



Online-Magazin

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

FACHBEITRÄGE

Additive Fertigung

- Pulverbasierter Additiver Fertigungsprozess und Simulation – aus der Perspektive eines Maschinen- und Materialzulieferers
- Optimierung der AM Prozesskette durch skalierbare praxisorientierte Simulation

Strömungsmechanik

- Adjungierten-basierte Datenassimilation zur Analyse instationärer, kompressibler und reaktiver Strömungen

Data Management

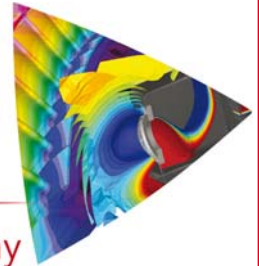
- Chancen und Risiken bei der Einführung von SDM für die Entwicklung von Abgastechnologien

CALL FOR PAPERS

NAFEMS 18 DACH Conference

Berechnung und Simulation:
Anwendungen, Entwicklungen, Trends

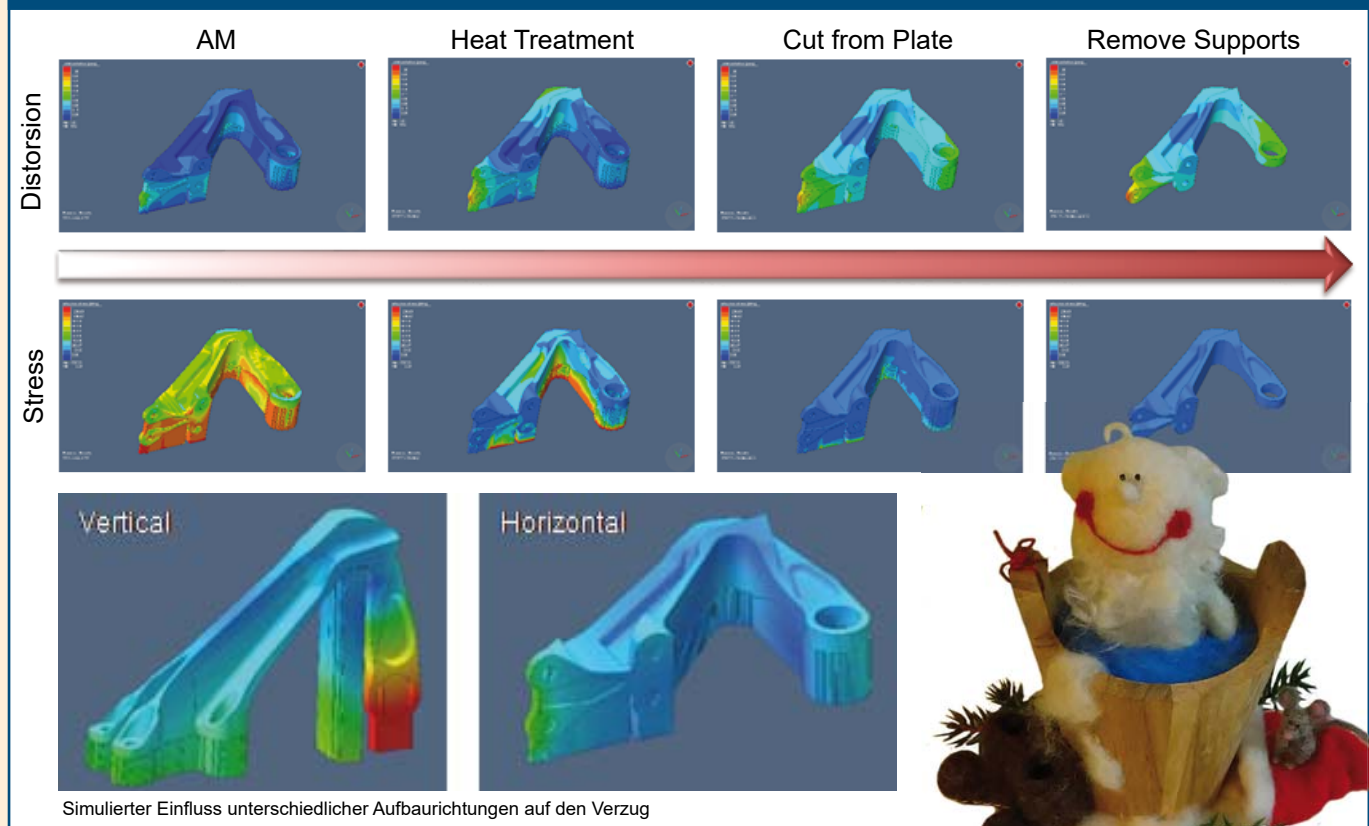
14-16 May, Bamberg, Germany



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



Simulationsergebnisse für eine AM Prozesskette



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,

im Juli 2005 erschien das erste Heft unseres Online-Magazins. In dem Vorwort dazu hatte ich geschrieben, dass Herausgeber und Redaktion sich die Aufgabe stellen, Wissen und Erfahrung aus dem Anwenderbereich der Simulation weiterzugeben und diese damit sicherer und zuverlässiger zu machen. Seitdem ist das Magazin regelmäßig mehrmals im Jahr erschienen. Die Aufmachung und das Layout haben sich geändert und sind dem Zeitgeschmack angepasst worden, aber das Konzept ist gleich geblieben, und die steigende Zahl von Lesern macht deutlich, dass das nicht ganz falsch gewesen sein kann. Wir werden daher auch in Zukunft unserem Ziel treu bleiben und versuchen, durch aktuelle Informationen aus dem Bereich der numerischen Simulation für die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche diesem näher zu kommen.

Kern des Magazins soll weiterhin die Veröffentlichung relevanter Ergebnisse der wissenschaftlichen Forschung sein. Für dieses Heft hat das Herausgeber-Team dazu vier Beiträge ausgesucht. Die ersten beiden befassen sich mit dem aktuellen Thema der Additiven Fertigung. Dieser etwas globale Begriff beinhaltet eine ganze Reihe unterschiedlicher Verfahren für verschiedene Werkstoffe und Herstellungsprozesse, auf die die Simulationsmethoden abgestimmt sein müssen. So fokussiert sich der erste Beitrag auf metallpulverbasierte Fertigung, wobei extreme physikalische Bedingungen zu berücksichtigen sind. Für die Simulation wird die pragmatische Methode der inhärenten Dehnung in Kombination mit experimentellen Kalibrierungen vorgeschlagen. Der zweite Beitrag spannt den Bogen weiter und umfasst neben dem Pulverbettverfahren auch die direkte Ablage. Zudem wird die gesamte Prozesskette einschließlich des heiß-isostatischen Pressens des Bauteils simuliert. Im dritten Beitrag werden Wege zur Untersuchung instationärer, kompressibler und reaktiver Strömungen aufgezeigt. Dazu werden experimentelle und durch Simulation gewonnene Daten in Form einer Assimilation miteinander verknüpft, um so ein realitätsnahes Bild der realen Strömung zu erhalten. Über Erfahrungen bei der Einführung eines Systems zum Management großer Datenmengen berichtet der vierte Beitrag. Für die Entwicklung und Optimierung von Abgassystemen werden Daten aus den Bereichen Betriebsfestigkeit, Akustik, Thermodynamik oder der Fertigung generiert, die für die unterschiedlichen Interessenten effizient und effektiv aufbereitet werden müssen.

Aus diesem bunten Strauß von Anwendungen der numerischen Simulation weckt sicher die eine oder andere auch Ihr Interesse.

Mit freundlichen Grüßen

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



*Prof. Dr.-Ing.
Klaus Rohwer*

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



www.ensight.com



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



www.dynamore.de



www.esi-group.com



www.intes.de



www.math2market.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 (Chairman, ESA, NL)
- M. Zehn (Vice Chairman, TU Berlin, D)
- R. L. Dreisbach (The Boeing Company, USA)
- D. Ellis (Cadferm Ireland, UK)
- M. Felice (Ford, USA)
- G. Miccoli (Imamoter, I)
- M. Moatamedi (University of Narvik, N)
- S. Morrison (Lusas, UK)
- P. Newton (GBE, UK)
- M.-C. Oghly (Micado, F)
- A. Ptchelintsev (formerly Nokia, FI)
- A. Puri (Selex Sensors & Airborne Systems, UK)
- J. Wood (formerly Strathclyde University, UK)

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

- W. Dirschmid (CAE Consulting), Chair
- A. Gill (Ansys Germany)
- R. Helfrich (Intes)
- M. Hoffmann (Altair Engineering)
- C. Hühne (DLR)
- F. Jurecka (Dassault Systèmes)
- 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:

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

- A. Gill (Ansys Germany)
- T. Grahs (Volkswagen)
- U. Heck (DHCAE)
- B. Hupertz (Ford)
- U. Janoske (Universität Wuppertal)
- G. Kohnen (DHBW Mosbach)
- B. Marovic (Mentor Graphics (Deutschland))
- R. Stauch (FH Esslingen)
- M. Stephan (DHBW Mosbach)
- A. Stück (DLR)
- T. Weber (CD-adapco)
- K. Wolf (Fraunhofer SCAI)

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

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

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

Werden auch Sie mit Ihrem Unternehmen NAFEMS-Mitglied!

NAFEMS hat weltweit über **1.300 Mitgliedsunternehmen und -Institutionen**. Mitglieder erhalten unter anderem:

- Freie Seminarplätze
- Literatur und „Benchmark“ (FEM-Magazin)
- Ermäßigungen für Trainingskurse, Kongresse und Literatur
- Kostenlose Stellenanzeigen auf caejobsite.com
- Zugriff auf passwortgeschützten Webbereich mit Kontaktmöglichkeiten und Informationen
- Kontakt zu über 1.300 Organisationen weltweit

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

Impressum

Editor-in-Chief

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

Redaktioneller Beirat

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

Redaktion

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

Gestaltung / Layout / Anzeigen

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

Bezugspreis / Aboservice

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

Anzeigenpreise

Preisliste vom 01.01.2017

Verteilung / Bezug

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

Copyright © 2017, Werbos GbR.

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

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

ISSN 2311-522X

Vorwort des Editor-in-Chief..... 2

Sponsoren 3

NAFEMS

Über NAFEMS..... 4

Inhalt / Impressum 5

Mitgliedschaft..... 6

NAFEMS Events

Übersicht: Konferenzen/Seminare, Schulungen, e-learnig Kurse 7

NAFEMS DACH Regionalkonferenz 2018..... 8 - 9

NAFEMS Trainings

Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation..... 10

Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung 11

Verification and Validation in Engineering Simulation 12 - 13

Simulation und Analyse von Composites 14

Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis..... 15

Literatur

Invitation 2 Tender 16

Internationale NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“ 17

E-Library..... 18 - 21

Professional Development PSE 22 - 23

Neuigkeiten 24 - 37

Veranstaltungskalender..... 38

Fachbeiträge

Additive Fertigung

Pulverbasierter Additiver Fertigungsprozess und Simulation – aus der Perspektive eines Maschinen- und Materialzulieferers 39

J. Schlasche, N. Kellera, H. Xu (Additive Works GmbH);
P. Holfelder, H. Horst, M. Steuer (EOS GmbH)

Optimierung der AM Prozesskette durch skalierbare praxisorientierte Simulation..... 48

P. Mehmert, E. Escobar (Simufact Engineering GmbH);
M. Tateishi (MSC Software Japan Ltd.)

Strömungsmechanik

Adjungierten-basierte Datenassimilation zur Analyse instationärer, kompressibler und reaktiver Strömungen 62

M. Lemke, J. Reiß, J. Sesterhenn (Technische Universität Berlin)

Data Management

Chancen und Risiken bei der Einführung von SDM für die Entwicklung von Abgastechnologien..... 71

C. Eller, J. Hildebrand (Eberspächer Exhaust Technology GmbH & Co. KG)

Werbeanzeigen

Dassault Simulia..... 29

DYNAMore 31

esocet..... 27

ISKO engineers 25

Rückmeldeformulare..... 80 - 81



Membership to suit you

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

Site membership

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

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

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

Corporate membership

Tailored membership for large companies with multiple locations

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

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

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

Small company membership

Cost-effective membership for small to medium sized enterprises

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

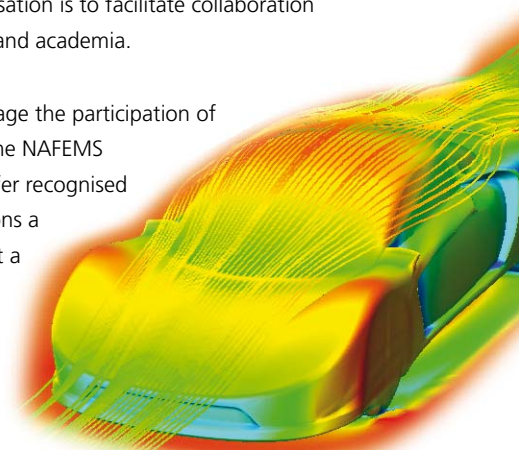
Small Company Membership is tailored to the specific needs of small to medium sized enterprises, and can also be appropriate in areas without a NAFEMS Regional Group.

Academic membership

Offering the benefits of site membership to recognised academic institutions

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

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



www.nafems.org/involved

Konferenzen und Seminare

Konferenz-/Seminartitel	Termin	Ort
Deutschsprachige NAFEMS Regionalkonferenz 2018 www.nafems.org/2018/dach	14.-16.05.	Bamberg
CFD-Seminar www.nafems.org/cfd18 (online im Frühjahr 2018)	Okt.	tba
Model Based Systems Engineering (MBSE) and CAE www.nafems.org/mbse18 (online im Frühjahr 2018)	13.-14.11.	Wiesbaden

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/nafems/2018/vandv1/	21.-22.03.	Wiesbaden	1.950 / 1.560 ¹⁾
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation	Feb.März	tba	1.490 / 1.100 ¹⁾
CFD Analysis: Theory and Applications	auf Anfrage / Inhouse		
Non-Linear Finite Element Analysis	auf Anfrage / Inhouse		
Simulation und Analyse von Composites	auf Anfrage / Inhouse		

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


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

e-Learning Kurse

E-Learning ermöglicht schnelle, höchst effektive und kostengünstige Trainings. Folgende Themen werden regelmäßig angeboten:


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

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



CAEJobsite.com

The NAFEMS online jobsite for CAE Engineers



NAFEMS Member?
Advertise for FREE!

RECENT JOBS
CREATE JOB ADVERT
SEARCH JOB ADVERTS
NAFEMS HOME

Welcome to CAEJobsite.com

Welcome to the NAFEMS jobsite for all CAE engineers across industry, research & development, software vendors and education.

CAEJobsite.com focuses on engineers working in numerical simulation methods and related fields (FEM, CFD, MBS, VR, etc.). Recruiters can place their adverts and reach out to thousands of CAE engineers across the globe, from experts to the newly-qualified. Jobhunters can easily find new opportunities by using our simple browse or search systems.

NAFEMS member companies can promote their vacancies free of charge, as part of their membership package. Contact us for further details.

RECRUITERS

List your vacancy here to reach thousands of CAE engineers.

List your vacancy quickly and easily. Simply enter your ad details using the form, or upload a PDF.

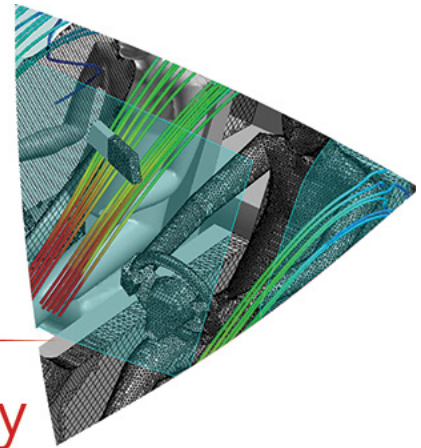
>>> Click here to get started

Agencies

We offer a 15% agency discount for PDF listings. Contact us for further information.

NAFEMS 18 DACH Conference

Berechnung und Simulation:
Anwendungen, Entwicklungen, Trends



14-16 May, Bamberg, Germany

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



Die 4. deutschsprachige NAFEMS Regionalkonferenz bietet Ihnen wiederholt ein einzigartiges, unabhängiges, neutrales, übergreifendes und umfassendes Informations- und Networkingangebot im Bereich der numerischen Simulationsmethoden.

– Bitte reichen Sie Ihren Abstract bis 31. Januar 2018 ein –

Call for Papers

Nach den erfolgreichen deutschsprachigen NAFEMS Konferenzen 2012, 2014 und 2016 mit jeweils über 100 Fachpräsentationen zu den Themen FEM, CFD, MKS, SDM etc. möchten wir Sie nun herzlich zur vierten deutschsprachigen NAFEMS Konferenz einladen, die vom 14. - 16. Mai in Bamberg stattfinden wird. Es erwarten Sie interessante Keynote-Vorträge aus Industrie, Forschung und Hochschule sowie Beiträge von Anwendern unterschiedlicher Soft- und Hardwareprodukte. Eine große Hard- und Softwareausstellung begleitet die Konferenz – zuletzt mit über 30 Ausstellern.

Mit dieser Fachkonferenz bietet Ihnen NAFEMS eine Plattform, auf der neue Techniken und Tools präsentiert werden sollen und den Teilnehmern die Möglichkeit geboten wird, auf breiter Basis erfolgreiche Anwendungen und Trends mit Spezialisten aus Forschung und im besonderen Maße aus der Industrie zu diskutieren. Die Teilnahme ist gleichsam offen für NAFEMS Mitglieder und Nichtmitglieder, wobei NAFEMS Mitglieder im Rahmen ihrer Mitgliedschaft gegen fünf „NAFEMS seminar credits“ kostenlos teilnehmen.

Gestalten Sie mit - reichen Sie einen Vortrag ein!

Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie durch einen Fachvortrag aktiv an der Gestaltung der Konferenz und damit zum Erfolg beitragen würden. Wir wünschen uns Beiträge, die interessante oder beachtenswerte industrielle Anwendungen, Weiterentwicklungen in der Technologie oder Theorie, zur Sicherung der Ergebnisqualität, zur Verbesserung des Datenmanagements und der Systemintegration sowie zur Verbesserung der Aus- und Weiterbildung auf diesem Gebiet beinhalten. Beiträge zu folgenden Themenkreisen - jedoch nicht limitiert darauf - werden erwartet:

- Strukturmechanik
 - Festigkeit, Fatigue
 - Material/Geometrie Nichtlinearitäten
 - Strukturschwingungen, Akustik
 - Mehrkörpersimulation
- > Material
 - Materialmodelle
 - Composites
- > Computational Fluid Dynamics
 - Heat Transfer
- Fluid-Struktur Interaktion
- > Elektrotechnik/Elektronik
 - EMV
 - Elektromagnetische Felder
- > Multiphysik
- > Optimierung
- > Stochastik / Robustheit
- > Fertigungsprozesssimulation
 - Umformsimulation
 - Gießen
 - Additive Fertigung
- Bauteilfertigung Composites
- ...
- > Verification & Validation
 - Simulation im Testumfeld
- > CAD CAE Integration
 - Datenmanagement
 - Systems Modeling & Simulation
 - Democratisation
 - Best Practises im CAE-Prozess
 - Certification by Simulation

- Simulation Governance
- > Aus-/Weiterbildung
 - Zertifizierung (PSE Professional Simulation Engineer)
- > High Performance Computing (HPC)
- > Simulation in der Medizintechnik
- > IoT (Internet of Things)
- > Business Benefits / Issues
 - Business Cases CAE
- ...

Wir freuen uns auf die Einreichung Ihres Abstracts.

Ihr NAFEMS Lenkungsausschuss für Deutschland, Österreich, Schweiz

Forum „Additive Manufacturing“

In Kooperation mit dem x-technik Verlag veranstalten wir dieses spezielle Forum zu

- Möglichkeiten,
- Risiken und Herausforderungen,
- sowie Anforderungen an Berechnungsingenieure.

Wir freuen uns über Ihre Beiträge.


 ADDITIVE FERTIGUNG

Bitte reichen Sie diese Informationen auch an interessierte Kolleginnen und Kollegen weiter. Herzlichen Dank.

Organisation

Einreichung von Abstracts

Wir freuen uns auf Ihren 1/2-seitigen, deutschsprachigen Titel + Abstract per e-mail an info@nafems.de bis zum

31. Januar 2018.

Nach Festlegung der Agenda erhalten Sie eine Bestätigung. Für den Tagungsband benötigen wir bis bis 11. April 2018 einen „Extended Abstract“ mit ca. 2 - 4 Seiten in deutscher Sprache. Die Vortragsdauer beträgt voraussichtlich 25 Min. inklusive Diskussion.

Termin

14. Mai 2018
vorauss. früher Nachmittag
15. und 16. Mai 2018
vorauss. je ca. 08.30 - 16.00 Uhr

Veranstaltungsort / Hotel

Welcome Kongresshotel Bamberg
Mußstrasse 7, 96047 Bamberg, Deutschland
www.welcome-hotels.com/de/welcomehotel_bamberg
Stichwort „NAFEMS“ – ein Link für die Zimmerbuchung finden Sie auf der Konferenzseite www.nafems.org/2018/dach.

Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder:
Euro 750,— / Person
Vortragende aus der Industrie¹⁾:
frei
NAFEMS-Mitglieder:
frei*
Proceedings, Mittagessen und Pausengetränke sind in den Teilnahmegebühren enthalten.
Übernachtung ist nicht im Preis enthalten.

* Mitgliedsgebühren für Unternehmen/Institute

Eine Standard NAFEMS site membership kostet 1.150 Euro pro Jahr. Eine Academic site membership kostet 710 Euro pro Jahr. NAFEMS Mitglieder erhalten sechs seminar credits (1 credit entspricht 1/2 Seminar-/Konferenztag) pro Jahr. Für diese Veranstaltung werden fünf seminar credits je Teilnehmer für eine kostenlose Teilnahme benötigt – es rechnet sich schnell, Mitglied zu werden. Sollten die seminar credits bereits verwendet worden sein, können NAFEMS Mitglieder zum reduzierten Preis von Euro 500,— pro Person teilnehmen.

Begleitende Ausstellung und Sponsoring

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

Tagungssprache

Deutsch (Vorträge in Einzelfällen auch in Englisch)

Alle Preise zzgl. ges. MwSt.

Medienpartner


 ADDITIVE FERTIGUNG

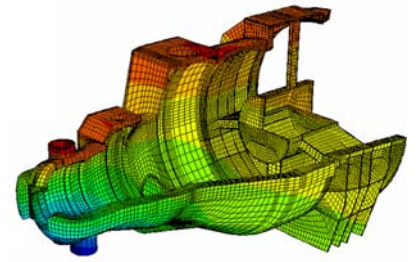


Informationen und Anmeldung

www.nafems.org/2018/dach

NAFEMS Schulung

Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation



Nächster Termin im Februar 2018 / auch als Inhouse-Schulung buchbar

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

Inhalte

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

Referent



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

Kurssprache

Deutsch

Inhouse-Kurs

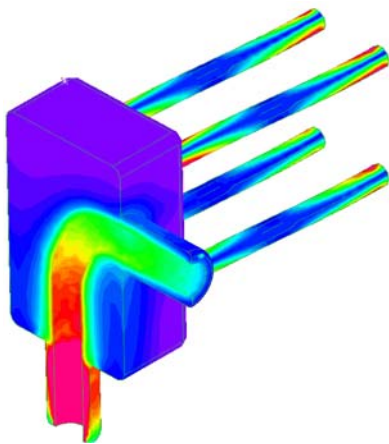
Dieser Kurs wird auch als Inhouse-Kurs bei Ihnen vor Ort angeboten. Bitte fordern Sie nähere Informationen an - Rückmeldeformular auf der vorletzten Seite.

NAFEMS Schulung

Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung

Auf Anfrage / auch als Inhouse-Schulung buchbar

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



Inhalte

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

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

Kurssprache

Englisch / Deutsch, falls nur deutschsprachige Teilnehmer.

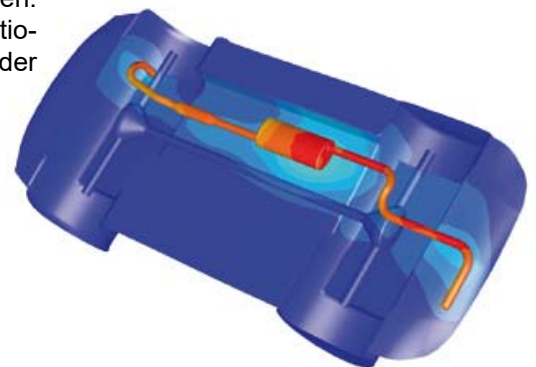
Inhouse-Kurs

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

Referent



Prof. Dr.-Ing. 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.



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

21.-22. März 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/nafeems/2018/vandv1/

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 Mikromechanik
- Festigkeitskriterien und Materialdegradationsmodelle
- Einführung in die Schädigungsmechanik
- Schädigungsmodelle für Verbundwerkstoffe
- Delaminationsmodellierungen

Referent



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

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

Kurssprache

Deutsch

Inhouse-Kurs

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

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.

invitation²TENDER



Case Studies Demonstrating Industrial Usage of Engineering Analysis & Simulation

The NAFEMS Education and Training Working Group (ETWG) wishes to commission a new document with the suggested title of "Case Studies Demonstrating the Industrial Usage of Engineering Analysis & Simulation".

This volume of case studies is intended to be used by academic course directors. The publication is expected to provide a set of case studies that demonstrate how engineering analysis and simulation is being used in industry and the benefit that can be obtained. The case studies should demonstrate the role and importance of verification and validation in the analysis process and demonstrate possible pitfalls that an inexperienced user can encounter. Suggested pitfalls that could be explored are:

- Inappropriate mesh refinement
- Element selection
- Mesh distortion
- Lack of sensitivity studies on key parameters i.e. penalty stiffness in a contact algorithm
- An incorrect assumption e.g. the assumption that dynamic effects were not significant

Intended Readership

This publication is intended to be used by academic course directors as a teaching aid for undergraduate students. It can be assumed that the students have an awareness of the basic principles of engineering analysis and simulation and an understanding of mechanics of elasticity, fluid flow and heat transfer.

Content

The publication should consist of a minimum of 4 case studies demonstrating the use of the Finite Element Method or Computational Fluid Dynamics. The case studies should be practical examples taken from industry. The nature of the case studies is at the discretion of the author but one approach that should be considered is to incorporate a selection of case studies that demonstrate the use of the analysis for **design** and another set that demonstrate the use of analysis in support of **failure investigation**.

Each case study is expected to be accompanied by a section detailing the verification, validation and possibly uncertainty quantification activities that would be carried out by an experienced analyst.

Each case study should also be accompanied by a section outlining the practical value provided by the engineering analysis. It is anticipated that a successful proposal will cover many of the NAFEMS Professional Simulation Engineer (PSE) Competencies found in the Core Finite Element Analysis or Core Computational Fluid Dynamics technical areas. These competencies can be viewed at www.psecompetencytracker.org

Format

The publication is not intended to provide a set of tutorials but proposals that include material that would help the course director develop their own tutorial based on the case study will be viewed favourably. Input data that could be difficult for the course director to generate (such as geometry files) would be a useful output to accompany this publication.

Costs The total cost is not expected to exceed £6K (GBP), and it is expected that the document will be completed within 12 months from NAFEMS approval.

Submission Interested potential authors should view full submission details at nafems.org/publications/tender, or request additional information using the following email address: etwg@nafems.org

Deadline Interested parties are encouraged to submit proposals by January 1st 2018.

for full details visit nafems.org/publications/tender

Internationales NAFEMS Magazin

Benchmark Magazin, Ausgabe Oktober 2017

Die internationale NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“ erschien in der Druckauflage im Oktober 2017. Download (nur für Mitglieder) und Informationen zum Abonnement finden Sie unter:

www.nafems.org/publications/benchmark

BENCH MARK

October 2017 issue . . .

- MECD - A catalyst for Teaching Innovation
- Massive Open Online Content - A Hands-on Introduction to Engineering Simulation
- SIMCenter - Advancing the State of CAE in the Transportation Industry
- Excel for Engineers and other STEM Professionals - Part 2: Spreadsheet Errors and Array Programming
- When Education and Training are Not Just a Mission
- Simulation of Fracture and Fragmentation Phenomena in Aerospace Engineering with Peridynamics
- Template Based Design Analysis
- Fatigue Strength Validation for CFRP Composites
- Icons of CFD - Steve MacDonald

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



Never
Stop
Learning

e library

Corporate Subscription

NAFEMS reference library at the click of a button





e library

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

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

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

- 19 different technical areas
- Book type
- Recently added

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

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

subscribe today elibrary@nafems.org +441355 225688

Benefits of the NAFEMS Corporate e-Library

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

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

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

Subscription to the Corporate e-Library

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

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

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



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

subscribe today elibrary@nafems.org +441355 225688

About NAFEMS Publications

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

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

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

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 225688



PSE

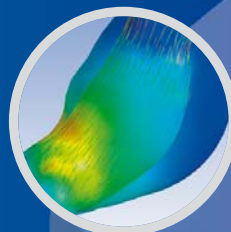
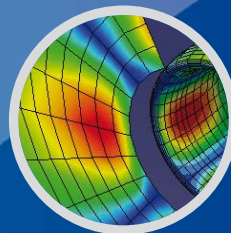
A New Standard for Simulation Engineers

PSE Competencies define the competencies that a good analysis and simulation engineer should possess. They have been peer-reviewed over several years by NAFEMS technical working groups and external experts to create a new standard of competency for analysis and simulation.

Encompassing twenty-six technical areas, there are more than 1400 individual competency statements to:

- enable a clear assessment of an individual's competency level
- carefully encompass important aspects of each technical area
- aid personal development

PSE Competencies are for simulation engineers at every level – from those new to the field to those with several years of experience and can be achieved through on-the-job learning as well as training courses and formal post-graduate courses.



www.nafems.org/pse



Online Competency Framework and Management System

The PSE Competency Tracker is an online system for tracking and measuring PSE Competencies.

Browsing PSE Competencies

Access and browse the detailed list of PSE Competencies, sorted by level of competency.

Educational Resources

Links to educational resources are provided within the PSE Competency Tracker to assist individuals in achieving the competencies. Managers may also wish to use the list of educational resources to improve training and staff development.

More than 400 suggested educational resources are listed including books, articles, codes of practice, etc., that are useful to develop the competencies described in the Tracker.

Measuring & Tracking Competency

Using the online PSE Competency Tracker individuals can plan and monitor their development as a simulation engineer, tracking their competencies as they are achieved. Companies can do the same for their staff, creating a database of the combined simulation skills of their workforce.



Independent Certification of PSE Competencies

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

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

A multi-level certification scheme, PSE Certification targets the experienced analyst as well as newcomers to simulation. The experienced simulation engineer is required to present documented and attested evidence of academic and workplace competency to become certified. An appropriately qualified newcomer to simulation is expected to follow a structured training programme under the guidance of a suitably qualified Industrial Mentor.

find out more at www.nafems.org/pse



ALTAIR**Offizieller Simulation-Driven Design Ally der Cwieme Berlin**

Altair Engineering freut sich bekannt zu geben, dass sie die Cwieme Berlin, die vom 19. -21. Juni 2018 stattfindet, als offizieller Simulation-Driven Design Ally des Events unterstützen wird. Im Rahmen der Vereinbarung wird Altair die Veranstaltung in den Bereichen simulationsgetriebene Produktentwicklung, elektromagnetische, thermische sowie Struktursimulation und multidisziplinäre Optimierung unterstützen. Altair wird das halbtägige Konferenzprogramm „ATCx - Strategic Change of Design Paradigms in Electric Machinery Development“ ausrichten, das im Cwieme Central Theatre, Messe Berlin am 20. Juni ab 10:00 Uhr stattfinden wird. Mit Fokus auf die Entwicklung von Elektromotoren sowie Generatoren und Transformatoren wird Altair außerdem vor, während und nach der Veranstaltung mit Schulungs- und Mediaaktivitäten zum Event beitragen und seine Lösungen im Ausstellungsbereich der Cwieme präsentieren.

Studentin der Xidian University, China gewinnt die FEKO Student Competition 2017

Altair Engineering freut sich bekannt zu geben, dass Ke Li, eine Doktorandin der Xidian University, China, die FEKO Student Competition 2017 gewonnen hat. Dieser internationale Wettbewerb fördert die Ausbildung und akademischen Leistungen von Ingenieuren und kann auch im 15. Jahr seines Bestehens zunehmendes, weltweites Interesse verzeichnen. In diesem Jahr wurden Beiträge aus Südafrika, China, Indien und den USA eingereicht. Der Wettbewerb ist für Studenten mit einem besonderen Interesse an Antennen, Mikrowellengeräten, Bio-Elektromagnetismus, elektromagnetische Verträglichkeit und anderen Bereichen der Elektromagnetik ausgelegt und bietet ihnen die Möglichkeit, ihre Arbeiten mit FEKO, Altairs HyperWorks Elektromagnetik Solver, zu zeigen.

Altair Partner Alliance um multidisziplinäre Systemsimulationsplattform von AVL erweitert

Die Altair Partner Alliance (APA) freut sich bekannt zu geben, dass ihr Portfolio um die Software AVL Cruise M erweitert wurde und so das bereits bestehende Softwareangebot AVL FIRE M und AVL Excite Acoustics ergänzt. AVL Cruise M ist eine Lösung für multidisziplinäre Systemsimulation, die für die modellbasierende Entwicklung ausgelegt ist, indem qualitativ hochwertige Echtzeitmodelle aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen (Motor, Strömung, Abgasnachbehandlung, Antriebsstrang, Elektrik, Hydraulik, etc.) zum Einsatz kommen. Eine neue grafische Benutzeroberfläche ermöglicht die Konfigurierung und Durchführung des gesamten Modellierungsprozesses von der Modellerstellung bis zur Auswertung der Simulationsergebnisse.

Altair erhält Cray 2017 Supplier of the Year Award

Altair Engineering ist der Gewinner des diesjährigen Cray 2017 Supplier of the Year Awards und das erste Unternehmen, das mit diesem Award ausgezeichnet wird. Die Auszeichnung ist der Beleg für die kontinuierliche Zusammenarbeit mit Cray und Altairs Engagement bei der Integration seiner marktführenden HPC Softwarelösung PBS Professional in die Cray Supercomputer zur Optimierung der gesamten Leistung rechenintensiver Umgebungen. Die Auszeichnung wurde im Rahmen der diesjährigen Supercomputing (SC17) Konferenz in Denver, Colorado übergeben.

www.altair.de

ANSYS**Echtzeitsimulationen in der Produktentwicklung mit Ansys Discovery Live**

Ansys Discovery Live nutzt die Leistung von Grafikprozessoren und ermöglicht damit sofortige Simulationsergebnisse direkt im Konstruktionsprozess. Ansys Discovery Live stellt einen

Durchbruch in Geschwindigkeit und Anwenderfreundlichkeit bei der Engineering-Simulation dar. Damit können wirklich alle Konstrukteure und Ingenieure jederzeit digitale Analysen durchführen.

Anstatt Tage, Wochen oder Monate für Erstellung und Auswertung digitaler Prototypen in herkömmlichen Lösungen zu verbrauchen, können Anwender von Discovery Live die Auswirkungen ihrer Konstruktionsänderungen sofort überprüfen. Sie können früher im Designprozess „Was-wäre-wenn-Fragen“ stellen, damit schnell tausende von Alternativen untersuchen und die Auswirkungen ihrer Änderungen in sofortigen Aktualisierungen ansehen. Mit der innovativen Simulationstechnologie von Discovery Live werden Ergebnisse mehrere tausendmal schneller berechnet als mit konventionellen Methoden. Hinzu kommt eine intuitive Bedienung, die gerade den Anwendern die Analysen erleichtert, die keine Simulations-Experten sind.

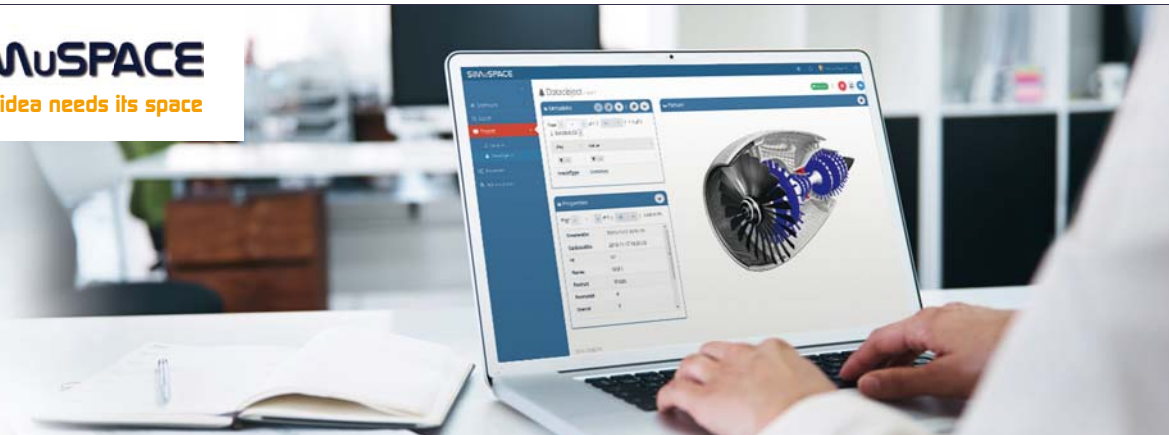
Discovery Live eignet sich für strömungsmechanische sowie strukturelle und thermische Simulationsanwendungen. So können Konstrukteure mit Entwicklungsideen experimentieren und interaktiv die Auswirkungen von einfachen und komplexen Änderungen auf die Performanz des Produktes untersuchen. Die Umgebung von Discovery Live liefert sofortige Simulationsergebnisse – eng verknüpft mit direkter Geometriemodellierung, um interaktive Design-Analysen und schnelle Produktinnovationen zu ermöglichen.

www.ansys.com

ARAS**PLM-Quick Starter für den „Digitalen Roten Faden“**

Aras und die Management- und Technologieberatung BearingPoint bieten ab sofort einen PLM-Quick Starter an. Auf Basis der Software Aras Innovator unterstützt das neue Produkt Unternehmen im produzierenden Gewerbe dabei, über die verschiedenen Stationen des

SIMuSPACE
Every idea needs its space



Die flexible Simulationsplattform für das Management von CAE Prozessen, Ressourcen und Daten.



- › Intuitives Datenmanagement mit intelligenter Suchfunktion
- › Erstellung und Nutzung von Simulationsworkflows und Best Practices
- › Anbindung beliebiger CAE Tools über Plug-in Layer
- › Integration in die bestehende IT- und PLM/PDM Umgebung
- › Abteilungs- und standortübergreifende Zusammenarbeit

Mehr Informationen unter:

www.simuspace.de, info@simuspace.de

Version 1.3
ab jetzt verfügbar

Produktlebenszyklus hinweg einen ganzheitlichen Prozess und somit einen durchgängigen Informationsfluss von der ersten Produktidee bis zum operativen Betrieb zu etablieren. Dadurch können Unternehmen unter anderem den sogenannten „Digital Thread“ (den „Digitalen Roten Faden“) realisieren und für vollständige Transparenz in ihrem Produktentstehungsprozess sorgen. BearingPoint berät beim Produkt-Änderungsmanagement (Enterprise Change Management – ECM), bei der Produktionsprozesssteuerung und -planung (Manufacturing Process Planning – MPP) sowie bei der Umsetzung der entsprechenden Aras Innovator Pakete. Dabei unterstützt die Unternehmensberatung eine vollständig transparente Entstehung des Produktes entlang des gesamten Lebenszyklus. Mit ECM lassen sich Änderungsprozesse an Produkten mit den dazugehörigen Abläufen und Freigabezyklen in verschiedenen Abteilungen abbilden. Das Modul MPP ermöglicht

es, die Schnittstellen zwischen Entwicklung und Produktion ohne Unterbrechungen umzusetzen. Durch eine automatische Abgleichfunktion können zum Beispiel Prozesspläne für Fertigung, Stücklisten und Arbeitsanweisungen parallel erstellt werden. Somit lassen sich durch ECM- oder MPP individuelle und auf den Kunden zugeschnittene Lösungen anbieten, die auch kurzfristig implementiert werden können.

„Nicht nur in Mitteleuropa, auch weltweit wird die leistungsfähige Aras-PLM-Plattform bereits bei vielen Unternehmen eingesetzt. Speziell beim Thema Digital Thread ist Aras führend und hat sich prominent am Markt positioniert. Durch seine offene Softwarearchitektur ermöglicht Aras die durchgängige Nachvollziehbarkeit der Produkte entlang des gesamten Produktlebenszyklus“, kommentiert Stefan Bahrenburg, Partner bei BearingPoint, die Zusammenarbeit. „Mit den Quick Startern ECM und MPP unterstützen wir unsere Kunden dabei, in Aras In-

novator neue Geschäftsprozesse zu definieren und schnell in die digitale Transformation zu starten.“

Jay Pappas, Vice President Alliances bei Aras, ergänzt: „Der Quick Starter als Beratungsprodukt von BearingPoint verbessert unmittelbar die Produktrealisierung unserer Kunden und schafft langfristig ein höheres Niveau. BearingPoint hat eine sehr gute Reputation für zuverlässige und kompetente Projektabwicklung sowie effizientes Projektmanagement innerhalb der Industrie. Wir freuen uns sehr auf die Zusammenarbeit und über den Mehrwert, den die Kooperation für unseren Kunden bringt.“

Die Zusammenarbeit zwischen BearingPoint und Aras wird vornehmlich in Mitteleuropa umgesetzt. Eine Ausweitung der Kooperation in anderen Regionen ist auf Basis des internationalen Netzwerks der beiden Partner geplant.

www.aras.com

BETA CAE Systems

Software Suite Version 18.0.1 veröffentlicht

BETA CAE Systems gab die Verfügbarkeit der neuen Software Suite v18.0.1 bekannt.

www.beta-cae.com

CADFEM

50 Simulations in the Next 15 Minutes

„50 simulations in the next 15 minutes“ – so startete Justin Hendrickson, bei Ansys, Inc. verantwortlich für Ansys Discovery Live, das jüngste Mitglied der Ansys Programmfamilie, in seine Live-Demo in Koblenz. Im Rahmen der Cadfem Ansys Simulation Conference im November stellte er dem Publikum die außergewöhnliche neue Simulationslösung vor. Die Ansys Discovery Live ist ein völlig neuartiges Werkzeug, das die Art und Weise der Konstruktion ändern wird und den Erfindergeist im Ingenieur weckt. Denn die physikalischen Produkteigenschaften werden direkt während der Geometriemodellierung wiedergespiegelt.

Diese Live-Simulation über mechanische, thermische und strömungsmechanische Eigenschaften versetzt den Konstrukteur in die Lage, physikalische Zusammenhänge direkt zu erkennen, Konstruktionsänderungen sofort zu bewerten und das Produkt von vornherein nicht mehr nur geometrisch sondern auch physikalisch zu entwickeln.

Bisher aufwändige Iterationen zwischen 3D-Modellierung und Simulation entfallen, denn mit der 3D-Modellierung werden simultan die physikalischen Eigenschaften simuliert.

Das war die 35. Cadfem Ansys Simulation Conference in Koblenz

Die Simulation in der Produktentwicklung war das verbindende Element unter den annähernd 900 Teilnehmern, die vom 15. – 17. November 2017 zur 35. Cadfem Ansys Simulation Conference nach Koblenz kamen. Die bewährte Verbin-

dung aus Technologie- und Anwendervorträgen, aus Kompaktseminaren, Foren und Partnerlösungen in der Fachausstellung bot jedem Teilnehmer die Gelegenheit, sich ein individuelles Informationspaket zusammenzustellen. In den Plenarsessions standen unter anderem die innovative Ansys Lösung Discovery Live für Echtzeitsimulationen und die Rolle der Simulation bei der agilen Produktentwicklung im Mittelpunkt.

www.cadfem.de

COMSOL

Neueste Comsol Multiphysics Softwareversion

Comsol hat den Teilnehmern auf der jährlichen Comsol Konferenz in Rotterdam eine Vorschau auf die neuen Versionen der Comsol-Multiphysics und Comsol Server Produkte gewährt. In der Keynote-Präsentation von Svante Littmarck, Präsident und CEO, Comsol, Inc., konnten die Teilnehmer darüber hinaus Einblicke in die aktuelle und zukünftige Entwicklung der Software gewinnen. „Unsere Kunden stehen an der Spitze der Innovation – hinter den Produkten, die unsere Zukunft gestalten werden,“ sagt Littmarck. „Wir arbeiten unermüdlich daran, sie dabei zu unterstützen, indem wir die Modellierungsmöglichkeiten der Comsol Software verbessern und indem wir die Zusammenarbeit mit Simulationsexperten und ihren Mitarbeitern in den Fokus unserer Arbeit stellen. Dieses jährliche Event ist die Gelegenheit für uns, sich mit der Comsol Gemeinschaft zu vernetzen und Expertenwissen über die multiphysikalische Modellierung auszutauschen.“

Die Comsol Konferenz bietet ein solides technisches Programm mit sieben Veranstaltungen rund um den Globus. Zur zweiten Station der Veranstaltungsreihe in Rotterdam haben sich rund 300 Teilnehmer angemeldet. Über 150 Präsentationen wurden gehalten. Publikumsdiskussionen zu Wärmetransport- und Akustiksimulation waren die mit Spannung erwarteten Neuerungen

im Programm. Die Ausstellung bestand unter anderem aus Anbietern technischer Berechnungssoftware und -dienstleistungen, Hardwareanbieter sowie HPC Spezialisten. Ein großes Angebot an Fachveranstaltungen umfasste unter anderem Minikurse und technische Arbeitsgruppen zu Themen, die von Wärmeübertragung und Strukturmechanik über Vernetzung, Löser, Optimierung, Nachbearbeitung bis zu Clusterrechnern und vieles mehr reichten.

www.comsol.com

DASSAULT SYSTÈMES

Software Release Simpack 2018x

Simulia Simpack bietet Lösungen zur nichtlinearen Mehrkörpersimulation, mit der auch das Verhalten von flexiblen Körpern berücksichtigt werden kann. Mit Simpack werden z.B. Vibrationen, Bewegungsverhalten und Belastung von mechanischen und mechatronischen Systemen analysiert.

Neben der Simulation in Gebieten wie Automobilen, Nutz- und Schienenfahrzeugen, Verbrennungsmotoren und Windkraftanlagen kann Simpack auch in anderen Gebieten wie Luftfahrzeugen und Agrarmaschinen sowie im HiL/SiL-Bereich angewendet werden.

Simpack ist die erste Wahl für Analyse von Fahr- und Komfortverhalten sowie NVH und Lebensdauerberechnung, und das nicht nur allein wegen seiner marktführenden Position in der Simulation von Vibrationen im hohen Frequenz- und im "Shock Contact"-Bereich.

Durch Vielfältigkeit und leichte Verknüpfbarkeit mit verschiedensten CAD-, Regelungstechnik-, Hydraulik- und FE-Programmen ermöglicht Simulia Simpack dem Anwender ein einfaches Einbinden bestehender Modelle in jeden bereits bestehenden Entwicklungsprozess.

Das neue Simpack Release 2018x mit einer Vielzahl an funktionalen Erweiterungen ist seit dem 01. Dezember 2017 verfügbar. Die wichtigsten Erweiterungen sind dabei

unter anderem:

Allgemeine Funktionalität

- Neue Modellierungsmethode, basierend auf den neuen Connection und Initial Condition Elementen
- Unterstützung für Automatische Triebstrang Assemblierung

Simpack Solver

- Model Profiler und Settings Adviser für Modellperformance Optimierung

Flexible Körper

- Substrukturierung für transiente, verteilte Lasten oder Flächenlasten

Allgemeine Modellierungselemente

- Erweiterung des Riemetrieb-Moduls zur Abbildung von transversalen Schwingungen aufgrund von Trägheits- oder Gravitationskräften
- Berücksichtigung des vorzeitigen Zahneingriffs im Zahnradmodul
- Neues Result Element Accelerometer zur Beschleunigungsmessung

Elasto-Hydrodynamische Gleitlager

- Schwimmbuchsen Lager Simulation inklusive Öldruck-Kopplung zwischen innerem und äußerem Lager

Einen detaillierten Überblick der Erweiterungen finden Sie unter <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/simpack/latest-release/>

Die Simpack Media Files erhalten Sie über Ihren Simulia Vertriebsansprechpartner bzw. unter <https://software.3ds.com>.

Neues XFlow 2017x Release:

Fokus auf Co-Simulation

Mit XFlow 2017x ist am 24. November 2017 eine Erweiterung der Lattice-Boltzmann Methode XFlow aus dem Hause Dassault Systèmes erschienen. Durch das Wegfallen eines körperangepassten Rechen-netzes ermöglicht dieser Ansatz ein zügiges Setup für komplexe Fragestellungen mit zeitabhängigem Strömungsverhalten und bewegten Bauteilen. Unterstützt werden Mehrphasenströmungen, Fluid-Struktur-Interaktionen und aeroakustische Problemstellungen. Im Fokus des XFlow 2017x Release stehen Co-

esocaet
STUDIES



Upgrade your work,
upgrade your life.

Berufsbegleitendes Studium der Simulation Based Engineering Sciences

Studienrichtungen

- Applied Computational Mechanics
- Computational Fluid Dynamics
- Computational Medical Engineering

Partnerhochschulen

- HAW Landshut
- Technische Hochschule Ingolstadt
- HSR Rapperswil
- Universität Witten/Herdecke
- PES University, Bangalore



www.esocaet.com/studies

by CADFEM®

Simulationen. So sind folgende Erweiterungen hinzugekommen: CFD Co-Simulation mit Abaqus FEA zur Analyse von Fluid-Struktur-Interaktionen für deformierbare Geometrien

- Automatischer wechselseitiger Informationsaustausch unter Verwendung der Co-Simulation Engine

CFD Co-Simulation mit Mehrkörper-simulationssolver Simpack

- gen Functional Mock-up Interface FMI Standards zum Datenaustausch
- Master(Simpack)-Slave(XFlow) Konfiguration mit Datenaustausch an diskreten Kommunikationspunkten
- Mögliche Anwendung: Fahrzeugsteuerung unter Seitenwind einfluss

Direkte Unterstützung von CATIA CAD Dateiformaten

- Reduktion der CAD-to-CFD Bearbeitungszeit
 - Direkte Unterstützung von CATPart und CATProduct, sowie weiteren nativen CAD Formaten
- CST-XFlow Einwegkopplung für elektromagnetische Fragestellungen
- Import von (CST STUDIO SUITE) VTK/VTU Mesh Daten und Verwendung der skalaren Energiefelder der CST Simulation als volumetrische Wärmequelle in XFlow

Neuer Volume of Fluid (VoF) Multiphase-Solver

Neue thermische Randbedingungen
Eine Zusammenfassung aller Erweiterungen plus Videos sind unter <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/xflow/latest-release/> und <http://xflowcf.com/> zu finden.

„Living Heart“-Projekt erzielt weitere Erfolge

Dassault Systèmes stellte auf dem 3DExperience Forum North America mehrere Meilensteine des „Living Heart“-Projekts vor. Diese zielen darauf ab, die Entwicklung und den Einsatz von simulierten, personalisierten 3D-Herzen bei der Behandlung, Diagnose und Vorbeugung von Herzerkrankungen voranzubringen. Medizin und Forschung sind ständig auf der Suche nach schnelleren und

wirksameren Lösungen zur Verbesserung der Patientenversorgung. So wird das „Living Heart“-Projekt durch neue Partnerschaften und Anwendungen erweitert, während gleichzeitig Zugangshürden gesenkt werden.

„Living Heart“ ist jetzt über die 3DExperience Plattform in der Cloud verfügbar. Auch kleine Unternehmen der Medizintechnikbranche können damit von der Geschwindigkeit und Flexibilität des High-Performance Computing (HPC) profitieren. Jedes Life-Sciences-Unternehmen hat unmittelbaren Zugang zu einer vollständigen und bedarfsgerechten HPC-Umgebung, um virtuelle Tests sicher und gemeinschaftlich zu skalieren – bei überschaubaren Infrastrukturkosten. So wird eine große Hürde für den Einsatz von „Living Heart“ im klinischen Umfeld genommen.

„Medizinische Geräte müssen in der Entwicklungsphase Tausende von Tests durchlaufen“, erläutert Joe Formicola, President und Chief Engineer bei Caelynx. „Mit dem Umzug des „Living Heart“ in die Cloud können praktisch unbegrenzt viele Tests eines neuen Designs mit dem simulierten Herzen gleichzeitig statt nacheinander durchgeführt werden. Das senkt die Innovationsbarriere drastisch – ganz zu schweigen von Zeit und Kosten.“

Seit der Unterzeichnung eines 5-Jahres-Vertrags mit der FDA im Jahr 2014 arbeitet Dassault Systèmes mit der Zulassungsbehörde kontinuierlich daran, Zulassungen durch die Nutzung der Simulations- und Modellierungstechnik zu beschleunigen. Bernard Charles, CEO und Vice Chairman des Board of Directors von Dassault Systèmes, hielt die Keynote auf dem 4. Annual FDA Scientific Computing Day im Oktober 2016. Dr. Scott Gottlieb, Beauftragter der FDA, beschrieb im Juli 2017 den FDA-Plan als Maßnahme, die wissenschaftlichen Fortschritte den Verbrauchern zugutekommen zu lassen. „Modellierung und Simulation spielen eine entscheidende Rolle bei der Organisation verschiedener Datensätze und der Erforschung alternativer Studiendesigns. So können neue sichere und wirksame

Therapeutika die verschiedenen Phasen klinischer Studien effizienter durchlaufen.“

Das „Living Heart“-Projekt ist mittlerweile auf mehr als 95 Mitgliedsorganisationen weltweit angewachsen, darunter medizinische Forscher, Ärzte, Gerätehersteller und Zulassungsbehörden. Alle verbindet der Gedanke, mit offenen Innovationen die Herausforderungen im Gesundheitswesen zu bewältigen. Das Projekt hat bereits 15 Anträge auf Forschungsstipendien unterstützt. Das umfasst den Zugang zum Modell und den damit verbundenen Technologien ebenso wie die Partizipation an der Projekterfahrung. Bisher sind acht Fachzeitschriftenbeiträge zu neuen Anwendungen des Modells zum Verständnis von Herzkrankheiten und zur Untersuchung der Sicherheit und Wirksamkeit von medizinischen Geräten erschienen. Mit „Living Heart“ wurden erstmals detaillierte Arzneimittelinteraktionen simuliert, die die gesamte Organfunktion beeinflussen. Forscher der Stanford University, die mit UberCloud arbeiten, nutzten das „Living Heart“ als Plattform für ein Modell, mit dem Pharmaunternehmen testen können, ob ein Medikament Herzrhythmusstörungen auslöst. Denn Herzrhythmusstörungen gelten als häufigste Nebenwirkung, die eine FDA-Zulassung verhindert.

„Das „Living Heart“-Projekt ist strategischer Bestandteil einer breit angelegten Initiative von Dassault Systèmes zur Nutzung fortschrittlicher Simulationsanwendungen, um die bisherigen Grenzen der Wissenschaft zu sprengen“, sagte Jean Colombel, Vice President Life Sciences, Dassault Systèmes. „Durch eine starke Gemeinschaft und eine innovationsstarke Plattform werden die Fortschritte aus dem Projekt auch für weitere Aspekte der Herz-Kreislauf-Forschung nutzbar. Ebenso wie die Forschung an anderen Teilen des menschlichen Körpers, wie Gehirn, Wirbelsäule, Fuß und Augen. So erschließen sich neue Möglichkeiten der Patientenversorgung.“ Weitere Informationen zum „Living Heart“-Projekt und zur 3DExperience Plattform von Dassault Systèmes, 3D-Konstruktionssoftware, 3D Digital Mock Up und

PLM-Lösungen (PLM).

www.3ds.com

DYNARDO

RDO-Booklet nun auch in deutscher Sprache erhältlich

Das RDO-Booklet bietet Ihnen eine Einführung in die Methoden der CAE-basierten Robust Design Optimierung. Anhand eines Beispiels werden alle Analyseschritte und Optimierungsstrategien erklärt. Das Booklet ist jetzt auch in deutscher Sprache erhältlich.

www.dynardo.de

ESI-GROUP

ESI unterstützt Luft- und Raumfahrtzentren in Frankreich

Die ESI Group verkündete die Eröffnung eines neuen Büros in Colomiers in der Nähe von Toulouse, Frankreich. Nach einer erfolgreichen verstärkten Firmenpräsenz im Silicon Valley (USA) engagiert sich das Unternehmen nun auch im Südwesten von Frankreich, womit ESI seine wachsende Präsenz in der Luft- und Raumfahrtindustrie manifestiert.

ESI stellt neueste Version der „Virtual Performance Solution“ vor

Die ESI Group gab die Veröffentlichung der neuesten Version von ESI Virtual Performance Solution (VPS) bekannt. Neue Paradigmen haben zu einer Umgestaltung von ESIs Flaggschiff geführt, die in einzigartiger Art und Weise die aktuellen Bedürfnisse der Automobilindustrie abdeckt. Bei der neuen Fahrzeuggeneration mit Verbrennungsmotoren oder Elektro-/Hybridantrieben vertrauen die Hersteller auf Multi-Material-Konstruktionen, einschließlich Leichtmetallen und Verbundwerkstoffen. VPS bietet innovative Wege, um Verhalten und Leistungsfähigkeit solcher Strukturen über eine wachsende Anzahl von Disziplinen präzise zu validieren. Dazu gehören Crash, Lebensdauer und Vibro-Akustik,

wobei die Vorteile des verwendeten Single-Core-Modells gewinnbringend genutzt werden. Darüber hinaus können problemlos die Effekte von Fertigungsprozessen berücksichtigt und von multi-skalaren Lösungsschemata profitiert werden. VPS versetzt Entwicklungs- und Simulationsexperten in die Lage, ihre Innovationen schnell mit virtuellen, anstatt umständlich mit physischen Prototypen, zu testen.

Die Auswahl fortschrittlicher Leichtbaumaterialien, wie hochfeste Stähle oder Verbundwerkstoffe, erfordert ein tiefgehendes Verständnis und eine frühzeitige Vorhersage des Materialverhaltens im montierten Zustand. Leichtbauprogramme forcieren den Einsatz innovativer Stähle, darunter warmgeformte und zunehmend hochwertige Dualphasenstähle. Diese höheren Qualitäten können durch das Warmfügen herabgesetzte Eigenschaften im Bereich der Schweißnähte aufweisen, was wiederum einen wichtigen Einfluss auf das Crash-Verhalten und die Insassensicherheit haben kann. ESIs multi-skalarer Ansatz für das Punktschweißen verbessert die Versagensvorhersage bei Crash-Tests, wie in der anlässlich des Nafems World Congress 2017 erschienenen Publikation mit dem Titel „Adaptive local weld models in Advanced High-Strength Steels for use in full-vehicle crash simulation“ aufgezeigt wird.

Die Einführung neuer Materialien und neuer Fahrzeugdesigns steigert auch die Notwendigkeit besserer Ansätze für die Lebensdauerbewertung. Um dieser Anforderung zu entsprechen, ist die Interaktion zwischen Fahrbahn und Reifen ein Schlüsselement, um die Belastungen der Struktur und damit die Lebensdauer realistisch vorherzusagen. In VPS 2017 sind durch die Co-Simulation mit Cosin's Software FTire (Flexible Structure Tire Model), eines physik-basierten, nicht-linearen 3D-Reifensimulationsmodells, neue Reifenmodelle verfügbar.

Die Version 2017 von VPS bietet ein bis 256 Prozessoren skalierbares DMP. Dies ermöglicht die Crash-Simulation eines vollständigen Fahrzeugmodells in weniger als fünf



**DASSAULT
SYSTEMES**



SIMULIA

**SIMULIA POWERS
SUSTAINABLE
INNOVATION**



**MBS FOR
WIND TURBINES**

Meet the Community:
**WIND & DRIVETRAIN
CONFERENCE**
19. April 2018
@Radisson Blu
Hamburg

Jetzt anmelden:
www.3ds.com/de/events



3DEXPERIENCE

Stunden, einschließlich der Abbildung von Seiten- und Kopf-Airbags mit der präzisen FPM-Methode (Finite Pointset Method) zur Gas-Modellierung. Dies bedeutet eine Reduzierung der CPU-Zeit um 60 % gegenüber den beiden letzten VPS-Versionen.

Die in VPS 2017 gebotene erweiterte Skalierbarkeit für ein effizientes High-Performance- Computing (HPC) ist der Schlüssel für die Untersuchung verschiedener Design-Optionen, des virtuellen Testens der Fahrzeug-Performance auf Basis eines Single-Core-Modells, sowie für die Durchführung von Iterationen vor dem Design-Freeze.

Miloslav Pašek, Škoda Auto Support Teamleiter bei Mecas ESI s.r.o: "Virtual Performance Solution (VPS) bietet eine kontinuierlich wachsende Leistung im Bereich High-Performance- Computing (HPC). Numerische Robustheit und höchste Stabilität sind dabei zwingend erforderlich. Skalierbarkeit und Techniken für das Parallel-Processing sind Schlüsselemente, um die Lösung komplexer Berechnungsprobleme zu beschleunigen und die Durchführung tausender Simulationen der Crash- und Insassensicherheit zu ermöglichen, die in der Fahrzeugentwicklung notwendig sind, um beste Ergebnisse bei den Euro NCAP-Tests zu erzielen. Der Beitrag "ESI Virtual Performance Solution helped Škoda score 5 star rating from Euro NCAP" beschreibt, wie solche Möglichkeiten Automobilingenieure unterstützen können."

www.esi-group.com

EXPERT-VERLAG

Neuerscheinung: Numerische Lösung gewöhnlicher und partieller Differenzialgleichungen

Das Buch schießt eine Lücke, indem die effiziente numerische Lösung von Differenzialgleichungen von physikalischen Effekten erklärt. Der Leser wird mit den entsprechenden mathematischen Grundlagen auf die numerische Lösung von Differenzialgleichungen vorbereitet. Differenzialgleichungen werden

klassifiziert und jeweils Beispiele aus der Naturwissenschaft und Technik benannt und zugeordnet. Nach einer Einführung in die Momentenmethode (MOM) zur Lösung von Differenzialgleichungen wird die klassische Form der Galerkin-Methode als Sonderfall der MOM vorgestellt. Mit ihr erfolgt die Lösung ausgewählter Anwendungsbeispiele. Es schließt sich der Übergang zur 1D-FEM nach Galerkin an. Im Fortgang wird dem Leser die Finite Differenzen Methode (FDM) mittels bereits mit Galerkin-Methode gelösten Anwendungsbeispielen vorgestellt. Die Lösungen beider zuletzt genannten Methoden werden gegenübergestellt.

www.expertverlag.de/3420

FRAUNHOFER ILT

futureAM – Next Generation Additive Manufacturing

Am 14.11.2017 startete in Aachen unter der Federführung des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT das Fraunhofer-Fokusprojekt futureAM. Sechs Projektpartner – die Fraunhofer-Institute ILT, IWS, IWU, IGD und IFAM sowie das LZN Laser Zentrum Nord – haben sich ein klares Ziel gesetzt: In den kommenden drei Jahren wollen sie im engen Schulterschluss die Voraussetzungen für deutliche Technologiesprünge im Bereich Additive Manufacturing mit metallischen Werkstoffen (Metall AM) schaffen.

www.ilt.fraunhofer.de

GRANTA DESIGN

Granta MI Version 11 beschleunigt die Digitalisierung von Werkstoffinformationen

Granta Design hat Granta MI Version 11, die neueste Release seiner führenden Werkstoffinformations-Managementsoftware, veröffentlicht. Immer mehr Fertigungsunternehmen führen derzeit Projekte durch, mit denen sie ihre Werkstoffinformationen digitalisieren wollen. Granta-MI Version 11 beschleunigt diesen

Prozess mit neuen Funktionen, die eine unternehmensweite Nutzung des Materialwissens ermöglichen und gleichzeitig Konsistenz, Genauigkeit und eine vollständige Rückverfolgbarkeit der Daten sicherstellen. Die Software umfasst verbesserte Werkzeuge für die Visualisierung und Analyse von Testdaten, die Verwaltung von substanzabhängigen Produktrisiken und die Sicherstellung eines robusten Datenmanagement-Arbeitsablaufes. Granta MI ermöglicht es den Unternehmen, ein einziges, unternehmensweites Materialinformationssystem zu erstellen, mit dem firmeneigenes Werkstoffwissen gemeinsam mit umfassenden Material-Referenzinformationen verwaltet werden kann. Mit den Apps von Granta MI können die Nutzer diese Daten durchsuchen, integrieren und anwenden. Mit der neuen Version wurden viele dieser Apps aktualisiert.

www.grantadesign.com

HSR HOCHSCHULE FÜR TECHNIK RAPPERSWIL

Neuer Blog

Viele Professoren und Forschungsgruppen an der HSR in Rapperswil sind im Bereich Computer Aided Engineering (CAE) tätig. Mit der neuen Webseite www.cae-at-hsr.ch haben wir versucht, die vorhandenen Kompetenzen der Hochschule zusammenzutragen. Zusätzlich haben wir einen Blog erstellt, um den Informationsaustausch zu erleichtern. Wenn Sie sich weiterhin für Workshops, Konferenzen und Schulungen an der HSR interessieren, sollten Sie den Blog unbedingt abonnieren. So sind Sie sicher, dass Sie keine spannenden Updates verpassen. Den Blog können Sie hier abonnieren:

<https://cae-at-hsr.ch/blog/>



LS-DYNA – Ein Code für viele Anwendungen

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



Bild: Daimler AG



THUMS™

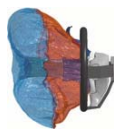
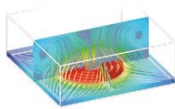
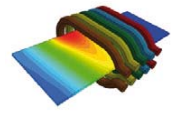
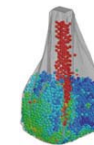
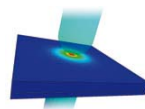


Bild: Daimler AG



DYNAMore GmbH

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

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

sachsen Additiv, dem Zentrum für Additive Fertigung, das Wirtschaftsminister Olaf Lies heute offiziell in Hannover eröffnet hat. Von der niedersächsischen Landesregierung erhält das Zentrum für drei Jahre 1,2 Millionen Euro Förderung für Forschung und Technologietransfer.

www.iph-hannover.de

zur Modellentwicklung und -analyse. Sie hat einen erweiterten Umfang bei der Modellierung, enthält neue Optionen zur Bereitstellung und eine verbesserte Konnektivität innerhalb der Werkzeugkette.

www.maplesoft.com

IPH HANNOVER

Land fördert Zentrum für Additive Fertigung mit 1,2 Millionen Euro

Ersatzteile, Sportschuhe und sogar Hörgeräte kommen in Zukunft aus dem 3D-Drucker – individuell angefertigt zum Preis von Massenware. Die sogenannte additive Fertigung wird die Produktion radikal verändern. Niedersächsische Unternehmen sollen dabei Vorreiter werden, mit der Unterstützung von Nieder-

MAPLE SOFT

Neue Version von MapleSim macht Modellieren einfacher

Maplesoft hat eine wichtige neue Version von MapleSim vorgestellt. Dieses fortschrittliche Werkzeug zur Modellierung auf Systemebene, fördert Innovation, reduziert Entwicklungsrisiken und ermöglicht es technischen Organisationen, bessere Produkte in kürzerer Zeit zu entwickeln. Die neueste Version umfasst neue und verbesserte Werkzeuge

MSC SOFTWARE

MSC Nastran 2018.0 bringt schnellere Performance

MSC Software gab die Veröffentlichung der neuen Version MSC Nastran 2018.0 bekannt. MSC Nastran ist ein weltweit führender FEA-Solver und ermöglicht die Simulation vielfältiger multidisziplinärer Ingenieuraufgaben in Luft- und Raumfahrt, Automobilbau, Verteidigung, Energiebranche, im Maschinenbau und anderen High-tech-Industrien.

Heutzutage ist die Industrie ge-



fordert, komplizierte Strukturen zu entwickeln, die aus vielen Komponenten, Teilen und Baugruppen bestehen. Jede Komponente der Gesamtstruktur kann von einer anderen Abteilung oder einem anderen Zulieferer kommen. MSC Nastran 2018.0 bietet neue Methoden zur Assembly-Modellierung, die es den Ingenieuren einfach machen, komplexe Baugruppen als übersichtliche Module abzubilden, zu kombinieren und zu verwalten.

Die Standards der Industrie werden anspruchsvoller, und die Entwickler gehen oft zu neuartigen Designs mit leichten und hochfesten Materialien über. Für eine korrekte Auslegung müssen die Materialien realistisch modelliert werden, z.B. in der Schwingungsanalyse und Akustik. Sie haben meist ähnliche Eigenschaften – typischerweise hängen Steifigkeit und Dämpfung von der Frequenz ab. Einige Beispiele sind:

- Kurzfaserverstärkte Kunststoffe
- Verbundglas-Windschutzscheiben
- Metall-Laminat (zwei Stahlbleche mit viskoelastischer Dämp-

fungsschicht)

- Kohlefaser

Um das Verhalten solcher Verbundwerkstoffe realitätsgetreu zu erfassen, ist es wichtig, ihre frequenz- und ortsabhängigen Eigenschaften bei der Berechnung zu berücksichtigen. Mit MSC Nastran 2018.0 können Ingenieure bei Ihren Simulationen weiter in die Tiefe gehen, indem sie für die Auslegung und Lärminderung von Flugzeugen und Autos die exakten frequenzabhängigen Materialeigenschaften verwenden. Bei komplexen Strukturen sind die Modelle meist sehr groß und benötigen entsprechend lange Rechenzeiten. In MSC Nastran 2018.0 wurden die Algorithmen für das Hochleistungsrechnen weiter optimiert – die Rechenzeiten für große Modelle werden kürzer. Außerdem wird durch die neue Funktion des maschinellen Lernens ein Performancegewinn erzielt. Die effizienten Berechnungsmethoden in MSC Nastran 2018.0 beschleunigen Ihre Simulation bei vielen Modellen um bis zu Faktor 5.

Stratasys und e-Xstream engineering kooperieren

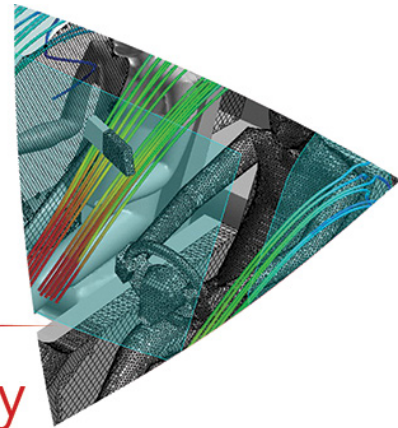
Stratasys hat auf der formnext 2017 seine Zusammenarbeit mit e-Xstream engineering bekanntgegeben, um leistungsstarke Prozessmodellierung und Tools für die numerische Strukturberechnung für die Stratasys additive Fertigungslösungen bereitzustellen.

Die Kombination der additiven Fertigungstechnologien von Stratasys mit den genauen und effektiven Softwaretools von e-Xstream bietet Kunden schlagkräftige Funktionalitäten für Design und Validierung. Damit werden ein größeres Materialverständnis und höhere geometrische Genauigkeit der 3D-gedruckten Teile erreicht, um die Druckergebnisse zu optimieren und den Horizont der möglichen Anwendungen zu erweitern. Die 3D-Druck-Technologie von Stratasys im Fertigungsbereich in Schlüsselindustrien wie Luft- und Raumfahrt und Fahrzeugbau lässt sich somit noch besser einsetzen.

„Stratasys versteht die Wichtigkeit von Simulation und Modellierung als einen Weg für Kunden, die

NAFEMS 18 DACH Conference

Berechnung und Simulation:
Anwendungen, Entwicklungen, Trends



14-16 May, Bamberg, Germany

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



Die 4. deutschsprachige NAFEMS Regionalkonferenz bietet Ihnen wiederholt ein einzigartiges, unabhängiges, neutrales, übergreifendes und umfassendes Informations- und Networkingangebot im Bereich der numerischen Simulationsmethoden.

– Bitte reichen Sie Ihren Abstract bis 31. Januar 2018 ein –

www.nafems.org/2018/dach

Teileherstellung im Hinblick auf 3D-Druck zu optimieren und dabei zu gewährleisten, dass Material und Verfahren zuverlässig „auf Anrieb richtige Bauteile liefern,“ sagt Scott Sevcik, VP Manufacturing Solutions bei Stratasys.

Zentrales Ziel der Zusammenarbeit ist die Entwicklung von Simulationslösungen für die Fused Deposition Modeling (FDM) Technologie von Stratasys, um durch Vorausberechnung Produkte mit engerer Toleranz und höherer Leistungsfähigkeit zu erzielen. Dazu wird Digimat, die eigenständige Plattform zur Materialmodellierung von e-Xstream, eingesetzt. Digimat enthält ein Modul, das ein flexibles Interface für Anfänger und Fortgeschrittene zugänglich macht - für Konstrukteure, Entwickler und andere Anwender quer durch die Fertigungsprozesse. Kernthemen der Zusammenarbeit sind:

- Prozesssimulation für den Arbeitsablauf vom Design bis hin zum 3D-Druck verwenden, um die hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu erreichen, die

viele Anwender in der Fertigung fordern. Nur mit hochentwickelten numerischen Werkzeugen kann schon vor der Herstellung der Bauteilverzug ermittelt und abgemildert werden, sowie der Einfluss von Designentscheidungen auf den Fertigungsprozess untersucht werden.

- Material Engineering, um Rahmenstruktur und Methodik zur Materialcharakterisierung bereitzustellen, indem man die für das Materialverhalten entscheidenden Parameter erfasst. Eine vorhandene Rahmenstruktur hilft dann auch bei zukünftigen Materiallösungen, die Entwicklung und Optimierung zu beschleunigen.
- Vorhersagen des Bauteilverhaltens, die täglich eingesetzt werden, um den Entwicklungsablauf für herkömmliche Fertigungsverfahren zu ergänzen, und dem Produktentwickler schon bei frühen Entwürfen hohe Genauigkeit bieten. Die Erweiterung der Strukturberechnung in Digimat für FDM wird das Bauteilverhalten (Steifigkeit, Festigkeit usw.)

abhängig vom Material und von Druckprozessparametern wie Druckrichtung oder Werkzeugweg vorhersagen.

„Damit Ingenieure sich die ganze Designfreiheit erschließen können, die die additive Fertigung bietet, brauchen sie Tools zur genauen und effektiven Berechnung. Wir freuen uns sehr, mit führenden Simulationsanbietern wie e-Xstream zusammenzuarbeiten, deren maßgeschneiderte Tools entscheidend dazu beitragen, dass die additive Fertigung zu einer leistungsstarken Produktionstechnologie wird“ so Sevcik weiter.

Als weiterer Schritt in der Zusammenarbeit wird die nächste Version von Digimat die ersten Materialmodelle für Ultem 9085 bereitstellen, einen Thermoplast mit hoher Festigkeit und niedrigem Gewicht, der für Luftfahrtanforderungen zertifiziert ist. Es wird dazu ein vollständiges Prozesspaket für den Stratasys Fortus 900mc 3D-Produktionsdrucker geben. Die Kunden haben numerische Werkzeuge sowohl für Prozess- als auch für Strukturberechnung zur

Verfügung, indem sie die entscheidenden Prozessinformationen aus der Preprocessing-Software von Stratasys, Insight, in das AM-Modul von Digimat* eingeben.

„Wir sind begeistert über diese Zusammenarbeit, mit der die Stratasys-Kunden vom e-Xstream-Knowhow in der multiskalaren Modellierung von Polymeren profitieren können, um fertigungsgerechter zu konstruieren,“ erklärt Roger Assaker, CEO von e-Xstream engineering und Chef-Materialexperte von MSC Software. „Den Einfluss des Designs auf Druck und Bauteilverhalten vorhersehen zu können, wird den Anwendern Zeit und Kosten sparen, da der gesamte Prozess genauer, zuverlässiger und effizienter wird,“ fasst er zusammen. *Digimat 2018.0 steht ab Ende November 2017 zum Download bereit.

www.mssoftware.com

SIEMENS PLM SOFTWARE

Digital Enterprise Suite Lösung optimiert komplexen Maschinenbau

Siemens kündigt eine neue Lösung für die Industriemaschinen-Branche an: Advanced Machine Engineering. Die Software richtet sich an Maschinenhersteller, die sich steigender Produktkomplexität und kürzeren Lieferzeiten stellen müssen. Bei Advanced Machine Engineering handelt es sich um eine Plattform, die Daten aus Maschinenbau, Elektrotechnik und Software-Engineering vereint. Ingenieure haben so Zugriff auf einen vollständig digitalen Prototyp, den digitalen Zwilling, der während des gesamten Entwicklungsprozesses getestet werden kann. Eine solche Engineering-Plattform verbessert die Zusammenarbeit und verkürzt die Entwicklungszeit. Zudem lassen sich Lieferrisiken und Kosten reduzieren. Das führt letztlich zu einer Steigerung der Kundenzufriedenheit bei Implementierung und Inbetriebnahme. Weitere Informationen zu den Lösungen für Industriemaschinen und -anlagen finden Sie unter: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/>

en/industries/industrial-machinery-heavy-equipment/index.html.

Neuester NX-Version mit Funktionsumfang zur Digitalisierung in der Fertigung erweitert

Die neueste Version der Siemens-Software NX vereint die nächste Generation von Werkzeugen für die additive Fertigung, CNC-Bearbeitung, Robotik und Qualitätsprüfung. Dies ermöglicht die Digitalisierung der gesamten Teilefertigung mit einem einzigen integrierten End-to-End-System. Zu diesen erweiterten Automatisierungsmöglichkeiten für die computergestützte Fertigung (CAM) zählen Roboterprogrammierung, Adaptive Milling und Werkzeugkonstruktion. Sie liefern innovative, branchenspezifische Technologien und ermöglichen es, qualitativ hochwertige Produkte in kürzerer Zeit auf den Markt zu bringen. Das neue Werkzeug NX Machining Line Planner in Kombination mit der integrierten CAM-Software für formbasierte Bearbeitung (Feature Based Machining, FBM) bietet neue Möglichkeiten zur Fertigungsplanung in Branchen, die mit hohen Stückzahlen komplexe Teile fertigen, wie der Automobil- und Maschinenbauindustrie. Die neueste Version von NX unterstützt darüber hinaus End-to-End-Lösungen für die additive Fertigung und hilft Herstellern, 3D-Druck in die industrielle Produktion zu überführen.

Weitere Informationen zu NX for Manufacturing finden Sie unter: <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/News-NX-Manufacturing/What-s-new-in-NX-12-for-Manufacturing/ba-p/440289>.


Neue Version von Simcenter 3D

Siemens kündigte die neueste Version von Simcenter 3D an, der Flaggschiff-Umgebung für multidisziplinäres Computer-Aided Engineering (CAE). Das Release verfügt über neue, umfassende Lösungen für verschiedenste Disziplinen in der Simulation. Simcenter 3D ist eine hochentwickelte, eigenständige CAE-Anwendung für Berechnungsingenieure und Experten aller Fachrichtungen, die Daten aus beliebigen CAD-Quellen verarbeiten kann. Weil

sie auf der Siemens-Plattform NX basiert, arbeitet die Lösung nahtlos mit NX CAD zusammen. Simcenter 3D ist Teil des Simcenter-Portfolios für Simulations- und Testansätze für Predictive Engineering Analytics. Ziel ist es, die Art und Weise zu revolutionieren, wie Berechnungsingenieure in Branchen wie der Automobilindustrie, der Luft- und Raumfahrt sowie im Maschinenbau die Möglichkeiten der Simulation vorantreiben.

Die neueste Version umfasst Lösungen für Topologieoptimierung, die nahtlos mit der Convergent-Modeling-Technologie zusammenarbeiten. So entstehen umfassende Generative-Design-Workflows. Zudem sind genauere Bewegungsmodelle und effizientere akustische sowie strukturelle Dynamiksimulationen möglich. Simcenter 3D verfügt über eine erweiterte Unterstützung für nicht-lineare Lösungen im allgemeinen Anwendungsbereich, die auf dem nicht-linearen Multistep Solver NX Nastran basieren, jetzt noch besser. Darüber hinaus lässt sich die Berechnung von Faserverbundwerkstoffen auf Basis der Software LMS Samtech Samcef erweitern. Das Release sorgt ferner für optimierte Arbeitsabläufe in vielen verschiedenen Branchen. Dadurch können große Baugruppen modelliert sowie flexible Leitungen und Schläuche präzise simuliert werden.

„Wir investieren laufend in neue Simulationsfunktionen und beschleunigen die Integration der in den vergangenen Jahren erworbenen CAE-Technologien. Das zeigt, dass Siemens die im vergangenen Jahr angekündigte Simcenter-Strategie konsequent umsetzt. Die neueste Version von Simcenter 3D bietet innovative Funktionen für Topologieoptimierung im Zusammenspiel mit generativem Design. Zudem kombiniert die Lösung einzigartige hybride Test- und Analyse-Technologien. Sie schaffen mehr Möglichkeiten, um Systemdynamiken für komplexe Anwendungen wie Schwingungs- und Geräuschprüfungen in hohen Frequenzbereichen zu modellieren und zu simulieren“, so Donald Tolle, Practice Director, Simulation-Driven Systems Development bei CIMdata.



NAFEMS 18
Regional Conferences
nafems.org/2018

<p>NAFEMS 18 NORDIC Conference <small>Engineering Simulations: Best Practices, New Developments, Future Trends</small> 24-25 April, Göteborg</p>	<p>NAFEMS 18 DACH Conference <small>Berechnung und Simulationen: Anwendungen, Entwicklungen, Trends</small> 14-16 May, Bamberg</p>	<p>CAASE18 The Conference on Advancing Analysis & Simulation in Engineering June 5 - 7, Cleveland, Ohio</p>
<p>NAFEMS 18 UK Conference <small>Taking Engineering Analysis & Simulation to the Next Level</small> July 17-18, Milton Keynes</p>	<p>NAFEMS 18 India Conference <small>Engineering Analysis, Modeling, Simulation and 3D-Printing</small> July 20-21, Bangalore</p>	<p>NAFEMS 18 France Conference <small>Simulation numérique : modèle de performance état de l'art - pratiques - Tendances - Impact Industriel</small> November 14-15, Paris</p>

„Diese Erweiterungen stellen sicher, dass Simcenter 3D weiterhin eine robuste, skalierbare und multidisziplinäre CAE-Umgebung für Simulations- und Berechnungsspezialisten bleibt.“

Simcenter 3D lässt sich nahtlos mit der NX CAD- und Convergent-Modeling-Technologie kombinieren. So entstehen Generative-Design-Lösungen für Konstrukteure und versierte Berechnungsingenieure. Zum ersten Mal lassen sich Ergebnisse aus den Prozessen zur Topologieoptimierung direkt im Konstruktionsprozess nutzen, ohne neue Geometrien erstellen zu müssen. Darüber hinaus können Ingenieure direkt mit gescannten Daten oder optimierten Formen arbeiten, um präzisere Simulationen durchzuführen und hohe Performance zu gewährleisten. Durch den Einsatz von Simcenter 3D in Verbindung mit der Software Heeds lässt sich der Konstruktionsprozess automatisieren. So können Ingenieure innovative Konstruktionen bilden, die immer strengeren Anforderungen gerecht werden.

Ein weiteres Highlight ist die Hybridmodellierung, die es Berechnungsingenieuren ermöglicht, Testdaten in ihre Simulationsmodelle einzu-

binden, um eine höhere Genauigkeit innerhalb der Simulation zu erzielen. Zudem unterstützt die Version die Modellierung von Submechanismen in Bewegungsbaugruppen, schnellere Berechnungszeiten für Analysen in Bewegungsmodellen und erhöht die Leistung für Akustik-Simulationen im Innen- und Außenbereich. Die nicht-lineare Simulation in Simcenter 3D umfasst darüber hinaus neue Erweiterungen in NX Nastran und Funktionen des LMS Samcef Solvers. Zusätzlich zu den bereits vorhandenen Funktionen zur Simulation nicht-linearer thermomechanischer Verhaltensweisen in Turbomaschinen bietet Simcenter 3D mehr Unterstützung für die nicht-lineare Simulation allgemeiner Anwendungssituationen: Zusätzliche Elemente, größere Robustheit und Algorithmen für die mehrstufige, nicht-lineare Simulation sorgen für realistischere Darstellungen und schnellere Lösungszeiten. Zusätzlich lässt sich das Aushärten von Faserverbundwerkstoffen simulieren. Dadurch sind jetzt auch Eigenspannungen und Rückfederungseffekte kalkulierbar.

Einige der Erweiterungen zielen auf branchenspezifische Arbeitsabläufe ab. Simulationsingenieure in der

Automobilbranche, Luft- und Raumfahrt sowie in Unternehmen für den Schwermaschinenbau profitieren von universellen Verbindungen, mit deren Hilfe große Systemmodelle effizient erstellt und auf mehreren Solvern bearbeitet werden können. Simcenter 3D nutzt den LMS Samcef Solver auch für die Simulation flexibler Leitungen und Schläuchen in verschiedensten Branchen.

„Unsere Simcenter-Lösungen bieten unseren Kunden wichtige Funktionen, mit denen sie Innovation in ihre Produkte bringen können“, so Jan Leuridan, Senior Vice President for Simulation and Test Solutions bei Siemens PLM Software. „Mit unserer neuesten Version von Simcenter 3D sind wir in der Lage, mehrere Technologien aus verschiedenen Tools in einer Plattform zu integrieren. Unsere langjährige Erfahrung in Geometrie-basiertem CAE und unsere Stärke in Schlüsseldisziplinen wie Strukturmechanik, Akustik, Bewegung und nicht-linearer Berechnung spielten bei der Erweiterung von Simcenter 3D mit rein. So lassen sich Arbeitsabläufe effizienter gestalten und die Simulationsmöglichkeiten zur Unterstützung des Performance Engineering erweitern.“
Weitere Informationen zu Simcenter

3D finden Sie unter <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/simcenter/3d/v12/index.shtml>

Siemens NX: Multidisziplinäre Produktentwicklung in einer Plattform

Siemens kündigte die neueste Version der NX-Software an. Als Best-in-Class-Lösung für den sofortigen Kundeneinsatz und die Einbeziehung bestehender Daten bietet NX mit seiner neuen Version die nächste Generation an Konstruktions-, Simulations- und Fertigungslösungen. Sie ermöglichen es Unternehmen, den Wert des digitalen Zwillings im End-to-End-Prozess vollständig auszuschöpfen. Durch die enge Integration mit Capital Harness und Xpedition von Mentor Graphics vereint die neue Version elektrische, mechanische sowie Steuerungssysteme. Dadurch stellt die Software die einzige, echte multidisziplinäre Plattform bereit, die heute auf dem Markt verfügbar ist.

NX ist ein skalierbares Werkzeug für die systembasierte Produktentwicklung. Grundlage ist die Rflp-Methode (Requirements, Functional, Logical und Physical), die jetzt eine signifikante Verbindung zwischen den logischen und physischen Domänen herstellt. Auf Basis der Convergent-Modeling-Technologie können Konstrukteure nahtlos mit Gitternetzgeometrie und präziser Geometrie arbeiten und modellieren. Zudem werden Werkzeuge für Konstruktionsoptimierung, erweiterte Geometrieerstellung, Freiform-Modellierung und parametrische Konstruktionen kombiniert, um so ein generatives Design umzusetzen.

www.siemens.com/plm

SIMCON

Simcon-Geschäftsführung: Next Generation

Die Nachfolge beim Simulationsspezialisten Simcon ist für die Zukunft gesichert. Seit dem 13. Oktober ist Ines Filz (32), die Tochter des Unternehmensgründers Dr.-Ing. Paul F. Filz, nach 3 Jahren im Bereich der Unternehmensentwicklung nun auch

Geschäftsführerin. Ines Filz, Diplom-Psychologin und vormals im HR der Strategieberatung McKinsey tätig, hat sich viel vorgenommen: „Simulationssoftware in jedem Betrieb der Spritzgießbranche, vom Konstrukteur über den Werkzeugbauer, bis zum Spritzgießer - am besten natürlich aus unserem Hause.“ Einfach wird es nicht, die Branche der Kunststoffverarbeitung und der Werkzeughersteller flächendeckend davon zu überzeugen, dass sie mit Simulationssoftware viel leistungsfähiger und wirtschaftlicher werden können: „Wir wissen, dass unser Ziel ambitioniert ist, aber wir wissen auch, wie gut unsere Software ist. Werkzeugbauer kämpfen mit Schwindung und Verzugsproblemen, Spritzgießer müssen die vom Kunden gewünschte Qualität in der kürzest möglichen Zykluszeit liefern. Mit Simulationssoftware können sie im Vorfeld die richtige Lösung dafür finden. Darin liegt für die Betriebe ein enormes Potenzial, das ich gemeinsam mit ihnen erschließen möchte.“

www.simcon-worldwide.com

SIMUFACT

Simufact und Materialise starten Kooperation

Materialise NV und die Simufact Engineering GmbH haben eine OEM-Lizenzvereinbarung bekanntgegeben. Durch die Zusammenarbeit werden Materialise Magics-Anwender den Bauvorbereitungsprozess besser steuern können, indem sie die Simulation mit Simufact in ihrer gewohnten Datenvorbereitungsumgebung einsetzen. Darüber hinaus werden die Stützstrukturen in der Software Simufact Additive nun mit Funktionalitäten von Materialise Magic abgebildet. Generell senken Simulationen die Zahl notwendiger Testdrucke und damit Entwicklungskosten und Markteinführungszeiten. Heute erfordern Simulationen zur Vorhersage des AM-Prozesses Expertenwissen, da der Prozess sehr komplex ist. Die Simulationserfahrung von Simufact und das Fachwissen von Materialise über den gesamten 3D-Druck-Prozess

werden kombiniert einen direkten, einfachen Arbeitsablauf für Magics-Anwender ergeben, die die Simulation in ihrem Prozess verwenden möchten.

„Die Qualitätssicherung ist derzeit eine der wichtigsten Herausforderungen, um die hohen Anforderungen unserer Kunden zu erfüllen. Unsere Software Inspector ermöglicht bereits die Kontrolle während und nach dem Druckprozess, und künftig können Magics-Anwender Fehler auch schon vor der Herstellung vorhersagen. Wir sind sehr zuversichtlich, dass die Kombination unserer etablierten Magics-Software mit der bewährten Simulationstechnologie von einem Marktführer wie Simufact dem 3D-Druck-Markt wettbewerbsfähige simulationsgetriebene Lösungen bringt“, erklärt Stefaan Motte, Vice President Software bei Materialise. Simufact Additive ist eine leistungsfähige und skalierbare Software für die Simulation von metallbasierten additiven Fertigungsprozessen. Durch den systematischen Einsatz der Prozesssimulation reduziert sich drastisch die Anzahl an Testdrucken in der Entwicklungsphase. Als direkter Effekt werden die Markteinführungszeit und die Entwicklungskosten gesenkt. Die Implementierung der Simulation in Materialise Magics ermöglicht es Forschungs- und Entwicklungsabteilungen, Universitäten und Konstrukteuren nahtlos von einem heuristischen zu einem wissenschaftlichen, validierten Ansatz überzugehen.

„Die Generierung von Stützstrukturen ist eine Standardanwendung in der 3D-Druck-Vorbereitung, und die Magics-Software ist ein marktführendes Tool für diesen Zweck. Wenn man den Druckprozess anhand von Simulationsergebnissen optimiert, spielt die Optimierung der Stützstruktur eine maßgebliche Rolle, um auf Anhieb richtige Druckergebnisse zu erzielen. Unsere Kunden werden von der Integration dieser marktführenden Technologie in Simufact Additive profitieren, und unsere Simulationsprozesskette wird weiter gestärkt“, sagt Dr. Hendrik Schafstall, CTO von simufact engineering.

www.simufact.de

TECOSIM

TecosimM erfolgreich nach ISO 27001 zertifiziert

Seit Oktober 2017 ist die Tecosim Technische Simulation GmbH offiziell nach ISO 27001 zertifiziert. Dalibor Pavlovic, Vertriebsleiter der TÜV Rheinland Cert GmbH, überreichte die Urkunde an Dr. Torben Birker, Vorstand der Tecosim -Gruppe, und an Kirstin Kasper, Chief Information Security Officer der Tecosim Technische Simulation GmbH. Die ISO 27001 ist die international führende Norm für Informationssicherheits-Managementsysteme (ISMS).

„Mit dem Zertifikat signalisieren wir unseren Kunden, dass Informationssicherheit bei uns höchste Priorität hat“, so Dr. Torben Birker. „Zudem stellen wir ein hohes Niveau an Informationssicherheit sicher und können diese künftig permanent bewerten beziehungsweise messbar weiter verbessern.“

Höhere Anforderungen an die Informations- und Datensicherheit sind ein Resultat der technologischen Entwicklung. Bei Engineering-Unternehmen wie Tecosim werden große Mengen an Informationen mit Informationstechnik (IT) erstellt, gespeichert, transportiert und weiterverarbeitet. Diese Daten sind vor Schädigung, Manipulation oder Ausspähung zu schützen. „Wir arbeiten mit hochsensiblen Kundendaten. Das Zertifikat steht dafür, dass die technischen und organisatorischen Anforderungen unserer Kunden bei uns jederzeit erfolgreich umgesetzt werden. Zudem schützen wir damit auch unsere Eigenentwicklungen“, so Birker weiter.

Das Zertifikat bestätigt darüber hinaus die Wirksamkeit aller Prozesse zum Datenschutz. Das ISMS soll alle Daten vor unbefugtem Zugriff, vor Verlust oder Verfälschung schützen. Dafür hat Tecosim einen eigenen Informationssicherheitsbeauftragten berufen, der direkt an die Geschäftsführung berichtet. Er überwacht gemeinsam mit dem Datenschutzbeauftragten das System, die internen Prozesse und die Dokumentationen. Das Team identifiziert mögliche Risiken und ergreift bei Bedarf entsprechende Maßnah-

men. Weitere Vorkehrungen, wie eine zweifache Authentifizierung für den Zugang zu Projektdaten, elektronische Zugangskontrollen zu allen Firmengebäuden und Projektbüros sowie die Einrichtung von Sicherheitszonen (zum Beispiel Serverräume), tragen ebenfalls zur Informationssicherheit bei. Die TÜV Rheinland Cert GmbH prüft von nun an jährlich, ob Tecosim die Normen der ISO 27001 einhält. Alle drei Jahre erfolgt eine Rezertifizierung durch ein erneutes TÜV-Rheinland-Audit. Eingeführt hat Tecosim die international anerkannte Norm zunächst an allen sieben deutschen Standorten. Die Zertifizierung der Standorte im englischen Basildon und Coventry sowie im indischen Bangalore ist in Vorbereitung.

www.tecosim.de

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

Qualität, Normen und Haftung im Computer-Aided Engineering

18.01. Rapperswil, CH www.vpeswiss.ch VPE Swiss

Fachkongress Composite Simulation

21.-22.02. Augsburg, D www.composite-simulation.de Carbon Composites

4a Technologietage: Kunststoffe, Simulation, Prüfmethode und Verarbeitung

28.02.-01.03. Schladming, A www.4a.co.at 4a Engineering

NAFEMS Kurs: Verification and Validation in Engineering Simulation

21.-22.03. Wiesbaden, D www.nafems.org/events/nafems/2018/vandv1 NAFEMS

NAFEMS Kurs: Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation

Feb./März. tba, D www.nafems.org/events/nafems/2018/dach-fea1 NAFEMS

Saxsim – Saxon Simulation Meeting

22.03. Chemnitz, D www.tu-chemnitz.de TU Chemnitz

Permas Anwenderkonferenz

12.-13.04. Stuttgart, D www.intes.de Intes

Automotive CAE Grand Challenge

17.-18.04. Hanau, D www.carhs.de Carhs

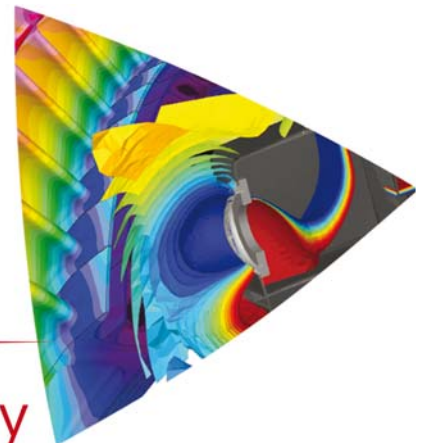
Wind and Drivetrain Conference

19.04. Hamburg, D www.3ds.com Simpack

NAFEMS 18

DACH Conference

Berechnung und Simulation:
Anwendungen, Entwicklungen, Trends



14-16 May, Bamberg, Germany

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



www.nafems.org/2018/dach

GSVF 2018

15.-16.05. Graz, A www.gsvf.at VIF

NAFEMS Seminar: CFD

Okt. 2018. tba, D www.nafems.org/cfd18 (ab Frühjahr) NAFEMS

Cadferm Ansys Simulation Conference

10.–12.10. Leipziger, D www.simulation-conference.com Cadferm/Ansys

DYNAMore LS-DYNA Forum

15.-17.10 Bamberg, D www.dynamore.de DYNAMore

NAFEMS Seminar: Model Based Systems Engineering (MBSE) and CAE

13.-14.11. Wiesbaden, D www.nafems.org/mbse18 (online im Frühjahr 2018) NAFEMS

Simvec

20.-21.11. Baden-Baden, D www.vdi-wissensforum.de VDI

Weitere Veranstaltungen: www.nafems.org/events

Pulverbasierter Additiver Fertigungsprozess und Simulation – aus der Perspektive eines Maschinen- und Materialzulieferers

Peter Holfelder^b, John Schlasche^a, Hannes Horst^b, Nils Keller^a, Martin Steuer^b, Hongxiao Xu^a

^aAdditive Works GmbH, ^bEOS GmbH

Die Simulation des pulverbasierten Additiven Fertigungsverfahrens ist aufgrund der dabei herrschenden extremen physikalischen Bedingungen eine große Herausforderung. In diesem Beitrag wird die Simulation der pulverbasierten Additiven Fertigung aus der Perspektive eines Maschinen- und Materialzulieferunternehmens (EOS) beschrieben. Die Herausforderungen der Prozesssimulation werden ebenso dargestellt wie die Definition der verschiedenen physikalischen Maßstäbe, in denen die Simulation durchgeführt werden kann. Der zurzeit erfolgversprechendste Ansatz für die Simulation im Bauteil-Maßstab, die Methode der inhärenten Dehnung, wird näher vorgestellt. Abschließend wird der Bedarf an adäquaten Material-Datenbanken betrachtet.

1 Einleitung

Bei der pulverbasierten Additiven Fertigung werden 3D-Bauteile schichtweise aus einem Polymer- oder Metallpulver so aufgebaut, dass nur eine geringe Nachbearbeitung notwendig ist. Während des Aufbauprozesses wird mit einem Beschichter eine Pulverschicht – zu Beginn des Prozesses – auf eine Bauplattform oder auf die vorherige Pulverschicht aufgebracht. Die zum Bauteil gehörenden Bereiche der Pulverschicht werden dann gesintert oder mit einem Laserstrahl geschmolzen.

Erfahrene Anwender der pulverbasierten Additiven Fertigung sind in der Lage, die Werkstücke bereits beim ersten Versuch in der nahezu endgültigen Form aufzubauen. Für Neuanwender dieser Technologie kann es jedoch ein mühsamer Weg sein, bis sie die vielfältigen Möglichkeiten der Additiven Fertigung voll ausschöpfen können. Ähnlich wie in anderen ingenieurtechnischen Fachgebieten wie der Gießtechnik muss empirisches Wissen in ein numerisches Tool transformiert werden, das den Anwendern hilft, auf Anhieb gute Werkstücke zu fertigen. Bei den gegenwärtig entwickelten Simulationstools liegt der Schwerpunkt auf den metallpulverbasierten Additiven Fertigungsverfahren. Aufgrund der extremen physikalischen Bedingungen während der metallpulverbasierten Additiven Fertigung erscheint eine maßstabsgetreue Simulation innerhalb des kommenden Jahrzehnts kaum möglich. Daher sind Meta-Modelle erforderlich, um einen Nutzen für den Simulationsanwender – und für die Additive Fertigungstechnologie insgesamt – zu schaffen.

2 Herausforderungen bei metallpulverbasierten Additiven Fertigungsprozessen und ihre Simulation

Eine der Herausforderungen bei der Entwicklung von Simulationen für die pulverbasierte Additive Fertigung ist die Wahl der richtigen Anfangsgröße. Viele Materialeigenschaften ergeben sich aus dem Prozess. Eine maßstabsgetreue Simulation des Problems bei der metallpulverbasierten Additiven Fertigung würde folgende Aspekte berücksichtigen: Fluidodynamik mit mehreren Flüssigphasen (geschmolzenes Material, verdampftes Material und Schutzgas), inklusive der freien Konvektion von Dampf und Schutzgas, der thermokapillaren Konvektion [1], der Entstehung von Restspannung [2] und der Wärmeübertragung (inklusive Wärmestrahlung und konvektiven Wärmetransports auf der freien Oberfläche des Materials); die Wechselwirkung zwischen Laser und Material, inklusive der temperaturabhängigen Reflexion, Streuung und Absorption des geschmolzenen Materials,

des Dampfes und des Schutzgases [3] sowie die Kinetik des Phasenübergangs, inklusive der Unterkühlung, Nukleation und des Kornwachstums, angetrieben durch ungleichgewichtige thermodynamische Prozesse [4].

Viele dieser oben genannten Effekte können nur durch Simulationen im mikroskopischen Maßstab untersucht werden, was eine feine Diskretisierung bezüglich Raum und Zeit erforderlich macht. Die benötigte Rechenzeit zur Lösung des resultierenden Satzes von Gleichungen ist aus Sicht des Kunden jedoch unzumutbar. Selbst bei einer Reduktion des Problems auf eine mittlere, mesoskalige Größenordnung, bei der lediglich der Wärmeübergang und die Scanstrategie berücksichtigt werden, ergeben sich Rechenzeiten von mehreren Stunden für eine gescannte Fläche von 100 mm² – was für den Kunden ebenfalls nicht akzeptabel ist. Daher ist mit den derzeit verfügbaren Computertechnologien – einschließlich allgemeiner Berechnungen auf einem Grafikprozessor – und gut etablierten numerischen Methoden die makroskopische Ebene die einzige Simulation, die für Anwender pulverbasierter Additiver Fertigungsverfahren vertretbar ist, da deren Rechenzeit für die Simulation eines vollständigen Bauteils die Aufbauzeit des Bauteils nicht um mehrere Größenordnungen überschreitet. Um ein adäquates Makromodell zu entwickeln, ist zunächst einmal das Verständnis der Einflussgrößen bei der pulverbasierten Additiven Fertigung, insbesondere des Einflusses der Prozessparameter auf die Materialeigenschaften, unerlässlich.

Bei der Durchführung der Arbeiten müssen die Anwender ihre Bauteile in einer Prozesskammer platzieren und ausrichten. Dabei ist eine mögliche Verzerrung, die zum Kontakt mit der Beschichtungsvorrichtung führen kann, zu berücksichtigen. Diese kritischen Regionen müssen mit besonderer Sorgfalt behandelt werden. Kunden, die sich neu mit der Additiven Fertigung beschäftigen, sind oft unsicher, welche Lösung die beste ist. So kann beispielsweise durch Hinzufügen oder Verstärkung der Stützstrukturen die Nachbearbeitung aufwendiger werden, so dass die Stückkosten steigen. Als alternative Lösung kann das Bauteil neu ausgerichtet oder ein anderer Satz an Scanparametern zugewiesen werden. Für die Handhabung der Stützstruktur und die Teile-Neuausrichtung kann die Simulation ein nützliches Tool für die Anwender sein, um beide Lösungen zu testen. Die Optimierung des Scanparameters ist ein schwierigeres Problem [5], weil nicht definitiv bekannt ist, ob die Lösung dieser multikriteriellen Optimierung lediglich ein Pareto-Optimum mit Nebenbedingungen ist, bei dem einige der Nebenbedingungen leicht vernachlässigt werden können. Durch die Aufnahme des Parameters in die multikriterielle Optimierung lässt sich zum Beispiel die mögliche Veränderung der mechanischen Eigenschaften des Bauteils, die im Verlauf von dessen Lebensdauer zu einem Problem werden kann, kaum vorhersagen. Aufgrund dieser Umstände ist ein besseres Verständnis des Prozesses unverzichtbar, bevor die Scanparameter optimiert werden können.

In anderen ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen wurden die Simulationsmethoden weiterentwickelt, um eine Vielzahl von Fragen genauer im zeitlichen Verlauf untersuchen und beantworten zu können. So muss auch mit der Simulation des pulverbasierten Additiven Fertigungsprozesses zunächst an irgendeinem Punkt begonnen werden, und sie muss dann im Laufe der kommenden Jahre und Jahrzehnte verbessert werden. Nach Evaluierung mehrerer Ansätze scheint die pragmatische Methode der inhärenten Dehnung in Kombination mit experimentellen Kalibrierungen ein guter Ausgangspunkt dafür zu sein.

3 Prozesssimulation bei der polymerpulverbasierten Additiven Fertigung – der vergessene Bruder

Im Unterschied zur rasant wachsenden Anzahl an Produkten für die Simulation der metallpulverbasierten Additiven Fertigung finden Aktivitäten im Kunststoff-Bereich in eher geringem Umfang statt. Aber auch die Kunden der Additiven Fertigung auf Basis von Polymerpulvern könnten von einem Simulationstool profitieren. Bei Polymeren sehen die Herausforderungen anders aus als beim metallpulverbasierten Prozess. Zum Sintern von Polymeren sind keine Stützstrukturen erforderlich. Daher kann während des erneuten Erstarrungsvorgangs keine einfache Dirichlet-Randbedingung auf das Bauteil angewandt werden. Darüber hinaus aber hängen der Wärmeausdehnungskoeffizient und die Teileschrumpfung vom Grad der Kristallisation ab, der wiederum einem starken Einfluss durch die Temperaturverteilung und die Temperaturentwicklung in der Umgebung des Bauteils unterliegt. Folglich muss das Thermomanagement des kompletten Sintersystems bei der Simulation mitberücksichtigt werden. Das Materialmodell für Polymere unterscheidet sich von dem Materialmodell für Metalle. So werden beispielsweise Effekte wie die nicht lineare Viskoelastizität oder Viskoplastizität nur bei einigen Polymeren beobachtet.

4 Mögliche Anforderungen an die Prozesssimulation für die pulverbasierte Additive Fertigung

Die pulverbasierte Additive Fertigung richtet sich gleichermaßen an kleine, mittlere und große Unternehmen. Je nach zugrunde liegendem Geschäftsmodell stellen die beiden Hauptkundengruppen jedoch unterschiedliche Anforderungen an die Simulation. So sind auf der einen Seite bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMUs), zum Beispiel Fertigungsunternehmen, in der Regel keine Simulationsexperten beschäftigt, die eine komplexe Simulationssoftware handhaben können. Darüber hinaus werden in diesen KMUs Bauteile eher in kleinen Losgrößen oder sogar nur als Einzelteil hergestellt. Daher ist die lange Rechenzeit für die Simulation, die die Aufbauzeit deutlich überschreitet, nicht tolerabel. Für diese Anwendergruppen kann ein Simulationstool, das schnelle Ergebnisse mit den richtigen Tendenzen liefert, hilfreich sein, um die anwenderspezifischen Probleme zu lösen.

Auf der anderen Seite sind große Unternehmen mehr an einer Serienproduktion interessiert und wollen von der Freiheit bezüglich der Konstruktion profitieren. In diesem geschäftlichen Umfeld könnten die Bauteile hinsichtlich spezieller Anforderungen, beispielsweise in Bezug auf Masse oder Steifigkeit, topologisch optimiert werden. Diese Optimierungsverfahren sind zeitintensiv, aber in Anbetracht der höheren Losgröße können die zusätzlichen Kosten gerechtfertigt sein, falls die Stückkosten im Vergleich zur herkömmlichen Konstruktion gesenkt werden können. Die für die Simulation benötigte Rechenzeit stellt dann kein großes Problem mehr dar, weil sowohl die Hardware-Infrastruktur als auch Simulationsexperten verfügbar sind und die Bauteile mehrere Male gebaut werden. Bei diesem Szenario bedarf es einer adäquateren Simulation, die den Anwender in die Lage versetzt, die Stützkonstruktion so zu gestalten, dass die Nachbearbeitungskosten auf ein Minimum reduziert werden, die Maßtoleranz und die Materialeigenschaften den Annahmen der topologischen Optimierung entsprechen und die Aufbauzeit hochgradig optimiert ist, wobei die oben genannten Nebenbedingungen zu berücksichtigen sind.

5 Der Ansatz der inhärenten Dehnungen

In jüngerer Zeit wurden verschiedene neue Simulationsansätze für die pulverbettbasierte Additive Fertigung entwickelt, die auf die sogenannte Methode der inhärenten Dehnungen zurückgeht. Ursprünglich wurde diese Methode von Murakawa et al. [7] für den Bereich der schnellen makroskopischen Schweißsimulationen entwickelt. Im Jahr 2014 wurde dieser Ansatz erstmals auf den Prozess der metallpulverbasierten Additiven Fertigung angewandt; seitdem wurde er für eine Vielzahl von Aufgaben übernommen, bei denen die makroskopische Deformation von Bauteilen erforderlich ist [8].

5.1 Methodologie

Das Grundprinzip des klassischen Ansatzes der inhärenten Dehnungen für die Additive Fertigung lautet wie folgt:

An jedem beliebigen Punkt x_i des generellen Wertebereichs $\Omega \subset \mathbb{R}^3$ sind die Konstitutivgleichungen des statisch-mechanischen Deformationszustands $u_i = u_i(x_i)$ und des Spannungszustands $\sigma_{ij} = \sigma_{ij}(x_i)$ mit den Randbedingungen $\partial\Omega = \Gamma_d \cup \Gamma_f$ gegeben durch:

$$\begin{aligned} \mathbf{div}(\sigma_{ij}) &= F, x_i \in \Omega, \\ u_i|_{\Gamma_d} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Γ_d steht für die Teilmenge von Ω , für die die homogenen Dirichlet-Randbedingungen gelten, Γ_f bezeichnet den Rand mit homogenen Neumann-Randbedingungen und F die externe Belastung.

Bei der Additiven Fertigung kann angenommen werden, dass externe Belastungen wie die Schwerkraft vernachlässigt werden können ($F = 0$) und dass Γ_d zum Beispiel ein fester Rand der Bodenplatte ist. Darüber hinaus kann die Deformation als infinitesimal und der Rotationsanteil der Verschiebung als vernachlässigbar angenommen werden:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}(u_i) = 0.5[\mathbf{grad}(u_i) + \mathbf{grad}(u_i)^T]. \quad (2)$$

Unter Berücksichtigung der Annahmen kann die Gesamtdehnung durch die Superposition ihrer Komponenten ausgedrückt werden:

$$\epsilon_{ij} = \epsilon_{ij}^e + \epsilon_{ij}^t + \epsilon_{ij}^p. \quad (3)$$

ϵ_{ij}^e entspricht der elastischen Dehnung, ϵ_{ij}^t der thermischen Ausdehnung und ϵ_{ij}^p der plastischen Dehnung.

Durch Definition dieser Komponenten ist es der elastische Anteil von ϵ , der den Spannungszustand definiert:

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}(\epsilon_{ij}^e) = \sigma_{ij}(\epsilon_{ij} - \epsilon_{ij}^t - \epsilon_{ij}^p). \quad (4)$$

Nachfolgend wird die Summe aus thermischer und plastischer Dehnung durch die inhärente Dehnung ersetzt:

$$\epsilon_{ij}^i = \epsilon_{ij}^t + \epsilon_{ij}^p. \quad (5)$$

Die zugehörige konstitutive Gleichung wird dann zu:

$$\mathbf{div}(\sigma_{ij}(u_i)) = \mathbf{div}(\sigma_{ij}(\epsilon_{ij}^i)). \quad (6)$$

Diese Gleichung deutet bereits auf die fundamentale Idee der Methode der inhärenten Dehnungen hin: Wenn keine externe Belastungen angewandt werden, dann sind der Spannungszustand und die Deformation innerhalb eines gegebenen Wertebereichs vollkommen durch die inhärenten Dehnungen definiert.

Für einen thermisch stabilen Prozess kann angenommen werden, dass – mit Ausnahme der Bereiche, die direkt am Rand des Bauteils liegen und die in den meisten Fällen weniger als ein Prozent des Volumens ausmachen – die thermische Situation in der Nachbarschaft der Prozesszone im Prozessverlauf für jeden Scanvektor gleich bleibt. Folglich erreichen auch die mechanischen Eigenschaften nach nur wenigen Scanvektoren einen statischen Zustand, wie Simulationen einzelner Schichten oder Schichtquerschnitte im Mikromaßstab zeigen (siehe Abb. 1). Vor diesem Hintergrund erscheint ein Ansatz, bei dem diese Simulationen nicht für alle, nahezu identischen Schweißpfade des Belichtungsmuster wiederholt werden, als sinnvoll. Vielmehr ist es zweckmäßig, die Integration der mechanischen Belastungen aller Scanvektoren innerhalb einer Schicht auf einmal durchzuführen.

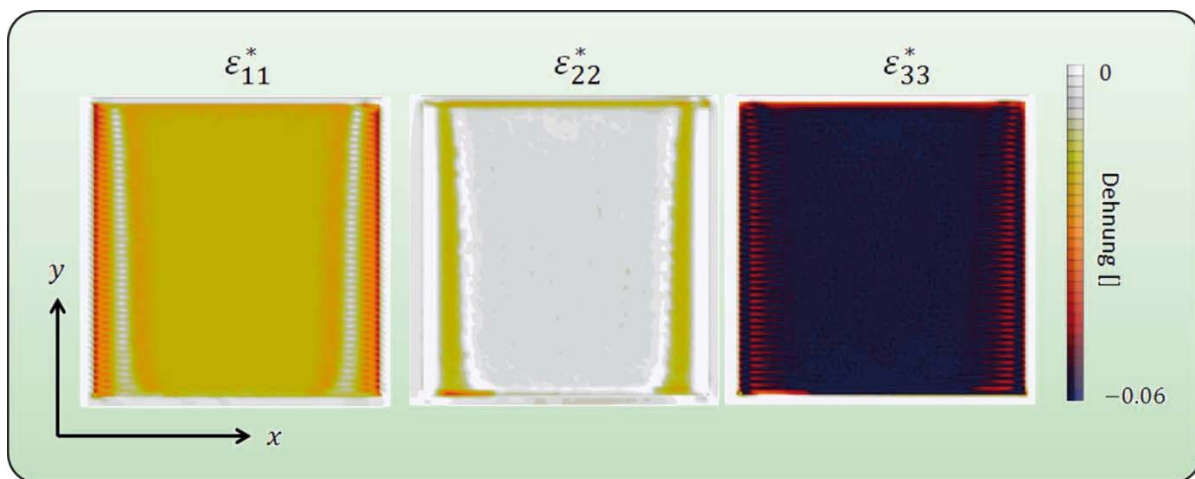


Abb. 1: Inhärente Dehnungen im Querschnitt einer einzelnen Schicht.

Der Ansatz der inhärenten Dehnungen wird auch als Methode der mechanischen Schichtäquivalente oder *MLE*-Methode bezeichnet (MLE = "mechanical layer equivalent"). Bei der *MLE*-Methode wird die inhärente Dehnung einer oder mehrerer Schichten auf den Bereich der Simulation angewandt, der die aktuelle Prozessschicht bzw. Schichtpakete enthält. Als numerische Methode zur Diskretisierung der Differenzialgleichung kann die Finite-Elemente-Methode – kurz *FE*-Methode – eingesetzt werden. Um den Aufbauprozess zu simulieren, wird dem Rechengebiet eine *FE*-Schicht hinzugefügt. Während der Aktivierung einer neuen *FE*-Schicht ist es notwendig,

die bestehende Verschiebung der unteren Knotenwerte durch zusätzliche plastische Dehnungen zu integrieren, wie in Abb. 2 gezeigt.

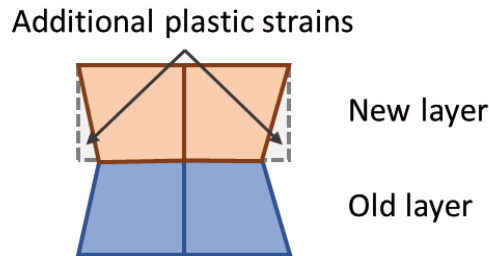


Abb. 2: Aktivierung einer neuen Schicht des Netzes.

Dabei ist zu beachten, dass die thermomechanische Simulation, die für die klassische *MLE*-Methode erforderlich ist, nur von den Material- und Prozessspezifikationen abhängt. Das bedeutet, dass zumindest theoretisch für jeden gegebenen Satz dieser Spezifikationen die numerisch aufwendigen Simulationen im Mikromaßstab lediglich einmal für ein repräsentatives Volumen durchgeführt werden müssen.

5.2 Ergebnisse und Validierung

Unter konstanten Prozessbedingungen hat sich diese Methode als sehr schnell und genau erwiesen, sowohl hinsichtlich der Verzerrungstendenzen als auch hinsichtlich der absoluten numerischen Werte. Die Berechnungszeit liegt typischerweise in der Größenordnung von wenigen Stunden oder weniger. Mit einer derart genauen Vorhersage ist es auch möglich, die durch den Prozess induzierte Deformation zu kompensieren, um Bauteile mit bedeutend höherer geometrischer Genauigkeit anfertigen zu können, was durch Parameteranpassung allein nicht möglich ist [9].

Abb. 3 zeigt einen Vergleich von Bauteilen, die durch Additive Fertigungsverfahren erzeugt wurden. Im linken Teil der Abbildung sind das Original-CAD der Geometrie und die numerische Vorhersage ihrer Deformation dargestellt; rechts ist die kompensierte Geometrie abgebildet, automatisch durch Amphyon auf der Grundlage des Simulationsmoduls sowie der numerischen Vorhersage der Deformation generiert.

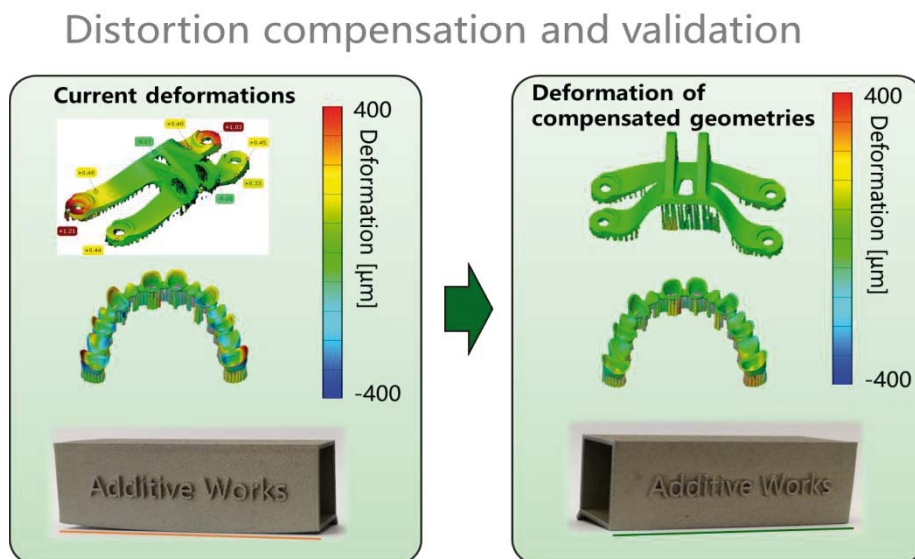


Abb. 3: Validierung der Simulation und das Konzept der Vordeformation.

5.3 Kalibrierung

Wie zuvor beschrieben, beruht der klassische *MLE*-Ansatz auf thermomechanischen Simulationen im Mikromaßstab für jeden Parameter- oder Material-Satz. Auf den ersten Blick scheint dies kein besonderes Problem darzustellen, insbesondere mit neuen Methoden, die genau zu diesem Zweck entwickelt und implementiert werden. Allerdings haben die Modelle, die eine zuverlässige Vorhersage temperaturabhängiger „as-built“-Materialparameter auf der Basis vorgegebener Prozessspezifikationen ermöglichen, bislang noch nicht die Marktreife erreicht. Diese Unsicherheit bei den Materialeigenschaften und die große Anzahl weiterer potenzieller Einflüsse auf den Aufbauprozess machen zuverlässige mikroskalige Vorhersagen derzeit noch nahezu unmöglich. Mit Blick auf diesen Bedarf an einer vollständig automatischen, schnellen und anwenderfreundlichen Nachkalibrierungsroutine hat Additive Works eine experimentgesteuerte Methode zur Berechnung der inhärenten Dehnungen für eine Kombination von Material- und Prozessparametern entwickelt. Die Methode basiert auf den mechanischen Materialeigenschaften bei der Prozesstemperatur und auf den Deformationswerten eines standardisierten Prüfkörpers, der tatsächlich unter den jeweiligen experimentellen Bedingungen aufgebaut wurde.

5.4 Simulation großer Strukturen

Die in der Amphyon Softwaresuite von Additive Works implementierte Simulationemethode zeigt eine sehr gute Leistungsfähigkeit im Hinblick auf die Netzunabhängigkeit und die Berechnungszeiten. Insbesondere der Aspekt der Netzunabhängigkeit ermöglicht es, auch sehr große Strukturen innerhalb einer annehmbaren Zeit zu berechnen, wie in Abbildung 4 gezeigt. Die unten im Bild dargestellte Geometrie, die 12,5 cm hoch ist, stellt kein Problem für die aktuellen Baukammergrößen dar. Jedoch wäre die Simulation eines Aufbaus mit 2.500 *FE*-Schichten von jeweils 0,05 mm Höhe offensichtlich hinsichtlich einiger Hardware-Aspekte und der Berechnungszeit problematisch.

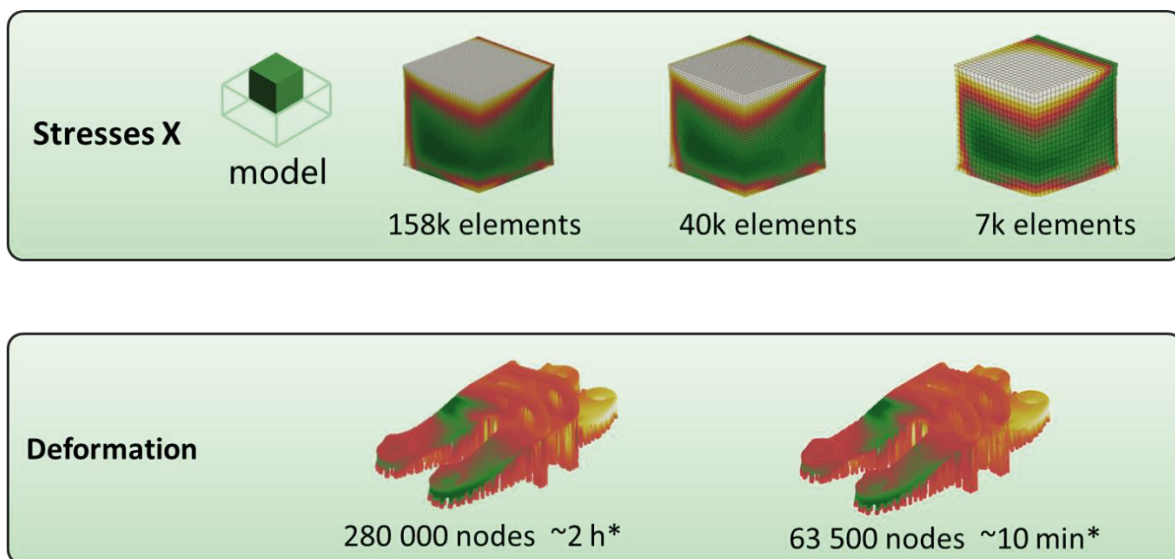


Abb. 4: Netzunabhängigkeit des Ansatzes.

6 Optimierung der Stützstrukturen

Neben der Kompensation der prozessinduzierten Deformation gibt es eine Reihe weiterer möglicher Integrationen von simulationsbasierten Ansätzen in der AM-Prozesskette, beispielsweise die direkte Optimierung – oder vielmehr Anpassung – von Prozessparametern [10]. In diesem Abschnitt stellen wir eine automatische Optimierung von Stützstrukturen vor, die einen vielversprechenden Ansatz zur Reduktion der Prozesskosten und zur Verbesserung der Bauteilqualität darstellt.

Additive Works entwickelt zurzeit einen neuartigen Ansatz, der eine anwenderspezifische iterative Optimierung zellulärer Strukturen ermöglicht; er basiert auf der oben beschriebenen schnellen Prozesssimulation. Erste Studien zeigen gute Ergebnisse hinsichtlich der Berechnungszeiten, der numerischen Stabilität und des Potenzials, zugleich die Verzerrung und den Materialeinsatz zu reduzieren.

Für einen gegebenen Stützparameter $h \in \mathbb{R}^N$, wobei N die Anzahl der zu optimierenden Freiheitsgrade ist, bezeichne $u(h)$ die Deformation, wenn durch h definierte Stützstrukturen verwendet werden. Wenn der weiter oben eingeführte generelle Wertebereich Ω sich aus der Stützkonstruktion und dem Bauteil-Wertebereich zusammensetzt, d. h. $\Omega = \Omega_s \cup \Omega_p$, dann erfolgt die Optimierung des Stützparameters h durch Lösen des folgenden Optimierungsproblems mit Nebenbedingungen:

$$\min_{h \in \mathbb{R}^N} \left[\|u(h) - u_0\|_{L^2(\Omega_p)}^2 + \alpha \cdot M(h) \right]. \tag{7}$$

Dabei sind die folgenden Nebenbedingungen zu berücksichtigen:

- Die Lösbarkeit der Simulation und die Herstellbarkeit der Stützstruktur sind sicherzustellen.
- Die Dichte der Stützstruktur an einem gegebenen Punkt in Ω_s muss größer als d_{min} und kleiner als d_{max} sein.

Insbesondere die letztere Nebenbedingung gibt dem Anwender einen zusätzlichen Optimierungsparameter, der die thermische Stabilität sicherstellt. Der Term $M(h)$ repräsentiert den Wert des Materialeinsatzes für einen gegebenen Stützparameter. u_0 ist als die minimal mögliche Deformation definiert, basierend auf dem gegebenen Raum der Stützstrukturen. Wie zu erkennen ist, kann der Anwender durch Anpassen des Parameters α den Schwerpunkt bei der Optimierung beeinflussen. Das Ergebnis einer beispielhaften Berechnung ist in Abb. 5 wiedergegeben.

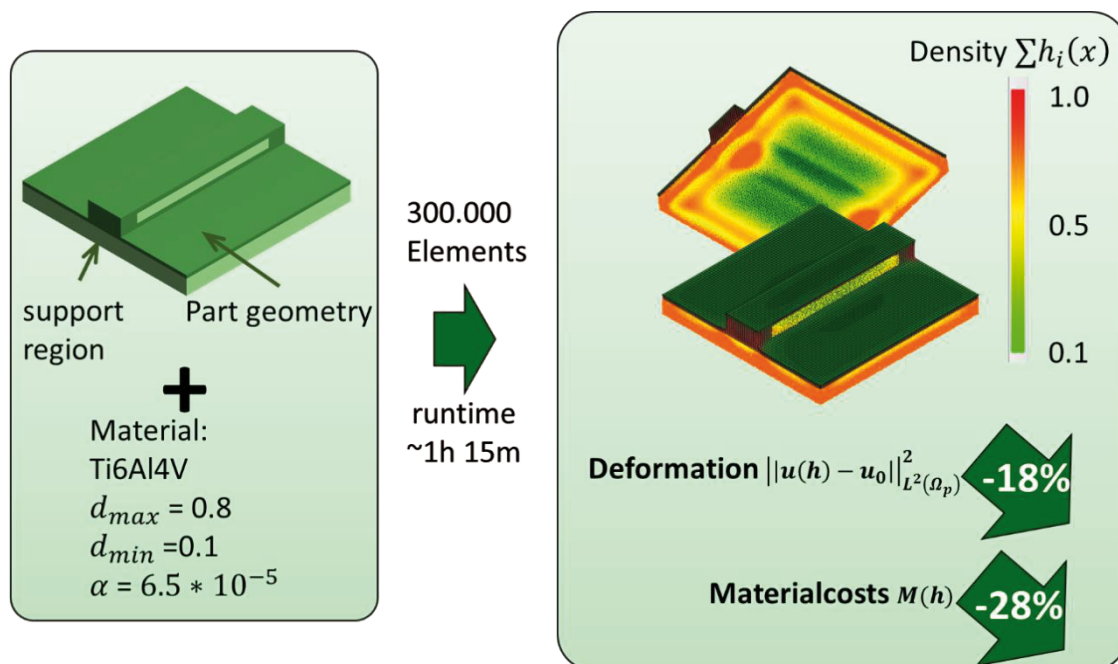


Abb. 5: Die Resultate der auf den Prüfkörper angewandten Stützstruktur-Optimierung zeigen die Ergebnisse, die durch den aktuellen Zustand der Optimierungsmodule generiert werden.

Die zukünftige Arbeit auf diesem Gebiet wird sich auf die vollautomatische Generierung von Stützstrukturen fokussieren, und zwar auf der Grundlage der berechneten optimalen Dichte der Stützstrukturen sowie der erwarteten maximalen Belastungen an der Verbindung zwischen Stützstrukturen und Bauteil, um den Kontakt mit der Beschichtungsvorrichtung zu vermeiden.

7 Das fehlende Bindeglied für gute Simulationsergebnisse

Gute Simulationsergebnisse sind – neben der numerischen Methode – auch von der Qualität der Materialdatenbanken abhängig, aus denen die Parameter für die angewandten Materialmodelle stammen, die in dem numerischen Modell verwendet werden. Gegenwärtig scheint ein numerischer Ansatz zur Gewinnung dieser Materialdaten interessant zu sein, aber eine zuverlässige Vorhersage der Materialeigenschaft ist aktuell nicht möglich. Die Prozessbedingungen sind einer der Gründe dafür, da sie zu ungleichgewichtigen Mikrostrukturen führen, die sich auf die Materialeigenschaften auswirken. Je nach verwendetem Material können anisotrope mechanische Eigenschaften nach der Additiven Fertigung beobachtet werden [5]. Unter Berücksichtigung all dieser möglichen Effekte scheinen experimentell gewonnene Materialeigenschaften ein zwar aufwendiger, aber pragmatischer Ansatz zur Entwicklung von Materialdatenblättern zu sein. Diese Materialeigenschaften in Abhängigkeit von den Prozessparametern zur Verfügung zu stellen, ist eine der Aufgaben, denen sich die Lieferanten der Materialien für die Additive Fertigung stellen müssen.

8 Schlussfolgerungen

Die Simulation kann ein vielseitiges Tool sein, das Anwender von pulverbettbasierten Additiven Fertigungsverfahren in die Lage versetzt, Bauteile mit weniger Versuchen aufzubauen oder ihren Aufbauprozess so zu optimieren, dass sie bei der Serienproduktion Aufbauzeit einsparen können. Die Methode der inhärenten Dehnungen in Kombination mit experimenteller Kalibrierung ist ein pragmatischer Ansatz, um dieses Problem anzugehen. Die nächsten folgerichtigen Schritte bestehen darin, die Simulationstools in den Workflow der Arbeitsvorbereitung und bei der Bestimmung der Prozessparameter – in Abhängigkeit von den Materialeigenschaften für eine adäquate Simulation – aufzunehmen. In den nächsten Jahren werden die Kunden zudem auf Polymere spezialisierte Simulationstools nachfragen, wenn die Simulation der metallpulverbasierten Additiven Fertigung zuverlässige Ergebnisse im makroskopischen Maßstab liefert.

Die Methode der inhärenten Dehnungen in Kombination mit experimentellen Kalibrierungen ermöglicht, je nach verfügbarer Hardware, Simulationen im Maßstab des Bauteils innerhalb von Minuten bis wenigen Stunden. Erste Experimente mit Prozessen bei höheren Temperaturen deuten darauf hin, dass dieser Ansatz nach einigen Anpassungen auch auf die Additive Fertigung im Hochtemperatur-Bereich angewandt werden kann.

Die große Herausforderung in den kommenden Jahren wird die mikroskalige Simulation sein. Um schnelle numerische Algorithmen entwickeln zu können, muss zunächst die Problemstellung vollständig verstanden und die Korrektheit der Annahmen validiert werden.

9 Literatur

1. **Khairallah, S.A., et al.** Laser powder-bed fusion additive manufacturing: Physics of complex melt flow and formation mechanisms of pores, spatter, and denudation zones. *Acta Materialia*. April 2016, Vol. 108, pp. 36-45.
2. **Megahed, M., et al.** Metal additive-manufacturing process and residual stress modeling. *Integrating Materials and Manufacturing Innovation*. December 2016, Vol. 5, 4.
3. **Otto, A. and Schmidt, M.** Towards a universal numerical simulation model for laser material processing. *Physics Procedia*. 2010, Vol. 5, pp. 35-46.
4. **Holfelder, P., et al.** A Phase Field Approach for Modeling Melting and Re-Solidification of Ti-6Al-4V during Selective Laser Melting, Key Engineering Materials. *Key Engineering Materials*. August 2016, Vol. 704, pp. 241-250.
5. **Kunze, K., Etter, T., Grässlin, J. and V., Shklover.** Texture, anisotropy in microstructure and mechanical properties of IN738LC alloy processed by selective laser melting (SLM). *Materials Science and Engineering: A*. Jan. 3, 2015, 620, pp. 213-222.
6. **Parry, L., Ashcroft, I.A., and Wildman, R.D.** Understanding the effect of laser scan strategy on residual stress in selective laser melting through thermo-mechanical simulation. *Additive Manufacturing*. 2016, 12, pp. 1-15.
7. **Murakawa, H., Luo, Y., Ueda, Y.** Inherent strain as an interface between computational welding, mechanics and its industrial application. *Mathematical Modelling of Weld Phenomena 4*. 1998, pp. 597-619.
8. **Keller, N., Ploshikhin, V.** New method for fast predictions of residual stress and distortion of AM parts. *Solid Freeform Fabrication Symposium*. 2014.

9. **Keller, N., Schlasche, J., Kober, C., Ploshikhin, V., Werner, C., Domagala, T.** Distortion compensation in Laser Beam Melting processes. *MSTAM 2014 - Proceedings of the 1st International Symposium Materials Science and Technology of Additive Manufacturing*. DVS Media GmbH, Düsseldorf, 2015.
10. **Keller, N., Schlasche, J., Xu, H., Ploshikhin, V.** Simulation Aided Manufacturing: Scanning Strategies for Low Distortion in Laser Beam Melting Processes. *Direct Digital Manufacturing Conference (DDMC)*, 2016.

Optimierung der AM Prozesskette durch skalierbare praxisorientierte Simulation

Dr. Patrick Mehmert¹, Dr. Enrique Escobar¹, Dr. Motoharu Tateishi²

¹ Simufact Engineering GmbH

² MSC Software Japan LTD.

Additive Fertigung besteht nicht nur aus der Generierung eines Bauteils in einem druckähnlichen Prozess. Es handelt sich um eine ganze Prozesskette unterschiedlicher Entwicklungs- und Fertigungsstufen mit jeweils unterschiedlichen Herausforderungen wie z.B. der Vermeidung von Verzug und Eigenspannungen. Die Optimierung der Prozesskette im Ganzen und ihrer individuellen Stufen kann durch die Anwendung von Fertigungssimulationen unterstützt werden. Dadurch können zeitintensive und kostspielige Iterationen mit realen Versuchen reduziert werden. Es wird ein simulativ gestütztes Optimierungskonzept auf Basis der Simufact Additive Software vorgestellt und diskutiert. Der aktuelle Stand und Beispiele aus der Praxis werden präsentiert und ein Ausblick in zukünftige Entwicklungen gegeben.

1 Einleitung

Additive Fertigung bzw. international üblich Additive Manufacturing (AM), kann aktuell immer noch als ein Hype-Thema gesehen werden. Die Anzahl der Veranstaltungen, Produkte, Firmen und Veröffentlichungen scheint immer noch exponentiell zu wachsen. Allerdings ist Additive Fertigung kein wirklich neues Thema. Die erste, noch auf Harz basierende Technologie – die Stereolithographie – geht auf die 70er Jahre zurück und wird bereits seit den späten 80er Jahren kommerziell genutzt. Dies bedeutet, dass die Additive Fertigung bereits auf eine Geschichte von fast 50 Jahren zurückschauen kann [1].

Heute ist der große Unterschied allerdings, dass es nicht mehr nur um reine Prototypenfertigung geht. Durch die gewachsene Anzahl der zur Verfügung stehenden 3D-Drucksysteme mit ihren weiterentwickelten Technologien haben sich vielfältige weitere Anwendungsfelder bis hin zur Serienfertigung im kleinen Maßstab ergeben. Plastikdrucker sind bereits für den privaten Anwender erschwinglich, während das Aufkommen von Metalldruckern die Möglichkeiten für reale industrielle Anwendungen enorm erweitert hat.

Innerhalb der metallischen Additiven Fertigung gibt es im Wesentlichen zwei unterschiedliche technologische Ansätze: Direct Deposition und Powder Bed Fusion (PBF). Direct Deposition-Verfahren sind dabei nichts anderes als bekannte Auftragsschweißprozesse mit Draht- oder Pulverzufuhr. Als Wärmequelle können dabei alle üblichen Verfahren wie Lichtbogen, Elektronenstrahl oder Laser zum Einsatz kommen. Der wesentliche Vorteil der Deposition-Verfahren besteht in der hohen Materialauftragsrate, mit der schnell endkonturnahe Halbzeuge für die Endbauteile erzeugt werden können. Damit ist auch zugleich der große Nachteil der Verfahren verbunden: um die finale Geometrie zu erreichen, müssen noch aufwändige Nachbearbeitungsschritte wie z.B. vollflächiges Fräsen durchgeführt werden.

Innerhalb der Pulverbettverfahren kann zwischen Laser- oder Elektronenstrahl als Energiequelle unterschieden werden. Die meisten Systeme, angeboten von einer Vielzahl von Herstellern, verwenden Laser, während es aufgrund der Patentsituation aktuell nur einen Hersteller von Elektronenstrahl-Pulverbett-Systemen gibt. In diesem Artikel liegt der Fokus auf den Laser-Pulverbettverfahren.

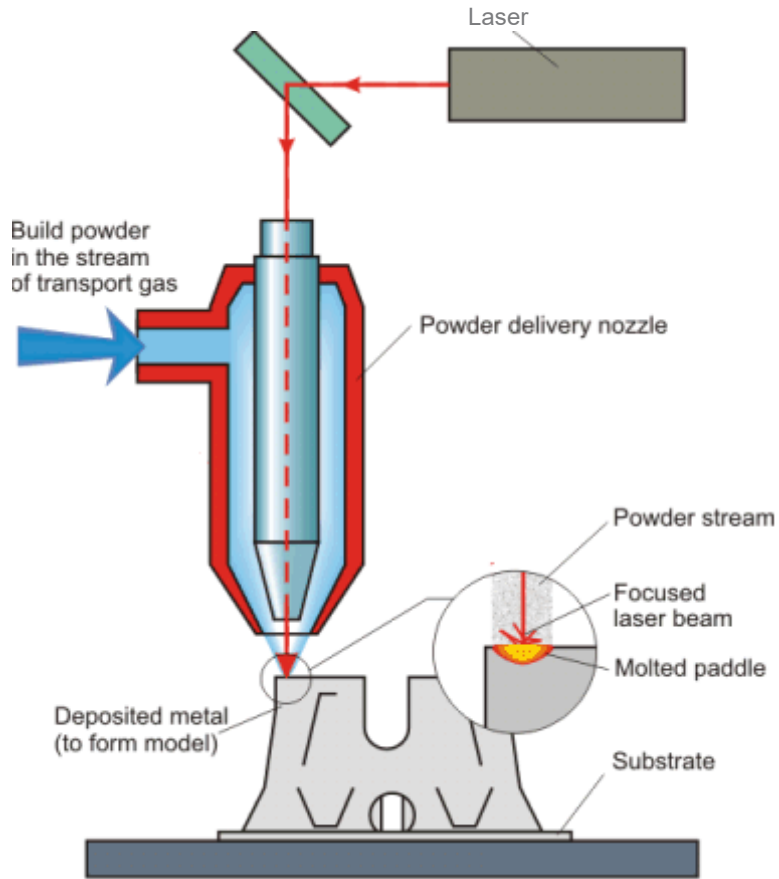


Abb. 1: Prinzip einer Laser Direct-Deposition-Anlage

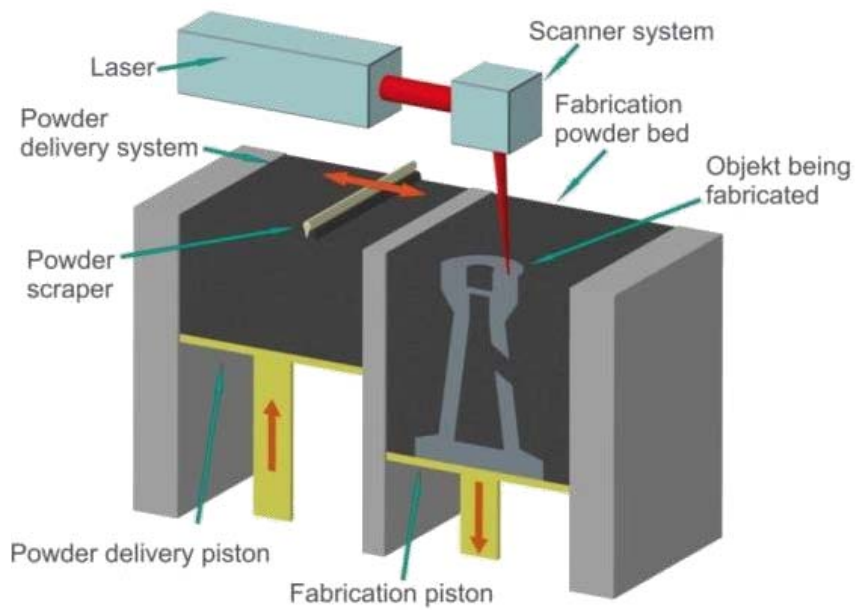


Abb. 2: Prinzip einer Laser Pulverbett-Anlage

Pulverbett-Systeme können dagegen komplexere filigrane Teile mit weniger bis gar keinem Fräs-Nachbearbeitungsaufwand herstellen. Dies gestattet die Herstellung integraler Leichtbauteile auch mit optimierten sogenannten bionischen Formen, die so bisher durch traditionelle Fertigungstechniken nicht herstellbar waren. Dies ermöglicht die Reduktion der Teileanzahl von Zusammenbauten bis hin zur Integration von Funktionalitäten wie beweglichen Komponenten bereits während der Fertigung. Bei bestimmten Anwendungen können PBF AM Teile so leichter, schneller und sogar günstiger produziert werden als mit herkömmlichen Technologien. Insbesondere kleine Losgrößen bis hinunter zu individuellen Anfertigungen können so zeit- und kostengünstiger gefertigt werden als es bisher möglich war.

Andererseits hat die metallische additive Fertigung auch eine Vielzahl von Herausforderungen. Die Hauptprobleme sind zu hoher Verzug und zu große Eigenspannungen. Verzug kann zu Bauteilen führen, die außerhalb der gegebenen Toleranzen liegen und daher entweder eine spezielle Nachbehandlung benötigen oder sogar Ausschuss sind. Weiterhin kann Verzug dazu führen, dass die Pulverbeschichtungsklinge mit dem Bauteil kollidiert, was zu einem sofortigen Bauprozessabbruch führt, da keine weitere Pulverschicht aufgetragen werden kann. Zu große Eigenspannungen können zum Versagen des Bauteils, der Stützstrukturen oder der Verbindung zwischen beiden führen. Selbst wenn das Bauteil selbst nicht betroffen ist, so können gebrochene Stützstrukturen sekundär wieder unerwünschten Verzug begünstigen.

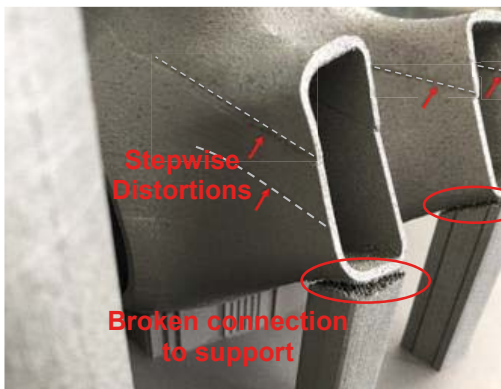


Abb. 3: Typisches Versagen und Verzugsverhalten

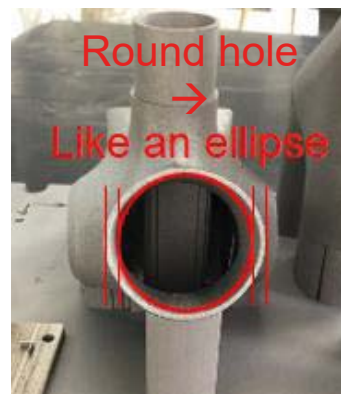


Abb. 4: Kreisprofil ist ellipsenförmig verformt

Abgesehen von diesen beiden Hauptproblemen existiert eine lange Liste weiterer Herausforderungen wie zu geringe Materialdichte, Poren, Bindungsfehler, Oberflächengüte, Festigkeit und Lebensdauer des additiv gefertigten Teils. Es ist nicht ungewöhnlich, dass zwischen drei und zehn Fertigungsversuche mit unterschiedlichen Parametern durchgeführt werden müssen bis ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht wird. Um nicht noch mehr Zeit und Geld zu investieren, werden die Versuche nicht weitergeführt, um eventuell ein noch besseres oder gar optimales Ergebnis bekommen zu können.

All dies impliziert einen hohen Bedarf an Fertigungsprozesssimulation, welche hilft, die Versuch & Irrtum-Iterationen zu reduzieren, und damit Fertigungszeit und Kosten zu minimieren. Weiterhin unterstützt sie dabei, verbesserte oder sogar optimale Fertigungsparameter zu identifizieren.

2 Prozesskette der Additiven Fertigung

In der Diskussion über AM bezieht man sich häufig allein auf den eigentlichen Bau- bzw. Druckprozess. Tatsächlich muss man sich aber bewusst machen, dass AM als Ganzes aus einer längeren Prozesskette mit Schritten vor und nach dem Drucken besteht, siehe Abb. 5.

Vor dem Druck muss das Bauteil zunächst konstruiert werden und digital zur Verfügung stehen. Basis ist oft eine numerische Topologieoptimierung, die einem eine prinzipielle Idee vom lastgerechten Design des Bauteils liefert. Diese Designidee muss nun noch in eine fertigungs- und anforderungsgerechte Bauteil-Konstruktion

überführt werden. AM liefert hier zum ersten Mal den Vorteil, dass selbst komplex „bionisch“ geformte Bauteile nun herstellbar sind, bei denen dies zuvor nicht der Fall war.

Ist die Form des Bauteils schließlich definiert, muss der AM Baujob vorbereitet werden. Dazu ist insbesondere die rotatorische Orientierung im Bauraum festzulegen, und geeignete Stützstrukturen sind zu definieren. Diese Stützen werden zusammen mit dem Bauteil im selben Prozess gefertigt und haben die Aufgabe, Verzug und Bauteilversagen während des Fertigungsprozesses zu verhindern. Die Bauvorbereitungssoftware bietet dabei die Möglichkeit, diese Schritte manuell zu definieren, es kann keine Vorhersage zur Wirkung der Orientierung oder der Stützen getroffen werden. Schließlich liefert die Bauteilvorbereitung das in additiv fertigmare Schichten zerlegte Bauteil inklusive Stützstrukturen bis hin zu den Fertigungsinformationen für die Einzelschichten.

Nach der Generierung des Bauteils wird üblicherweise eine Wärmebehandlung zur Reduktion der zuvor thermisch induzierten Eigenspannungen durchgeführt. Dies ist nicht nur deshalb nötig, um Rissbildung oder reduzierte Festigkeiten zu vermeiden, sondern auch um eine weitere Verformung des Bauteils nach dem Ablösen von der Grundplatte zu verhindern, siehe Abb. 6. Das Ablösen kann dabei durch einen Sägeprozess oder Drahterodieren (EDM) erfolgen.



Abb. 5: Allgemeine AM Prozesskette für Metall PBF [2]

Nach der manuellen Entfernung der Stützstrukturen ist die additive Fertigung im Wesentlichen beendet. Dennoch können weitere Schritte wie eine Oberflächenbehandlung (z.B. Sandstrahlen, Fräsen, Polieren) oder Tests folgen.

Ein weiterer wichtiger Schritt - insbesondere bei Luft- und Raumfahrtanwendungen - ist das heiß-isostatische Pressen (HIP). Hierbei wird das Bauteil abermals erwärmt und gleichzeitig unter hohen atmosphärischen Druck (typischerweise um die 100 MPa) gesetzt. Die Wärme reduziert den mechanischen elastischen und plastischen Widerstand, und der Druck kann zu einer weiteren Verdichtung des Bauteils führen. Nach dem additiven Bauprozess werden üblicherweise bereits Dichten von 95-99.5% gegenüber konventionellem Festmaterial erreicht. Durch den HIP-Prozess können insbesondere oberflächennahe Poren geschlossen werden, was zu Dichten bis nahezu 100% des Festmaterials führen kann.

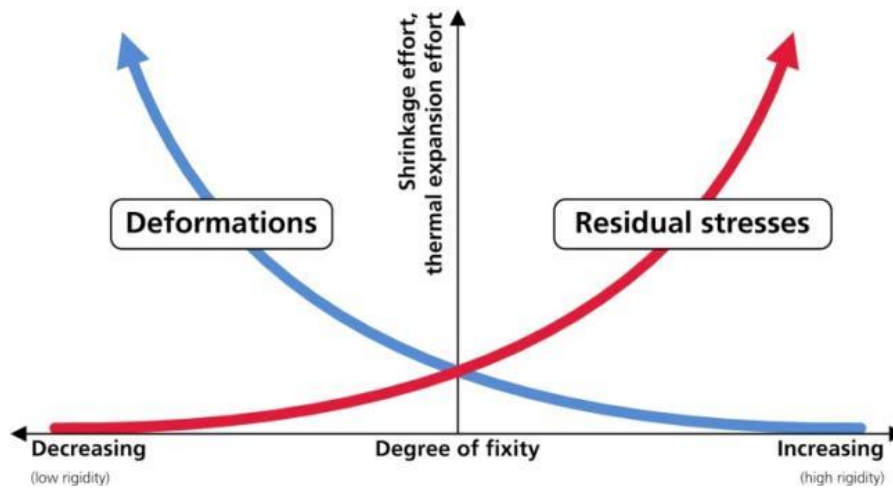


Abb. 6: Verhältnis zwischen Verzug und Eigenspannung abhängig vom Grad der Einspannung [7]

3 Simulation der AM Prozesskette

Die reale Fertigungsprozesskette kann nun in eine numerische Simulationsprozesskette übertragen werden, siehe Abb. 7.



Abb. 7: Mögliche numerische Prozesskette der Additiven Fertigung

Als wesentliche Schritte werden dabei der eigentliche Bauprozess, die spannungsreduzierende Wärmebehandlung, das Abtrennen von der Bauplatte, das Entfernen der Stützstrukturen und eventuell das „HIPpen“ simuliert. Weitere Analyseschritte können das Fräsen, Oberflächenbehandlungen und finale Festigkeits- und Lebensdauerberechnungen auf Basis des Zustands nach der Fertigung sein. Vorherige Schritte können eine Topologieoptimierung und das Ableiten der Bauteilkonstruktion sein, entweder manuell oder durch Glättungsoperationen.

3.1 Analyseskalen

Die Simulation additiver Fertigung, insbesondere des Bauprozesses, kann auf unterschiedlichen physikalischen Längenskalen geschehen, von denen keine als natürlich gegebene beste Wahl betrachtet werden kann.

3.1.1 Nanoskala

Im Metall-Pulverbettverfahren schmilzt eine bewegte Wärmequelle aus einem Laser- oder Elektronenstrahl selektiv Metallpulver auf. Das geschmolzene Metall kühlt ab, verfestigt sich und hinterlässt eine Lage festen Materials, so dass Lage für Lage schließlich ein komplettes dreidimensionales Bauteil entsteht.

Ein Ansatz besteht daher darin, sich die Ebene der Pulverpartikel anzuschauen. Die energiereiche Strahlung trifft auf das Pulver und wird teils absorbiert, teils reflektiert. Die reflektierte Strahlung verliert sich entweder in der Umgebung oder trifft erneut auf ein Pulverpartikel. Die Absorption der Energie erhitzt die Pulverpartikel bis hin zum Übergang in den schmelzflüssigen Zustand. Die aufgenommene Wärmeenergie verteilt sich nun durch Wärmeleitung, Strahlung und Konvektion im Bauteil und seiner Umgebung weiter, was zur Abkühlung und schließlich Erstarrung führt. Zurück bleibt festes Metall ähnlich dem Material eines Gussteils, so wie es auch bei Schweißnähten vorliegt. Auf dieser Ebene kommen oft Strömungssimulationen (CFD = computational fluid dynamics) zum Einsatz, um das Verhalten der flüssigen Phase im Detail berücksichtigen zu können. Auf dieser Skala sind sehr detaillierte Untersuchungen zur Interaktion von Wärmequelle und Pulver, dem Strömungsverhalten der Schmelze und den Eigenschaften des erstarrten Materials möglich. Offensichtlich können komplette reale Bauteile mit dieser Methode nicht analysiert werden.

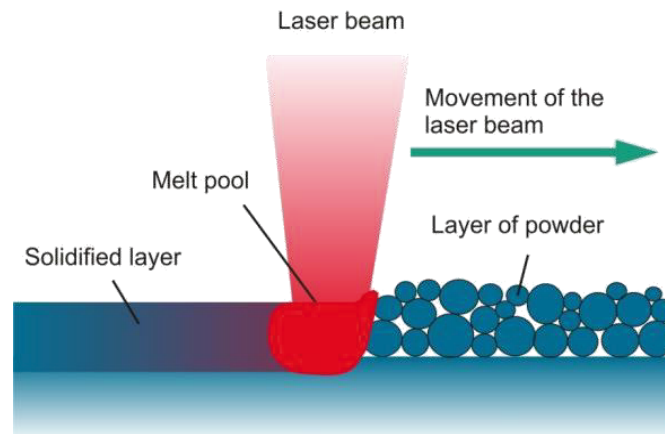


Abb. 8: Prinzip des Laser-Pulverbett-Schmelzverfahrens der Additiven Fertigung

3.1.2 Mikroskala

Ein weiterer Ansatz ist es, den AM Bauprozess als Mikro-Schweißsimulation zu betrachten. Die numerische Simulation von Schweißprozessen wird seit vielen Jahren intensiv betrachtet [3] und kann heute gut mit kommerzieller FE-Software wie MSC MARC und anderen mit einigem Modellierungsaufwand durchgeführt werden. Daneben gibt es spezialisierte FE-Software wie Simufact Welding, die den Modellierungs- und Analyseaufwand durch maßgeschneiderte Umgebungen erheblich erleichtern. Doch auch dieser Ansatz stößt schnell an seine Grenzen, da komplexe Nichtlinearitäten und Kopplungseffekte in der Schweißsimulation berücksichtigt werden müssen. Die Wärmequelle und ihre Einflusszone sind sehr klein im Vergleich zum Gesamtbauteil, temperaturabhängige Materialwerte müssen berücksichtigt werden, Strahlung kann einen signifikanten Einfluss haben, und die Kopplung von thermischer und mechanischer Analyse führt zu relativ langen Rechenzeiten schon für vergleichsweise kurze Schweißnähte. Da für ein AM Bauteil kilometerlange Schweißnähte gezogen werden müssen, ist die Schweißsimulation ungeeignet für Vorhersagen auf Bauteilebene. Es würde zu viel Zeit und Hardware-Ressourcen kosten.

Dennoch kann eine Mikro-Schweißsimulation der bewegten Wärmequelle bei AM, also dem Laser- oder Elektronenstrahl-Pfad, einen Einblick in prinzipielle Prozessdetails liefern. Insbesondere kann die komplexe Temperaturhistorie bestimmt werden, die sich durch mehrfaches Wiedererhitzen bereits erstarrten Materials auszeichnet, wenn die Wärmequelle innerhalb einer Schicht oder in einer höheren Schicht in der Nähe erneut vorbeizieht. Ist der zeitliche Temperaturverlauf bekannt, können weitere Ergebnisse wie die Gefügestruktur, die

chemische Zusammensetzung und die mechanischen Eigenschaften des neu generierten Bauteils, z.B. auf Basis empirischer Daten wie Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagrammen, abgeleitet werden. Ebenso können mechanische Effekte wie die prozessinduzierten Dehnungen untersucht werden und ggf. für Simulationen auf einer höheren Skala verwendet werden.

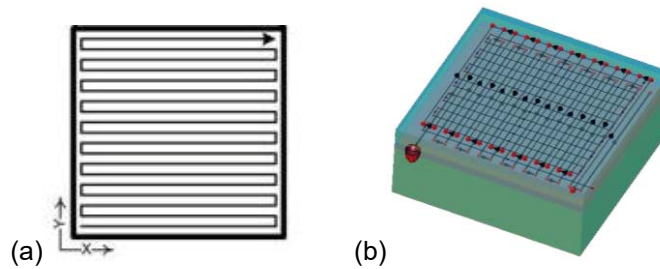


Abb. 9: (a) Beispiel für eine Laser Scanstrategie (bidirektional mäandernd) (b) Analoges Schweißpfad-Modell einer FE Simulation (Simufact Welding)

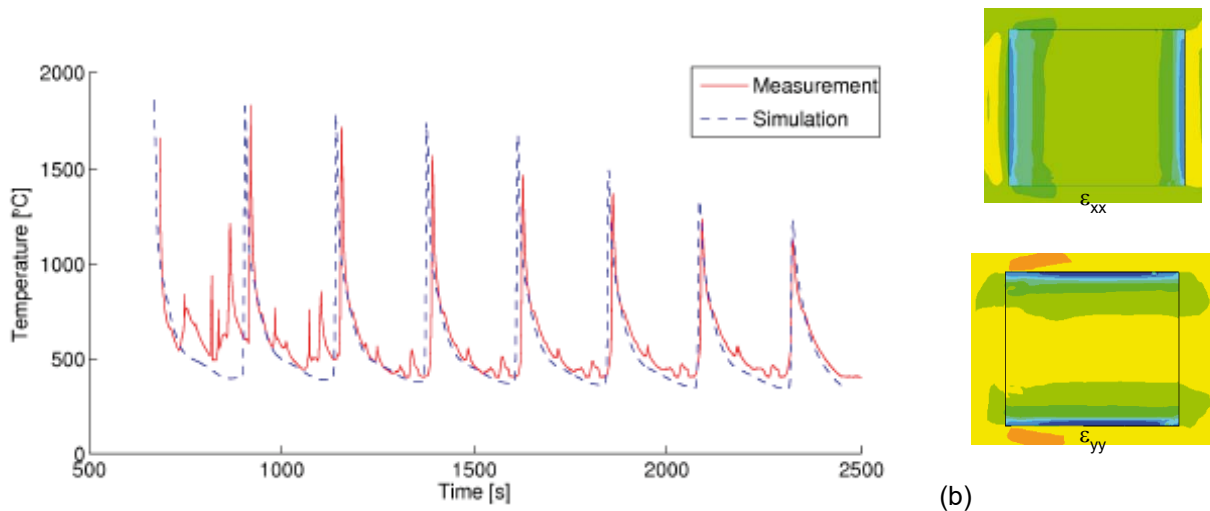


Abb. 10: (a) Simulierte und gemessene Temperaturhistorie eines AM Schweißprozesses [8] (b) Dehnungen abgeleitet aus einer Mikro-Skala Schweißsimulation

3.1.3 Mesoskala

Um eine größere Skala abzubilden, kann man Scan-Strategien wie Streifen- oder Schachbrettmuster zu größeren Einheiten zusammenfassen. Die thermischen oder mechanischen Lasten werden dann gemäß diesen Mustern aufgebracht, entweder nacheinander in der realen Reihenfolge oder in einem Schritt für eine Pulverschicht. Zur Beschleunigung können mehrere Pulverschichten vereinfacht in einer Elementschicht zusammengefasst werden, wobei die Lasten dann gemittelt aufgebracht werden. Auf dieser Größenskala kann nun auch die Generierung ganzer Bauteile mit akzeptablem Aufwand simuliert werden inklusive der Möglichkeit, thermische Informationen zu erhalten. Einerseits wird die lokale Temperaturhistorie nur grob angenähert, andererseits ist es möglich, einen Einblick in das globale thermische Verhalten des Bauteils und seiner Interaktion mit seiner Umgebung wie Grundplatte, Stützstrukturen, Pulver und freiem Bauraum zu bekommen.

3.1.4 Makroskala

Auf dieser Skala wird das AM Bauteil durch Aufbringen gemittelter Lasten auf nacheinander aktivierte Elementschichten - welche mehrere Pulverschichten umfassen - analysiert. Theoretisch könnte die Elementgröße auch bis auf die Größe einer einzelnen Pulverschicht reduziert werden, allerdings ist der zusätzliche Rechenaufwand in keiner Weise durch zugewonnene Genauigkeit zu rechtfertigen. Tatsächlich kann gezeigt werden, dass die Ergebnisse zügig konvergieren, wenn man von groben Netzen zu feineren Netzen übergeht, die immer noch einige zig Pulverschichten repräsentieren. Eine weitere Verfeinerung des Netzes bringt dann kaum noch einen Gewinn an Genauigkeit, siehe Abb. 11.

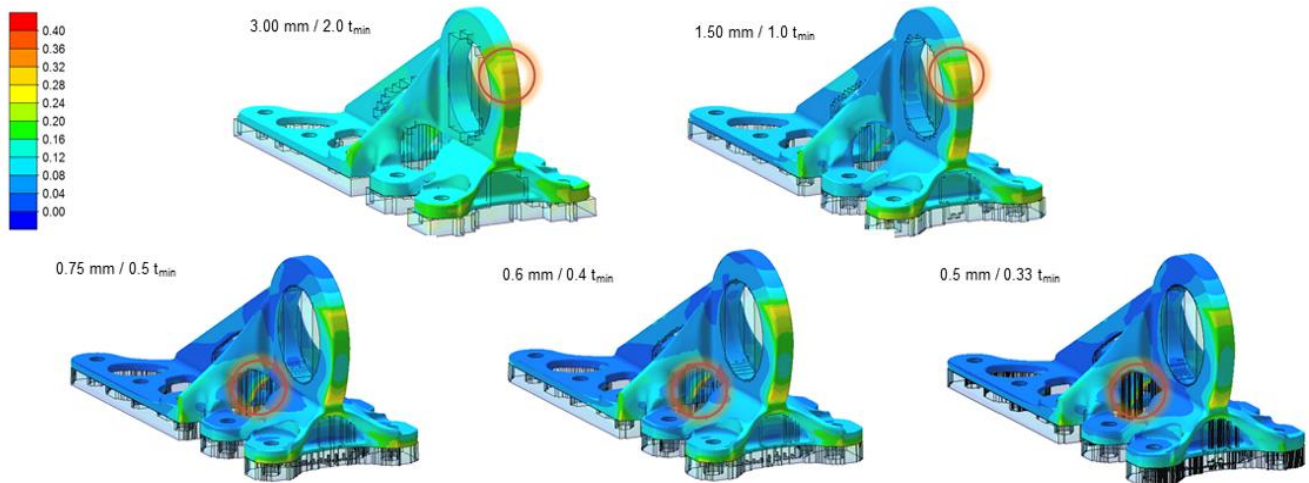


Abb. 11: Einfluss der Netzgröße auf das Verformungsergebnis

3.1.5 Vernetzung auf der Meso und Makroskala

Auf den meso- und makroskopischen Ebenen, in denen in der Regel komplexe Bauteile und keine einfachen Prüfkörper betrachtet werden, können unterschiedliche Netztopologien und Strategien zum Einsatz kommen:

- Tetraedernetz
- Hexaedernetz
- Voxelnetz

Ein Tetraedernetz hat den Vorteil, dass auch komplexe Bauteile bei guter Elementqualität konturtreu abgebildet werden können. Um allerdings gute mechanisch Ergebnisse zu erzielen, sollten quadratisch interpolierende Elemente den linearen vorgezogen werden. Dadurch ergibt sich allerdings ein höherer Rechenaufwand. Generell können Hexaeder Elemente bei linearer Interpolation bessere Ergebnisse als entsprechende Tetraeder liefern. Um allerdings komplexe Strukturen, wie sie in AM üblich sind, abzubilden, müssten stark verzerrte Elemente an der Bauteiloberfläche toleriert werden, die zu numerischer Instabilität und Ungenauigkeiten führen können.

Beide Ansätze – Tetraeder wie Hexaedernetz – haben den Nachteil, dass komplexe filigrane Bauteile und Stützstrukturen möglicherweise nicht, oder nur mit hohem Aufwand, vernetzt werden können. Insbesondere bei den Tetraedern schränkt die zu respektierende Schichtstruktur die sonst vorteilhaften Freiheiten bei der Vernetzung stark ein.

Die genannten Nachteile können mit der Verwendung eines sogenannten Voxelnetzes umgangen werden. Dieses basiert auf perfekt würfel- oder quaderförmigen Elementen. Die beiden großen Vorteile sind, dass numerisch günstige Elemente zum Einsatz kommen, die vertrauenswürdige Ergebnisse liefern können, und dass quasi jede Form unabhängig von ihrer Komplexität automatisch vernetzt werden kann. Um die Außenkontur eines Bauteils ausreichend genau abzubilden, müssten allerdings sehr feine Voxellemente verwendet werden. Um die Rechenzeit zu verkürzen, könnten mehrstufige Vergrößerungen durchgeführt werden, um größere Voxel in größeren Bereichen zu erhalten.

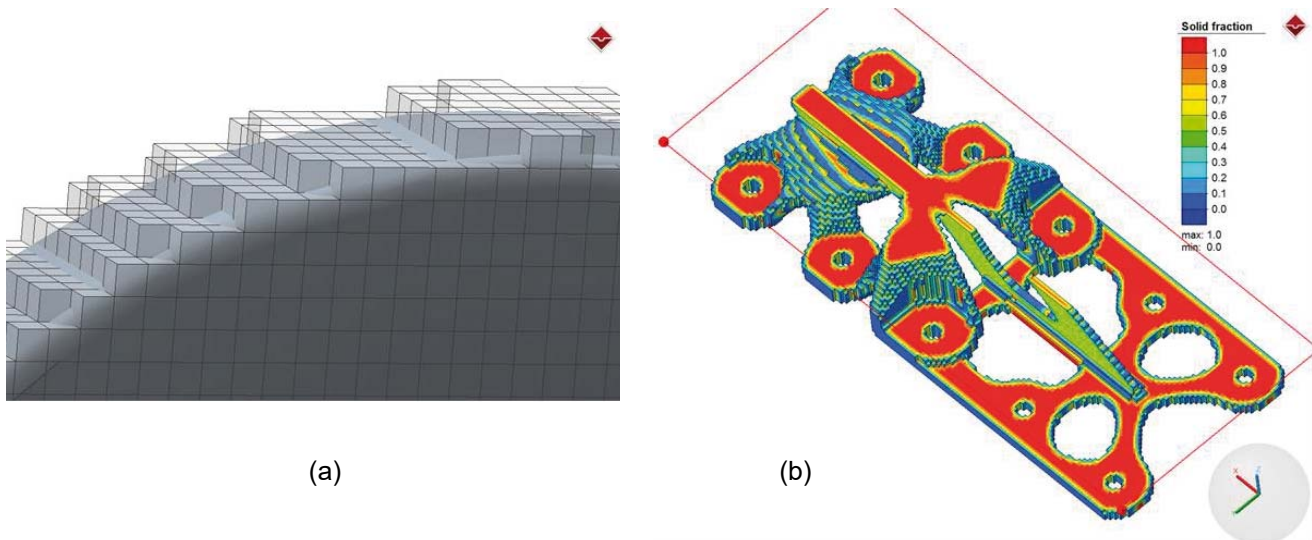


Abb. 12: (a) Voxelnetz (durchsichtig) an einer gekrümmten Oberfläche (undurchsichtig)
 (b) Verteilung des Anteils soliden Volumens einer voxelvernetzten Geometrie (mit Schnitt in x-y-Ebene)

Ein weiterer Ansatz besteht darin, ein relativ grobes Voxelnetz zu erzeugen, aber den Anteil des soliden Volumens, den ein Voxel repräsentiert, als Skalierungsfaktor für die Materialeigenschaften zu verwenden. Der einfachste Ansatz besteht darin, jedem Element das abgedeckte relative Bauteilvolumen als Skalierungsfaktor zuzuordnen. Genauer ist es jedoch, den lokalen Volumenanteil eines Oktanten dem jeweiligen Integrationspunkt zuzuordnen.

3.2 Additives Erzeugen eines Bauteils

Im Folgenden wird ein auf FE Simulation basierender makroskopischer Ansatz vorgestellt, mit dem die wesentlichen Schritte einer AM Prozesskette simuliert werden können.

Ein sehr schneller Ansatz zur Simulation des AM Bauprozesses ist die Verwendung der sogenannten inhärenten Dehnungen, welche durch den thermischen Fertigungsprozess in das Bauteil eingebracht werden [4]. Die inhärenten Dehnungen umfassen die plastischen, thermischen, Kriech- und Umwandlungsdehnungen [5].

Sind diese Dehnungen bekannt, so können diese als „Last“ auf ein FE-Modell aufgebracht und die resultierenden Verformungen und Eigenspannungen berechnet werden. Man muss sich dabei bewusst sein, dass alle Effekte der additiven Bauteil-Generierung in den inhärenten Dehnungen zusammengefasst werden. Dies bedeutet, dass - obwohl der reale Prozess durch den Wärmeeintrag und thermische Effekte getrieben ist - eine Simulation auf Basis inhärenter Dehnungen nur noch eine rein mechanische ist.

Die inhärenten Dehnungen werden üblicherweise durch eine Kalibrierung bestimmt und sind damit jeweils gültig für ein bestimmtes Material, den verwendeten Maschinentyp (ggf. sogar für die individuelle Maschine) und die Fertigungsparameter wie Leistung, Laser-Geschwindigkeit und Scan- Strategie. Jegliche Änderung dieser unabhängigen Variablen erfordert eine erneute Kalibrierung der Dehnungen. Durch den gerichteten AM Mikro-Schweißprozess ergeben sich orthotrope inhärente Dehnungen mit unterschiedlichen Werten in Längs-, Quer- und Lotrichtung.

Die Kalibrierung erfolgt an Prüfkörpern, wie z.B. der Cantilever-Geometrie, zu sehen auf Abb. 13. Der Prüfkörper wird additiv hergestellt, teilweise geschnitten oder komplett von der Grundplatte gelöst und die daraus resultierende Verformung gemessen. Basierend auf der beobachteten Verformung werden die inhärenten Dehnungen, welche diese Verformung verursacht haben, durch eine numerische Optimierung invers bestimmt. In dieser numerischen Optimierung wird die Fertigung der Prüfkörper in einer FE-Berechnung simuliert und die sich ergebende Verformung bestimmt. Ausgehend von einem angenommenen Startvektor für

die inhärenten Dehnungen wird dieser durch das Optimierungsskript inkrementell angepasst bis die gemessenen Verformungen aus dem Test auch in der Simulation hinreichend genau erreicht werden, siehe Abb. 14.

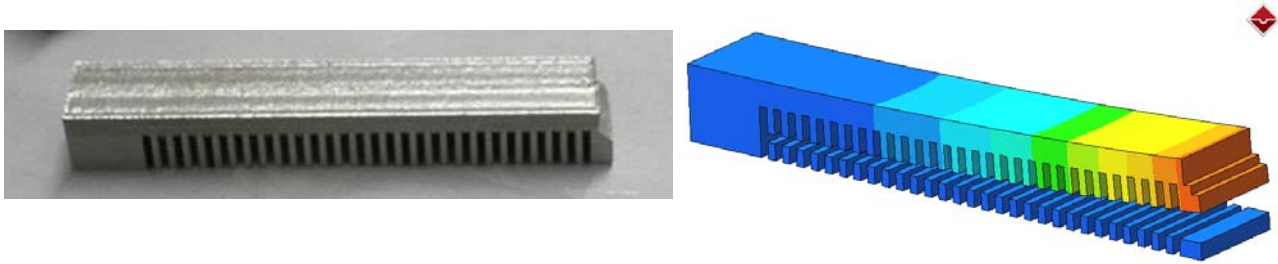


Abb. 13: (a) Additiv gefertigter Prüfkörper (Cantilever = einseitig eingespannter Balken) (b) Verformung des simulierten Prüfkörpers (gefertigt und geschnitten)



Abb. 14: Ausgabe einer erfolgreichen Kalibrierung basierend auf numerischer Optimierung

Die so bestimmten inhärenten Dehnungen können nun Schicht- oder Segmentweise gemittelt oder örtlich verteilt aufgebracht werden, um die unterschiedlichen Scanstrategien wie Streifen- oder Schachbrettmuster abzubilden. Dabei ist die übliche Rotation der Scanmuster pro Schicht und damit auch der inhärenten Dehnungen zu berücksichtigen. Eine weitere Vereinfachung ist es, Elementgrößen zu wählen, die weit größer sind als die realen einzelnen Pulverschichten. In diesem Fall muss ein Mittelwert der inhärenten Dehnungen über die Pulverschichten für eine Elementschicht berechnet und aufgebracht werden. Um den generativen Prozess des AM nachzubilden, werden die Elementschichten sequentiell aktiviert. (In der Tat würde das Aufbringen der inhärenten Dehnungen in einem Schritt auf das gesamte Bauteil leider nicht das gleiche Ergebnis liefern.) D.h. die erste Schicht wird aktiviert, die inhärenten Dehnungen aufgebracht und das mechanische Gleichgewicht bestimmt. Die nächste Schicht wird nun aktiviert, wobei die Knoten auf der Unterseite den verschobenen Knoten der bereits verformten ersten Schicht entsprechen, während die oberen Knoten an ihrer ursprünglich definierten Soll-Position sitzen. Die inhärenten Dehnungen werden unter Beachtung der Rotation aufgebracht, das mechanische Gleichgewicht wird bestimmt und so weiter bis das vollständige Bauteil virtuell generiert wurde.

Es sei angemerkt, dass für diesen Analyseansatz nur die resultierenden Materialeigenschaften bei Raumtemperatur benötigt werden, da alle thermischen Effekte bereits in den kalibrierten inhärenten Dehnungen enthalten sind.

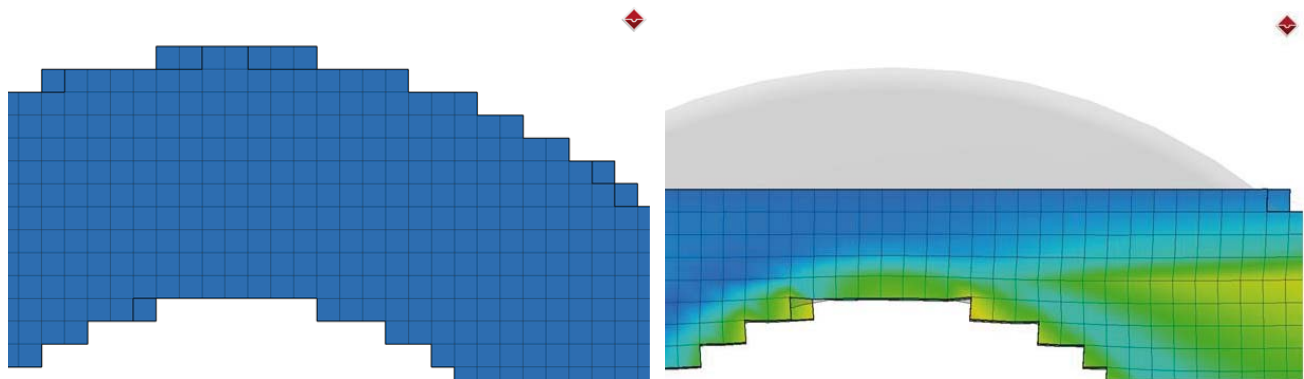


Abb. 15: (a) Schichtbasiertes Voxelnetz

(b) Sequentielle Aktivierung und Lastaufbringung der Schichten

3.3 Spannungsarmglühen

In diesem Prozessschritt führen zwei Effekte zur gewünschten Spannungsreduktion. Zunächst führen die erhöhten Temperaturen zur Absenkung der mechanischen Eigenschaften in Bezug auf E-Modul, Streckgrenze und plastischer Fließkurve. D.h. das Material wird weniger steif und schwächer, es kann den mechanischen Lasten nicht mehr so widerstehen wie bei niedrigen Temperaturen. Dies bedeutet, dass die Eigenspannungen durch interne Plastifizierung abgebaut werden können, was bei niedrigen Temperaturen nicht möglich war.

Allerdings erklärt dieser Effekt den beobachteten Spannungsabbau nur unzureichend. Ansonsten würde allein die maximal erreichte Temperatur den Spannungsabbau beeinflussen. Es kann durch Simulationen oder Tests gezeigt werden, dass allein das kurzzeitige Erhöhen der Temperatur im gesamten Bauteil und das spätere Abkühlen die Spannungen nicht ausreichend realistisch abbauen. Beim realen Spannungsarmglühen wird nach der Aufheizphase die Temperatur längere Zeit gehalten. Während dieser Haltezeit kann sich nicht nur das Bauteil bis ins Innere aufheizen, sondern es können auch zeitabhängige Kriecheffekte wirken, welche die Spannungen weiter abbauen. Kriechrelaxation findet unter konstanter Belastung statt, wie sie durch die Eigenspannungen gegeben ist. Bei Raumtemperatur ist dieser Effekt vernachlässigbar. Bei erhöhten Temperaturen verstärkt sich der Kriecheffekt exponentiell, weswegen Kriechen dann signifikant zum Spannungsabbau beiträgt. Bzgl. der Simulation bedeutet dies, dass mechanische Materialeigenschaften abhängig von Temperatur und plastischer Dehnung gegeben sein müssen genauso wie die Parameter für das gewählte Kriechmodell.

3.4 Schneidvorgänge

Wie Schneidvorgänge simuliert werden können liegt auf der Hand. Falls Bauteil und Stützstrukturen über Randbedingungen virtuell an die Grundplatte angebunden sind, werden diese aufgelöst. Die Ablösung kann unmittelbar (alle Randbedingungen auf einmal) oder anhand einer fortschreitenden Linie erfolgen. Schneidvorgänge können zu zusätzlichem Verzug führen, falls noch Eigenspannungen im Bauteil vorhanden waren. Falls die Grundplatte Teil des vernetzten Modells ist oder die Schnittebene über der Grundplatte liegt, können die betroffenen Elemente entweder gelöscht bzw. deaktiviert werden oder die Elemente werden durch Duplizierung der verbindenden Knoten getrennt.

In jedem Fall führen die geänderten Randbedingungen zu einem neuen Gleichgewichtszustand, der numerisch bestimmt werden kann. Hier sei darauf hingewiesen, dass nach Abtrennen des Bauteils und seiner Stützstrukturen von der Grundplatte keine definierte Einspannung mehr existiert. Um ungewollte Starrkörperbewegungen oder sogar einen Analyseabbruch zu vermeiden, muss das Bauteil durch neue starre Randbedingungen oder andere Maßnahmen wie einer Federlagerung stabilisiert werden. Dennoch ist dieser Zustand beliebig festlegbar und jede Verformungsmessung damit nicht eindeutig, sondern von der Starrkörperbewegung überlagert. Um dieses Problem zu überwinden, kann eine benutzerdefinierte Positionierung (und damit Verzugsmessung) gegenüber dem Originalteil eingeführt werden wie es in Messtechnik-Anwendungen der Fall ist.

3.5 Heiß-isostatisches Pressen

Heiß-isostatisches Pressen oder HIP bedeutet, ein Bauteil erhöhtem statischem Umgebungsdruck bei hohen Temperaturen auszusetzen. Die hohen Temperaturen haben den gleichen Effekt wie bei der drucklosen Wärmebehandlung zur Spannungsreduktion: der mechanische Widerstand des Bauteils wird reduziert. Wiederum werden evtl. verbliebende Eigenspannungen durch die reduzierten mechanischen Eigenschaften und die temperatur- und zeitabhängigen Kriecheffekte relaxiert.

Der zusätzlich aufgebrachte Druck führt nun zu einer Verdichtung des additiv hergestellten Bauteils. Typischerweise hat ein additives Bauteil bereits Dichten zwischen 95 und mehr als 99% im Vergleich zu konventionell verarbeitetem Material. Der reduzierte mechanische Widerstand in Verbindung mit dem erhöhten Druck kann zum Kollabieren oberflächennaher Poren führen. Das Material wird dadurch verdichtet und hat verbesserte mechanische Eigenschaften, die zuvor durch die Poren reduziert waren. Bezüglich der numerischen Simulation kann der gleiche Ansatz wie für das Spannungsarmglühen verwendet werden plus eben der zusätzlichen Drucklast. Für die Verdichtungssimulation stehen mehrere Pulvermodelle zur Verfügung, welche die Verdichtung abhängig vom erhöhten hydrostatischen Druck beschreiben.

3.6 Optimieren der AM Prozesskette

Wenn die wesentlichen Schritte der AM Prozesskette simuliert werden können, ermöglicht dies die virtuelle Optimierung derselben. Eine Möglichkeit ist die Anpassung der Parameter jeder einzelnen Stufe, um das bestmögliche Endergebnis zu erzielen. Eine zweite Möglichkeit ist es, die Prozesskette an sich zu verändern, um mögliche Effekte auf die Bauteileigenschaften zu untersuchen. Die Hürde, neue Ideen auszuprobieren, wird stark gesenkt, wenn „nur“ Modellierungs- und Rechenzeit aufgewandt werden muss statt des enormen Aufwands, unterschiedliche Prozessketten in der Realität auszuprobieren. Optimierung kann dabei auf zwei unterschiedliche Arten verstanden werden: der aktuelle Ansatz basiert auf einer ingenieurmäßigen manuellen Iteration während ein zweiter Ansatz die automatische Optimierung hin zu definierten Zielen unter Beachtung gegebener Nebenbedingungen ist.

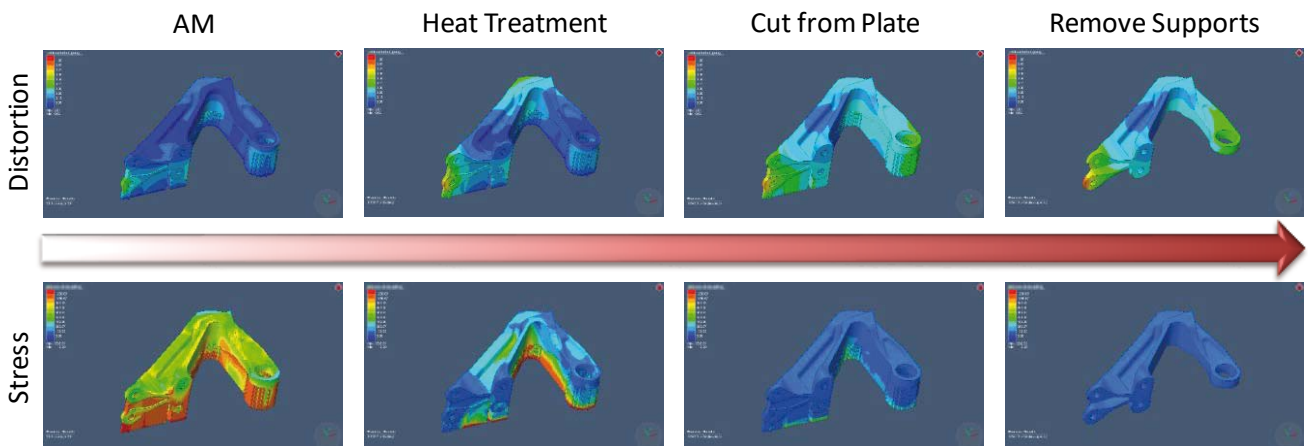


Abb. 16: Simulationsergebnisse für eine AM Prozesskette

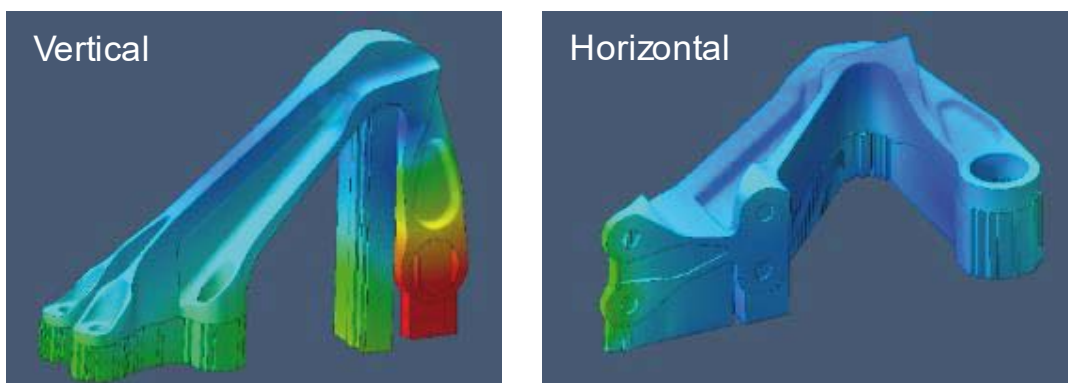


Abb. 17: Simulierter Einfluss unterschiedlicher Aufbaurichtungen auf den Verzug (gleiche Skala links und rechts)

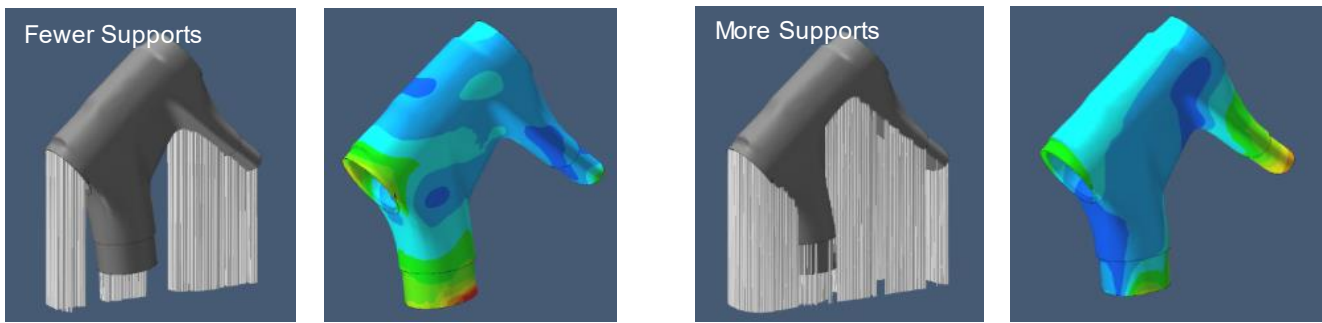


Abb. 18: Simulierter Einfluss unterschiedlicher Stützstruktur Konfigurationen auf den Verzug (gleiche Skala links und rechts)

4 Ausblick

4.1 Erweiterung der simulativen Prozesskette

Je mehr die reale Prozesskette durch Simulation abgebildet ist, desto besser kann sie virtuell optimiert werden. Daher ist es geplant, die Prozesskette, wie sie von Simufact Additive zurzeit abgedeckt ist, siehe Abb. 7, Schritt für Schritt zu erweitern. Schaut man auf den weiteren Verlauf der Prozesskette wäre der nächste Schritt die Simulation von Fräsprozessen, welche die mechanische Reaktion auf den Materialabtrag unter den gegebenen Einspannbedingungen umfasst. Weiterhin würde der Export z.B. von Nastran und Marc lesbaren Ergebnissen statische und Lebensdauer-Analysen auf Basis des Zustands nach der Fertigung ermöglichen. Schaut man auf die vorgelagerten Prozessschritte, würde eine Topologieoptimierung, z.B. mit Nastran eine anforderungsgerechte „bionische“ Leichtbau-Konstruktion ermöglichen.

4.2 Automatische Optimierung

Um eine iterative manuelle ingenieurmäßige Optimierung zu beschleunigen und Ergebnisse näher am Optimum zu erzielen, ist eine automatisierte Optimierung beabsichtigt. Zwei Beispiele dafür sind die Aufbaurichtung und die Stützstruktur-Konfiguration.

Für die Aufbaurichtung könnten Winkelbereiche festgelegt und die Bauprozesse automatisch simuliert werden. Iterativ wird die optimale Bauteilorientierung im Bauprozess bestimmt. Dies kann beschleunigt werden, in dem man zunächst den gesamten Bereich mit großen Schrittweiten und groben, schnell rechnenden Netzen untersucht. Die vielversprechendsten Intervalle werden dann mit geringeren Schrittweiten und feineren Netzen untersucht, bis ein Konvergenzkriterium erfüllt ist.

Der „heilige Gral“ der AM Optimierung ist die Bestimmung der optimalen Stützstruktur. Einerseits soll sie das Bauteil verlässlich vor Verzug und Versagen schützen. Andererseits soll es so wenig Stützstruktur wie möglich geben, um den Einsatz von Pulvermaterial, Energie und Zeit während des Bauprozesses zu minimieren, ebenso wie die Aufwände für die Stützstrukturentfernung und die nötige Oberflächenbearbeitung.

Die Stützstruktur-Optimierung kann als Parameter- oder als Topologieoptimierung betrachtet werden. Die Parameter würden definieren, wo die Stützstrukturen zu setzen wären (z.B. abhängig vom Winkel gegen die Grundplatte) und welche Form diese haben müssten (z.B. Wandabstände). In einer Topologieoptimierung kann eine quasi beliebige Struktur innerhalb des gegebenen Bauraums bestimmt werden.

4.3 Einbinden der Simulation in die AM Prozesskette

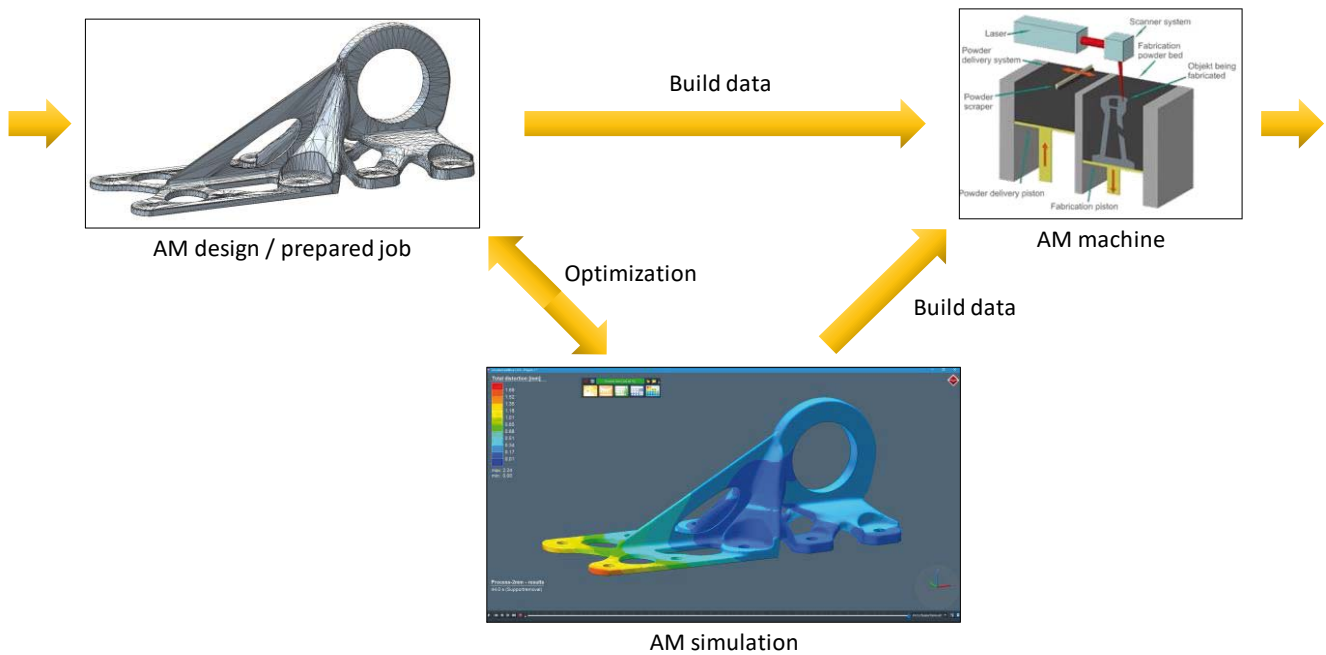


Abb. 19: Einbinden von Simulation in die AM Prozesskette

Logischerweise sollte Simulation nicht nur dazu dienen, die AM Prozesskette virtuell zu untersuchen, sondern sie sollte selbst Teil der Prozesskette werden. Gemäß Abb. 19 kann die Simulation ein Schritt zwischen der Bauteilkonstruktion bzw. dem vorbereiteten Baujob und dem eigentlichen Bauprozess auf der Maschine sein. Die Simulation sollte genutzt werden, um den geplanten Bauprozess zu optimieren, welches als Interaktion mit der Baujob-Vorbereitungssoftware passieren kann oder rein in der Simulations-Software. Danach können die aktualisierten Baudaten entweder durch die Baujob-Vorbereitungs-Software oder die Simulations-Software an die Maschine gesendet werden.

5 Literatur

- [1] Grund, M.: „Implementierung von schichtadditiven Fertigungsverfahren“, 2015, p. 35-37
- [2] Bundesverband Deutsche Luftfahrtindustrie (BDLI): process chain issued at kick-off competency network, Bremen, 13.9.2016
- [3] Mehmert, P.: “Numerische Simulation des Metallschutzgasschweißens von Grobblechen aus un- und niedriglegiertem Feinkornbaustahl”, TU Clausthal, 2000
- [4] Keller, N.; Ploshikhin, V.: New Method for Fast Predictions of Residual Stress and Distortion of AM Parts, Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium, 2014, p. 1229
- [5] MURAKAWA, H.; DENG, D.; MA, N.: Concept of inherent strain, inherent stress, inherent deformation and inherent force for prediction of welding distortion and residual stress, Transactions of JWRI. 39(2), 2010, P.103-P.105
- [6] NTT DATA ENGINEERING SYSTEMS Corporation (NDES)
- [7] Töppel, T.; Kordass, R.; Beyer, U; Seiderer, J.: “Numerical simulation of residual stresses and deformations in laser beam melting”, in Numerical Analysis of Weldability, 2015, in press
- [8] Lindgren, L.; Lundbäck, A.; Fisk, M.; Pedersen R.; Andersson, J.: Simulation of additive manufacturing using coupled constitutive and microstructure models, Additive Manufacturing, Volume 12, Part B, October 2016, Pages 144–158

Adjungierten-basierte Datenassimilation zur Analyse instationärer, kompressibler und reaktiver Strömungen

M. Lemke¹, J. Reiß, J. Sesterhenn

Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, Technische Universität Berlin

Die Analyse strömungsmechanischer Phänomene basiert auf experimentellen und numerischen Untersuchungen. Beide Ansätze liefern Ergebnisse, jedoch kein vollständiges und exakt übereinstimmendes Bild einer zu untersuchenden Strömung. Experimentelle Daten sind meist unvollständig, da nicht alle relevanten Zustandsgrößen messbar sind, während Simulationsergebnisse von Rand- und Anfangsbedingungen abhängen, die häufig nicht mit den realen Bedingungen übereinstimmen.

Um ein konsistentes und vollständiges Bild einer realen Strömung zu erhalten, können jedoch beide Ansätze in Form einer Datenassimilation verknüpft werden. Diese erlaubt es, nichtmessbare Größen modellbasiert zu bestimmen und aus wenigen Messdaten eine vollständige Beschreibung der Strömungsdynamik zu rekonstruieren. Im Folgenden wird ein adjungierten-basierter Datenassimilationsansatz für instationäre, kompressible und reaktive Strömungen gemeinsam mit drei Anwendungen vorgestellt.

1 Einleitung

Technische Strömungskonfigurationen werden häufig im Vergleich von Simulation und Experiment untersucht. Dabei werden experimentelle Messgrößen mit entsprechenden Größen aus der Simulation verglichen. Auftretende Diskrepanzen werden meist mit Hilfe von Intuition erklärt und durch manuelle Anpassung von Randbedingungen und Modellparametern reduziert. Dies ist zeitaufwendig und stark von der Erfahrung der Beteiligten abhängig.

Ein alternativer Ansatz ist eine engere Verknüpfung von Simulation und Experiment in Form einer Datenassimilation, bei der Messgrößen direkt in die numerische Simulation einbezogen werden. Klassisch wird dies zum Beispiel bei der Wettervorhersage umgesetzt, bei der neue Messdaten laufend in die Simulation eingebracht werden.

Die Datenassimilation kann durch Anpassung von beliebigen Parametern realisiert werden. In der Strömungsmechanik können dies zum Beispiel die oft nur ungenau bekannten Rand- und Anfangsbedingungen sowie Turbulenz- und Reaktionsparameter sein. Eine an Messdaten angepasste Simulation enthält Informationen, die einer Messung nicht direkt zugänglich sind und Rückschlüsse auf die Systemdynamik erlauben.

Im Folgenden werden drei Beispiele vorgestellt, die auf einem adjungierten-basierten Datenassimilationsansatz beruhen. In Beispiel I wird gezeigt wie Schallquellen identifiziert werden können. In Beispiel II wird dargestellt, dass aus einer reinen Geschwindigkeitsmessung Druckdaten bestimmt werden können, wie sie für technische Anwendungen häufig relevant sind. Schließlich wird in Beispiel III aus Daten von wenigen Druckmesspunkten eine instationäre Verbrennung rekonstruiert und damit der Prozess im Detail verstanden.

2 Datenassimilation als Optimierungsaufgabe

Der Prozess, Beobachtungen (Experimente) in ein mathematisches Modell zu integrieren wird als Datenassimilation bezeichnet. Ziel ist, denjenigen Systemzustand unter allen möglichen Zuständen des Modells zu finden, der optimal zu experimentellen Beobachtungen passt. Anwendungen finden sich in einer Vielzahl von Bereichen, vor allem in der Meteorologie, Geologie und Ozeanographie.

Es lassen sich zwei prinzipielle Ansätze zur Datenassimilation identifizieren, welche unterschiedliche Techniken zusammenfassen:

- Stochastische Filter
- Variationsansätze

wobei auch einfache Interpolationen, a-priori-Wahrscheinlichkeiten und semi-empirische Ansätze, wie RANS oder LES, als Datenassimilationsverfahren betrachtet werden können.

Bei der *stochastischen Filterung* wird der Systemzustand in sequentieller Weise, basierend auf Beobachtungen und statistischen Erwägungen, Zeitschritt für Zeitschritt, geschätzt. Das bekannteste Verfahren ist der Kalman-Filter.

Variationsansätze schätzen den Zustand des Systems, indem dessen Parameter, zum Beispiel der Startzustand, so bestimmt werden, dass der Abstand zwischen Systemzustand und Beobachtungen über ein gewähltes Zeitfenster minimal ist. Das bekannteste Verfahren ist 4D VAR.

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen beide Ansätze.

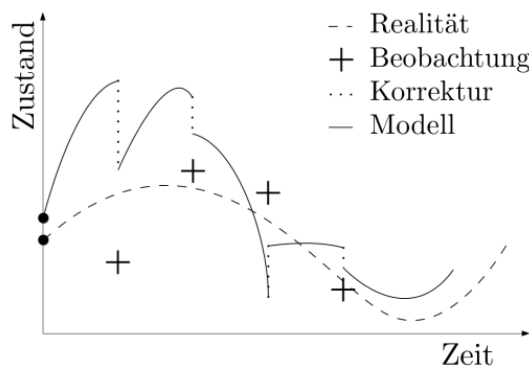


Abb. 1: Sequentielles Datenassimilationsverfahren. Die Korrektur des Modellzustandes (Analyse) geschieht auf der Grundlage von Beobachtungen und statistischen Erwägungen. Sprunghafte Änderungen, die nicht durch das eigentliche Modell beschrieben werden, liegen vor.

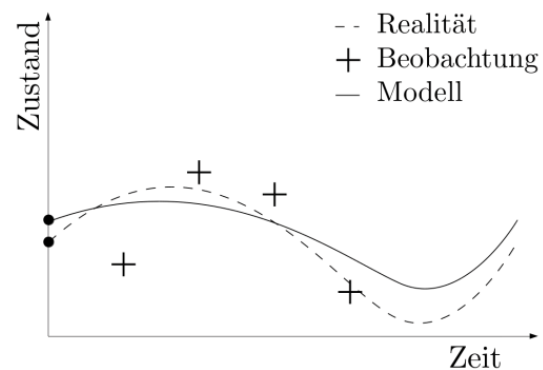


Abb. 2: Variationsbasierte Datenassimilation. Das Modell selbst wird angepasst, um den experimentellen Beobachtungen optimal zu entsprechen. Die gesamte Dynamik ist modellbasiert.

Wir folgen dem Variationsansatz. Der Datenassimilationsprozess kann hier als Optimierungsaufgabe interpretiert werden. Die Zielfunktion J misst die Diskrepanz zwischen Messungen und Simulation und kann formal als

$$J = \frac{1}{2} \int_V \int_{t_0}^{t_{\text{end}}} (q - q_{\text{exp}})^2 \sigma_{x_i}(x_i) \sigma_t(t) d\Omega$$

$$\approx \frac{1}{2} \sum_V \sum_{t_0}^{t_{\text{end}}} (q - q_{\text{exp}})^2 \sigma_{x_i}(x_i) \sigma_t(t) \Delta x_i \Delta t$$

geschrieben werden. Es ist die integrale Differenz über Raum und Zeit ($d\Omega$) zwischen dem numerischen Modellzustand q und dem experimentellen Zustand q_{exp} mit dazugehörigen Gewichten σ , um sie auf Messpunkte einzugrenzen. Im Allgemeinen wird die Funktion durch Regularisierungsterme und eine

Gewichtung für Messunsicherheiten ergänzt. Aus Gründen der Klarheit wird hier darauf verzichtet und auf entsprechende Literatur zum Thema verwiesen, etwa [1, 2, 3, 4].

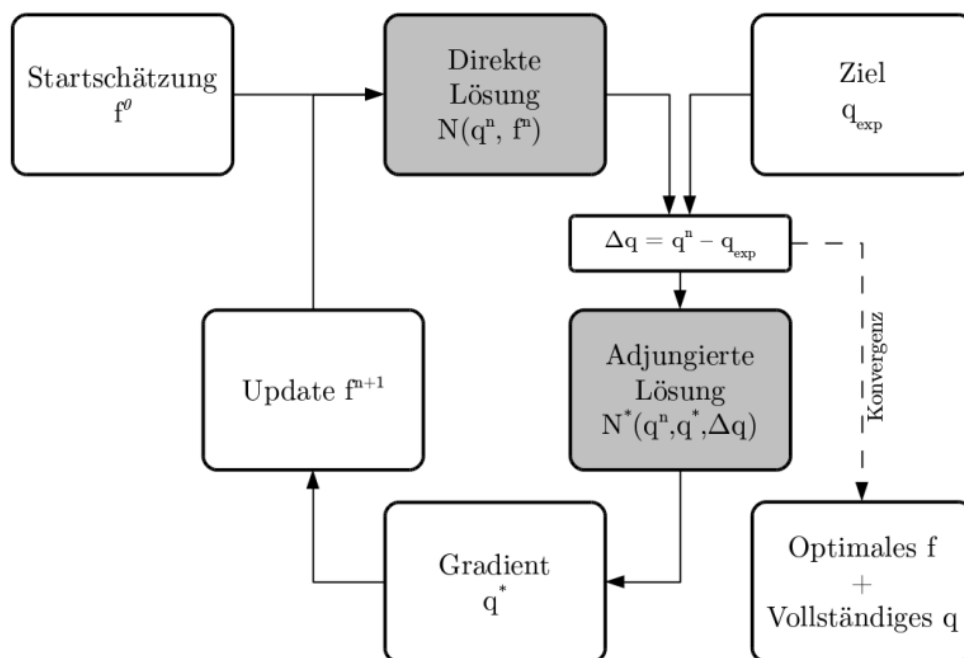
Die Anpassung einer Vielzahl von Modellparametern ist nicht-trivial. Der hierzu benötigte hochdimensionale Gradient kann jedoch mit Hilfe adjungierter Gleichungen effizient bestimmt werden.

3 Adjungierte instationäre kompressible und reaktive Navier-Stokes Gleichungen

Als mathematisches Modell für die folgenden Beispiele aus der Strömungsmechanik dienen die instationären, kompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen. Sie sind gegeben durch drei nicht-lineare gekoppelte Differentialgleichungen für Masse-, Impuls- und Energieerhaltung und geeignet zur Beschreibung akustischer sowie fluiddynamischer Probleme. Zur Analyse reaktiver Strömungen sind eine Erweiterung der Energiegleichung und die Lösung von Transportgleichungen für jede betrachtete Spezies sowie zusätzliche Reaktionsterme notwendig, siehe [5].

Die entsprechenden adjungierten, instationären, kompressiblen Navier-Stokes Gleichungen werden in [6, 7, 5] hergeleitet und eingehend diskutiert. Hier soll zur Übersichtlichkeit darauf verzichtet werden.

Analog zu üblichen Optimierungsaufgaben wird die adjungierten-basierte Datenassimilation iterativ durchgeführt:



Ausgehend von Schätzwerten für die Parameter f (Systemparameter oder -bedingungen) werden die Navier-Stokes-Gleichungen (N) gelöst. Anschließend werden die adjungierten Gleichungen (N^*), bezüglich der zuvor bestimmte direkte Lösung, berechnet. Der Term Δq , der durch die Abweichung von Simulation und Experiment bestimmt ist, treibt die adjungierte Lösung. Diese wird zur numerisch effizienten Bestimmung des zur Minimierung des Zielfunktions notwendigen Gradienten verwendet, um f^n so anzupassen, dass die Simulation an das Experiment herangeführt wird. Nach dem Update wird der Loop mit f^{n+1} wiederholt, bis eine gewünschte Konvergenz erreicht ist, also Simulation und Messung soweit zusammen passen, wie es das Modell erlaubt.

4 Beispiel I: Schallquellidentifikation

Das erste Beispiel behandelt ein einfaches akustisches Problem, um zu demonstrieren, dass die adjungierte Lösung nützliche Informationen zur Anpassung von Parametern eines strömungsmechanischen Modells beinhaltet. Aufgabe ist die Identifizierung von Schallquellen (als Parameter des Systems) aus Mikrofonmessungen. Der Abschnitt basiert auf [8, 9].

Die betrachtete experimentelle Konfiguration beinhaltet einen einfachen Lautsprecher, umgeben von 8 Mikrofonen in einer Ebene. Die Experimente wurden in einem reflektionsarmen Raum der Technischen Universität Berlin durchgeführt. Der auf einem Drahtseil montierte Lautsprecher wird mit einer Frequenz von 5 kHz angesteuert. Die Mikrofone werden mit einer Samplingrate von 48 kHz abgetastet. Die tragende Struktur des Experiments ist zur Reduktion von Reflexionen mit Schaumstoff ausgekleidet. Im Experiment sind Hintergrundgeräusche und Messfehler vorhanden.

Das Optimierungsziel ist die Übereinstimmung der Schalldruckmessung mit dem simulierten Druck an den Mikrofonpositionen. Als anzupassende Parameter dienen Quellterme im Druck, mit denen sich im Wesentlichen beliebige Schallquellen darstellen lassen. Die Adjungierte enthält Informationen über Quellpositionen und -signale, die geeignet sind, die Messung zu reproduzieren. Die Beeinflussbarkeit der Zielfunktion in Bezug auf Änderung der Parameter ist die sogenannte Sensitivität.

Bei der Analyse werden in den Strömungsgleichungen Reibung und Wärmeleitung vernachlässigt, da es sich um ein rein akustisches Problem handelt. Im Allgemeinen wäre es auch möglich, die linearisierten Eulergleichungen beziehungsweise eine Wellengleichung zu verwenden.

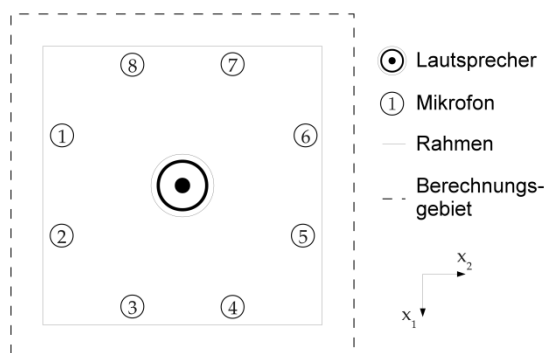


Abb. 3: Skizze des numerischen und experimentellen Aufbaus. Die Mikrofone sind um die Quelle herum angeordnet, die experimentell von einem Lautsprecher realisiert wird.

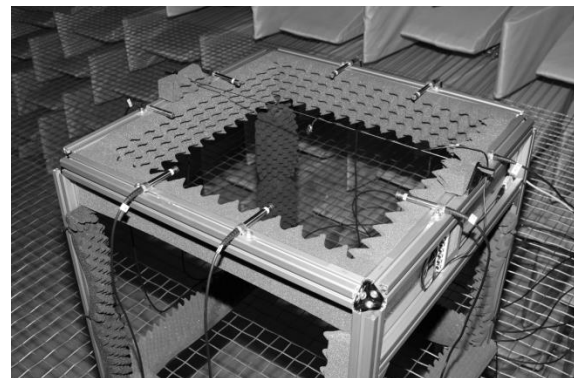


Abb. 4: Versuchsaufbau für das akustische Beispiel. Lautsprecher und Mikrofone sind auf einem Aluminiumrahmen montiert. Im Hintergrund sind Dämpfungselemente des reflektionsarmen Raumes sichtbar.

Die resultierende akkumulierte Sensitivität ist in Abbildung Abb. 5 dargestellt. Es ergibt sich der Mittelpunkt (A) als mögliche Schallquelle. Die zeitliche Auswertung der adjungierten Lösung an der entsprechenden Position enthält das Referenzsignal. Entsprechende Signale werden auch an den Positionen der anderen Maxima gefunden. Das globale Maximum (B) befindet sich in der Nähe der Mikrofone 4 und 5, hervorgerufen durch die Orientierung des Lautsprechers, welcher sich nicht als Monopolquelle idealisieren lässt. Die Nebenmaxima sind durch Interferenzeffekte in der adjungierten Lösung verursacht, was eine eindeutige Identifizierung erschwert. Dies gilt entsprechend auch für andere Methoden der Schallquellidentifikation. Für den realistischeren Fall nicht-kohärenter Signale werden diese Effekte deutlich verringert. Für komplexere Anordnungen, etwa mehrere Lautsprecher mit Richtcharakteristik, ist ein iteratives Vorgehen notwendig, siehe Abschnitt 3.

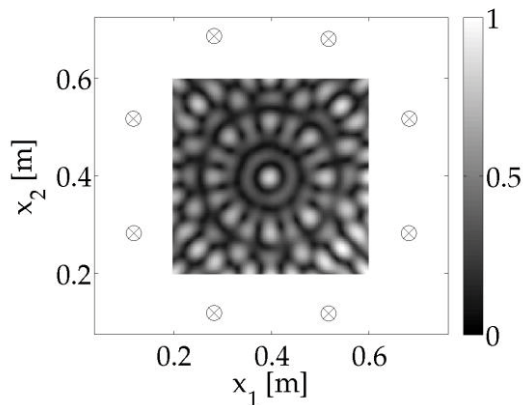


Abb. 5: Resultierende Sensitivität für den experimentellen Fall. Die maximale Amplitude befindet sich in der Nähe der Mikrofone 4 und 5 aufgrund der Richtcharakteristik des verwendeten Lautsprechers.

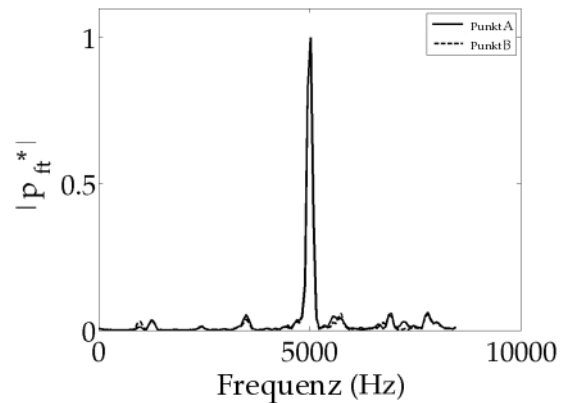


Abb. 6: Frequenz-basierte Analyse des adjungierten Signals an zwei Sensitivitätsmaxima. Auch für den experimentellen Fall entspricht das Signal der Referenzquelle.

Es kann festgestellt werden, dass die adjungierte Methode in der Lage ist, Quellterme beziehungsweise Parameter auf Basis experimenteller Messungen zu adaptieren. Zudem wird deutlich, dass sich die Adjungierte zur Analyse experimenteller Daten verwenden lässt.

In diesem Beispiel ergibt sich eine Methode für die Identifikation von Schallquellen, wie sie in vielen Fragestellungen der Lärmvermeidung benötigt wird. Die Methode erlaubt im Gegensatz zu anderen Verfahren die einfache Einbeziehung von Grundströmungen.

In aktuellen Arbeiten wird der adjungierten-basierte Ansatz auch zur Optimierung der Ansteuerung von Beschallungsanlagen unter Windeinfluss verwendet [10, 11].

5 Beispiel II: Druck aus PIV-Messungen

Das zweite Beispiel behandelt die adjungierten-basierte Druckbestimmung in kompressiblen Strömungen, basierend auf Geschwindigkeitsdaten von PIV (particle image velocimetry)-Messungen.

Ziel ist es, eine numerische Simulationen der instationären, kompressiblen Navier-Stokes Gleichungen in der Art anzupassen, dass die berechneten Geschwindigkeiten mit den experimentellen Daten möglichst gut übereinstimmen. Als anzupassende Parameter werden die Randbedingungen verwendet. Ist eine Übereinstimmung erreicht, kann der Druck für den experimentellen Zustand aus der Simulation entnommen werden, der in vielen technischen Problemen wesentlich, aber nichtinvasiv nur schwierig zu messen ist. Der Abschnitt basiert auf [9, 7, 12].

Der hier betrachtete experimentelle Aufbau ist ein offener Windkanal, betrieben durch Druckluft. Zur Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeit wird ein Druckminderer verwendet. Für die nachfolgend beschriebene Anwendung wurde der Windkanal mit einer Geschwindigkeit von etwa 100 m/s am Düsenaustritt betrieben. Die resultierende Machzahl von 0,29 impliziert eine leicht kompressible Strömung.

Die Geschwindigkeitsmessungen wurden durch ein Standard-PIV-System realisiert. Dabei wurden zwei Komponenten in einer Ebene (2D/2C) senkrecht zur Düse, mittig in Bezug auf die lange Seite, gemessen. Die CCD-Kamera-Doppelbilder haben eine Auflösung von 2.048 x 2.048 Pixel.

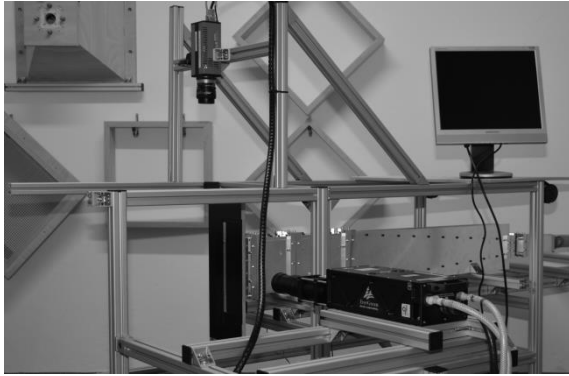


Abb. 7: Experimentelles Setup. Die CCD-Kamera ist oberhalb der Düse senkrecht zur Lichtschnittebene montiert, die in Bezug auf die Düsenbreite zentriert ist. Der Windkanal wird durch Druckluft betrieben und ist modular aufgebaut.

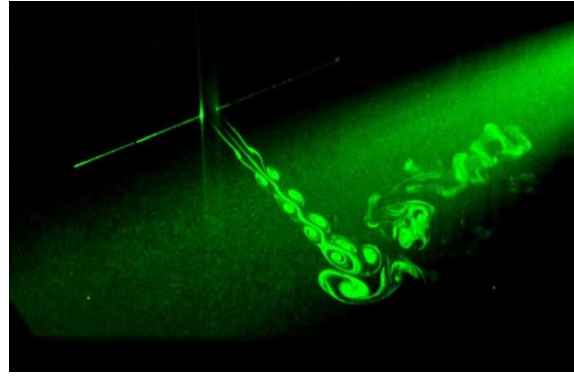


Abb. 8: Experimentelles Strömungsfeld zu Beginn der Messung. Die zu Beginn niedrige Geschwindigkeit führt zu übermäßigem Seeding im Freistrah, welches die Strömungsstrukturen deutlich sichtbar macht. Die Wirbel der Kelvin-Helmholtz Instabilität sind zu erkennen.

Eine zunächst zwei-dimensionale, dann turbulente Strömung liegt vor. Nahe dem Düsenaustritt treten Kelvin-Helmholtz Instabilitäten auf. Die absolute Geschwindigkeit erreicht bis zu 130 m/s. Im analysierten Bildpaar befindet sich der Jet im sogenannten flapping-mode.

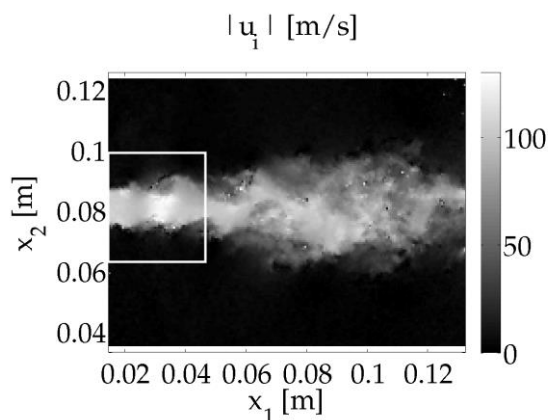


Abb. 9: Experimentelles Strömungsfeld (PIV). Der Bereich in dem die Simulation angepasst wird, ist durch das Rechteck markiert.

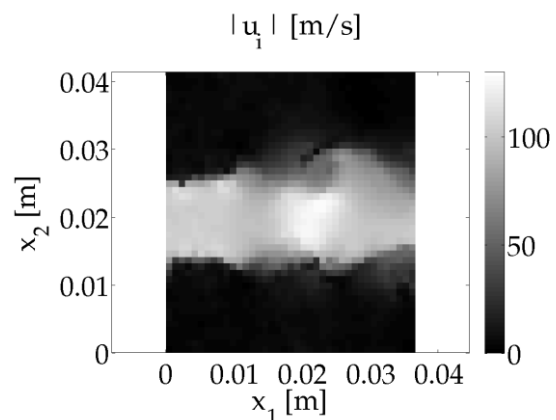


Abb. 10: Der gezeigte Ausschnitt des experimentellen Geschwindigkeitsfelds dient als Ziel der Datenassimilation. Die geringe Auflösung und unvermeidliche Messfehler verlangen eine robuste Analysetechnik.

Zur Bestimmung des Drucks, basierend auf dem experimentell bestimmten Geschwindigkeitsfeld, wird der Assimilationsansatz verwendet. Im Detail werden die Randbedingungen einer numerischen Simulation der zwei-dimensionalen instationären, kompressiblen Navier-Stokes-Gleichungen solange angepasst, bis das numerische Geschwindigkeitsfeld mit den experimentellen Daten optimal übereinstimmt.

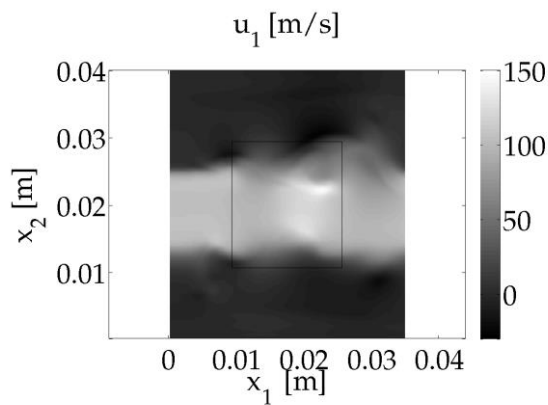


Abb. 11: Assimiliertes Strömungsfeld. Die Simulation reproduziert und komplementiert die Messung.

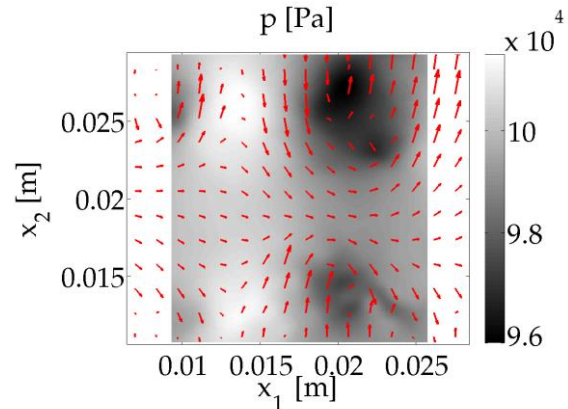


Abb. 12: Resultierendes Druckfeld im Messbereich. Die Minima entsprechen den in den Geschwindigkeitsdaten sichtbaren Wirbeln.

Für das betrachtete Strömungsfeld wird eine approximative, zwei-dimensionale Lösung gefunden, vergleiche Abb. 10 und Abb. 11. Dementsprechend kann das experimentelle Druckfeld aus den Simulationsdaten bestimmt werden.

Im Rahmen der Arbeit [9] konnte zudem gezeigt werden, dass der Datenassimilationsansatz in der Lage ist, die verwendeten PIV-Geschwindigkeitsdaten effektiv, model-basiert zu verbessern. Die Datenassimilation entfernt Rauschen und Messfehler, da diese keine Lösung der zu Grunde liegenden Navier-Stokes Gleichungen sind.

6 Beispiel III: Analyse eines pulse detonation combustor

Das dritte Beispiel zeigt, wie aus wenigen Informationen ein detailliertes, dynamisches Zustandsbild rekonstruiert werden kann. Gegenstand ist die Analyse eines pulse detonation combustor, der durch einen isochoren Zyklus eine deutlich verbesserte Effizienz gegenüber den heutzutage in Gasturbinen verwendeten isobar arbeitenden Brennkammern verspricht. Lediglich zeitaufgelöste Messungen von wenigen Drucksensoren in der Kammerwand liegen vor. Sie dienen als experimentelle Referenz im zu minimierenden Zielfunktional. Es soll eine optimale quasi-eindimensionale Beschreibung der Vorgänge bestimmt werden, wobei die Geometrie effektiv über einen veränderlichen Querschnitt dargestellt wird. Die zur Anpassung der Simulation verwendeten Modellfreiheitsgrade sind ausgewählte Parameter des verwendeten Reaktionsmodells und die Diffusionskonstanten in den beschreibenden instationären, kompressiblen und reaktiven Navier-Stokes Gleichungen. Der Abschnitt basiert auf [13].

Die hier im Detail untersuchte experimentelle Strömungskonfiguration, ist eine einzelne Detonationsbrennkammer. Das Rohr wird mit einem Gemisch aus Wasserstoff und sauerstoff-angereicherter Luft befüllt und durch eine Zündkerze gezündet. Der Übergang von einer Deflagration zur Detonation erfolgt durch die Verwendung einer speziellen Rohrgeometrie. Die wandgebundenen Drucksensoren arbeiten mit einer Frequenz von 1 MHz. Es werden nur vier Messpositionen für die Datenassimilation einbezogen.

Durch die Verwendung der adjungierten-basierten Datenassimilation kann ein geeignetes numerisches Modell bestimmt werden. Die numerischen Druckdaten stimmen mit den experimentellen Daten im Rahmen der Modell- und Messunsicherheiten überein und reproduzieren viele Details der Messung. Diese Details können im Modell erklärt werden und erlauben damit eine Interpretation des Experiments.

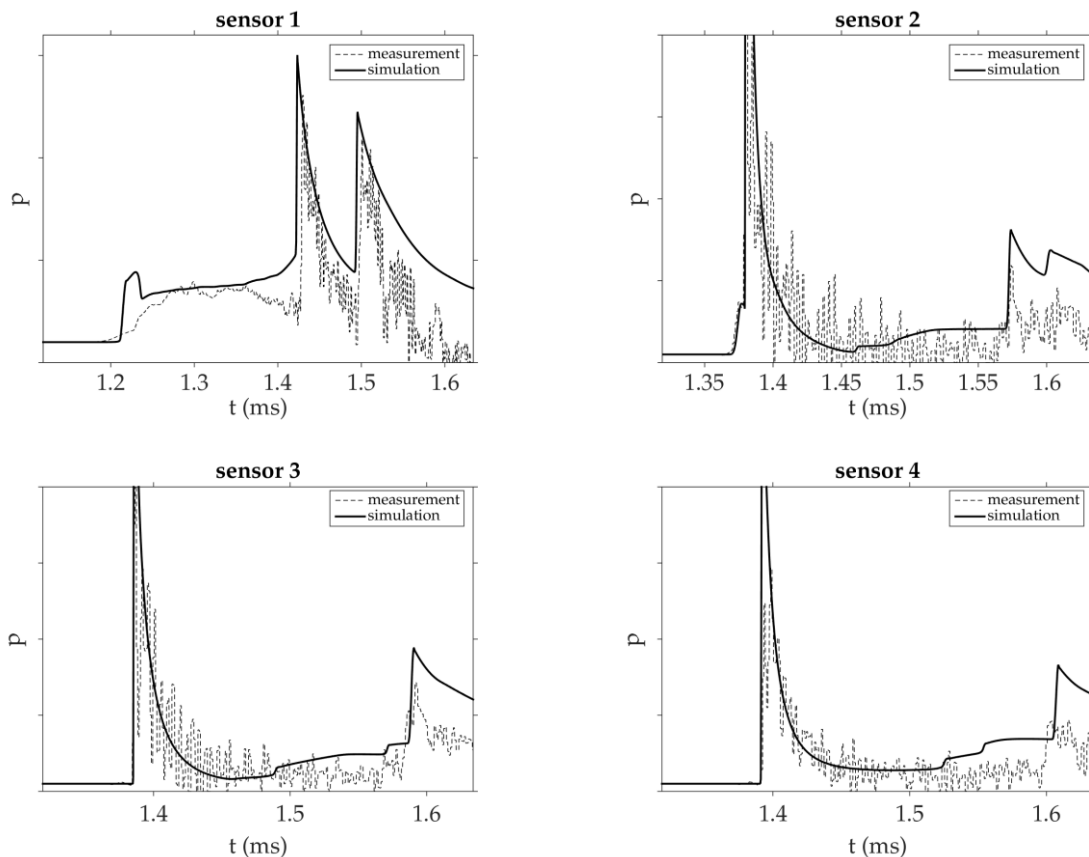


Abb. 13: Vergleich zwischen den assimilierten Druckdaten (angepasste Simulation) und den experimentellen Referenzdaten für alle vier mit in Betracht gezogenen Sensorpositionen. Die Druckwerte erreichen für die Drucksensoren 2-4 deutlich über 40 bar, siehe [13] für Details.

Aus der angepassten numerischen Simulation können viele Erkenntnisse über die physikalischen Vorgänge im Detonationsrohr gewonnen und weitere interessante Größen extrahiert werden. Dies ist insbesondere der zeitliche Verlauf und die Art der Reaktionsfront, welche Aussagen über den Übergang zur Detonation (DDT – deflagration to detonation transition) erlauben.

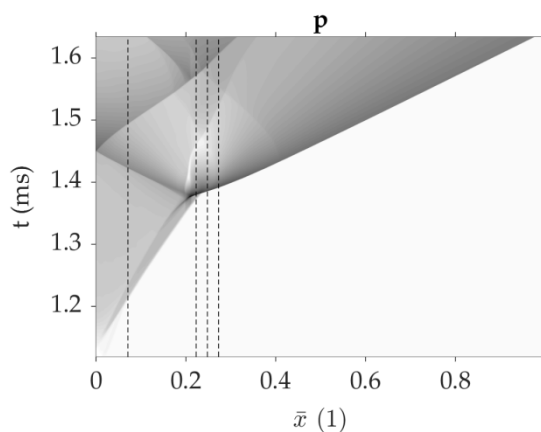


Abb. 14: Resultierendes Druckfeld in Raum und Zeit. Experimentelle Messdaten liegen nur entlang der gestrichelten Linien vor. Die weiteren Daten sind Ergebnis der angepassten numerischen Simulation.

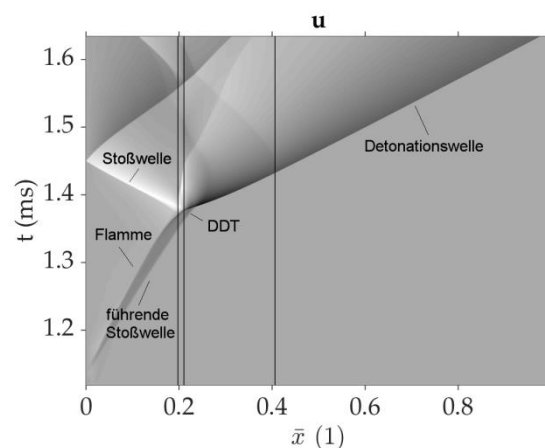


Abb. 15: Resultierendes Geschwindigkeitsfeld in Raum und Zeit. Die Linien markieren Änderungen in der Detonationsrohrgeometrie. Eine detaillierte Beschreibung der Vorgänge in der Brennkammer wird gefunden. Sie unterscheiden sich wesentlich von einer üblichen Brennkammer und konnten nur mit der Datenassimilation aufgeklärt werden.

Im Allgemeinen erlaubt der Ansatz die model-basierte Identifikation physikalischer Vorgänge in messtechnisch schwer zugänglichen Brennräumen auf Basis diskreter Messwerte.

7 Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung zur Durchführung einzelner hier vorgestellter Forschungsvorhaben im Rahmen des SFB 1029 "Signifikante Wirkungsgradsteigerung durch gezielte, interagierende Verbrennungs- und Strömungsinstationaritäten in Gasturbinen".

Financial support from the European Community's Seventh Framework program (FP7) under grant agreement No. 605151 (NIOPLEX) is gratefully acknowledged. Responsibility for the information and views expressed therein lies entirely with the authors.

8 Literatur

- [1] M. Asch, M. Bocquet und M. Nodet, *Data assimilation: methods, algorithms, and applications*, SIAM, 2016.
- [2] A. Gronsquis, D. Heitz und E. Mémin, „Inflow and initial conditions for direct numerical simulation based on adjoint data assimilation,“ *Journal of Computational Physics*, pp. 480 - 497, 2013.
- [3] A. Apte, C. K. R. T. Jones, A. M. Stuart und J. Voss, „Data assimilation: Mathematical and statistical perspectives,“ *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, pp. 1033-1046, 2008.
- [4] C. Bardos und O. Pironneau, „Data Assimilation for Conservation Laws,“ *Methods Appl. Anal.*, pp. 103-134, 2005.
- [5] M. Lemke, J. Reiss und J. Sesterhenn, „Adjoint based optimisation of reactive compressible flows,“ *Combustion and Flame*, pp. 2552-2564, 2014.
- [6] M. Giles und N. Pierce, „An Introduction to the Adjoint Approach to Design,“ *Flow, Turbulence and Combustion*, pp. 393-415, 2000.
- [7] M. Lemke und J. Sesterhenn, „Adjoint based pressure determination from synthetic PIV measurements in compressible flows - validation and assessment,“ *European Journal of Mechanics - B/Fluids*, pp. 29 - 38, 2016.
- [8] M. Lemke, C. Westphal, J. Reiss und J. Sesterhenn, „Adjoint Based Data Assimilation of Sound Sources,“ in *Fortschritte der Akustik - DAGA 2015*, 2015.
- [9] M. Lemke, *Adjoint based data assimilation in compressible flows with application to pressure determination from PIV data*, PhD thesis, Technische Universität Berlin, 2015.
- [10] M. Lemke, F. Straube, J. Sesterhenn und S. Weinzierl, „Adjungierten-basierte Schallfeldsynthese und Beschallung,“ in *Fortschritte der Akustik - DAGA 2017*, Kiel, 2017.
- [11] M. Lemke, F. Straube, F. Schultz, J. Sesterhenn und S. Weinzierl, „Adjoint-Based Time Domain Sound Reinforcement,“ in *Audio Engineering Society Conference: 2017 AES International Conference on Sound Reinforcement – Open Air Venues*, 2017.
- [12] M. Lemke, J. Reiss und J. Sesterhenn, „Pressure estimation from PIV like data of compressible flows by boundary driven adjoint data assimilation,“ in *AIP Conference Proceedings, 1738, 1*, ICNAAM 2015, 2016.
- [13] J. Gray, M. Lemke, J. Reiss, C. Paschereit, J. Sesterhenn und J. Moeck, „A compact shock-focusing geometry for detonation initiation: Experiments and adjoint-based variational data assimilation,“ *Combustion and Flame*, pp. 144 - 156, 2017.

Chancen und Risiken bei der Einführung von SDM für die Entwicklung von Abgastechnologien

Carsten Eller, Dr. Joachim Hildebrand

Eberspächer Exhaust Technology GmbH & Co. KG

Die stetig wachsende Zahl und die erweiterten Anwendungsbereiche numerischer Simulationen erfordern die Einführung eines effektiven Managements für die anfallende Datenflut. Das zeigte sich auch für die Eberspächer Exhaust Technology, die Abgastechnologien für Pkw- und Nutzfahrzeug-Systeme für alle namhaften Automobilhersteller rund um den Globus entwickelt und produziert. Um die steigenden Anforderungen an eine moderne Abgasanlage zu erfüllen und die immer kürzeren Entwicklungszeiten einzuhalten, sollten bereits in frühen Entwicklungsphasen Simulationen und Bauteiloptimierungen aus den Entwicklungsbereichen Betriebsfestigkeit (FEM), Akustik, Thermodynamik (CFD) oder Fertigung (Umformen, Schweißen) durchgeführt werden.

Der Anteil der virtuellen Entwicklung, ihre Bedeutung und ihre Komplexität werden in den nächsten Jahren weiter kontinuierlich zunehmen. Um die Vielzahl der Simulationsdaten zu verwalten und das globale "Simultaneous Engineering" sowie die Offshore-Entwicklung in Best-Cost-Ländern zu ermöglichen, ist für die Simulationsdisziplinen die Verwendung eines geeigneten Datenmanagementsystems notwendig. Durch ein hohes Maß an Automatisierung von Simulationsprozessen muss zusätzlich die Effizienz verbessert werden. Aus diesem Grund führt Eberspächer Exhaust Technology momentan Dassault Systemes Simulia SLM als SDM-System ein. Seit Mitte des Jahres 2016 nutzen ca. 30 Mitarbeiter in Esslingen aus dem Bereich Betriebsfestigkeit und CFD das SDM-System produktiv. Nach dem weltweiten Rollout Ende 2017 / Anfang 2018 werden rund 90 CAE-Kollegen mit dem SDM-System arbeiten.

Der folgende Beitrag enthält detaillierte Informationen über die Einführung des SDM-Systems. Zudem werden Erwartungen an, Erfahrungen mit und Herausforderungen hinsichtlich SDM vorgestellt.

1 Details zum SDM Projekt

Seit 2014 läuft die Einführung von SDM bei Eberspächer Exhaust Technology. Bereits in 2012 und 2013 wurde ein intensiver SDM-Systemauswahlprozess durchgeführt. Dieser beinhaltete die detaillierte Analyse mehrerer SDM Systeme, den Abgleich mit den Anforderungen, die Bewertung von Referenzsystemen sowie ein 3-monatiges „Proof-of-Concept“ mit zwei Anbietern. Als Ergebnis wurde Dassault Systemes Simulia SLM (V6R2013x) als SDM-System gewählt.

Basierend auf Erfahrungen mit der Entwicklung und der Anpassung anderer Datenbanksysteme durch externe Dienstleister in der Vergangenheit gab es diesmal eine Entscheidung gegen das Outsourcing. Die Strategie besteht darin, durch einen Coaching-Ansatz so viel wie möglich selbst umzusetzen, um eigenes Know-how für die Weiterentwicklung des Systems und für interne Supportaktivitäten zu entwickeln. Das Projekt ist deshalb eine enge Zusammenarbeit zwischen der CAE-Abteilung und der technischen IT. Der Preis für diese "Do-It-Yourself" -Entwicklung war bekannt: Es braucht viel Aufwand - vor allem um das Wissen über das Software-Tool aufzubauen - und eine Menge eigener Kapazität in Form von Personalressourcen. Seit Beginn des Projektes arbeiten 3 IT- und 3 CAE-Mitarbeiter ca. 70% ihrer Zeit für das SDM-Projekt.

Das SDM Projekt ist mittlerweile Teil einer hochrangigen Management-Initiative zur Steigerung der Effizienz der Produktentwicklung, und der Status muss regelmäßig an den Vorstand gemeldet werden.

Nach zweijähriger Entwicklung wurden die ersten Simulationsprozesse in SDM Mitte des Jahres 2016 für Betriebsfestigkeit (FEM-Simulation) und CFD ausgerollt. Momentan arbeiten täglich ca. 30 Kollegen im SDM System. Nach dem weltweiten Rollout Ende 2017 / Anfang 2018 werden rund 90 CAE-Kollegen aus den Bereichen Betriebsfestigkeit, CFD, Akustik und ME mit dem SDM-System an den Entwicklungsstandorten in Deutschland, Frankreich, USA und China arbeiten.

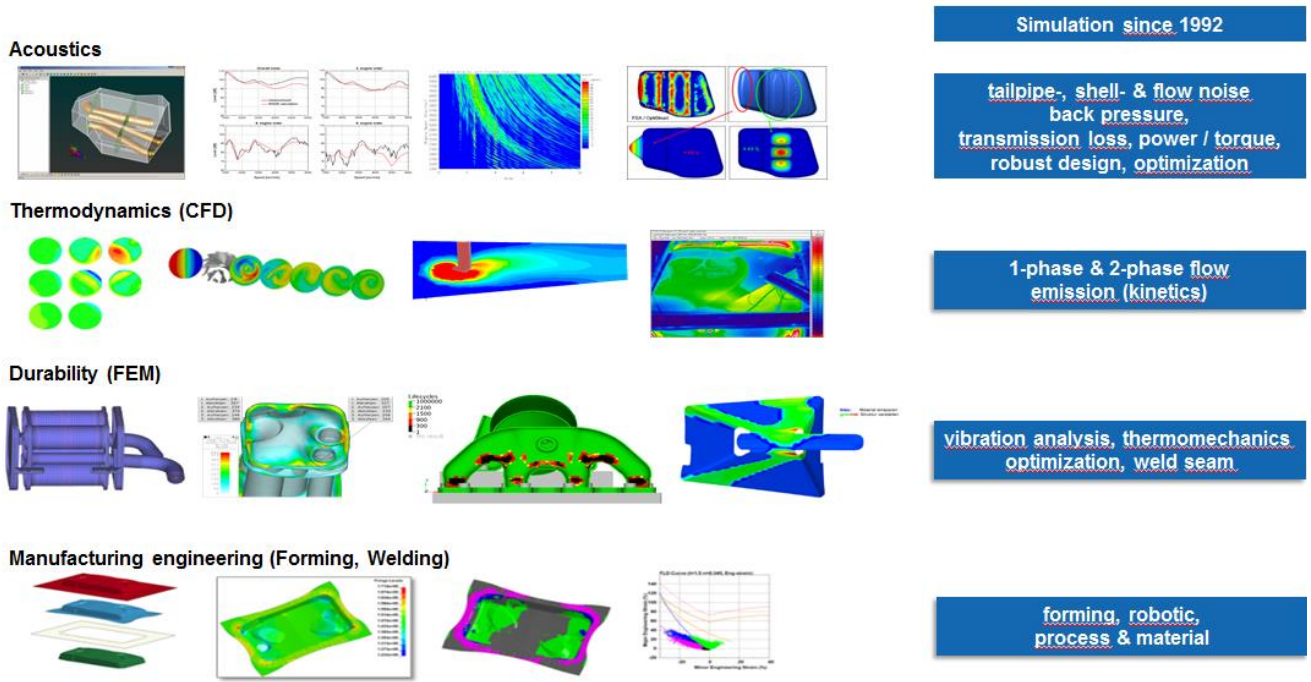


Abb. 1: Simulationsdisziplinen für die Abgastechnologie

2 Motivation und Ziele für SDM

Eberspächer möchte SDM bei der firmenweiten Zusammenarbeit der Simulationsabteilungen an allen globalen Produktentwicklungsstandorten innerhalb der gesamten Unternehmensgruppe als Enabler verwenden. Um „Simultaneous Engineering“ und die Verwendung von Ergebnissen einer Simulation als Input für eine neue Simulation zu erlauben, sollen Synergien zwischen Simulationsprojekten innerhalb einer oder verschiedenen Simulationsdisziplinen für eine bessere interdisziplinäre Arbeit erzielt werden.

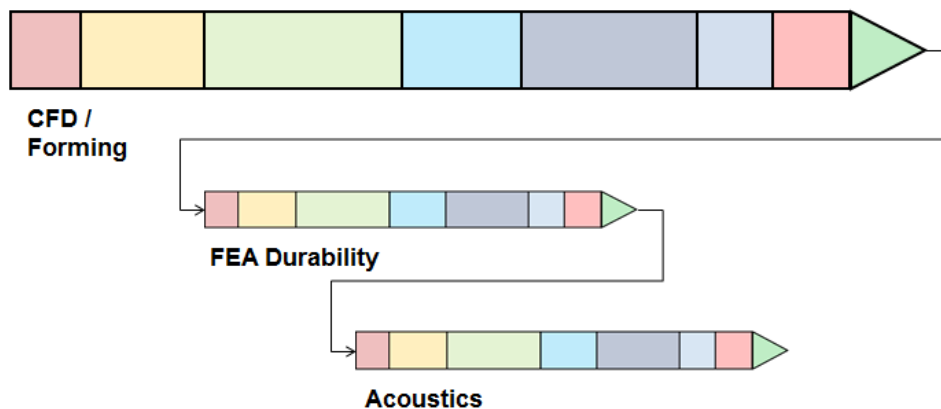


Abb. 2: Sequentielle interdisziplinäre Zusammenarbeit

Durch die Verbesserung der Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Simulationsprozesse soll eine höhere Qualität und eine prozesssichere Ausführung einer ständig wachsenden Anzahl von Simulationen und Simulationsvarianten ermöglicht werden. An jedem Standort sollen die gleichen Standardprozesse verfügbar sein, um zuverlässige, vergleichbare und reproduzierbare Ergebnisse zu generieren. Es muss für jede

Simulation klar sein, was und wie simuliert wurde, welche Standards befolgt wurden, wie der Status der Simulation ist und was die Ergebnisse und Schlussfolgerungen sind.

SDM soll durch einen hohen Automatisierungsgrad und durch Reduzierung von Aufwänden bei der Informationsgewinnung, der Modellaufbereitung und beim Reporting beitragen, Zeiten und Kosten zu senken – letztendlich um effizienter Simulationen durchführen zu können. Aus diesem Grund liegt der Fokus vor allem auf standardisierten und weitgehend automatisierten Simulationsprozessen. Es muss möglich sein, diese Simulationsprozesse komplett innerhalb des SDM-Systems auszuführen und zu bearbeiten. Vision ist, ein Simulationsergebnis inklusive Simulationsbericht mit einem Klick zu erhalten. Damit umfasst SDM erheblich mehr als das Management von Simulationsdaten.

3 Generischer Simulationsprozess

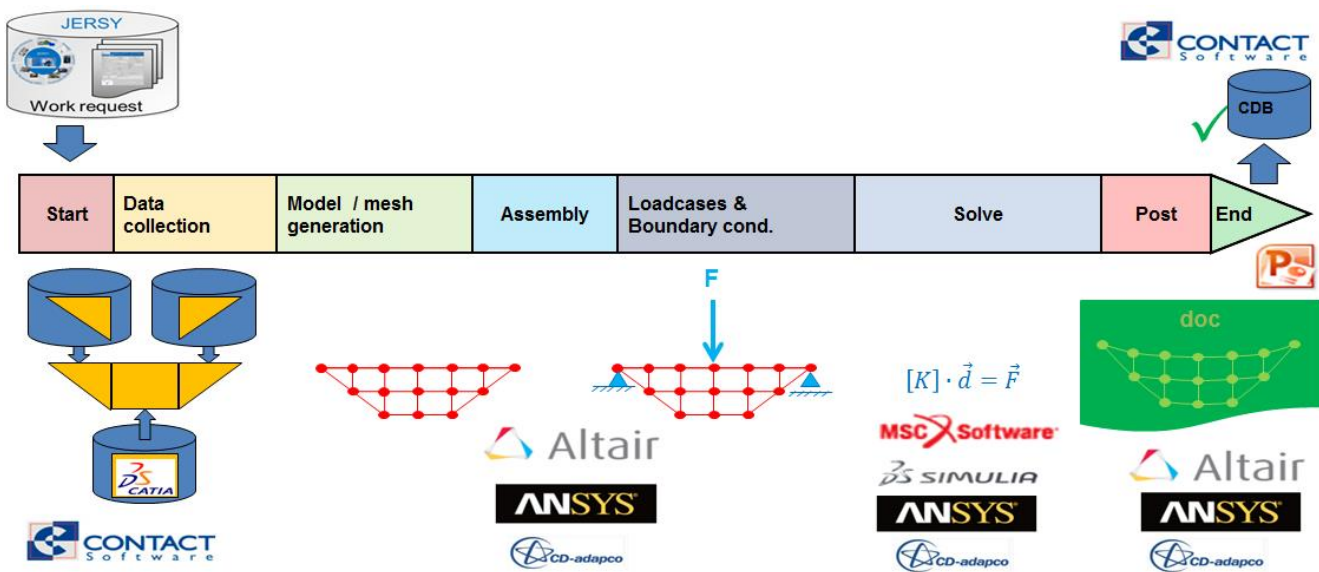


Abb. 3: generischer Simulationsprozess Betriebsfestigkeit / CFD

Eine typische Simulationsaufgabe beginnt mit einem Arbeitsauftrag im J. Eberspächer Request System (JERSY) durch einen Projektingenieur. JERSY ist eine webbasierte eigenentwickelte Datenbanklösung für die Anforderung von Simulationen, Tests und Messungen. Darüber hinaus wird es für die Kapazitätsplanung von Personal- und Prüfstandressourcen eingesetzt. Die JERSY-Beauftragung enthält notwendige Metadaten für die Durchführung einer Simulation wie OEM, Projekt, Motorinformationen, Referenz-Nummern zu weiteren Simulationen, Messungen oder Versuchen sowie CAD-Zeichnungsnummern. Im nächsten Schritt müssen die CAE-Analysten CAD-Daten aus dem Eberspächer PDM-System CimDatabase sammeln. Spezielle CAD-Modelle, die für die Simulation vorbereitet sind (z. B. als Mittelflächenmodell), werden in einem speziellen Bereich gespeichert und können mit der Zeichnungsnummer identifiziert werden. Das Pre- und Postprocessing sowie das Solving erfolgt mit - in der Automobilindustrie standardisierten und bekannten - klassischen kommerziellen Simulationswerkzeugen wie HyperWorks, Nastran, Abaqus, Fluent, Icem, StarCCM+, GT, Wave, PBS oder eigenen Inhouse-Skripten. Ergebnisse und Schlussfolgerungen müssen in Berichten (PowerPoint) dokumentiert und schließlich im PDM-System gespeichert werden. Nach der Präsentation und Diskussion der Ergebnisse mit dem Auftraggeber, unter Berücksichtigung von "Simultaneous Engineering", kann die Simulationsaufgabe in JERSY geschlossen werden. Um die Effizienz zu steigern, soll dieser Prozess komplett im SDM-System mit möglichst hohem Automatisierungsgrad ablaufen.

4 Herausforderungen

4.1 Agiles Projekt und Anforderungsmanagement

Eberspächer hat ein eigenes Business Operating System als Managementsystem für Abgastechnik aufgebaut und optimiert das Programm- und Produktmanagement durch einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess (CIP). Es ist deshalb sehr gut bekannt, was zu tun ist, wenn eine neue Lösung für eine Abgasanlage oder eine Komponente der Abgasanlage für Kunden effizient und effektiv entwickelt werden muss. Die Implementierung eines SDM-Systems ist aber eine ganz andere Geschichte. Es ist eine Mischung aus einem Software-Entwicklungs- und Software-Implementierungsprojekt mit seinen eigenen spezifischen Eigenschaften, die auf eine ganz andere Art und Weise behandelt werden müssen. Bereits zu Beginn des Projektes war es notwendig, vom klassischen Projektmanagement (Wasserfall) zu einem agileren zu wechseln. Mit Hilfe der "SCRUM" - Technik und durch Ausrollen von mehreren SDM Teil-Releases war ein besseres Handling des Projektes möglich. Die Notwendigkeit dieser Umstellung wurde auch dadurch verstärkt, dass Anforderungen zu Beginn nicht genau genug definiert wurden und im Lauf der Zeit ständigen Änderungen unterlagen. Die erstmalige Anwendung dieser Management-Technik benötigte einige Zeit und Mühe.

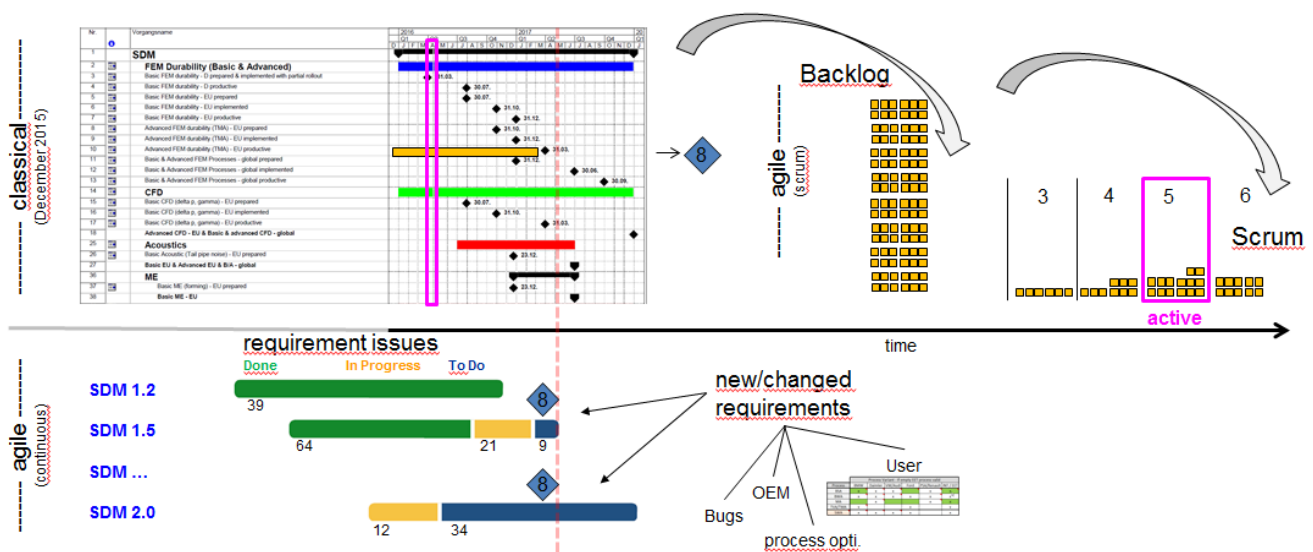


Abb.4: Agiles Projekt & Anforderungsmanagement mit mehreren SDM Releases

4.2 Coaching Ansatz und hohe Erwartungen an SDM

Nachdem im Systemauswahlprozess von den Softwareherstellern eine Vielzahl an SDM Funktionalität versprochen und das Bild einer problemfreien SDM Einführung vermittelt wurde, waren die Erwartungen an das SDM-System und an das Know-How bzw. die Erfahrungen der Hersteller sehr hoch, vielleicht sogar zu hoch. So führten auf der einen Seite fehlende Funktionalität, wenig benutzerfreundliche Schnittstellen und Bugs zu Verzögerungen oder zu zeitraubenden und teuren Anpassungen. Für diese Anpassungen des Systems gibt es auch keine Garantie hinsichtlich einer späteren Migrationsfähigkeit bei Systemupdates. Der Coaching-Ansatz ohne vertraglich fixierte Ziele, schlechte Verfügbarkeit von Experten und eine agile Entwicklung mit der Trial-Error-Methode waren zeitweise sehr enttäuschend.

4.3 Standardisierung und Automatisierung eigener CAx Prozesse

Auf der anderen Seite führt die Umsetzung eines SDM-Systems zu einer genauen Analyse der eigenen Prozesse und Strukturen. Teilweise war es notwendig, Prozesse neu zu definieren und bestehende Skripte an das SDM-System anzupassen. Insbesondere Skripte zur Automatisierung waren nicht in dem Maß vorhanden wie erwartet und mussten erst neu programmiert werden. Das „Nicht-Befolgen“ von Standards und Arbeitsanweisungen in „Pre-SDM“- Prozessen und in anderen „Non-SDM“-Systemen wie PDM führte zu Problemen bei der Entwicklung und Verwendung von Schnittstellen zu SDM. Dadurch war die robuste und fehlerfreie Durchführung von Prozessen innerhalb SDM nicht mehr gewährleistet.

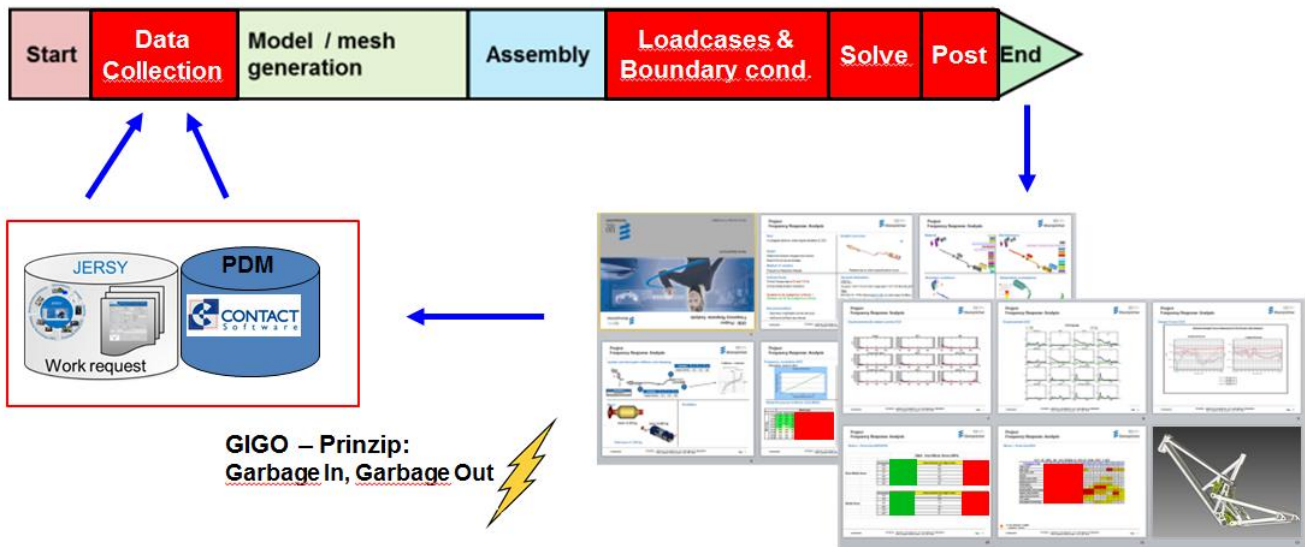


Abb. 5: Nichteinhaltung von Standards und Arbeitsanweisungen in PDM führt zu GIGO im SDM System

IT-Themen wie einheitliche globale Betriebssysteme, gleiche Software-Levels auf Server- oder Localhost-Rechnern, Speicherbedarf, gängige Browser-Einstellungen, Software-Entwicklung mit Subversion oder ordnungsgemäße Verwendung von Queuing-Systemen - um nur einige Punkte zu nennen - eröffneten zusätzliche Baustellen. SDM hat viele dieser Punkte nicht verursacht, benötigt aber Lösungen für die Robustheit und eine sinnvolle Verwendung des Systems.

4.4 Benutzerakzeptanz

Die Benutzerakzeptanz ist die größte Herausforderung, und es ist immer noch notwendig, täglich an ihr zu arbeiten. SDM bedingt eine drastische Umstellung der herkömmlichen Arbeitsweise. Statt wie bisher in Verzeichnisstrukturen und mit hohem individuellen Freiheitsgrad muss der CAE-Analyst nun in einer Datenbank mit vorgegebenen standardisierten Prozessen und mit gewissen gewollten Einschränkungen arbeiten. Nicht alle CAE-Analysten sind offen für diese Neuerungen. Eine Änderung der Mentalität kann nur durch kontinuierliches Aufzeigen und Vermitteln der Vorteile von SDM erreicht werden.

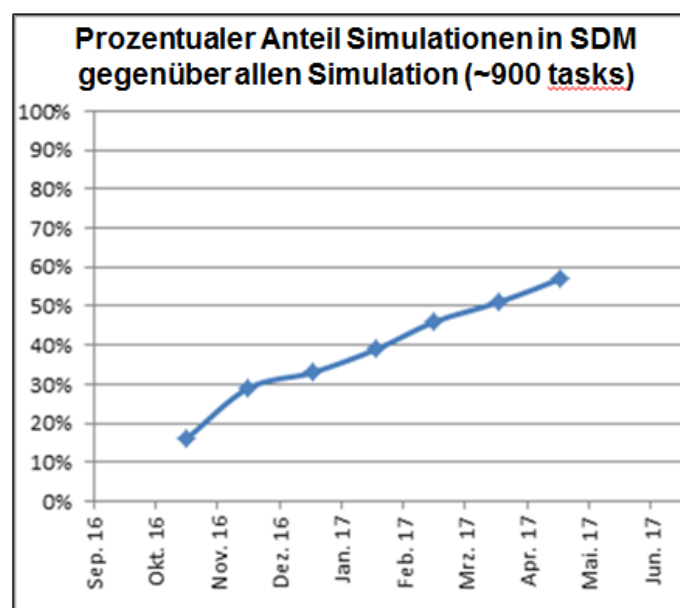


Abb. 6: Zunahme des prozentualen Anteils von Betriebsfestigkeitssimulation PKW in SDM

Stand heute sollen alle Festigkeits- und CFD-Analysten am zentralen Entwicklungsstandort Esslingen in SDM arbeiten. Dennoch bleibt immer noch die Möglichkeit, Simulationsaufgaben auf die alte Art und Weise abzuarbeiten. Teilweise gibt es auch gute Gründe, das SDM System zu umgehen. RFQs oder dringende Simulationsaufgaben lassen nicht immer Zeit, um eine neue Art der Arbeit zu erlernen. Fehlende Funktionalität, mangelnde Benutzerfreundlichkeit und Bugs erschweren am Anfang den Umstieg. Zusätzlich erfahren SDM-Nutzer oft keinen Effizienzgewinn von automatisierten Prozessen, wenn sie nur Simulationsergebnisse von externen Lieferanten archivieren, anstatt die komplette Simulation selber in SDM durchzuführen.

Mittlerweile konnte durch verschiedene Maßnahmen wie Erschweren des Arbeitens außerhalb SDM durch Speicherplatzreduzierung auf Laufwerken, Bereitstellung neuer Tools nur in SDM sowie erhöhter disziplinarischer Druck eine kontinuierliche Zunahme der SDM Verwendung erreicht werden.

5 SDM als Erfolgsgeschichte

Ist die Einführung von SDM bei Eberspächer eine Erfolgsgeschichte? Das ist eine interessante Frage, und natürlich hängt die Antwort davon ab, wer gefragt wird. Sponsoren, Projektleiter, Systementwickler, Anwender, Softwareanbieter oder andere Stakeholder haben alle ihre eigene Meinung. Tatsächlich ist es auch nach einem Jahr produktivem Einsatz noch zu früh, um diese Frage abschließend zu beantworten, da belastbare Daten, Zahlen und Fakten noch fehlen bzw. gerade erst erfasst werden. Nachfolgend werden aber bereits einige Hinweise präsentiert.

5.1 Projektzeitplan

In einem ersten Zeitplan war der globale Roll-Out für das Quartal 2 im Jahr 2017 geplant. Ein Blick auf den Reifegrad des Projektes zeigt, dass es noch viele offene Punkte gibt und der ursprüngliche Projektplan nicht eingehalten werden kann.

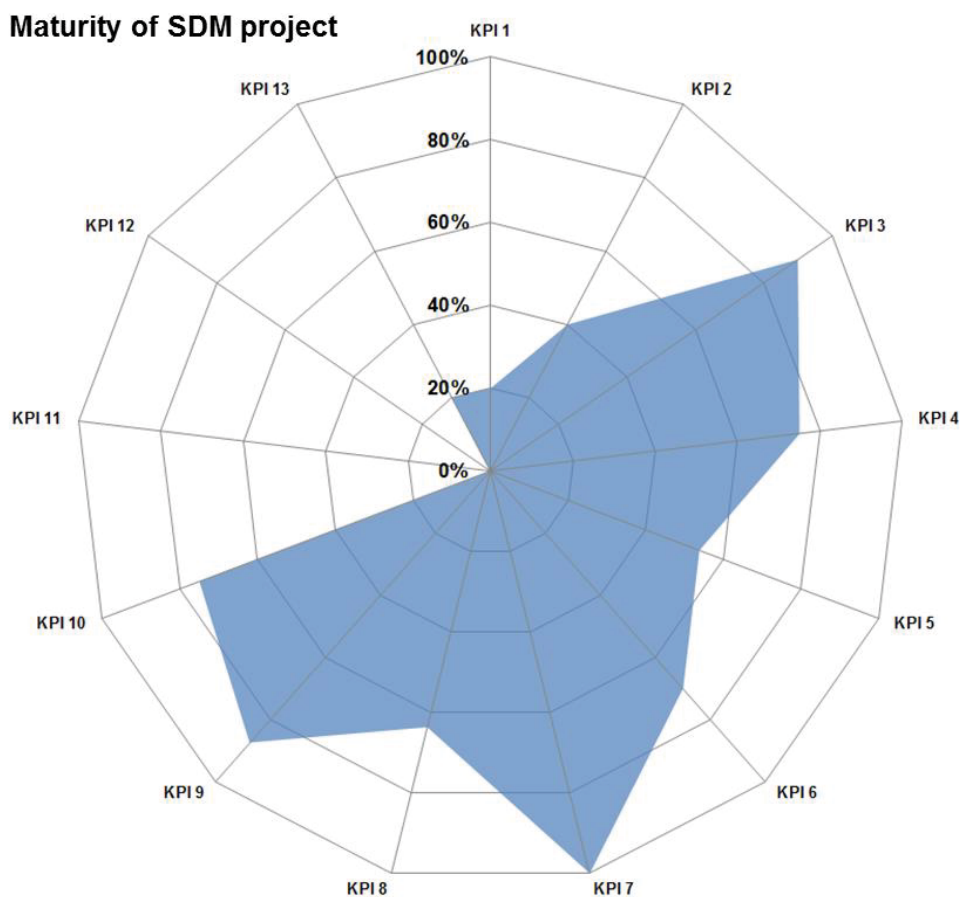


Abb. 7: Reifegrad des SDM Projektes

Hauptsächlich basiert die große Verzögerung auf den vorher genannten Herausforderungen. Insbesondere sind die Aufwände für die Implementierung und die Anpassung des SDM Systems deutlich größer als erwartet.

Zusätzlich wurden bei der Planung des SDM Projektes die Aufwände für Training und Support der Anwender teilweise unterschätzt. Allen SDM Anwendern werden Trainings und individuelle Coachings sowie wöchentliche Beratungsstunden und detaillierte Handbücher im Eberspächer Intranet angeboten. Der Support erfolgt dabei aber durch das gleiche Personal, das auch die Entwicklung und die Erweiterung des SDM-Systems vorantreiben und umsetzen soll. Mit begrenzten Ressourcen und mit mittlerweile mehr als 300 Support-Issues im dafür eigenen „SDM Support-Issue-Tracking“ System, ist dies sehr herausfordernd.

5.2 Datenbankinhalt

Obwohl die Verwendung des SDM Systems anfangs etwas zögerlich gestartet ist, beträgt das Datenvolumen mittlerweile nach einem Jahr ca. 5TB und entspricht den Erwartungen. Mehr als 900 Berechnungsaufträge und die dazugehörenden Simulationen bzw. Simulationsdaten sind bereits im SDM System standardisiert und nachvollziehbar gespeichert. Diese Daten können jederzeit über Suchmöglichkeiten effizient gefunden und für neue Simulationen wiederverwendet werden. "Where Used"-Funktionalität garantiert ihre Rückverfolgbarkeit und der "Impact Graph" ermöglicht eine grafische Darstellung aller verwendeten Daten und Schritte eines Simulationsprozesses.

5.3 Simulationsprozess-Templates

Neben einfachen und flexiblen Ad-Hoc-Prozessen war es das Ziel, spezialisierte und geführte Simulations-Prozesse in SDM anzubieten und diese zukünftig Schritt für Schritt zu erweitern und zu verbessern. Diese Prozesse haben einen sehr hohen Automatisierungs- und Standardisierungsgrad und beinhalten den gesamten Ablauf eines Berechnungsauftrags:

- Erhalt eines Simulationsauftrages
- Bereitstellung aller Metadaten
- Bereitstellung der benötigten Daten (CAD, Material, ...)
- Vernetzung
- Assemblierung von Komponenten
- Definition von Lastfällen und Randbedingung
- Durchführung der Berechnung
- Auswertung der Berechnung
- Reporting

Momentan stehen Prozess-Templates für Betriebsfestigkeitssimulationen (Modal-, Frequency Response-, Biege-Wechsel- und Heat Transfer Analyse) und CFD Simulationen (Flow Distribution) für die CAE-Analysten zur Verfügung. Es ist mit etwas Vorarbeit sogar möglich, Ergebnisse und Berichte mit "einem Klick" zu erhalten und damit vor allem Varianten sehr effizient zu berechnen. Durch diese Prozess-Templates werden die Ziele Standardisierung, Qualität, Nachvollziehbarkeit und Effizienz definitiv erfüllt.

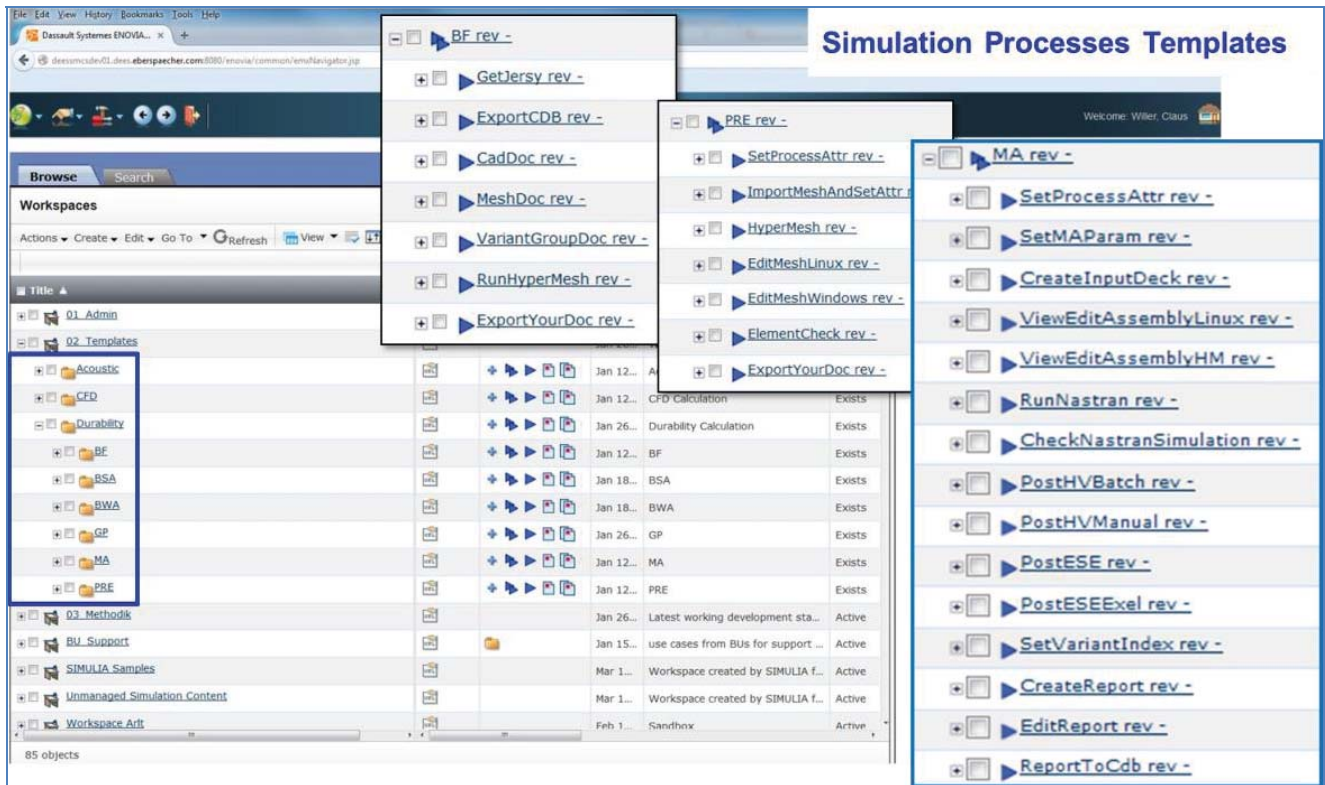


Abb. 8: Prozess-Template für Modalanalyse (MA) in SDM

5.4 Automatisierte Berichterstellung

Mit einem Report-Erstellungsmodule kann der CAE-Analyst Simulationsberichte mit standardisiertem Layout und mit allen wichtigen Informationen automatisch generieren. Diese Berichte umfassen normalerweise 20 bis 100 Seiten, und ihre manuelle Bearbeitung wird auf ein Minimum reduziert. Die Ziele Standardisierung und Effizienzgewinn werden offensichtlich erreicht.

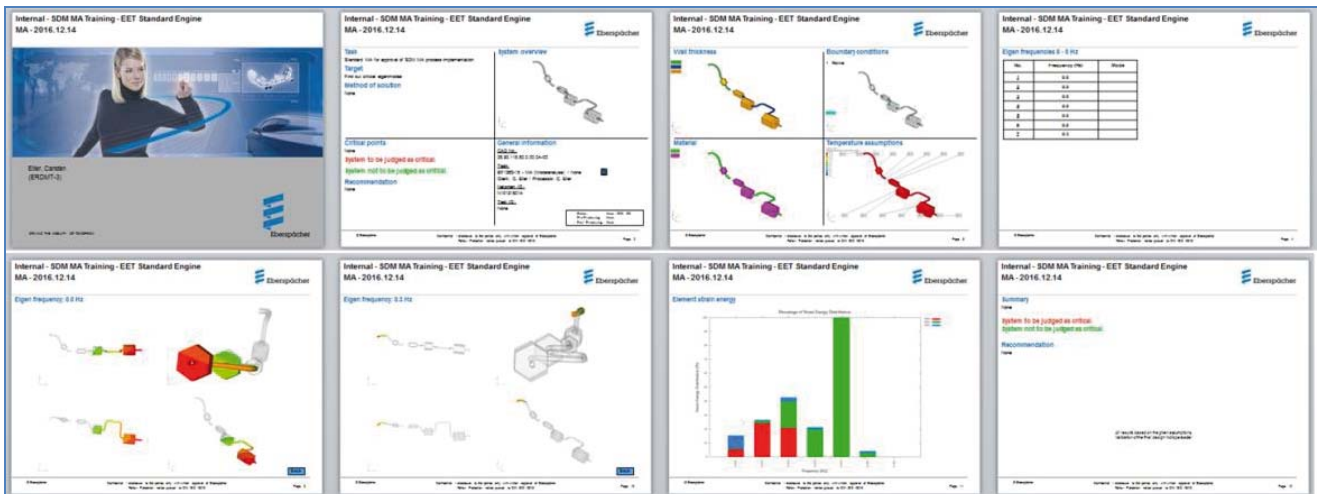


Abb. 9: Beispiel für einen standardisierten automatisierten Modalanalyse-Report (fiktives Beispiel)

6 Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag enthält detaillierte Informationen über die Einführung eines SDM-Systems bei Eberspächer Exhaust Technology. Der Status und die größten Herausforderungen für das Projekt wurden aufgezeigt. Die wichtigsten Ziele Transparenz, Rückverfolgbarkeit, höhere Qualität und weltweite Standardisierung werden durch das SDM-System erfüllt. Durch höhere Automatisierung und Verbesserung der Benutzerfreundlichkeit von Prozess-Templates werden die Benutzerakzeptanz und die Verwendung weiter kontinuierlich wachsen und zu einem belegbaren Effizienzgewinn führen.

Die nächste große Herausforderung ist die Integration der globalen Entwicklungsstandorte Novi (USA), Shanghai (China) und Paris/Neunkirchen (Europa) in das SDM System. Dies wird vermutlich durch eine Remote-Desktop Lösung technisch umgesetzt. Erste Tests laufen bereits. Interkulturelle Unterschiede, verschiedene Zeitzonen und Sprachen, neue Stakeholder oder Entscheidungen über die Standorte der Datenspeicherung sind nur einige Punkte, die in den nächsten Monaten gelöst werden müssen.

Leider läuft die Wartung für die verwendete SDM Version V6R2013x durch Dassault Systemes Ende 2018 aus, und eine Migration auf die Version 3DEXPERIENCE2017x wird langfristig notwendig. Auf der einen Seite würde die Version 3DEXPERIENCE2017x wohl neue benötigte Funktionalität beinhalten. Auf der anderen Seite ist wegen eines größeren Systemsprungs zwischen den beiden Versionen noch fraglich, ob und wie bereits implementierte Prozesse und Daten von V6R2013x nach 3DEXPERIENCE2017x migriert werden können. Zudem wurde die V6R2013x „Out-of-the-box“ Version wegen mangelnder oder fehlerhafter Funktionalität während der Implementierung an die Anforderungen angepasst. Da sich zusätzlich auch das Lizenzierungsmodell der neuen Version geändert hat, ist momentan noch unklar, wie aufwändig diese Migration tatsächlich wird und wie groß der eigentliche Benefit dadurch ist. Um dies zu klären, findet gerade eine Evaluierung der Migration V6R2013x nach 3DEXPERIENCE2017x statt. Das zukünftige SDM-Vorgehen von Eberspächer hängt sehr stark von diesen Ergebnissen ab.

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 (4/2017)

Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Mitgliedschaft | <input type="checkbox"/> NAFEMS e-learning |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Magazin „Benchmark“ | <input type="checkbox"/> Professional Simulation Engineer PSE |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Seminare | <input type="checkbox"/> Internationale Arbeitsgruppen |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Trainingskurse | <input type="checkbox"/> NAFEMS World Congress / Int. SPDM Conf. 2019 |

Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.

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

Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:

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

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

Absender

Bitte senden Sie das NAFEMS Magazin auch an:

Firma: _____

Firma: _____

Abt.: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Tel.: _____

Fax: _____

Fax: _____

e-mail: _____

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 (4/2017)

Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Mitgliedschaft | <input type="checkbox"/> NAFEMS e-learning |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Magazin „Benchmark“ | <input type="checkbox"/> Professional Simulation Engineer PSE |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Seminare | <input type="checkbox"/> Internationale Arbeitsgruppen |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Trainingskurse | <input type="checkbox"/> NAFEMS World Congress / Int. SPDM Conf. 2019 |

Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.

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

Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:

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

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

Absender

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____

Bitte senden Sie das NAFEMS Magazin auch an:

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____



We are NAFEMS



The International Association for the Engineering Modelling, Analysis and Simulation Community

nafems.org