als bei der Windkraftanlage. Dies hat zur Entwicklung der nächsten Generation des ShowerPower® Kühlers geführt, bei dem die Mäanderkanäle in die Grundplatte des Power Moduls integriert wurden und zum Konzept SP3D® führte.



Abb. 15: Grundplatte mit Mäanderkanälen, rechts: SP3D® Aufbau mit drei Modulen auf einem Kühler.

Damit wird die effektive Kühlfläche verdreifacht, verglichen mit einer flachen, unstrukturierten Grundplatte. Die thermische Leistung ist mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von 10000-12500 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ im Vergleich zu den 6000-7000 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ für den Standard ShowerPower® Kühler wesentlich höher, bei gleichzeitiger Einhaltung der Anforderungen an den Druckverlust. [7], [8].

6 Ermittlung der optimalen Auslegung

In sämtlichen Auslegungsprozessen ist das grundlegende Ziel, die beste Lösung zu finden und das Streben nach dem Optimum der Antrieb jedes Ingenieurs. Optimierung kann das neue Schlagwort in der Simulations-Community sein, und NAFEMS bietet umfangreiche Informationen zum Thema. Es existieren viele Ansätze zur Optimierung. Einige Softwarepakete verfügen über halbautomatische Lösungen, wie z.B. STAR-CCM+ oder FloEFD. Andere bieten erweiterte Optimierungsfunktionen, wie z.B. HEEDS oder pSeven.

Die Herausforderung besteht darin, dass die Auslegungsziele selten exakt definiert sind. Der beste Kühler wird nicht durch einen einzigen Parameter wie z.B. "höchste Kühlleistung" spezifiziert, sondern häufiger durch "höchste Kühlleistung" bei "möglichst niedrigem Druckverlust". Weitere Einschränkungen, wie z.B. physikalisches Volumen, Gewicht und insbesondere Kosten erschweren die Aufgabe zusätzlich.

Dennoch ist es möglich, einen flüssig gekühlten Kühler zu optimieren und die Lösungen zu identifizieren, die die "beste Kühlleistung" bei „geringstem Druckverlust“ erzielen. Es ist jedoch wichtig zu verstehen, dass das Resultat derartiger Optimierungsaufgaben mit mehreren Zielen nicht aus einem einzelnen Optimum besteht, sondern aus einer Vielzahl von Auslegungsvariationen, die sich auf der resultierenden Pareto-Grenze innerhalb des Designraumes befinden.

Die Herausforderung bei der Optimierung eines Kühlers, wie z.B. einem ShowerPower®-Aufbau für ein P3-Modul, besteht darin, dass mehrere geometrische Freiheitsgrade vorliegen:

Parameter	Minimum	Maximum
Anzahl Mäanderkanäle	8	50
Kanalbreite	1.8 mm	3 mm
Kanaltiefe	1.8 mm	3 mm
Wandstärke	0.4 mm	0.6 mm
Bypass	0.1 mm	0.5 mm
Verrundung, Kanalecke	0.05 mm	1 mm
Verrundung, Kanalboden, etc.	0.05 mm	1 mm
Entformungswinkel	0.5°	3°

Die Untersuchung sämtlicher möglicher Einflussparameter gleichzeitig, würde CFD-Simulationen von mehreren hunderttausend Kombinationen erfordern. Wenn diese beispielsweise jeweils acht Stunden CPU-Zeit benötigen, würde die gesamte Rechenzeit mehrere hundert Jahre betragen. Der einzige Ausweg ist die Anwendung von Ansätzen wie "Design of Experiments" (DoE).

Als Beispiel wurde eine DoE Untersuchung an dem oben genannten ShowerPower® Kühler durchgeführt. Anstelle mehrerer hunderttausend Auslegungspunkte wurde ein DoE-Projekt mit ca. 100 Entwürfen aufgesetzt. Die gesamte Rechenzeit betrug eine Woche.

Die Darstellung der maximalen Temperatur im Verhältnis zum Druckverlust für jeden Designpunkt ermöglicht einen ersten Überblick über den Designraum.

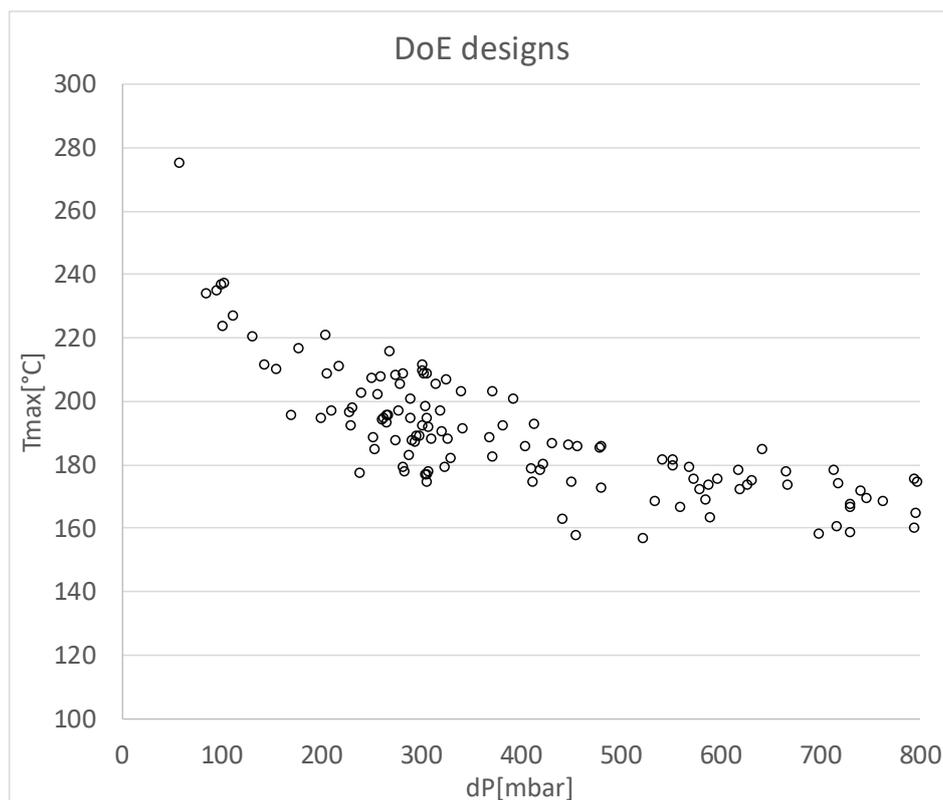


Abb. 16: DoE Ergebnisse T_{max} , dP .

Mit Hilfe einer statistischen Auswertung ist es möglich, analytische Ausdrücke für die ausschlaggebenden Parameter, in diesem Fall T_{max} und dP zu aufzustellen (die Parameter Verrundung und Entformungswinkel wurden ignoriert):

$$T_{max} = T_{max}(\text{bypass}, \text{channel } d, \text{channel } w, n \text{ channels}, \text{wall } t)$$

$$dP = dP(\text{bypass}, \text{channel } d, \text{channel } w, n \text{ channels}, \text{wall } t)$$

Mit diesen Formeln ist es beispielsweise möglich, tausende von Auslegungsmöglichkeiten in Sekundenschnelle, z.B. in MS Excel zu "simulieren".

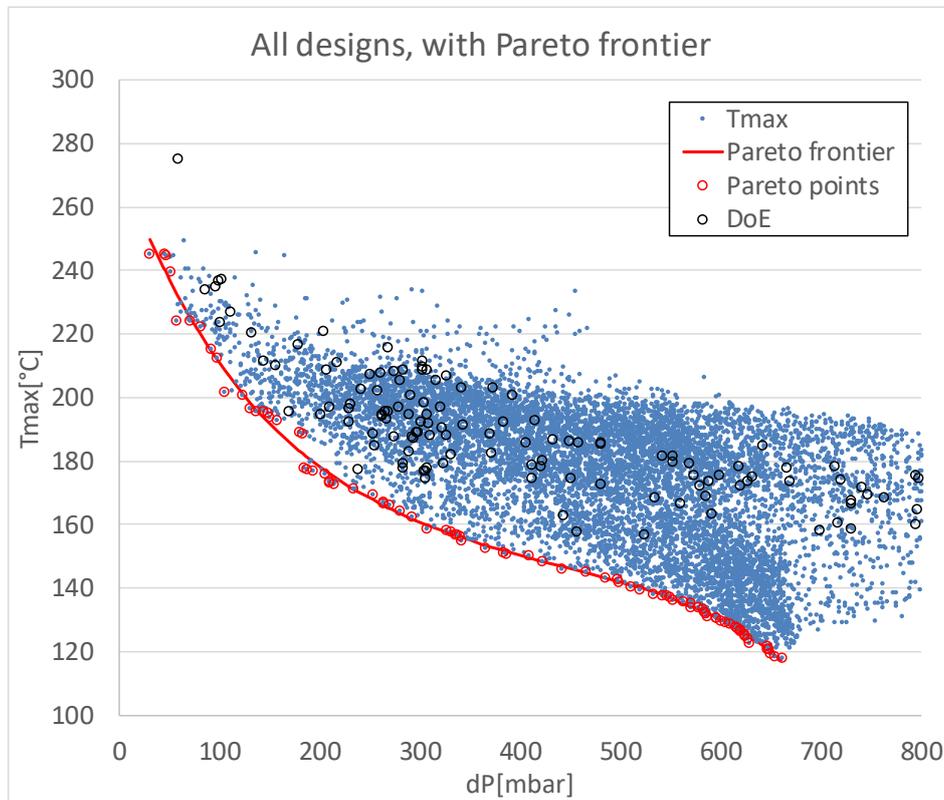


Abb. 17: Zehntausend zufällige Designs, die Pareto-Grenze ist deutlich sichtbar.

Die Designpunkte nahe der Pareto-Grenze können identifiziert werden. Der Kompromiss zwischen thermischer Leistung und Druckverlust ist anhand der Auswertung nachvollziehbar und es kann eine qualifizierte Designauswahl getroffen werden. Die analytischen Ausdrücke für die thermische Leistung eines bestimmten Kühlers sind somit ein mathematisches Modell dieses Kühlers, ein "digitaler Zwilling", und können auch von Entwicklungsingenieuren, die kein CFD nutzen, oder von Kunden zur optimalen Auslegung angewendet werden.

7 Zusammenfassung

Die Entwicklung fortschrittlicher flüssiggekühlter Lösungen für Leistungselektroniksysteme kann nicht ohne den umfangreichen Einsatz von Simulationswerkzeugen durchgeführt werden, wobei CFD das Wichtigste ist. Mit CFD Simulationen können verschiedene physikalische Effekte getrennt und individuell analysiert werden, um ein tieferes Verständnis des Systems zu erhalten. Ein Beispiel hierfür ist die Erkenntnis, wie der oben beschriebene Wirbeleffekt durch den Bypass beeinflusst wird und wie dieser Effekt für eine Optimierung genutzt werden kann. CFD Simulationen werden bei der Entwicklung verschiedener Typen von Flüssigkühlern eingesetzt, von Umrichtern in Windkraftanlagen bis hin zu Wechselrichtern für Elektrofahrzeuge. Die unterschiedlichen Randbedingungen und physikalischen Größen erforderten völlig unterschiedliche technische Lösungsansätze. Durch den umfangreichen Einsatz von CFD Simulationen kombiniert mit statistischen Methoden können die optimalen Kühllösungen identifiziert werden.

8 Literatur

- [1] <http://www.aavid.eu/product-group/liquidcoldplates>
- [2] <http://www.mentor.com/products/mechanical/engineering-edge/volume4/issue1/showerpower-turbulator-keeps-igbts-cool>
- [3] http://www.oxbowriver.com/Web_Pages/Stream_Ecology_Pages/Ecology_Aquatic/Ecology_Helical.html
- [4] Olesen, K et al.: "ShowerPower, New Cooling Concept", PCIM 2004 conference proceedings, Nuremberg, p 469-475
- [5] Olesen, K et al.: "Designing for reliability, liquid cooled power stack for the wind industry", European Wind Energy Conference - EWEC 2010, 20-23 April 2010, Warsaw, Poland
- [6] Olesen, K et al.: "Direct liquid cooling of power modules in converters for the wind industry", PCIM Europe 2010, Nuremberg, 4-6 May 2010
- [7] Olesen, K et al.: "'ShowerPower' New Cooling Concept for Automotive Applications", SIA, International Conference Automotive Power Electronics, Paris, 21-22.06.2006,
- [8] Bredtmann, R et al.: "'Power under the hood' Increasing power density of inverters with a novel 3D-approach", SIA, International Conference Automotive Power Electronics, Paris, 2009.03.26-27

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

Adresse für Fensterkuvert



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

Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (2/2018)

- Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:**
- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Mitgliedschaft | <input type="checkbox"/> NAFEMS DACH Regionalkonferenz 2018 |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Magazin „Benchmark“ | <input type="checkbox"/> CFD Seminar im Oktober 2018 |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Seminare | <input type="checkbox"/> MBSE Seminar im November 2018 |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Trainingskurse | <input type="checkbox"/> Europäische SPDM Conference 2018 |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS e-learning | <input type="checkbox"/> Europäische Multiphysics Conference 2018 |
| <input type="checkbox"/> Professional Simulation Engineer PSE | <input type="checkbox"/> NAFEMS World Congress 2019, Quebec, CAN |
| <input type="checkbox"/> Internationale Arbeitsgruppen | |
- Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.**
- Senden Sie das NAFEMS Magazin bitte auch an meine/n Kollegen/in (Adresse unten).**
- Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:**
- _____
- Ich interessiere mich für Werbe-/Stellenanzeigen - bitte senden Sie uns die Mediadaten zu.**

Absender

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

Bitte senden Sie das NAFEMS Magazin auch an:

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

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

Adresse für Fensterkuvert



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

Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (2/2018)

- Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:**
- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Mitgliedschaft | <input type="checkbox"/> NAFEMS DACH Regionalkonferenz 2018 |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Magazin „Benchmark“ | <input type="checkbox"/> CFD Seminar im Oktober 2018 |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Seminare | <input type="checkbox"/> MBSE Seminar im November 2018 |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Trainingskurse | <input type="checkbox"/> Europäische SPDM Conference 2018 |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS e-learning | <input type="checkbox"/> Europäische Multiphysics Conference 2018 |
| <input type="checkbox"/> Professional Simulation Engineer PSE | <input type="checkbox"/> NAFEMS World Congress 2019, Quebec, CAN |
| <input type="checkbox"/> Internationale Arbeitsgruppen | |
- Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.**
- Senden Sie das NAFEMS Magazin bitte auch an meine/n Kollegen/in (Adresse unten).**
- Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:**
-
- Ich interessiere mich für Werbe-/Stellenanzeigen - bitte senden Sie uns die Mediadaten zu.**

Absender

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____

Bitte senden Sie das NAFEMS Magazin auch an:

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____

