



Online-Magazin

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

Fachbeiträge

PRODUKTENTWICKLUNG

Wissensbasierte und berechnungsunterstützte Konzeptabsicherung in den frühen Phasen der Produktentwicklung am Beispiel des Elektromotors
Brose Fahrzeugteile / Universität Erlangen-Nürnberg

AUTOKLAV-FERTIGUNG

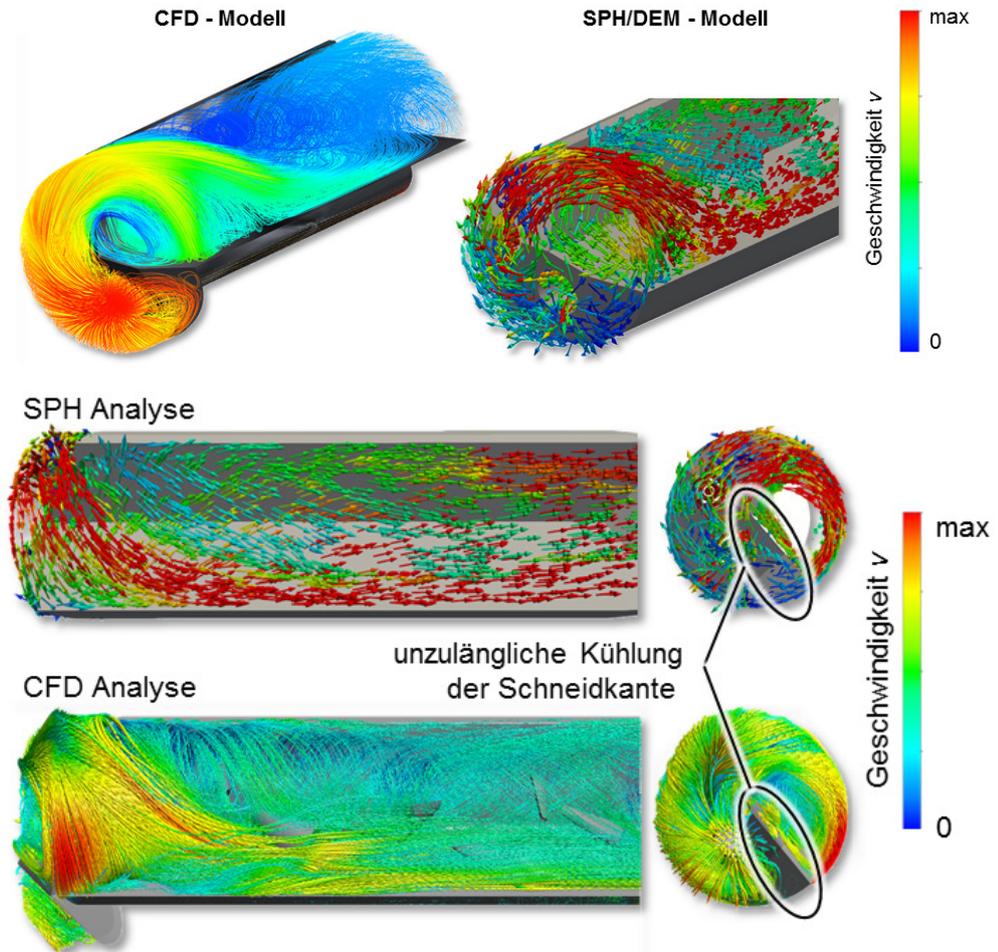
Simulation des Wärmeübergangs bei der Aushärtung von CFK-Bauteilen im Autoklaven
Faserinstitut Bremen

EINLIPPENTIEFBOHREN

Kombinierter Modellierungs- und Simulationsansatz zur Strömungsuntersuchung der Kühlschmierstoffversorgung beim Einlippentiefbohren unter Berücksichtigung der Spanbildung
TU Dortmund / Universität Stuttgart

FORMOPTIMIERUNG

Entwicklung einer Methodik zur Formoptimierung eines Seitenairbags
Arrk Engineering



NAFEMS World Congress 2019

Call for Papers –
Abstracteinreichung bis
21. November 2018

www.nafems.org/congress



incorporating the

NWC **2019**
NAFEMSWORLDCONGRESS

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,

Ingenieure müssen seit jeher mit Problemen fertig werden, die sich aus ungenauen oder unvollständigen Daten ergeben; so sind zum Beispiel Materialfestigkeiten immer nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit bestimmbar und zudem für das geplante Einsatzspektrum häufig nur unvollständig bekannt. Die erforderliche Sicherheit wird dann durch entsprechende Faktoren erreicht, mit denen man einen ausreichenden Abstand von kritischen Beanspruchungen hält. Damit hat man einen Ausweg gefunden, auf dem man das traditionelle „Hard Computing“ anwenden kann, das auf Exaktheit, Gewissheit und analytischen Modellen beruht. Mit den stetig steigenden Rechnerkapazitäten gewinnt jedoch das „Soft Computing“ an Bedeutung, das von Toleranz gegenüber Unbestimmtheit und unvollständige Information geprägt ist und zur Lösung evolutionäre Algorithmen, neuronale Netze, Fuzzy Logik und probabilistische Schlüsse einsetzt. Typisch sind auch approximative Lösungen ohne analytische Modellierung sowie ein in einem weiten Verständnis naturanaloges Vorgehen. Damit ist man näher an der Realität und kann so die Aufgaben besser lösen, die sich zum Beispiel aus den Simulationen im Rahmen von Industrie 4.0 oder dem Internet der Dinge (IoT) ergeben.

Ein typisches Beispiel aus dem Bereich Soft Computing wird in dem ersten Fachbeitrag des vorliegenden Heftes beschrieben. Bereits in den frühen Phasen der Entwicklung eines Elektromotors, wenn viele Details noch nicht festgelegt sind, erfolgt der Gesamtentwurf des Systems. Um die Zahl der danach nötigen Iterationen klein zu halten, wird ein neues Konzept für einen vollautomatischen Design-Check vorgeschlagen. Der zweite Beitrag untersucht, wie sich die Strömungsverhältnisse in einem Autoklaven auf die Aushärtetemperatur eines Bauteils aus einem Faser-Kunststoff-Verbund auswirken. Auch im dritten Beitrag spielt die Simulation von Strömungen eine entscheidende Rolle. Damit wird gezeigt, dass die Geometrie eines Einlippenbohrers optimiert werden muss, damit der Kühlschmierstoff beim Tiefbohren die Werkzeugschneide ausreichend versorgt. Am Beispiel der Formoptimierung eines Seitenairbags wird schließlich verdeutlicht, wie durch Reduktion auf ein Submodell und angemessene Parametrisierung die Rechenzeit in Grenzen gehalten werden kann.

Ergänzt durch Informationen zu NAFEMS-Events, den Neuigkeiten und Anzeigen steht Ihnen in diesem Heft wieder ein Angebot zur Verfügung, von dem ich hoffe, dass es auch für Sie interessante und nützliche Informationen enthält. Ich 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 (IABG, D), 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 (DynaPredict, 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 (PDTEC)
- 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 (Hochschule Esslingen)
- M. Stephan (DHBW Mosbach)
- A. Stück (DLR)

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

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

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 **1.400 Mitgliedsunternehmen und -Institutionen**. Mitglieder erhalten unter anderem:

- Freie Seminarplätze
- Literatur und „Benchmark“ (FEM-Magazin)
- Ermäßigungen für Trainingskurse, Kongresse und Literatur
- Kostenlose Stellenanzeigen auf caejobsite.com
- Zugriff auf passwortgeschützten Webbereich mit Kontaktmöglichkeiten und Informationen
- Kontakt zu über 1.400 Organisationen weltweit

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

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
NAFEMS Events
Übersicht: Konferenzen/Seminare, Schulungen, e-learnig Kurse.....6
Konferenzen/Seminare - Vortragsprogramme:
- European SPDM Conference7 - 9
- Neue Methoden in der numerischen Strömungsberechnung
(CFD) – Alternativen zu Finite-Volumen-Methoden?..... 10 - 11
- Bessere Produkte mit Modellbasiertem Systems Engineering
(MBSE) und CAE12 - 13
- Exploring the Design Freedom of Additive Manufacturing
through Simulation14 - 16
Konferenzen/Seminare Call for papers:
- Werkstoffeigenschaften in der Strukturberechnung 17
- NAFEMS World Congress 201918 - 19, 45
NAFEMS Trainings
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation.....20
Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung21
Verification and Validation in Engineering Simulation22 - 23
Simulation und Analyse von Composites24
Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis.....25
Literatur
E-Library / Int. NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“26 - 30
Professional Simulation Engineer PSE31
Neuigkeiten33 - 42
Veranstaltungskalender44 - 45
Fachbeiträge
Produktentwicklung
**Wissensbasierte und berechnungsunterstützte Konzept-
absicherung in den frühen Phasen der Produktentwicklung
am Beispiel des Elektromotors**
J. Tüchsen (Brose Fahrzeugteile/Univ. Erlangen-Nürnberg);
M. Richter, J. Heydenreich, M. Koch (Brose Fahrzeugteile);
B. Schleich, S. Wartzack (Univ. Erlangen-Nürnberg)46 - 52
Autoklav-Fertigung
**Simulation des Wärmeübergangs bei der Aushärtung
von CFK-Bauteilen im Autoklaven**
T. Frerich, J. Zhu, A. S. Herrmann (Faserinstitut Bremen)53 - 58
Einlippentiefbohren
**Kombinierter Modellierungs- und Simulationsansatz zur
Strömungsuntersuchung der Kühlschmierstoffversorgung
beim Einlippentiefbohren unter Berücksichtigung der
Spannbildung**
E. Oezkaya, D. Biermanna (TU Dortmund);
D. Schnabel, P. Eberhard (Univ. Stuttgart)59 - 74
Formoptimierung
**Entwicklung einer Methodik zur Formoptimierung
eines Seitenairbags**
W. Aman, S. Fink (Arrk Engineering))75 - 83
Werbeanzeigen
Dassault Systèmes.....33
esocet.....35
NAFEMS Mitgliedschaft.....43
VMAP Projekt32
Rückmeldeformulare.....84 - 85

Konferenzen und Seminare

Konferenz-/Seminartitel	Termin	Ort
Neue Methoden in der numerischen Strömungsberechnung (CFD) – Alternativen zu Finite-Volumen-Methoden? www.nafems.org/cfd18	12.-13.11.18	Wiesbaden
Model Based Systems Engineering (MBSE) and CAE www.nafems.org/mbse18	14.-15.11.18	Wiesbaden
European SPDM Conference www.nafems.org/spdm2018	28.-29.11.18	München
Exploring the Design Freedom of Additive Manufacturing through Simulation www.nafems.org/am18	10.-11.12.18	Helsinki, Finland
Werkstoffeigenschaften in der Strukturberechnung – Modellierung, Kalibrierung, Simulation & Optimierung www.nafems.org/werkstoffe 19	27.-28.03.19	Dresden

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/nafeems/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 20 - 25. 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



Einladung / Vortragsprogramm

European Conference: Simulation Process and Data Management – SPDM

28. - 29. November 2018, München

Invitation

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
- Analysis planning and reporting
- Business processes implemented in SDM
- Digital threads and digital twins implemented in SDM
- Business value of SDM solutions
- Standards-based approaches in SDM
- Open source approaches to SDM
- Essential components of an SDM solution
- Data and process integration tools
- Platforms for the deployment of industrialised/democratised simulation processes
- SDM strategy

The conference welcomes participation from every type of organization – large and small, across all sectors. We are looking forward to meeting you in Munich.

Conference venue

Infinity Hotel & Conference
Andreas-Danzer-Weg 1
85716 München/Unterschleißheim,
Germany
www.infinity-munich.de

Hotel accommodation

Conference participants will get a reduced rate in the Infinity Hotel & Conference when booking before 17 Oct. 2018. Please use booking link on the conference website or phone. Reservations Local Phone: +49 89 370 530 131 (Keyword „NAFEMS“)

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.

Conference language

English

Registration fees

NAFEMS members: Free*
* NAFEMS members can use seminar credits towards free attendance at this event. This event will charge 4 seminar credits per delegate.
Member with no available seminar credits: 500 Euro
Non NAFEMS members: 800 Euro

The registration fee includes conference attendance, proceedings, lunches, break refreshments and get together. Hotel accommodation is not included.

All prices plus local VAT.

www.nafems.org/spdm2018

Platinum Sponsors



Gold Sponsors



Silver Sponsor



AGENDA – WEDNESDAY, 28 NOVEMBER

1 – PLENARY SESSION: KEYNOTE SPEAKERS AND PLATINUM SPONSOR

- 09:45 **Welcome and NAFEMS Introduction**
T. Morris (NAFEMS); M. Norris (Consultant)
- 10:00 **Keynote Presentation:**
Process Integration in SPDM at BMW
J. Reicheneder (BMW)
- 10:40 **Keynote Presentation:**
SPDM@AUDI: Contribution to the Digital Transformation
A. Beck, U. Wierl (Audi)
- 11:20 **Keynote Presentation:**
Specific Contribution of Simulation Process and Data Management (SPDM) Tools to the Performance of CAE Model Building in the Renault Organization
L. Noyelle (Renault)
- 11:50 **What SPDM System Need to Support AI and Virtual Testing of Autonomous System**
– Platinum Sponsor –
M. Schlenkrich (MSC Software)
- 12:20 Lunch

2 – PLENARY SESSION: INVITED SPEAKERS AND PLATINUM SPONSOR

- 13:20 **Invited Presentation:**
Safety Modular Library Process at Ford Motor Company
U. Fox, S. Hebling, R. Fachbach (Ford-Werke)
- 14:00 **Integration of SDM in an Existing PDM-CAE-IT Infrastructure**
– Platinum Sponsor –
G. Staub (PDTec)
- 14:30 **Prospects of Integrating CAD and CAE in Simulation Data Management**
M. Thiele, D. Matthus (Scale); C. Knebler (Audi)
- 14:55 Coffee Break

3 – DEPLOYMENT

- 15:45 **Integrating Simulation into Innovation Work Processes**
S. Canceil, K. Comstock (Procter & Gamble)
- 16:10 **Lessons Learned from Deploying a Multi-Disciplinary SPDM for Smartphone Development**
– Automation is the Key
M. Theman, P. Siitonen, K. Przysowa (NablasLabs)
- 16:35 **Lifecycle Management Implementation in CAE Simulations**
S. Tzamtzis, A. Zografos, I. Makropoulou (BETA CAE Systems)
- 17:00 Coffee Break

4 – SELECTION

- 17:35 **Simulation Management Segments: 4 Distinct Approaches to Managing Simulation Data, Processes & the Digital Thread**
M. Norris (TheSDM consultancy)
- 18:00 **Questions you'll Need to Answer when Introducing SPDM**
M. Markestein (Fokker)
- 18:25 **Simulation Data Management as Key Enabler for the Digital Transformation at Brose**
A. Merklein (Brose); M. Krastel (:em engineering)
- 18:50 **Data-Centric and Process-Centric Object Models for Simulation Management**
H. Wenzel (Dassault Systèmes)

GET TOGETHER

- 19:15 **Beverages and snacks in the exhibition area**
- 20:15 End of first conference day

AGENDA – THURSDAY, 29 NOVEMBER

5 – PLENARY SESSION: KEYNOTE SPEAKERS AND PLATINUM SPONSOR

- 08:25** Introduction of Day 2
T. Morris (NAFEMS); M. Norris (Consultant)
- 08:35** Keynote Presentation:
Opportunities and Challenges of Simulation Data Management from the View of an Automotive Supplier
T. Laufer (Joyson Safety Systems Aschaffenburg)
- 09:15** Keynote Presentation:
Simulation Process & Data Management Applied to a System of Multi-Disciplinary Trade-off Capabilities in the Context of Overall Aircraft Design
P. Schroll, A. Murton (Airbus)
- 09:55** **Benefits of SDM in the PLM Context – not only for the Big Automotive Players**
– Platinum Sponsor –
E. Niederauer (Siemens Industry Software)

10:25 Coffee Break

6 A – CAE WORKFLOWS: PIDO IN SDM OR PLM

- 11:10** **Agile Engineering Processes: The Business Impact of Simulation Democratization**
M. Nicolich, M. Turchetto (Esteco); C. Persi, S.Sagnul (Ergolines Lab)
- 11:35** **Real World Applications for Simulation Workflow Management Combined with Simulation Data Management**
R. Fahlberg, S. Klöckl, D. Schneider (Dynardo GmbH)
- 12:00** **Automated and Smart Design Exploration Process: Application to a Vehicle Suspension System**
J. P. Roux (Siemens Industry Software SAS)
- 12:25** **Abstract Data Model for the Complex Requirements of Modern SPDM**
– Platinum Sponsor –
M. Panthaki (Comet Solutions); M. Lind (Aras)

12:50 Lunch break

7 – NEW APPROACHES & AI

- 13:50** **Simulation Process Data Management in the Age of AI**
S. Suwelack, D. Häntsch, S. Slavetinsky, M. Stoll (Renumics)
- 14:15** **Introducing AI for SDMs**
R. Iza-Teran, J. Garcke (Fraunhofer SCAI)
- 14:40** **Collaborative Simulation Platform for Innovative Product Design**
A. Munck (Digital Product Simulation)
- 15:05** **Automatic Detection of Unexpected Crash Behaviour Parallel to Design Improvement Phases**
L. Jansen, C. Thole (Sidact)
- 15:30** **Wrap-Up and Closing Remarks**
M. Norris (Consultant)
- 15:45** End of SPDM Conference

6 B – PLATFORMS FOR SIMULATIONS

- Pushing Storage and Bandwidth Requirements of SDM towards Reasonable Levels**
M. Buechse, M. Thiele (Scale)
- Smart Deployment and Execution of Engineering Simulation Workflows on Cloud Architectures**
M. Panzeri, R. d'Ippolito (Noesis Solutions); E. Heydari Beni, B. Lagaisse (imec-DistriNet); M. Motzer, F. Stoeckl (Dräxlmaier Group)
- Developing a Multi-disciplinary Simulation Process Management Platform for the Cloud**
S. Rossiter (AgileTek Engineering)
- Direct Generation of FE Models by PDM Systems**
A. Dadalau (Meshparts)

EXHIBITORS

Following companies already registered for exhibition:

Aras	DPS Digital Product Simulation	NAFEMS	Sidact
Beta CAE Systems	GNS Systems	PDTec	Siemens Industry Software
Dassault Systèmes	MSC Software	Scale	...

Date: 18 Sept. 2018

Program subjected to alterations.

Einladung / Vortragsprogramm

Seminar: 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.

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: 620 Euro
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: 420 Euro.

Für Studenten steht ein begrenzte Anzahl an freien Seminarplätzen zur Verfügung und setzt die Bereitschaft zur Mithilfe bei der Organisation vor Ort voraus.

Alle Preise jeweils zuzügl. ges. MwSt.

Informationen und Anmeldung

www.nafems.org/cfd18

Gold Sponsoren



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 **Die Lattice-Boltzmann Methode zur Simulation von Strömungen in Turbomaschinen-Anwendungen**
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 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 **Anwendung innovativer LB-Verfahren für simulationsbasiertes Design im Schiff- und Automobilbau**
C. F. Janßen, D. Mierke, M. Gehrke (TU Hamburg (TUHH))
- 09:45 Kaffeepause
- 10:30 **Anwendungen von 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. Härdj, 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 / Vortragsprogramm

Seminar: 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 Verifizierung 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 Systementwick-

lung 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.

Technische Leitung:

W. Moretti (Schindler Elevator) und M. Hoffmann (Altair Engineering) Mitglieder des NAFEMS Steering Committees 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 an.

Tagungssprache

Deutsch (in Ausnahmen in Englisch)

Teilnahmegebühr

Nicht-Mitglieder: 620 Euro
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: 420 Euro. Für Studenten steht eine begrenzte Anzahl an freien Seminarplätzen zur Verfügung und setzt die Bereitschaft zur Mithilfe bei der Organisation vor Ort voraus.

Alle Preise jeweils zuzügl. ges. MwSt.

Vortragsprogramm

14. November

- 13:30 **Begrüßung und Einführung**
W. Moretti (Schindler Elevator, Mitglied im NAFEMS DACH Steering Committee)
- 13:45 **Keynote-Vortrag: MBSE heute und der zukünftige Bedarf**
S.-O. Schulze (GfSE)
- 14:30 **MBSE und Simulation im Automotive Systems Engineering**
S. Husung, S. Kleiner (:em engineering methods)
- 15:00 Kaffeepause
- 15:45 **Profiting from Model Based Design (MBD) Even in Case of Lacking Input Data**
H. Enkler, L. Sporleder (Universität Furtwangen)
- 16:15 **Effiziente und parametrische Digitale Zwillinge für Systems Engineering Anwendungen**
C. Tamm (Fraunhofer LBF)
- 16:45 **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)
- 17:15 **Gold-Sponsor-Vortrag: MBSE als Basis für die Digitale Transformation im Engineering**
S. Kleiner (:em engineering methods)
- 17:30 **Gold-Sponsor-Vortrag: Dassault Systèmes**
n.n. (Dassault Systèmes)
- 17:45 Get together in der Ausstellung

15. November

- 08:30 **Ist der digitale Zwilling für eine erfolgreiche Produktentwicklung ausreichend?**
Herausforderungen in der Integration und Kollaboration
D. Berghaeger (Siemens Industry Software)
- 09:00 **MBSE im Sondermaschinenbau**
A. Holzinger, H. Sehrsön, T. Muraier (FILL)
- 09:30 Kaffeepause
- 10:00 **Integrierte Systemsimulation einer Fräsmaschine**
R. Helfrich, B. Kirchgäßner, G. Nötzel-Steidle (Intes)
- 10:30 **PLM-based Integration of System Simulation and MBSE for Continuous Engineering**
L. Kirsch (Contact Software); B. Binder, T. Blochwitz, M. Gottschall (ESI ITI)
- 11:00 **MBSE - a Key Instrument in the Development of Electric Vehicles**
R. Bartkevicius, A. Morkevicius (No Magic Europe); P. Lalor, F. Gauthier (Dassault Systèmes)
- 11:30 **Modellbasierte Entwicklung bei Schindler – Woher wir kommen, wo wir stehen, und wohin die Reise geht**
R. Zimmermann (Schindler Elevator)
- 12:00 Mittagspause
- 13:00 **MBSE + CAE für Audiosysteme – ein Überblick**
A. Svobodnik (Mvoid Group)
- 13:30 **From V-Curve to V-Cycle Towards the Re-Use of Efforts through Different Stages of the Product Lifecycle**
T. Bernard, L. Mariano, C. Kehrer (Altair Engineering)
- 14:00 **Bessere Produkte mit Modellbasiertem Systems Engineering (MBSE) und CAE: Airbag-Simulation**
F. Kryszohn (Autoliv)
- 14:30 Kaffeepause
- 15:00 **Einsatz des Artefaktmodells zur Modellierung von CAE-Artefakten im MBSE-Prozess**
M. Brandstätter, C. Bühler (Prostep)
- 15:30 **Wrap-up / Diskussion**
M. Hoffmann (Altair Engineering); W. Moretti (Schindler Elevator)
- 16:00 Ende der Veranstaltung

Gold Sponsoren



Informationen und Anmeldung
www.nafems.org/mbse18

Einladung / Vortragsprogramm

Seminar: Exploring the Design Freedom of Additive Manufacturing through Simulation

10. - 11. Dezember 2018, Helsinki, Finland

Invitation

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.

We look forward to welcoming you to Helsinki.

The conference will be organized by NAFEMS in cooperation with



Conference venue

Hilton Helsinki Kalastajatorppa
Kalastajatorpantie 1
00330 Helsinki, Finland
www.kalastajatorppa.hilton.com

Hotel accommodation

Please use the booking link on the seminar website. You may also book directly with the hotel by email to helsinkikalastajatorppa@hilton.com / or by telephone +358945811. Please use reservation code G1NAFA when booking the rooms. Credit card details are needed to guarantee the booking.

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.

Conference language

English

Information and registration

www.nafems.org/am18

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 without seminar credits: 450 Euro

Non NAFEMS members: 600 Euro

Students: Free

A limited number of students attend free of charge (first come, first serve – matriculation certificate required).

The registration fee includes conference attendance, proceedings, lunches, break refreshments and get together. Hotel accommodation is not included.

All prices plus local VAT.

Organized by

NAFEMS NORDIC (www.nafems.org) in cooperation with VTT (www.vttresearch.com).

All prices plus local VAT.

Media-Partner

 ADDITIVE FERTIGUNG

Gold Sponsors



Silver Sponsors



AGENDA – MONDAY, 10 DECEMBER

1 A - PLENARY SESSION

- 09:15 **Welcome and NAFEMS / VTT Introduction**
NAFEMS NORDIC Steering Committee; T. Morris (NAFEMS); T. Laitinen (VTT, FIN)
- 09:25 **Keynote-Presentation:**
Additive Manufacturing at Airbus: Design for First-Time-Right AM
S. Van der Veen (Airbus, FRA)
- 10:00 **Sponsor: BETA CAE Systems: Company and Toolset for the Simulation and Analysis of AM Engineered Components**
- 10:10 **Sponsor: Siemens Industry Software**
- 10:20 **Sponsor: MSC Software**
- 10:30 Break

2 A - PLENARY SESSION

- 11:10 **Keynote-Presentation:**
Process Modelling for Metal Additive Manufacturing
B. Peters (Univ. du Luxembourg, LUX)
- 11:45 **Keynote-Presentation:**
Additive Manufacturing of Ceramic-Based Components and Simulation – Opportunities and Requirements
U. Scheithauer, W. Beckert, S. Weingarten, E. Schwarzer, J. Abel, G. Ganzer, C. Freytag, P. Neumeister, H.-J. Richter, T. Moritz (Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, GER)
- 12:20 **Sponsor: Altair Engineering**
- 12:30 **Sponsor: Autodesk**
- 12:40 **Sponsor: Materialise**
- 12:50 Lunch Break

3 A – DESIGN & SIMULATION I

- 14:00 **Automatic Generation of a Shell of an Architectural CAD Model for Additive Manufacturing**
M. Ruschitzka, L. Anger, H. Ott (Univ. of Applied Sciences Cologne, GER)
- 14:25 **Simulation-Based Development of MPP-Silencers Supported by Additive Manufactured Scale Models**
J. Tanttari, E. Komi, A. Hynninen, S. Uosukainen (VTT, FIN)
- 14:50 **Simulating and Manufacturing Sound Absorbing Metal Foams**
S. Uosukainen, A. Hynninen, J. Tanttari, E. Komi (VTT, FIN)
- 15:15 **Mixing Performance Evaluation of Additive Manufactured Milli-Scale Reactors**
M. Woldemariam, R. Filimonov, T. Purtonen, J. Sorvari, T. Koironen, H. Eskelinen (Univ. Lappeenranta, FIN)
- 15:40 Break

4 A – DESIGN OPTIMIZATION I

- 16:20 **Topology Optimization for a Nonstatic Loadcase**
P. Frank (Volkswagen Osnabrück, GER)
- 16:45 **Topology Optimization of 3d Printed Switched Reluctance Motor**
A. Manninen, J. Keränen, J. Pippuri-Mäkeläinen, S. Metsä-Kortelainen, T. Riipinen, T. Lindroos (VTT, FIN)
- 17:10 **Experiences in Additive Manufacturing from Design Optimization to Printing Process Simulation and Optimization**
J. Nänimäinen (EDR & Medeso, FIN)
- 17:35 **Optimization Process for Products made with Additive Manufacturing**
A. Papadopoulos (BETA CAE Systems)

3 B – PROCESS SIMULATION - METALS I

- Micromechanics Based Design of Fatigue Resistant Metal AM Solutions**
A. Laukkanen (VTT, FIN)
- An AM Inherent Strain Calibration Strategy Based on High-Fidelity Finite Element Models**
I. Setien, A. Echeverria (IK4-LORTEK Technological Centre); M. Chiumenti (CIMNE/Univ. Politecnica de Catalunya, ESP)
- A New Fast Method to Predict the Distortions Due to Additive Manufacturing Process**
A. Durán, J. L. Villanueva, J. Jorge, M. A. Guerrero (ITMA Materials Technology, ESP)
- Assessment of a Multi-Scale Approach for Laser Powder Bed Fusion Process Simulation**
M. Garibaldi, H. Erdelyi, T. van Eekelen (Siemens Industry Software, BEL); D. Reznik (Siemens Corp. Technology, GER)

4 B – PROCESS SIMULATION - METALS II

- Simulation of 3D Microstructure Evolution During Selective Laser Melting**
O. Zinovieva, A. Zinoviev, V. Ploshikhin (Airbus endowed Chair for Integrative Simulation and Engineering of Materials and Processes (ISEMP) / Bremen Center for Computational Materials Science (BCCMS), GER)
- Phase Field Modeling of Rapid Solidification as a Part of a Process-Structure-Properties-Performance Chain for 316L Stainless Steel**
T. Pinomaa, T. Andersson, M. Lindroos, A. Laukkanen, N. Provatas (VTT, FIN)
- Thermal Modelling Using Finite Element Analysis to Determine Critical Processing Parameters During Selective Laser Melting**
D. Higgins (Queen's University Belfast, GBR)

GET TOGETHER / SHOW & TELL

- 18:00 **Beverages and snacks in the exhibition / AM Component Design Show & Tell** (please see next last page)
- 20:00 End of first conference day

AGENDA – TUESDAY, 11 DECEMBER

5 A – PROCESS SIMULATION - METALS III

- 08:45 **Machine Specific Model for Selective Laser Melting Process**
T. Andersson, A. Laukkanen, T. Pinomaa (VTT, FIN)
- 09:10 **Industrial Applications of Laser Powder Bed Fusion Process Simulation**
E. Denlinger, P. Michaleris, J. Irwin, M. Gouge, C. Li, K. Krüger (Autodesk, USA)
- 09:35 **Additive Manufacturing: Predicting Distortions, Stresses, Phase Transformations and Mechanical Properties**
V. Oancea (Dassault Systèmes, USA);
J. Granlund (Dassault Systèmes, SWE)
- 10:00 **The Impact on Geometry of Material and Process Combination in Additive Manufacturing**
F. Valega Mackenzie (Brightlands Materials Center/TNO, NED)

10:25 Break

6 A – DESIGN OPTIMIZATION II

- 11:00 **Investigation of the Quantitative Benefit of Combining Lattice Structures with Topology Optimization**
K. Loeffel, M. Dreier (Univ. of Northwestern Switzerland, SU); M. Hoebel (General Electrics, SU)
- 11:25 **Adaptive Design and Simulation of a AM Heat Exchanger Unit**
A. Struve (Fraunhofer Institute for Additive Production Technologies IAPT, GER)
- 11:50 **SLM-Topo – A Topology Optimization Method for Additive Manufacturing of Lightweight Design Structures using the Selective Laser Melting Process**
J. Holoch, A. Albers, M. Spadinger (Karlsruhe Institute of Technology (KIT), GER)

12:15 Lunch break

7 A – DESIGN & SIMULATION III

- 13:15 **Surface Lattice vs Truss Lattice Networks, Benefits and Limitations**
A. Jansson, L. Pejryd (Örebro University, SWE)
- 13:40 **Impact Modeling of Hyper-Elastic AM Compliant Mechanisms using High-Speed Digital Image Correlation**
C. Van Mierlo, W. Dirix, M. Faes, D. Moens (KU Leuven, BEL)
- 14:05 **Exploring Additive Manufacturing Design Space Using Bayesian Network: A Case Study On Reducing Curling Defect**
A. Hamedi, E. Coatanéa (Tampere University of Technology); H. Mokhtarian (Tampere Univ. of Technology, FIN / Univ. Grenoble Alpes, FRA)
- 14:30 **Improving the Workflow from Design to Production of Topological Optimized Parts Produced by Additive Manufacturing**
S. Vermeir (Sirris, driving industry by technology)
- 14:55 **Wrap-Up and Closing Remarks**
NAFEMS NORDIC Steering Committee; J. Reijonen (VTT, FIN)
- 15:15 End of conference

5 B – WORKSHOP DIGITAL SPARE PARTS

Digital Spare Parts

Digital spare parts is a concept where the spare parts and related data are transferred and stored digitally. The spare parts are manufactured by 3D printing on demand geographically close to the end user. This workshop will cover the following:

- Overview of approaches, benefits and challenges of digital spare parts
- Discussion on how to identify potential 3D printable spare parts
- Description of several test cases, including examples of 1:1 substitution, repairable, upgradable and first aid (i.e. quick fix) spare parts
- Time to inspect printed test specimen and ask questions, etc.
- Discussion on next key research topics related to digital spare parts

Contributions: S. Metsä-Kortelainen, J. Reijonen, T. Riipinen (VTT, FIN); S. Chekurov (Aalto University, FIN)
Moderation: E. Komi, P. Puukko (VTT, FIN)

6 B – DESIGN & SIMULATION II

Development Approach for a Minimum Viable Product (MVP) through Prototype Tooling

H.-G. Enkler, L. Sporleder (HFU – Furtwangen Univ.)

The Roles of Simulation in the End-Use Application Categories of Additive Manufacturing

S. Chekurov (Aalto Univ.)

Multi-Scale Modeling of Additive Manufacturing: From Process Simulation to Design Validation

H. Shkiri, O. Lietaer (e-Xstream Engineering)

AM COMPONENT DESIGN SHOW & TELL EVENT

NAFEMS and VTT would like to warmly welcome all seminar participants to join us for our AM Component Design Show & Tell event. This is part of our get together in the evening of the 10 Dec. Conference participants will have a chance to mingle while enjoying beverages and snacks. During this time, there will be an opportunity to show off your interesting additive manufactured designs and discuss them with your peers. You could think of this like an informal poster session, whereby we are replacing posters with 3D printed objects. If you want to contribute, please complete the form on our website and return it to us by latest 16 November 2018. Bring your 3D printed part with you to the evening event on 10 Dec. and be ready to discuss. We will print the A5 component description for you to display near your component.

More information: www.nafems.org/am18

Download Form: www.nafems.org/show-tell

EXHIBITION AND SPONSORING

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

Program subjected to alterations.

Call for Papers

Seminar: Werkstoffeigenschaften in der Strukturberechnung

Modellierung, Kalibrierung, Simulation & Optimierung

Abstracteinreichung
bitte bis 26. Oktober

27. - 28. März 2019, Dresden

Aufruf zur Vortragseinreichung

Die Effizienz von Simulationsverfahren basiert auf der Güte der eingesetzten Modelle. Dies gilt im besonderen Maße für die Analyse von Bauteilstrukturen. Wenn auch Details der Geometrie weitgehend exakt nachgebildet werden können, sind Beschreibungen der Werkstoffeigenschaften oft nicht verfügbar. Es müssen Annahmen getroffen werden, deren Auswirkungen auf das Ergebnis meist nicht absehbar sind. Verlässliche Designentscheidungen sind so nicht möglich, ebenso darüber hinausgehende neue Anwendungen wie z. B. der Digital Twin.

Dieses Seminar soll zeigen und zur Diskussion stellen, mit welchen Methoden das Design von Leichtbaustrukturen, deren Nutzen auf optimierte Eigenschaften der Werkstoffe beruht, unterstützt werden kann.

Die physikalischen Eigenschaften der Materialien von Tragstrukturen wie lineare / nichtlineare Elastizität, Versagen, Dämpfung, Wärmeleitfähigkeit usw. werden mittels Stoffgesetzen beschrieben. Diese müssen mit geeigneten Methoden bestimmt werden und bilden die Basis zur Erstellung von Materialmodellen. Damit werden in geeigneten Softwaresystemen zur Strukturanalyse die Materialeigenschaften simuliert, je nach Aufgabenstellung unter Berücksichtigung von z. B. Verformungsgeschwindigkeit, Temperatur usw. Besondere Herausforderungen bieten Werkstoffe mit komplexen Stoffgesetzen wie Polymere und Composites aufgrund ihrer inneren Struktur, und außerdem werden in vielen Fällen deren Eigenschaften im Wesentlichen durch Einflüsse während der Produktion des Bauteils bestimmt.

Dies führt zur Forderung, innerhalb einer Produktentwicklung auch den Herstellungsprozess zu simulieren, um Auswirkungen z. B. der Temperatur, plastischer Vorverformungen usw. auf das Werkstoffverhalten zu ermitteln. Mit den Ergebnissen einer derartigen Simulation können Parameter in der Fertigung gezielt beeinflusst werden, um die Materialeigenschaften zu optimieren. Praktische Anwendungen sind die Steuerung von Gießvorgängen, das Härten von Stahlteilen und vor allem die neue Technologie des Additive Manufacturing.

Wir hoffen, dass dieses Thema auch für Sie von großem Interesse ist und würden uns sehr freuen, wenn Sie dieses Seminar mit Ihrem Beitrag bereichern und Ihren Abstract **bis 26. Oktober 2018** an info@nafems.de senden.

Ihre NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH

Technische Leitung:
W. Dirschmid (Consultant)
Chairman des NAFEMS Steering Committees für Deutschland, Österreich und der Schweiz

Einreichung von Abstracts

Bitte senden Sie einen Titel und kurzen Abstract bis zum **26. Oktober 2018** per E-Mail an info@nafems.de.

Veranstaltungsort

Dorint Hotel Dresden
Grunaer Straße 14
01069 Dresden
www.hotel-dresden.dorint.com

Fachausstellung und Sponsoring

Fläche: 600 Euro – bitte fordern Sie Informationen an.

Besichtigung der Prüflabore des Entwicklungs- und Prüfzentrums IMA Dresden

Im Rahmen des Seminars planen wir eine Führung durch die akkreditierten Prüflabore des Entwicklungs- und Prüfzentrums IMA Dresden. Hier werden verschiedene Einflüsse auf die Festigkeit experimentell untersucht, Berechnungsverfahren verifiziert sowie Materialeinsatz und Konstruktionsprinzipien verglichen. Dabei erhalten die Teilnehmer einen Einblick in die modernen Prüfanlagen mit neuesten Prüftechnologien zum Beispiel für die Automobil-, Luftfahrt- und Schienenfahrzeugbranche. In Kooperation mit der IMA Dresden.

www.ima-dresden.de



Tagungssprache

Deutsch (in Ausnahmen in Englisch)

Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder: 620 Euro
NAFEMS-Mitglieder: frei
NAFEMS Mitglieder erhalten sechs „seminar credits“ pro Jahr. Für dieses Seminar werden drei credits je Teilnehmer benötigt.

Falls bereits verwendet, können NAFEMS Mitglieder zu einem reduzierten Preis teilnehmen: Euro 420,- / Person. Vortragende entrichten die reguläre Teilnahmegebühr.

Information and registration

www.nafems.org/werkstoffe19



NWC

NAFEMSWORLDCONGRESS



NAFEMS

2019

17 - 20 JUNE 2019 | QUEBEC CITY | CANADA
A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION

CALL FOR PAPERS



ABSTRACT DEADLINE: 21 NOV 2018

Engineering analysis, modelling and simulation are dynamic and ever-evolving fields. Gone are the days when everything could be categorised as either FEA or CFD. The rate of progress in software, hardware, techniques and best practice continues at a blistering pace, while the community driving that change also continues to grow and develop to incorporate every part of the product development process.

NAFEMS remains proud to be the only independent, international body dedicated to serving the community, and we want you to play an active role in driving progress and shaping the future of the sector.

Our 2019 World Congress will take place from the 17–20 June in Quebec City, Canada.

As well as hosting the 4th international SPDM conference the Congress will also be hosting 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

As part of the focus on digital trends, we will be looking at new 'digital' areas from the cutting edge of technology. AI, Digital Twins, VR&AR and Industry 5.0 are just some of the pertinent topics that the Congress will cover.

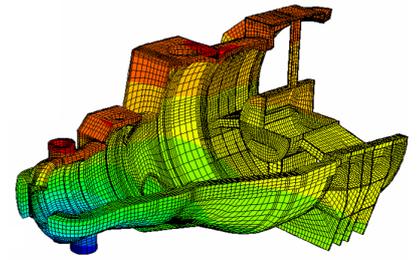
This is the only major international event dedicated to your community and your technology. Every aspect of analysis, modelling and simulation will be addressed, covering numerous industries globally. There's nothing quite like it.



Be Part of It - Submit your Abstract at nafems.org/congress

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

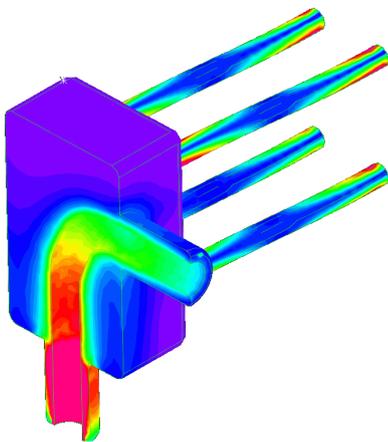
Dieser Kurs wird auch als Inhouse-Kurs bei Ihnen vor Ort angeboten. Bitte fordern Sie nähere Informationen an - Rückmeldeformular auf der vorletzten Seite.

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.



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

Kurssprache

Englisch / Deutsch, falls nur deutschsprachige Teilnehmer.

Inhouse-Kurs

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

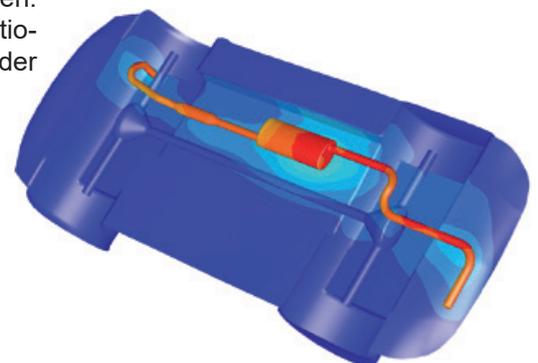
Referent



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

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



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 - Rückmeldeformular auf der vorletzten Seite.

e library

Corporate Subscription

NAFEMS reference library at the click of a button





eLibrary

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 Oktober 2018

Die internationale NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“ erschien in der Druckauflage im Oktober 2018. Download für Mitglieder und Abonnenten sowie Informationen zum Abonnement finden Sie unter:

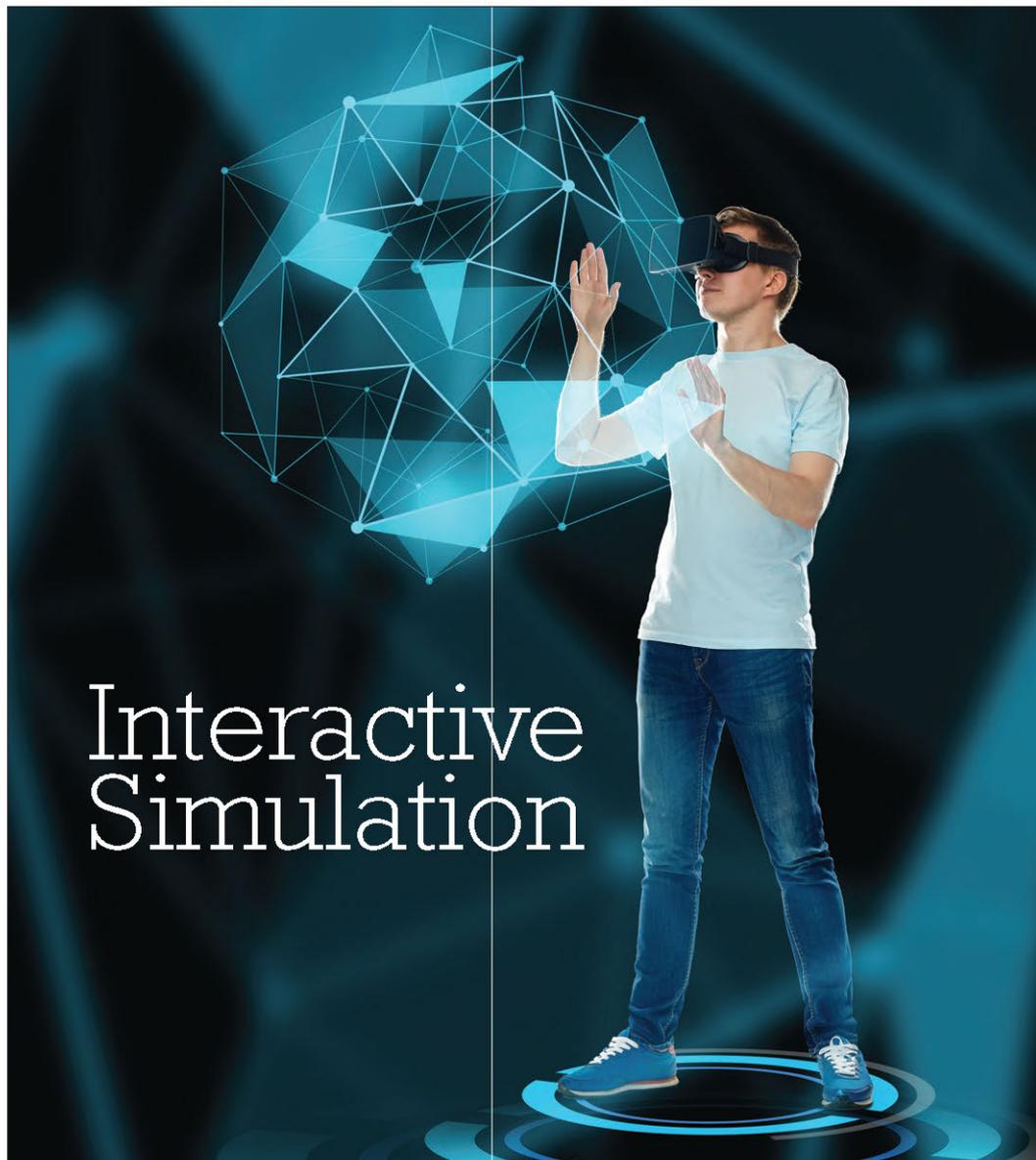
www.nafems.org/publications/benchmark

BENCH MARK

October 2018 issue ...

- Interactive Simulation - From Far-fetched Sci-Fi to Valuable Engineering Tool
- Virtual and Augmented Reality - The Future of how we Interact with Computers?
- Interactive Modelling and Simulation for Virtual Engineering Design and Analysis
- FEA Puzzler: How Confident Are You?
- Real-time Mechanism and System Simulation Supporting Human-in-the-loop Simulators
- Simulation Data Management - The Next Challenges
- NAFEMS World Congress 2019
- Vendor Viewpoint
- Analysis Origins - A Brief History of MSC and NASTRAN
- Applications of Extended Reality
- Insight from a NAFEMS Technical Fellow
- Excel for Engineers and other STEM Professionals

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





PSE

Professional Simulation Engineer

A New Standard for
Simulation Engineers

nafems.org/pse



Project Profile

VMAP

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

Virtual Material Modelling in Manufacturing

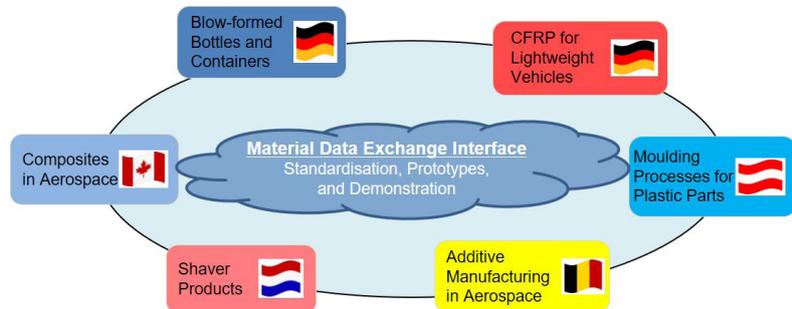
The ITEA VMAP project aims to gain a common understanding of and interoperable definitions for virtual material models in CAE. Using industrial use cases from major material domains and with representative manufacturing processes, new concepts will be created for a universal material exchange interface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

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>

ARAS

Steigende Nachfrage nach Simulationen

Aras, führender Anbieter von Open-Product-Lifecycle-Management (PLM)-Software für Unternehmen, rechnet mit einer exponentiell ansteigenden Nachfrage nach Simulationen in allen Phasen des Produktlebenszyklus. Vor diesem Hintergrund präsentiert Aras Grundsätze für das Simulationsmanagement. Als Ursachen für den starken Anstieg an Simulationen sieht das Unternehmen die zunehmende Produktkomplexität, den Wettbewerbsdruck, kürzere Markteinführungszeiten sowie neue Technologien wie Digital Twin und IoT.

Simulationen lassen sich für frühzeitige Designverifizierungen einsetzen. Sie eignen sich auch, um die Abhängigkeit von physischen Prototypen zu reduzieren. Der Nutzen und die Gründe für einen breiten Einsatz sind gut dokumentiert. Unternehmen sollten sich die daraus ergebenden Möglichkeiten aus pragmatischer und Wettbewerbssicht nicht entgehen lassen. Da die Produktkomplexität zunimmt, rückt die Simulation bei den strategischen Fähigkeiten in den Vordergrund – im Zusammenhang mit dem Digital Twin, der vorausschauenden Wartung, der Closed-Loop-Entwicklung sowie der additiven Fertigung und dem generativen Design. Aras erwartet in diesem Zusammenhang eine erhöhte Nachfrage nach Simulationen. Hersteller müssen sich darauf einstellen und Simulationen in das Produktdesign, die Entwicklung sowie Fertigungsprozesse integrieren. Der Zugang zu Simulationen war stets durch das nötige technische Expertenwissen eingeschränkt. Außerdem erschwerten die hohen Anforderungen an die Rechenkapazitäten den Zugang. Das größere Hindernis für die Einbindung von Simulationen in technische Prozesse stellte bislang jedoch der begrenzte Einsatz von vorhandenen Werkzeugen für das Simulation Process und Datenmanagement (SPDM) dar. Ohne eine effektive SPDM-Fähigkeit können Unterneh-

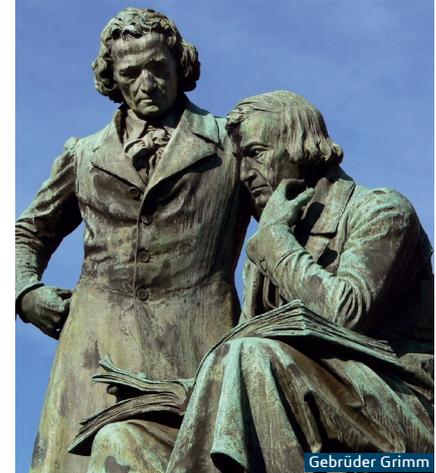
men Simulationen nicht effizient in Systems-Engineering-Prozesse integrieren. Ohne sie lassen sich außerdem Simulationsergebnisse nicht korrekt mit Produktdaten und -konfigurationen während des Entwicklungsprozesses verknüpfen. Noch schwieriger lassen sich Produkte, die auf Jahrzehnte ausgelegt sind, im Betrieb simulieren, wie zum Beispiel in der Luft- und Raumfahrt sowie der Verteidigung.

Aras geht davon aus, dass die gleichen Merkmale für ein PLM der nächsten Generation – basierend auf einer offenen, flexiblen, skalierbaren und erweiterbaren Plattform – auch auf SPDM zutreffen müssen. Denn nur so können Unternehmen Simulationen effektiv und in großem Maßstab verwalten. Um Simulationen über den gesamten Lebenszyklus hinweg zu unterstützen und die Anforderungen der Hersteller aus den verschiedensten Branchen zu erfüllen, muss SPDM auf den folgenden Grundsätzen basieren:

- > Unterstützung von heterogenen Simulationslösungen verschiedener Hersteller und eigenen Inhouse-Tools, einschließlich Excel und individuell angepassten Applikationen
- > Einsatz und Unterstützung von multidisziplinären Szenarien, Mixed-Fidelity-Modellen und verschiedener Datentypen, die das volle Spektrum an Simulations-Expertise umfassen
- > Unterstützung von Anwendungsfällen für Simulationen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg – vor allem solche, die mehrere Phasen des Lebenszyklus betreffen, wie zum Beispiel das Feedback vom Betrieb bis zum Design oder der Simulation von Betriebsleistung
- > Vollständige Integration von Simulationsprozessen mit modellbasierten Engineering-Prozessen, um den Digital Thread für die heutigen komplexen Cyberphysischen Systeme zu erstellen und zu pflegen
- > Transparenz für den Benutzer, wenn es darum geht, die Abhängigkeiten eines Simulationsmodells und alle damit verbundenen



No Fairy Tale:
**MORE VALUE,
SYNERGY AND
TECHNOLOGY**



Gebrüder Grimm

CATIA & SIMULIA

present the

**DASSAULT SYSTÈMES
USER CONFERENCE**

4–6 December 2018
@ Congress Park Hanau,
Germany

**Agenda Online –
Register Now!**

www.3ds.com/events



3DEXPERIENCE™

Geometrien, Leistungsparameter und Ergebnisse zu verwalten. Der offene, plattformbasierte Ansatz für PLM von Aras transformiert Produktprozesse für die größten Unternehmen im Automobilbau, in der Luft- und Raumfahrt sowie der Verteidigung, im Schiffbau und in der High-Tech-Elektronik. Es ist entscheidend, diesen Ansatz auf Simulationsprozesse zu übertragen, um die sich abzeichnende Nachfrage nach Simulationen zu bewältigen. Die unterschiedlichsten Bereiche profitieren davon, wie beispielsweise die Systemtechnik, das Konfigurations- und Variantenmanagement, die Verifikation und Validierung (V&V), die Design-Wiederverwendung, Compliance und neue Anwendungen in der Zustandsüberwachung von Digital Twin und IoT.

Don Tolle, Practice Director für Simulation-Driven Systems Development bei CIMdata, sagt: „Die Tools zur Automatisierung von Simulationsprozessen und zum Datenmanagement gibt es schon seit fast zwei Jahrzehnten. Allerdings ist ihre Nutzung im Vergleich zum CAD-Datenmanagement weitaus weniger effektiv und viel weniger verbreitet, vor allem außerhalb der großen Automobilhersteller und der Luft- und Raumfahrtbranche.“

„Eine unternehmensweite Simulationsstrategie und eine mehrjährige, durch SPDM unterstützte, Implementierungs-Roadmap sind entscheidend, um den Geschäftswert von Simulationen zu erschließen. Dadurch wird ihr Einsatz während des gesamten Produktlebenszyklus ermöglicht. Die Simulationen lassen sich dann auch für den Kundeneinsatz und -Support nutzen – alles im Rahmen einer Digital-Twin-Strategie der nächsten Generation“, führt Tolle weiter aus.

Marc Lind, SVP, Strategie, bei Aras sagt: „Unsere Kunden nutzen Simulationen, um beispielsweise Tests in realen Umgebungen ersetzen zu können oder um ein Closed-Loop-Produkt-Feedback zu ermöglichen. Auch die vorausschauende Wartung mit dem Digital Twin ist oft ein Grund für einen Einsatz. Wir unterstützen

unsere Kunden dabei, Simulationen in Designs zu integrieren, um diese Ziele zu erreichen.

www.aras.com

ANSYS Zusammenarbeit von Ansys und Granta Design stärkt additive Fertigung

- siehe auch Granta Design - Kombination aus Simulation und Werkstoffinformationsmanagement liefert wichtige Erkenntnisse zur Reduzierung von „Trial and Error“ Verfahren.

Dank der neuen Partnerschaft zwischen Ansys und Granta Design können Ingenieure und Wissenschaftler nun Werkstoffinformationen für additive Fertigungsverfahren (additive manufacturing – AM) effektiv verwalten und anwenden.

Genauere, zuverlässige und rückverfolgbare Materialinformationen spielen für die additive Fertigung eine entscheidende Rolle. Die Kombination von Ansys' leistungsstarker Simulation für die additive Fertigung im Pulverbettverfahren mit Grantas bestehender Granta MI:Materials Gateway for Ansys Workbench bietet ein integriertes Paket von Arbeitsabläufen zur Erfassung von Daten, der Simulation und der Optimierung für die additive Fertigung. Dies ermöglicht es den Anwendern, innerhalb der Ansys Workbench Umgebung auf validierte Materialdaten, die in der Granta MI Unternehmensdatenbank vorgehalten werden, direkt zuzugreifen und diese anzuwenden. Anwender können schnell exakte, rückverfolgbare Eingabedaten verwenden, dabei Zeit sparen und ihr Vertrauen in die Simulationsergebnisse stärken. Darüber hinaus arbeiten die Unternehmen daran, Ansys Additive Print mit Granta MI zu verbinden.

„Ansys ist für die Genauigkeit und die Robustheit unserer Simulationstools bekannt. Indem wir uns mit Granta, den Experten im Bereich Materialinformations-Management zusammenschließen, helfen wir dabei sicherzustellen, dass Ansys

AM Lösungen in den kommenden Jahren nicht nur effizienter, sondern auch noch genauer und zuverlässiger werden“, sagt Brent Stucker, Director Additive Manufacturing bei Ansys.

„Unsere Zusammenarbeit mit Ansys unterstützt die Unternehmen in ihrem Ziel, „first-time-right“ Bauteile für die additive Fertigung zu erstellen“, sagt David Cebon, Managing Director und Mitbegründer von Granta Design. „Indem wir physikalische und virtuelle Methoden und Daten für die additive Fertigung integrieren, können wir Unterstützung dafür leisten, die Zeit und Anzahl der Modelle zu reduzieren, die für die Herstellung von Bauteilen mit den gewünschten Eigenschaften notwendig sind.“

www.ansys.com

CADFEM

Mehr Energieeffizienz für Pumpen

Nationale und internationale Gesetze und Richtlinien schreiben verpflichtend die Reduktion des Energieverbrauchs vor. Folglich sind innovative Ansätze in der Produktentwicklung, mit denen dieses Ziel schnell erreichbar ist, heute mehr denn je gefragt.

Der Simulationsspezialist Cadfem hat deshalb einen benutzerfreundlichen Prozess zur Auslegung von Radiallaufrädern für Kreiselpumpen entwickelt. Die Grundlage der Methode bildet das inverse Design, bei dem ausgehend von den Betriebsdaten der Pumpe eine optimierte Geometrie ermittelt wird.

Somit können auch traditionell entwickelnde Unternehmen den Schritt in Richtung einer simulationsgestützten Entwicklung gehen, und zwar kostengünstig, einfach und mit dem bestehenden Entwicklungsteam.

In diesen Workflow zum schnellen und effizienten Entwurf von Radiallaufrädern für Kreiselpumpen wurde neben der Strömungsanalyse-Software Ansys CFD auch die Software TurboDesignSuite der Firma ADT (Advanced Design Technology) integriert. Anhand weniger Eckdaten

zur Auslegung – wie etwa Drehzahl, Nabendurchmesser, Volumenstrom und Förderhöhe – können Kreiselpumpenlaufräder mit hohem Wirkungsgrad automatisiert entworfen werden.

Gleichzeitig wird auch die Auswirkung von Teil- oder Überlastzuständen sowie die Kavitationsneigung analysiert. Die in den Workflow integrierte 3D-Strömungssimulation sorgt für belastbare Ergebnisse. Da der von Cadfem definierte Auslegungsprozess eine umfassende Benutzerführung beinhaltet, wird eine schnelle und einfache Anwendung ohne lange Einarbeitungszeiten ermöglicht. Als Resultat erhält der Benutzer die optimierte CAD-Geometrie, Informationen zu Wirkungsgrad und zur Förderhöhe sowie eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Strömungssimulation.

Der systematische Einsatz numerischer Simulation kann entscheidend zur Entwicklung von effizienteren Pumpen beitragen. Außerdem sind weniger physikalische Prototypen erforderlich und kürzere Entwicklungszeiten sowie eine höhere Zuverlässigkeit des Produktes erreichbar. Dies führt zu deutlichen Kosten-einsparungen, sowohl im Entwicklungsprozess als auch während des Betriebs und bei den Gewähr-leistungskosten.

www.cadfem.de

COMSOL

Comsol veröffentlicht Version 5.4 und stellt zwei neue Produkte vor

Die Comsol Multiphysics GmbH hat die Veröffentlichung ihrer neuesten Version 5.4 der Simulationsumgebung Comsol Multiphysics bekannt gegeben, die neben zwei neuen Produkten Leistungssteigerungen und zusätzliche Modellierungswerkzeuge bietet.

Der Comsol Compiler ermöglicht die Erstellung von eigenständigen Comsol Multiphysics Apps. Kompilierte Anwendungen enthalten die Comsol Runtime™ - zum Ausführen ist keine Comsol Multiphysics oder Com-

esocaet
STUDIES



Universitätszertifikat Computational Medical Engineering

Berufsbegleitend studieren –
Hochschulzertifikat oder Module

+

+



+

+

Ihr Kurzstudium

- Theorie & Best-Practice-Ansätze
- Direkte Anwendung im Beruf
- 3 Module in 6 Monaten = 15 ECTS
- Module auch einzeln buchbar

+

+

+

+

+

+

Ihre Vorteile

- Technik und Medizin verstehen
- Biomechanische Modelle simulieren
- Zulassungsprozesse vereinfachen
- Geblockte Präsenzphasen
- Flexibel für individuelle Pläne

+

+



+

+

Info-Webinar:

07. November 2018

www.esocaet.com/nafems + + by CADFEM®

sol Server™ Lizenz erforderlich. Diese Apps können ohne weitere Lizenzbeschränkungen verteilt werden. „Experten können Simulations-Apps mit dem von uns vor einigen Jahren vorgestellten Application Builder erstellen. Ingenieur- und Wissenschaftlerteams wurde damit eine neue Möglichkeit geboten, den Einsatz von Simulation auch auf Nicht-Experten auszuweiten. Etwas später brachten wir den Comsol Server heraus, mit dem Apps über ein Web-Interface bereitgestellt und verwaltet werden können. Mit dem Comsol Compiler bringen wir die Demokratisierung der Simulation nun auf eine neue Ebene, indem wir Experten die Möglichkeit geben, eine App zu einer einzigen ausführbaren Datei zu kompilieren und für eine uneingeschränkte Nutzung zu verteilen. Dies ist ein Freiheitsgrad, den die Industrie bisher nicht kannte“, sagte Svante Littmarck, Präsident und CEO bei Comsol.

„Das Composite Materials Module bietet Modellierungstools für Anwender, die mit Verbundmaterialien arbeiten“, sagte Pawan Soami, Technischer Produktmanager bei Comsol. „Verbundlaminate können aus über einhundert Schichten bestehen, und die Vorbereitung einer solchen Simulation ist ohne spezielle Werkzeuge sehr mühsam. Jetzt bieten wir genau solche Tools an“, führt Soami weiter aus.

Durch die Kombination des Composite Materials Module mit neuen Funktionen für mehrschichtige Schalen, über die das Heat Transfer Module und das AC/DC Module verfügen, können Anwender nun multiphysikalische Analysen wie die Joulesche Erwärmung mit thermischer Ausdehnung ausführen.

„Durch die Möglichkeit, strukturelle mechanische Analysen in Schichten mit Wärmetransport und Elektromechanik zu koppeln, stehen Anwendern nun einzigartige multiphysikalische Modellierungsfähigkeiten zur Verfügung“ sagt Nicolas Huc, Technischer Produktmanager bei Comsol. Eine wichtige Anwendung der multiphysikalischen Analyse in Schichtwerkstoffen ist die Beherrschung der Auswirkungen von Blitzeinschlägen

in Flügeln und Rotorblättern von Windkraftanlagen in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Windkraftindustrie.

Die Comsol Multiphysics Version 5.4 bringt eine Vielzahl an Produktverbesserungen mit sich, wie die Fähigkeit verschiedene Parametersätze in einem Modell zu verwenden, einschließlich der Möglichkeit, parametrische Sweeps über mehrere Parametersätze durchzuführen. Darüber hinaus können Anwender die Model Builder-Knoten in Gruppen organisieren und in Geometriemodellen benutzerdefinierte Farbschemata zuweisen.

Zu den zahlreichen Leistungssteigerungen gehört auch ein neues Speicherverteilungskonzept, das in Windows 7 und 10 Betriebssystemen um ein Vielfaches schnellere Berechnungen für Computer mit mehr als acht Prozessorkernen ermöglicht.

Das AC/DC Module besitzt nun eine neue Teilebibliothek mit vollparametrischen und einsatzbereiten Spulen und Magnetkernen. Das CFD Module verfügt nun über Large-Eddy-Simulationen (LES) und ein komplett überarbeitetes Set an Modellierungswerkzeugen für Mehrphasenströmungen.

Highlights in Version 5.4

- > Comsol Compiler: Zur Erstellung ausführbarer Standalone Apps
- > Composite Materials Module: Zur Modellierung von Verbundwerkstoffen.
- > Comsol Multiphysics: Mehrfache Parameterknoten im Model Builder. Gruppiert Model Builder Knoten in Ordner. Einfärben von Physik und Geometrieauswahl. Mehrfach schnellere Lösungszeiten in Windows 7 und 10 Betriebssystemen für Computer mit mehr als acht Prozessorkernen.
- > Multiphysik: Wärmetransport, elektrische Ströme und Joulesche Erwärmung in dünn geschichteten Strukturen.
- > Elektromagnetik: Voll parametrische und einsatzbereite Komponenten für Spulen und Magnetkerne. Strukturthermisch-optische Leistungsanalyse (STOP) für Strahlenoptik.

- > Struktur: Analyse des Schockansprechverhaltens. Materialaktivierung für die additive Fertigung.
- > Akustik: Akustische Ports. Nicht-lineare akustische Westervelt-Berechnungen.
- > Fluid-Strömung: Large Eddy Simulation (LES), FSI (Fluid-Structure-Interaction) für Mehrphasenströmung und Mehrkörperdynamik.
- > Wärmetransport: Wärmestrahlung mit diffus reflektierenden Reflexionen und semitransparenten Oberflächen. Lichtdiffusionsgleichung.
- > Chemie: Vereinfachte Modelle für Batterien. Aktualisiertes Thermodynamik-Interface.
- > Optimierung: Neues Topologie-Optimierungswerkzeug.

Die Softwareprodukte Comsol Multiphysics, Comsol Server und Comsol Compiler werden auf den folgenden Betriebssystemen unterstützt: Windows, Linux und macOS. Der Application Builder wird innerhalb des Windows Betriebssystems unterstützt.

Die Highlights der Version 5.4 finden Sie auch unter <https://www.comsol.de/release/5.4>.

Die neueste Version können Sie unter www.comsol.de/product-download herunterladen.

Simulations-Apps verschaffen Hochschulabsolventen Wettbewerbsvorteile

Lehrende im Ingenieurwesen und in der Wissenschaft sind sich bewusst, dass potenzielle Arbeitgeber nach Hochschulabsolventen mit Kenntnissen über Produktdesign- und Simulationssoftware suchen. Um diesem Bedarf gerecht zu werden, hat ein Professor der Universität Hartford beim Einsatz von Simulations-Apps von Studierenden der Fachrichtung Maschinenbau Pionierarbeit geleistet.

Die Apps bieten den Studierenden einfach zu bedienende, spezialisierte Anwenderoberflächen, um realistische Simulationen durchzuführen und Ergebnisse darzustellen, ohne dass ein vorangegangenes Training erforderlich ist. Diese anwendungsorientierte Lernmethode ermöglicht

ein tieferes Verständnis der Physik und der Theorie. Die Studierenden können anschließend sehr einfach mehr über das zugrundeliegende Modell lernen und sogar eigene Simulations-Apps im Application Builder, der in der COMSOL Multiphysics Software verfügbar ist, erstellen.

Die Arbeit mit Simulations-Apps hilft den Studierenden dabei, die Randbedingungen und den Modellaufbau klar zu beschreiben sowie Daten, Tabellen und Diagramme darzustellen und Gleichungen aufzustellen. „Unsere Studierenden berichten, dass der Einsatz von Simulationssoftware ihren Lernprozess verbessert hat und sie dabei unterstützt, schwierige theoretische Konzepte darzustellen, ohne die zugrundeliegende Komplexität komplett erfassen zu müssen“, sagte Ivana Milanovic, Professor der Fachrichtung Maschinenbau an der Universität Hartford.

Simulations-Apps dienen als einfache Einstiegsmöglichkeit in numerische Analysen. „Sobald sich die Studierenden mit den Konzepten und Modellierungstechniken vertraut gemacht haben, können sie mit dem Application Builder sogar eigene Apps erstellen und so ihr Wissen und die Reichweite ihrer kollektiven Analysefähigkeiten erweitern“, führt Milanovic weiter aus.

www.comsol.com

EXPERT-VERLAG

Verlag „Narr Francke Attempto“ übernimmt „expert verlag“

Der Narr Francke Attempto Verlag mit Sitz in Tübingen übernimmt den expert Verlag in Renningen. Rund 800 Titel aus den Bereichen Wirtschaft und Technik ergänzen künftig das Verlagsprogramm. Jährlich kommen rund 60 Neuerscheinungen hinzu. „Wir erweitern damit unser Themenspektrum – von Maschinenwesen über Elektrotechnik und Umwelt bis hin zu Kommunikation, Personalmanagement und Unternehmensführung. Damit bieten wir unseren Kunden eine noch größere

Vielfalt“, so Geschäftsführerin Sonja Narr. Die Mitarbeiter ziehen in das Verlagsgebäude in Tübingen und setzen ihre Arbeit an den abwechslungsreichen Lehr- und Fachbüchern fort. Ziel ist es, die Marke von expert zu stärken und gleichzeitig das Prozess- und Vertriebs-Know-how von Narr Francke Attempto zu nutzen. Als erster Schritt wurden ein modernisiertes Logo sowie ein optimiertes Cover-Design für expert entwickelt. Der 1979 gegründete expert Verlag wird als eigenständige GmbH weitergeführt. Robert Narr übernimmt die Geschäftsführung des Unternehmens zusätzlich zu seinen Aufgaben als Prokurist des Narr Francke Attempto Verlags.

www.expertverlag.de

www.narr.de

ESI GROUP

Im Rahmen seines ESA-Vertrages nutzt Space Structures ESI Software, um die Integrität von Satellitenpanels während des Starts zu gewährleisten

ESI Group, führender Innovator für Virtual Prototyping-Softwarelösungen und Dienstleistungen für die Fertigungsindustrie, verkündete den erfolgreichen Abschluss eines Projekts durch den deutschen Kunden Space Structures für die Europäische Weltraumorganisation (ESA). Da Simulationsmodelle der Schlüssel zur Gewährleistung der Integrität wichtiger Geräte beim Start sind und während des Starts einem hoch-intensiven akustischen Feld ausgesetzt sind, ist die genaue Modellierung der akustischen Bedingungen eine wichtige Herausforderung. Space Structures verwendete ESI's vibro-akustische Simulationssoftware VA One, um ihre Konstruktionen in verschiedenen akustischen Lärmumgebungen virtuell zu testen. Sie konnten die Spannungs- und Festigkeitsstrukturantworten der Kohlefaserverbundpanele bereits in der frühen Entwurfsphase bestimmen – und damit die Rentabilität dieses Projektes verbessern und die Zufriedenheit des eigenen Kunden,

der Europäischen Weltraumorganisation, erhöhen.

Eine der größten Herausforderungen in der Luft- und Raumfahrtindustrie besteht darin, die akustischen und schwingungstechnischen Reaktionen unter Raketenstartbedingungen genau vorherzusagen, da das intensive akustische Feld während der frühen Startphase, einschließlich des Abhebens zu schweren Strukturschäden führen kann. Insbesondere kann die Integrität des Raumfahrzeugs und der Schutzverkleidung sowie der empfindlichen bodengebundenen Ausrüstung beim Start beeinträchtigt werden. Die meisten Ansätze zur Bewertung der akustischen Startbedingungen verwenden ältere Berechnungsmethoden oder empirische Methoden und stützen sich stark auf Informationen von Versuchs- und Fehlertests aus älteren Designs. Diese bieten wenige Möglichkeiten zur Designoptimierung und eine solche Methodik kann zu ungenauen Ergebnissen, konservativen Annahmen und Übergewicht führen und zur Vernachlässigung frequenzabhängiger Eigenschaften. Das unabhängige Ingenieurbüro Space Structures GmbH suchte in diesem Zusammenhang nach einer fortschrittlichen Simulationsmethodik, die derlei Einschränkungen ausschließen.

Spezialisiert auf die Entwicklung von Metall- und Verbundstrukturen für Raumfahrtanwendungen, wurde Space Structures von der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) beauftragt, ein multi-funktionales Panel für große Satelliten zu entwickeln. Aufbauend auf ihren Kernkompetenzen in der Entwicklung von Kohlefaser-Verbundstrukturen für große Raumfahrzeuge und jahrelanger Erfahrung in der Entwicklung der richtigen Ausrüstung für das Startumfeld, sah Space Structures eine innovative Methodik vor, die Unsicherheiten bezüglich der Fähigkeit von Strukturen der akustischen Startumgebung standzuhalten, zu reduzieren und die es ihnen ermöglichen würde, das Thema frühzeitig in ihrem Entwurfsprozess anzugehen. Bei der Ausarbeitung dieses ehrgeizigen Projektes beschloss

Space Structures seine Simulationsmöglichkeiten um die Vorhersage von strukturellen Spannungen und Festigkeitsreaktionen während der akustischen Anregung zu erweitern. Mit Hilfe des ESI-Teams erstellte Space Structures ein Boundary-Element-Model (BEM) mit über 250.000 Knoten, ein Meilenstein der noch vor 10 Jahren in der Branche undenkbar war. Florian Ruess, Geschäftsführer der Space Structures GmbH, kommentiert: „ESI VA One ist ein hervorragendes Software-Produkt. Der eigentliche Erfolg liegt jedoch in der proaktiven, flexiblen, zeitnahen und qualitativ hochwertigen Unterstützung des ESI-Teams, vom ersten Kontakt mit dem Vertriebsteam bis hin zum Kontakt mit dem technischen Support. Heute hat Space Structures sein Geschäft dank der Simulationssoftware erweitert und verfügt nun über eine Kundendienstabteilung, die routinemäßig die analytische Verifikation und Design-Optimierung von Raumfahrzeugstrukturen einschließlich der vibro-akustischen Simulation durchführt. Mit Hilfe des technischen Service von ESI hat Space Structures gelernt, von der umfassenden Funktionalität von VA One über den gesamten Frequenzbereich zu profitieren. Das Unternehmen erzielte einen hohen ROI (Return on Investment) und konnte die Kundenzufriedenheit steigern. Space Structures beabsichtigt, den Einsatz von VA One auch in Zukunft fortzusetzen, um die Baukonstruktionen für alle akustischen Lärmumgebungen zu verbessern.

www.esi-group.com

GRANTA DESIGN

Zusammenarbeit von Ansys und Granta Design stärkt additive Fertigung

- siehe auch Ansys - Kombination aus Simulation und Werkstoffinformationsmanagement liefert wichtige Erkenntnisse zur Reduzierung von „Trial and Error“ Verfahren. Dank der neuen Partnerschaft zwischen Ansys und Granta Design können Ingenieure und Wissenschaftler nun Werkstoffinformationen für additive Fertigungsverfahren (additive manufacturing – AM) effektiv verwalten und anwenden. Genaue, zuverlässige und rückverfolgbare Materialinformationen spielen für die additive Fertigung eine entscheidende Rolle. Die Kombination von Ansys' leistungsstarker Simulation für die additive Fertigung im Pulverbettverfahren mit Grantas bestehender Granta MI:Materials Gateway for Ansys Workbench bietet ein integriertes Paket von Arbeitsabläufen zur Erfassung von Daten, der Simulation und der Optimierung für die additive Fertigung. Dies ermöglicht es den Anwendern, innerhalb der Ansys Workbench Umgebung auf validierte Materialdaten, die in der Granta MI Unternehmensdatenbank vorgehalten werden, direkt zuzugreifen und diese anzuwenden. Anwender können schnell exakte, rückverfolgbare Eingabedaten verwenden, dabei Zeit sparen und ihr Vertrauen in die Simulationsergebnisse stärken. Darüber hinaus arbeiten die Unternehmen daran, Ansys Additive Print mit Granta MI zu verbinden. „Ansys ist für die Genauigkeit und die Robustheit unserer Simulationstools bekannt. Indem wir uns mit Granta, den Experten im Bereich Materialinformations-Management zusammenschließen, helfen wir dabei sicherzustellen, dass Ansys AM Lösungen in den kommenden Jahren nicht nur effizienter, sondern auch noch genauer und zuverlässiger werden“, sagt Brent Stucker, Director Additive Manufacturing bei Ansys. „Unsere Zusammenarbeit mit Ansys unterstützt die Unternehmen in ihrem Ziel, „first-time-right“ Bautei-

le für die additive Fertigung zu erstellen“, sagt David Cebon, Managing Director und Mitbegründer von Granta Design. „Indem wir physikalische und virtuelle Methoden und Daten für die additive Fertigung integrieren, können wir Unterstützung dafür leisten, die Zeit und Anzahl der Modelle zu reduzieren, die für die Herstellung von Bauteilen mit den gewünschten Eigenschaften notwendig sind.“

www.grantadesign.com

INTES

Permas in der Cloud - in Kooperation von T-Systems und Intes

Die Flexibilisierung der Computernutzung wird auch von den Anwendern im CAE-Bereich immer mehr nachgefragt. Um dieser Nachfrage auch für Permas nachzukommen, haben T-Systems und Intes eine Vereinbarung geschlossen, die es T-Systems ermöglicht, Permas für die Nutzer der Open Telekom Cloud bereitzustellen.

Die Open Telekom Cloud, das Public-Cloud-Angebot der Telekom, ist als hybride Cloud-Lösung verfügbar – und bietet damit bei Bedarf noch mehr Sicherheit und Geschwindigkeit. Damit gibt es die Rechen- und Speicherkapazitäten einmal als Public Cloud aus den zertifizierten hochsicheren Rechenzentren der Telekom in Sachsen-Anhalt. Zum anderen können Unternehmen die bewährten Cloud-Ressourcen auch auf dedizierter, also nur für sie reservierter Hardware nutzen. Diese kann entweder in Rechenzentren der Telekom stehen, auf die Unternehmen dann über eine sichere Verbindung zugreifen. Oder die Telekom installiert die notwendigen Server direkt beim Kunden.

Intes stellt Permas mit dem Pre- und Postprozessor VisPER auf der Open Telekom Cloud in vollem Funktionsumfang zur Verfügung. So kann der Anwender alle Funktionalitäten von Permas flexibel nutzen. Das gilt insbesondere auch für Anwendungen der Optimierung, von Parameterstudien oder Zuverlässigkeitsanalysen,

die den Bedarf nach Rechenleistung in den kommenden Jahren deutlich steigen lassen werden. Die effiziente Implementierung in Permas sorgt auch bei solchen Anwendungen für eine sehr wirtschaftliche Nutzung der Ressourcen in der Cloud. Im Rahmen der Hardware-Möglichkeiten ist auch die Parallelisierung voll flexibel und rechenintensive Jobs können höchst performant auf der Cloud gelöst werden.

„Wir sind überzeugt, dass die Cloud-Nutzung mit Permas eine wichtige Erweiterung unseres Angebots darstellt.“, sagt Reinhard Helfrich, verantwortlich für das internationale Geschäft bei Intes. „Der leichtere Zugang zu Ressourcen, die wirtschaftliche Nutzung und die Gewährleistung von Sicherheitsanforderungen sind die Basis für eine Ausweitung der CAE-Anwendungen in den Unternehmen. So wird die Bedeutung von Berechnungen in der Produktentwicklung weiter gesteigert.“

Da Sicherheitsaspekte bei der Cloud-Nutzung eine herausragende Rolle spielen, kommen die auf dem offenen Standard OpenStack basierenden IT-Ressourcen jetzt auch für Unternehmen in Betracht, die für bestimmte Prozesse keine Public-Cloud-Dienste nutzen können oder wollen. So können Unternehmen auch die Open Telekom Cloud lokal auf dedizierten Servern an Standorten im Ausland nutzen, sei es aus Compliance- oder Latenz-Gründen. Die zertifizierte Open Telekom Cloud entspricht dabei den Anforderungen der europäischen Datenschutzgrundverordnung (DSGVO).

Weitere Informationen sind mit diesem Link zur Telekom Cloud zu finden.

Neue Permas Version 17

Intes ist stolz, mit der Freigabe der Permas Version 17 die bisher leistungsfähigste Softwareversion dieses FEM-Paketes zu liefern. Nach zwei Jahren Entwicklung bietet diese Software-Version viele Erweiterungen und Verbesserungen nicht nur für eine effiziente Berechnung, sondern auch für die effektive Modellierung und Ergebnisauswertung

mit der neuen Version 6 des Pre- und Postprozessors VisPER.

In den vergangenen Jahren wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um die Modellierung für komplexe Anwendungen wie Kontakt, Optimierung, oder Bremsenberechnung zu vereinfachen. Auf der Basis eines Konzepts mit sogenannten ‚Wizards‘ in VisPER wird der Anwender durch alle Aspekte der Modellbeschreibung in den jeweiligen Themenbereichen geführt. Dabei ist das klare Ziel der Entwickler, die Modellbeschreibung so zu gestalten, dass sie auch für Anwender leicht durchführbar ist, die nicht in allen Details der jeweiligen Anwendung stecken. Dazu bieten die Wizards eine Modellierungsumgebung, wo ein vollständiges und konsistentes Modell schon im ersten Anlauf entstehen kann. In der neuen Version wurde ein neuer Add&Replace Wizard eingeführt, der das Hinzufügen neuer Teile zu einem Gesamtmodell bzw. das Ersetzen von Teilen über Automatismen zur Ankopplung an bestehende Modellteile unterstützt. Ein weiterer neuer Wizard mit großem Potential für das ‚Design by Simulation‘ ist der Design Wizard, der die Brücke schlägt von der Formfindung durch Topologie-Optimierung zur Formoptimierung. Der Wizard soll ein Design allein durch Simulation finden, wobei alle relevanten Anforderungen an den Entwurf durch zusätzliche Bedingungen an die Optimierungsschritte formuliert werden. In Zeiten des 3D-Drucks ist dieser Ansatz die richtige Antwort auf Leichtbau-Anforderungen und an ein schnelleres Design.

Auch Composites sind ein wichtiges Mittel für den Leichtbau. Deshalb wurde in Permas Version 17 die Laminatanalyse komplett überarbeitet und durch Funktionen für die Laminat-Optimierung ergänzt. Auf der Basis einer schichtweisen Definition des Lagenaufbaus durch Faserwinkel, Materialeigenschaften und Lagedicke ermittelt die FE-Berechnung die Spannungen in allen Schichten und geeignete Versagenskriterien. Zwei Optimierungsschritte stehen zur Verfügung,

der eine ermittelt die Form der einzelnen Lagen, während der andere den Lagenaufbau nach Dicke und Faserwinkel optimiert. Versagenskriterien stehen dabei auch als Nebenbedingung der Optimierung zur Verfügung.

Bauteilverbindungen spielen bei der FE-Modellierung eine große Rolle, vor allem Schraubverbindungen. Es ist offensichtlich, dass niemand ein genaues Gewindemodell einer Schraube für Hunderte von Schrauben in einem Modell verwenden will. Trotzdem fordern die Anwender zu Recht die beste Kombination von leichter Modellierung und Ergebnissen hoher Qualität. Als Ausgangspunkt verwendet Permas ein Volumenmodell einer Schraube mit glattem Schaft. Neu ist nun die Möglichkeit, die reale Kontakttrichtung senkrecht auf der Gewindeflanke einschließlich Reibung auch mit einem solchen Modell zu verwenden. Das ist ein großer weiterer Schritt, die reale Kinematik des Schraubengangs zu modellieren und ihren Effekt auf das umgebende Modell zu erhalten.

www.intes.de

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

HiETA Technologies wählt Simufact Additive für die Simulation der metallbasierten additiven Fertigung

MSC Software, Anbieter von Simulationssoftware und Dienstleistung, gibt bekannt, dass HiETA Technologies sich für Simufact Additive entschieden hat, um den selektiven Laserschmelzprozess zu simulieren und so die Verformung von Bauteilen für Fahrzeugbau, Motorsport, Luft- und Raumfahrt, Verteidigungsindustrie und Energiebranche vorherzusagen. HiETA Technologies Ltd ist ein Unternehmen, welches Produkte konstruiert, entwickelt und herstellt und dabei ausgiebig die Technologie der additiven Fertigung nutzt. HiETA ist spezialisiert auf Thermomanagement und Leichtbau. Mithilfe des 3D-Drucks erzeugen sie hocheffiziente Produkte und Systeme, die mit konventionellen Verfahren nicht hergestellt werden könnten. Ihre Dienstleistung für die Kunden umfasst den gesamten Produktlebenszyklus vom Anfangskonzept über die Entwicklung, Berechnung, Herstellung, Endbearbeitung, Qualitätssicherung bis hin zum Test – alles durch schnelle agile Prozesse miteinander verbunden.

„Simufact liefert einen Mehrwert für unsere Entwürfe und Produkte, da es uns einzigartige Einblicke gibt und die Anzahl der Designiterationen verringert, so werden wir effizienter“, sagt Keith Parker, Senior Design Engineer bei HiETA Technologies. „Die Anwenderfreundlichkeit von Simufact verbunden mit hervorragender Unterstützung der Kunden war ein Hauptgrund für die Kaufentscheidung.“

Simufact Additive ist eine leistungsfähige und skalierbare Lösung für die Prozesssimulation, mit der Laser-Pulverbett-Schmelzverfahren „auf Anhieb richtig“ ausgelegt werden können. Alle wesentlichen Schritte des additiven Prozesses lassen sich simulieren: zuerst das eigentliche „Drucken“ des Bauteils, gefolgt von der Wärmebehandlung, dem Abtrennen des Bauteils von der Grundplatte und Entfernen der

Stützstrukturen, sowie wärme- und druckgesteuerten Prozessen (HIP). Die Berechnung von 3D-Druck-Prozessen liefert Informationen über Verzüge und Eigenspannungen im Bauteil. Diese Ergebnisse dienen dem Anwender als Basis, Verzüge beim Drucken schon vorab zu berücksichtigen und durch Gegenmaßnahmen auszugleichen. So werden die geforderten Toleranzen eingehalten.

www.mssoftware.com

NAFEMS

NAFEMS World Congress 2019 – Aufruf zur Vortragseinreichung

Berechnung, Modellierung und Simulation sind dynamische und sich ständig weiterentwickelnde Bereiche. Die Zeiten sind längst vorbei, in denen alles in FEM oder CFD kategorisiert werden konnte. Die Entwicklungsgeschwindigkeit von Hard- und Software, von neuen Methoden und von Anwendungen schreitet in einem rasanten Tempo voran. Auch die Engineering Community selbst, die diese Veränderungen vorantreibt, wächst ständig und entwickelt sich weiter, um alle Stufen des Produktentwicklungsprozesses mit einzubeziehen. NAFEMS ist die einzige, unabhängige und internationale Organisation, die sich dieser Engineering Community widmet. Spielen auch Sie eine aktive Rolle dabei, den Fortschritt voranzutreiben und die Zukunft mitzugestalten – reichen Sie einen Vortrag ein!

Der NAFEMS World Congress 2019 findet vom 17. – 20. Juni 2019 in Quebec City, Canada, statt. Neben der Ausrichtung der 4. Internationalen SPDM-Konferenz wird der Kongress auch technische Symposien zu folgenden Themen beinhalten:

- > 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 Model-

ling in Manufacturing Industry So werden im Zuge der Erweiterung auf „Digital Trends“ auch neue, aktuelle Themen auf dem Stand der Technik behandelt: KI (Künstliche Intelligenz), Digital Twins, VR & AR und Industrie 5.0 sind nur einige der relevanten Gebiete.

Der NAFEMS World Congress ist der einzige internationale Kongress der Anwender numerischer Simulationsmethoden sowie angrenzender Gebiete und Technologien. Nahezu jeder Aspekt der Berechnung, Modellierung und Simulation wird behandelt. Weltweit werden alle Industriebereiche und Dienstleister sowie Forschungseinrichtungen, Hochschulen und Softwareentwickler eingebunden. Weitere Information sowie die Möglichkeit, Ihren Abstract online einzureichen, finden Sie unter www.nafems.org/congress. Anmeldeschluss für die Einreichung von Abstracts ist der 21. November 2018.

www.nafems.org

SIEMENS PLM SOFTWARE

Boeing verlängert Partnerschaft mit Mentor Graphics

Siemens PLM Software gibt bekannt, dass Boeing im Rahmen seiner Second-Century-Enterprise-Systems-(2CES)-Initiative eine Übereinkunft zur weiteren Nutzung der Mentor Graphics Software von Siemens abgeschlossen hat. Dadurch können sich Boeing und die Luft- und Raumfahrtindustrie weiterentwickeln und den Herausforderungen des 21. Jahrhunderts gerecht werden. Als weltweit größtes Luft- und Raumfahrtunternehmen sieht sich Boeing bereit, die Branche in den nächsten 100 Jahren mit Siemens als Partner anzuführen. Gemeinsam stellen die beiden Unternehmen eine Reihe von Technologien zur Verfügung, die die nächste Generation von Konstruktion und Fertigung durch verstärkte Automatisierung und Digitalisierung ermöglichen.

Die Entscheidung beruht auf einer umfassenden Analyse verfügbarer

e-LEARNING



Learn Anytime, Anywhere.

Lösungen. Das betrifft aktuelle und künftige Fähigkeiten sowie den Aspekt der technologischen Flexibilität zur Erfüllung sich ändernder Anforderungen in realen Anwendungen wie auch Analysen des allgemeinen Geschäfts von Boeing.

Die langfristige Vereinbarung bietet den Zugang zu branchenführender Technologie von Siemens in den Bereichen Planung und Entwurf der Elektrik sowie elektronischer Produkte und der mechanischen Analyse. Sie dient als Grundlage dafür, dass Boeing seinen Kunden stets umfassende und innovative Lösungen anbieten kann.

Boeing konzentriert sich auf die Technologien aus der Übernahme von Mentor Graphics durch Siemens. Des Weiteren setzt Boeing ab sofort auf eine gemeinsame, unternehmensweite Plattform. Diese standardisiert die Bereiche Halbleiterdesign und -verifikation, die Konstruktion und Herstellung von Leiterplatten und elektrischen Systemen (einschließlich Kabelbäumen) sowie die Wärme- und Flüssigkeitsanaly-

sen mechanischer Konstruktionen. „Unsere Partnerschaft mit dem Siemens-Mentor-Team kombiniert erstklassige elektrische Konstruktionswerkzeuge mit der langjährigen Erfahrung und dem Wissen von Boeing in unserer 2CES-Transformation der Elektrokonstruktion“, sagte John Harnagel, Engineering Director, Boeing Defense and Space.

„Siemens ist stolz darauf, als einer der Partner von Boeing für seine Vision und Transformation ausgewählt worden zu sein. Unsere Fähigkeit, Kunden dabei zu unterstützen, die Digitalisierung voranzutreiben, und Innovationen zu realisieren, ist unsere Kernkompetenz. Wir freuen uns, dass Boeing diese Stärke schätzt“, so Tony Hemmelgarn, President und CEO von Siemens PLM Software. „Diese Partnerschaft ist ein Zeichen dafür, dass Boeing bei der Verwirklichung seiner Vision auf Siemens vertraut und wir freuen uns darauf, Boeing bei der Umsetzung zu helfen.“

Siemens und Bentley bieten gemeinsam neue digitale Lösung zur optimierten Abwicklung von Investitionsprojekten

Siemens PLM Software gab zusammen mit Bentley Systems eine integrierte Lösung zur effizienteren Abwicklung von Investitionsprojekten für Unternehmen bekannt. Diese verbindet das Teamcenter® Portfolio mit ProjectWise von Bentley und seinem Connected Data Environment (CDE). Teamcenter ist das weltweit am meisten genutzte System für das Product Lifecycle Management (PLM) und ProjectWise ist die Plattform für die Zusammenarbeit in der Projektabwicklung für 43 Konstruktionsbüros aus der Liste der Top 50 Design Firms der Engineering News Record weltweit. Das neue Angebot, mit dem Siemens und Bentley ihre 2016 bekannt gegebene strategische Allianz fortsetzen, verbessert auf einzigartige Weise die Sichtbarkeit von Unternehmen im Bereich Programm-Management von Projektierung und Konstruktion bei Investitionsprojekten.

„Durch die Digitalisierung geht es bei der Arbeit der Ingenieure und Konstrukteure zunehmend um den digitalen Kontext, in dem die digitalen Komponenten in den jeweiligen Infrastrukturprojekten eingesetzt werden“, sagt Greg Bentley, CEO Bentley Systems. „Wir sind begeistert, bei der Industrialisierung der Projektabwicklung mit Siemens zusammenzuarbeiten, um die Reichweite unserer digitalen Arbeitsabläufe im CDE auf Bereiche jenseits einzelner Investitionsprojekte auszudehnen. Mit der PLM-Integration von Teamcenter können die Verbindungen der digitalen Zwillinge in einem Projekt nun sowohl in den erweiterten Zusammenhang des Unternehmens gestellt als auch bis zur Detailebene der hergestellten Bauteile aufgelöst werden – eine fortschrittliche Infrastruktur durch digitale DNA!“

Die großartigen Fähigkeiten, die Teamcenter für den systemorientierten Entwicklungsansatz und das Anforderungsmanagement bietet, sowie die Lebenszyklussimulation der konstruierten Komponenten, werden nun um das CDE von Bentley ergänzt, um die Vorteile des digitalen Zwillings im Projekt zu nutzen. Die digitalen Zwillinge des Projekts automatisieren die digitale Ausrichtung und synchronisieren die Änderungen über die gesamte Lieferkette des Projekts hinweg. So kann der jeweilige Zustand kontinuierlich und umfassend kontrolliert

werden. Die Digitalisierung einer Anlage ab dem Zeitpunkt des Projektbeginns ermöglicht eine skalierbare und handhabbare Verdichtung und Verbreitung der Daten. Durch die Verknüpfung der digitalen Zwillinge mit einem durchgängigen digitalen Faden können Unternehmen die Projektabwicklungskosten senken und Kostenüberschreitungen vermeiden. Zudem können sie ihre operativen Margen durch höhere Anlagenproduktivität verbessern und betriebliche Gemeinkosten senken. Unternehmen können nun durchgängig digitale Arbeitsabläufe erzielen, die sich auf die Wirtschaftlichkeit des Projekts, das Programm-Management und die Projektsteuerung erstrecken, um die Projektabwicklungszeiten verkürzen, Kostenüberschreitungen zu reduzieren und anforderungsgerechte Projektergebnisse zu verbessern. In der Energie- und Versorgungswirtschaft beispielsweise müssen Unternehmen angesichts der aktuellen Energieversorgungsprognosen effizienter und kostenwirksamer bei der Umsetzung von Investitionsprojekten vorgehen. Traditionell sind an diesen äußerst komplexen und teuren Projekten viele Gruppen beteiligt, die unabhängig auch außerhalb der Bereiche Engineering und Konstruktion arbeiten, um das Projekt voranzubringen. Mit der Erweiterung von Teamcenter um die Projektabwicklung ermöglicht CDE die Transparenz entlang der digitalen Fäden

verbundener 2D- und 3D-Modelle, die dynamisch verwaltet den jeweiligen Projektstand wiedergeben. Entwurfs- und Konstruktionsdaten werden kontinuierlich erfasst, Teammitglieder im weiteren Unternehmensumfeld und in der Lieferkette können auf sie visuell und analytisch zugreifen. Durch diese vollständige Einbindung der Konstruktionsmodelle in die Investitionsprojekte können verschiedene Simulationen im gesamten Projektmanagementprozess durchgeführt werden. So können etwaige Probleme in der realen Welt rechtzeitig erkannt und eine bessere Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, weil man in Echtzeit die Auswirkungen von Konstruktionsänderungen erkennt. Die Lösung wird Anfang 2019 auf den Markt kommen.

„Eigner, Betreiber und Firmen aus dem Bereich Konstruktion, Beschaffung und Bau (Engineering, Procurement and Construction, EPC) in der Industrie müssen ihre Kosten senken und Projekte effizienter abwickeln. Diese neue Lösung erleichtert die datengetriebenen Geschäftsprozesse für die Optimierung der Projekte und der Anlage“, sagt Tony Hemmelgarn, CEO Siemens PLM Software. „Mit dieser Lösung, die auf dem digitalen Zwilling aufbaut, können die Engineering-Daten zwischen den Projektbeteiligten fließen und unterstützen damit eine Fülle von Anwendungsmöglichkeiten in der Industrie.“

www.siemens.com/plm

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



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.

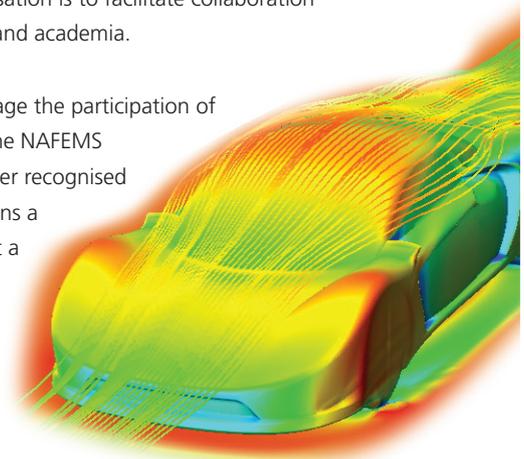
Small Company Membership is tailored to the specific needs of small to medium sized enterprises, and can also be appropriate in areas without a NAFEMS Regional Group.

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

2018

ICC - International Composites Congress				Composites Germany
05.-06.11.	Stuttgart, D	www.composites-germany.org		
NAFEMS Seminar: Neue Methoden in der numerischen Strömungsberechnung (CFD) – Alternativen zu Finite-Volumen-Methoden?				NAFEMS
12.-13.11.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/cfd18		
formnext				Mesago
13.-16.11.	Frankfurt/Main, D	www.mesago.de		
NAFEMS Seminar: Bessere Produkte mit Modellbasiertem Systems Engineering (MBSE) und CAE				NAFEMS
14.-15.11.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/mbse18		
Simvec				VDI
20.-21.11.	Baden-Baden, D	www.vdi-wissensforum.de		
NAFEMS Kurs: Verification and Validation in Engineering Simulation				NAFEMS
			–Building simulation credibility in an industrial context	
28.-29.11.	Wiesbaden, D	www.nafems.org/events/nafems/2018/vandv2/		
NAFEMS European SPDM Conference				NAFEMS
28.-29.11.	München, D	www.nafems.org/spdm2018		
Dassault Systèmes User Conference 2018				Dassault Systèmes
04.-06.12.	Hanau, D	www.3ds.com		
NAFEMS Seminar: Exploring the Design Freedom of Additive Manufacturing through Simulation				NAFEMS
10.-11.12.	Helsinki, FI	www.nafems.org/am2018		

2019

4a Technologietag				4a engineering
26.-27.02.	Schladming, A	http://technologietag.4a.co.at/		
NAFEMS Seminar: Werkstoffeigenschaften in der Strukturberechnung – Modellierung, Kalibrierung, Simulation & Optimierung				NAFEMS
27.-28.03.	Dresden, D	www.nafems.org/werkstoffe19		
NAFEMS World Congress inc. the Int. SPDM Conference				
17.-20.06.	Quebec City, CAN	www.nafems.org/congress		

Weitere Veranstaltungen: www.nafems.org/events



NWC NAFEMSWORLDCONGRESS 2019

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

incorporating the

spdm INTERNATIONAL CONFERENCE
 Simulation Process & Data Management

Call for Papers – Abstract submission deadline: 21. November 2018

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.



Quebec City, Canada

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 2018!

Information and registration
www.nafems.org/congress



Quebec City Convention Center

Wissensbasierte und berechnungsunterstützte Konzeptabsicherung in den frühen Phasen der Produktentwicklung am Beispiel des Elektromotors

Johann Tüchsen (1,2), Michael Richter (1), Johannes Heydenreich (1), Matthias Koch (1), Benjamin Schleich (2), Sandro Wartzack (2)

1 Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG

2 Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik KTmfk

Beginnend mit der Anforderungsdefinition erfolgt bei der Entwicklung mechatronischer Produkte, wie beispielsweise Elektromotoren, entsprechend dem linken Ast des V-Modells der Gesamtentwurf des Systems durch funktionale sowie logische Modellierung und Simulation (vgl. Abb. 1). Nach der Detailauslegung erfolgt die Validierung der gefundenen Lösung mit den definierten Anforderungen (rechter Ast) [1, 2, 12].

Bei den Validationen, die sowohl durch reale oder auch virtuelle Tests erfolgen, werden oftmals Probleme oder Verbesserungspotentiale lokalisiert, die zu einer iterativen Änderung der Lösung und einer erneuten Validierung führen. Um diese Anzahl an Iterationen zu reduzieren, wird im Rahmen dieses Beitrags ein neues Konzept für einen multiphysikalischen und vollautomatischen Design-Check vorgeschlagen. Diese Methode hat das Ziel, entstehende Fehler oder suboptimale Designs vor dem domänenspezifischen Entwurf zu erkennen und damit Zeit und Kosten im Sinne der „Rule of Ten“ zu sparen [6].

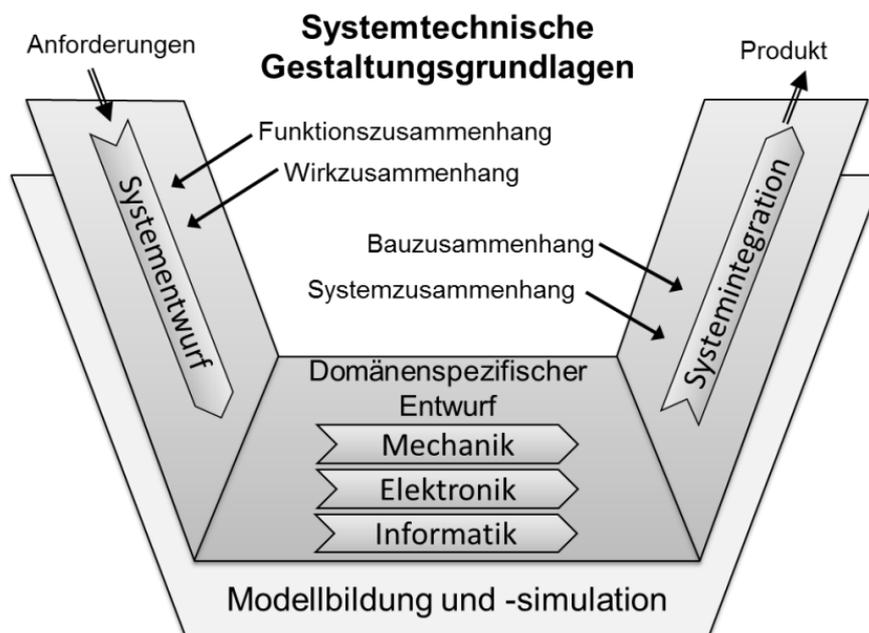


Abb. 1: V-Model modifiziert nach [1, 2, 12]

1 Entwicklung elektrischer Motoren

Die Detailauslegung eines Elektromotors erfolgt im ersten Schritt durch die Betrachtung der Elektromagnetik und der Thermik. Bei der Auslegung der elektromagnetischen Felder mittels der FE-Simulation wird die Geometrie bis hin zu sehr kleinen Details determiniert. Die Betrachtung der Thermik ist dieser Auslegung nachgelagert, da sie zum einen auf der gewählten Geometrie basiert und zudem vom Simulationsingenieur erfahrungsbasiert abschätzbar ist [5]. Die gewählte Geometrie bildet die Grundlage für den domänenspezifischen Entwurf in den Disziplinen Maschinenbau, Elektro- und Informationstechnik [12]. Dabei wird in der CAD-Umgebung an anderen Stellen des Motors eine hohe Anzahl an Details beigefügt, die in der elektromagnetischen Betrachtung zunächst nicht relevant sind. Beispiele sind hier die Verbindung von Welle und Rotorpaket (Nabe) oder die Kontaktierung zwischen Stator und Gehäuse. Nach der Auskonstruktion erfolgt die Validierung der Lösung hinsichtlich der Anforderungen, bei der die verschiedenen Simulationen wie beispielsweise Strukturanalyse, Akustik-Simulation, Thermodynamik uvm. zum Einsatz kommen.

Die Grundidee des vorgeschlagenen Beitrags ist es, bereits in den frühen Phasen der Konzeption, also beispielsweise nach der ersten Geometrieerstellung, in der Simulationssoftware das Produkt in verschiedenen Disziplinen auf Fehler abzu prüfen. Da zum einen die Geometrie einen ungenauen Stand hat oder teilweise noch gar nicht vorhanden ist und zum anderen auch die Prüfungen binnen Sekunden Ergebnisse liefern sollen, sind grobe Abschätzungen an dieser Stelle durchaus zulässig. Es sollen damit Aussagen generiert werden, ob eine Lösung für die Anforderungen prinzipiell geeignet oder ausgeschlossen werden kann, oder ob sie sich in einem, aus der Ungenauigkeit resultierenden, kritischen Bereich befindet. Basierend auf diesen Aussagen erfordert das weitere Vorgehen bei der Entwicklung entweder keine Änderung (passend), eine genauere Untersuchung (kritisch) oder direkt eine vollständige Abänderung des gewählten Konzepts (unpassend).

Die Untersuchungen in Form von formelmäßigen, aber auch wissensbasierten Zusammenhängen werden dabei domänenspezifisch in einzelne Module (z.B. Thermik, Mechanik oder Akustik) unterteilt, damit die Berechnungen schnell und autonom parallel abgearbeitet werden können. Auch Anforderungen von der Produktionstechnologie an das Produkt können in einem Modul automatisch geprüft werden [9, 10]. Zudem unterscheiden sich Elektromotoren je nach Anwendung nicht nur in der Größe und Leistungsklasse, auch der mechanische Aufbau und die Topologie variieren (vgl. Abb. 2) [11].

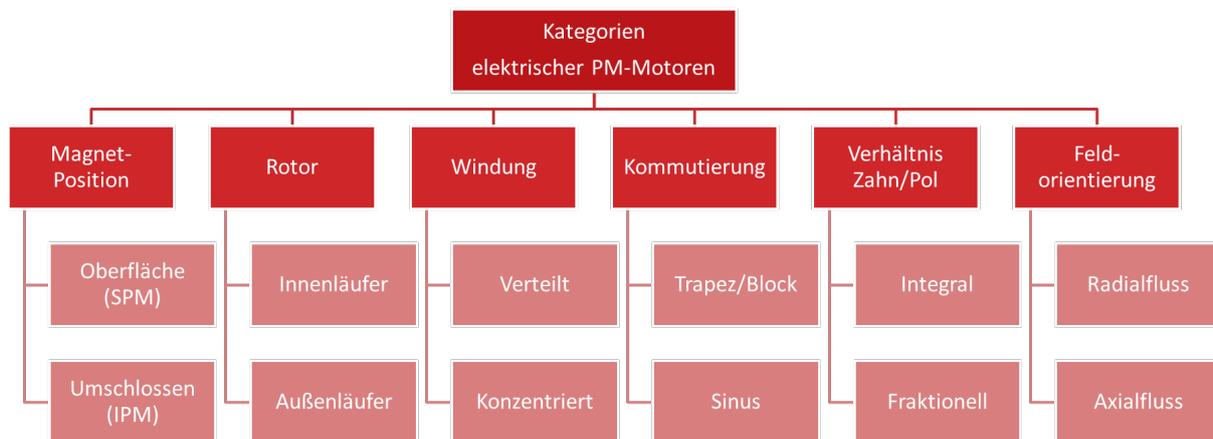


Abb. 2: Technologieübersicht von Elektromotoren mit Permanentmagneten [11]

Innerhalb dieses Beitrags werden bürstenlose Motoren mit Permanentmagneten (PM) im Rotor betrachtet. Die Anordnung der Magnete bestimmt dabei die Topologie des Rotors, unter anderen kommen hier *Interior Permanent Magnets* (IPM), *Surface Permanent Magnets* (SPM) oder die Anordnung in *Speichen* (engl. SPOKE) zum Einsatz [11]. Je nach verwendeter Topologie müssen demnach auch verschiedene parametrisierte Templates verwendet werden (vgl. Abb. 3).

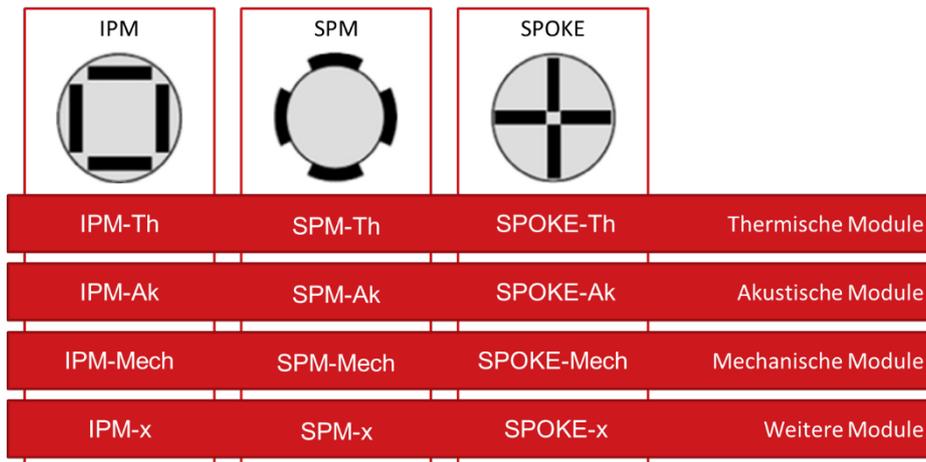


Abb. 3: Templates für die jeweiligen Topologien und Module [Topologie-Abbildungen aus 11]

2 Konzept für die wissensbasierte und berechnungsunterstützte Konzeptabsicherung

Basierend auf der Unterteilung von Elektromotoren in Module und Templates, die für die Entwicklung des Elektromotors relevant sind, wird das entwickelte Konzept des Design-Checks nun näher erläutert. Der Aufbau der Design-Check Logik (vgl. Abb. 4) folgt damit dem Prinzip von Knowledge-based Systems (KBS) [7, 8]. Nachdem die erste 3D-Geometrie des Motors in der Simulationssoftware für die Motorauslegung erstellt wurde, kann diese parametrisiert in eine Datenbank abgelegt werden. Sie enthält nun die produkt-beschreibenden Angaben wie z.B. Geometrie- und Elektronikparameter sowie die Anforderungen, welche der Motor erfüllen muss (z.B. maximales Drehmoment, maximale Temperatur). Weiter kann aus der Simulationsumgebung über ein User-Interface die Logik des Design-Checks gestartet werden, welche sich aus der Datenbank alle relevanten Informationen entnimmt und zunächst die geeigneten Templates für die jeweiligen Module auswählt. Anschließend werden die Berechnungen zur Konzeptabsicherung gestartet (Inferenz Mechanismus). Die Berechnungen werden in Form von ausführbaren, reduzierten Simulationsmodellen oder programmierten Logik-Skripten durchgeführt und enthalten das akquirierte Wissen der Experten. Die Ergebnisse der Berechnungen werden kontextbasiert automatisiert ausgewertet und in einer Ergebnismatrix dargestellt und erläutert. In einem späteren Verlauf kann derselbe Prozess ebenfalls auch aus der CAD-Umgebung oder anderen Programmen gestartet werden.

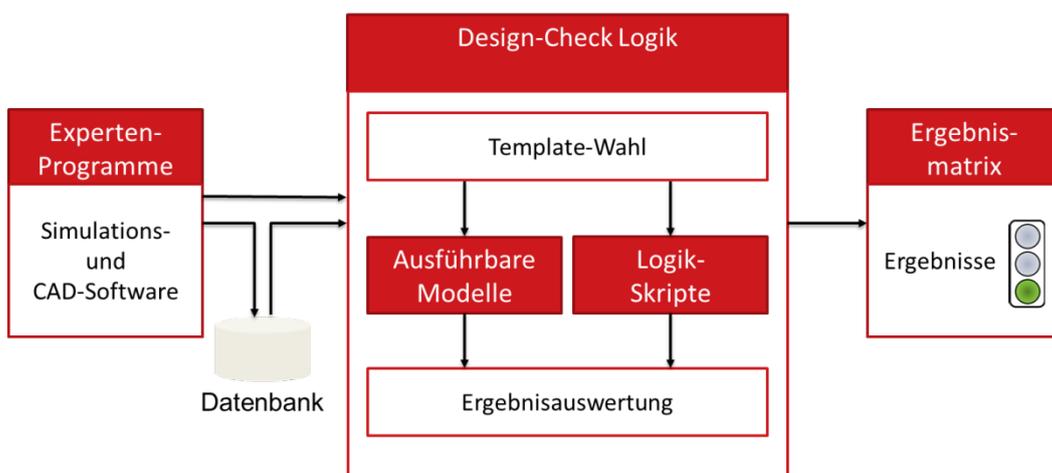


Abb. 4: Konzept des Design-Checks

2.1 Einbindung der ausführbaren Modelle und Logik-Skripte

Nachdem der Entwickler in seiner Umgebung den Design-Check gestartet hat, wählt die Design-Check Logik basierend auf der verwendeten Technologie und Topologie mittels eines Entscheidungsbaums die benötigten Berechnungstemplates. Für die Berechnungen kommen zwei verschiedene Methoden zum Einsatz: Die Berechnung mithilfe kompilierter Simulationsmodelle z.B. aus SimulationX, Modelica, MATLAB & Simulink oder ähnlichen multiphysikalischen Tools oder mithilfe selbstprogrammierter Skripte. Denkbar wären hier ebenfalls deduzierte Ansätze aus 3D-Simulationen, welche über programmierte Abfragen schnelle und programmunabhängige Ergebnisse liefern, wie beispielsweise look-up tables, state-space Modelle.

Prinzipiell wird innerhalb des vorgeschlagenen Konzepts bei den verschiedenen Berechnungsmethoden gleich vorgegangen: Entsprechend [4] wird ein Input-File geschrieben, welches alle notwendigen Parameter und Informationen für die Berechnung aus der Datenbank entnimmt. Dieses Input-File wird vom Skript eingelesen und entsprechend der programmierten Logik verarbeitet. Abschließend erstellt diese ein Output-File mit allen relevanten Ergebnissen (vgl. Abb. 5). Vorteil dieser Lösung ist die Unabhängigkeit von der verwendeten Software sowie die Möglichkeit, auch verschiedene Programmiersprachen zu verwenden. Bei den selbstprogrammierten Skripten ist zudem eine direkte Übergabe der Parameter möglich, wodurch auch größere Datenmengen ohne den Zwischenschritt der Datei-Erzeugung ermöglicht werden.

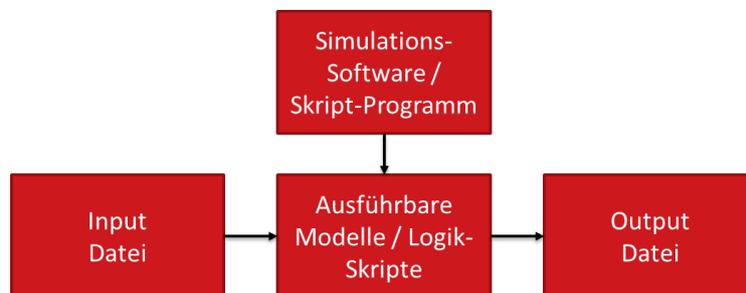


Abb. 5: Input/Output-Logik [5]

Durch die Verwendung von Tools, an welche die Berechner durch ihre tägliche Arbeit gewöhnt sind, lassen sich die Modelle leicht warten und so jederzeit auch anpassen und erweitern. Zudem können die Modelle über ein Versionierungssystem bzw. Source-Code-Management (SCM) automatisch verwaltet, gespeichert und ausgerollt werden (z.B. git, www.git-scm.com). Basierend auf dieser Input/Output-Logik wird nun näher auf die Berechnungen und die Ergebnisauswertung eingegangen.

2.2 Ausführbare Modelle

Ausführbare, kompilierte Simulationsmodelle liefern einen Solver zur iterativen Lösung mit und können daher auch Zusammenhänge ermitteln, die sich durch Gleichungen nicht in einem geschlossenen Lösungsweg berechnen lassen. Theoretisch ist es daher auch möglich, die Inputgrößen variabel zu gestalten. So könnte das Modell beispielsweise entweder direkt mit einem definierten Volumen rechnen, oder aber, wenn das Volumen nicht angegeben ist, dieses zuerst aus Länge, Breite und Höhe berechnen. Somit können die Design-Checks noch variabler auf die verschiedenen Auslegungsmethoden reagieren. Die Erstellung und Wartung dieser Modelle erfolgt direkt in der jeweiligen Simulationssoftware durch den Experten. Als Beispiel kann hier ein Berechnungsmodell der Thermik genannt werden, welches auf dem *Lumped-Parameter Thermal Modelling* basiert [3]. Hier wird der Motor in thermische Widerstände mit Wärmeleitkoeffizienten, Volumina und thermischen Kapazitäten geteilt, welche allesamt geometrie- und materialvariabel berechnet werden. Letztlich lässt sich so die Wärmeverteilung mit maximaler Temperatur im Motor effizient und parametrisch berechnen (vgl. Abb. 6).

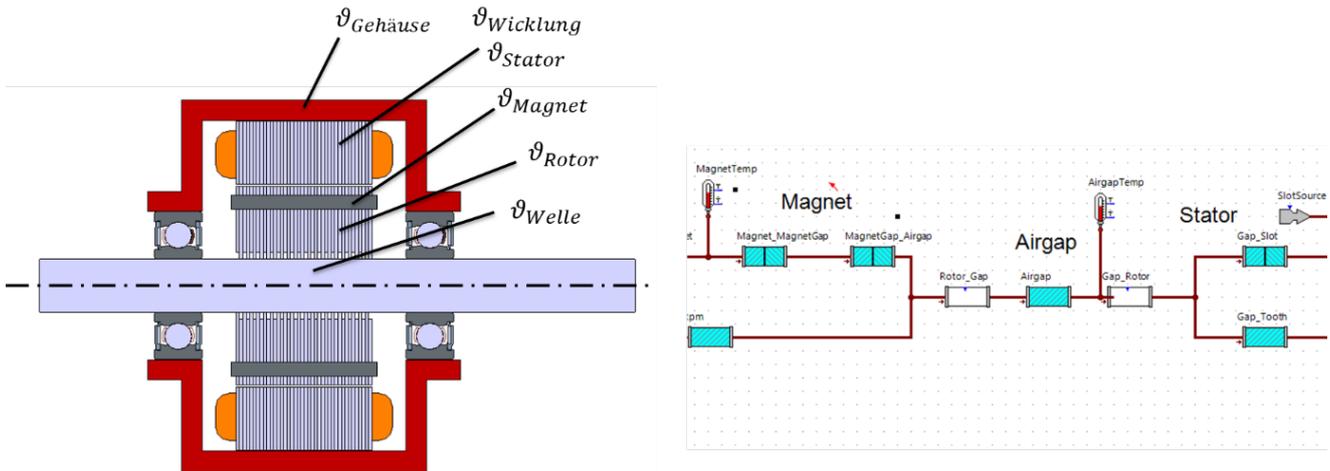
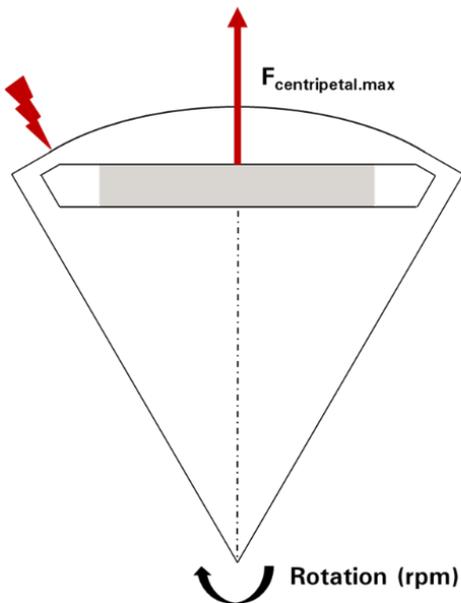


Abb. 6: Temperaturen im axialen Motor-Schnitt (li) und Lumped-Parameter Thermal Modell (re) [3]

2.3 Logik-Skripte

Logik-Skripte werden per Hand geschrieben und eignen sich besonders bei kurzen, eindimensionalen und analytischen Berechnungen wie beispielsweise für die Berechnung von Toleranzketten, Spannungen oder einfacher implizit vorliegender Größen wie z.B. Massenträgheiten [1]. Als Beispiel lässt sich hier die Berechnung der Zentripetalkraft nennen, welche infolge der Rotation auf die Magneten im Motor wirkt. Auch hier können auf Basis der einfachen physikalischen Formeln Geometrie, Dichte und Input-Parameter wie Rotationsgeschwindigkeit parametrisch ausgewertet werden (vgl. Abb. 7).



```

364 .... double dbl_Bridge = double.Parse(Row["Bridge"].ToString());
365 .... double dbl_Web = double.Parse(Row["Web"].ToString());
366 .... double dbl_RotorRadiusOut = double.Parse(Row["RotorRadiusOut"].ToString());
367 .... double dbl_RotorLength = double.Parse(Row["RotorLength"].ToString());
368 .... double dbl_RotorDensity = double.Parse(Row["RotorDensity"].ToString());
369 .... double dbl_Speed = double.Parse(Row["Speed"].ToString());
370 .... double dbl_alpha = double.Parse(Row["alpha"].ToString());
371
372
373 .... // MAGNET CALCULATIONS
374 .... double MagnetVolume = (dbl_MagnetWidth * dbl_MagnetThickness * dbl_MagnetLength) / 1000000;
375 .... double MagnetMass = (dbl_MagnetDensity * MagnetVolume);
376
377
378 .... // CENTRIPETAL FORCES
379 .... double BetaM = 2 * Math.Atan(dbl_BetaMPointy / dbl_BetaMPointx) * (180 / Math.PI);
380 .... double xA = dbl_BetaMPointx - (dbl_Bridge * Math.Cos(BetaM / 2 * (Math.PI / 180.0)));
381 .... double R = xA - dbl_MagnetGap - (dbl_MagnetThickness / 2);
382 .... double Omega = (dbl_Speed * 0.10472);
383 .... double CentripetalForce = MagnetMass * Omega * Omega * R / 1000;
    
```

Abb. 7: Zentripetalkraft im Rotor (li) und Logik-Skript zur Berechnung (re)

2.4 Auswertung und Ergebnisinterpretation

Die Berechnungen enthalten neben explizitem Wissen in Form von Gleichungen auch implizites Wissen. Dieses kann beispielsweise durch Einbindung wissensbasierter Korrektur- und Sicherheitsfaktoren berücksichtigt werden. Auch die Ungenauigkeiten in den Modellen (z.B. durch Vereinfachungen) werden durch Hilfsfaktoren verringert, welche zuvor durch die Formalisierung von Expertenwissen ermittelt wurden. Mittels ständiger Verifikation werden diese Faktoren zunehmend verbessert und damit auch die Genauigkeit der Modelle erhöht. In der weiteren Entwicklung können diese Faktoren selbstlernend durch die Anwendung künstlicher Intelligenz verbessert und angepasst werden, wie es beispielsweise bereits bei der Blech-Massivumformung im Assistenzsystem SLASSY eingesetzt ist [10]. Letztlich können die ermittelten Ergebnisse in einer Ergebnismatrix visualisiert werden (vgl. Abb. 8).

Design Check – Ergebnismatrix IPM	
<p>IPM-Th: thermische Analyse</p> <p>PASSEND Die berechnete Motortemperatur ist geringer als die maximal zulässige.</p> <p>$\vartheta_{Motor} = 75^{\circ}C \pm 5^{\circ}C < \vartheta_{max} = 100^{\circ}C$</p>  <p>Passend</p>	<p>IPM-Ak: akustische Analyse</p> <p>KRITISCH Der berechnete Motor passiert die Resonanzfrequenz in der 20. Ordnung, jedoch nicht in der 10. Ordnung.</p>  <p>Kritisch</p>
<p>IPM-Mech1: Welle/Nabe-Verbindung</p> <p>PASSEND Die gewählte Welle/Nabe-Verbindung ist ausreichend, um das notwendige Drehmoment zu übertragen.</p>  <p>Passend</p>	<p>IPM-Mech2: Zentripetalkräfte</p> <p>UNPASSEND Die gewählte Drehzahl erzeugt zu hohe Zentripetalkräfte. Der gewählte Motor ist nicht in der Lage, die Magneten in Position zu halten.</p>  <p>Unpassend</p>

Abb. 8: Ergebnismatrix des Design-Checks

3 Diskussion und Ausblick

Durch den multidisziplinären Design-Check können die wesentlichen funktionalen Anforderungen in der Entwicklung bereits in frühen Phasen und anhand grober Modelle validiert und die notwendige Anzahl von Entwicklungsschleifen und –kosten reduziert werden. Es wird somit das Wissen von Experten verschiedener Disziplinen gleichzeitig abgeprüft und ausgewertet. Dadurch wird die Qualität der Gesamtlösung multidisziplinär verbessert und aufgrund Parallelisierung beschleunigt. In der vorgestellten Ausbaustufe liefert die Ergebnismatrix neben dem geprüften Sachverhalt auch eine Kategorisierung in die Stufen „Passend“, „Kritisch“ und „Unpassend“. Im nächsten Schritt sollen zudem die für die bewerteten Eigenschaften des Produkts zugehörigen kritischen Merkmale hervorgehoben werden. Damit erhält der Entwickler zusätzlich neben den Ampeln die Informationen, welche Parameter im Modell gezielt wie abgeändert werden sollten. Zudem können diese Parameter in weiteren Schritten in den Systemoptimierungen berücksichtigt werden.

4 Literatur

- [1] Breitsprecher, T.; Röhner, S. & Wartzack, S.: „Konzept für eine simulationsgetriebene wissensbasierte Produktentwicklung im Umfeld mechatronischer Produkte“, Proceedings of the 21st Symposium on Design for X, 2010, S. 223-234.
- [2] Czichos, H.: „Mechatronik - Grundlagen und Anwendungen technischer Systeme“, Springer Vieweg, 2015.
- [3] Dajaku, G. & Gerling, D.: “An Improved Lumped Parameter Thermal Model for Electrical Machines”, 17th International Conference on Electrical Machines / ICEM, September 2-5, 2006, Chania, Greece.
- [4] Duarte, O.: “UN-VirtualLab - A web simulation environment of OpenModelica models for educational purposes”, Proceedings 8th Modelica Conference, Dresden, March 20-22, 2011, S. 773-778.
- [5] Miller, T. J. E.: “Switched Reluctance Motors and Their Control”, OUP Oxford, 1993.
- [6] Pfeifer, T.: „Qualitätsmanagement“, Carl Hanser Verlag München Wien, 1993.
- [7] Rivera, C. A.; Poza, J.; Ugalde, G. & Almandoz, G.: “A Knowledge Based System Architecture to Manage and Automate the Electrical Machine Design Process”, IEEE Int. Workshop of Electronics, Control, Measurement, Signals and their Application to Mechatronics (ECMSM), 24-26 May 2017, Donostia-San Sebastian, Spain, S. 1-6.
- [8] Styczynski, Z. A.; Rudion, K. & Naumann, A.: „Einführung in Expertensysteme - Grundlagen, Anwendungen und Beispiele aus der elektrischen Energieversorgung“, Springer, 2017.
- [9] Walla, W.; Baer, T. & Ovtcharova, J.: “Impact of Modularised Production on Product Design in Automotive Industry”, Proceedings of ICED 2011 / 18th International Conference on Engineering Design, Copenhagen, Denmark, August 15-18, 2011, The Design Society, S. 220-227.
- [10] Wartzack, S.; Sauer, C. & Küstner, C.: “What does Design for Production mean? – From Design Guidelines to Self-learning Engineering Workbenches”, Proceedings of the 11th International Workshop on Integrated Design Engineering, Universität Magdeburg Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik, 2017, S. 93 – 102.
- [11] Yilmaz, M.: “Limitations/capabilities of electric machine technologies and modeling approaches for electric motor design and analysis in plug-in electric vehicle applications”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, S. 80 – 99.
- [12] VDI 2206: „Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme“, Verein Deutscher Ingenieure, Beuth, Berlin, 2004.

Simulation des Wärmeübergangs bei der Aushärtung von CFK-Bauteilen im Autoklaven

Tim Frerich, Junhong Zhu, Axel S. Herrmann
Faserinstitut Bremen e.V.

Hochleistungsbauteile aus Faser-Kunststoff-Verbünden, wie sie in der Luft- und Raumfahrttechnik zum Einsatz kommen, werden meist im Prepreg-Autoklav-Prozess gefertigt. Die Aushärtung der Polymer-Matrix wird dabei bei erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck im Autoklaven durchgeführt. Der Druck ist für eine ausreichende Konsolidierung des Materials notwendig, die erhöhte Temperatur wird zur Initiierung der Aushärte-Reaktion benötigt. Der Wärmeübergang in das Bauteil erfolgt durch erzwungene Konvektion und hat einen entscheidenden Einfluss auf den Ablauf der Aushärtungsreaktion. Für einen homogenen Ablauf der Aushärtung, der zum Entstehen von unerwünschtem, prozessinduziertem Bauteilverzug führen kann, ist eine homogene Temperaturverteilung und damit auch ein homogen verteilter Wärmeübergang notwendig. Gleichzeitig sind jedoch hohe Aufheizraten erwünscht, um Prozesszeiten kurz zu halten und den Prozess somit wirtschaftlich zu gestalten. Die Anwendung von CFD-Simulationen zur Abbildung des Wärmeübergangs erlaubt eine Optimierung der Formwerkzeuge, der Beladungsszenarien und der Prozessparameter, um kurze Prozesszyklen bei gleichzeitig homogen verteilten Temperaturen zu erreichen.

In diesem Beitrag werden derartige CFD-Simulationen am Beispiel eines Labor-Autoklaven mit einer Länge von zwei Metern und einem Durchmesser von einem Meter dargestellt und mit den Ergebnissen von Messungen verglichen, um eine Validierung der Simulation zu erreichen.

1 Einleitung

Der Prepreg-Autoklav-Prozess ist aktuell der wichtigste Prozess für die Herstellung von Hochleistungsbauteilen aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen. Als Ausgangsmaterial dienen in diesem Prozess vorimprägnierte Kohlenstofffasern, die als Prepreg (von engl. „preimpregnated material“) bezeichnet werden. Aus diesem Material wird das Bauteil in einem Formwerkzeug aufgebaut und anschließend in einem Autoklaven ausgehärtet. Eine Prinzipdarstellung eines typischen Autoklaven und des Aufbaus zur Aushärtung von Faser-Kunststoff-Verbünden ist in *Abb. 1* dargestellt. Der Autoklav ist dabei ein Druckbehälter, in dem Gas, typischerweise Stickstoff oder Luft, zirkuliert. Der Druck im Inneren des Autoklaven p_{acl} ist für eine ausreichende Konsolidierung des Verbundwerkstoffs notwendig und beträgt in üblichen Produktionsprozessen zwischen 4 und 10 bar. Die Aushärtetemperatur von typischen Luftfahrt-Materialien beträgt 180°C , die Heizraten im Prozess liegen normalerweise zwischen $0,5\text{ K/min}$ und $2,5\text{ K/min}$. Der Wärmeübergang von der Autoklav-Atmosphäre in das Bauteil erfolgt durch erzwungene Konvektion. Die geringen Heizraten werden gewählt, um eine homogene Aufheizung und dadurch ein homogenes Temperaturfeld im Bauteil zu erreichen. Der komplette Aushärteprozess kann daher zwischen 7 und 14 h Stunden dauern.

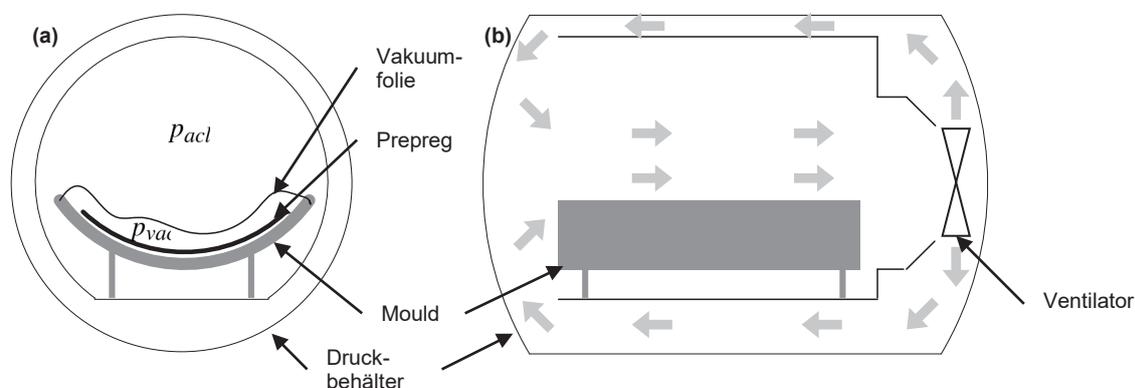


Abb. 1: Prinzipdarstellung eines Autoklaven: (a) Vorderansicht, (b) Seitenansicht mit angedeuteten Fluidströmungen

Um die Effekte des Aushärteprozesses auf die Eigenschaften des fertigen Bauteils zu bewerten, wurde eine virtuelle Prozesskette entwickelt, die in Abb. 2 dargestellt ist.

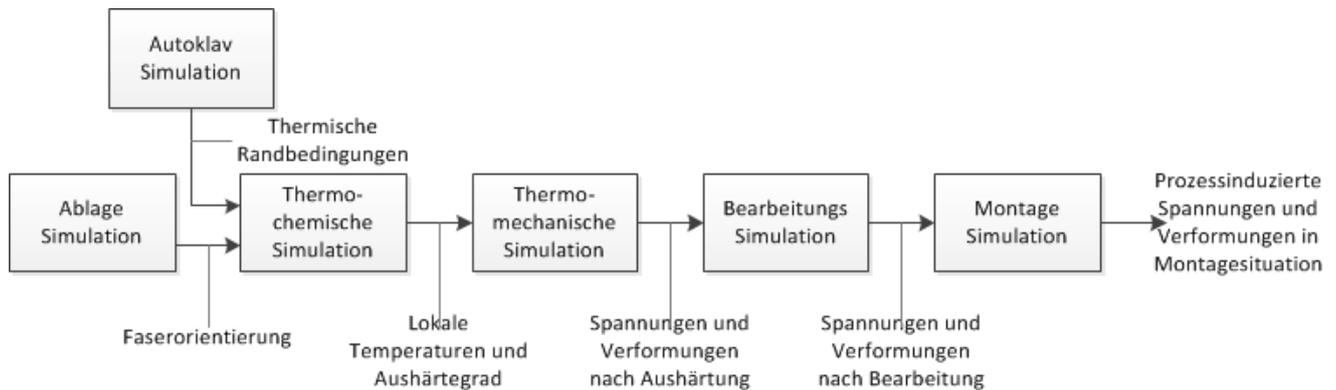


Abb. 2: Virtuelle Prozesskette für den Prepreg-Autoklav-Prozess mit hervorgehobener Autoklav-Simulation

In einem ersten Schritt, der Ablage-Simulation, wird das Applizieren der Lagen auf dem Werkzeug simuliert, und die Faserorientierungen werden bestimmt. Die Orientierungen werden dann in der thermo-chemischen Simulation, einer FEM-Simulation des Wärmetransports innerhalb des Bauteils bestimmt, die über einer Aushärte-Kinetik den Fortschritt der Vernetzungssimulation simuliert und auch die durch Exothermie freigesetzte Wärme berücksichtigt. Basierend auf den ermittelten Temperatur- und Aushärtegradfeldern werden dann in einer thermo-mechanischen Simulation die durch thermische Schrumpfung und chemische Schwindung entstehenden Spannungen bestimmt. In folgenden Simulationsschritten können dann noch zusätzliche Einflüsse auf die Spannungsverteilung durch Bearbeitungsprozesse, wie z.B. Fräsen oder Wasserstrahlschneiden, oder durch die Montage in einer Zwangslage berücksichtigt werden. Am Ende der virtuellen Prozesskette ist somit eine Bewertung der Beanspruchung des Bauteils in Montagelage unter Berücksichtigung der Prozesseinflüsse möglich.

Um eine korrekte Simulation von Temperaturverteilung und Aushärtegrad im Bauteil zu erreichen, die in den folgenden Simulationsschritten verwendet werden kann, werden als Randbedingungen die über erzwungene Konvektion in das Bauteil eingetragene Wärme benötigt. Die Modellierung dieser Randbedingungen wird folgend detailliert betrachtet.

Der Wärmeübergang in das Bauteil lässt sich mittels des Wärmeübergangskoeffizienten h beschreiben, der definiert ist als

$$h = \frac{\dot{Q}}{\Delta T A} \tag{1}$$

mit dem Wärmestrom \dot{Q} , der Oberfläche A und der Temperaturdifferenz ΔT zwischen Fluid und Oberfläche. Dieser Wärmeübergangskoeffizient kann auch als dimensionslose Nusselt-Zahl Nu ausgedrückt werden. Die Nusseltzahl ist dabei definiert als

$$Nu = \frac{hL}{\lambda}, \tag{2}$$

wobei L die charakteristische Länge ist und λ die Wärmeleitfähigkeit des Fluides. Die Nusselt-Zahl hängt von der Beschaffenheit der Geschwindigkeits- und Temperaturschicht am Bauteil ab, die charakterisiert ist durch Prandtl- und Reynolds-Zahl Pr und Re , sowie von der Bauteilgeometrie und dem Verhältnis der Fluid-Temperatur T_∞ zur Oberflächentemperatur T :

$$Nu = f(Re, Pr, Geometry, T_\infty/T) \tag{3}$$

Während für geometrisch einfache Strukturen analytische Formulierungen für die Nusselt-Zahl existieren, ist für die Betrachtung komplexerer Strukturen die Anwendung von numerischen Strömungssimulationen notwendig. [1]

2 Experimentelle Untersuchungen

Für eine Validierung von numerischen Strömungssimulationen zur Bestimmung des Wärmeübergangs in das Bauteil wird auf die Ergebnisse aus [2] zurückgegriffen. Die experimentellen Untersuchungen des konvektiven Wärmeübergangs im Autoklaven werden nicht nur durch hohen Druck und Temperatur im Inneren erschwert, sondern auch durch die Tatsache, dass der Autoklav ein geschlossener Druckkessel ist und somit das Verbinden von Sensoren im inneren des Autoklaven an das Messequipment außerhalb mit großem Aufwand verbunden ist. Eine einfach in vorhandenen Autoklaven zu installierende Lösung stellt die Verwendung der für die Qualitätsüberwachung im Autoklav vorhandenen Thermolemente in Kalorimetern dar. [3, 4]

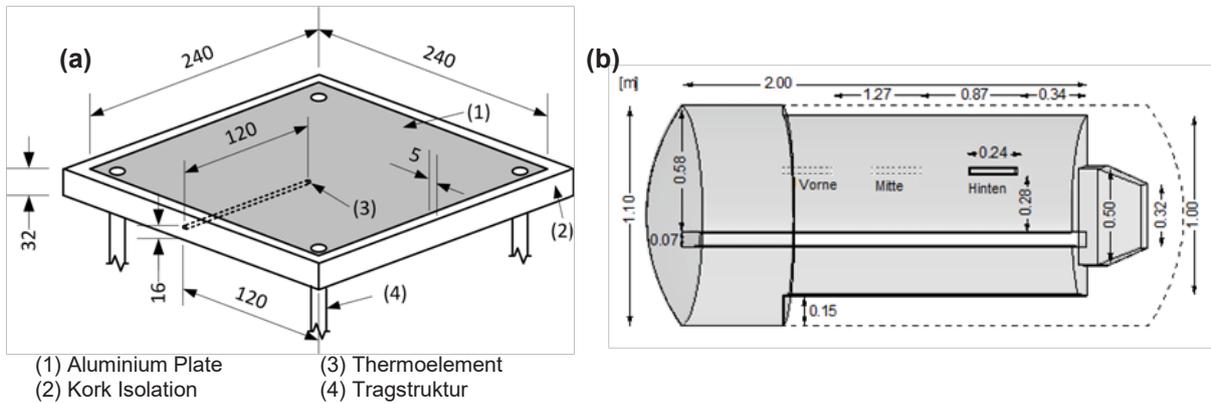


Abb. 3: In den experimentellen Versuchsungen verwendetes Kalorimeter (a) sowie die Messpositionen im Autoklaven (b) aus [2]

Ein Kalorimeter besteht, wie in Abb. 3 dargestellt, aus einer Aluminium-Platte mit isolierten Kanten, die einen ein-dimensionalen Wärmefluss sicherstellen. In einem Bohrloch in der Mitte der Platte ist ein Thermolement angebracht, das die Temperatur des Aluminiums misst. Die Fluidtemperatur wird durch ein weiteres Thermolement gemessen.

Basierend auf der Definition des Wärmeübergangskoeffizienten aus Gleichung (1) und den Annahmen einer homogenen Temperaturverteilung im Aluminium, perfekt isolierter Kanten und vernachlässigbaren Wärmeflüssen durch die Stützstruktur, kann der Wärmeübergangskoeffizient h bestimmt werden als

$$h = \frac{mc_p \frac{dT}{dt}}{(T_\infty - T)A}, \tag{4}$$

wobei m für die Masse der Aluminiumplatte steht, c_p für deren Wärmekapazität, A für die Oberfläche des Kalorimeters, T_∞ für die Fluidtemperatur im Autoklaven und T für die gemessene Temperatur des Kalorimeters. [3, 5]

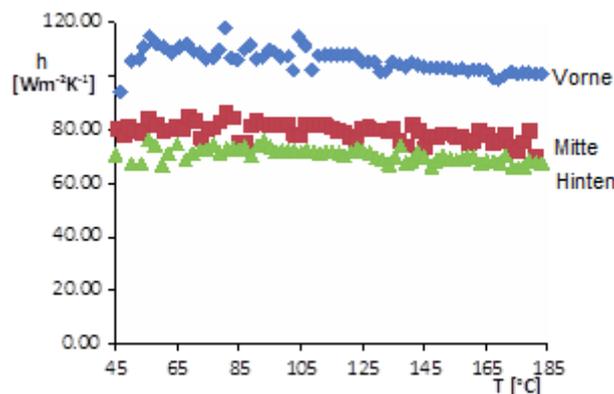


Abb. 4: Gemessene Wärmeübergangskoeffizienten an drei verschiedenen Positionen im Autoklaven. [2]

Die Messungen wurden in einem Labor-Autoklav mit einer Länge von 2 m und einem Durchmesser von 1 m an drei Positionen durchgeführt, welche in *Abb. 3* dargestellt sind. Die gemessenen Wärmeübergangskoeffizienten sind in *Abb. 4* dargestellt. Ein signifikanter Unterschied zwischen der Messposition vorne mit einem Wärmeübergangskoeffizienten von $110 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und hinten mit einem Wärmeübergangskoeffizienten von $70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ konnte beobachtet werden.

3 Numerische Simulation

In den numerischen Simulationen wird der in den experimentellen Untersuchungen dargestellte Autoklav mittels der kommerziellen Software ANSYS CFX [6] modelliert. Exemplarisch wird hier die Simulation für die hintere Kalorimeter-Position dargestellt.

Die Diskretisierung des Autoklaven wird in der Software ANSYS ICEM CFD [7] durchgeführt. Als Netz wird ein Hybrid-Netz verwendet, das aus Tetraeder-Elementen, die mittels octree-Algorithmus erzeugt werden, und Prismen-Elementen für die Auflösung der Grenzschicht in den wandnahen Bereichen besteht.

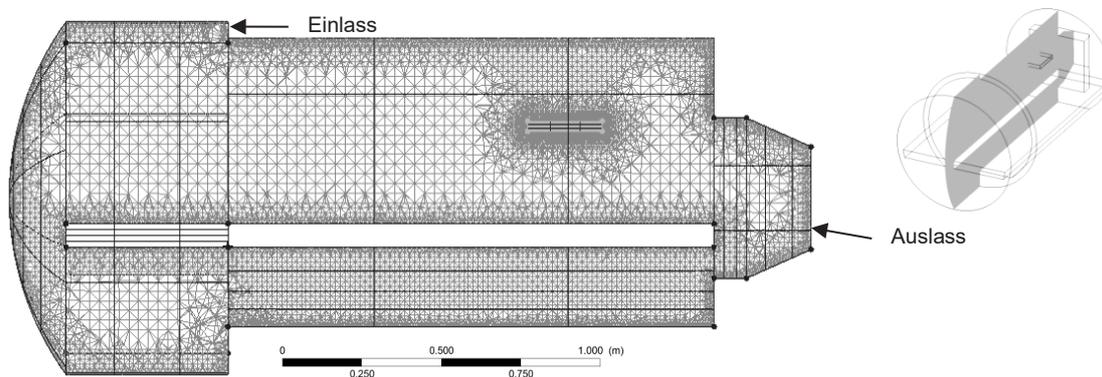


Abb. 5: Schnittdarstellung des Netzes für die numerische Strömungssimulation des Autoklaven in der Symmetrieebene

Der Labor-Autoklav ist mit Luft gefüllt, die in der Simulation als ideales Gas angenommen wird. Hierzu wird das Materialmodell aus der Bibliothek von ANSYS CFX verwendet. Als Turbulenzmodell wird die „Detached Eddy Simulation“ mit einer voll ausgebildeten turbulenten Strömung angenommen, was einer Prandtl-Zahl von 0,87 entspricht.

Die Wände des Autoklaven werden als adiabat angenommen, eine Wärmeübergang wird nur an der Grenzfläche zwischen Kalorimeter und Fluid simuliert. Im Einlass wird eine homogen verteilte Geschwindigkeit von $5,06 \text{ m/s}$ angenommen, was auf dem Luftdurchsatz des Ventilators nach Herstellerangaben beruht. Ebenfalls homogen wird die Temperatur des Fluid im Einlass angenommen, die mit einer Starttemperatur von 25°C beginnt und mit einer Rate von 1 K/min erhöht wird. Als relative Turbulenzintensität im Einlauf wird, in Übereinstimmung mit [2] ein Wert von 0,38 angenommen. Als Startkondition wird das gesamte Modell mit einer Temperatur von 25°C versehen.

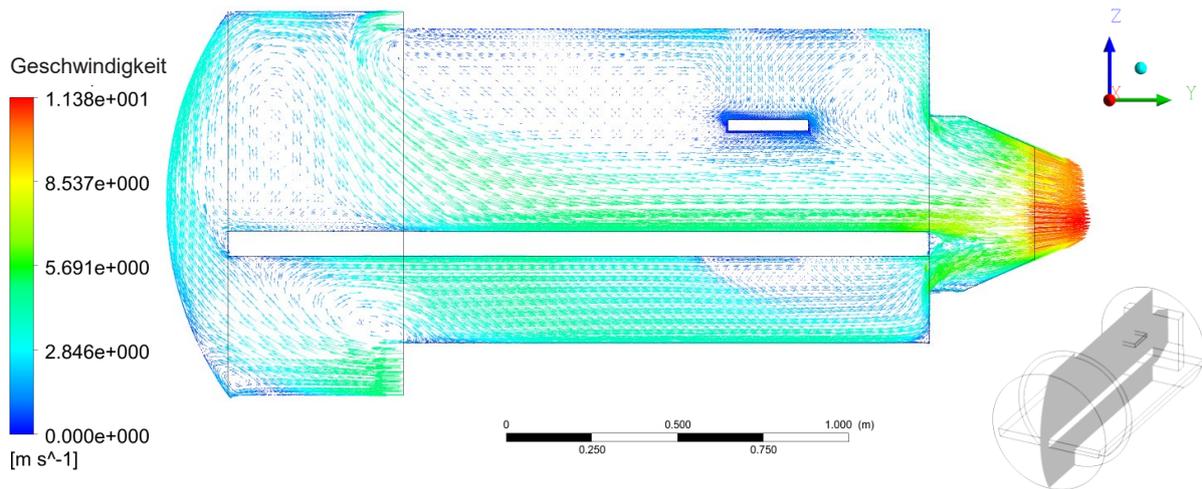


Abb. 6: Strömungsbild in der Symmetrieebene des Autoklaven

Zur Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten wird die mittlere Temperatur des Fluids sowie die Temperatur der Kalorimeterplatte ausgegeben und in Gleichung (4) eingesetzt. Beide Temperaturverläufe sowie die resultierenden Wärmeübergangskoeffizienten sind in Abb. 7 über der Zeit dargestellt.

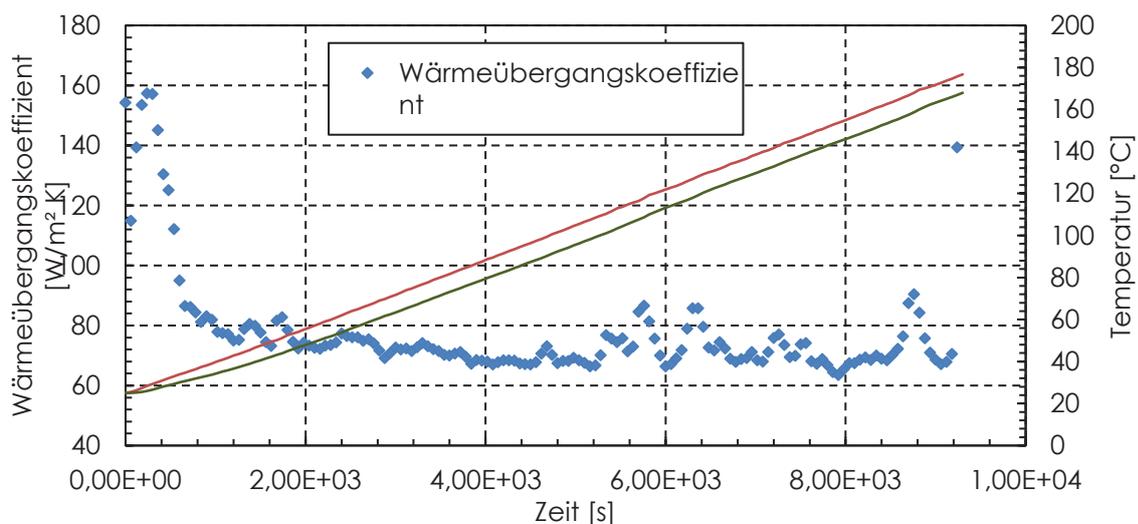


Abb. 7: Aus der Simulation gewonnene Autoklavtemperatur, Kalorimetertemperatur und Wärmeübergangskoeffizient über der Zeit

Für einen Vergleich zu den experimentellen Ergebnisse aus [2] sind die mittels Simulation ermittelten Wärmeübergangskoeffizienten in Abb. 8 dargestellt. Die hohen Werte zu Beginn der Simulation, die als ein Einschwingen gedeutet werden, sind dabei ausgespart, die Grafik beginnt also erst bei 35°C. Es ist zu erkennen, dass die mittels Simulation bestimmten Werte ungefähr 5 W/(m²K) höher liegen als die experimentell bestimmten Werte. Gegenüber den in [2] dargestellten Simulationsergebnissen stellt dies eine Verbesserung dar, und die Genauigkeit ist für die Zwecke der Werkzeug-, Prozess- und Beladungsoptimierung ausreichend.

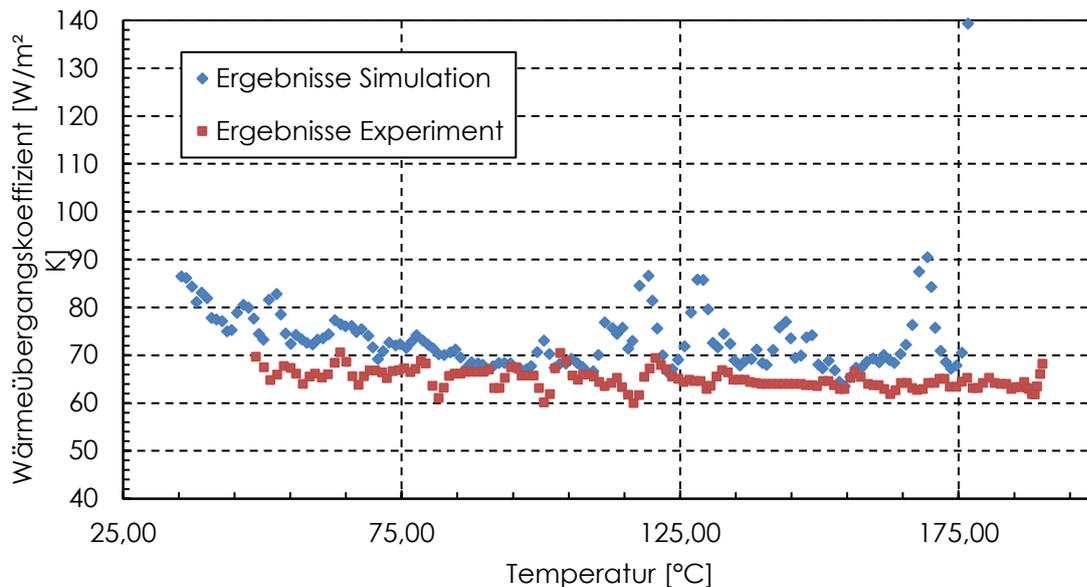


Abb. 8: Vergleich von Wärmeübergangskoeffizienten aus Simulation und Messung.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Es wurde gezeigt, dass eine numerische Strömungssimulation Wärmeübergangskoeffizienten für das Innere des Autoklaven mit einer hinreichenden Genauigkeit liefern kann. Die Anwendung von Plattenkalorimetern ist dabei eine gut funktionierende Variante für die Validierung der Ergebnisse ohne aufwändige Modifikationen am Autoklaven vornehmen zu müssen. Neben Plattenkalorimetern können auch Stabkalorimeter wie in [8] verwendet werden. Anwendungsmöglichkeiten der Simulation sind die Optimierung von Werkzeugen, Prozessen und Beladungsszenarien. Diese Anwendungen sowie weitere Validierungssimulationen, insbesondere an realen und komplexen Bauteilgeometrien, sollen in der Zukunft betrachtet werden. Ein wichtiges Thema ist dabei die Reduktion des Modellierungs- und Rechenaufwands. Ein wichtiges Ziel ist die Einbindung der Simulationsergebnisse in die virtuelle Prozesskette. Im Zusammenspiel mit den anderen Modulen der virtuellen Prozesskette können dann die Interaktionen des Wärmeübergangs im Autoklaven mit den folgenden Schritten betrachtet werden. In der Summe soll hier eine ökonomischere und ökologischere Produktion von Faserverbundbauteilen ermöglicht werden.

5 Literatur

- [1] P. Böckh and T. Wetzel, *Wärmeübertragung: Grundlagen und Praxis*, 5th ed. Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014.
- [2] T. Bohne, T. Frerich, J. Jendry, J.-P. Jürgens, and V. Ploshikhin, "Simulation and validation of air flow and heat transfer in an autoclave process for definition of thermal boundary conditions during curing of composite parts," *Journal of Composite Materials*, DOI: 10.1177/0021998317729210, 2017.
- [3] M. Hudek, M. Shewfelt, and R. M. Shead, Eds., *Examination of heat transfer in autoclaves*: SAMPE, 2001.
- [4] A. A. Johnston, "An integrated model of the development of process-induced deformation in autoclave processing of composite structures," Dissertation, The University of British Columbia, Vancouver, Canada, 1997.
- [5] X. Zeng and J. Raghavan, "Role of tool-part interaction in process-induced warpage of autoclave-manufactured composite structures," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 41, no. 9, pp. 1174–1183, 2010.
- [6] *ANSYS CFX 17.0*: ANSYS, Inc., 2015.
- [7] *ANSYS ICEM CFD 17.0*: ANSYS, Inc., 2015.
- [8] A. Arafath, N. Slesinger, T. Shimizu, and A. Poursartip, "Heat Transfer Coefficient Distribution Inside an Autoclave," Edinburgh, UK, Jul. 27 2009.

Kombinierter Modellierungs- und Simulationsansatz zur Strömungsuntersuchung der Kühlschmierstoffversorgung beim Einlippentiefbohren unter Berücksichtigung der Spanbildung

Ekrem Oezkaya*, a, Dirk Schnabelb, Peter Eberhardb, Dirk Biermann
a TU Dortmund, Institut für Spanende Fertigung,
b Universität Stuttgart, Institut für Technische und Numerische Mechanik

Das Fertigungsverfahren des Einlippentiefbohrens wird in der Industrie häufig für Bohrungen mit einem großen Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis eingesetzt. Der Einsatz von Kühlschmierstoffen (KSS) hat hierbei einen großen Einfluss auf die Standzeit des Werkzeugs, die Spanbildung, den Spantransport und die Bohrungsqualität. Zur Analyse des Kühlschmierstoffs unter Berücksichtigung der Spanbildung werden in diesem Beitrag die Modellierung und Simulation mit der gitterbasierten Computational Fluid Dynamics (CFD)-Methode und mit der gekoppelten gitterfreien Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)-Methode und der Diskreten Elemente Methode (DEM) vorgestellt. Bei der CFD-Simulation zeigen die Ergebnisse, dass die Werkzeugschneiden des Einlippentiefbohrers nur unzureichend mit KSS versorgt werden und daraus resultierend nicht der gewünschte Kühleffekt erreicht wird. Mit der gekoppelten SPH/DEM-Simulation kann die transiente KSS-Strömung und die Bewegung der Späne abgebildet werden. Auch hier kann festgestellt werden, dass an den Schneidkanten eine unzureichende KSS-Versorgung stattfindet.

1 Einleitung

Die zunehmende Bauteilkomplexität, steigende Qualitätsanforderungen und die zu reduzierenden Fertigungskosten erfordern eine ständige Weiterentwicklung von Zerspanungsprozessen [1]. In diesem Zusammenhang steht insbesondere auch das Tiefbohren vor vielfältigen Herausforderungen, um angepasste Werkzeuge und Prozessbedingungen für eine sichere Prozessführung zu gewährleisten. Gerade die technologische Optimierung der Tiefbohrverfahren stellt ein hohes ökonomisches Interesse dar, da für diese Bearbeitung ein hoher industrieller Hauptzeitanteil anfällt [2].

1.1 Einlippentiefbohren

Das Einlippentiefbohren ist ein Verfahren, um Bohrungen mit kleinen Durchmessern und einem hohen Verhältnis von Bohrtiefe zu Durchmesser zu fertigen und wird in verschiedenen industriellen Anwendungsgebieten genutzt, wie zum Beispiel in der Automobil-, Medizin- und Biomedizintechnik. Beim Einlippentiefbohren kann im Vergleich zu symmetrischen Bohrwerkzeugen meistens eine höhere Bohrungsgüte erreicht werden, wobei die erreichbaren Vorschubgeschwindigkeiten jedoch geringer sind [3]. Neben den Schnittparametern, der Bearbeitungsmaschine, dem Werkzeug und dem Werkstück zählt der KSS zu den elementaren Einflussgrößen eines Tiefbohrprozesses [4]. Die Strategien der KSS-Versorgung basieren größtenteils auf empirischen Erkenntnissen, so dass der KSS-Druck und der Volumenstrom häufig zu hoch eingestellt sind, was wiederum zu einem unnötig hohen Energie- und KSS-Verbrauch führt [5]. Um eine angemessene Prozessstabilität zu gewährleisten, wird besonders bei der Zerspanung von duktilen Werkstoffen eine hohe KSS-Versorgungsgeschwindigkeit benötigt [6]. Ein detailliertes Verständnis des Strömungsverlaufes ist notwendig, um eine ausreichende aber effiziente Kühlung zu erzielen. Auf dieser Grundlage können die Werkzeuggeometrie und die Anordnung der inneren Kühlkanäle optimiert werden [7].

1.2 CFD-Methode

Im Bereich der Zerspanungstechnik gewinnt dafür die gitterbasierte CFD-Strömungsanalyse eine immer größere Bedeutung, da sich die KSS-Strömungen und Wärmeaustauschbedingungen detailliert abbilden und thermische Effekte simulieren lassen [6]. In [7] wurde die Position des KSS-Austritts bei einem Wendelbohrer optimiert indem die Temperaturen und die erzielbare Kühlleistung mittels CFD-Simulation ermittelt wurden. Der Einfluss des Kühlkanaldurchmessers wurde in [8] untersucht, und durch Modifikation der Freiflächen eines Wendelbohrers wurden Standzeitvorteile von ca. 50% erreicht. Der Einfluss des KSS-Drucks und des Kühlkanaldurchmessers beim Wendelbohren wurde in [9] untersucht, und sowohl die Standzeit als auch die

Bohrungsqualität konnten deutlich gesteigert werden. Darüber hinaus wurde gezeigt, dass die Anwendung der CFD-Simulation von hoher Bedeutung ist, insbesondere dann wenn messtechnische Verfahren an ihre Grenzen stoßen [10]. In [11] wurde die KSS-Strömung beim Gewindebohren untersucht und durch entsprechende Modifikationen wurde eine Leistungssteigerung des Werkzeugs von ca. 36% erzielt. Eine Methode wurde in [12] vorgestellt, die es ermöglicht, das KSS-Verhalten beim Wendelbohren direkt an der Schneidzone und unter Berücksichtigung der Spanbildung zu untersuchen. Dadurch konnte das bekannte Schnittstellenproblem zwischen der Finite-Element-Methode (FEM) und der CFD gelöst werden, und auf dieser Grundlage wurde ein neuer Einblick durch die Strömungssimulation in der Spanbildungszone verwirklicht. In dem hier vorgestellten Beitrag geht es darum, den transienten Spanabtransport im limitierten Spanraumquerschnitt eines Einlippentiefbohrers und das entsprechende KSS-Verhalten zu untersuchen.

1.3 SPH/DEM-Methode

Das KSS-Verhalten während der Bearbeitung stellt jedoch beim derzeitigen Stand der Technik große Herausforderungen an die CFD-Simulation, da sich das Berechnungsgebiet ständig verändert. Das Werkzeug bewegt sich, Späne werden gebildet und abtransportiert, der KSS zugeführt und aus der Spanbildungszone abgeführt. Alle diese Aspekte sind sehr komplex und lassen sich derzeit kaum mit der gitterbasierten CFD-Simulation abbilden. Mit der gitterfreien SPH-Methode kann das Kontinuum in diskrete Elemente bzw. Partikel unterteilt werden, welche in einem bestimmten Abstand, der sogenannten Partikeldichte, voneinander platziert sind [13]. Die numerische Berechnung ist flexibel und passt sich an die aktuelle Bearbeitungssituation an. Um den transienten Spantransport in der KSS-Strömung numerisch abzubilden, wird die SPH-Methode mit der DEM gekoppelt [14]. Verschiedene Kombinationen aus gitterbasierten und gitterfreien Methoden [19, 20] wurden in den letzten Jahren für die Simulation von Fluid-Partikel Systemen vorgestellt. In [15] wurde das transiente Verhalten des KSS für einen Einlippenbohrer mit der SPH-Methode und der DEM untersucht. Es konnte unter anderem festgestellt werden, dass hinter der äußeren Schneidkante eine sehr geringe KSS-Versorgung vorliegt. Die dabei verwendete Kopplung der SPH-Methode mit der DEM basiert auf dem in [20] für die Analyse abrasiver Schädigungen verwendeten SPH-DEM-Ansatz. Dabei wurden die Schädigungsmuster verschiedener Schädigungsmodelle verglichen, und eine gute qualitative Übereinstimmung der Schädigungsmuster wurde festgestellt, wobei die qualitativen Ergebnisse sehr stark voneinander abweichen.

In dieser Studie wird ein neuer Simulationsansatz mit der CFD- und der SPH/DEM-Methode vorgestellt, mit dem die KSS-Strömung unter Berücksichtigung der Spanbildung modelliert werden kann, was beispielhaft in Abb. 1 dargestellt ist.

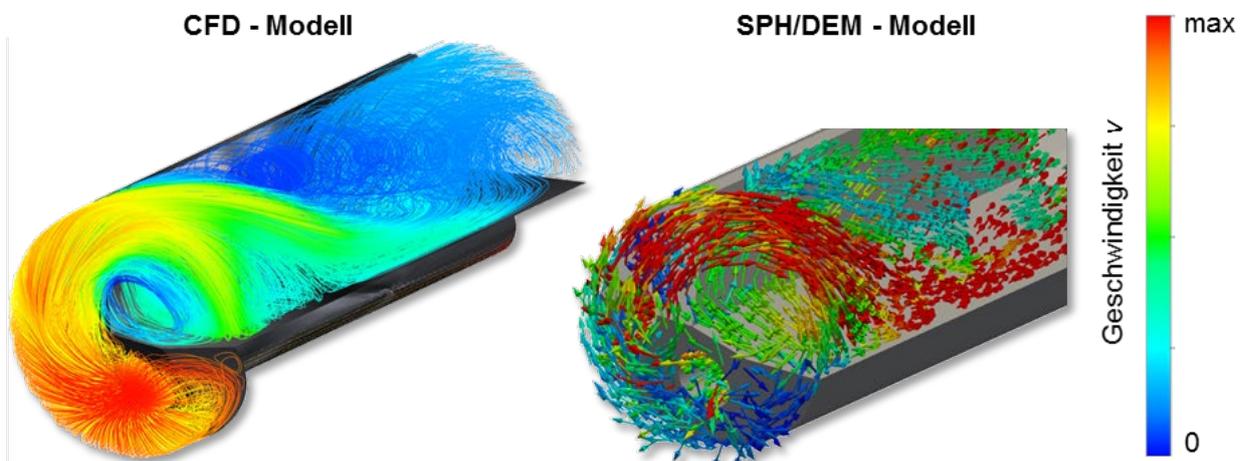


Abb. 1: CFD- und SPH/DEM-Simulationsmodell

2 CFD-Modellierung

Der Einlippentiefbohrer mit einem Werkzeugdurchmesser von $d = 2$ mm und zwei Innenkühlkanälen mit den Durchmessern $d_{IK1} = 0,50$ mm und $d_{IK2} = 0,40$ mm, das Werkstück und der Span wurden zunächst mit der CAD-Software SolidWorks modelliert. Dabei wurde das Werkzeug auf eine Simulationslänge von $l_{sim} = 5,5$ mm gekürzt, um die Rechenzeit zu minimieren. Der Öffnungswinkel der Werkzeugsicke, über die das KSS-Späne-Gemisch abgeführt wird, beträgt 120° . Für die Fluidmodellierung und die gitterbasierte CFD-Simulation wurde die Software ANSYS CFX eingesetzt. Das Werkzeugmodell und die modellierten Späne sind in Abb. 2 dargestellt.

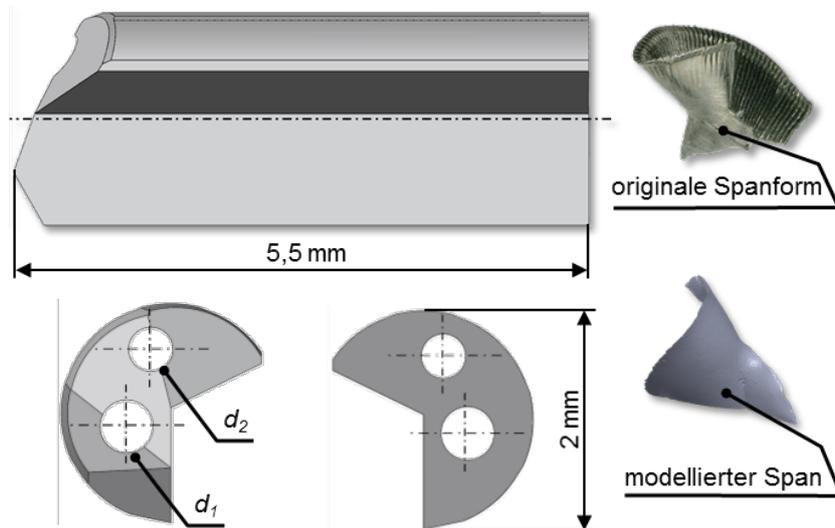
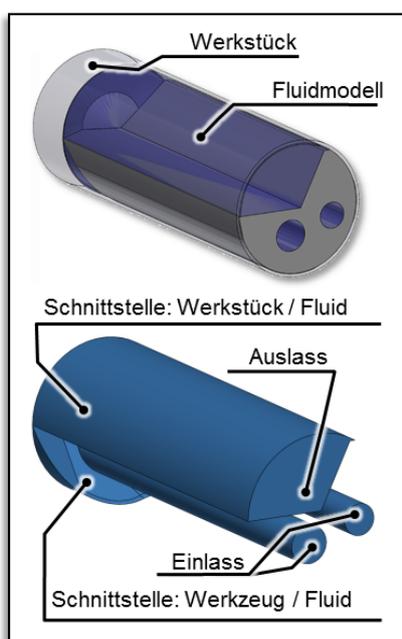


Abb. 2: Werkzeug und Spanmodell

2.1 Randbedingungen

Werkzeug-, Werkstück- und Spanmodell wurden in die ANSYS Workbench implementiert, und, basierend auf der Werkzeuggeometrie, wurde ein Fluidmodell erstellt. Das Volumenmodell, das Kontrollvolumen, der Spanfluss, die definierte Eintritts- und Austrittsumgebung und die Festlegung der Berührungsschnittstellen zwischen Werkstück/Fluid und Fluid/Werkzeug sind in Abb. 3 dargestellt. Zusätzlich sind die Randbedingungen des Simulationsmodells definiert.



Fluid	Wasser	
Temperatur	konstant	298,15 K
Einlass	Druck Durchmesser Massenstrom Durchmesser Massenstrom	23 bar $d_1 = 0,5$ mm $m_1 = 0,584$ kg/s $d_2 = 0,4$ mm $m_2 = 0,909$ kg/s
Auslass	Druck	
Schnittstelle 1: Werkstück/Fluid 2: Werkzeug/Fluid	Rauheit Rauheit	0,01 mm Glatt
Rotation	Winkelgeschwindigkeit	$\hat{\omega} = 1333,33$ rad/s
Elementzahl		ca. 25 Millionen
1. Layer der Grenzschichtvernetzung	Länge	5×10^{-7} mm
Übergangsfaktor der Grenzschichtvernetzung	Faktor	1,2
Turbulenzmodell	Typ	$k-\omega$ -SST

Abb. 3: CFD-Simulationsmodell mit Randbedingungen

2.2 Vernetzung

Die Vernetzung spielt, wie auch die korrekte Auswahl des Turbulenzmodells, eine sehr wichtige Rolle für die numerische Strömungsberechnung. Das Konvergenzverhalten und die Genauigkeit der numerischen Lösung sind stark von der Netzfeinheit und -qualität abhängig und erfordern besondere Aufmerksamkeit und Erfahrung. Die Strömung in wandnahen Bereichen erfüllt die Haftreibung. Diese Grenzschichten wurden mit einem Inflation-Layer (Erzeugung einer Primenschicht) und einer Netzwachstumsrate von 1,2 vernetzt. An bestimmten Bereichen wie z. B. den Innenkühlkanälen wurde eine lokale Netzverfeinerung gewählt. Die Spanbildung an der Schneide und die stochastisch angeordneten Späne, die über den Öffnungswinkel des Werkzeugs abtransportiert werden, zeigen eine sehr komplexe Geometrie. Um auch hier ein ausreichend feines Netz generieren zu können, wurde eine krümmungsabhängige Vernetzung gewählt. Insgesamt wurde das CFD-Modell mit ungefähr 25 Millionen tetraedrischen Elementen vernetzt, siehe Abb. 4. Entsprechend den zufriedenstellenden Untersuchungsergebnissen in [8] wurde das SST-Turbulenzmodell nach Menter [18] eingesetzt. Der dimensionslose y^+ -Wert von $y^+ = 0,3315$ bestätigt die ausreichend genaue Auflösung der Strömung, da alle Netzelemente innerhalb der vollturbulenten Grenzschichten liegen.

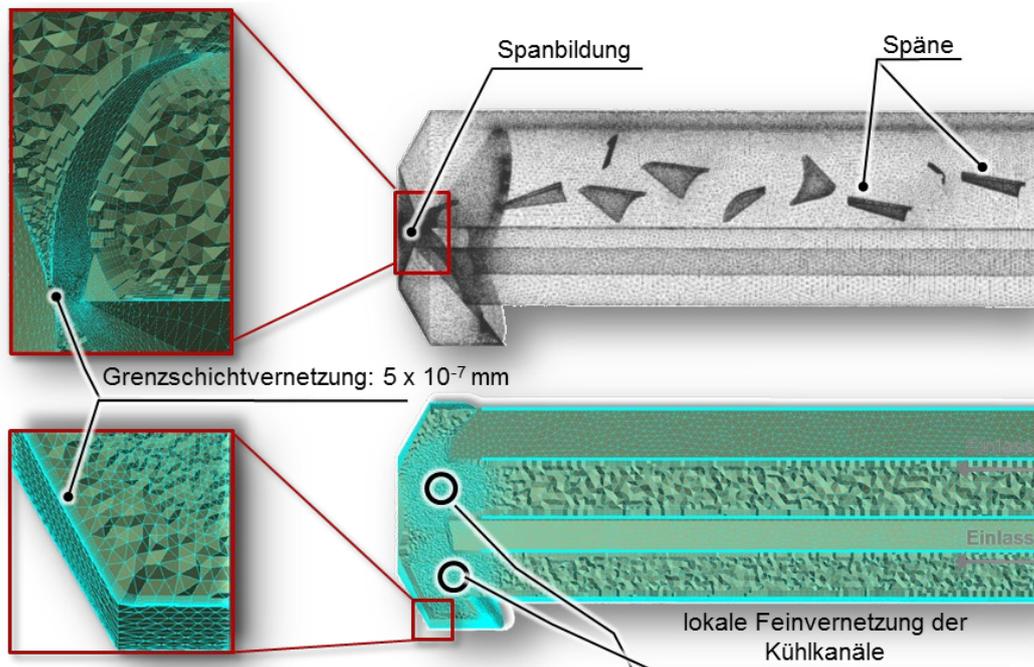


Abb. 4: Vernetzung des Fluidmodells

2.3 Wirbelbildung / Q-Kriterium

Wirbel sind Strömungen mit einer rotierenden Strömungsrichtung. Sie bilden sich in verschiedenen Größen, interagieren untereinander und resultieren in irregulären, chaotischen Strömungsverläufen. Das Q-Kriterium eignet sich neben der Prädiktor- und λ_2 -Methode für Untersuchung instationärer, wirbelbelasteter Strömungen und wird in elliptische ($Q < 0$) und hyperbolische ($Q > 0$) Bereiche eingeteilt [19]. Bei der Berechnung des Q-Kriteriums (Q_{ij}) variieren die Geschwindigkeitsgradienten langsamer als die Rotationsgradienten und strecken oder stauchen die jeweiligen Gebiete [20]. Das Q-Kriterium leitet die beiden Tensoren ab und berechnet sich mit

$$Q_{ij} = \frac{1}{4} (2S_{ij}^2 - \omega_{ij}^2). \quad (1)$$

Der Rotationstensor (S_{ij}) ergibt sich durch

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2)$$

und der Scherspannungstensor (ω_{ij}) mit

$$\omega_{ij} = \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right). \quad (3)$$

2.4 Turbulente kinetische Energie

Bei den sogenannten statischen Turbulenzmodellen ist das Ergebnis einer Strömungsberechnung meistens nur der zeitliche Mittelwert der gesuchten Größe. Die partiellen Differentialgleichungen für die Lösung inkompressibler Strömungen (laminar oder turbulent) können im Gegensatz zur kompressiblen Strömung für isotherme Systeme vereinfacht werden zu

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial^2 x_j} + \frac{1}{\rho} S_i \quad (5)$$

mit der Dichte ρ und dem Druck p . Der Wechsel von einer Stromform in eine andere wird mit der Reynolds-Zahl definiert als

$$Re = \frac{uL}{\nu}, \quad (6)$$

wobei u als die charakteristische Geschwindigkeit, L als charakteristische Länge und ν als kinematische Viskosität definiert sind. Die Gleichung 5 wird durch die Reynoldsche Mittelung zu

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial} (u_i u_j) = \frac{\partial}{\rho \partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \left(\frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij} \right) \right] - \frac{\partial p}{\rho \partial x_i} + \frac{\partial}{\rho \partial x_j} (-\rho \overline{u_i u_j}). \quad (7)$$

Durch den Reynolds-Spannungstensor $\overline{u_i u_j}$ kann die Gleichung nicht geschlossen werden, wodurch das sogenannte Schließungsproblem entsteht. Die Wirbelviskositätsmodelle lösen dieses Schließungsproblem der Turbulenz und basieren auf der Analogie zwischen den viskosen und turbulenten Spannungen die von Boussinesq formuliert wurden [40]

$$-\rho \overline{u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}, \quad (8)$$

wobei k als die turbulente kinetische Energie definiert wird durch

$$k = \frac{1}{2} \overline{u_i u_j}. \quad (9)$$

Das SST-Turbulenzmodell [41] ist ein lineares Eddy Viskosität Turbulenzmodell und verwendet für das Lösen des Schließungsproblems zwei weitere Transportgleichungen. Die Lösung für die Transportgleichungen k und w wird nachfolgend im Kapitel 2.5 beschrieben.

Weicht die Standardgeschwindigkeit vom Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit ab, entstehen Intensitäten turbulenter Fluktuationen. Damit diese ermittelt werden können, wird ein quadratischer Mittelwert, der sogenannte Root Mean Square (RMS)-Wert \acute{u} gebildet,

$$\acute{u} = \sqrt{\frac{2}{3} k}. \quad (10)$$

Die Turbulenzintensität wird definiert als

$$I = \frac{\acute{u}}{\bar{v}}. \quad (11)$$

2.5 SST-Turbulenzmodell

Die Turbulenz wird durch Modelle bestehend aus zwei Gleichungen beschrieben, welche die turbulente kinetische Energie k und die spezifische Dissipationsrate ω als Funktion von k berücksichtigen; sie stellen die charakteristischen Frequenzen der Wirbelbildung dar. Für die CFD-Simulation des Einlappenbohrers wurde das Shear Stress Transport (SST)-Turbulenzmodell angewendet, da dieses die Vorteile des k - ϵ und k - ω Modells kombiniert, sodass die Strömung im gesamten Gebiet präzise modelliert werden kann [21]. Mit der Übergangsfunktion A_1 wird der Faktor in der inneren Region zu Eins während er sich in nahe des Randes der Grenzschicht dem Wert Null nähert [22]. Die Gleichungen für k und ω sind

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho k + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j \cdot k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{k3}} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \beta^* \rho k \omega, \quad (12)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j \cdot \omega) = \alpha_3 \frac{\omega}{k} P_k - \beta_3 \rho \omega^2 + (1 - A_1) \frac{2\rho}{\sigma_{\omega 2} \omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\omega 3}} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] \quad (13)$$

mit den Gewichtungsfaktoren $\sigma_{k3}, \alpha_3, \sigma_{\omega 3}, \beta_3$, der Viskosität μ_t , einer Konstanten P_k , welche die Wirbelbildung beschreibt und der Übergangsfunktion A_1 definiert durch

$$A_1 = \tanh \left(\min \left(\max \left(\frac{\sqrt{k}}{0.09\omega y}, \frac{500v}{y^2\omega} \right), \frac{4\rho\sigma_{\omega 2}k}{CD_{k\omega}y^2} \right)^4 \right), \quad (14)$$

wobei y die Distanz zum nächsten Oberflächenpunkt beschreibt und die sogenannte Querdiffusion $CD_{k\omega}$ wie folgt definiert ist als

$$CD_{k\omega} = \max \left(\frac{2\rho}{\sigma_{\omega 2} \omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, CD_{k\omega \min} \right). \quad (15)$$

Die Konstante $CD_{k\omega \min}$ wurde auf den Wert 10^{20} festgelegt, um eine Division durch Null zu vermeiden. Die turbulente Eddy Viskosität μ_t berechnet sich als

$$\mu_t = \rho \frac{\alpha_1 k}{\max \left(\alpha_1 \omega; \frac{\partial u}{\partial y} A_2 \right)}, \quad (16)$$

wobei der Faktor α_1 die turbulente kinetische Energie skaliert und A_2 als Übergangsfunktion definiert ist

$$A_2 = \tanh \left(\max \left(2 \frac{\sqrt{k}}{0.09\omega y}, \frac{500v}{y^2\omega} \right)^2 \right). \quad (17)$$

Die Konstanten $\sigma_{k3}, \alpha_3, \sigma_{\omega 3}, \beta_3$ für das Turbulenzmodell in den Gleichungen (12) und (13) wurden als gewichtete Durchschnittswerte des k - ϵ und k - ω Modells berechnet [41,47]. Sie resultieren aus einer Linearkombination der beiden Modelle

$$\phi_3 = \phi_1 A_1 + \phi_2 (1 - A_1) \quad (18)$$

mit $\phi_m \in \{\sigma_{km}, \alpha_m, \sigma_{\omega m}, \beta_m\}$ für $1 \leq m \leq 3$. Für das SST Modell wurden die folgenden Parameter gewählt: $\beta^* = 0,09$; $\alpha_1 = 0,55$; $\beta_1 = 0,075$; $\sigma_{k1} = 2$; $\sigma_{\omega 1} = 0,5$; $\alpha_2 = 0,44$; $\beta_2 = 0,0828$; $\sigma_{k2} = 1$; $\sigma_{\omega 2} = 0,856$.

3 CFD-Simulationsergebnisse

Die CFD-Simulationsergebnisse zeigen, dass die Schneiden des Werkzeugs nicht ausreichend mit KSS versorgt sind, was an den Geschwindigkeitsverläufen an der inneren und äußeren Schneidkante ablesbar ist, siehe Abb. 5. Die Strömungsgeschwindigkeit ist zu gering, und die Wärme, die beim Zerspanungsprozess entsteht, kann durch den mangelnden Kühleffekt nicht abgeleitet werden. Die Wärme nimmt in diesem Bereich zu, da die Schneiden, die den Span entfernen, die geringste Kühlung erfahren. Zu hohen, aber nur kurz anhaltenden Turbulenzen kommt es im oberen Bereich unmittelbar zu Beginn des Sickenöffnungswinkels.

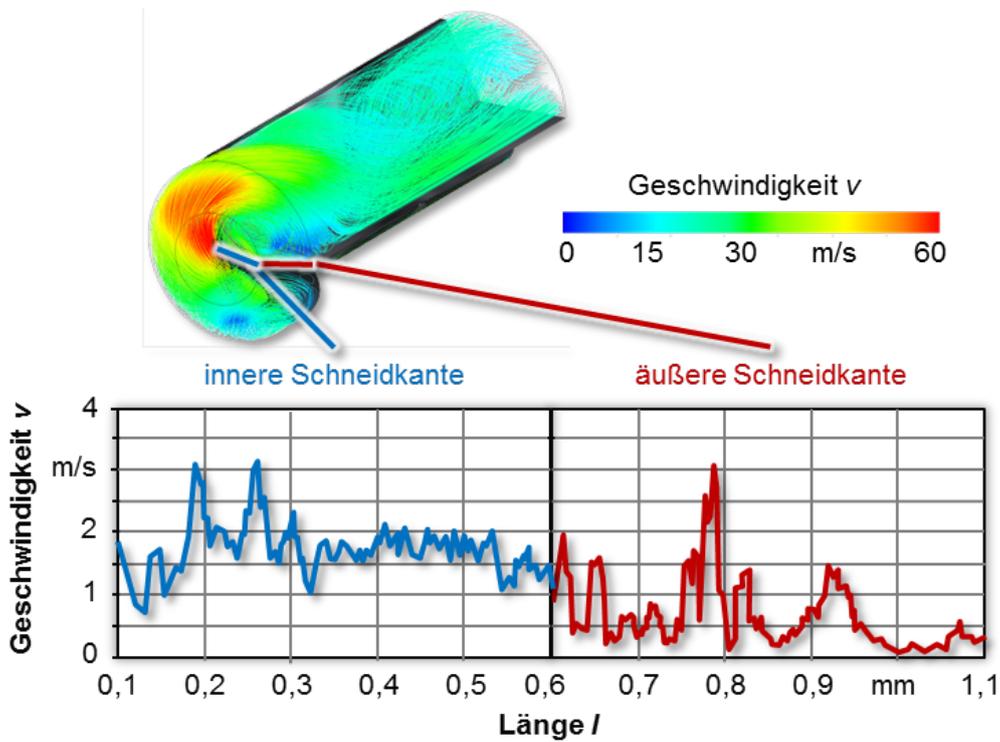


Abb. 5: Strömungsgeschwindigkeit an der inneren und äußeren Schneidkante

Für die Analyse des messtechnisch nicht messbaren Strömungsparameters wurde die kinetische Energie numerisch ermittelt. Die Abb. 6 zeigt, dass die kinetische Energie im Bereich der inneren Schneidkante sehr niedrig ist und an der äußeren Schneidkante langsam ansteigt. Diese Ergebnisse stimmen mit der Analyse der Strömungsgeschwindigkeit überein und zeigen, dass das Fluid an der inneren Schneidkante kaum bewegt wird und bedingt durch die Rotation des Werkzeugs an der äußeren Schneidkante weggedrückt wird.

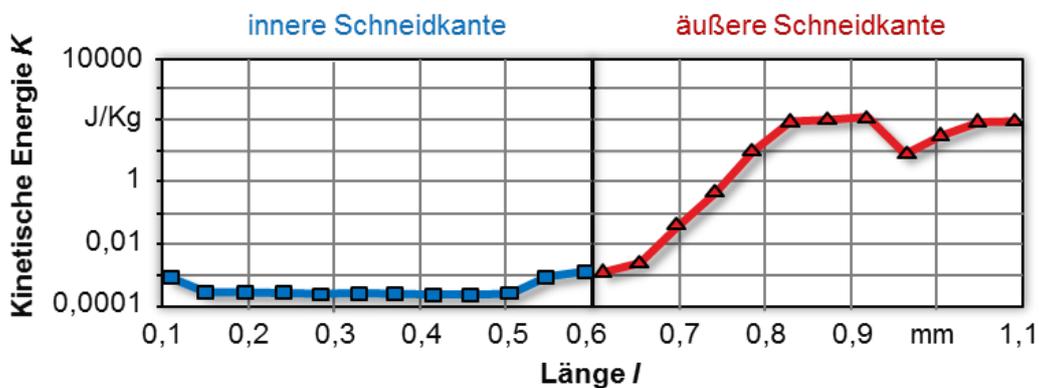


Abb. 6: Kinetische Energie entlang der Schneidkante

4 SPH/DEM-Modellierung

Um das transiente Verhalten des KSS sowie des Spanabtransports numerisch abzubilden, wird ein gekoppelter SPH-DEM Ansatz verwendet. Der KSS wird dabei mit der SPH-Methode als Newtonsches Fluid modelliert, wohingegen die Späne mit der DEM als starre Festkörper modelliert werden. Aufgrund ihres gitterfreien Charakters lassen sich große Deformationen der freien Oberflächen sowie Grenzflächen zwischen Fluid und Festkörpern automatisch abbilden [23]. Im Folgenden werden die wichtigsten Aspekte sowie die Kopplung der beiden Methoden beschrieben.

4.1 Smoothed Particle Hydrodynamics

Die SPH-Methode ist eine gitterfreie Methode zur Diskretisierung partieller Differentialgleichungen, welche sich insbesondere durch die Möglichkeit auszeichnet, die Evolution freier Oberflächen ohne Zusatzaufwand abzubilden. Ursprünglich wurde die SPH-Methode von zwei verschiedenen Gruppen [24, 25] entwickelt, die SPH-Methode wurde zur Untersuchung einer Vielzahl unterschiedlicher Probleme verwendet, wie z. B. für Fluid-Festkörper Interaktionen [16, 17], Zerspanungsprozesse [26], Laserschweißen [27], Mehrphasensysteme [28, 29] und strömungsmechanische Systeme mit großen freien Oberflächen [30, 31]. Mit der SPH-Methode lassen sich partielle Differentialgleichungen, welche zeit- und ortsabhängig sind, wie auch die Navier-Stokes Gleichungen, in gewöhnliche zeitabhängige Differentialgleichungen überführen. Die Kontinuitätsgleichung kann dargestellt werden als

$$\frac{d\rho_a}{dt} = -\rho_a \sum_b \frac{m_b}{\rho_b} \mathbf{v}_{ab} \cdot \nabla_a W_{ab}. \quad (19)$$

Dabei bezeichnen ρ_a und ρ_b die Dichte der Partikel a sowie b und m_b ist die Masse von Partikel b . Die Terme $\mathbf{v}_{ab} = \mathbf{v}_a - \mathbf{v}_b$ sowie $\mathbf{r}_{ab} = \mathbf{r}_a - \mathbf{r}_b$ beschreiben die Relativgeschwindigkeit bzw. den Abstand der Partikel und der Term $\nabla_a W_{ab} = \nabla_a W(\mathbf{r}_{ab}, h)$ ist der Gradient der SPH-Kernelfunktion $W(\mathbf{r}_{ab}, h)$ mit der Glättungslänge h . Für die Simulationen in dieser Studie wird der Druck p_a eines SPH-Partikels a über die in [32] präsentierte isotherme Zustandsgleichung

$$p_a = \frac{\rho_0 c_0^2}{\gamma} \left[\left(\frac{\rho_a}{\rho_0} \right)^\gamma - 1 \right] + p_B \quad (20)$$

berechnet. Dabei bezeichnet ρ_0 die Referenzdichte des betrachteten Fluids, γ ist ein Skalierungsparameter, der für Wasser oft den Wert 7 zugewiesen bekommt, p_B ist ein künstlicher Hintergrunddruck und c_0 beschreibt die numerische Schallgeschwindigkeit, welche so gewählt werden sollte, dass die Dichteänderung unterhalb von 1% bleibt. Die Impulsgleichung wird zu

$$\frac{d\mathbf{v}_a}{dt} = \rho_a \sum_b \frac{m_b}{\rho_b} \left(\Pi_{ab}^{\text{arti}} + \frac{\rho_b}{p_b^2} + \frac{\rho_a}{p_a^2} \right) \nabla_a W_{ab} + \Pi_a^{\text{visc}} + \mathbf{f}. \quad (21)$$

Hierbei beschreiben p_a und p_b die Drücke der Partikel a und b . Die äußeren Kräfte werden mit \mathbf{f} bezeichnet. Der Term Π_a^{visc} beschreibt die viskosen Kräfte und lässt sich nach [33] durch

$$\Pi_a^{\text{visc}} = \rho_a \sum_b \frac{m_b (\mu_a + \mu_b) \mathbf{r}_{ab} \cdot \nabla_a W_{ab}}{\rho_a \rho_b (\|\mathbf{r}_{ab}\|^2 + 0.01 h^2)} \cdot \mathbf{v}_{ab} \quad (22)$$

berechnen mit der dynamischen Viskosität μ_a beziehungsweise μ_b . Zusätzlich zu der dynamischen Viskosität wird ein numerischer Dämpfungsterm eingeführt, um die Simulationen zu stabilisieren. Dieser berechnet sich nach [34] zu

$$\Pi_{ab}^{\text{arti}} = \begin{cases} \frac{-0.5\alpha(c_a + c_b)\mu_{ab} + \beta\mu_{ab}^2}{0.5(\rho_a + \rho_b)} & \text{für } \mathbf{v}_{ab} \cdot \mathbf{r}_{ab} < 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (23)$$

mit empirischen Parametern α und β sowie den Schallgeschwindigkeiten c_a und c_b . Die künstliche Viskosität μ_{ab} berechnet sich dabei als

$$\mu_{ab} = \frac{h \mathbf{v}_{ab} \cdot \mathbf{r}_{ab}}{\|\mathbf{r}_{ab}\|^2 + 0.01 h^2}. \quad (24)$$

Für eine bessere Approximationsgüte insbesondere nahe der freien Oberflächen und in Randnähe werden, wie in [35] vorgeschlagen, die Kernel Gradienten korrigiert. Für die korrigierten Kernel Gradienten $\tilde{\nabla}W_{ab}$ gilt dabei

$$\tilde{\nabla}W_{ab} = \left(\sum_b \frac{m_b}{\rho_b} \nabla W_{ab} \otimes \mathbf{r}_{ab} \right)^{-1} \nabla W_{ab}. \quad (25)$$

Aufgrund der komplexen Bohrergeometrie werden die Ränder mit repulsiven Dreiecksnetzen beschrieben. Die repulsive Kraft wird durch ein modifiziertes Lennard-Jones Potential beschrieben und berechnet sich zu

$$\mathbf{F}^{\text{MLJ}}(\mathbf{r}_{ad}) = \begin{cases} \psi \frac{\mathbf{r}_{ad}}{\|\mathbf{r}_{ad}\|} \frac{(R - \|\mathbf{r}_{ad}\|)^4 - (R - s)^2 (R - \|\mathbf{r}_{ad}\|)^2}{R^2 s (2R - s)} & \text{für } \|\mathbf{r}_{ad}\| < R \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (26)$$

mit der maximalen repulsiven Kraft ψ , dem Abstand \mathbf{r}_{ad} des Partikels zu dem repulsiven Dreieck und dem maximalen Dreiecksabstand R , für den die Partikel eine Kraft erfahren. Der Parameter s beschreibt den Abstand, bei dem die Kraft \mathbf{F}^{MLJ} von repulsiv zu attraktiv umschlägt.

4.2 Diskrete Elemente Methode

Für die Beschreibung starrer Festkörper wird die Methode der Diskreten Elemente [36] verwendet. Basierend auf den Newton-Euler Gleichungen [37] und geeigneten Kontaktgesetzen [38], ergibt sich die Bewegung der DEM-Partikel durch Integration der Bewegungsgleichungen. Sei I_i der Trägheitstensor eines einzelnen Festkörper Partikels i mit der Masse m_i und bezeichnen \mathbf{f}_i und \mathbf{t}_i die auf Partikel i wirkenden Kräfte und Momente, dann erhält man die Bewegungsgleichungen

$$m_i \mathbf{a}_i = \mathbf{f}_i \quad (27)$$

$$I_i \dot{\boldsymbol{\omega}}_i + \boldsymbol{\omega}_i \times I_i \mathbf{a}_i = \mathbf{t}_i. \quad (28)$$

Hierbei bezeichnet \mathbf{a}_i die translatorische Beschleunigung und $\boldsymbol{\omega}_i$ die Winkelgeschwindigkeit. Kontakte können auf verschiedene Art und Weise modelliert werden [38]. Für die Kontaktberechnung der Festkörper wird in dieser Studie ein Hertz-Kontakt [39] verwendet. Dabei sind R_i und R_j die Radien zweier in Kontakt stehender DEM-Partikel, o_{ij} die Partikelüberlappung, E_i und E_j die Elastizitätsmoduln sowie ν_i und ν_j die Querkontraktionszahlen. Dann berechnet sich die Kontaktkraft F_{ij} in Normalenrichtung zwischen den Partikeln i und j zu

$$F_{ij} = K_{ij} o_{ij}^{\frac{3}{2}} + D \dot{o}_{ij} \quad (29)$$

mit der Dämpfungskonstante D und der Abkürzung

$$K_{ij} = \frac{4}{3\pi(k_i + k_j)} \left(\frac{R_i R_j}{R_i + R_j} \right) \quad \text{mit} \quad k_i = \frac{1 - \nu_i^2}{\pi E_i}. \quad (30)$$

4.3 Wechselwirkungen

Für die Kopplung von SPH-Partikeln mit einzelnen DEM-Partikeln wird der in [40] vorgestellte Ansatz verwendet. Basierend auf den strömungsmechanischen Zuständen des Fluids werden dabei zunächst der Auftrieb $\mathbf{f}_i^{\text{buoyancy}}$, die Scherkräfte $\mathbf{f}_i^{\text{shear}}$ sowie der Strömungswiderstand $\mathbf{f}_i^{\text{drag}}$ für alle DEM-Partikel berechnet, d. h. die vom umgebenden Fluid auf das DEM-Partikel i ausgeübte Kraft $\mathbf{f}_i^{\text{DEM}}$ setzt sich zusammen aus

$$\mathbf{f}_i^{\text{DEM}} = \mathbf{f}_i^{\text{buoyancy}} + \mathbf{f}_i^{\text{shear}} + \mathbf{f}_i^{\text{drag}}. \quad (31)$$

Die Berechnung des Auftriebs und der Scherkräfte basiert auf der SPH-Approximation der Navier-Stokes Impulsgleichung, d.h.

$$\mathbf{f}_i^{\text{buoyancy}} + \mathbf{f}_i^{\text{shear}} = \frac{1}{\sum_b \frac{m_b}{\rho_b} W_{ib}} \sum_b m_b \boldsymbol{\theta}_b W_{ib} \quad (32)$$

mit

$$\Theta_b = \sum_c m_c \left(\frac{\rho_b}{p_b^2} + \frac{\rho_c}{p_c^2} + \Pi_{bc}^{\text{arti}} \right) \nabla_b W_{bc} + \Pi_b^{\text{visc}}. \quad (33)$$

Für die Berechnung des Strömungswiderstands existiert eine Vielzahl empirischer Formeln gültig für unterschiedliche Reynolds-Zahlen. Für die Simulationen in dieser Arbeit wird der in [41] vorgestellte Ansatz verwendet. Seien ρ_f , μ_f und v_f die Dichte, die Viskosität und die Geschwindigkeit des Fluids sowie d_i und v_i der Durchmesser und die Geschwindigkeit des DEM-Partikels i , dann ist die Partikel-Reynolds-Zahl definiert als

$$\text{Re}_i = \rho_f \|v_f - v_i\| \frac{d_i}{\mu_f} \quad (34)$$

und der Strömungswiderstand f_i^{drag} für Partikel i berechnet sich nach [41, 42] zu

$$f_i^{\text{drag}} = \frac{\pi}{4} d_i^2 \rho_f \|v_f - v_i\| (v_f - v_i) (1.84 \text{Re}_i^{-0.31} + 0.293 \text{Re}_i^{0.06})^{3.45}. \quad (35)$$

Wurden die Fluidkräfte für alle DEM-Partikel berechnet, so lassen sich die Kräfte f_i^{SPH} der Festkörperpartikel auf ein SPH-Partikel a als gewichtete Mittelwerte der Fluidkräfte f_i^{DEM} in Kontakt stehender DEM-Partikel berechnen, d.h.

$$f_a^{\text{SPH}} = -\frac{m_a}{\rho_a} \sum_i \frac{1}{\sum_b \frac{m_b}{\rho_b} W_{ib}} f_i^{\text{DEM}} W_{ai}. \quad (36)$$

Die Multiplikation mit dem Inversen der inneren Summe $\sum_b \frac{m_b}{\rho_b} W_{ib}$ ist notwendig, um Newtons drittes Gesetz nicht zu verletzen. Damit im Falle von SPH Wechselwirkungen mit Multisphären unphysikalische Fluidpenetrationen verhindert werden, wird zusätzlich das modifizierte Lennard-Jones Potential für SPH-DEM-Kontakte berechnet. Damit erhält man die erweiterte SPH-Impulsgleichung

$$\frac{dv_a}{dt} = \rho_a \sum_b \frac{m_b}{\rho_b} \left(\Pi_{ab}^{\text{arti}} + \frac{\rho_b}{p_b^2} + \frac{\rho_a}{p_a^2} \right) \nabla_a W_{ab} + \Pi_a^{\text{visc}} + f + f_a^{\text{SPH}} + \sum_i F^{\text{MLJ}}(r_{ai}) \quad (37)$$

sowie die erweiterte DEM-Impulsgleichung

$$m_i a_i = f_i + f_i^{\text{DEM}} + \sum_a F^{\text{MLJ}}(r_{ia}). \quad (38)$$

5 SPH/DEM-Simulationsergebnisse

Im Folgenden wird die gekoppelte SPH-DEM-Formulierung für die transiente Simulation von Bohrprozessen eingesetzt. Im ersten Simulationsszenario wird die Zufuhr des Kühlschmierstoffs beim Tiefbohren mit einem Einlippenbohrer modelliert. Dieses System demonstriert die Fähigkeit der SPH-Methode die Evolution freier Oberflächen, welche starke Deformation und Änderungen der Topologie erfahren, ohne Zusatzaufwand abzubilden. Daraufhin wird die SPH-DEM-Methode auf dasselbe Modell angewendet, jedoch mit zusätzlichen Festkörper-Partikeln, welche durch das KSS transportiert werden. Zunächst werden dem KSS kleine kugelförmige Tracerpartikel hinzugefügt und abschließend wird der Abtransport von spanartigen Multisphären simuliert.

5.1 SPH-Simulation des Kühlschmierstoffs

Im Folgenden wird das transiente Strömungsverhalten des KSS mit der SPH-Methode untersucht. Dies stellt ein herausforderndes Beispiel für die Demonstration der Fähigkeiten im Umgang mit freien Oberflächen dar. Die durchschnittliche Einströmgeschwindigkeit $v_{in} = 61.6 \text{ m/s}$ der gitterbasierten CFD-Simulation wird verwendet für die Partikelinitialisierung. Die Partikel werden in einem kartesischen Muster mit einem Partikelabstand von $5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$, bei einer Glättungslänge von $7,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ erzeugt. Die Ergebnisse der CFD-Simulationen zeigen, dass Geschwindigkeiten von über 100 m/s zu erwarten sind. Um die Dichtefluktuation unterhalb von 1% zu halten, wird deshalb die künstliche Schallgeschwindigkeit erheblich größer zu $c_s = 1400 \text{ m/s}$ gewählt. Bei einem vorgegebenen Einströmdruck von 23 bar haben die neu erzeugten Partikel eine Anfangsdichte von

1001,17 kg/m³. Im Vergleich zu 25 Millionen Elementen der gitterbasierten CFD-Simulation, scheint eine halbe Million SPH-Partikel zunächst vergleichsweise grob. Dies ist jedoch der Tatsache geschuldet, dass die maximale Zeitschrittweite durch die Courant-Friedrich-Levy Bedingung beschränkt ist, d.h.

$$\Delta t_{\text{CFL}} = \alpha \frac{h}{c_s} \tag{39}$$

Dies führt zu Zeitschrittweiten kleiner als $5,4 \cdot 10^{-8}$ s und insgesamt mehr als 120.000 Zeitschritten für 2,5 ms einer SPH-Simulation. Abb. 7 zeigt, dass die Ergebnisse der SPH-Simulation des KSS qualitativ gut mit den Ergebnissen der CFD-Simulation übereinstimmen. Wie bei der CFD-Simulation ist eine deutliche Verwirbelung im V-Kanal nahe des Bohrgrundes sowie eine Geschwindigkeitssenke nahe der äußeren Schneidkante zu erkennen. Darüber hinaus zeigen die Simulationsergebnisse beider Methoden einen starken Druckanstieg im Bohrgrund.

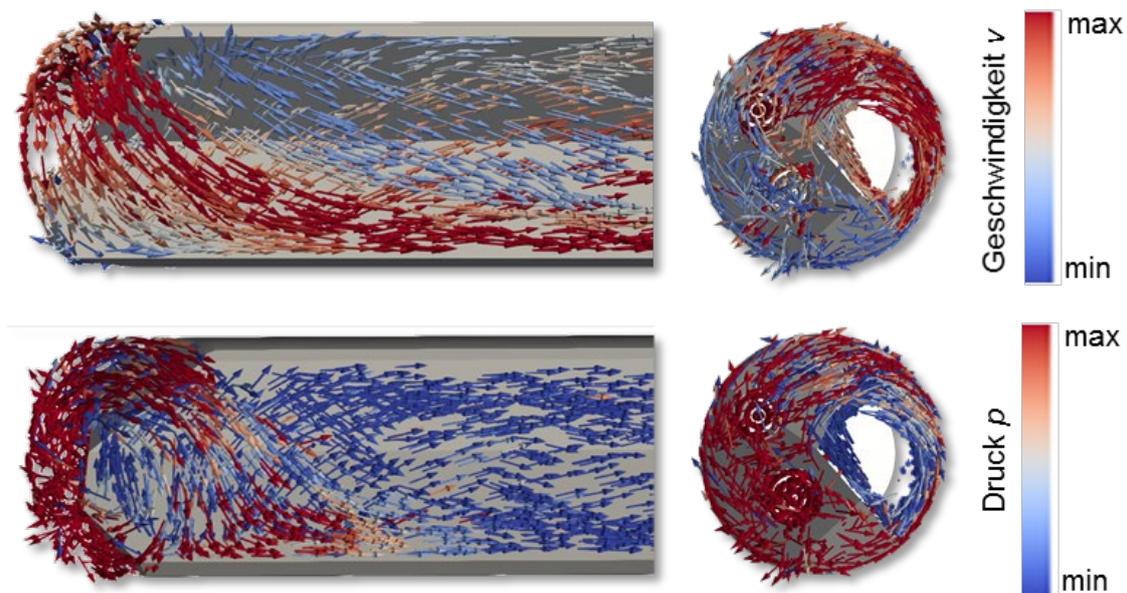


Abb. 7: Geschwindigkeits- und Druckfeld des KSS zum Zeitpunkt 2,3 ms

5.2 SPH-Simulation des Kühlschmierstoffs mit DEM-Tracerpartikel

Durch die Hinzunahme von kugelförmigen DEM-Partikeln wird im Folgenden einerseits die Geschwindigkeitssenke an der äußeren Schneidkante verdeutlicht und andererseits der gekoppelte SPH-DEM-Ansatz untersucht. Mit Ausnahme der DEM-Tracerpartikel gibt es keine modellspezifischen Unterschiede zu dem vorangegangenen Simulationsmodell. Der Radius der DEM-Tracerpartikel beträgt $1,25 \cdot 10^{-5}$ m und entspricht damit einem Sechstel der SPH-Glättungslänge. Abb. 8 zeigt, dass ein Großteil der DEM-Tracerpartikel unmittelbar nach dem Verlassen der Kühlschmierstoffkanäle, durch das KSS aus der Bohrung gespült wird. Ein Teil der Tracerpartikel jedoch wird zur äußeren Schneidkante getrieben und folgt dieser für den Rest der Simulationsdauer. In Abb. 8 werden diese gelb mit rot gefärbten Geschwindigkeitsvektoren dargestellt. Dieses Ergebnis bestätigt die Hypothese der Geschwindigkeitssenke hinter der äußeren Schneidkante und lässt auf großes Potential für die Optimierung der Bohrergerometrie schließen.

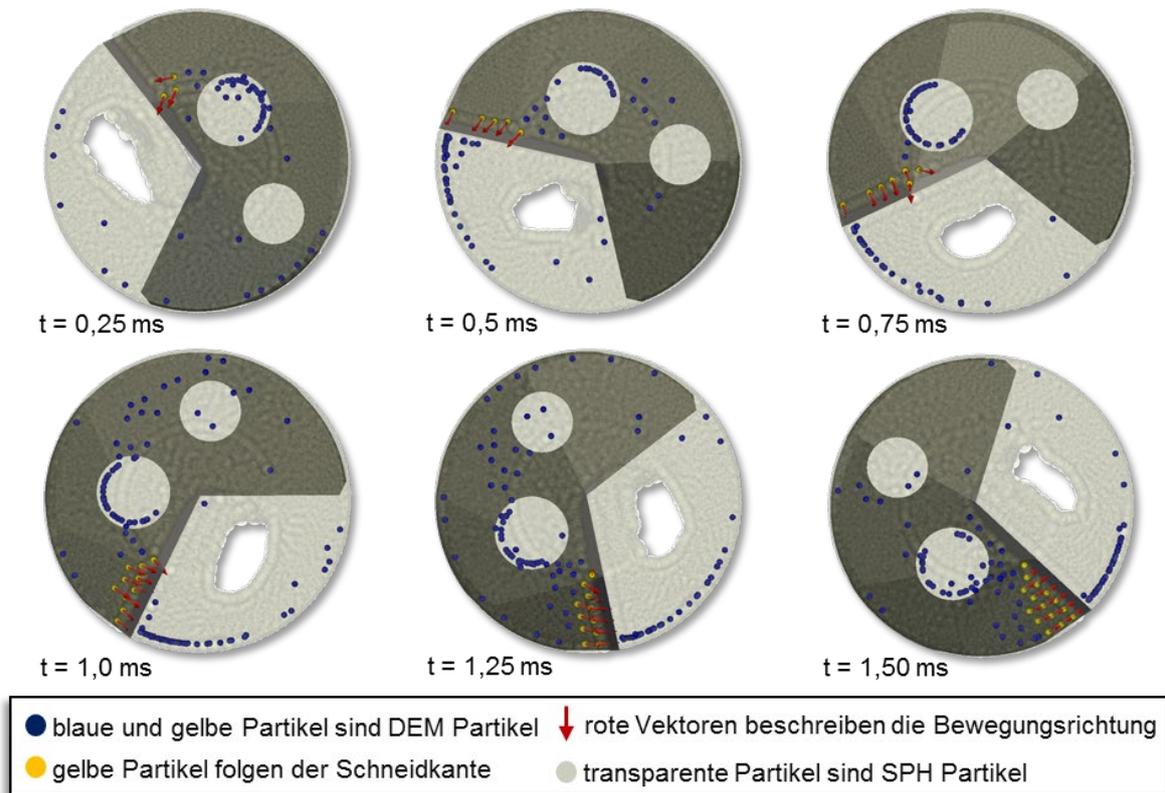


Abb. 8: SPH-Simulation des KSS mit DEM-Tracerpartikel

5.3 SPH-Simulation des Kühlschmierstoffs mit Spanabtransport

Als abschließende Partikelsimulation in dieser Studie wird der Abtransport stochastisch verteilter Späne im V-Kanal untersucht. Im Gegensatz zu den vorherigen Partikel Simulationen wird in diesem Modell die KSS-Versorgung nicht von Beginn der KSS-Zufuhr simuliert. Stattdessen wird die Fluidverteilung der vorangegangenen Simulation zum Zeitpunkt 2,3ms als Anfangszustand verwendet. Dafür ist es jedoch notwendig, vor Beginn der Simulation die SPH-Partikel aus der Simulation zu entfernen, welche ansonsten innerhalb der Span Multisphären liegen würden. Darüber hinaus wird die Geschwindigkeit der Späne mit den gemittelten Geschwindigkeiten der aus der Simulation entfernten SPH-Partikel initialisiert. Abb. 9 zeigt den transienten Abtransport der stochastisch verteilten Späne im V-Kanal des Einlippentiefbohrers. Aufgrund der am Bohrgrund herrschenden starken Verwirbelung werden die Späne, welche sich in unmittelbarer Nähe des Bohrgrunds befinden, nur sehr langsam abtransportiert. Erst mit zunehmender Entfernung vom Bohrgrund verbessert sich der Spanabtransport.

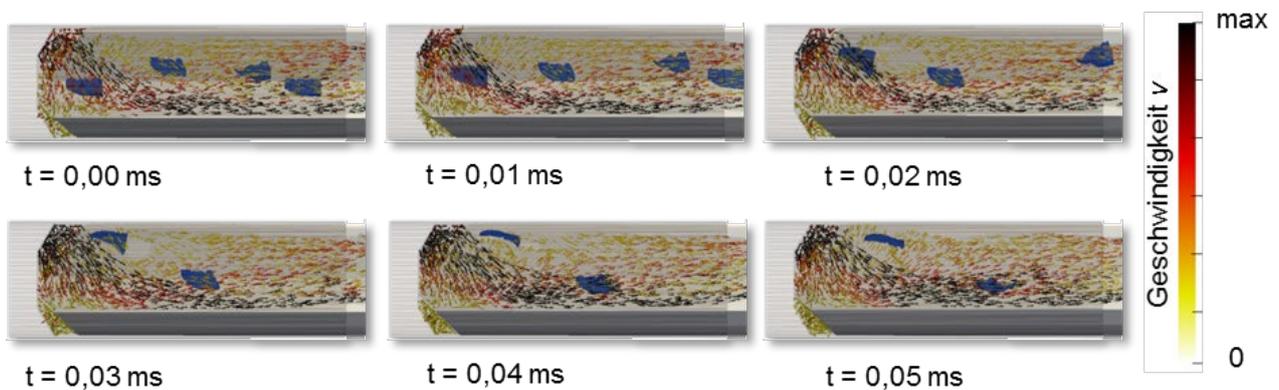


Abb. 9: SPH-Simulation des Spanabtransports

6 Ansatz und Vorüberlegung für die Fluid-Struktur-Wechselwirkungen

Mit der Fluid-Struktur-Wechselwirkung (FSI)-Simulation können die Wechselwirkungen zwischen den Spänen und der KSS-Strömung analysiert werden. Dabei müssen die FEM- und die CFD-Simulation miteinander gekoppelt werden. Die Spanbildung ist insbesondere beim Tiefbohren von hoher Bedeutung, da die Spanform die Qualität der Abfuhr des KSS-Späne-Gemisches beeinflusst. Die hier vorgestellte neue Modellierungsmethode bietet einen guten Ansatz für zukünftig geplante FSI-Simulationen, in welcher der Zusammenhang zwischen Spangeometrie und Spantransport untersucht werden kann. Als Eingangsgrößen müssen die Kraft- und Drehmomentwerte, welche auf die Späne wirken, bestimmt werden, siehe Abb. 10.

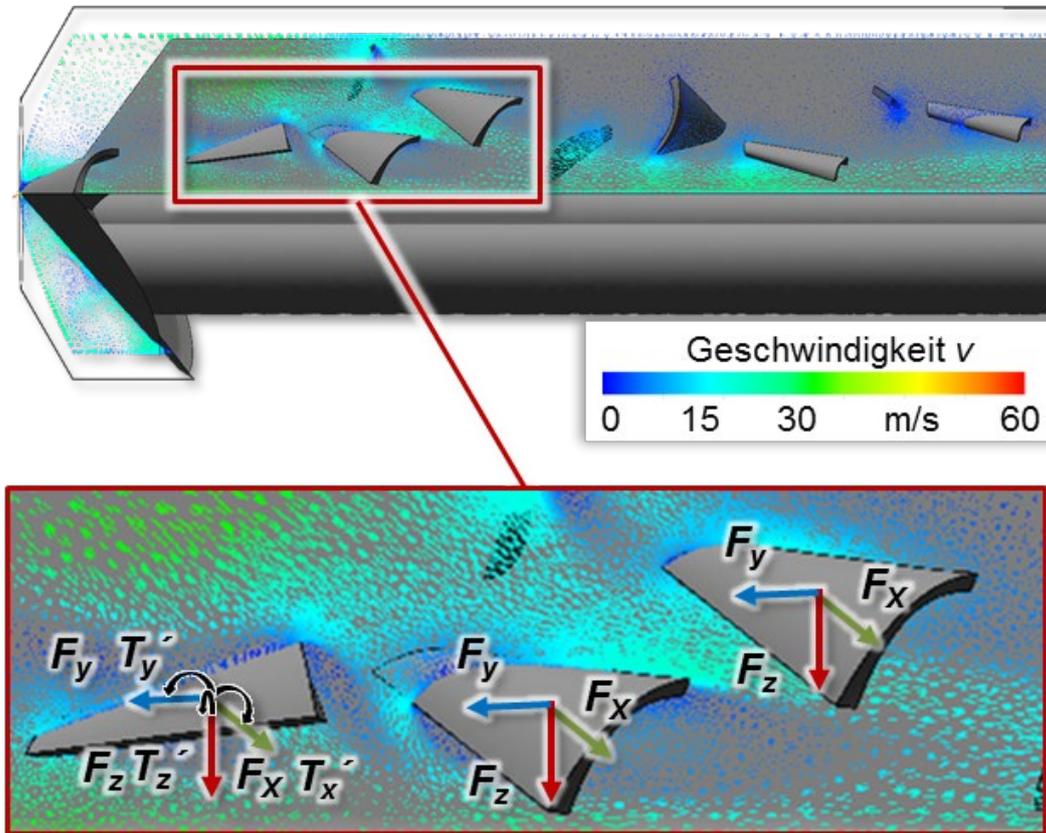


Abb. 10: Kräfteinwirkung auf die Späne

Die Summe der Kraft F auf den jeweiligen Span berechnet sich aus der Masse m und der Beschleunigung a , wobei diese aus der Geschwindigkeitsänderung abgeleitet werden kann

$$\sum F = ma = m \frac{dv}{dt}; \quad \frac{dx}{dt} = v. \quad (40)$$

Die jeweiligen Drehmomente M_t werden in allen drei Raumrichtungen x , y und z wie folgt berechnet

$$\begin{aligned} \sum M_{tx'} &= I_{x'} \frac{d\omega_{x'}}{dt} - \omega_{y'} \omega_{z'} (I_{y'} - I_{z'}), \\ \sum M_{ty'} &= I_{y'} \frac{d\omega_{y'}}{dt} - \omega_{z'} \omega_{x'} (I_{z'} - I_{x'}), \\ \sum M_{tz'} &= I_{z'} \frac{d\omega_{z'}}{dt} - \omega_{x'} \omega_{y'} (I_{x'} - I_{y'}), \end{aligned} \quad (41)$$

wobei $I_{x'}$, $I_{y'}$, $I_{z'}$ die Trägheitsmomente, $\omega_{x'}$, $\omega_{y'}$, $\omega_{z'}$ die Winkelgeschwindigkeiten und $\frac{d\omega_{x'}}{dt}$, $\frac{d\omega_{y'}}{dt}$, $\frac{d\omega_{z'}}{dt}$ die zeitliche Ableitung der Winkelgeschwindigkeiten sind. Auf dieser Basis können mittels der FSI-Simulation die neuen Positionen der Späne in Abhängigkeit der KSS-Bewegung und -Geschwindigkeit berechnet werden.

Durch einen modifizierten Anschliff der Werkzeugschneide kann die resultierende Spanform beeinflusst werden, wie in vergangenen Studien gezeigt wurde [8]. Ein entsprechender experimentell durchgeführter Versuch ist in Abb. 11 dargestellt.

Werkstoff:	Inconel 718	Schnittges.:	$v_c = 30 \text{ m/min}$
Werkzeug:	ELB $\varnothing 2 \text{ mm}$	Vorschub:	$f = 5 \mu\text{m}$
KSS:	Tiefbohröl	KSS-Druck:	$p_{\text{KSS}} = 170 \text{ bar}$

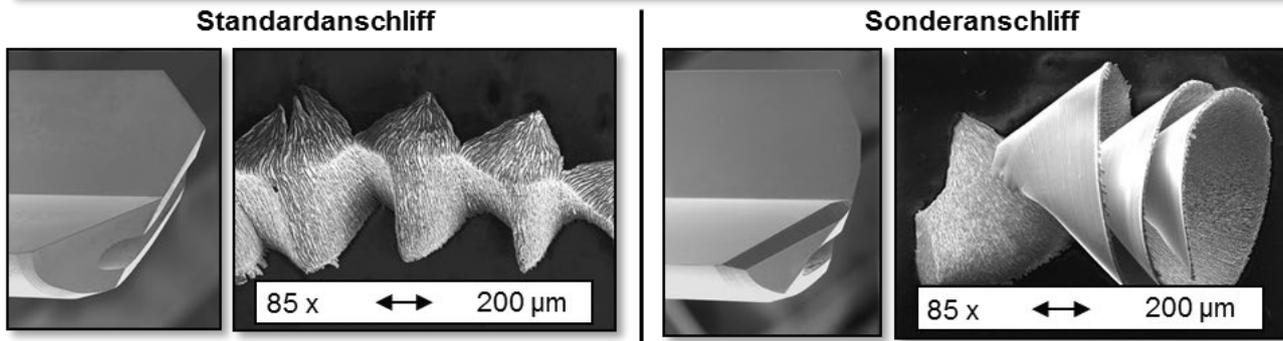


Abb. 11: Modifizierte Spangeometrie durch Sonderanschliff

Eine vergrößerte Oberfläche der Späne führt bei gleichen KSS-Parametern voraussichtlich zu einem verbesserten Strömungsverhalten des KSS-Späne-Gemisches, da eine entsprechend größere Kraft auf die Späne wirkt. Der vorgestellte Ansatz erlaubt die Untersuchung des Spantransports in Abhängigkeit der Spangeometrie, so dass gezielte Modifikationen an der Werkzeugschneide des Einlippentiefbohrers zur Veränderung der Spanform und damit zu einer Verbesserung des Spantransportes vorgenommen werden können.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein gekoppelter Simulationsansatz zur Analyse des KSS unter Berücksichtigung der transienten Spanbildung beim Einlippentiefbohren vorgestellt. Zum einen wurden die CFD-Simulation und zum anderen die gekoppelte SPH/DEM-Simulation für die numerische Abbildung des Strömungsverhaltens mit stochastischer Spananordnung durchgeführt und die Ergebnisse analysiert. Da die experimentelle Messung der KSS-Strömung äußerst schwierig und nur mit sehr viel Aufwand betrieben werden kann, stellen die Ergebnisse noch keine ausreichende Validierung dar. Dennoch können die Ergebnisse durchaus als qualitativ sinnvoll angesehen werden, da sich mit beiden Simulationsmethoden eine identische Strömungscharakteristik vorhersagen lässt, siehe Abb. 12. Die Schneiden des Einlippentiefbohrers wurden mit dem KSS kaum versorgt, was zu einer vermehrten Wärmeentwicklung und zur Minderung der Standzeit führt. Die Kombination der beiden Simulationsmethoden ist ein interessanter und vielversprechender Ansatz, der zu einem tieferen Prozessverständnis führt und die Gewinnung neuer Erkenntnisse in der Zerspanungstechnik, insbesondere beim Bohren, wo Messgeräte an ihre Grenzen stoßen, zulässt. Für zukünftige Untersuchungen, die eine Validierung zulassen, sollen die am ISF entwickelte Visualisierungs- und Analysemethodik eingesetzt und eine FSI-Simulation durchgeführt werden [43]. In diesem Zusammenhang sollen entsprechende Werkzeugmodifikationen durchgeführt und mit dem hier vorgestellten gekoppelten Simulationsansatz untersucht werden. Aufgrund der Ergebnisse ist ersichtlich, dass bezüglich der Werkzeuggeometrie noch ein großes Optimierungspotential besteht. Darüber hinaus ist geplant, bei beiden Simulationsmethoden die Wärmeübertragung, die vom KSS beeinflusst wird, zu berücksichtigen. Ebenso ist es mit dem entwickelten Simulationsansatz möglich, den Einfluss der Spangeometrie auf den Spantransport zu untersuchen und darauf basierend durch entsprechende Modifikationen die Spanabfuhr und somit die Prozessstabilität zu verbessern.

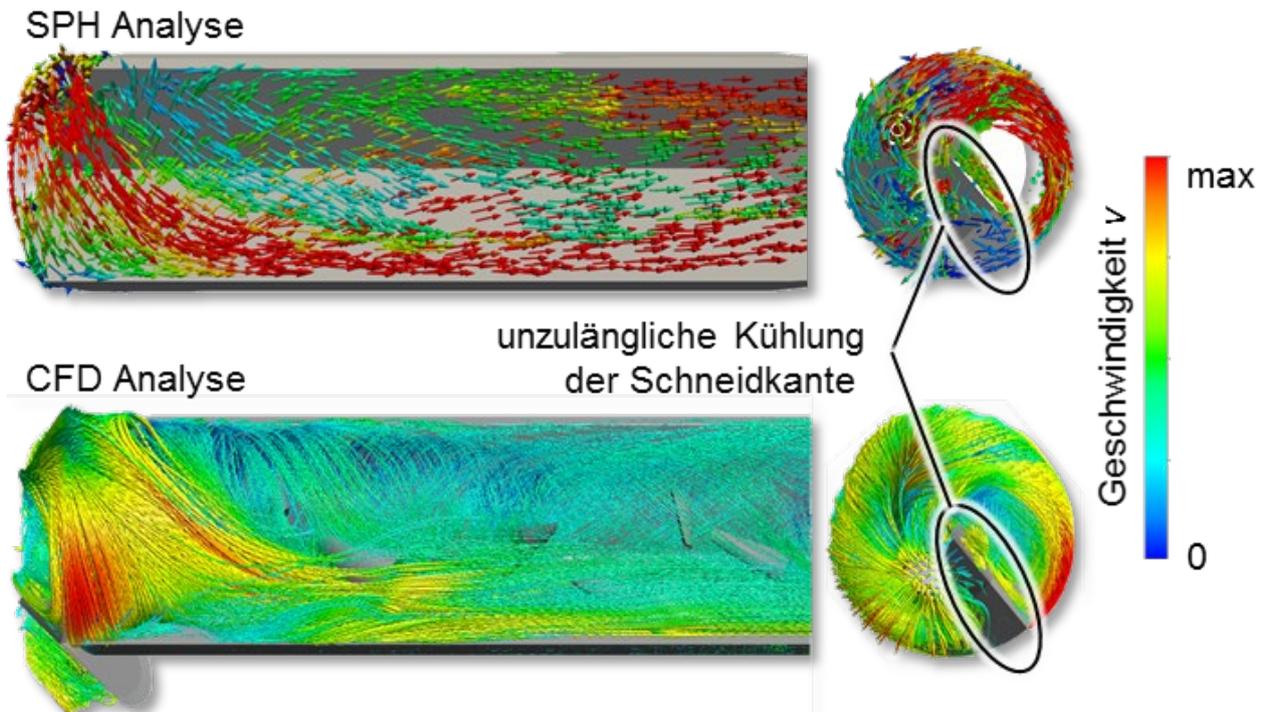


Abb. 12: Resultate der CFD und SPH-Analyse

8 Literatur

- [1] Biermann, D.; Felderhoff, F.; Heilmann, M.; Kessler, N.; Upmeyer, T.: Innovative Prozessgestaltungen für das Tiefbohren. Präzisions- und Tiefbohren aktuell, VDI-Berichte, 2142, S. 3–30, 2011.
- [2] Biermann, D.; Felderhoff, F.: Analyse von Tiefbohrverfahren zur Gussbearbeitung. ZWF, 105(1-2), S. 32–36, 2010.
- [3] Biermann, D.; Felderhoff, F.; Kullik, A.; Wenzelburger, J.: Großes Potenzial für HP-Einlippenbohrer. Werkstatt und Betrieb, 143(9), S. 60–64, 2010.
- [4] Kirschner, M.: Tiefbohren von hochfesten und schwer zerspanbaren Werkstoffen mit kleinsten Durchmessern. Dissertation, Vulkan, Essen, 2017.
- [5] Döbbeler, B.; Klocke, F.; Lung, D.: Methodology of process oriented dimensioning of cooling lubricant pressure and volume flow for increasing energy efficiency. Procedia CIRP, 29, S. 347–353, 2015.
- [6] Iovkov, I.: Technologische Analyse des Tiefbohrens mit Minimalmengenschmierung und simulationsbasierte Kompensation des Mittenverlaufs. Dissertation, Vulkan Verlag, Essen, 2016.
- [7] Fallenstein, F.; Aurich, J.C.: CFD based investigation on internal cooling of twist drills. Procedia CIRP, 14, S. 293–298, 2014.
- [8] Beer, N.; Oezkaya, E.; Biermann, D.: Drilling of Inconel 718 with geometry-modified twist drills. Procedia CIRP, 9, S. 49–55, 2014.
- [9] Oezkaya, E.; Beer, N.; Biermann, D.: Experimental studies and CFD simulation of the internal cooling conditions when drilling Inconel 718. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 108, S. 52–65, 2016.
- [10] Biermann, D.; Oezkaya, E.: Decreasing drill damage. ANSYS Advantage, XI, 1, S. 24–27, 2017.
- [11] Biermann, D.; Oezkaya, E.: CFD simulation for internal coolant channel design of tapping tools to reduce tool wear. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 66, S. 109–112, 2017.
- [12] Oezkaya, E.; Biermann, D.: Neue Einblicke durch Strömungsanalyse in der Spanbildungszone. NAFEMS, 42, S. 57–68, 2017.
- [13] Heisel, U.; Zaloga, W.; Krivoruchko, D.; Storchak, M.; Goloborodko, L.: Modelling of orthogonal cutting processes with the method of smoothed particle hydrodynamics. Production Engineering, 7(6), S. 639–645, 2013.
- [14] Cleary, P.W.: Prediction of coupled particle and fluid flows using DEM and SPH. Minerals Engineering, 73, S. 85–99, 2015.

- [15] Schnabel, D.; Eberhard, P.: SPH simulation of single-lip deep-hole drilling process. 12th International SPHERIC Workshop, Ourense, Spain, June 13–15, 2017.
- [16] Campbell, J.; Vignjevic, R.; Libersky, L.: A contact algorithm for smoothed particle hydrodynamics. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 184(1), S. 49–65, 2000.
- [17] Kulasegaram, S.; Bonet, J.; Lewis, R.W.; Profit, M.: A variational formulation based contact algorithm for rigid boundaries in two-dimensional SPH applications. *Computational Mechanics*, 33(4), S. 316–325, 2004.
- [18] Menter, F.R.; Kuntz, M.; Langtry, R.: Ten Years of industrial experience with the SST turbulence model. *American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)*, 32(8), S. 1598–1605, 1994.
- [19] Schäfer, F.: Zeitlich hochauflösende Visualisierung und Analyse dreidimensionaler Simulationsdaten turbulenter Strömungen. Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg, 2007.
- [20] Rettmeier, K.: Strömungsphänomene in Standgewässern. Shaker Verlag, Aachen, 2005.
- [21] Beer, N.: Systematische Untersuchung von Vollhartmetall-Wendelbohrern zum Bearbeiten von Inconel 718. Dissertation, Vulkan Verlag, Essen, 2016.
- [22] Hellsten, A.: Some improvements in Menter's $k-\omega$ SST turbulence model. 29th AIAA Fluid Dynamics Conference, Albuquerque, June 15–18, 1997.
- [23] Beck, F.; Eberhard, P.: Predicting abrasive wear with coupled Lagrangian methods. *Computational Particle Mechanics*, 2(1), S. 51–62, 2015.
- [24] Gingold, R.A.; Monaghan, J.J.: Smoothed particle hydrodynamics: theory and application to non-spherical stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 181(3), S. 375–389, 1977.
- [25] Lucy, L.B.: A numerical approach to the testing of the fission hypothesis. *Astronomical Journal*, 82(12), S. 1013–1024, 1990.
- [26] Spreng, F.; Eberhard, P.; Fleissner, F.: An approach for the coupled simulation of machining processes using multibody system and smoothed particle hydrodynamics algorithms. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 3(1), S. 13005, 2013
- [27] Hu, H.; Eberhard, P.: Thermomechanically coupled conduction mode laser welding simulations using smoothed particle hydrodynamics. *Computational Particle Mechanics*, 4, S. 473–486, 2017.
- [28] Colagrossi, A.; Landrini, M.: Numerical simulation of interfacial flows by smoothed particle hydrodynamics. *Journal of Computational Physics*, 191(2), S. 448–475, 2003.
- [29] Hu, X.Y.; Adams, N.A.: A multi-phase SPH method for macroscopic and mesoscopic flows. *Journal of Computational Physics*, 213(2), S. 844–861, 2006.
- [30] Monaghan, J.J.: Simulating free surface flows with SPH. *Journal of Computational Physics*, 110, S. 399–406, 1994.
- [31] Monaghan, J.J.; Kocharyan, A.: SPH simulation of multi-phase flow. *Computer Physics Communications*, 87(1-2), S. 225–235, 1995.
- [32] Murnaghan, F.D.: The compressibility of media under extreme pressures. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 30, S. 244–247, 1944.
- [33] Morris, J.P.; Fox, P.J.; Zhu, Y.: Modeling low Reynolds number incompressible flows using SPH. *Journal of Computational Physics*, 136(1), S. 214–226, 1997.
- [34] Monaghan, J.J.: Smoothed Particle Hydrodynamics. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 30(1), S. 543–574, 1992.
- [35] Bonet, J.; Lok, T.-S.L.: Variational and momentum preservation aspects of Smooth Particle Hydrodynamic formulations. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 180(1-2), S. 97–115, 1999.
- [36] Cundall, P.A.; Strack, O.D.: A discrete numerical model for granular assemblies. *Géotechnique*, 29, S. 47–65, 1979.
- [37] Schiehlen, W.; Eberhard, P.: *Applied Dynamics*. Springer, Dordrecht, 2014.
- [38] Zhu, H.P.; Zhou, Z.Y.; Yang, R.Y.; Yu, A.B.: Discrete particle simulation of particulate systems. *Chemical Engineering Science*, 62(13), S. 3378–3396, 2007.
- [39] Lankarani, H.M.; Nikravesh, P.E.: A Contact force model with hysteresis damping for impact analysis of multibody systems. *Journal of Mechanical Design*, 112(3), S. 369, 1990.
- [40] Fleissner, F.; Gaugele, T.; Eberhard, P.: Applications of the discrete element method in mechanical engineering. *Multibody System Dynamics*, 18(1), S. 81–94, 2007.
- [41] Robinson, M.; Ramaioli, M.; Luding, S.: Fluid–particle flow simulations using two-way-coupled mesoscale SPH–DEM and validation. *International Journal of Multiphase Flow*, 59, S. 121–134, 2014.
- [42] Khan, A.R.; Richardson, J.F.: The resistance to motion of a solid sphere in a fluid. *Chemical Engineering Communications*, 62(1-6), S. 135–150, 2007.
- [43] Biermann, D.; Kirschner, M.; Eberhardt, D.: A novel method for chip formation analyses in deep hole drilling with small diameters. *Production Engineering*, 8(4), S. 491–497, 2014.

Entwicklung einer Methodik zur Formoptimierung eines Seitenairbags

M.Eng Witali Aman, Dr.-Ing. Sebastian Fink
Arrk Engineering GmbH

In diesem Beitrag wird eine Methodik zur Formoptimierung von Airbags vorgestellt und exemplarisch am Beispiel eines Seitenairbags betrachtet. Nachdem die theoretischen Grundlagen, sowie das grundsätzliche Vorgehen kurz erläutert wurden, wird die Methode konkret im IIHS-Crashlastfall angewendet und anschließend werden die Ergebnisse diskutiert. Neben der Zusammenfassung werden im Ausblick zukünftige Möglichkeiten hinsichtlich zukünftiger Weiterentwicklungen gegeben.

1 Einführung

Neben neuen Fahrassistenzsystemen tragen Weiter- bzw. Neuentwicklungen von Rückhaltesystemen im Allgemeinen und Airbagsysteme im Speziellen maßgeblich dazu bei, dass die Zahl der Verkehrstoten 2017 einen neuen Tiefstand erreicht hat, vgl. [8]. Neben den Standardsystemen, wie Fahrer-/ Beifahrer-Airbag, werden stetig neue Luftkissen entwickelt. Hier seien beispielhaft das „Panorama Sunroof Airbag System [9]“ oder der „Center Airbag, vgl [7]“ genannt.

Neben den sich stetig ändernden Anforderungen an die Airbagsysteme hängen Weiter- und gerade Neuentwicklungen maßgeblich von der Expertise der beteiligten Entwickler ab. Damit das System alle Kriterien – wie z.B. die Entfaltungscharakteristik und die Rückhaltewirkung – erfüllt, sind in der Regel mehrere Entwicklungsschleifen notwendig. Um diesen iterativen Entwicklungsprozess zu optimieren und bereits in einem frühen Entwicklungsstadium aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, stellen Optimierungs-Tools ein sehr leistungsfähiges Entwicklungs-Tool dar.

Grundsätzlich werden Optimierungsprozesse durch deterministische Parameter und Randbedingungen definiert. Gerade zu Entwicklungsbeginn sind diese Parameter nicht genau bekannt, und es müssen Annahmen getroffen werden. Diese Tatsache führt wiederum zu einer hohen Anzahl von Varianten, welche die geforderten Bedingungen nicht erfüllen. Um diese Variantenvielfalt und die damit einhergehende Simulationszeit zu reduzieren, wird in diesem Beitrag die Sequential Response Surface Methode verwendet. So ist es möglich, nicht zielführende Designs frühzeitig zu identifizieren und von der weiteren Formoptimierung auszuschließen, was zu einer deutlichen Reduzierung der Simulationszeit führt.

Nachdem ein kurzer Abriss aktueller Airbagentwicklungen gegeben und die Thematik motiviert wurde, befasst sich der zweite Abschnitt mit den theoretischen Grundlagen. Eingangs wird der IIHS-Crashlastfall vorgestellt, anschließend wird der Workflow des systematischen Ansatzes skizziert, und die einzelnen Schritte werden im Anschluss ausführlicher diskutiert. Im dritten Abschnitt wird die Methodik am Beispiel des IIHS-Lastfalls getestet, und die Ergebnisse werden anschließend diskutiert. Im letzten Absatz wird neben der Zusammenfassung ein Fazit mit anschließendem Ausblick gegeben, wo mögliche Weiterentwicklungen der Methodik aufgezeigt werden.

2 Methodik zur Formoptimierung eines Airbags

Die in dieser Arbeit vorgestellte Methodik zur Formoptimierung eines Airbags wird exemplarisch am Beispiel des IIHS Seitencrashes getestet, vgl. Abb. 1.

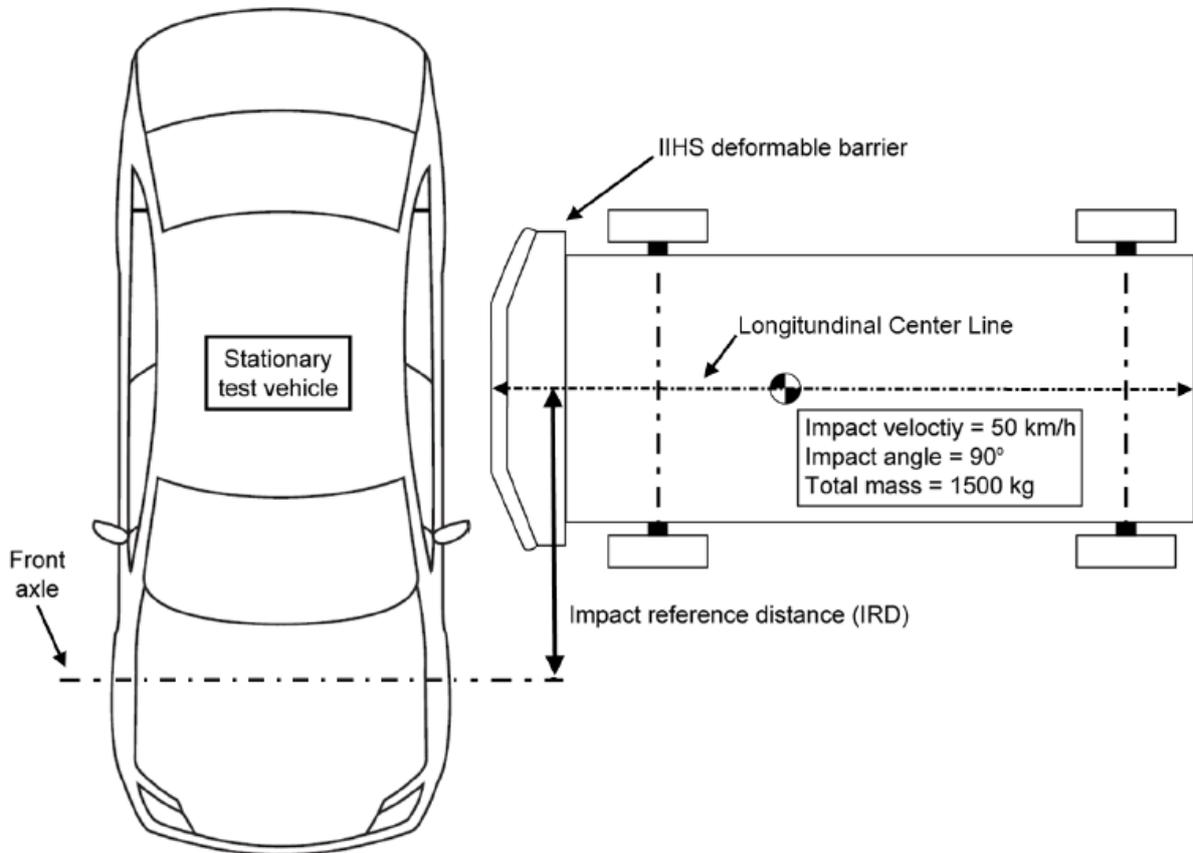


Abb. 1: Versuchsaufbau des IIHS Seitencrash [1]

Da die Performance des Seitenairbags optimiert werden soll, sind vor allem die Verletzungskriterien im Becken (Acetabulumkraft, Iliumkraft), im Thorax (Rippeneindrückung, Viscous Criterion Wert) sowie die maximale Schultereindrückung des Insassen relevant.

Ein Gesamtfahrzeugmodell, gerade vor dem Hintergrund einer Optimierungsaufgabe, ist ein sehr rechenzeitintensiver Prozess. Aus diesem Grund wurde das Gesamtmodell vor der Optimierung auf ein Teil- / Submodell reduziert, welches lediglich die Komponenten enthält, die zur Beurteilung der Seitenairbag-Performance notwendig sind. Durch die Verwendung des Teilmodells konnte die Simulationszeit für eine Rechnung von 18 Stunden auf ca. 2 Stunden reduziert werden. In Tab. 1 sind die Elementanzahl sowie die benötigte Rechenzeit des Gesamtmodells und des Submodells gegenübergestellt. Die resultierende Abweichung der relevanten Verletzungskriterien des Submodells zum Gesamtmodell liegt mit 4 % in einem vertretbaren Bereich.

Tab. 1: Vergleich der Elementanzahl und Rechenzeit von Gesamtmodell und Submodell

	Gesamtmodell	Submodell
Elementanzahl	3.7 Mio	0.7 Mio
Rechenzeit	18 h	2 h

Die Methodik wurde in den Simulationsablauf einer standardmäßigen FEM-Simulation eingebunden, sodass der grundsätzliche Workflow vergleichbar ist, vgl. Abb.2.

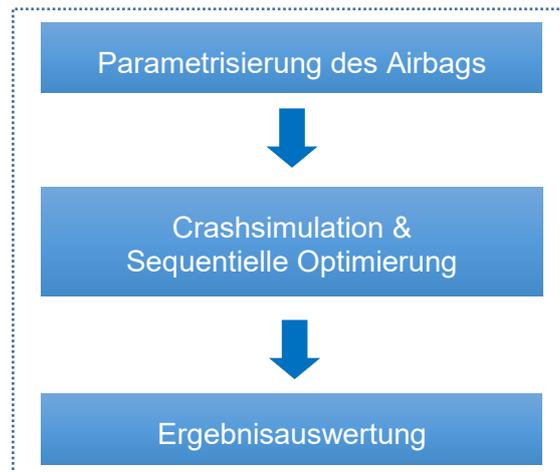


Abb. 2: Workflow der Optimierungsmethodik

Im ersten Schritt, dem Preprocessing, wurde die Parametrisierung des Airbags durchgeführt. Hierzu wurde der in der Automobilindustrie weitverbreitete Preprocessor ANSA genutzt. Daran anknüpfend folgt dann der entscheidende Abschnitt, die sequentielle Optimierung. Für diesen Teil wurde das Optimierungstool LS-OPT verwendet. Im letzten Teil, dem Postprocessing, werden die Ergebnisse dann ausgewertet und diskutiert. Neben eigenen Skripten wurden hierzu Standard-Tools wie Animator und LS-PrePost verwendet. Die einzelnen Schritte werden in den folgenden Unterkapiteln detaillierter betrachtet.

2.1 Parametrisierung des Airbags

Die Parametrisierung des Seitenairbags erfolgt anhand des sog. Box-Morphings mit ANSA. Zur Formänderung während des Optimierungsprozesses werden insgesamt fünf Formparameter an unterschiedlichen Kontrollpunkten der Airbag-Referenzgeometrie definiert. Qualitativ ist der Abdeckbereich einmal in Abb.3 dargestellt. Hierbei sei angemerkt, dass aus Darstellungsgründen in Abb.3 ein WorldSID-Dummy verwendet wurde, in der späteren Simulation des IIHS-Lastfalls wurde der SID II-Dummy verwendet. Die Anordnung der Kontrollpunkte und Parameter beruht auf einer Sensitivitätsanalyse aus Voruntersuchungen. Hier wurde beobachtet, dass eine Veränderung der Morphing-Box in der unteren linken Ecke (vgl. Abb. 3) kaum einen Einfluss auf die Airbag-Performance hat, sodass dieser Kontrollpunkt in der Optimierung nicht berücksichtigt wurde. Durch die parametrisierte Manipulation der Kontrollpunkte wird die Dimension der Morphing-Box verändert und damit verknüpft auch die Form des Airbags. Der zulässige Abtastbereich der betrachteten Formparameter wurde mit +/-25% vom Startwert gewählt.

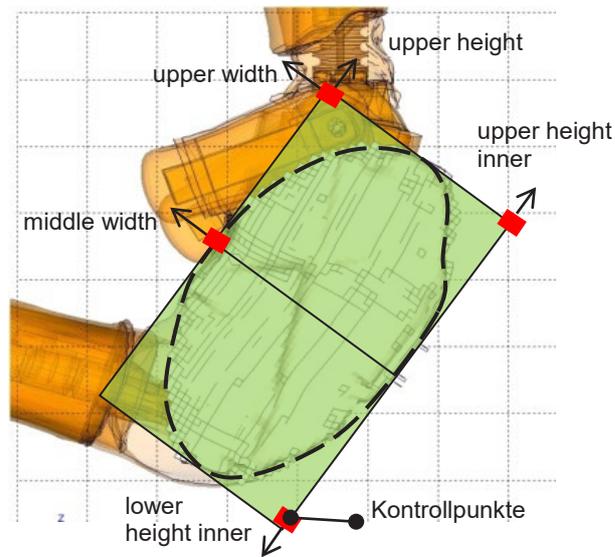


Abb. 3: Parametrisierter Airbag mit Morphing-Box Kontrollpunkten

Zusätzlich zu den dargestellten Formparametern wurden außerdem noch der Zündzeitpunkt des Airbags sowie der Durchmesser des Entlüftungsvents parametrisiert.

2.2 Sequentielle Optimierung mit der Antwortflächenmethode

Das Optimierungsproblem in diesem Artikel wurde wie folgt definiert: Das Ziel – die Zielfunktion – ist die Minimierung der durchschnittlichen Rippeneindrückung f_{RE} des Insassen. Diese Minimierung erfolgt unter Berücksichtigung der Designvariablen q_j . Um das beste Crash-Rating zu erhalten, wurden in der Nebenbedingung die Verletzungskriterien g_i so formuliert, dass diese unter den festgelegten Grenzwerten des IIHS-Seitencrashes, vgl. Tab. 2, liegen müssen.

Tab. 2: Relevante Verletzungskriterien und Grenzwerte der höchsten Bewertungsstufe beim Seitencrash nach IIHS [2]

Verletzungskriterien	Einheit	Grenzwert
HIC 15	[-]	623
Viscous Criterion	[m/s]	1,0
Acetabulumskraft	[N]	4000
Iliumkraft	[N]	4000
Schultereindrückung	[mm]	60
Durchschnittliche Rippeneindrückung	[mm]	34

Mathematisch lässt sich dieses Optimierungsproblems wie folgt formulieren:

$$\min f_{RE}(q_j, t) \tag{1}$$

mit

$$g_i(q_j, t) \leq \text{IIHS Grenzwerte} \tag{2}$$

$$j = 1, 2, \dots, k \quad i = 1, 2, \dots, n$$

2.2.1 Sequential Response Surface Method mit Domain Reduction

Um den Zusammenhang zwischen Designvariablen und Systemantwort zu untersuchen, wurde die Response Surface Methode (dt. Antwortflächenmethode) verwendet. Statt jedoch den gesamten Designraum abzutasten, wird anhand der Sequential bzw. Successive Response Surface Method (SRSM) iterativ nur der Bereich genauer betrachtet, in dem von einer guten Airbag-Performance auszugehen ist. Eine gute Performance ist gleichbedeutend mit der Minimierung der Zielfunktion f_{RE} unter Einhaltung der o.g. genannten Nebenbedingungen, vgl. Tab. 2. Auf diese Weise können Airbagvarianten mit sehr kleinen oder großen Volumina, und damit einhergehend mit zu hohen bzw. niedrigen Innendrücken, frühzeitig von der Optimierung ausgeschlossen werden. Die sequentielle Antwortflächenmethode wurde außerdem mit einer Domain Reduction verknüpft, was einer iterativen Verkleinerung und/oder Verschiebung des betrachteten Designraums entspricht. Die Veränderung des Designraums (auch Subregion genannt) hängt dabei vom Optimum ab, das in der vorherigen Iteration gefunden wurde [3]. Das prinzipielle Vorgehen bei dieser Methode ist in Abb. 3 einmal exemplarisch dargestellt. Für die Designvariablen x_1 und x_2 wird der betrachtete Designraum entweder verschoben (a), verkleinert (b) oder verschoben und gleichzeitig verkleinert (c).

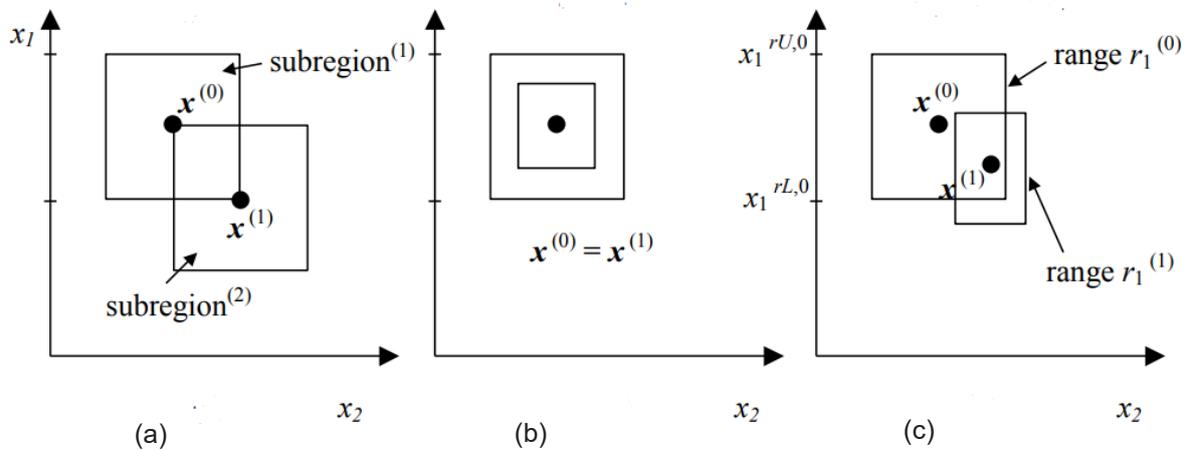


Abb. 3: Prinzip der Sequential Response Surface Methode mit Domain Reduction [3]

Der neue Designraum (subregion⁽²⁾) hängt jeweils von der Position des Optimums der letzten Iteration ($x^{(1)}$) ab.

Diese Methode bietet den Vorteil, dass die relevanten Bereiche, in denen das Optimum vermutet wird, genauer abgebildet werden und so die Vorhersagegüte, d.h. die Fähigkeit, die Systemantwort an beliebigen Punkten vorherzusagen, steigt. Besitzt die Antwortfläche eine hohe Vorhersagegüte, können die gesuchten Optima entsprechend genau lokalisiert werden.

Zur Beurteilung der Vorhersagegüte der Antwortflächen wird der PRESS (**P**Rediction **E**rror **S**um of **S**quares) Wert bzw. der SPRESS (**S**quareroot **P**RESS) Wert, also die Wurzel des PRESS Wertes verwendet, wie in Gl. 3 formuliert [4]:

$$SPRESS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \tag{3}$$

Für die Berechnung des SPRESS Wertes wird ein beliebiges Wertepaar i ausgewählt. Aus den übrigen Wertepaaren $n-1$ wird ein Approximationsmodell erstellt, anhand dessen die Systemantwort am vorher ausgewählten Punkt i vorhergesagt wird. Anschließend wird die vorhergesagte Systemantwort \hat{y}_i mit der tatsächlichen Systemantwort y_i verglichen: $[y_i - \hat{y}_i]$. Dieser Vorgang wird für alle Wertepaare $i = 1, 2, \dots, n$ wiederholt. Auf diese Weise wird beurteilt, wie genau die Antwortflächen die Systemantwort an Stellen, die noch nicht explizit berechnet wurden, bestimmen kann. Je geringer der SPRESS Wert, also die Differenz zwischen vorhergesagter und tatsächlich berechneter Systemantwort, desto besser ist die Approximation der vorhergesagten Systemantwort.

2.2.2 Antwortflächentypen

Die Wahl der Antwortflächentypen hat einen großen Einfluss auf die Genauigkeit der Antwortflächen. In der vorliegenden Untersuchung wurden Radial Basis Function Networks (RBFN) verwendet, wobei es sich um neuronale Netzwerke handelt. Die Systemantwort wird approximiert, indem einzelne radiale Basisfunktionen entsprechend gewichtet und zusammengesetzt werden, was in Abb. 4 prinzipiell dargestellt wird.

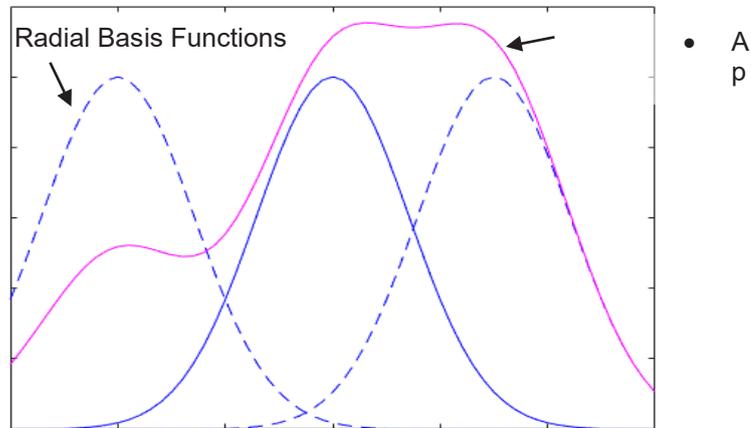


Abb. 4: Schematische Approximation mit RBFN nach [5]

Ein großer Vorteil der RBFN besteht darin, dass sie bezüglich der benötigten Stützstellen sehr flexibel sind. Stehen genügend Datenpunkte zur Verfügung, können auf diese Weise auch nichtlineare Verläufe approximiert werden, vgl. [3] und [6]. Da die sequentielle Antwortflächenmethode verwendet wird, stehen mit jeder Iteration mehr Datenpunkte zur Verfügung, sodass die Genauigkeit der Antwortflächen mit jeder Iteration steigt.

Um in den ersten Iterationen mindestens einen linearen Zusammenhang zwischen den Designvariablen q_j und der Systemantwort zu erhalten, sind $q + 1$ Samples notwendig. Um die Genauigkeit der Antwortflächen zu erhöhen, wird in [3] ein Oversampling der mindestens notwendigen Samples von 50% empfohlen. Für das hier betrachtete Beispiel mit sieben Designvariablen, ergibt sich die Sampleanzahl zu:

$$\text{Sample Anzahl} = \text{Oversampling Faktor} \times (q + 1) = 1.5 \times (7 + 1) = 12. \quad (4)$$

Für die Verteilung der Samples im Designraum wurde ein Space Filling Design ausgewählt, bei dem die Samples gleichmäßig im betrachteten Designraum verteilt sind [4].

Um den Bereich des globalen Optimums zu identifizieren wurde als Optimierungsalgorithmus das Adaptive Simulated Annealing (ASA) in Kombination mit dem Leap-Frog Algorithmus verwendet [3].

3 Ergebnisse

In einer Optimierungsschleife wurden fünf Iterationen mit jeweils 12 Airbagvarianten durchgeführt. Dies ergibt bei einer Rechenzeit von zwei Stunden pro Simulation eine Gesamtlaufzeit von zirka 120 Stunden für die Optimierung (sofern die Simulationen nicht parallelisiert werden). In Abb. 5 wird zunächst das Volumen der entwickelten Airbagvarianten betrachtet, wo zwischen minimalem, maximalem und mittlerem Volumen der Airbagvarianten pro Iteration unterschieden wird.

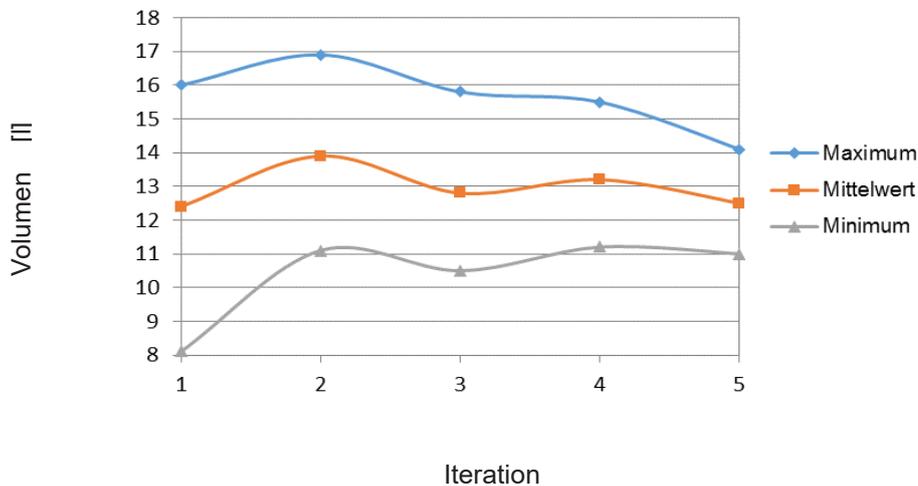


Abb. 5: Volumenverlauf der Airbagvarianten pro Iteration

Erfahrungsgemäß liegt das optimale Volumen für den IIHS Seitencrash in dem verwendeten Fahrzeugmodell bei ca. 11 – 13 Litern. Wie Abb. 5 zeigt, entwickelt sich der Bereich des minimalen bis maximalen Volumens in der ersten Iteration von 8 – 16 Liter auf 11 – 14 Liter in der fünften Iteration. Dieser Verlauf zeigt, dass die verwendete Antwortflächenmethode mit Domain Reduction wie vorgesehen den optimalen Bereich des Designraums identifiziert und folglich dort der Großteil der neuen Airbagvarianten generiert wird.

In Abb. 6 sind die errechnete SPRESS Werte zur Beurteilung der Vorhersagegüte der Antwortflächen über die Iterationen aufgetragen. Wie erwartet, verbessert sich der SPRESS Wert für alle Kriterien von der ersten bis zur fünften Iteration, da mit jeder Iteration mehr Datenpunkte zur Generierung der Antwortflächen (RBFN) zur Verfügung stehen. Nach der fünften Iteration liegen die SPRESS Werte zwischen 2% für das Volumen und 20% für die Acetabulumkraft.

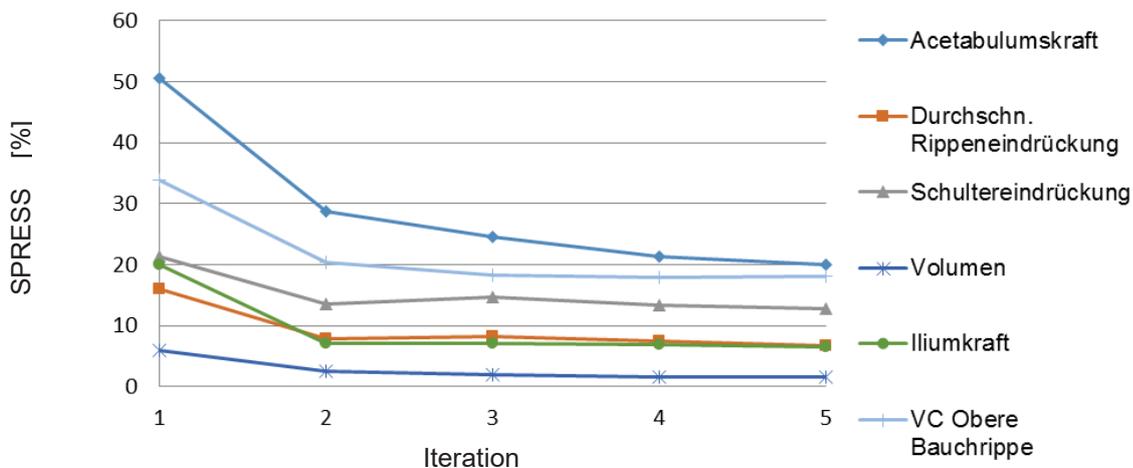


Abb. 6: SPRESS Wert ausgewählter Verletzungskriterien und des Volumens zur Beurteilung der Vorhersagegüte der Antwortflächen

Die Abb. 7 zeigt den Verlauf der vorhergesagten und tatsächlich berechneten durchschnittlichen Rippeneindrückung der Optima je Iteration. Hier ist deutlich zu erkennen, dass die durchschnittliche Rippeneindrückung bis zur fünften Iteration signifikant reduziert wird. Die durchschnittliche Rippeneindrückung wird von ca. 37 mm beim Basisairbag auf ca. 20 mm bei der optimierten Airbagform der fünften Iteration gesenkt.

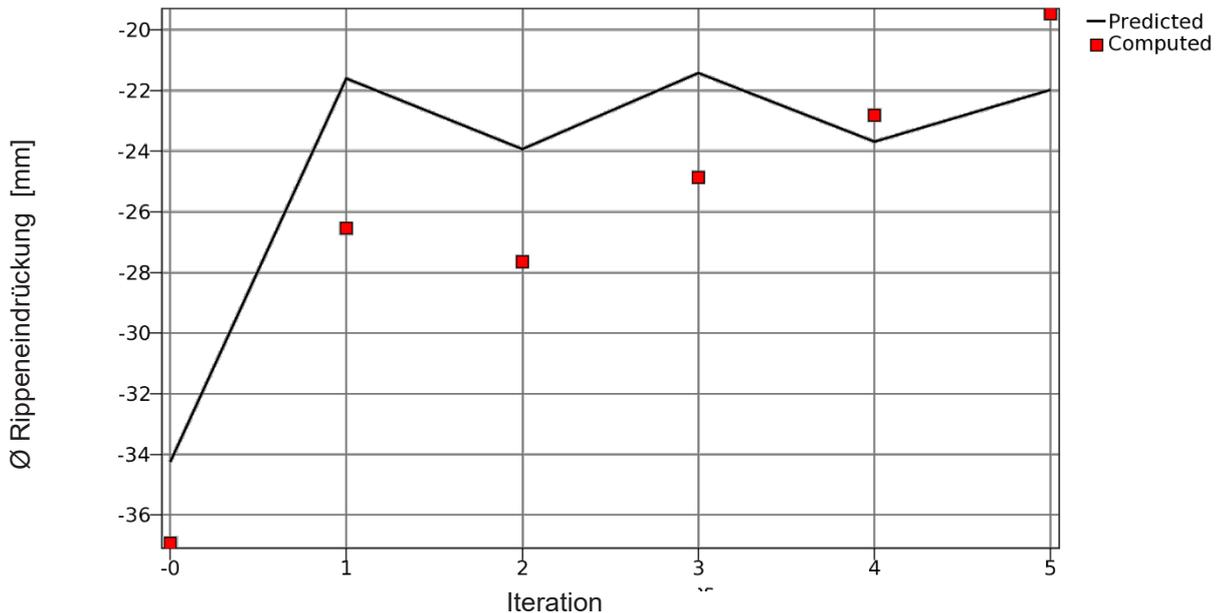


Abb. 7: Verlauf der vorhergesagten und tatsächlichen Rippeneindrückung der berechneten Optima je Iteration

4 Zusammenfassung

In dem vorliegenden Artikel wird eine neue Methodik zur Formoptimierung von Airbags vorgestellt. Exemplarisch wurde ein Seitenairbag im IIHS-Verbraucherschutztest untersucht. Die besondere Herausforderung bei der Formoptimierung von Airbags liegt in der Tatsache begründet, dass eine Formänderung in der Regel eine Volumenänderung und damit auch eine Änderung des Innendrucks des Airbags nach sich zieht. Der Druck ist jedoch ein signifikanter Einflussfaktor für die Airbagperformance, welcher erfahrungsgemäß nur für einen bestimmten Volumenbereich optimal ist. Bei der Optimierung der Airbagform ist es folglich nicht sinnvoll, Airbagvarianten mit sehr extremen Volumina zu untersuchen, was einen hohen Mehraufwand zur Folge hätte. Die Sequential Response Surface Methode mit Domain Reduction stellt hier eine Möglichkeit dar, diese Herausforderung zu bewältigen. Die Optimierung wird iterativ durchgeführt, wobei die neuen Airbagvarianten von den Ergebnissen der jeweils vorhergehenden Iteration abhängen. Anhand der Domain Reduction werden Bereiche des Designraums, die keine guten Ergebnisse liefern, von der weiteren Optimierung ausgeschlossen. Auf diese Weise wird der untersuchte Volumenbereich schon ab der zweiten bzw. dritten Iteration auf einen Volumenbereich reduziert, der erfahrungsgemäß die besten Resultate erwarten lässt. Mit der hier vorgestellten Methodik wurde die durchschnittliche Rippeneindrückung, unter Einhaltung aller Grenzwerte, im hier betrachteten IIHS-Lastfall um ca. 46 % reduziert. Zusätzlich erlaubt es dieses Verfahren, den Optimierungsverlauf nach jeder Iteration zu analysieren, Sensitivitäten zu verfolgen oder den Lauf bei zufriedenstellenden Airbagvarianten vorzeitig zu beenden.

Um die Praxistauglichkeit dieser Methodik weiter zu untersuchen, sollen in einem nächsten Schritt multikriterielle Optimierungsprobleme betrachtet werden. Hier liegt das Augenmerk dann auf einen formoptimierten Airbag unter Berücksichtigung verschiedener Lastfälle zu erhalten. Beispielsweise stellt erfahrungsgemäß die maximal zulässige Schulterkraft beim Pfahlaufpralltest nach Euro NCAP eine größere Herausforderung dar, die oft nur durch zeitintensive Trial-and-Error Untersuchungen bewältigt werden kann. In diesem Fall empfiehlt sich eine systematische Airbag(form)-Optimierung, wie in der vorliegenden Arbeit vorgestellt. Ein weiteres interessantes Feld stellt die Optimierung des Simulationsmodells dar. Hier gibt es bereits interessante Forschungsergebnisse, welche sich mit einer „effizienten Ersatzmodell gestützten Optimierung“, kurz eEgO befassen, vgl. [10]. Solche Modellierungsansätze sind gerade im zeitintensiven Optimierungs-Umfeld von großem Interesse und werden zukünftig sicher eine noch breitere Anwendung finden.

5 Literatur

- [1] Insurance Institute for Highway Safety: "IIHS Side Impact Test Protocol - Side impact crashworthiness evaluation crash test protocol", Version ix, 2016
- [2] Insurance Institute for Highway Safety: "IIHS Side Impact Test Program Rating Guidelines", 2016
- [3] Stander, N., Roux, W., Basudhar, A., Eggleston, T., Goel, T., Craig, C.: "LS-OPT user's manual - A design optimization and probabilistic analysis tool for the engineering analyst", 2014
- [4] Myers, R., Montgomery, D., Anderson-Cook, C.M.: "Response surface methodology - process and product optimization using designed experiments", 2009.
- [5] Mathworks, [Online]. Available: <https://de.mathworks.com/help/nnet/examples/radial-basis-approximation.html?requestedDomain=www.mathworks.com>. [Zugriff am 28.12.2017].
- [6] Harzheim, L.: "Strukturoptimierung - Grundlagen und Anwendung", 2008.
- [7] Automobilwoche [Online]. Available: <https://www.automobilwoche.de/article/20180417/-AGENTURMELDUNGEN-/304179996/fuer-jede-luecke-neue-airbags-bieten-noch-mehr-sicherheit>. [Zugriff am 20.04.2018]
- [8] Statistisches Bundesamt [Online]: Available: https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2018/02/PD18_063_46241.html. [Zugriff am 20.04.2018]
- [9] Safetywissen [Online]: Available: <http://www.safetywissen.com/#/object/A11/N01.7i27367040-ucv67d6fo55352v1121063651194552/-safetywissen>. [Zugriff am 18.04.2018]
- [10] Bundesministerium für Bildung und Forschung, Project eEgO [Online]: Available: <https://www.cm.bgu.tum.de/index.php?id=171>. [Zugriff am 23.04.2018]

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 (3/2018)

- Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:**
- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Mitgliedschaft | <input type="checkbox"/> CFD Seminar im November |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Magazin „Benchmark“ | <input type="checkbox"/> MBSE Seminar im November |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Seminare | <input type="checkbox"/> Europäische SPDM Conference im November |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Trainingskurse | <input type="checkbox"/> Additive Manufacturing Konferenz im Dezember |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS e-learning | <input type="checkbox"/> Werkstoffeigenschaften im März 2019 |
| <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 (3/2018)

- Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:**
- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Mitgliedschaft | <input type="checkbox"/> CFD Seminar im November |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Magazin „Benchmark“ | <input type="checkbox"/> MBSE Seminar im November |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Seminare | <input type="checkbox"/> Europäische SPDM Conference im November |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Trainingskurse | <input type="checkbox"/> Additive Manufacturing Konferenz im Dezember |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS e-learning | <input type="checkbox"/> Werkstoffeigenschaften im März 2019 |
| <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: _____

