



Online-Magazin

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

Fachbeiträge:

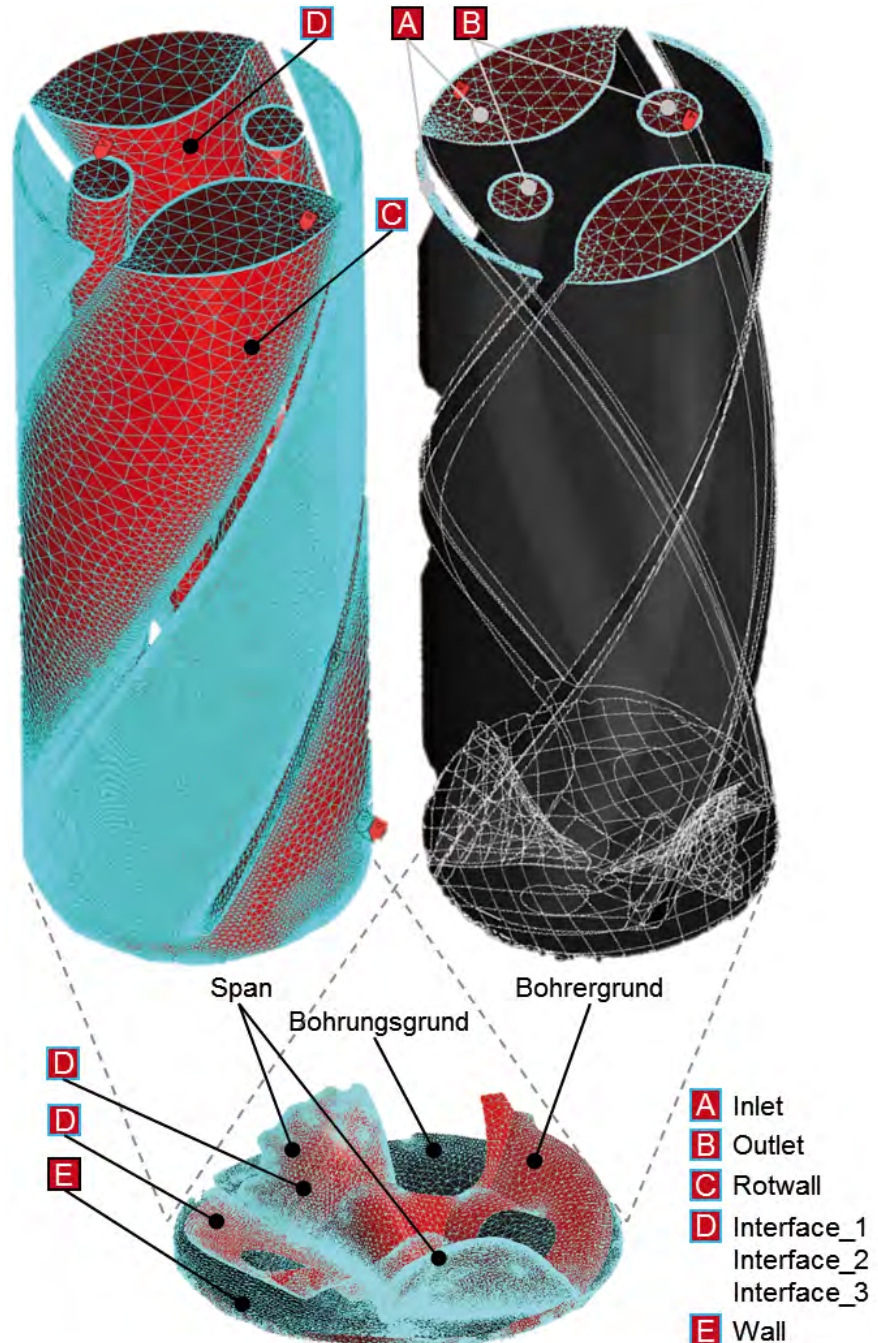
Ein Ansatz zur simulationsbasierten Auslegung endlosfaserverstärkter Composite-Strukturen

Prozesssimulation von Sheet Molding Compound (SMC) als Schlüssel zur integrierten Simulationskette

Neue Einblicke durch Strömungsanalyse in der Spanbildungszone

Direkte Kopplung von parametrischem CAD und adjungierter CFD für die effiziente Optimierung von Strömungsgeometrien

...sowie Neuigkeiten, Veranstaltungskalender, Schulungen, u. v. m. ...



JETZT ANMELDEN!



incorp. 3rd Int. SPDM Conference

+++ more than 320 presentations ++ comprehensive exhibition +++ workshops +++ discussion rounds +++ trainings +++ networking +++ ...

11-14 JUNE 2017
STOCKHOLM | SWEDEN

A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION

Agenda and online registration at
www.nafems.org/congress



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,

Jahr für Jahr organisiert NAFEMS eine stetig steigende Zahl von Veranstaltungen mit Schwerpunkten aus unterschiedlichen Bereichen der numerischen Simulation. So fanden im vergangenen Jahr online 35 e-learning Kurse zu 11 verschiedenen Themen statt. Es wurden 21 traditionelle Kurse und 13 Seminare an 17 Orten in Europa, den USA und Kanada angeboten. Zudem wurden acht regionale Konferenzen in Europa, den USA und Indien ausgerichtet. Diese beachtlichen Aktivitäten werden ergänzt durch Workshops und Webinare. Als Highlight findet darüber hinaus jedes zweite Jahr der NAFEMS World Congress statt, in diesem Jahr in Stockholm. Der Kongress hat sich als das Ereignis in der Welt der Simulation etabliert. Seit 2013 findet parallel zu dem Kongress die internationale SPDM Konferenz statt, bei der es um Data Management und Demokratisierung der Simulationsmethoden geht. Zusammenfassend kann man feststellen, dass NAFEMS eine hervorragende Plattform zum Austausch von Kenntnissen und Erfahrungen aus der Welt der Simulation bietet. Als ein Baustein für diese Plattform versteht sich auch das Online-Magazin, dessen 42. Heft Sie gerade geöffnet haben.



*Prof. Dr.-Ing.
Klaus Rohwer*

Die Fachbeiträge in diesem Heft behandeln Themen aus den Bereichen Composites und Strömungsmechanik. Die Auslegung von Strukturen aus Faserverbundwerkstoffen stellt eine besondere Herausforderung an den entwerfenden Ingenieur dar, weil die gewählten Faserrichtungen die Festigkeit und die Steifigkeit der Struktur und damit auch den Kraftfluss entscheidend beeinflussen. Aufbauend auf Hauptspannungstrajektorien beschreibt der erste Beitrag eine simulationsbasierte Auslegung, die das endlosfaserverstärkte Material möglichst gut nutzt. Der zweite Artikel untersucht sogenannte Sheet Molding Compounds, das sind teigartige Pressmassen aus Reaktionsharzen, die mit Fasern verstärkt sind. Der Fließ-Pressvorgang wird simuliert, und die Ergebnisse werden in die Entwurfskette integriert.

Zur realitätsnahen Beschreibung der Arbeitsweise von Bohrern mit Innenkühlung wird im dritten Beitrag eine Kombination von FEM- und CFD-Simulation vorgeschlagen, die die Verteilung des Kühlschmiermittels und die Spanbildung berücksichtigt. Es zeigt sich, dass unterhalb des Spans und im Rücklauf des Innenkühlkanals eine stark turbulente Strömung herrscht. Für eine effiziente Optimierung umströmter Strukturen ist eine direkte Strömungs-Struktur-Kopplung sinnvoll. Im vierten Beitrag wird dafür ein Vorgehen mit günstigen Rechenzeiten vorgeschlagen und an Beispielen aus der Außenaerodynamik (Heckflügel eines Sportwagens), der Hydrodynamik (Schiffsrumpf) und einer Innenströmung in einem Rohr demonstriert.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen bei der Lektüre, und vielleicht finden Sie ja zudem den einen oder anderen Hinweis, der Ihnen bei Ihren aktuellen Aufgaben weiterhilft.

Mit freundlichen Grüßen

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

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



www.ensight.com



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



www.dynamore.de



www.esi-group.com



www.intes.de



www.math2market.de



www.mssoftware.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)
- 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)
- M. Wiedemann (DLR, D)
- J. Wood (formerly Strathclyde University, UK)

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

- W. Dirschmid (CAE Consulting), Chair
- W. Bauer (Daimler AG)
- 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 (move-csc)
- U. Heck (Dr. Heck Consulting & Engineering)
- B. Hupertz (Ford)
- U. Janoske (Universität Wuppertal)
- G. Kohnen (DHBW Mosbach)
- B. Marovic, Mentor Graphics (Deutschland)
- R. Stauch (MahleBehr)
- M. Stephan (DHBW Mosbach)
- A. Stück (DLR)
- T. Weber (CD-adapco)
- K. Wolf (Fraunhofer SCAI)

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

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

NAFEMS Events

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

Seminare: Call for Papers / Ankündigung

Simulation Driven Engineering..... 8

CFD-Methoden zur Simulation des Wärmeübertragungsverhaltens..... 9

Trainingskurse

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

NAFEMS World Congress 2017 & 3rd Int. SPDM Conference 16 - 22

Literatur

Internationale NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“ 23

NAFEMS Resource Center 24 - 25

Invitation 2 Tender 26 - 27

Neuigkeiten 28 - 37

Veranstaltungskalender 38 - 39

Fachbeiträge

Composites

**Ein Ansatz zur simulationsbasierten Auslegung
endlosfaserverstärkter Composite-Strukturen**
D. Klein, H. Völkl, S. Wartzack (FAU Erlangen-Nürnberg) 40 - 48

**Prozesssimulation von Sheet Molding Compound (SMC)
als Schlüssel zur integrierten Simulationskette**
M. Hohberg, L. Kärger (Karlsruhe Institut für Technologie);
A. Hrymak (Western University); F. Henning (Karlsruhe Institut
für Technologie/Fraunhofer ICT) 49 - 56

Strömungs-Strukturkopplung

**Neue Einblicke durch Strömungsanalyse in
der Spanbildungszone**
E. Özkaya, D. Biermann (Institut für Spanende Fertigung)..... 57 - 69

Strömungsmechanik

**Direkte Kopplung von parametrischem CAD und adjungierter
CFD für die effiziente Optimierung von Strömungsgeometrien**
M. Brenner, C. Fütterer, S. Harries (Friendship Systems)..... 70 - 81

Werbeanzeigen

DYNAmore 33

esocaet 29

ISKO engineers 31

NAFEMS Mitgliedschaft..... 6

Rückmeldeformulare..... 82 - 83



Membership to suit you

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

Site membership

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

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

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

Corporate membership

Tailored membership for large companies with multiple locations

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

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

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

Small company membership

Cost-effective membership for small to medium sized enterprises

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

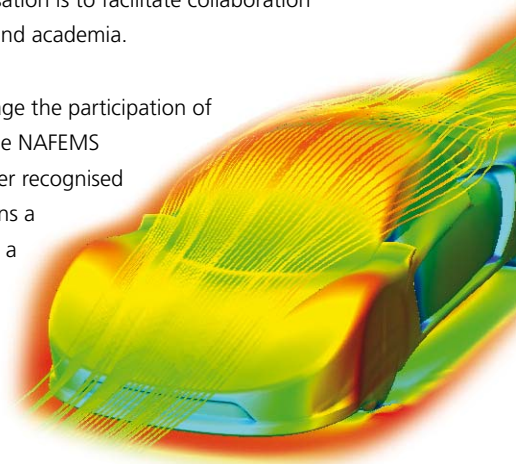
Small Company Membership is tailored to the specific needs of small to medium sized enterprises, and can also be appropriate in areas without a NAFEMS Regional Group.

Academic membership

Offering the benefits of site membership to recognised academic institutions

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

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



www.nafems.org/involved

Konferenzen und Seminare

Konferenz-/Seminartitel	Termin	Ort
NAFEMS World Congress & Int. SPDM Conference www.nafems.org/congress	11. - 14. Juni	Stockholm, Schweden
Simulation Driven Engineering www.nafems.org/sde17	20. - 21. Nov.	Neuendettelsau
CFD-Methoden zur Simulation des Wärmeübertragungsverhaltens www.nafems.org/cfd17	22. - 23. Nov.	Neuendettelsau

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

Schulungen

Schulungstitel	Termin	Ort	Teilnahmegebühr Regulär / Mitglied ¹⁾	
Inhaltsbeschreibung auf Seiten 8 - 13				
Verification and Validation in Engineering Simulation www.nafems.org/events/nafems/2017/vandv3	Herbst 2017	tba	1.950	1.560
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation www.nafems.org/events/nafems/2017/dach-fea2	Herbst 2017	tba	1.490	1.100
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

Eine Beschreibung der Schulungsinhalte finden Sie auf Seiten 8 - 13. 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 Computational Fluid Dynamics**
- **Fluid Dynamics Review for Computational Fluid Dynamics**
- **Basic Finite Element Analysis**
- **Basic Dynamic Finite Element Analysis**
- **Elements of Turbulence Modeling**
- **Computational Fluid Dynamics for Structural Designers and Analysts**
- **Fatigue & Fracture Mechanics in Finite Element Analysis**
- **Advanced Dynamic Finite Element Analysis**
- **Fluid Dynamics Review for Computational Fluid Dynamics**
- **Composite Finite Element Analysis**
- **Structural Optimization in Finite Element Analysis**
- **Practical Computational Fluid Dynamics**

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

Call for Papers / Ankündigung: NAFEMS Seminar

Simulation Driven Engineering

20. - 21. November 2017, Neuendettelsau (bei Nürnberg)

Call for Papers

Die Rolle der Simulation in der Produktentwicklung ändert sich gerade dramatisch. Anfangs wurde nur hinterher-gerechnet, um nach einem Versagen die Ursache(n) zu untersuchen. Mehr und mehr wurde dann parallel zur Entwicklung gerechnet, um Konstruktionen auf ihre Integrität zu prüfen. Die neue Rolle der Simulation ist es jetzt, frühzeitig verschiedene Konzepte zu prüfen, um dann das richtige frühzeitig für Entwurf und Konstruktion zu wählen. Neben mechanischen und kinematischen Fragenstellungen kommen immer mehr Disziplinen hinzu von der Strömungssimulation über Wärmetransport, Magnetik und der Integration des Reglers in die Regelstrecke einer Mechatronik. Diese Disziplinen werden nicht nur eigenständig sondern auch in ihrer Wechselwirkung betrachtet und mittels Werkzeugen der Design Exploration multi-physikalisch teil- oder vollautomatisiert ausgeführt.

Die Demokratisierung der Simulation – also das Nutzen von Simulation durch breitere Anwenderkreise mit weniger Expertenwissen – bringt neue Anforderungen mit sich: die Simulation muss einfacher zu bedienen sein, Produkt- und Methoden-spezifisches Wissen wird in Simulations-Apps durch Experten bereitgestellt.

Weniger versierte oder sporadische Anwender nutzen diese Apps, um Konstruktionsschritte oder ganze Konstruktionen in ihrer Entwicklungsumgebung abzusichern.

Verbundwerkstoffe und Additive Fertigung erlauben radikal neues Gestalten und bisher unmögliche Formgebung. Die Simulation des Verhaltens und der Produktion dieser Strukturen erschließen wir uns erst gerade. Diese traditionell spanabhebend oder gegossenen Strukturen nun als Verbundbauteil oder additiv herzustellen reicht nicht. Die Vorteile der neuen Methoden kommen erst dann voll zum Tragen, wenn auch die Entwurfsmethoden alle neuen Freiheitsgrade nutzen. So kann die Topologieoptimierung überlegene Lösungen für lastragende Bauteile finden. Oder bisherige aufwändige Baugruppen werden durch ein gedrucktes multi-funktionales Bauteil abgelöst.

Wir freuen uns über Ihre Vortrageeinreichung **bis 24. Juli 2017** an info@nafems.de.

Technische Leitung:
Eckardt Niederauer
(Siemens PLM Software),
Mitglied des NAFEMS Steering
Committees für Deutschland,
Österreich und der Schweiz

Organisation

Termin

20. Nov., 13:00 - 19:00 Uhr

21. Nov., 08:30- 16:00 Uhr

Einreichung von Vorträgen

Bitte senden Sie einen Titel und kurzen Abstract bis **24. Juli 2017** per E-Mail an info@nafems.de.

Vortrag/Manuskript/ Extended Abstract

Der mündliche Vortrag (25 min.) sollte in deutscher Sprache gehalten, das Manuskript/Extended Abstract (4-10 Seiten) in englischer Sprache verfasst werden. Abgabetermin: 20. Oktober 2017

Publikation

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

Veranstaltungsort

Hotel Sonne, Hauptstraße 43,
D-91564 Neuendettelsau
www.landhotel-sonne.com

Fachausstellung und Sponsoring

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

Tagungssprache

Deutsch (in Ausnahmen in englischer Sprache)

Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder: Euro 590 *

NAFEMS-Mitglieder: frei*

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

*Alle Preise jeweils zuzügl. ges. MwSt.

Informationen und Anmeldung

www.nafems.org/sde17

Call for Papers / Ankündigung: NAFEMS Seminar

CFD-Methoden zur Simulation des Wärmeübertragungsverhaltens

– Kühlung von Bauteilen, Auslegung von Wärmetauschern usw.

22. - 23. November 2017, Neuendettelsau (bei Nürnberg)

Call for Papers

Die Beherrschung des Wärmeaustausches zwischen unterschiedlichen Medien ist in vielen industriellen Anwendungen entscheidend, um die gestellten Anforderungen zu erfüllen. Besondere Beispiele finden sich in der Kraftwerkstechnik, bei der Temperaturregelung von Gebäuden, zur Beherrschung der Temperatureinflüsse bei elektronischen Bauelementen, in der Fahrzeugindustrie die Kühlung der Verbrennungskraftmaschinen aber auch der Batterien für den Elektroantrieb.

Zur Auslegung derartiger Systeme spielt das Verhalten von Strömungsvorgängen die entscheidende Rolle. Unterschiedliche physikalische Phänomene, wie Konvektion, Strahlung, Turbulenz, Kavitation, Phasenumwandlung von Flüssigkeiten steuern den Wärmetransport und müssen bei den Analysen berücksichtigt werden.

Die traditionelle Auslegung basiert auf empirischen bzw. theoretisch ermittelten Wärmeübergangszahlen. Auch begleitende Messungen sind in der Lage, Daten zu liefern um Annahmen abzusichern. Auf diese Weise können auch Modellvereinfachungen komplexer Systeme, z. B. in Form von 1-dimensionalen Modellen, vorgenommen werden, um Parameterstudien durchzuführen.

Vorteil dieser Techniken ist, dass damit sehr schnell Ergebnisse zur Verfügung stehen – sehr oft allerdings mit einem nicht zu akzeptierenden Verlust an Genauigkeit.

Für ein optimales Design müssen die wesentlichen physikalischen Effekte berücksichtigt werden, was den Einsatz der modernen Simulationstechnologie voraussetzt. Die dadurch ermöglichte Sicherheit für Designentscheidungen erfordert einen deutlich erhöhten Aufwand, der durch die höhere Qualität des Produktes im Allgemeinen mehr als kompensiert wird.

Das Seminar soll die theoretischen Voraussetzungen zur Simulation von Wärmeübergangsproblemen aufzeigen und Lösungen von Aufgabenstellungen aus der Praxis zur Diskussion stellen.

Wir freuen uns über Ihre Vortrageinreichung **bis 24. Juli 2017** an info@nafems.de.

Technische Leitung:
NAFEMS CFD Advisory Board (CAB)
NAFEMS Steering Committee für Deutschland, Österreich und der Schweiz

Organisation

Termin

22. Nov., 13:00 - 19:00 Uhr

23. Nov., 08:30- 16:00 Uhr

Einreichung von Vorträgen

Bitte senden Sie einen Titel und kurzen Abstract bis **24. Juli 2017** per E-Mail an info@nafems.de.

Vortrag/Manuskript/

Extended Abstract

Der mündliche Vortrag (25 min.) sollte in deutscher Sprache gehalten, das Manuskript/Extended Abstract (4-10 Seiten) in englischer Sprache verfasst werden. Abgabetermin: 20. Oktober 2017

Publikation

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

Veranstaltungsort

Hotel Sonne, Hauptstraße 43,
D-91564 Neuendettelsau
www.landhotel-sonne.com

Fachausstellung und Sponsoring

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

Tagungssprache

Deutsch (in Ausnahmen in englischer Sprache)

Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder: Euro 590 *

NAFEMS-Mitglieder: frei*

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

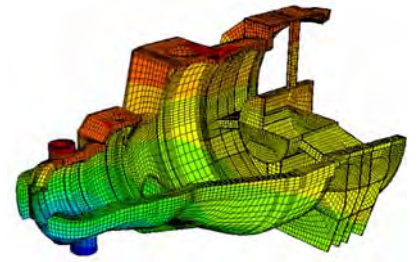
*Alle Preise jeweils zuzügl. ges. MwSt.

Informationen und Anmeldung

www.nafems.org/cfd17

NAFEMS Schulung

Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation



Nächster Termin im Herbst 2017 / 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.

Informationen und Anmeldung

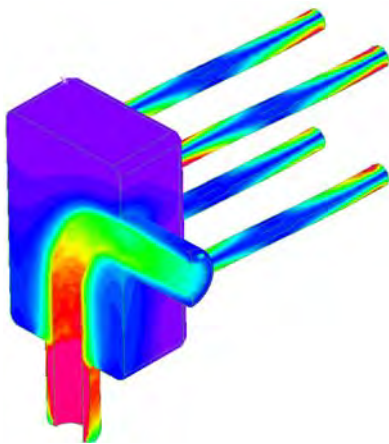
www.nafems.org/events/nafeems/2017/dach-fea2

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

Kursprache

Englisch / Deutsch, falls nur deutschsprachige Teilnehmer.

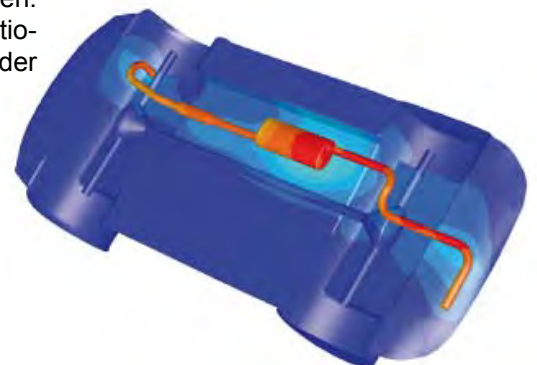
Inhouse-Kurs

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

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

Nächster Termin im Herbst 2017 / 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/nafevents/2017/vandv3

NAFEMS Schulung

Simulation und Analyse von Composites

Auf Anfrage / auch als Inhouse-Schulung buchbar

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

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

Training

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

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

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

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

Wer sollte teilnehmen

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

Inhalte

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

Referent



Dr.-Ing. Daniel Hartung (Premium Aero-tec GmbH) hat lang-jährige 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.



NWFC 2017

NAFEMS WORLD CONGRESS



NAFEMS

incorporating

spdm

INTERNATIONAL CONFERENCE
Simulation Process & Data Management

11 - 14 JUNE 2017
STOCKHOLM | SWEDEN

A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION

The only one independent, international conference dedicated exclusively to everyone involved in engineering analysis, simulation, modelling, and systems engineering.

+++ more than 320 presentations ++ comprehensive exhibition +++ workshops +++ discussion rounds +++ trainings +++ networking +++ ...

Don't miss it! Register now!



nafems.org/congress



Engineering analysis, modelling, simulation, and systems engineering are becoming ever more embedded in the product development process across all industries in every part of the world. The technology is no longer seen as niche – we are moving into the mainstream at a rapid pace.

As manufacturing techniques and product lifecycle management processes develop and grow, the use of Finite Element Analysis (FEA), Computational Fluid Dynamics (CFD), Multibody Simulation (MBS) and all of the associated technologies is increasing exponentially. As a result, your community is expanding and evolving with the technology into a truly cross-industry, multi-skilled, global society, with its own unique perspectives, problems, and solutions.

We stand at a crossroad. In order for the technology to progress further and for us, the users, to keep pace with this development, collaboration and sharing of experience and knowledge is vital.

There is only one independent, international conference dedicated exclusively to everyone involved in engineering analysis, simulation, modelling, and systems engineering, and we want YOU to be a part of it.

The 2017 NAFEMS World Congress will take place from the 11th to 14th of June in Stockholm, Sweden, and will focus entirely on engineering analysis, modelling and simulation and its impact on industry and beyond. NAFEMS is the only independent voice of the CAE community, representing over 1300 member organizations worldwide from OEM's to suppliers, leading academic institutions, international research and development bodies, and prominent software vendors.

The NAFEMS World Congress is the premier international forum for everyone involved in the industry. With dedicated tracks on all aspects of simulation, free masterclasses, workshops and short training courses, an outstanding social program and an excellent line-up of keynote and invited speakers, this is one event you cannot afford to miss.

Two Conferences at One Location

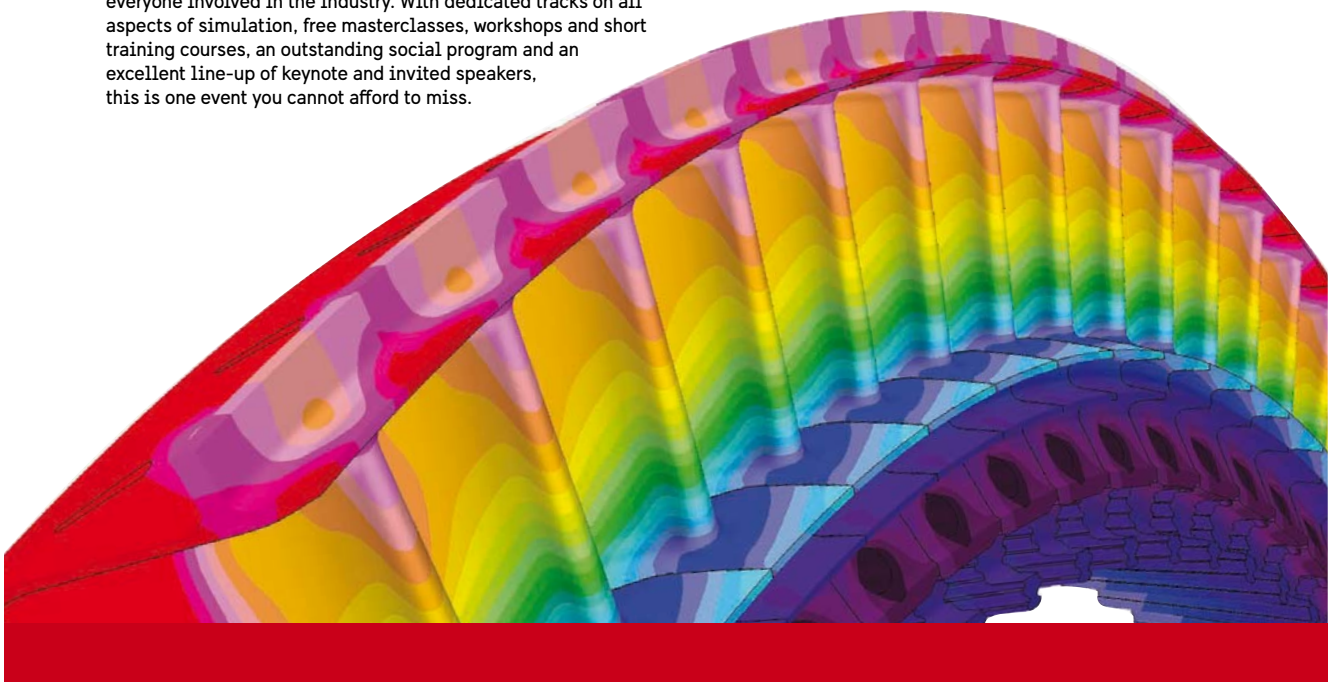
The NAFEMS World Congress will also host the 3rd International Conference on Simulation Process and Data Management (SPDM). This industry-leading event will bring together industrial users, technology experts, academics and software vendors alike, allowing all those with an interest to take part in the only truly independent, international forum dedicated to SPDM. Attendees, speakers and exhibitors have free access to both events under one registration.

As well as the SPDM Conference, the NAFEMS World Congress will also host a dedicated symposium on Manufacturing Process Simulation & Additive Manufacturing, covering all virtual manufacturing tools within the product design and manufacturing cycle.

Registration Now Open

Authors	NAFEMS Members	€990
	Non-Members	€1190
Standard Delegates	NAFEMS Members	€1090
	Non-Members	€1290

nafems.org/congress



Congress Themes

The Congress will cover a wide range of topics, addressing every aspect of engineering simulation in a full 3-day program.

Structural Analysis

- Linear and Nonlinear Analysis
- Joints, Connections & Welding
- Contact
- Durability, Fatigue & Fracture
- Thermal Structural Analysis

Computational Fluid Dynamics

- Turbulence
- Conjugate Heat Transfer
- Multiphase and Phase Change
- Acoustics
- Mesh Solutions & Mesh Adaption

Dynamics & Testing

- Crash Simulation
- Seismic
- Linear Dynamics
- Non-linear Dynamics
- Combining Physical & Virtual Testing
- Impact
- Droptest

Multi-body Simulation

- MBS, FE, and the Co-simulation of Both

Analysis Management

- Quality Assurance
- Measures of Agreement
- Automation of Analysis
- Virtual Testing in a Regulatory Environment

Business Issues

- The Business Case for Simulation
- The World Market for Simulation
- Strategies for Determining Investment in Simulation
- Return on investment (ROI)

CAD CAE Integration

- CAE Interoperability
- Simulation Driven Design
- Meshing
- Integration of Analysis into the Design Process
- The Semantic Web
- CAD Representation of Manufacturing Features

Materials

- Materials Characterisation
- Plastics
- Elastomers/Polymers
- Parameter Identification
- Material Data
- Nanomaterials

Composites

- Layer Optimisation
- Draping
- Composite Manufacture and Assembly
- Simulating As-Built and In-Service Conditions
- Multi-scale, Multi-fidelity Modelling
- Damage and Failure Criteria

Life Sciences

- Biomedical
- Biomechanics
- Medical Devices
- Medicine

Geotechnical & Foundation Engineering

- Constitutive Models for Civil Engineering
- Input Parameters for Geotechnical Models
- Using FEA with Eurocode 7
- Soil-Structure Interaction

Confidence in Results

- Verification & Validation
- Benchmarks & Test Cases
- Lessons Learnt from Round Robins
- High Confidence FEA and CFD
- Uncertainty Quantification

Multiphysics

- Coupled Simulations
- Fluid-Structure Interaction
- Structure-acoustics
- Vibro-acoustics
- Thermo-mechanical
- Multi-physics, Multi-scale, Multi-fidelity
- Benchmarking and Validation of Multiphysics

Electrical

- Electromechanical
- Electromagnetical
- Electrochemical
- EMV
- Electronics
- Electronics Cooling
- e-Mobility

Systems Modelling & Simulation

- Systems Simulation
- Systems Engineering
- Requirements Management
- Model-Based Systems Engineering (MBSE)

Emerging Issues

- Current Industrial Applications
- Future Industrial Needs
- Business Benefits of CAE

Computing

- High Performance Computing
- Open Source Codes
- Cloud Computing
- Software as a Service (SaaS)
- Solver Technology
- Visualization
- Virtual Reality

Optimisation

- Topology, Shape, Sizing
- Structural
- Fluid
- Multidisciplinary / Multiphysics / Multiobjective
- Algorithms
- Design/Process Integration

Methods

- Discrete Element Method (DEM)
- Meshfree Methods (EFG, SPH, ...)
- New Methods
- Pre- and Postprocessing

Stochastics

- Sensitivity Analysis
- Taguchi Methods
- Variational Studies
- Robust Design

Education & Training

- Qualifying the Analysts
- Meshing
- Element Selection
- Methods Development
- Modelling Techniques
- Simulation Skills Management
- Results Interpretation
- Using FEA and CFD for Code Compliance

Simulation Data Management (Conference)

Papers related to SPDM will automatically be considered for the SPDM Conference.

- SDM Requirements
- SDM Strategies
- Scope of SDM
- Experience of SDM Systems
- Simulation Process Management
- Data Standards

Manufacturing Process Simulation (Symposium)

Relevant papers will automatically be considered for this symposium.

- Business benefits
- Obtaining material properties for process simulation
- Challenges and Benefits of simulating the AM process
- Industrial case studies
- Integrating process simulation into the design cycle
- Validating process simulation methods

#NAFEMS17



Keynote & Invited Speakers

We are delighted to announce the lineup of Keynote and Invited speakers for the NAFEMS World Congress 2017. Representing industry and academia from around the globe, they speak from positions of great experience and knowledge, and are sure to provide an excellent insight into their work in the simulation and analysis field.

Keynote Speakers

Steven A. Chisholm

Boeing Commercial Airplanes

Smarter Testing Through Simulation for Efficient Design and Attainment of Regulatory Compliance

Dirk Ruschmeier

Porsche AG

Simulation Data Management – The Next Challenges

Georg N. Duda

Charité – Universitätsmedizin Berlin

Mechano Biology of Tissue Regeneration

Barna Szabó

Engineering Software Research & Development, Inc.

On the Formulation and Application of Design Rules

David Ewins

Imperial College London

On the Balance and Integration of Simulation and Test in Engineering Structural Dynamics

Invited Speakers

Peter Giddings

National Composites Centre

Virtual Manufacturing – Taking Manufacturing Simulation to the Shop Floor

Harald Hasselblad

Volvo Car Group

Optimization Culture Arena – CAE-CAD integrated development at Volvo Cars

Fred Huizinga

ASML

Introducing PSE within ASML – Lessons Learned and the Way Forward

Ulf Lindblad

Tetra Pak

Fighting bugs with HPC



The first city to be named “European Green Capital” in 2010, Stockholm is much more than green and clean. It’s vibrant. It’s laidback. It’s beautiful and it’s got something for everyone. The city is known for producing innovative IT and media businesses, sleek designs, edgy fashion and world-class nightclubs. It offers a cosmopolitan atmosphere with a bustling café and restaurant culture and has one of the highest concentrations of museums and galleries in the world.

Beyond the buzzing metropolis of the city centre’s boutiques and restaurants, Stockholm is laid out in a system of 14 interconnected islands, earning the city the nickname “Venice of the North”. Yet, the city centre is small enough to allow you to take it in on foot. The waters of Stockholm offer a stunning backdrop to everything else the city has to offer.

One of the most characteristically Swedish traditions of all is Midsummer, when the sky never darkens. In 2017 it’s celebrated on June 24, just a few days after the NAFEMS World Congress.

Venue

Stockholm Waterfront Congress Centre

Stockholm Waterfront Congress Centre is Sweden’s newest and most versatile venue for large-scale meetings and events. Located in the heart of Stockholm, across the water from the City Hall, the modern architecture is a spectacular addition to the city skyline. Located between the Central Railway Station and the City Hall – host to the annual Noble prize dinner – providing easy access to some of the best shops, restaurants and sights in Stockholm. Directly connected to the congress centre is the Radisson Blu Waterfront Hotel, a 414 room international first class hotel. The railway station and the Arlanda Express train platform are easily accessible by escalator right next to the congress centre. stockholmwaterfront.com





Platinum Sponsor				
Gold Sponsors				
Silver Sponsors				
SPDM Sponsors				Media Sponsor

Sponsorship & Exhibition An Outstanding Opportunity

The NAFEMS World Congress presents a unique opportunity, as delegates are primarily high-level decision makers working in industry across the globe. The exhibition area will be a central point at the Congress, ensuring that there is a consistent level of “traffic” at all times – refreshments, announcements, events, and competitions will focus on this area, giving you the chance to meet as many of our delegates as possible.

Align your organisation with NAFEMS

As the only international association dedicated to the engineering analysis, modelling, simulation, and systems engineering community, NAFEMS is widely held to be the leading independent source of information and training for engineering analysts and designers of all levels. Sponsors and exhibitors will have the chance to promote their attendance prior to the event, through the various packages outlined at nafems.org/congress. Being seen to be participating in the NAFEMS World Congress gives the analysis world a positive impression of your company’s commitment to best practice, standards and continued professional development.

Benefits

So what are the benefits of sponsoring and exhibiting at the NAFEMS World Congress?

- Promote your company to a large but highly focused group of individuals who have a pre-qualified interest in your product
- Establish important contacts within the industry
- Keep an eye on the activities of your direct competition
- Increase your company’s visibility and standing in the analysis community
- Showcase your latest product releases and service offerings
- Discover exactly what your target market needs, and what trends are emerging across the industry

nafems.org/congress



Professional Simulation Engineer Certification at the NAFEMS World Congress

The NAFEMS Professional Simulation Engineer (PSE) Scheme has continued to grow since it was launched at the NAFEMS World Congress in Salzburg in 2013. Initially, interest in the scheme came from highly motivated analysis experts who sought PSE certification to differentiate themselves from their peers. In the last few years, we have seen companies ask their staff to go through the PSE process as a way of demonstrating their competence.

The Congress provides a unique opportunity to learn about PSE from individuals who have been through the PSE certification process and also to get your questions about the process answered by the PSE administrator

and PSE Board members. Facilities will also be on hand to allow you to start your PSE application at a discounted rate available to all NAFEMS World Congress attendees.

PSE assessments are normally carried out in web-based interviews to allow candidates from around the globe to get involved. While web-based interviews are an efficient way to carry out assessments a face-to-face interview can be less daunting and allow easier communication. NAFEMS will be providing facilities to allow PSE certifications to be carried out over the course of the congress. If you are interested in having your certification interview at the Congress, please contact pse@nafems.org

Professional Simulation Engineer Activities at the NAFEMS World Congress 2017

Tuesday 13th June – Plenary Session

Introducing PSE Within ASML – Lessons Learned and the Way Forward, Fred Huizinga (ASML, NED)

Fred Huizinga has been instrumental in setting up the PSE process within ASML. Within ASML PSE is being used as a measure of competence and is a requirement for anyone wanting to use modelling and simulation tools.

Tuesday 13th June – Session 5

Discuss PSE with individuals who have been through the PSE process

Certified PSE analysts will be available to answer questions on their experience with NAFEMS PSE certification.

Sunday 11th June - 15:30 | Wednesday 14th June - Session 7

Get your questions about PSE answered by members of the PSE Board and the PSE administrator. Facilities will be provided to talk you through the use of the PSE Competency Tracker and how to complete the certification application. Candidates can use the support on offer to initiate their application form. Candidates starting their application process at the NWC will be able to access a reduced application fee of €110



A New Standard for
Simulation Engineers

Internationales NAFEMS Magazin

Benchmark Magazin, Ausgabe April 2017

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

www.nafems.org/publications/benchmark

BENCH MARK

April 2017 issue . . .

- Big Questions for the Simulation Community
- FEA Puzzler: A Tale of Two Analysts
- SimReady: Assessing Manufacturing Modelling & Simulation Readiness Levels
- Smarter Testing Through Dynamic Simulation
- Process Model for Metal Additive Manufacturing
- Investing in Simulation Credibility
- NAFEMS PSE Certification at TWI
- Benchmark Challenge 08 - The Solution

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



NWC NAFEMS
NAFEMS WORLD CONGRESS 2017
 11-14 JUNE | STOCKHOLM | SWEDEN
 A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION

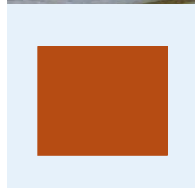
incorporating **spdm** INTERNATIONAL CONFERENCE
 Simulation Process & Data Management



NAFEMS Resource Centre

A New Service for NAFEMS Members and the Wider Community

Since our inception in 1983, there is one thing NAFEMS has been particularly good at – producing information. Be it textbooks, 'how to' guides, conference papers & presentations, magazine articles, webinars, training materials or software benchmarks, we have been producing and providing independent, impartial information in numerous forms to the community for the past 33 years. That's a lot of information. Over 5,000 individual items in total, to be precise. There have been various ways to access this information over the years – through hard-copy publications provided to members, attending conferences and seminars, viewing webinars online, subscribing to our e-library access or Benchmark magazine, or simply purchasing materials individually. But, until now, there has been no central repository for this information which is accessible, searchable and available to our membership.



For the past two years, NAFEMS has been working on a way to bring these various sources together, and provide access to our expanding membership base. This work has come to fruition with the NAFEMS Resource Centre, an online database which aims to collate all of the information produced by NAFEMS into one central, accessible location. As you can imagine, a project of this size has been a significant undertaking, requiring the indexing, classification and tagging of thousands of individual pieces of information into a standard format. The Resource Centre is currently at the beta-testing stage, with the aim of being rolled out in the summer of 2017.

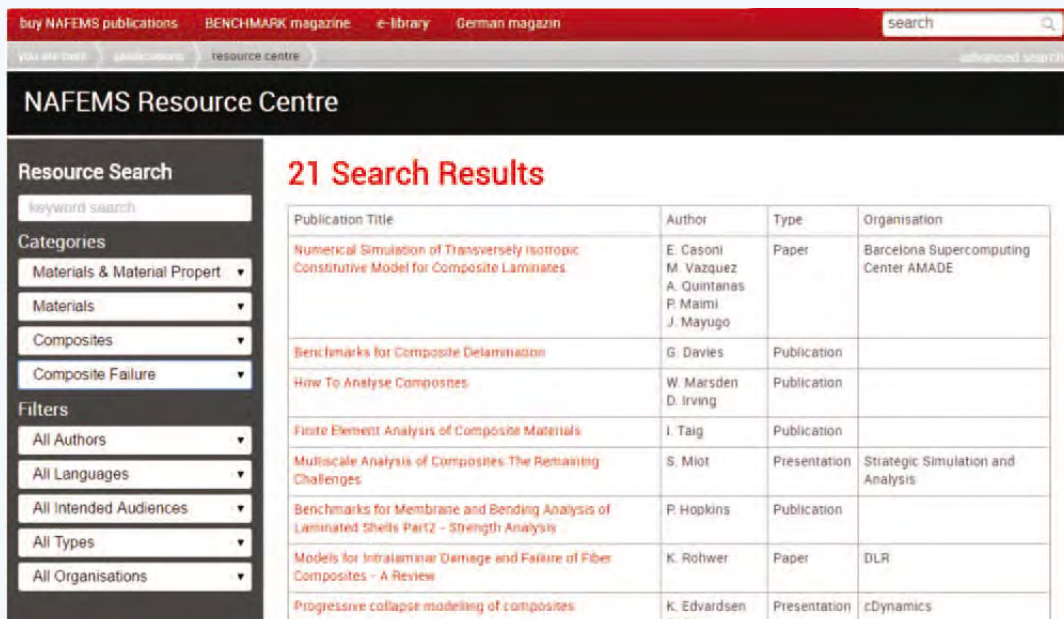
At this stage, the facility contains all information produced by NAFEMS from May 2015 until the present day, as well as details of all 'hard-copy' publications produced by NAFEMS. Whilst this is only a fraction of the content produced since 1983, it provides a starting point for the further development of the Resource Centre, which will be populated more fully in the weeks and months to come.

The aim throughout this project has been to make the centre as simple, user-friendly, and powerful as possible. Each 'resource' is tagged with information on its content, be it the technologies discussed, the target audience, author information, industries covered, type of resource, and much more.

Working from a set of dynamic filters, it is possible, for example, to identify all conference papers from Simulia, written in English, related to the biomedical industry, all using a quick series of search filters. Free text filters are also available, allowing members to search for any particular keyword they are looking for, and narrow the results according to preference.

From there, depending on the resource type and the level of access permissions the user has, the Resource Centre will, in due course, enable the content to be viewed as a webpage, downloaded as a PDF, purchased as a hard-copy, or viewed as a recording.

It is hoped that the Resource Centre will truly "open-up" the wealth of content produced by NAFEMS both in the past and going forward into the future, in a user-friendly and intuitive manner. As ever with projects of this size, work will be ongoing to ensure the system fully meets the needs of our membership and wider community, with parts of the functionality being rolled-out on a gradual basis. We would encourage you to visit the beta version at nafe.ms/2nvyIBj, and let us know what you think. NAFEMS sees the development of the Centre as a key part of delivering on our mission to be the central, independent source of information for the engineering analysis community worldwide, and we welcome your feedback at resource.centre@nafems.org ■



The screenshot shows the NAFEMS Resource Centre interface. At the top, there are navigation links for 'Buy NAFEMS publications', 'BENCHMARK magazine', 'e-library', and 'German magazin', along with a search bar. Below this, the 'NAFEMS Resource Centre' header is visible. On the left, there is a 'Resource Search' sidebar with a 'keyword search' field, 'Categories' (Materials & Material Propert, Materials, Composites, Composite Failure), and 'Filters' (All Authors, All Languages, All Intended Audiences, All Types, All Organisations). The main content area displays '21 Search Results' in a table format.

Publication Title	Author	Type	Organisation
Numerical Simulation of Transversely Isotropic Constitutive Model for Composite Laminates	E. Casoni M. Vazquez A. Quintanas P. Maimi J. Mayugo	Paper	Barcelona Supercomputing Center AMADE
Benchmarks for Composite Delamination	G. Davies	Publication	
How To Analyse Composites	W. Marsden D. Irving	Publication	
Finite Element Analysis of Composite Materials	I. Taig	Publication	
Multiscale Analysis of Composites: The Remaining Challenges	S. Miot	Presentation	Strategic Simulation and Analysis
Benchmarks for Membrane and Bending Analysis of Laminated Sheets Part2 - Strength Analysis	P. Hopkins	Publication	
Models for Intralaminar Damage and Failure of Fiber Composites - A Review	K. Rohwer	Paper	DLR
Progressive collapse modeling of composites	K. Edvardsen E. Tava	Presentation	cDynamics

Figure 1: The Resource Centre Content Filters

invitation²TENDER



How to Analyse and Process CFD Output

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

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

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

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

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

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

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

Deadline Interested parties are encouraged to submit proposals by July 1st 2017.

How To Model Crack Propagation using Finite Elements

The NAFEMS Education and Training Working Group (ETWG) wishes to commission a new document with the suggested title "How To Model Crack propagation Using Finite Elements". This book should be aimed at a graduate-level industrial user who is familiar with basic linear FE analysis, but is inexperienced in advanced FE simulations. The book should assume little or no knowledge of fracture mechanics theory or FE modelling of cracks. The following topics are expected to be included:

- Fracture mechanics: Theoretical background
basic introduction to LEFM, stress intensity factors, J-Integral, etc.
- Crack propagation theory
Crack initiation, criteria for direction of crack growth, fatigue crack growth, etc.
- Modelling crack propagation using FEA
crack-tip elements, XFEM and other methods
- Benchmarks on FE simulation of crack propagation.
Benchmarks may include 2D and 3D crack growth, automatic re-meshing for modelling crack growth, plasticity around crack tip, multiple cracks, etc

Costs The total cost of authoring, maintaining and producing a publication collating challenges, solutions and points to note from the submissions received will be proportional to the proposed content and is not expected to exceed £7000 (GBP).

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 July 1st 2017.

NAFEMS CFD Benchmarks

NAFEMS' **Computational Fluid Dynamics Working Group (CFDWG)**, wishes to commission several new documents of CFD Benchmarks. The NAFEMS benchmarks form a resource for NAFEMS members and the wider engineering and simulation community. This set of published, neutral and independently defined cases is considered a valuable resource and where applicable is still widely used by simulation code vendors as part of their verification and validation activities. However, these benchmarks are primarily for structural analysis problems, often for which closed-form solutions are available; so while the existing NAFEMS benchmarks were highlighted as being valuable they are limited in scope and there was enthusiasm for further benchmarks tackling a wider range of problem types with more advanced physics.

The document will provide a set of benchmarks, presented in a standard format, consistent with other NAFEMS publications. Each benchmark will provide a full description of the case, such that it can be recreated by a simulation engineer using software of their choice, and good quality data, relevant to the purpose of the case, with which the

results of a simulation can be compared. The data can come from either a closed-form solution or high quality physical measurements.

The benchmarks do not provide guidance on the simulation process to apply to any particular case although comments may be included. This is a deliberate decision due to the increasing variety of simulation techniques available and the growing computational capability which could render guidance given as obsolete or even misguided in a relatively short period of time. It is expected that where commercial software is applicable to a NAFEMS benchmark, the software vendor will then produce guidance on how best to tackle the case with their software, possibly also the results calculated by the software, for validation purposes. Benchmarking can be educational, in that a benchmark can be used as the basis for a demonstration or tutorial on how a specific case should be defined or run.

The benchmarks should be for the benefit of engineers and scientists in industry, whether users or developers of simulation tools.

Costs The total cost of authoring a publication consisting of a set of benchmarks and addressing reviewer feedback, will be proportional to the number of cases proposed in the volume and is not expected to exceed £5000{GBP} for a volume of 10 cases.

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

Deadline There is no fixed deadline for submissions as there is an ongoing drive for material and several volumes by different authors or teams of authors can be in progress concurrently.



for full details visit nafems.org/publications/tender

ALTAIR

**Altair Enlighten Award 2017 –
Letzter Aufruf zur Einreichung**

Altair lädt Kunden und Interessenten aus der Automobilindustrie ein, ihre Projekte für den diesjährigen Altair Enlighten Award 2017 noch bis zum 26. Mai 2017 einzureichen. Es werden Nominierungen in den drei Kategorien Vollfahrzeug, Module und Grundlagentechnologien angenommen. Der jährlich vergebene Altair Enlighten Award wird gemeinsam mit dem Center for Automotive Research (CAR), SAE International und dem Media Sponsor Automobil Industrie vergeben und zeichnet besondere Leistungen im automobilen Leichtbau aus.

Neue Flux Version 12.3

Mit Flux 12.3 wurde die neue Version der führenden Software für niederfrequente elektromagnetische und thermische Simulation Flux, nun Teil der Altair HyperWorks Simulationsplattform, veröffentlicht. Mit seiner bahnbrechenden Technologie ist Flux das perfekte Werkzeug für die Analyse, das Design und die Optimierung moderner Anwendungen wie elektrische Antriebe, Aktuatoren und Sensoren, Starkstrom-Equipment sowie für Untersuchungen zur Wärmebehandlung oder elektromagnetischen Verträglichkeit. Flux 12.3 umfasst mehrere Verbesserungen, die es dem Nutzer unter anderem ermöglichen, qualitativ hochwertigere Netze zu erstellen und 3D CAD Modelle noch effizienter zu importieren.

Boeing Performance Excellence Award 2016

Altairs Consulting- und Dienstleistungssparte für Produktentwicklung Altair ProductDesign wurde mit dem Boeing Performance Excellence Award 2016 ausgezeichnet. Boeing vergibt den Award jährlich und zeichnet damit Zulieferer aus, die eine außerordentliche Leistung gezeigt haben. Altair hat für jeden Monat des 12-monatigen Leistungszeitraumes, vom 1. Oktober 2015 bis 30. September 2016, ein sogenanntes „Silver Composite Performance Rating“ erhalten und sich so für den Award qualifiziert. Die Auszeichnung für

außerordentliche Leistungen erhält Altair nun schon im vierten Jahr in Folge und zum fünften Mal innerhalb der letzten sieben Jahren.

ARAS

PLM-Veteran Tony Affuso wird Mitglied des Aras Board of Directors

Aras hat Anthony (Tony) Affuso in das Board of Directors aufgenommen. Der PLM-Experte Affuso blickt auf eine Karriere von mehr als drei Jahrzehnten zurück. Er leitete unter anderem 20 Jahre lang als CEO die Geschicke des PLM-Anbieters UGS, den er vor der Fusion mit Siemens PLM Software vom Start-up zu einem Marktführer mit mehreren Milliarden US-Dollar Umsatz entwickelte. Auch nach dem Zusammenschluss blieb Affuso CEO von Siemens PLM Software. Neben seiner neuen Rolle bei Aras hat der PLM-Profi einen weiteren Posten im Board of Directors bei Symbotic inne. Dabei handelt es sich um ein Start-up für Lagerautomation und Robotik, das er in der Vergangenheit als Geschäftsführer leitete.

„Aras verfolgt ein Geschäftsmodell, das stark auf disruptive Technologien, Open Source und die Konzentration auf beziehungsweise Interaktion mit Kunden setzt. Diese Tatsache und der Umstand, dass sich mehrere globale Marktführer aus der Fertigungsbranche kürzlich für Aras entschieden haben, bestärkten mich in dem Entschluss, Teil des Unternehmens zu werden“, erklärt Affuso. „Besonders beeindruckt mich, dass der Kunde immer an erster Stelle steht. Auch ich selbst habe diesen Grundsatz immer verfolgt. Das Team von Aras verkörpert diese Unternehmenskultur sehr gut.“

Affuso weiter: „Wir beobachten einen steigenden Bedarf nach leistungsfähigen PLM-Lösungen. Fertigungsunternehmen sind heute mit mehreren Herausforderungen konfrontiert. Produkte werden zunehmend komplexer, gleichzeitig soll die Digitalisierung dazu beitragen, noch effizienter und wettbewerbsfähiger zu operieren. Viele re-evaluieren deshalb ihre Systeminfrastruktur

und investieren in neue Möglichkeiten wie in den „Digital Thread“ von Aras. Er macht Produkte über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg nachverfolgbar. Meiner Ansicht nach ist Aras mit der richtigen Technologie zum richtigen Zeitpunkt präsent und damit auf dem Weg zum neuen PLM-Marktführer.“

„Tony kennt unsere Branche wie kein Zweiter und weiß, was Kunden antreibt“, sagt Peter Schroer, CEO bei Aras. „Er hat die Evolution von PLM seit den Anfangstagen mit rein mechanischem CAD bis in die heutige Ära des System Engineering, die Aras ermöglicht, begleitet. Als Mitglied unseres Board of Directors wird er eine wichtige Rolle dabei spielen, den künftigen Kurs zu bestimmen und die Beziehungen zu Kunden und Partnern zu vertiefen um weiterhin die Erwartungen der Industrie an PLM neu zu definieren.“

www.aras.com

CADFEM

**Motorgeräusche:
Neues Tool kommt**

„Electric Drive Acoustics inside Ansys“ ist ein neues Cadfem Engineering-Werkzeug für Ansys. Es hilft, den Geräuschpegel von Elektromotoren in den Griff zu bekommen. Mit dem zunehmenden Einsatz von elektrischen Antrieben wird deren Geräuschentwicklung kritisch unter die Lupe genommen. Motiviert durch zahlreiche Anfragen hinsichtlich dieser Problematik und schon vorliegenden Erfahrungen aus Kundenprojekten bietet Cadfem ab Ende Mai die neue Ansys Extension „Electric Drive Acoustics inside Ansys“ zur Simulation und Optimierung von Elektromotorgeräuschen an.

Extensions für Ansys 18

Cadfem Ansys Extensions sind von Cadfem und Partnern entwickelte Engineering-Werkzeuge für Ansys. Nun sind alle für Ansys 18 verfügbar. Integriert in Ansys Workbench erweitern die Cadfem Ansys Extensions den Funktionsumfang von Ansys punktuell um spezifische

Anwendungen wie FKM-Nachweise, die Schraubenbewertung nach VDI 22 30, die Kopplung von Ansys zur Spritzgießsimulation oder Modelreduktionsmethoden. Alle aktuellen Cadfem Ansys Extensions sind ab sofort für Ansys 18.0 verfügbar, teilweise wurde der Funktionsumfang erweitert. Einen Überblick, Informationsmaterial sowie Webinar- und Seminarangebote zu den Cadfem Ansys Extensions erhalten Sie unter www.cadfem.de/extensions.

Dem Unternehmernetzwerk Innonet Kunststoff angeschlossen.

Das Innonet Kunststoff ist Plattform und Verbindungsglied von Unternehmen der Kunststoffbranche aus Baden-Württemberg. Im Netzwerk engagieren sich derzeit rund 90 Unternehmen, die nahezu die gesamte Wertschöpfungskette im Kunststoffbereich abdecken. Vom Formen- und Werkzeugbau, dem Spritzgießmaschinenbau über die vielfältige Kunststoffverarbeitung bis hin zu einer Reihe nachgelagerter Prozesse, wie Bedrucken, Laserbearbeitung, Messen und Prüfen. Die Kunststoff-Kompetenz im Netzwerk wird darüber hinaus durch die Mitgliedschaft von Hochschulen und Forschungseinrichtungen abgerundet. Seit Anfang 2017 ist die Cadfem GmbH Netzwerkpartner und bringt ihre Kompetenz im Bereich der numerischen Simulation ein (www.innonet-kunststoff.de).

www.cadfem.de

COMSOL

Neue Version von Comsol 5.3.

Die Comsol Multiphysics GmbH gibt die Verfügbarkeit der neuesten Version von Comsol Multiphysics und Comsol Server bekannt. Version 5.3 bietet Simulationsexperten signifikante Leistungsverbesserungen. Darüber hinaus umfasst das Release erweiterte Funktionen für die Entwicklung und den Einsatz von Apps sowie neue Modellierungs- und Entwicklungswerkzeuge, Solver und nutzerorientierte Funktionen. In vielen Fällen erzielen die Anwender mit der neuen Version eine Ge-

esocaet
STUDIES



CAS Computational Fluid Dynamics

Berufsbegleitend studieren – Hochschulzertifikat oder Module

HSR
HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL
FHO Fachhochschule Ostschweiz

Ihr Kurzstudium

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

Ihre Vorteile

- Transfer neuer Technologien
- Unterricht von CAE-Experten
- Geblockte Präsenzphasen
- Flexibel für individuelle Pläne
- Anrechnung auf Master möglich

Info-Webinar:

24. Mai 2017, 23. Juni 2017

Info-Veranstaltung:

01. Juni 2017



www.esocaet.com/nafems + + by **CADFEM**

schwindigkeitsverbesserung bei der Reaktionszeit der Software um den Faktor 10 oder höher. Dies betrifft z. B. das Preprocessing beim Umgang mit Modellen, die mehrere tausend Flächen und Teilbereiche umfassen. Mit Version 5.3 steht für die Modellierung von Elektrostatik und Korrosionseffekten die Boundary Element Method (BEM) zur Verfügung. „Dank dieser Neuerung können Anwender nun sehr einfach die BEM und die Finite Elemente Methode kombinieren und haben so eine größere Flexibilität bei ihren multiphysikalischen Simulationen“, erläutert Svante Littmarck, President und CEO, Comsol, Inc. Mit der BEM können Anwender Modelle mit unendlichen Bereichen und Hohlräumen simulieren und Simulationen aufsetzen, die Draht- und Balkenmodelle sowie Oberflächen und Volumenkörper in einem Modell kombinieren.

Anwender, die mit großen CFD-Modellen arbeiten, werden vom neuen Algebraischen Multigrid (AMG) Solver profitieren. Der AMG Solver erfordert nur eine Netzebene und ist nun die Standardoption für viele Physik-Interfaces zur Simulation von Flüssigkeitsströmungs- und Transportphänomenen. Bei der Modellierung turbulenter Strömung profitiert der Nutzer von robusteren Berechnungen im Zusammenhang mit der automatischen Behandlung von Wänden. Diese Eigenschaft kombiniert die genaue Formulierung bei kleinen Reynoldszahlen mit Wandfunktionen.

Der Model Builder ist mit der neuen Version der Suite bei der Durchführung von Geometrie- und Netzoperationen deutlich schneller. Dies gilt insbesondere für Modelle mit großen Arrays und komplizierter Vernetzung von Volumenkörpern in 3D. Anwender, die mit Modellen oder Geometrien arbeiten, die die Verwendung verschiedener Element-Typen erfordern, profitieren von der automatischen Erstellung pyramidenförmiger Elemente für den Übergang von zusammengesetzten Hexaeder-, Prismen- und Tetraeder-Netzen. Darüber hinaus ist über virtuelle Geometrie-Operationen eine neue Option für automatische Geometrie-Vereinfachungen verfügbar.

Die Anwendungsbibliotheken umfassen über 50 neue und aktualisierte Tutorial-Modelle, die es den Nutzern schnell ermöglichen, sich in neue Funktionen, Werkzeuge und Modellierungstechniken einzuarbeiten und diese zu nutzen. Die Tutorials umfassen unter anderem die Bereiche Permanentmagnetmotoren, Kabel, Hornstrahler-Antennen, Überschallströmung, Elektronik Kühlung sowie Schwingungen und Geräusche in einem Getriebe.

Der Application Builder ermöglicht es Simulationsexperten, basierend auf ihren multiphysikalischen Modellen, Apps zu erstellen. Das App-Interface kann sehr einfach angepasst werden. Der Zugriff erfolgt über einen Browser oder einen Windows Client, der sich mit einer lokalen Installation von Comsol Server verbindet. Die Neuerungen von Comsol Server umfassen umfangreiche Log-Dateien der Nutzer-Aktivitäten sowie eine zentrale Cluster-Administrationskonfiguration im Web-Interface von Comsol Server. Mit dieser können die Einstellungen für das Ausführen von Apps auf Clustern einfach konfiguriert werden. Im Application Builder können App-Designer durch einfaches Klicken auf die Abbildungen in grafischen Objekten individuelle Aktionen definieren und so sehr einfach interaktive Apps erstellen.

www.comsol.com

CPU24/7

Vier Teams der Formula Student mit Rechenpower von CPU 24/7 ausgestattet

Mit dem kürzlich unterschriebenen Sponsoringvertrag zwischen CPU 24/7 und der Dualen Hochschule Baden-Württemberg ist der Potsdamer HPC-Cloud-Anbieter offizieller Sponsor von insgesamt vier Top-Teams der internationalen Rennserie Formula Student.

Als Sponsor unterstützt CPU 24/7 vier deutsche Hochschulteams mit der Bereitstellung von Rechenleistung für die Entwicklung des Formelrennwagens der Saison 2016/2017. Dazu gehört das Team FaSTTUBE der TU Berlin, munichMotorsport

e.V. (Hochschule München), Formula Student Team Weingarten (Hochschule Ravensburg-Weingarten) und seit neuestem der Rennstall DHBW Engineering Stuttgart e.V. der Dualen Hochschule Baden-Württemberg. Für die Berechnung der digitalen Prototypen kommt ein Gesamtvolumen von 180 Cores und 10 Servern zum Einsatz.

Die Formula Student ist ein internationaler Konstruktionswettbewerb für Hochschulteams, der seit 2006 jährlich ausgerichtet wird. Innerhalb eines Jahres konstruieren und fertigen Teams aus aller Welt einen einsitzigen, technisch anspruchsvollen Formelrennwagen und treten gegeneinander an. Allerdings gewinnt nicht das Team mit dem schnellsten Rennwagen, sondern das Team mit dem besten Gesamtpaket aus Konstruktion und Rennperformance, Finanzplanung und Verkaufsargumenten. Seit der ersten Austragung im Jahr 2006 nehmen mittlerweile ca. 100 deutsche und über 500 internationale Teams teil.

Die Wettkämpfe werden in drei unterschiedlichen Wertungsklassen ausgetragen: Formula Student Combustion (Verbrennungsmotor), Formula Student Electric (Elektroantrieb) und Formula Student Driverless (ohne Fahrer). In spektakulärer Formel 1-Athmosphäre präsentieren sich die Teams dem internationalen Fachpublikum aus Industrie und Wirtschaft, vor allem aber aus der Motorsport-, Automobil- und Zuliefererindustrie. Weitere Informationen zu den gesponserten Teams von CPU 24/7 finden Sie unter: www.munichmotorsport.de, www.fsteamweingarten.de, www.dhbw-engineering.de, www.fasttube.de

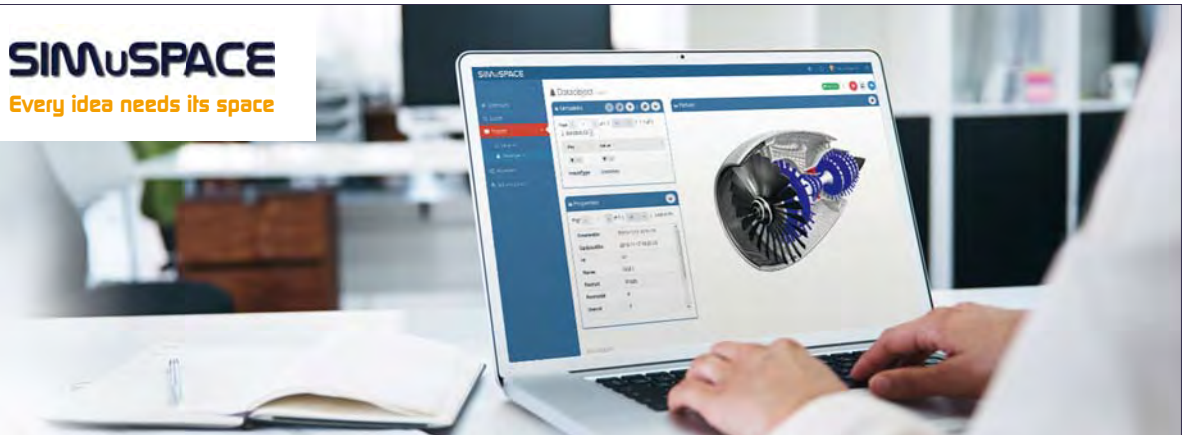
www.cpu-24-7.com

DASSAULT SYSTÈMES

Kostenloses Whitepaper von CIMdata: Achieving Sustainable Innovation

Das Whitepaper von CIMdata illustriert auf anschauliche Weise, wie Simulations- und Optimierungstechnologie powered by 3DEXperience

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

Plattform zu Innovation und Wachstum beiträgt.

Themen des Whitepapers in englischer Sprache, u.a.:

- Market Trends, Value Drivers, and Business Challenges
- The Role of Simulation and Analysis in Enabling Product and Process Innovation
- The Platform - A Foundational Element for Innovation
- Design for Additive Manufacturing: A Platform Use Case

Kostenloser Download:

www.fe-design.de/index.php?id=2516&rid=t_6606&mid=388&aC=326f71d9&jumpurl=44

www.3ds.com

DYNAWELD

Gründung der DynaWeld GmbH & Co. KG abgeschlossen

Die Gründung der DynaWeld GmbH & Co. KG als Softwareanbieter und Dienstleister rund um das Thema

Simulation von Schweißen und Wärmebehandlung ist nun handelsrechtlich und organisatorisch abgeschlossen. Dank der vorangegangenen intensiven Zusammenarbeit mit LSTC und DYNAmore ist es in kurzer Zeit gelungen, den LS-DYNA-Code für Schweißstruktur- und Wärmebehandlungssimulationen zu erweitern.

Die Software DynaWeld nimmt dabei dem Anwender die komplexe Aufgabe der spezifischen Simulationsdatenübergabe an den Solver ab. Mit DynaWeld und LS-DYNA sind nun auch große Strukturen sowie ganze Bauteilgruppen zuverlässig berechenbar. Das schließt auch die Berechnung der Prozesskette mit ein. Hierin sehen wir notwendige Voraussetzungen für den industriellen und standardisierten Einsatz der Wärmebehandlungs- und Schweißsimulation. Unser nächster Schritt wird die Automatisierung sein. Unsere Vision dabei ist weniger die Erschaffung eines weiteren GUI mit einer Vielzahl händischer Menüein-

träge, als vielmehr eine skriptbasierte Automatisierung mit weitestgehend selbsttätiger Zusammenstellung der erforderlichen Daten.

Industrie 4.0 kann unseres Erachtens nicht in Form einer für jede Berechnungsaufgabe wiederkehrenden human-basierten Dateneingabe bestehen. Wir wollen mit DynaWeld neue Wege gehen und die Tür in die Zukunft der automatisierten Fertigungssimulation öffnen. Daneben bieten wir natürlich unsere Kompetenzen auch gerne als Dienstleistungen an, sei es als Einstieg oder dauerhafte Lösung für unsere Kunden. Sprechen Sie uns an. Wir, die Gründer der DynaWeld, freuen uns auf reges Interesse, gute Zusammenarbeit und eine spannende, dynamische Zukunft.

www.dynaweld.de

ESI-GROUP

Neue Leichtbaustrategie von Adam Opel profitiert von ESI PAM-Stamp

Die ESI Group unterstützt mit seiner Umformsimulationssoftware ESI PAM-Stamp die neue Leichtbaustrategie von Adam Opel. Die genaue Vorhersage der rückfederungsbedingten Formabweichungen in der frühen Entwicklungsphase ermöglicht es Opel, frühzeitig und effizient entsprechende Abhilfemaßnahmen zu ergreifen. Mit Hilfe von ESI PAM-Stamp führt der neue Prozess zu einer deutlich verbesserten Bauteilqualität und ermöglicht gleichzeitig deutliche Gewichtsreduktionen, die sich in Form eines niedrigeren CO₂-Ausstoßes der Opel-Fahrzeuge auswirken.

Neue, verschärfte CO₂-Emissionsvorschriften zwingen die Automobilindustrie, kontinuierlich innovative Lösungen zu entwickeln, um leichtere Fahrzeuge mit geringerem Kraftstoffverbrauch bei gleichbleibender oder verbesserter Insassensicherheit zu produzieren. Eine vielversprechende Maßnahme zur Erreichung dieser Ziele ist der Ersatz derzeit verwendeter Blechwerkstoffe durch dünnere, hochfeste Stahlgüten (AHSS, Advanced High Strength Steel), da sie neben der erwünschten Gewichtsreduktion eine höhere Leistungsflexibilität bei niedrigeren Kosten ermöglichen. Allerdings bringen hochfeste Stähle auch einen großen Nachteil im Fertigungsprozess mit sich, da die höhere Streckgrenze zu einer erheblichen Rückfederung und zum Verzug des Bauteils nach der Umformung führen kann.

Um diese Herausforderung zu bewältigen, führte der deutsche Automobilhersteller Adam Opel in Zusammenarbeit mit ThyssenKrupp System Engineering und der ESI Group ein umfangreiches Entwicklungsprojekt durch. Das Team entwickelte einen Lösungsansatz, bei dem durch ein doppeltes S-Profil an Stelle des herkömmlichen Stempelradius eine erhöhte geometrische Formsteifigkeit des Bauteils erreicht wurde. Das Team konnte in der Folge mit ESI PAM-Stamp präzise den

Einfluss von Größe und Form des Stempels auf die Zargenöffnung, die Rückfederung und die Verdrehung des finalen Bauteils vorhersagen. Mit Hilfe von ESI PAM-Stamp untersuchte das Opel-Team darüber hinaus den Einfluss des Blechhalterdrucks auf die Abweichung von der nominalen Bauteilform und konnte so die Kombination aus Stempelradien und Blechhalterdruck bestimmen, die zu der kleinstmöglichen Abweichung führt. Entgegen den Anfangserwartungen fand das Team heraus, dass die Verminderung des Blechhalterdrucks zu einer Reduktion der Abweichungen führt.

Um die Ergebnisse zu verifizieren, stellte Adam Opel die Umformwerkzeuge her und verglich die damit ermittelten physischen Versuchsdaten mit den Prognosen aus den Simulationsergebnissen mit PAM-Stamp. Die Ergebnisse wiesen sowohl für die beschnittene als auch für die unbeschnittene Bauteilgeometrie eine exzellente Übereinstimmung auf und zeigten deutlich die Auswirkung der geometrischen Modifikationen auf die Zargenöffnung, die Rückfederung und den Verzug des finalen Bauteils. Basierend auf diesen Ergebnissen entschied sich Opel, die Verwendung hochfester Stahlgüten in ihrem Fertigungsprozess weiter zu untersuchen.

„Aufgrund der engen Zusammenarbeit zwischen Opel, ThyssenKrupp und ESI war dieses Projekt ein großer Erfolg. Es half uns, den Verzug vorherzusagen und zu kontrollieren. Dies resultierte in einer effizienten Kompensation der gestanzten Bauteile unter Einsatz von modernem, hochfestem Stahl. Wir konnten so die Herausforderung in Bezug auf die Modellgeometrie und deren Nutzung in einem komplexen Umfeld bewältigen, wie sie beispielsweise die Bauteil- und Prozessoptimierung darstellt,“ sagt Dr. Niels Koch, Project Leader for Advanced Manufacturing Technologies, bei Adam Opel.

www.esi-group.com

EXPERT VERLAG

Die Methode der Finien Elemente in neuer Auflage erschienen

Das Fachbuch von Dr. Yasar Deger ist soeben neu in der 8. Auflage erschienen (Kontakt & Studium Band 551). Im Buch werden die Grundlagen und der Einsatz der FEM in der Praxis detailliert vermittelt und anhand von 131 Bildern verdeutlicht. Das Buch ist fester Bestandteil der Kursunterlagen beim FEM-Trainingskurs „Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation“. Dr. Deger war über lange Jahre Mitglied des NAFEMS Steering Committees für Deutschland, Österreich und der Schweiz und hat in dieser Zeit die Kursunterlagen des NAFEMS FEM Trainingskurses entwickelt.

www.expertverlag.de

FLUIDON

Fluidon veröffentlicht DSHplus 4 Preview

Auf der Hannover Messe startete Fluidon das Preview-Programm für die Simulationssoftware DSHplus 4 mit einer ersten Alpha-Version. DSHplus ist eine Simulationsumgebung, die speziell für die dynamische, nichtlineare Berechnung von komplexen fluidtechnisch-mechatronischen Systemen von Fluidon entwickelt wurde. DSHplus wird zur Analyse der Dynamik hydraulischer und pneumatischer Systeme, bei Systemüberarbeitungen, bei Komponentenauswahl und -auslegung, in der Fehlerdiagnose sowie zu Ausbildungszwecken angewendet. Neben verschiedenen Komponentenbibliotheken bietet DSHplus umfangreiche Möglichkeiten zur Automatisierung der Simulation und zur Ergebnisanalyse. Ferner wird das Functional Mock-up Interface (FMI) unterstützt, wodurch die Anbindung an applikationsübergreifende externe CAE Werkzeuge garantiert ist. Eine PLC Anbindung für die virtuelle Inbetriebnahme von Maschinen und Anlagen runden das Anwendungsspektrum der Software ab. Die auffälligste Änderung an DSH-



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™

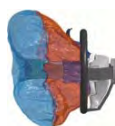
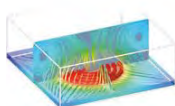
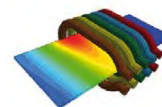
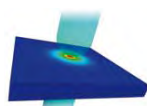


Bild: Daimler AG



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

plus 4 ist die neue Benutzeroberfläche, bei der es keine Unterscheidung mehr zwischen Modellierung, Parametrierung und Simulation gibt, wodurch ein noch intuitiveres Arbeiten möglich ist. Das bisherige Funktionsmenü samt Symbolleiste musste einem zeitgemäßen Menüband weichen und Funktionen, die bisher das Öffnen eines Dialogfensters notwendig machten, wurden aufgabenbezogen zusammengefasst und sind mit einem Mausklick erreichbar. Die durchgängige 64-bit-Architektur und der überarbeitete Rechenkern führen zu einer deutlichen Beschleunigung der Simulation mit DSHplus 4. Bis zum offiziellen Release von DSHplus 4 werden regelmäßig weitere Vorschau-Versionen zum kostenlosen Download bereitgestellt.

www.fluidon.com

FRIENDSHIP SYSTEMS

Neue Version von Caeses 4.2.1 für CFD-Experten

Friendship Systems hat eine neue Version seiner CAD- und Optimierungs-Software Caeses veröffentlicht. Mit Caeses entwickelt das deutsche Unternehmen eine Software für Simulationsingenieure, die CFD-basierte Designstudien oder automatisierte Formoptimierungen durchführen möchten. Der Fokus der Softwarelösung liegt dabei auf der robusten automatisierten Variation von komplexer Geometrie für die Kopplung mit beliebigen CFD-Tools. In der neuen Version wurde der Umgang von fehlgeschlagenen Designs in automatisierten Optimierungsläufen verbessert, wodurch Probleme in der externen Vernetzung oder Simulation berücksichtigt werden. Ferner ist nun die Hydrostatik-Berechnung so erweitert worden, dass auch für spezielle Schiffsrumpftypen

(„Multi-Hulls“) z.B. die Verdrängung und der Verdrängungsschwerpunkt berechnet werden können.

Ein weiteres Set von zusätzlichen Kurvenfeatures für die Modellierung von 2D- und 3D-Geometrie wurde auf Wunsch von Usern hinzugefügt, welches vor allem auf eine glatte Modellierung mit wenigen Parametern abzielt. Schließlich ist auch die Kopplung von OpenFOAM mit Caeses vereinfacht worden, vor allem in Bezug auf automatisierten Kopiermechanismen von kompletten OpenFOAM Setups.

Friendship Systems bietet neben einer kommerziellen Version für Unternehmen auch eine akademische Version für Universitäten sowie eine kostenlose Vollversion für Studenten und PhD-Studenten an.

www.caeses.com

GRANTA DESIGN

UK-Datacomp Projekt

Granta Design zeigte auf der in JEC World Show erstmals seine erweiterte Unterstützung für die Simulation bei der Arbeit mit Verbundwerkstoffen. Im Rahmen des jüngst abgeschlossenen Gemeinschaftsprojektes UK-Datacomp wurden Daten aus dem Versuch für Crash-Simulationen von Verbundmaterialien entwickelt, diese können nun direkt in der Simulation im Automobilumfeld eingesetzt werden. Mit diesem Projekt konnte der Einsatz der Granta Technologie bei der Verwaltung von Materialinformationen für diese komplexe Anwendung erneut belegt werden. Darüber hinaus wurde ein äußerst nützlicher neuer Satz an Versuchsdaten und Simulationsmodellen erstellt.

Das Ziel von UK-Datacomp war es, den Einsatz etablierter Simulationmethoden bei der Entwicklung von Verbundwerkstoffen zu ermöglichen. Die Projektpartner kommen aus der Industrie und öffentlichen Organisationen, darunter Altair, Axon Automotive, Cytec Industrial Materials, Granta Design, Imperial College, Ncef und Sigmatec. Granta hat dafür sein Granta MI Materialinformations-Managementssystem zur Verfügung gestellt.

www.grantadesign.com

HBM PRENSCIA

nCode 13.0 zum Download

HBM Prencia freut sich Ihnen mitteilen zu können, dass nCode 13.0 nun zum Download bereitsteht. Diese Version bietet neue Funktionalitäten für die Vibrationsermüdung, Modal-Analyse und Akustik sowie weitere Verbesserungen in der Leistungsfähigkeit.

www.hbmprensia.com

HOCHSCHULE RAPPERSWIL

CAS Computational Fluid Dynamics erfolgreich abgeschlossen

Die erste Durchführung des CAS Computational Fluid Dynamics an der Hochschule für Technik Rapperswil (Schweiz) wurde erfolgreich abgeschlossen.

Sechzehn berufstätige Ingenieurinnen und Ingenieure liessen sich während sechs Monaten an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil (Schweiz) berufsbegleitend zu Experten in Strömungssimulation ausbilden. Am Freitag, 12. Mai 2017 hat der Kursleiter, Marcel Koller, in feierlichem Rahmen die Zertifikate überreicht.

Der Fokus der Weiterbildung liegt in der Anwendung von Strömungssimulationen im industriellen Umfeld, in der Physik der Strömungen und in den mathematischen Methoden, auf denen Strömungssimulationen basieren. Vermittelt wird das Wissen von Dozierenden der HSR und der ZHAW, die in der angewandten Forschung und Entwicklung der Fachhochschulen arbeiten und somit ihre eigene Industrieerfahrung mit Strömungssimulationen in den Unterricht einbringen.

Der CAS-Studiengang ist eine Kooperation der HSR mit dem Weiterbildungsnetzwerk esocaet in Deutschland. „Unsere Studierenden profitieren so nicht nur vom vermittelten Know-how im Unterricht, sondern erweitern auch ihr berufliches Netzwerk im Simulationsbereich“, sagt HSR Kursleiter Marcel Koller. Der nächste CAS Computational Fluid Dynamics startet im September 2017. Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an Herrn Marcel Koller, Tel. +41 55 222 42 46.

www.hsr.ch/cas-cfd

INTES

Permas spart Gewicht und erhöht die Lebensdauer

Die Freiform-Optimierung ist ein Verfahren zur Formoptimierung von Finite-Elemente-Modellen (FE-Modellen), wobei die Geometrie der Modelloberfläche geändert wird,

während die Elementtopologie des Modells unverändert bleibt.

Die Freiform-Optimierung ist kein mathematisches Optimierungsverfahren, sondern es basiert auf Optimalitätskriterien. Diese stellen einen Zusammenhang her zwischen der Geometrieänderung und ihrem Einfluss auf eine bestimmte Ergebnisgröße. Dabei geht es vor allem um den Zusammenhang zwischen Geometrieänderung und Vergleichsspannungen im Material. Vereinfacht bedeutet dies, dass eine hohe Spannung durch die Anlagerung von Material (d.h. einer Dickenerhöhung des Modells an der Stelle der hohen Spannung) reduziert wird. Das gilt auch umgekehrt für den Spannungsanstieg bei einer Dickenreduzierung. Neben Vergleichsspannungen kommen auch alle spannungsähnlichen Größen wie Hauptspannungen, Spannungsdifferenzen verschiedener Lastfälle, Vergleichsdehnungen oder Sicherheitsfaktoren in Frage. Typische Lösungen sind entweder eine Spannungshomogenisierung bei gleichbleibendem Gewicht oder eine Gewichtsoptimierung bei gegebenem Spannungslimit. Das Verfahren ist selbst für große Modelle mit vielen Lastfällen geeignet und wird vor allem bei Modellen mit freier Oberflächengeometrie verwendet, wie sie bei Gussteilen vorliegt, z.B. Gehäuse von Getrieben und Motoren. Als Berechnungsverfahren kommen sowohl lineare als auch nichtlineare Statik einschließlich Kontakt in Frage, aber auch eine Frequenzganganalyse in der Dynamik.

Das besondere der Implementation dieses Verfahrens in Permas ist nun die Kombination mit mathematischen Optimierungsverfahren bei bestimmten zusätzlichen Nebenbedingungen, deren Verhalten durch Sensitivitäten beschrieben wird. So können z.B. in der Statik Verschiebungen an Lagerstellen begrenzt werden oder Bedingungen an die Steifigkeit bzw. Nachgiebigkeit der optimierten Struktur gestellt werden. In der Dynamik können ebenfalls Schwingungsamplituden an bestimmten Knoten eingeschränkt werden. Selbst ein externes Lebensdauerprogramm

kann aus Permas heraus aufgerufen werden, um dessen Ergebnisse als Nebenbedingung oder Zielfunktion der Freiform-Optimierung zu verwenden. Durch die Kombination von parametrischer und nicht-parametrischer Optimierung können realistische Anforderungen in einer Optimierung berücksichtigt werden. Der Aufbau eines Optimierungsmodells für die Freiform-Optimierung ist besonders einfach und durch die Verwendung des Pre- und Postprozessors VisPER speziell auf Permas zugeschnitten. Lediglich die Selektion eines Knotensets auf der zu optimierenden Modelloberfläche ist erforderlich, um die Freiformoptimierung ausreichend zu beschreiben. Die Auswahl der beteiligten Elemente erfolgt automatisch. Auch Spannungs- und Gewichtslimits und andere Bedingungen können sehr einfach festgelegt werden. Geringes Gewicht bei besseren Lebensdauerwerten oder höheren Sicherheitsfaktoren ist mit Permas in einer Optimierung erzielbar. Die Vorteile liegen in einer Verkürzung der Entwicklungszeit von Bauteilen bei einem verbesserten, d.h. optimierten, Bauteilverhalten.

www.intes.de

INSTAL

Instal-News

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

www.4innovative-engineers.com

MSC SOFTWARE

Strömungsakustiklösung für die schwierigsten geräuschtechnischen Herausforderungen

MSC Software gab bekannt, dass seine leistungsfähige Akustiksoftware Actran mit SC/Tetra, der neuen CFD-Software von MSC, gekoppelt wurde. Diese Kopplung der beiden Produkte ermöglicht den Anwendern, strömungsakustische Simula-

tionen mit hochexakten Ergebnissen zu gewinnen. Dies führt zu besseren Designs, im Hinblick auf optimale Strömungsdynamik und Akustik.

Die aerodynamische Analyse in SC/Tetra wird durch die von Actran berechneten akustischen Auswirkungen ergänzt. Die von SC/Tetra produzierten stationären und instationären aerodynamischen Ergebnisse können jetzt im CFD General Notation System (CGNS)-Format exportiert und in Actran eingelesen werden, um die strömungsakustischen Schallquellen im gegebenen System zu ermitteln. Actran berechnet dann, wie sich dieser Schall akustisch ausbreitet. Der Anwender kann dadurch den Schallpegel und die Richtwirkung seiner Konstruktion genau beurteilen.

Diese CFD-Akustik-Kopplung können alle Kunden mit MSC One nutzen, das auf Token basierten Lizenzierungssystem, bietet optimalen Zugriff auf die umfassenden Lösungen von MSC. Den Ingenieuren stehen komplette Berechnungsmöglichkeiten für eine Vielzahl von Strömungsgeräuschen zur Verfügung, zum Beispiel für den Lärm rotierender Ventilatoren, vom Auto-Seitenspiegel verursachte Strömungsgeräusche oder Rauschen der Klimaanlage.

SC/Tetra und Actran sind die perfekte Softwarekombination für Ingenieure im Fahrzeugbau und Bereichen wie Unterhaltungselektronik, Elektrogeräte oder Industrieanlagen. „Wir sind begeistert von den neuen Möglichkeiten, die sich unseren Actran-Anwendern jetzt durch die Kombination mit den CFD-Lösungen von MSC Software bieten. SC/Tetra und Actran mit ihrer außergewöhnlich guten Synergie kann man allen Ingenieuren empfehlen, die Produkte mit erstklassigen Strömungs- und akustischen Eigenschaften entwickeln wollen.“, sagt Benoit Van Den Nieuwenhof, CTO von Free Field Technologies.

www.mssoftware.com

SIEMENS PLM SOFTWARE

Letzte STAR Global Conference

Am 6. März versammelten sich 600 Simulationsexperten aus allen Kontinenten in Berlin – für die letzte STAR Global Conference vor der Integration des Unternehmens in die Siemens-Struktur. Zudem war es nicht nur die größte STAR Global Conference (SGC), sondern auch die mit der am breitesten gefächerten Agenda. Mehr als 90 Simulationsexperten aus allen Industriebereichen erläuterten, wie sie STAR-CCM+, STAR-CD und Heeds nutzen, um einige der komplexesten Aufgabenstellungen zu lösen, die das Ingenieurwesen zu bieten hat. Die Teilnehmer waren sich einig, dass diese Veranstaltung ein würdiger Abschluss der STAR Conferences war – übrigens nach genau 25 Jahren in Folge. Der langjährige Kunde Erwin Schnell, der jede einzelne Konferenzen besucht hat, erinnert sich: „Die SGC ist sicherlich einen weiten Weg gegangen seit dem ersten „STAR-CD European Users Meeting“ im Londoner Novotel Hammersmith. Damals im Jahr 1992 waren wir inklusive der Computational Dynamics-Mitarbeiter etwa 30 Personen und wir passten alle in einen kleinen Raum. In diesen Tagen ging es vor allem darum, die Vernetzung zu beschleunigen und Geometrien zu importieren. Freie Interfaces und automatische Vernetzung waren nur ein Traum. Wir verbrachten Wochen und Monate damit, Geometrien zu importieren, zu säubern, zu vereinfachen und zu vernetzen. Deshalb machten wir in diesem Bereich Mächtig Druck.“ Irgendwie passt es ins Bild, dass Schnell, der die erste Konferenz zu einer Zeit besucht hatte, als Farbmonitore am Computer noch Neuheitswert hatten, der Zuhörerschaft im Jahr 2017 eine Virtual Reality-Technologie präsentierte, mit der man in die Berechnungsergebnisse eintauchen kann.

Während das Thema der SGC17 „Discover Better Designs, Faster!“ lautete, konzentrierte sich der Eröffnungsvortrag auf „Die Zukunft der Ingenieurssimulation“. In diesem

Vortrag arbeiteten Jan Leuridan (Senior Vice President of Simulation and Test) und Jean-Claude Ercolanelli (Senior Vice President Produktmanagement) heraus, wie Engineering-Analysen eine immer wichtigere Rolle spielen – in einer Welt individualisierter Produkte und datengetriebener Konstruktion.

Leuridan erläuterte, wie die bestehenden STAR-CCM+-Kunden davon profitieren werden, Teil eines ganzen Ökosystems von Analysewerkzeugen im Simcenter Portfolio zu werden. In einem Vortrag mit vielen Demo-Elementen zeigte Ercolanelli die zukünftige Entwicklung von STAR-CCM+ und Heeds. Themen waren auch STAR-Innovate, STAR-ICE und die faszinierenden Möglichkeiten, die Virtual Reality bietet.

Der frühere Vizepräsident von Mercedes-Benz Motorsport, Norbert Haug, sprach in einer sehr unterhaltsamen Keynoterede darüber, was er bei der Gründung des Mercedes-Benz Formel 1-Teams gelernt hat, zu einer Zeit, als sich andere Autohersteller aus der Königsklasse des Motorsports zurückzogen. Er sagte: „Beschleunigen, wenn alle anderen auf die Bremse treten, ist manchmal eine gute Idee. Haug drückte seine Sorgen wegen der explodierenden Kosten des Sports aus und nannte Strömungsanalyse als eine Möglichkeit, diese Kosten zu senken.“

Danach kam die Zeit der Kunden, die in den nächsten zwei Tagen atemberaubende Anwendungen und Erfolgsgeschichten präsentierten. Es zeigte sich, wie tief Simulations- und Analysewerkzeuge inzwischen in alle Bereiche der Industrie vorgegriffen sind.

In einer emotionalen Verabschiedung sprach David Vaughn, VP Marketing, davon, dass dies eher ein Anfang sei als ein Abschied und dass die STAR Global Conference zukünftig ein Teil der wesentlich größeren Simcenter Conventions werden wird – von denen die erste mit über 4.000 Teilnehmern soeben in China stattgefunden hat.

Solid Edge ST10 erhält Erweiterungen für Konstruktion, Simulation und Zusammenarbeit

Die aktuelle Version der 3D-CAD-Software Solid Edge hebt jeden Aspekt der Produktentwicklung auf ein neues Level. Dafür sorgen neue Konstruktionstechnologien, verbesserte Strömungs- und Wärmeübertragungsanalysen und cloudbasierte Werkzeuge für die Zusammenarbeit. Optimierte Publishing-Tools ermöglichen es, interaktive technische Dokumente zu erstellen und Konstruktionen in der Cloud zu teilen. Solid Edge ST10 vereinfacht es darüber hinaus, Teile für die additive Fertigung (AM) zu optimieren und Angebote, Materialauswahl und Angaben zu Lieferzeiten direkt bei AM-Dienstleistern einzuholen. Die neu integrierte Technologie für optimierte Topologien zusammen mit Convergent Modeling von Siemens unterstützen Konstrukteure, die Effizienz bei der Produktkonstruktion erheblich zu verbessern und nahtlos mit importierten Geometrien zu arbeiten.

Wintersteiger verbessert Effizienz von Entwicklungsprozessen

Der österreichische Spezialmaschinenhersteller Wintersteiger hat sich für Siemens als exklusiven Anbieter von Softwaresystemen für das Produktlebenszyklusmanagement (PLM) zur Unterstützung seiner Digitalisierung entschieden. Wintersteiger wird sein bestehendes, heterogenes Software-Lösungsportfolio für das Produktdatenmanagement durch das Teamcenter-Portfolio ersetzen, das weltweit am häufigsten eingesetzte System für digitales Lifecycle Management. Zusätzlich plant Wintersteiger die Migration sämtlicher Entwicklungssysteme auf NX, die integrierte Computer-aided Design, Manufacturing und Engineering (CAD/CAM/CAE) Software von Siemens PLM Software. Durch Integration seiner Produktentwicklungssoftware in die neue Teamcenter-Plattform werden Wintersteiger-Produktentwickler effizienter und direkter zusammenarbeiten können, auch über die verschiedenen Sparten und Tochtergesellschaften hinweg.

Vision eines globalen Marktes für additive Fertigung

Die Vision von Siemens ist es, das branchenweit umfassendste Portfolio an Produkten und Services für die weltweite additive Fertigung anzubieten. Im Rahmen dieser Strategie hat das Unternehmen heute Pläne für eine neue Online-Kollaborationsplattform vorgestellt, die eine weltweite Zusammenarbeit für die Fertigungsindustrie ermöglicht. Ziel ist es, einer globalen Fertigungsindustrie on-demand-Produktkonstruktion und 3D-Druck Produktion leichter zugänglich zu machen. Die Plattform für die Teilefertigung wurde vom Siemens Geschäftsbereich für Product Lifecycle Management (PLM) Software entwickelt und wird auf der Hannover Messe 2017 vorgestellt. Sie stellt eine ideale Umgebung dar für die Vernetzung von Teilnehmern einer weltweiten Fertigungsindustrie und ermöglicht es, die Nutzung von Ressourcen zu maximieren, den Zugriff auf Know-how für die additive Fertigung zu vereinfachen und neue Geschäftsmodelle zu generieren. Zum Beispiel würden sich Einkäufer von Produkten auf der Plattform mit Anbietern sogenannter Micro Factories verbinden, die 3D-Teile on demand weltweit drucken und genau dort, wo sie gebraucht werden. Darüber hinaus unterstützt die Plattform die globale Zusammenarbeit zur Optimierung von Co-Innovation-Prozessen. Dies wiederum beschleunigt die Einführung von 3D-Druck als gängige Produktionsmethode für industrielle Nutzung.

3D-Druckbeschleunigung von CAD-Modellen um mindestens 30 Prozent

Siemens und Materialise haben die Additive-Manufacturing-Technologie (AM-Technologie) von Materialise in die NX-Software von Siemens integriert. Damit wird der Design-to-Manufacturing-Prozess für die schnell wachsende Zahl an Produkten beschleunigt, die unter Einsatz von AM-Technologie bzw. 3D-Druck hergestellt werden. Durch effiziente Nutzung der bewährten Materialise-Technologie lassen sich mit der Software NX von Siemens für CAD,

CAM und CAE die CAD-Modelle für den 3D-Druck, basierend auf Pulverbett-schmelzen und Auftragstechnologien, präzise und vollständig vorbereiten. Dadurch kann die Zeit vom abgeschlossenen Produktdesign zum vollständig 3D-gedruckten Teil um 30 Prozent oder mehr gesenkt werden. Ein Partnerschaftsabkommen zwischen den beiden Unternehmen – von Materialise am 6. Januar 2017 bekanntgegeben – ermöglicht es der Product-Lifecycle-Management-(PLM)-Software-Sparte von Siemens, die integrierte Lösung über seine globalen Vertriebskanäle zu verbreiten.

Übernahme von Mentor Graphics

Siemens hat die Übernahme der Mentor Graphics Corporation abgeschlossen, einem führenden Anbieter von Software für Electronic Design Automation (EDA). Damit unterstreicht Siemens seine Absicht, Kunden mit Konstruktionswerkzeugen für elektronische Systeme und integrierte Schaltkreise (IC) bedeutenden Mehrwert zu bieten. Mentor ist jetzt Teil des Geschäftsbereichs Product Lifecycle Management (PLM) Software. Aus dem Zusammenschluss geht der weltweit größte Anbieter von Industriesoftware für Produktkonstruktion, Simulation, Überprüfung, Test und Herstellung hervor. In heutigen Produkten – angefangen bei Smartphones und Haushaltsgeräten über Automobile bis hin zu Flugzeugen und Maschinen – kommt in immer größerem Umfang hochentwickelte Elektronik zum Einsatz. Daher bietet Siemens den Unternehmen, die diese Produkte entwickeln, eine einzigartige, nahtlose und umfassende Software-Lösung an.

www.siemens.com/plm

SIMUFACT

Zeiss und Simcon verbinden zwei ihrer besten Produkte

Zeiss und Simcon verheiraten zwei innovative Technologien: Ab sofort ist eine Schnittstelle zwischen den Softwaresystemen Zeiss Calypso und Cadmould 3D-F & Varimos verfügbar. Die einzigartige Verknüpfung

von Simulation und Mess-Software führt zu effizienter Entwicklung und Optimierung von Bauteilen. Die Bauteil-Vermessung kann damit mit allen Standards am virtuellen Teil und am real produzierten Bauteil in der Serie eingesetzt werden. Ein und derselbe Prüfplan wird in der gesamten Entwicklung bis in die Serie eingesetzt. Simcon und Zeiss bieten Entwicklern und Konstrukteuren sowie Qualitätsmanagern genaue und schnelle Vermessung und Optimierung von Bauteilen – von der Entwicklung bis in die Serienproduktion.

www.simufact.de

TECOSIM

Tecosim-Whitepaper zum virtuellen Benchmarking

Tecosim hat ein Whitepaper zum virtuellen Benchmarking veröffentlicht. Die erste Fachpublikation zu diesem Thema beschreibt, wie mit Hilfe von voll digitalisierten Benchmarkmodellen die Entwicklungszeiten im Automobilbau weiter reduziert werden können. Das Whitepaper kann nach Anmeldung von der Tecosim-Webpage kostenfrei herunter geladen werden. In der Automobilbranche ist die Nachfrage nach neuen und effizienten Methoden in der virtuellen Produktentwicklung ungebrochen. Hersteller und Zulieferer sehen darin weiterhin großes Potenzial die Entwicklungszeiten, trotz gesteigener technischer Komplexität, zu verkürzen.

Das Tecosim-Whitepaper beschreibt, wie das virtuelle Benchmarking insbesondere die Konzept- und Frühphase des Entwicklungsprozesses beschleunigen kann. Der Leser erfährt ausführlich, wie die Eigenschaften von Wettbewerbsprodukten dreidimensional abgebildet werden. Im Unterschied zum Hardware-Benchmarking kann der Anwender mit diesen nun vorliegenden CAE-Modellen beliebig wiederholbare Produkt- und Eigenschaftstests auf der eigenen Simulationsebene durchführen. Ziel des Whitepapers ist es, Fahrzeug- und Produktentwicklern aufzuzeigen, wie durch virtuelles Benchmarking aufwändige

Änderungen in der späteren Konstruktion frühzeitig verhindert werden können. Das Whitepaper kann nach Anmeldung unter www.tecosim.com/de/produkte/virtuellesbenchmarking/whitepaper.html heruntergeladen werden.

www.tecosim.de

TRANSVALOR

CADdoctor Transvalor Edition veröffentlicht

Elysium gab das Release der ersten „CADdoctor Transvalor Edition“ bekannt, einer maßgeschneiderten Version von Elysium CADdoctor, einer in der Branche bewährten Anwendung zur 3D-Datenkonvertierung und -optimierung. Nach dem Abschluss des Partnerschaftsabkommens zwischen Transvalor und Elysium wird im Sommer 2017 die CADdoctor Transvalor Edition erhältlich sein. Diese Version wurde speziell auf den Bedarf von Transvalor-Anwendern zugeschnitten. Dazu verfügt sie neben den folgenden Schlüsselmerkmalen über eine Funktion zum Datenexport in Transvalor-Lösungen, um sicherzustellen, dass 1.) das Lesen optimierter 3D-Modelle in Softwareprogramme wie Forge, Coldform, Thercast und Rem3d auf Anhieb erfolgreich ist und 2.) präzise Ergebnisse bei der Simulation von Schmiede-, Umform-, Guss- und Spritzgussprozessen mit den oben erwähnten Softwareprogrammen erzielt werden können.

www.transvalor.com

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

RoundTable Simulating Manufacturing

30.05.-01.06. Marburg, D www.simufact.de Simufact

Weimarer Optimierungs- und Stochastiktage

01.-02.06 Weimar, D www.dynardo.de Dynardo

NAFEMS World Congress & Int. SPDM Conference 2017

11.-14.06. Stockholm, S www.nafems.org/congress



Permas Anwendertreffen

20.06. Stuttgart, D www.intes.de Intes

International Heeds Conference

20.06. München, D www.redcedartech.com Siemens PLM

Symposium für Smarte Strukturen und Systeme – 4Smarts

21.-22.06. Braunschweig, D <http://4smarts2017.inventum.de/home/> DLR u.a.

Rapid.Tech

20.-22.06. Erfurt, D www.rapidtech.de Messe Erfurt

VPE Swiss Workshop: Mehrkörpersimulation für effiziente Dynamikanalysen

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

Europäische Altair Technology Conference

26.-28.06. Frankenthal, D www.altairatc.com/europe Altair

GSVF - Graz Symposium Virtual Vehicle

27.-28.06. Graz, A www.gsvf.at VIF

Int. Conference on Low Cycle Fatigue (LCF8)

27.-29.06. Dresden, D www.lcf8.de DVM

Praxiskonferenz Fußgängerschutz

28.-29.06. Bergisch Gladbach, D www.carhs.de Carhs

VPE Swiss Workshop: Strömungssimulation für KMUs

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

Bayreuther 3D-Konstrukteurstag

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

Virtual Innovation Forum 2017

21.-22.09. Ingolstadt, D www.vi-forum.de VI-Forum

GeoDict User Meeting

26.-27.09. Kaiserslautern, D www.math2market.de Math2Market

Digmat User Meeting

04.-06.10. Berlin, D www.e-xstream.com E-Xstream

Additive Composite Structures – Anwendungen generativer Fertigungsverfahren im Faserverbundleichtbau

19.10. Braunschweig, D <http://event.dlr.de> / www.dlr.de/fa DLR

MSC Software Conference

24.-26.10. Berlin, D www.mscsoftware.com MSC Software

ESI Forum

7.-9.11. Weimar, D www.esigmbh.de/EDF2017 ESI Group

Cadferm Ansys Simulation Conference

15.-17.11. Koblenz, D www.simulation-conference.com Cadferm/Ansys

NAFEMS Seminar: Simulation Driven Engineering

20.-21.11. Neuendettelsau, D www.nafems.org/sde17 NAFEMS

NAFEMS Seminar: CFD-Methoden zur Simulation des Wärmeübertragungsverhaltens

22.-23.11. Neuendettelsau, D www.nafems.org/cfd17 NAFEMS

Weitere Veranstaltungen: www.nafems.org/events

Ein Ansatz zur simulationsbasierten Auslegung endlosfaserverstärkter Composite-Strukturen

Daniel Klein, Harald Vökl, Sandro Wartzack

Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk), FAU Erlangen-Nürnberg

Die stark anisotropen Materialeigenschaften sowie die Vielzahl unterschiedlichster Parameter machen die Auslegung endlosfaserverstärkter Composite-Strukturen zu einer großen Herausforderung für den Produktentwickler. Es ist deshalb essentiell, ihm neue Methoden und Hilfsmittel zur Seite zu stellen, die dabei helfen, die einzigartigen Materialeigenschaften weitgehend ausnutzen zu können. Ein neuer, simulationsbasierter Auslegungsansatz soll dabei helfen, den Anwender in einer strukturierten und reproduzierbaren Vorgehensweise durch diesen Prozess der Auslegung zu führen. Im Rahmen der Auslegung einer Frontflügelanbindung für einen Rennwagen werden im folgenden Beitrag die Schritte und Teilergebnisse gezeigt und das Vorgehen erläutert.

1 Composite-Strukturen – Fluch und Segen zugleich

Sich verknappende Ressourcen, die zunehmende Nachfrage nach energieeffizienten Produkten, strengere Gesetze – die Gründe, die den Leichtbau zu einem „Mega-Trend“ des 21. Jahrhunderts [1] machen, sind vielschichtig. In diesem Zusammenhang haben Faserverbundkunststoffe das Interesse von Produktentwicklern in den unterschiedlichsten Industriezweigen geweckt, da diese Werkstoffklasse im Vergleich zu anderen Werkstoffen ein außerordentliches Leichtbaupotential verspricht. Allerdings stellt die Auslegung von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen Produktentwickler vor besondere Herausforderungen, denn es müssen zahlreiche zusätzliche Parameter wie etwa die Faserorientierung, die Lagendicke oder auch die Lagenreihenfolge definiert werden. Zwar stellen diese sogenannten „inneren Werkstoffparameter“ (siehe Abb. 1) einen enormen Vorteil gegenüber konventionellen metallischen Leichtbauwerkstoffen dar, da sie es erlauben, das Bauteil lokal an die vorherrschenden Belastungen anzupassen.

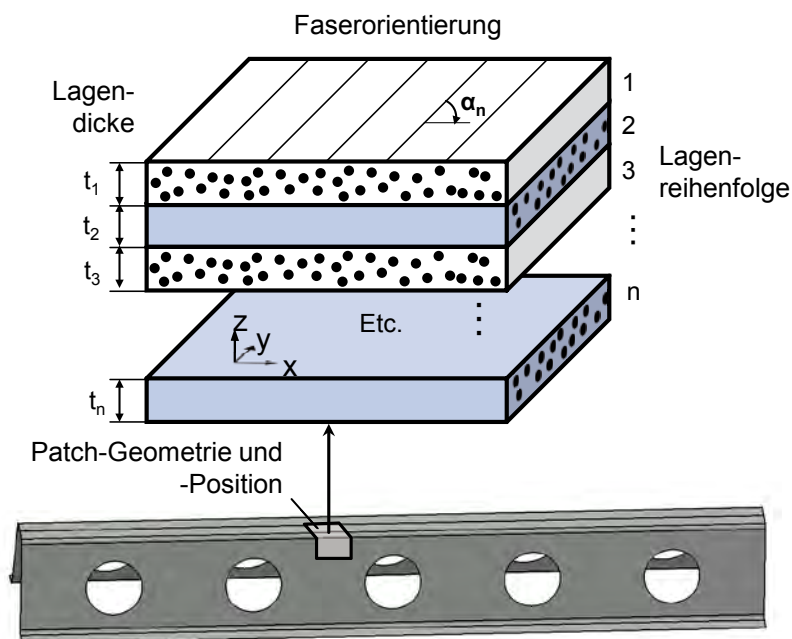


Abb. 1: Die „inneren Werkstoffparameter“ bei Composite-Strukturen

Doch gelingt es dem Produktentwickler nicht, geeignete Parameter festzulegen, so ergibt sich häufig nur ein geringer Vorteil gegenüber konventionellen Werkstoffen. Die zum Teil deutlich höheren Werkstoff- und Fertigungskosten lassen sich in diesem Fall nur noch schwer rechtfertigen. Für den erfolgreichen Einsatz von Composites in der industriellen Anwendung ist es daher von großer Bedeutung, dass diese „inneren Werkstoffparameter“ während der Auslegung geeignet festgelegt werden.

2 Die Notwendigkeit neuer Auslegungsansätze

Seit der erstmaligen Verwendung von Faserverbundstrukturen, wie beispielsweise bei der GORDON AEROLIT SPITFIRE in den 1940ern [2], sind unterschiedlichste Auslegungsmethoden und –hilfen entwickelt worden, die sich grob in klassische Auslegungshilfen und rechnerunterstützte Methoden untergliedern lassen. Zu den wichtigsten Vertretern klassischer Auslegungshilfen zählt dabei neben der Netztheorie oder Laminatfestigkeitsdiagrammen vor allem die klassische Laminattheorie [3]. All diesen Hilfen gemein ist die Tatsache, dass sie schnell zu ersten Ergebnissen führen und erste Aussagen über den gewählten Laminataufbau zulassen. Allerdings beschränken sich diese Hilfsmittel auf recht einfache Geometrien und Lastfälle, oder können bei komplexeren Bauteilen nur lokal angewendet werden, indem beispielsweise nach einer ersten FE-Simulation einfache repräsentative Scheibenelemente im kritischen Bauteilbereich betrachtet werden. Mit steigenden Rechenkapazitäten wurden auch rechnerunterstützte Auslegungsmethoden entwickelt, die zum Großteil auf Optimierungsalgorithmen in Kombination mit FE-Modellen basieren. Diese erlauben eine Anwendbarkeit auf beliebige Geometrie und Lastfälle und prinzipiell auch eine sehr detaillierte Modellierung der gegebenen Aufgabenstellung. Allerdings gehen diese Vorteile auch einher mit deutlich höheren Modellierungs- sowie Rechenzeiten. Für die Optimierungsalgorithmen ergibt sich zudem bei Composite-Strukturen aufgrund der „inneren Werkstoffparameter“ ein so großer Parameterraum, dass der Anwender meist nicht umher kommt, diesen vorher manuell einzuschränken [4]. Gerade in der Phase der Auslegung möchte der Entwickler jedoch auf Auslegungshilfen und –methoden zurückgreifen, die es ihm erlauben, auch bei komplexen Geometrien und Lastfällen schnell Aussagen über das gewählte Design zu treffen und gegebenenfalls unterschiedliche Konzepte gegeneinander abzuwägen. Auch ist es prinzipiell als kritisch anzusehen, wenn vorab der Parameterraum bei der Optimierung manuell eingeschränkt wird, indem beispielsweise die zu betrachtenden Faserorientierungen vorab ohne besonderes Wissen über das Bauteil definiert werden.

Aus diesem Grund wurde ein neuer Auslegungsansatz unter Berücksichtigung der folgenden Anforderungen entwickelt: Es muss eine Anwendbarkeit auf beliebige Lastfälle und Geometrien möglich sein (I), der Modellierungs- und Rechenaufwand muss gering sein (II), der Parameterraum darf nicht vorab ohne entsprechende Berechnung eingeschränkt werden (III), der Ansatz sollte mit möglichst geringer Auslegungserfahrung anwendbar sein (IV) und es muss eine strukturierte und reproduzierbare Vorgehensweise gewährleistet werden (V).

Dabei sei darauf hingewiesen, dass bei der Entwicklung auf dünnwandige Composite-Strukturen mit Endlosfaserverstärkung fokussiert wurde.

3 Die vier Teilschritte des simulationsbasierten Auslegungsansatzes

Der grundlegende Aufbau des Auslegungsansatzes kann in vier unterschiedliche Teilschritte untergliedert werden (siehe Abb. 2).

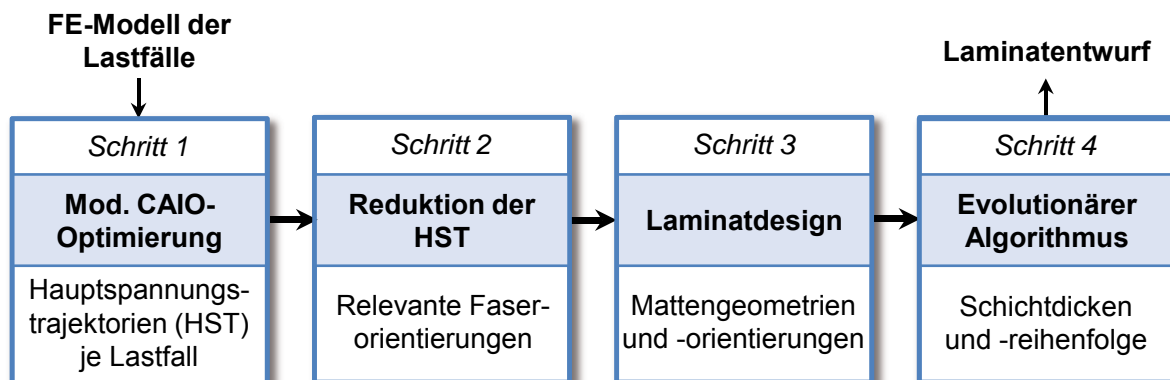


Abb. 2: Die vier Teilschritte des Auslegungsansatzes

Ausgangspunkt des Auslegungsansatzes ist ein FE-Modell für jeden einzelnen Lastfall, wobei es ausreichend ist, eine einfache Schalenvernetzung zu wählen. Als Materialmodell kann zu Beginn sowohl ein einfaches isotropes Materialmodell (z. B. Baustahl oder Aluminium) oder – sofern bereits bekannt – das Materialmodell für den anvisierten Faserverbundwerkstoff mit noch beliebiger Faserorientierung ausgewählt werden. Auf Basis dieses FE-Modells wird es über die Modifizierte CAIO-Optimierung möglich, den Kraftfluss je Lastfall im Bauteil zu berechnen, der über die Hauptspannungstrajektorien (HST) repräsentiert wird (Schritt 1). Am Ende des ersten Schritts werden diese Kraftflüsse bzw. HST je Lastfall gesammelt und so weit wie möglich auf die relevanten Kraftflüsse reduziert, sodass bekannt ist, an welcher Stelle welche Faserorientierung berücksichtigt werden muss (Schritt 2). Damit wird es möglich, ein Laminat zu entwickeln, das auf der einen Seite den Faserorientierungen aus Schritt 2 ähnlich ist, welches auf der anderen Seite aber auch über das beabsichtigte Fertigungsverfahren hergestellt werden kann (Schritt 3). Hierbei kommt vor allem ein Clusteralgorithmus zum Einsatz, der mithilfe der berechneten Faserorientierungen Bereiche ermittelt, in denen Mattenzuschnitte idealerweise platziert werden. Nach Abschluss dieses Schrittes ist bereits bekannt, welche Mattengeometrien und Faserorientierungen an welcher Stelle im Bauteil verwendet werden müssen. Erst im allerletzten Schritt kommt ein Evolutionärer Algorithmus zum Einsatz, mit dem abschließend die idealen Schichtdicken und –reihenfolgen für das Bauteil festgelegt werden. Das genaue Vorgehen wird im Folgenden anhand der Frontflügelanbindung eines Rennwagens gezeigt.

4 Schritt 1 - Berechnung des Kraftflusses in der Struktur mit einer modifizierten CAIO-Optimierung

In den 1990ern wurde von REUSCHEL [5] und MATTHECK [6] der sogenannte CAIO-Algorithmus mit dem Ziel entwickelt, die innere Faseroptimierung von Holzstrukturen auf Faserverbundstrukturen zu übertragen. Dabei werden, wie beim Holzwachstum, in einem FE-Modell die Faserrichtungen in den einzelnen Elementen iterativ nach den HST ausgerichtet, bis ein Stop-Kriterium den Algorithmus abbricht. Dies ist meist der Fall, wenn sich die faserbezogenen Schubspannungen im Bauteil kaum noch ändern.

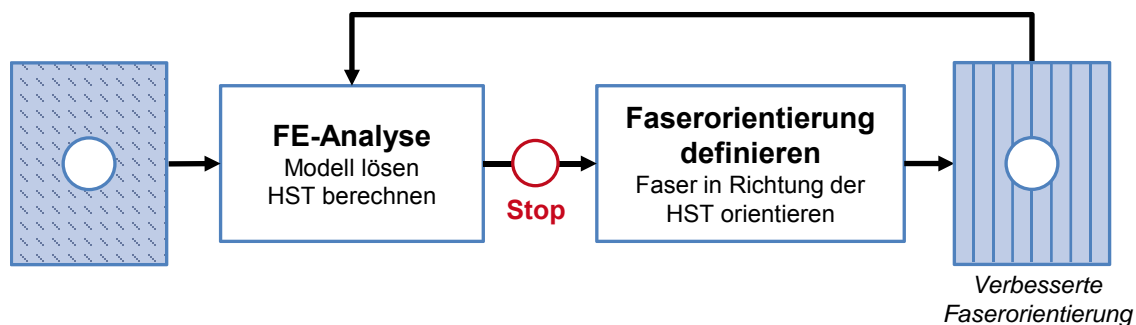


Abb. 3: Ablauf des CAIO-Algorithmus (in Anlehnung an [5] [6])

In zahlreichen simulationsbasierten, aber auch experimentellen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass das hauptspannungsbasierte Faser-Layout, welches aus dem CAIO-Algorithmus resultiert, zu sehr guten mechanischen Eigenschaften führt [7] [8]. Bei weitergehender Betrachtung des grundlegenden CAIO-Algorithmus im Rahmen der praktischen Produktentwicklung zeigen sich allerdings einige grundlegende Probleme, die eine Anwendung zumindest deutlich erschweren. Als Hauptproblem stellt sich vor allem die Erzeugung sogenannter „Einzweckstrukturen“ heraus, denn das erzeugte Faserlayout ist natürlich nur für den berücksichtigten Lastfall einsetzbar. Die Berücksichtigung eines weiteren Lastfalls, was für die praktische Anwendung essentiell ist, ist ohne weiteres aber nicht möglich. Auch die einfache Überlagerung zweier Lastfälle in einem FE-Modell führt nicht zu einem günstigen Faserlayout für die betrachteten Lastfälle [9]. Um die mechanisch günstigen Faserlayouts am Ende der CAIO-Methode dennoch in der praktischen Produktentwicklung nutzen zu können, wird der CAIO-Algorithmus in den Prozess einer CAIO-Optimierung integriert. Dabei wird für alle betrachteten Lastfälle zunächst separat ein Modifizierter CAIO-Algorithmus durchgeführt und lastfallindividuell das geeignete Faserlayout berechnet (siehe Abb. 4).

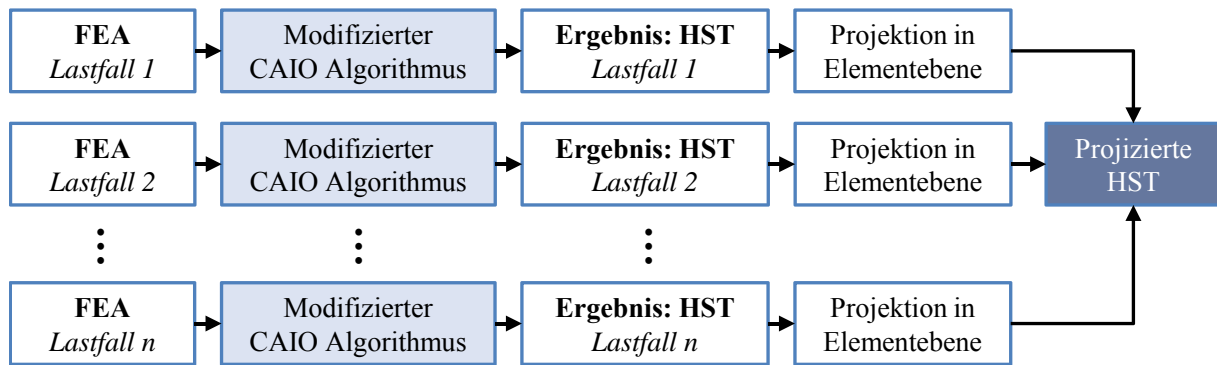


Abb. 4: Ablauf der Modifizierten CAIO-Optimierung

Der Modifizierte CAIO-Algorithmus unterscheidet sich dabei vom herkömmlichen Algorithmus, wie er von REUSCHEL und MATTHECK publiziert wurde, vor allem in der Behandlung isotroper sowie dickenvariabler Spannungszustände, auf die im Folgenden nicht näher eingegangen werden soll. Am Ende des Modifizierten CAIO-Algorithmus liegt das Faserlayout für jeden einzelnen Lastfall vor. Da es jedoch zwingend erforderlich ist, nicht nur die finale Faserorientierung, sondern auch eventuell vorliegende Querbeanspruchungen zu berücksichtigen, werden im Anschluss zunächst alle HST nach der letzten Iteration des Modifizierten CAIO-Algorithmus weiterverwendet. Diese werden – sofern erforderlich – in die Schalenebene projiziert und in einem einzigen Modell gesammelt, das die Datenbasis für den folgenden Schritt 2 darstellt. Zur Verdeutlichung der einzelnen Schritte wird eine Frontflügelanbindung in CFK-Sandwich-Bauweise betrachtet, die drei unterschiedlichen Lastfällen unterliegt (siehe Abb. 5).

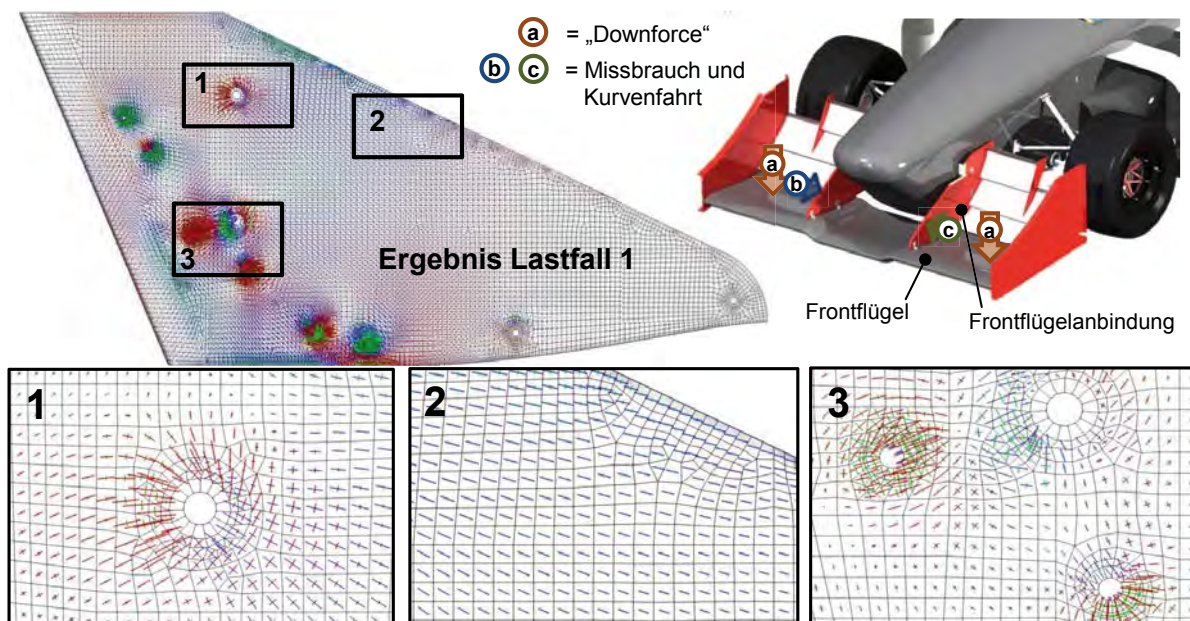


Abb. 5: Das Ergebnis des Modifizierten CAIO-Algorithmus am Beispiel einer Frontflügelanbindung

Neben der sogenannten „Downforce“, die die aerodynamische Kraft bei hohen Geschwindigkeiten berücksichtigt, gilt es seitliche Kräfte in Form von Missbrauch z.B. durch leichte Stöße oder bei der Kurvenfahrt zu berücksichtigen. Dargestellt ist das Ergebnis nach der Projektion der HST in die Schalenebenen für den Lastfall a (Downforce). Wie zu erwarten, zeigt sich, dass die Lasten in die Anbindungsstellen eingeleitet werden, wobei es sich zumeist um betragsmäßig hohe und mehrachsige Verläufe der HST handelt. In weiten Teilen der Bauteilbereiche ergibt sich hingegen ein recht homogener Verlauf für die HST, wie beispielsweise Detailansicht 2 in Abb. 5 erkennen lässt.

5 Schritt 2 – Berechnung der erforderlichen Faserorientierungen auf Basis der Hauptspannungstrajektorien

Nach der Sammlung aller projizierten HST in einem Datensatz mit der Information, welche Kräfte in der Struktur bei idealer Faserausrichtung auftreten, besteht der nächste Schritt darin, den Datensatz auf die relevanten HST zu reduzieren. Dabei gibt es zwei unterschiedliche Möglichkeiten der Reduktion. Zum einen finden sich in geringer belasteten Bereichen HST mit sehr niedrigen Absolutbeträgen, die bei den weiteren Berechnungen nicht berücksichtigt werden müssen. Zum anderen ergeben sich trotz unterschiedlicher Lastfälle in vielen Bereichen häufig HST mit einer sehr ähnlichen Ausrichtung, die über eine einzige Faserorientierung abgedeckt werden können. Über einen Algorithmus werden daher HST mit kleinen Absolutbeträgen aus dem Datensatz gelöscht und HST zusammengefasst, die eine ähnliche Faserorientierung aufweisen. Dies führt in der Regel zu einer deutlichen Reduktion des Datensatzes und erleichtert somit die weiteren Schritte der Auslegung, da nur noch die wirklich strukturelevanten Faserorientierungen im Datensatz verbleiben, die bei der Auslegung auch unbedingt berücksichtigt werden müssen. Für das Beispiel der Frontflügelanbindung verbleiben nach der Reduktion der HST im Großteil des Bauteils nur eine oder zwei Faserorientierungen. Lediglich im Bereich der Anbindungsstellen, deren Aufgabe es ist, die Lasten vom Frontflügel in das Monocoque einzuleiten, verbleiben erwartungsgemäß zunächst mehrere unterschiedliche Faserorientierungen. Dabei kann bisher noch jedes einzelne Element eine eigene Faserorientierung aufweisen und auch die Anzahl verschiedener Faserorientierungen kann von Element zu Element unterschiedlich sein. Deshalb besteht der nächste Schritt darin, auf Basis der berechneten Faserorientierungen einen Laminataufbau zu definieren, der diese nicht nur möglichst gut abdeckt, sondern auch fertigungsgerecht ist.

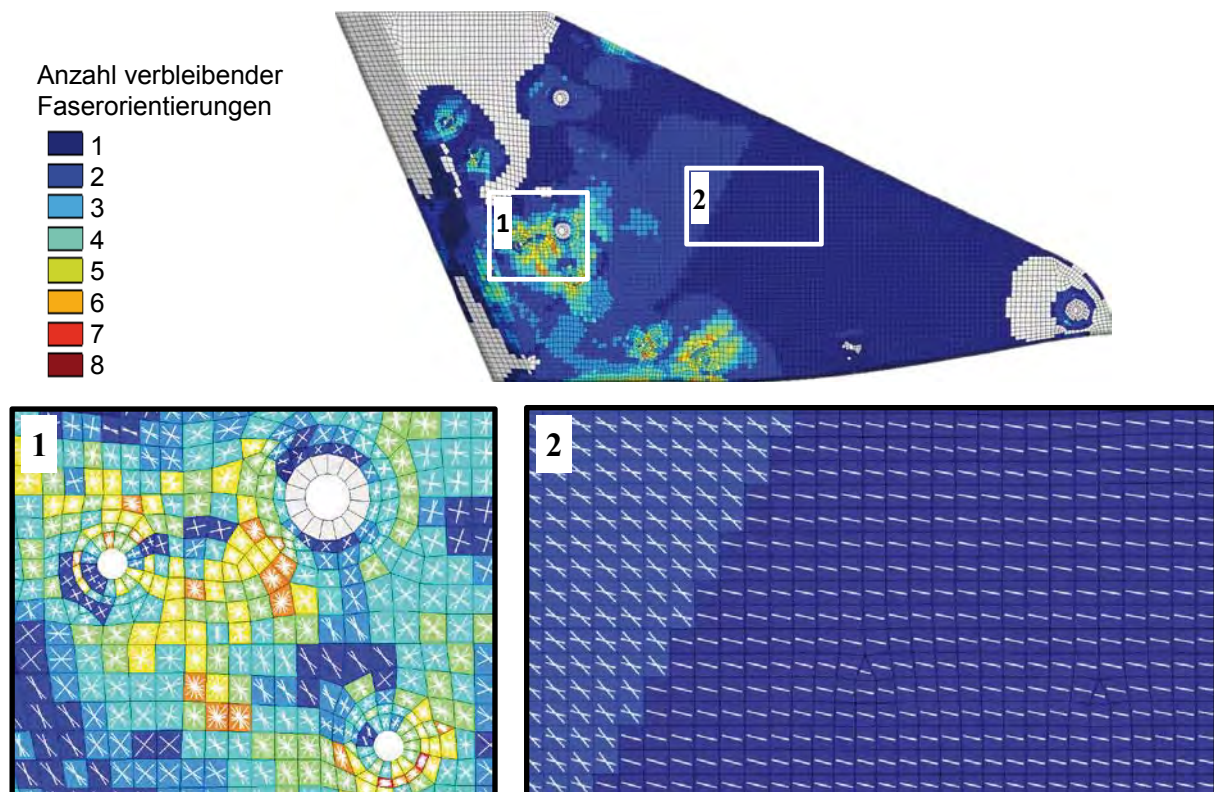


Abb. 6: Das Ergebnis nach der Reduktion der HST

6 Schritt 3 – Laminat-Design

Wie auch bei dem hier gezeigten Beispiel in Abb. 6, ist es in der Regel nicht sofort ersichtlich, wie ein geeigneter Laminataufbau aussehen muss, da die berechneten Faserorientierungen über die meisten in der industriellen Anwendung gängigen Fertigungsverfahren so nicht hergestellt werden können. Viele Verfahren basieren auf Faserhalbzeugen wie Matten, Geweben oder Gelegen, die zumindest in größeren Bereichen eine konstante Faserorientierungen erfordern. Die Konsequenz besteht daher darin, auf Basis der verbleibenden Faserorientierungen solche Bereiche konstanter Orientierung zu identifizieren und letztendlich in einen fertigungsgerechten Laminataufbau zu überführen.

Ein manuelles Vorgehen ist für diese Aufgabe zwar möglich, führt aber bereits bei einfachen Bauteilen zu einem hohen Zeitaufwand und ein hinsichtlich der Überdeckung (Winkelabweichung) zufriedenstellendes Ergebnis ist nur schwer zu erreichen. Deshalb wurde ein Clusteralgorithmus entwickelt, der solche Bereiche unter Vorgabe einer Winkeltoleranz, d.h. unter welchen Bedingungen zwei Faserorientierungen als ähnlich angesehen werden, die entsprechenden Bereiche in Form von einzelnen Clustern automatisch ermittelt. Die Komplexität der Aufgabe, einen fertigungsgerechten Laminataufbau für gegebene Faserorientierung zu finden, wird damit stark reduziert und es wird vergleichsweise einfach möglich, einen fertigungsgerechten Laminataufbau zu finden, wie am Beispiel der Frontflügelanbindung gezeigt werden kann (siehe Abb. 7).

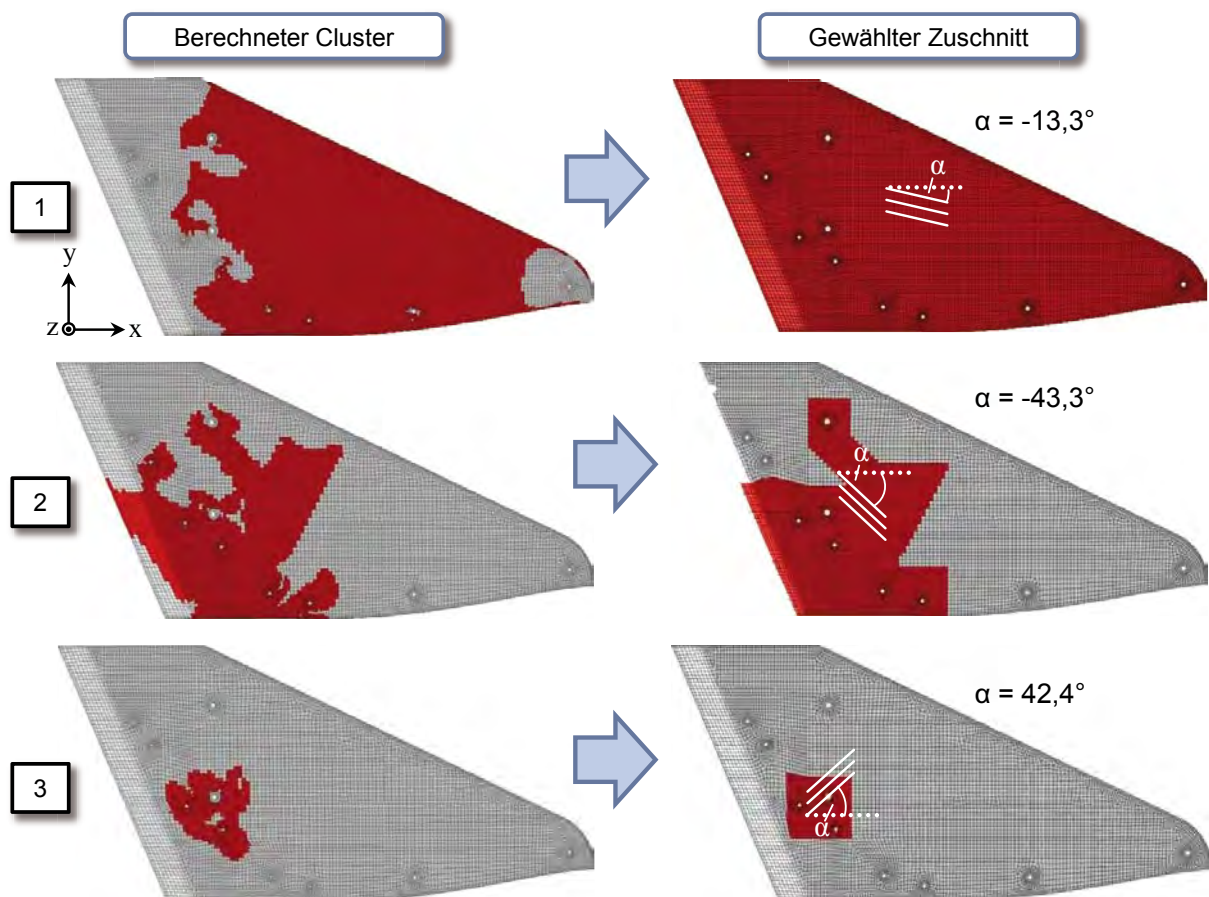


Abb. 7: Die resultierenden Cluster und die entsprechend gewählten Mattenzuschnitte

Nach Anwendung des Cluster-Algorithmus ergibt sich zunächst ein sehr großes Cluster (1), das einen Großteil der Frontflügelanbindung abdeckt. Da für die Frontflügelanbindung ein Handlaminierverfahren auf Basis von Prepregs anvisiert wurde und ein Grundlaminat, das sich über das gesamte Bauteil erstreckt, einige Vorteile mit sich bringt, wurde entschieden, dass dieses Cluster Bestandteil eines orthotropen Grundlaminats sein soll. Um jedoch die berechnete Faserorientierung zu berücksichtigen, wurde das orthotrope Grundlaminat um 13° gedreht. Wie jedoch die verbleibenden Faserorientierungen bereits vermuten lassen, ist dieses Grundlaminat nicht ausreichend, um alle Beanspruchungen sicher aufzunehmen. Im Bereich der Anbindungsstellen ergeben

sich daher noch zwei weitere große Cluster, die das Grundlaminat verstärken. Es ist dabei aufgrund der Form nicht möglich, die berechneten Cluster direkt als Matten zu verwenden. Daher müssen die einzelnen Geometrien über einen manuellen Prozess angepasst werden, wobei weitere Kennwerte, wie beispielsweise ein eigens entwickelter Faserüberdeckungswert, unterstützen können. Der Faserüberdeckungswert zeigt an, an welchen Stellen ein bestehendes Cluster gekürzt oder auch erweitert werden kann. Nachdem alle Cluster angepasst wurden, sind die Geometrie, Position und Faserorientierung der Mattenzuschnitte bekannt, die für das Bauteil verwendet werden können.

7 Schritt 4 – Bestimmung der Lagendicke und –reihenfolge durch die Anwendung eines evolutionären Algorithmus

Im letzten Schritt des Auslegungsansatzes wird ein Evolutionärer Algorithmus angewendet, über den die Lagenreihenfolgen sowie –dicken ermittelt werden. Der große Vorteil ist hierbei, dass bereits zahlreiche Konstruktionsparameter, wie Faserorientierungen, Lagengeometrie oder auch Position von Verstärkungsstrukturen definiert oder, abhängig vom Bauteil, zumindest stark eingeschränkt wurden. Im Vergleich zu Optimierungen, bei denen beispielsweise auch die Faserorientierungen noch bestimmt werden müssen, handelt es sich deshalb um ein deutlich weniger kompliziertes Optimierungsproblem. In bestehenden Auslegungsansätzen wird eine solche Reduktion des Parameterraums häufig manuell vorgenommen, mit den Nachteilen, dass hierfür nicht nur sehr viel Erfahrung notwendig ist, sondern dass der Prozess häufig nicht strukturiert und reproduzierbar abläuft und bei komplexen Bauteilen die Fehlerwahrscheinlichkeit sehr hoch ist.

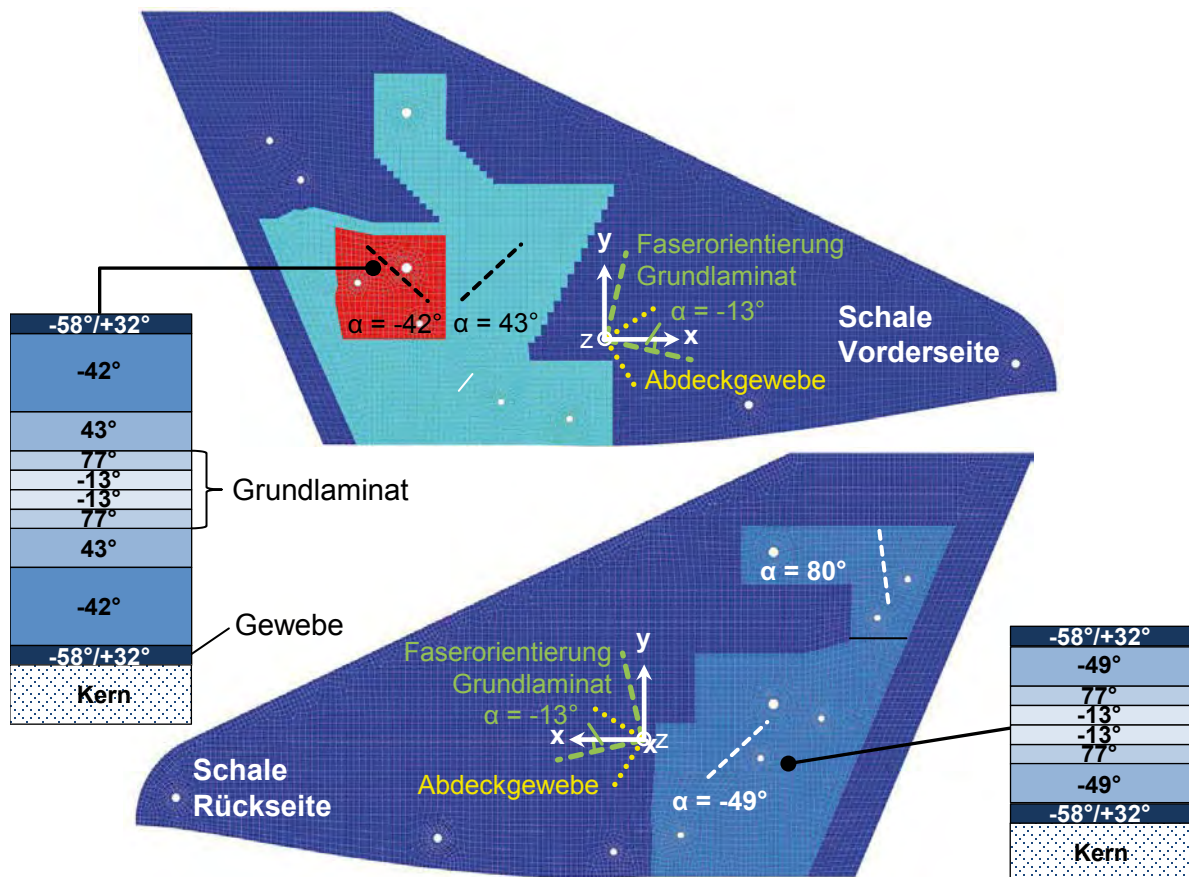


Abb. 8: Der finale Laminataufbau

Bei der Frontflügelanbindung sollte der Kern aus Polyurethan bestehen, auf den jeweils auf der Front- und Rückseite eine CFK-Schale aufgeklebt wird. Da jede Schale separat gefertigt wurde, ist das Optimierungsmodell so restringiert, dass es sich bei beiden Schalen jeweils um einen symmetrischen Laminataufbau handelt. Darüber hinaus durfte die Dicke der einzelnen Lagen nur in diskreten Schritten erhöht werden, da auch Prepregs nur in diskreten Dicken in die Form eingebracht werden können. Nach Konvergenz

des Optimierungsalgorithmus, dessen Ziel maximale Steifigkeit bei möglichst geringem Gewicht ist, ohne dabei die Festigkeitsgrenzen zu überschreiten, ergibt sich der in Abb. 8 dargestellte Laminataufbau. Hierbei ist deutlich zu erkennen, dass das Grundlaminat bei der Optimierung eine vergleichsweise geringe Dicke im Vergleich zu den Verstärkungspatches aufweist, was für deren strukturelle Bedeutung spricht. Neben dem Grundlaminat und den Verstärkungspatches wurde zudem ein Abdeckgewebe an der Außenseite vorgesehen, das zur Aufnahme von Schubspannungen sowie als Schlagschutz dient, aber lediglich aus einer Schicht besteht.

8 Ergebnis der Auslegung

Durch die Anwendung des vorgestellten Auslegungsansatzes konnte am Ende ein Laminataufbau erzeugt werden, dessen mechanische Eigenschaften den zuvor verfolgten Aufbauten überlegen ist, wie Abb. 9 zeigt.

Parameter	Grenze	[0/90/45/-45] _s -Laminat	[0,90] _s -Laminat (lokal verstärkt)	mfkCODE
Maximale Durchbiegung (Lastfall a)	≤ 6 mm	5,55 mm	5,49 mm	5,97 mm
Maximale Durchbiegung (Lastfall b und c)	≤ 15 mm	11,20 mm	12,38 mm	12,50 mm
Gewicht	minimal	807 g	500 g	408 g
Gewicht (ohne Kern und Inserts)		703,5 g	396,5 g	304,5 g

Abb. 9: Das Ergebnis der Auslegung

Zu Beginn wurde ein Konzept verfolgt, bei dem ein Flugzeugbaulaminat parametrisiert und die Lagendicke und -reihenfolge entsprechend dem vorhergehenden Kapitel optimiert wurde. Unter Einhaltung aller Festigkeits- und Steifigkeitsrandbedingungen konnte so ein Bauteil mit 807 g bzw. 703,5 g ohne Kern und Inserts entwickelt werden. Hierbei ergeben sich jedoch insbesondere im Bereich der Anbindungsstellen betragsmäßig sehr hohe und mehrachsige Spannungszustände. Deshalb wurde bei einem weiteren Konzept im Bereich der Anbindungsstellen ein Gewebezuschnitt auf einem rein orthotropen Grundlaminat vorgesehen. Damit kann das Gewicht bereits um 43 % auf nur mehr 396,5 g reduziert werden, da es durch den Gewebezuschnitt möglich wird, lokal aufzudicken und so den Laminataufbau an die gegebenen Beanspruchungen besser anzupassen. Erst nach diesen ersten beiden Konzepten wurde der hier vorgestellte Ansatz mfkCODE angewendet. Mit dessen Hilfe konnte ein noch wesentlich besserer Laminataufbau berechnet werden, der bei vergleichbaren mechanischen Eigenschaften ein um weitere 23 % geringeres Gewicht aufweist. Zurückzuführen ist dies vor allem auf die noch bessere Anpassung an die lokalen Beanspruchungen durch die Verstärkungslagen sowie das um 13° gedrehte, orthotrope Grundlaminat, das den globalen Kraftfluss besser wiedergibt, als dies bei einer Orientierung der Orthotropieachsen entlang der Koordinatenachsen der Fall ist.

9 Literatur

- [1] Bartsch, K.: Megatrend Leichtbau – Unternehmen der Massivumformung sind Partner mit notwendigem Know-How. SchmiedeJOURNAL März 2014, S. 22 – 25.
- [2] Voigt, P.: Die Pionierphase des Bauens mit glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) 1942 bis 1980. Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar, 2007.
- [3] Schürmann, H.: Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden. 2. Auflage. Berlin: Springer, 2007.
- [4] Venkataraman, S.; Haftka, R.: Optimization of Composite Panels – A Review. In: Proceedings of the 14th Annual Technical Conference of the American Society of Composites. 27. – 29. September, Dayton, Ohio, 1999.
- [5] Reuschel, J. D.: Untersuchung der Faseranordnung natürlicher Faserverbunde und Übertragung der Ergebnisse auf technische Bauteile mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode. Dissertation, Universität Karlsruhe, 1999.
- [6] Mattheck, C.: Design in der Natur. Der Baum als Lehrmeister. 2. Auflage. Freiburg: Rombach, 1993.
- [7] Klein, D.; Caballero, S.; Wartzack, S.: Evaluierung unterschiedlicher Theorien zur Berechnung beanspruchungsgerechter Faserorientierungen in CFK-Strukturen. In: Krause, D.; Paetzold, K.; Wartzack,

- S. (Hrsg.): Design for X-Beiträge zum 24. DfX-Symposium, September, 2013, S. 231– 242.
- [8] Tosh, M. W.; Kelly, D. W.: On the Design, Manufacture and Testing of Trajectory Fibre Steering for Carbon Fibre Composite Laminates. Composites: Part A 31 (2000), S. 1047 – 1060.
- [9] Temmen, H.; Degenhardt, R.; Raible, T.: Tailored Fibre Placement Optimization Tool. 25th International Congress of the Aeronautical Sciences. 3. – 8. September, Hamburg, Deutschland, 2006.
- [10] Spickenheuer, A.: Zur fertigungsgerechten Auslegung von Faser-Kunststoff-Verbundbauteilen für den extremen Leichtbau auf Basis des variabelaxialen Fadenablegeverfahrens Tailored Fiber Placement. Dissertation, Technische Universität Dresden, 2013.
- [11] Klein, D.; Kieser, C.; Wartzack, S.: Auslegung von CFK-Strukturen – ein neuer Ansatz. Lightweight Design (5/2016), S. 46-51. Die Originalpublikation ist erhältlich auf springerprofessional.de

10 Kontakt

Sollten Sie Fragen haben oder detailliertere Informationen wünschen, können Sie sich jederzeit an die folgende Adresse wenden:

Dipl.-Ing. Daniel Klein

Lehrstuhl Konstruktionstechnik
FAU Erlangen-Nürnberg
Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack
Martensstraße 9, D-91058 Erlangen
Tel: +49 (0)9131/85-23216
Fax: +49 (0)9131/85-23223
E-Mail: klein@mfk.uni-erlangen.de
Web: www.mfk.uni-erlangen.de

Prozesssimulation von Sheet Molding Compound (SMC) als Schlüssel zur integrierten Simulationskette

Hohberg, Martin¹; Kärger, Luise¹; Hrymak, Andrew²; Henning, Frank^{1,3}

¹ Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), Institut für Fahrzeugsystemtechnik, Karlsruhe

² Western University – Chemical and Biochemical Engineering, London, Kanada

³ Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (ICT), Pfinztal

Die Kombination von Sheet Molding Compound (SMC) mit endlosfaserverstärkten Patches ermöglicht es, Bauteile mit einem hohen Designfreiheitsgrad zu realisieren, die gleichzeitig sehr gute mechanische Eigenschaften entlang der Lastpfade aufweisen. Um diese hybriden Bauteile ganzheitlich auslegen zu können, wird eine durchgängige Simulationskette benötigt, die am KIT mit den Schritten Topologie- und Patchoptimierung, Prozesssimulation, Mapping und Struktursimulation entwickelt und angewendet wird.

Ein Schlüsselschritt in dieser Simulationskette stellt die Prozesssimulation des Fließpressvorgangs dar. Die hieraus gewonnenen Informationen über die Faserorientierungen im SMC-Bauteil sind entscheidend für die mechanischen Eigenschaften und für das Entstehen von Eigenspannungen und Verzug. Zudem ist die Fließpresssimulation ein wichtiges Werkzeug für die Prozessoptimierung.

Zurzeit kann kein verfügbares Simulationstool den SMC-typischen Plug-flow mit starker Dehnratenabhängigkeit abbilden, wodurch keine präzise Vorhersage der Faserorientierungen möglich ist. Aus diesem Grund wurde am KIT-FAST ein temperatur-, scherraten- und dehnratenabhängiges Materialmodell in Abaqus implementiert, mit dem eine realitätsnähere Beschreibung des Fließpressvorgangs möglich ist. Durch die Verwendung des Folger-Tucker-Ansatzes mit der ARD-RSC-Erweiterung für Langfasern können darüber hinaus die Faserorientierungen modelliert werden. Die Validität der entwickelten Material- und Faserorientierungsmodelle wird anhand eines generischen SMC-Bauteils präsentiert. In einem zukünftigen Schritt soll basierend auf diesen Modellen auch die Interaktion des hochviskosen SMC mit den Tapes abgebildet werden.

1 Einleitung

Eine der Herausforderungen in der Automobilindustrie ist es komplexe Bauteile herzustellen die sowohl eine hohe Steifigkeit aufweisen, als auch leicht sind. Ein Ansatz dies zu erreichen ist es die Funktionen aufzuteilen. Typischerweise werden hierbei unterschiedliche Materialien verwendet, um beispielhaft mechanische Lasten zu tragen oder um komplexe Geometrien abzubilden, die die Integrationen von Inserts oder Sensoren erlauben.

Am Institut für Fahrzeugsystemtechnik (KIT-FAST) ist die Kombinationen von endlosfaserverstärkten und langfaserverstärkten Duromeren (discontinuous – DiCoFRTS, continuous - CoFRTS) im Fokus der Forschung (vgl. Abb. 1). Der Hauptvorteil des Langfasermaterials ist dessen Fähigkeit im Fließpressvorgang komplexe Formen auszufüllen, was die hohe Designfreiheit von Bauteilen ermöglicht. Darüber hinaus können weitere Funktionselemente im Fließpressvorgang integriert werden. Die Endlosfasern in einem solchen hybriden Bauteil ermöglichen es entlang der Lastpfade hohe spezifische Festigkeiten und Steifigkeiten zu realisieren.

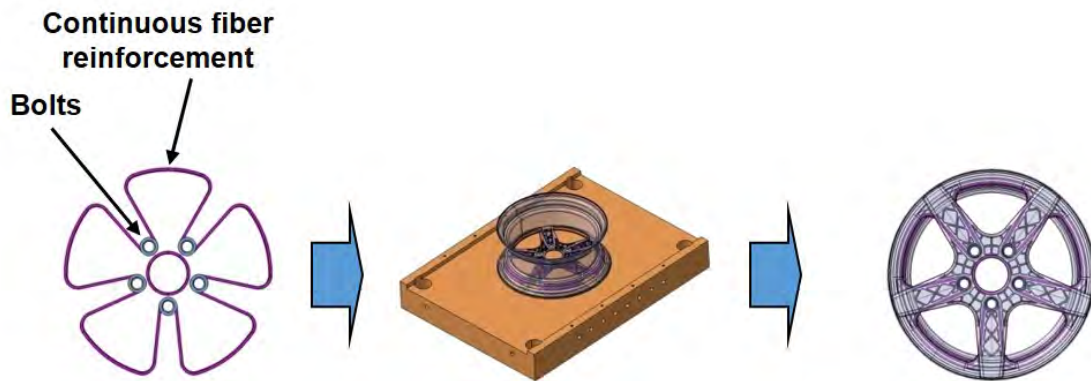


Abb. 1: Kombination von endlos- und langfaserverstärkte Duromer (SMC) bei der Herstellung einer Felge [1]

Die Auslegung und Simulation solcher kombinierter Bauteile stellt dabei besondere Herausforderungen an die einzelnen Entwicklungsschritte, welche sich wie folgt aufgliedern:

- Design und Optimierung:
 - Optimierung der Gestalt der Geometrie (Reduzierung von nichtlasttragenden Bereichen und Platzierung von Rippen und Sicken)
 - Optimierung der Position der lokalen unidirektionalen Fasern (Roving oder Patch)
- Prozesssimulation:
 - Vorhersage des Fließpressvorgangs und der daraus resultierenden Faserorientierungsverteilungen
 - Vorhersage der Druckverteilungen im Werkzeug, sowie der daraus resultierenden Verschiebung der lokalen Faserverstärkungen
- Mapping:
 - Übertragung der Ergebnisse aus der Prozesssimulation in die Struktursimulation (auf Grund unterschiedlicher Rechengitter in beiden Schritten nötig)
- Struktursimulation:
 - Homogenisierung der Eingangsgrößen aus der Fließpresssimulation (z.B. Faserorientierungsverteilungen)
 - Sicherstellung der mechanischen bzw. thermo-mechanischen Leistungsfähigkeit

Um diese Anforderungen zu erfüllen kommen typischerweise unterschiedliche FE-Simulationstools zum Einsatz. Am KIT-FAST werden hierfür sowohl kommerzielle Simulationstools, als auch selbstgeschriebene Lösungen, bzw. Erweiterungen zu kommerziellen Lösungen verwendet. Durch die Zusammenführung dieser Einzelschritte in einer ganzheitlichen CAE-Kette können optimierte Strukturen mit hoher spezifischer (thermo-) mechanischer Performance designt, vorhergesagt und hergestellt werden.

Eine besonders bedeutende Rolle in einer solchen CAE-Kette kommt hierbei der Prozesssimulation zu, da alle anderen Schritte zumindest die prozessbedingte Faserorientierungsverteilung in den Langfaserstrukturen aus dieser verwenden. Hierfür ist es wichtig ein strömungsmechanisches Modell zu haben, welches die SMC-typische Blockströmung und die hieraus resultierenden Faserorientierungsverteilungen bestmöglich abbildet. Kommerzielle Simulationsprogramme verwenden dabei heutzutage nur scherratenabhängige Scherviskositätsmodelle für reaktive Materialien. Hierdurch ist es nicht möglich die Blockströmung mit den niedrigviskosen Randschichten abzubilden (vgl. Abb. 7). Der Unterschied zwischen der Simulation mit diesen Modellen und dem Experiment kann unter Verwendung von Drucksensoren im Fließpresswerkzeug aufgezeigt werden. Die unterschiedlichen Druckverteilungen für beide Varianten sind in Abb. 2 zu sehen [2]. Hier ist zu erkennen, dass die Drücke in der Kompressionsphase (squish phase [3]) zu Beginn des Fließprozesses (hohe relative Spalthöhe) nicht korrekt vorhergesagt werden, da die Kompressibilität zu Beginn des Prozesses nicht simulativ berücksichtigt wird. Darüber hinaus können die Maximaldrücke zum Zeitpunkt des umschalten der Presse vom weggesteuerten hin zum kraftgesteuerten Schließprofil nur für einen Sensor über die Viskositätsparameter gefittet werden. Dies resultiert aus der unzureichenden simulativen Modellierung des Materials. Da jedoch die Interaktion zwischen den Lang- und Endlosfasermaterial maßgeblich vom Strömungsfeld und den Druckverteilungen im Material abhängt, ist ein solches Modell nicht ausreichend um die Genauigkeitsanforderungen einer solchen hybriden Simulation zu erfüllen. Aus diesen Gründen wurde ein Modellierungsansatz in Abaqus CEL aus der Fließpresssimulation von thermoplastischen Faserverbundmaterialien [4] aufgegriffen, der die eigenständige Implementierung von

Materialmodellen erlaubt. Dieses Materialmodell basiert auf den Arbeiten von Dumont et al [5,6] und entkoppelt die Scher- von der Dehnaviskosität, welche jeweils Temperatur und Deformationsraten abhängig sind.

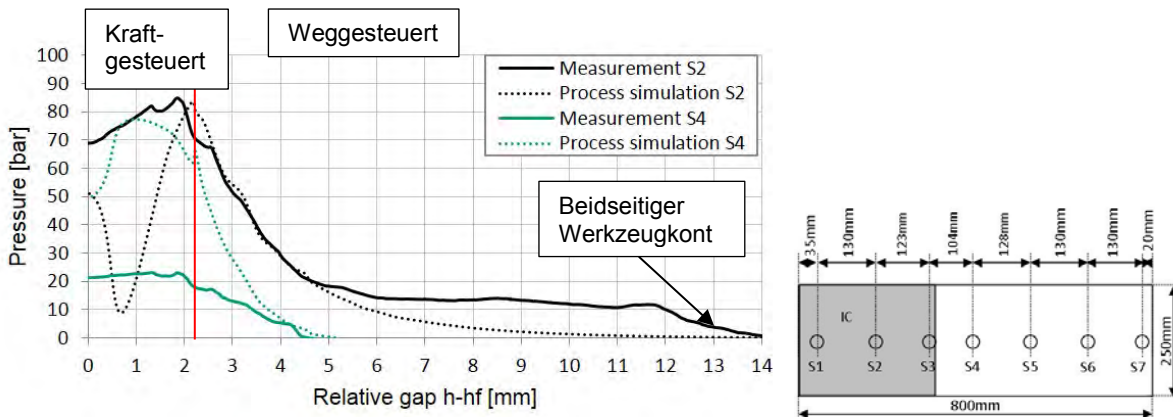


Abb. 2: Vergleich der Druckverteilung zwischen dem Experiment und einer Moldflow Simulation für ein Class-A SMC [2]

2 Sheet Molding Compound (SMC)

Sheet Molding Compound (SMC) ist ein auf Duromerharz basierender langfaserverstärkter Verbundwerkstoff, der meist mit Füllstoffen versetzt wird und somit eine große Anwendungsbreite aufweist. Auf der einen Seite findet es durch gezielte Zugabe von Additiven Anwendung als Class-A Bauteil in der Außenhaut von PKWs und LKWs. Auf der anderen Seite zeigen neue Entwicklungen, dass durch die Erhöhung des Faservolumengehaltes bei gleichzeitigen entfallen der Füllstoffe, sowie teilweise durch die Verwendung von Kohlenstofffasern, das SMC auch als semistrukturelles Material verwendet werden kann. Alle diese SMC Typen haben dabei eine typische Faserlänge zwischen 1/2 und 2 Inch (~10 bis 50mm).

Die Herstellung von SMC Material erfolgt als Halbzeug (Pre-Preg), sodass die Produktion des Materials und die Produktion der Bauteile an unterschiedlichen Orten, bzw. bei unterschiedlichen Unternehmen erfolgen können. Somit benötigt ein SMC-Bauteilhersteller keine Expertise im Bereich der Herstellung des Harz-Füllstoff-Gemisches oder der Pre-Preg Produktionslinie (vergleiche Abb. 3).

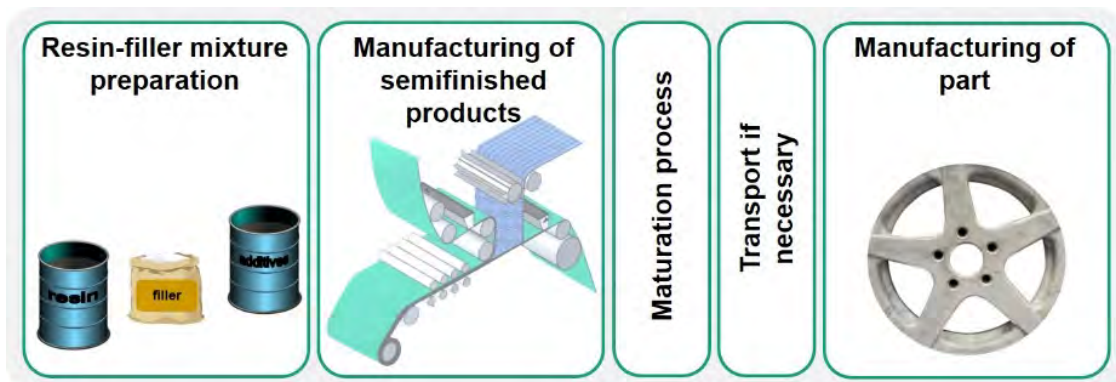


Abb. 3: SMC Halbzeug und Bauteil Produktion [2]

Um ein SMC-Bauteil mit lokalen unidirektionalen Verstärkungsfasern herzustellen sind neben den klassischen Prozessschritten zusätzliche nötig (vergleiche Abb. 4). Zunächst müssen die Verstärkungsfasern (Roving oder Patch) zugeschnitten und vorgeformt werden. Dies wird zum Teil über die B-Stage eines zweistufigen Harzsystems unterstützt. Anschließend werden diese Fasern vorgespannt und fixiert oder direkt zusammen mit dem SMC-Halbzeug ins Werkzeug gelegt. Weiterhin können hierbei auch Inserts oder Funktionselemente ins Werkzeug eingebracht werden. Anschließend wird der Pressvorgang gestartet, welcher nach ca. 2 Minuten abgeschlossen ist, wenn das Harz weitestgehend ausgehärtet ist.



Abb. 4: Produktion einer hybriden SMC-Felge; Wickeln der Rovings, Platzierung im Werkzeug zusammen mit Inserts, einbringen des SMC Halbzeugs, gepresste Felge [7]

3 Schritte der FAST-CAE-Kette

Um die einzelnen FE Simulationsprogramme während der Schritte Design, Optimierung, Prozesssimulation, Mapping und Struktursimulation zu verwenden, wurde die durchgängige FAST-CAE-Kette entwickelt, welche in Abb. 5 schematisch abgebildet ist. Innerhalb dieser CAE-Kette hat jeder Simulationsschritt eigene Kriterien, welche erfüllt werden müssen, bevor die gesammelten Informationen an den nächsten Schritt übergeben werden. Für den Fall, dass die Kriterien nicht erfüllt werden findet eine interne Optimierung entlang der freien Parameter statt. Für den Fall das dies nicht zu den geforderten Ergebnissgüten führt, wird der vorherige Schritt mit neuen Parametern erneut durchgeführt und dessen Ergebnisse wieder in den aktuellen Schritt integriert.

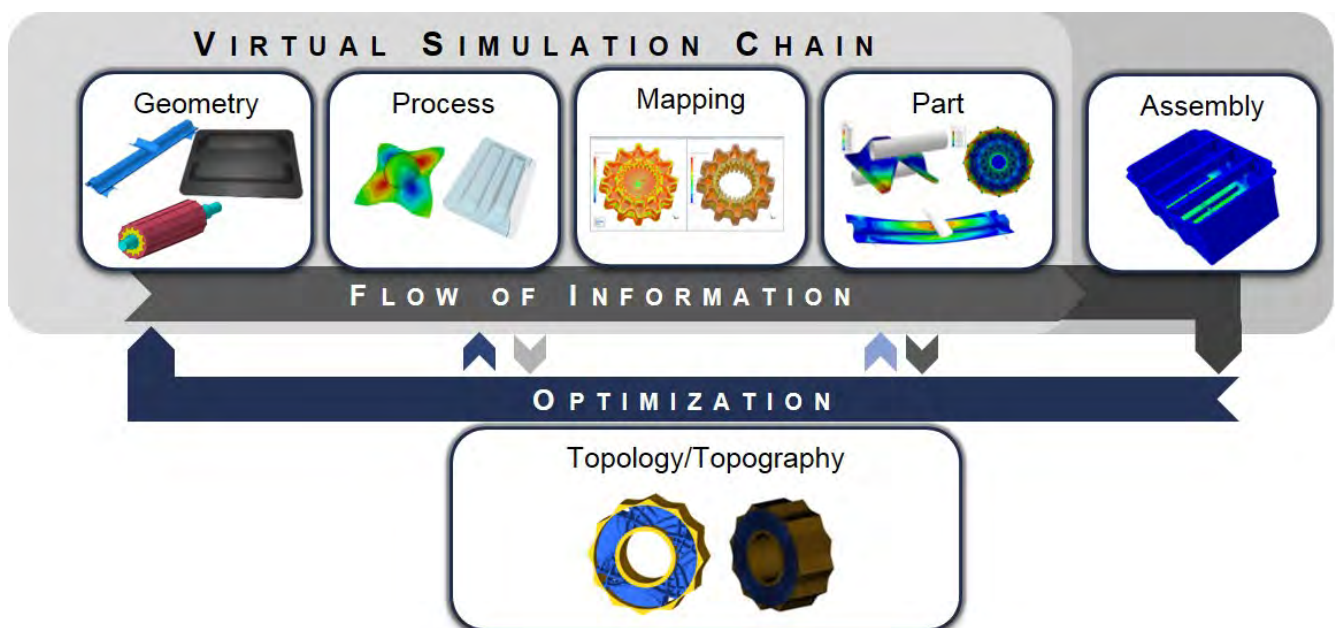


Abb. 5: Schritte und Informationsflüsse in der KIT-FAST CAE-Kette

Die FAST-CAE-Kette für langfaserverstärkte Kunststoffe beginnt mit einer Topologie und Form-Optimierung auf Basis des maximal verfügbaren Bauraums. Nach der Ableitung eines CAD-Modelles aus den Optimierungsergebnissen erfolgt eine zweite Optimierung um die beste Position für die lokalen Verstärkungen zu identifizieren. Hierfür wurde ein evolutionärer Algorithmus für die Mehrzieloptimierung hinsichtlich minimalen Gewicht und minimaler Durchbiegung entwickelt. Neben den Optimierungszielen werden in diesem Algorithmus sowohl Fertigungsrandbedingungen als auch minimale und maximale Abmessungen der Verstärkungen berücksichtigt. Durch Gewichtung der Zielwerte wird abschließend ein Ergebnis aus der Pareto-Front (Summe der Ergebnisse, bei denen es unmöglich ist, ein Zielwert besser zu machen, ohne ein anderes zu verschlechtern) ausgewählt. Dieses Ergebnis wird dann in das CAD-Model übersetzt.

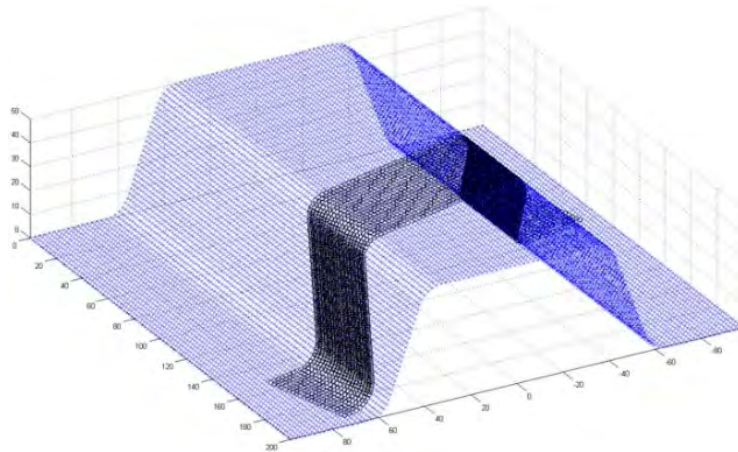


Abb. 6: Evolutionärer Algorithmus basierte Optimierung mit kinematischen Umformansatz [8]

Im Anschluss findet die Formfüllsimulation auf Basis des CAD-Modelles statt. Hierfür wird eine DoE-Studie zur Identifizierung der besten Positionierung des SMC-Halbzeugs, sowie der freien Prozessparameter durchgeführt. Neben dem Hauptkriterium der vollständigen Füllung werden hierbei Kriterien wie maximale Presskraft und Vermeidung von Bindenähte berücksichtigt. In einer geplanten Erweiterung sollen zukünftig auch die maximale Verschiebung und Rotation der Verstärkungen mit einfließen.

Um die in diesem oder anderen Simulationsschritten gewonnenen Informationen an andere Schritte zu übergeben wird das neutrale vtk-Format [9] in der ganzen CAE-Kette verwendet. Diese vtk-Datei beinhaltet dabei sowohl die geometrischen Informationen des Netzes, als auch die simulativen Ergebnisse, welche auf die Elemente referenziert sind. Da die Prozesssimulation in der Regel ein anderes Rechengitter als die Struktursimulation aufweist, ist ein Mapping-Schritt nötig. Dies erfolgt am FAST über die Mapping-Bibliothek MpCCI MapLib [10] des Fraunhofer SCAI, welches in eine geskriptete Umgebung in Abaqus eingebunden ist. Weiterhin ermöglichen es diese Skripte die Ergebnisse in Abaqus zu importieren, wobei ähnliche Faserorientierungsverteilungen zu Gruppen zusammengefasst werden um die Anzahl an homogenisierten Materialmodellen zu reduzieren und somit die Rechenzeit zu reduzieren. Aktuell kommen hier rein elastische Homogenisierungsansätze zum Einsatz, jedoch sind aktuell Entwicklungen hinsichtlich Viskoelastizität und Schädigung [11] in der Entwicklung, um das Materialverhalten besser abbilden zu können.

Die Struktursimulation verfolgt in der CAE-Kette primär zwei Ziele, zum einen soll der prozessinduzierte thermische Verzug während des Abkühlvorgangs, als auch die Leistungsfähigkeit des Bauteils unter thermo-mechanischen Lasten vorhergesagt werden. Liegen beide Simulationen innerhalb der Toleranzen gilt das Bauteildesign als valide.

Auch nach der simulativen Auslegung kann die hier vorgestellte CAE-Kette weiter die Bauteilfertigung unterstützen. Durch die Verwendung der optimierten Prozessparameter aus der Fließpresssimulation kann der Anfahrprozess der Bauteilproduktion deutlich beschleunigt werden. Durch die Verwendung dieser Werte kann dabei die Anzahl der Iterationen der Prozessoptimierungen am Bauteil reduziert werden, bis die gewünschte Bauteilqualität stabil erreicht wird. Hierbei ist es jedoch wichtig, dass die optimierten Positionen des SMC-Halbzeuges nur geringfügig geändert werden, da eine größere Änderung zu anderen Strömungszuständen und somit zu anderen Faserorientierungsverteilungen führt. Im Rahmen des Industrie 4.0 Ansatzes sind solche

Schwankungen automatisiert und genau zu erfassen, um die Leistungsfähigkeit der optimierten Bauteile sicherzustellen und gegebenen Falls durch Variation der Prozessparameter Schwankungen zu kompensieren. Um solche Regelungen zukünftig leistungsfähiger zu gestalten kann eine solche CAE-Kette mit dem Fokus auf der Prozesssimulation genutzt werden, um bauteilspezifische Meta-Modelle zu entwickeln. Diese können durch die Prozesskontrolle Schwankungen im Material oder in der Positionierung effizienter erfassen und in Echtzeit entsprechende Maßnahmen ableiten.

4 Prozesssimulation

Der Materialfluss des SMCs kann in zwei Bereiche mit ihren eigenen spezifischen Materialverhalten unterteilt werden: dem hochviskosen Kernbereich und der niedrigviskosen Grenzschicht am Werkzeug (vgl. Abb. 7). Der Kernbereich bleibt während des Fließens relativ kalt und weist eine Dehnströmung auf. Die wenige Mikrometer Dicke Grenzschicht hingegen erwärmt sich sehr schnell auf Werkzeugtemperatur und besteht aus reinem Harz, welches auf Grund der relativen Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Werkzeugwand und Kernbereich durch eine Scherströmung dominiert wird. Da diese dünne Grenzschicht für die Druckgradienten über den Fließweg verantwortlich ist, müssen in einer realitätsnahen Prozesssimulationen unterschiedliche Modelle für die entsprechenden Bereiche verwendet werden.

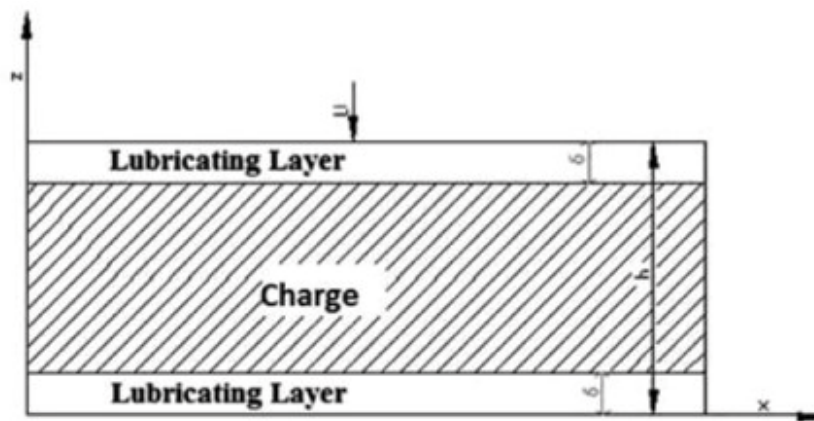


Abb. 7: Schematischer Querschnitt durch das SMC während des Fließpressvorgangs [12]

Um dieses SMC-spezifische Materialverhalten zu beschreiben, wurde für die Kernschicht ein temperatur- und deformationsratenabhängiges Materialmodell in Abaqus CEL (Coupled Eulerian Lagrangian) implementiert. Auf Grund der geringen Höhe der niedrigviskosen Grenzschicht im Verhältnis zur Elementhöhe, ist diese aktuell über einen Reibansatz an der Werkzeugsatz modelliert. Unterschiedliche Modellierungsansätze werden hierzu aktuell untersucht. Mit diesem generellen Ansatz kann das typische Fließverhalten von SMC in den zwei relevanten Phasen (Kompression und Fließen) abgebildet werden (vgl. Abb. 8)

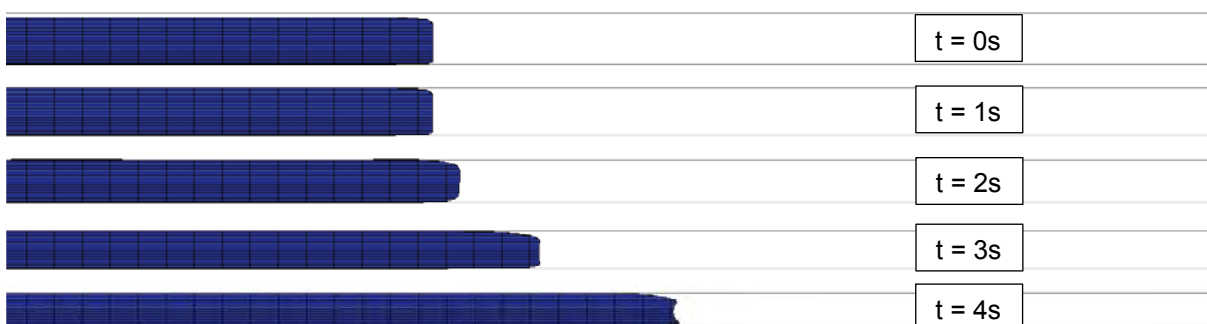


Abb. 8: Querschnitt durchs SMC: Entwicklung der Plug-Flow Fließfront

Um das Simulationsmodell für die Prozesssimulation aufzubauen werden die CAD-Daten der Werkzeugoberflächen, sowie der Kavität und des SMC-Halbzeugs benötigt. Anschließend muss die Kavität mit Hexaeder-Euler-Elementen und das Werkzeug mit Lagrangian-Elementen vernetzt werden. Anschließend können die Prozessparameter wie Werkzeug- und Halbzeugtemperatur oder Schließgeschwindigkeit definiert werden. Um die Faserorientierungen bestmöglich vorherzusagen können an dieser Stelle die Anfangsfaserorientierungen des Halbzeugs global oder elementweise zugeordnet werden (vgl. Abb. 9).

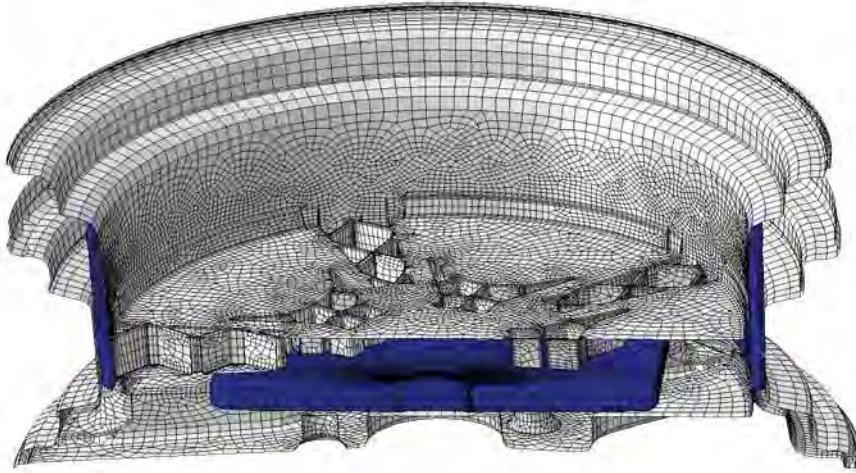


Abb. 9: Globale Zuweisung der Faserorientierungen am Beispiel einer SMC-Felge

Zur Berechnung der Faserorientierungsevolution während des Fließprozesses wurde das Modell von Folger und Tucker mit der ARD-RSC Erweiterung für langfaserverstärkte Kunststoffe implementiert. Zur Schließung des Faserorientierungstensors 4. Stufe wurde der rechenzeitoptimierte IBOF-Ansatz verwendet.

In Abb. 10 ist als Beispiel der simulative Fließprozess um einen Zylinder mit der Faserorientierungsverteilung in x-Richtung abgebildet. Zu Beginn des Prozesses liegt eine quasi-isotrope Faserverteilung in der x-z-Ebene vor. Nach kurzer Fließzeit bilden sich im Randbereich an der Werkzeugwand auf Grund des Geschwindigkeitsgradientens Faserorientierungen quer zur Fließrichtung aus. Im Gegensatz dazu ist in der Mitte des Materials eine Orientierung in Fließrichtung zu erkennen, welche aus der Dehnströmung resultiert. Dies entspricht den beobachteten Verteilungen beim 1D oder 2D SMC-Fließpressen. Die Schwankungen auf der Werkzeugoberfläche sind hierbei numerische Effekte, die durch die Fluid-Struktur-Interaktion an der Werkzeugwand entstehen und keinen Einfluss auf die Simulationsgüte haben.

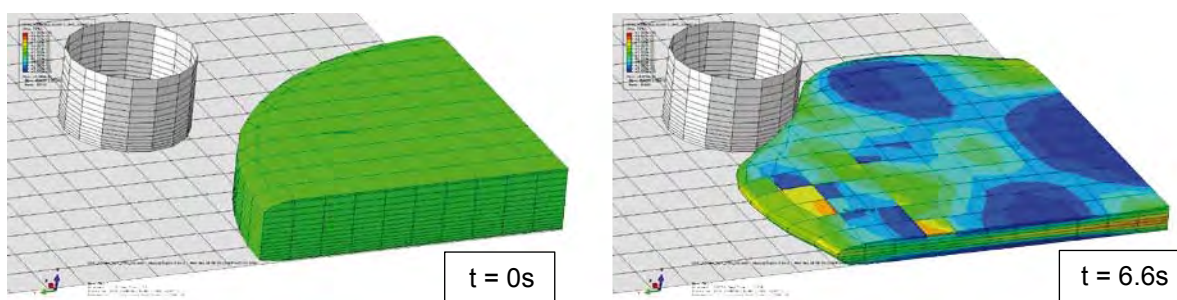


Fig. 10: Faserorientierungsverteilung (A_{xx}) für zwei Zeitschritte eines symmetrischen Fließprozesses um einen Zylinder

Um die Prozesssimulation mit realen Materialdaten durchführen zu können wurde neben den simulativen Arbeiten ein Inline-Rheologie-Werkzeug mit sieben Drucksensoren entwickelt [13]. Durch Pressversuche mit drei unterschiedlichen Schließgeschwindigkeitsprofilen können damit automatisiert die benötigten Materialkennwerte,

wie der hydrodynamische Reibwert zwischen SMC und Werkzeug, sowie die deformationsratenabhängige Dehnviskosität, bestimmt werden.

5 Zusammenfassung

Die präsentierte CAE-Kette für fließgepresste langfaserverstärkte Kunststoffe ermöglicht es die ganzheitliche simulative Betrachtung von Bauteilen, vom Design, über den Herstellungsprozess bis zur strukturellen Betrachtung unter (thermo-)mechanischen Lasten. Durch die Verwendung des neutralen vtk-Formates ist es dabei möglich die generierten Informationen der einzelnen Schritte miteinander zu verknüpfen. Der Transfer dieser Information auf die unterschiedlichen Rechengitter erfolgt dabei durch das MPCCI MapLib. Durch das Gruppieren ähnlicher Materialeigenschaften wird dabei die Rechenzeit reduziert.

Durch das Aufzeigen der starken Interaktion zwischen der Prozesssimulation und den anderen Schritten der CAE-Kette (Design, Optimierung, Verzug, (thermo-)mechanische Simulation) wurde die Relevanz für eine realitätsnahe Prozesssimulation aufgezeigt, welche die SMC-spezifischen physikalischen Effekte berücksichtigt. Deshalb wurde ein neuer Simulationsansatz mit einem temperatur- und deformationsratenabhängigen Materialmodell in Abaqus CEL vorgestellt. Ein solcher Ansatz kann dabei nicht nur die Qualität der CAE-Kette verbessern, sondern auch das Abmattern neuer Bauteile beschleunigen. In einem nächsten Schritt kann eine solche CAE-Kette genutzt werden um ein Meta-Model zu erzeugen, welches im Rahmen der Industrie 4.0 in Echtzeit Schwankungen im Produktionsprozess zu erkennen und Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

6 Danksagung

Diese Untersuchungen wurden im Rahmen der Forschungsaktivitäten innerhalb des Internationalen Graduiertenkollegs "Integrated engineering of continuous-discontinuous long fiber-reinforced polymer structures" (GRK 2078) durchgeführt. Das Internationalen Graduiertenkolleg wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

7 Literatur

- [1] Trauth O. Entwicklung und Konzeptionierung einer Imprägnier- und Wickereinheit für Tailored SMC. Diplomarbeit, Karlsruher Institute of Technology; 2009.
- [2] Hohberg M. Process simulation of hybrid SMC structures with local continuous fiber reinforcements. Frankfurt; 2015.
- [3] Odenberger PT, Andersson HM, Lundström TS. Experimental flow-front visualisation in compression moulding of SMC. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2004;35(10):1125–34.
- [4] Müller T, Henning F. Simulation of combined forming and injection molding processes. Berlin; 2015.
- [5] Dumont P, Orgéas L, Le Corre S, Favier D. Anisotropic viscous behavior of sheet molding compounds (SMC) during compression molding. *International Journal of Plasticity* 2003;19(5):625–46.
- [6] Guiraud O, Dumont PJJ, Orgéas L, Favier D. Rheometry of compression moulded fibre-reinforced polymer composites: Rheology, compressibility, and friction forces with mould surfaces. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2012;43(11):2107–19.
- [7] Höfer B. Experimentelle Untersuchung der Formfüllung und numerische Modellierung einer Felge aus SMC im Fließpressverfahren. Diplomarbeit, Karlsruher Institute of Technology; 2012.
- [8] Fengler B, Kärger L, Hrymak A, Henning F. Application of a Multi Objective Optimization approach for Continuous Fiber Tapes in Hybrid Composite Structures. Detroit, USA; 2016.
- [9] File Formats: for VTK Version 4.2; Available from: <http://www.vtk.org/wp-content/uploads/2015/04/file-formats.pdf>.
- [10] Spiess H, Oeckerath A, Landvogt B. Mapping library manual version 2010.1. Fraunhofer SCAI, Sankt Augustin; 2012.
- [11] Mrkonjić M, Rayling U, Weidenmann K, Kärger L, Henning F. Phenomenological Characterization and Macromechanical Modeling of Anisotropic, Non-linear Behavior of Sheet Molding Compounds (SMC). Karlsruhe; 2015.
- [12] Shokrieh MM, Mosalmani R. Modeling of sheet molding compound compression molding under non-isothermal conditions. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 2014;33(13):1183–98.
- [13] Hohberg M, Kärger L, Henning F, Hrymak A. Rheological Measurements and Rheological Shell Model considering the Compressible Behavior of Long Fiber Reinforced Sheet Molding Compound (SMC). *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2017.

Neue Einblicke durch Strömungsanalyse in der Spanbildungszone

Dr.-Ing. Ekrem Özkaya, Dirk Biermann

Institut für Spanende Fertigung, Dortmund

Bohrer werden insbesondere beim Bearbeiten von schwer zerspanbaren Werkstoffen mit Innenkühlkanälen ausgestattet. Der Kühlschmierstoff (KSS) soll dadurch möglichst nah an die Schneiden herangeführt werden, um den hohen thermischen Belastungen entgegenzuwirken. Wegen der unzugänglichen Stellen und der komplexen Werkzeuggestalt lässt sich die Kühlschmierstoffverteilung experimentell jedoch nicht untersuchen. Da hier die Maßnahmen für Messungen an ihre Grenzen stoßen, stellt die Computational Fluid Dynamics (CFD) eine gute Lösung dar.

In diesem Beitrag wird eine Methodik vorgestellt, die es ermöglicht, das Strömungsverhalten unter Berücksichtigung der Spanbildung zu analysieren, was zu einem tieferen Prozessverständnis führt. Die Spanbildungssimulation mithilfe der Finite Element Methode (FEM) wurde hierzu mit der CFD-Strömungssimulation kombiniert und ermöglichte, einen dreidimensionalen Lösungsansatz zu entwickeln, mit dem ohne relevante Datenverluste die beiden unterschiedlichen Schnittstellen verbunden werden können. Entgegen bisheriger Annahmen zeigen die Ergebnisse, dass im Bereich unterhalb des Spans und im Rücklauf des Innenkühlkanals eine starke turbulente Strömung herrscht und zudem der KSS kaum an die Hauptschneiden herangeführt wird.

1 Einleitung

In der spanenden Fertigung kommen häufig Kühlschmierstoffe zum Einsatz, um die Standzeiten der Werkzeuge und die allgemeine Effizienz von Produktionssystemen zu erhöhen und gleichzeitig die Herstellungskosten zu reduzieren. Neben Hartstoffbeschichtungen werden Präzisionswerkzeuge oft auch mit inneren Kühlkanälen ausgestattet, so dass der Werkzeugverschleiß vermindert und die Standzeit sowie die bearbeitete Oberflächenqualität gesteigert werden kann. Der Kühlschmierstoff soll dadurch möglichst nah an die Schneiden des Werkzeugs herangeführt und die Wärme sowie die heißen Späne abgeführt werden. Bei Analysen der tribologischen Beanspruchungen von Bohrwerkzeugen ist es wichtig, neben dem KSS, den Grundkörper, das Werkzeug und den Span als Gegenkörper, miteinzubeziehen [1]. Kenntnisse über die thermischen und mechanischen Belastungen an der Bohrschneide, die unter dem Einfluss von KSS stehen, sind bis heute kaum vorhanden. Experimentelle Untersuchungen konzentrieren sich überwiegend auf die Interdependenzen zwischen unterschiedlichen Kühlkonzepten, oder auf bestimmte Merkmale und den Verschleiß beim Bohren [2, 3].

Während sich die Anwendung von FEM-Simulationen in der spanenden Fertigung längst etabliert hat, werden CFD-Simulationen nur in einem geringen Umfang eingesetzt. Dennoch kann gerade in den letzten Jahren ein zunehmendes, internationales Interesse bezüglich der CFD-Anwendung beobachtet werden. Chowdhury *et al.* [4] analysierten mithilfe der CFD-Simulation unterschiedliche Kühlmethoden beim Drehen und stellten fest, dass die Kühlung aus kalter Luft, kombiniert mit der Minimalmengen Kühlschmierung eine effektive Alternative zur Überflutungskühlung darstellt. Beim Schleifen wurde die Verteilung des Fluids bei verschiedenen Geschwindigkeits- und Druckprofilen untersucht, worauf die Düsengeometrie optimiert werden konnte [5, 6]. Faltenstein und Aurich [7] führten CFD-basierte Untersuchungen zur Innenkühlung von Hartmetallbohrern durch. Die CFD-Simulationsqualität wurde anhand kinematografischer Aufnahmen realer Strömungsbedingungen ausgewertet. Die Ergebnisse zeigten, dass der Wärmefluss sowohl von der Kühlflüssigkeitsrate als auch von der Position abhängig ist. Beer *et al.* [8] analysierten durch die CFD-Analyse die KSS-Verteilung innengekühlter Hartmetallbohrer. Durch die Modifizierung des Werkzeugs konnte eine effizientere KSS-Verteilung ermöglicht und die Standzeit des Werkzeuges um 50% gesteigert werden. Özkaya *et al.* [9] untersuchten den Einfluss des Kühlmitteldrucks und der Durchmesser der Innenkühlkanäle beim Bohren. Dabei konnte gezeigt werden, dass die CFD-Simulation ein wichtiges Hilfsmittel ist, insbesondere dann wenn messtechnische Methoden an ihre Grenzen stoßen. In diesem Beitrag wird daher eine Methodik zur Kombination der FEM- und CFD-Simulation vorgestellt, die die dreidimensionale Untersuchung zwischen dem Einfluss der KSS-Verteilung unter Berücksichtigung der Spanbildung ermöglicht.

2 Kombination der FEM- und CFD-Simulation

Für die Strömungsanalyse beim Bohren unter Berücksichtigung der Spanbildung, wurde die FEM-Software DEFORM 3D und die CFD-Software ANSYS-CFX kombiniert (Abb. 2-1). Es ist bekannt, dass die Daten simulierter Modelle bei der FEM in einem anderen Format gespeichert werden als bei der CFD. Beide Softwares erlauben einen Datenaustausch mit einer CAD-Software durch das Standard for the Exchange of Product model data (STEP)-Format, bieten jedoch keine Schnittstelle für einen gemeinsamen Datentransfer [10]. Zur Kombination der FEM- und CAD-Software wurde daher eine Methode entwickelt, mit der die numerischen Informationen ohne relevanten Datenverlust transportiert werden kann und somit ein tieferer Einblick in die Spanbildungszone ermöglicht.

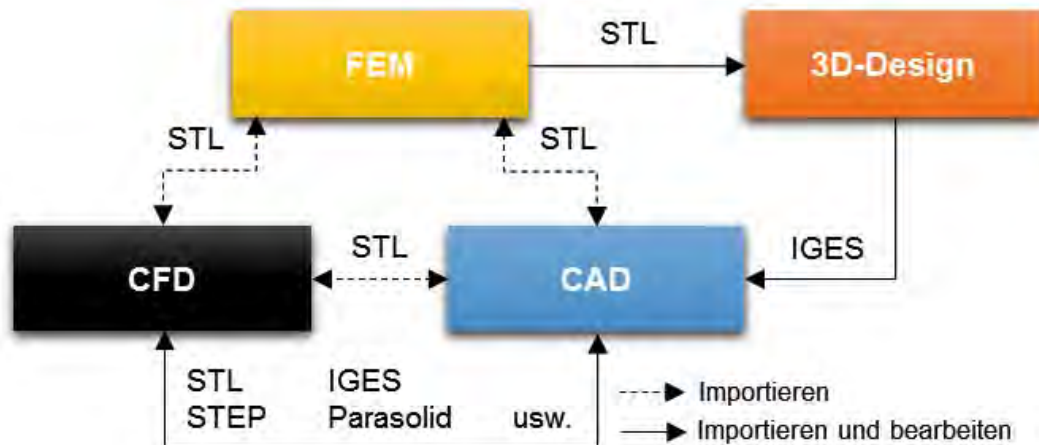


Abb. 2-1: Kombination der FEM- und CFD-Software

Zunächst wurden in der CAD-Software SolidWorks verschiedene Modelle für die FEM-Spanbildungssimulation erstellt und die STL-Daten in die Software DEFORM 3D importiert. Die STL-Daten beschreiben dabei die Modelloberfläche mit Polygonen, die durch die Eckpunkte und die entsprechenden Normalvektoren beschrieben werden. Da eine direkte Rückführung der FEM-Simulationsdatei von DEFORM 3D in die CAD-Simulation SolidWorks nicht möglich ist, wurden die Daten der Spanbildungssimulation in die 3D-Designsoftware Geomagic importiert und dort eine Flächenrückführung durchgeführt. Dabei konnten die erzeugten Polygone über eine Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS)-Fläche generiert, über das Initial Graphics Exchange Specification (IGES)-Format zurück in die CAD-Software SolidWorks und anschließend in die CFD-Software ANSYS-CFX importiert werden.

3 Kinematischer Abdruck

Für das CAD-Modell wurde ein kinematischer Abdruck am Bohrungsgrund konstruiert. Dadurch kann das Werkzeug für die FEM-Simulation direkt in die korrekte Eingriffsposition gebracht und die Deformationen bei der Spanbildung in der Kontaktzone sauber nachgebildet werden. Die Querschneide bildet das Zentrum des Bohrungsgrunds. Hier kommt es zu einer Überlagerung der Schnitt- und Vorschubbewegung, so dass sich genau an dieser Stelle die Schneidkante im Zentrum verändert. Im Bereich der Querschneide findet kein Schnittprozess mehr statt sondern das Material wird gequetscht und verdrängt [1]. Die Geometrie des kinematischen Abdrucks beeinflusst daher stark die axial wirkende Vorschubkraft des Wendelbohrers. Der Bohrungsradius des zweischneidigen Wendelbohrers betrug 3,4 mm und der Spitzwinkel 144°. Die dreidimensionale Fläche wurde mit einer approximierten Punktwolke rekonstruiert. Anschließend wurde dieser Abdruck mit einer Spline-Interpolation approximiert, so dass mit dem kinematischen Abdruck die reale Eingriffsposition nachgebildet und simuliert werden kann (Abb. 3-1).

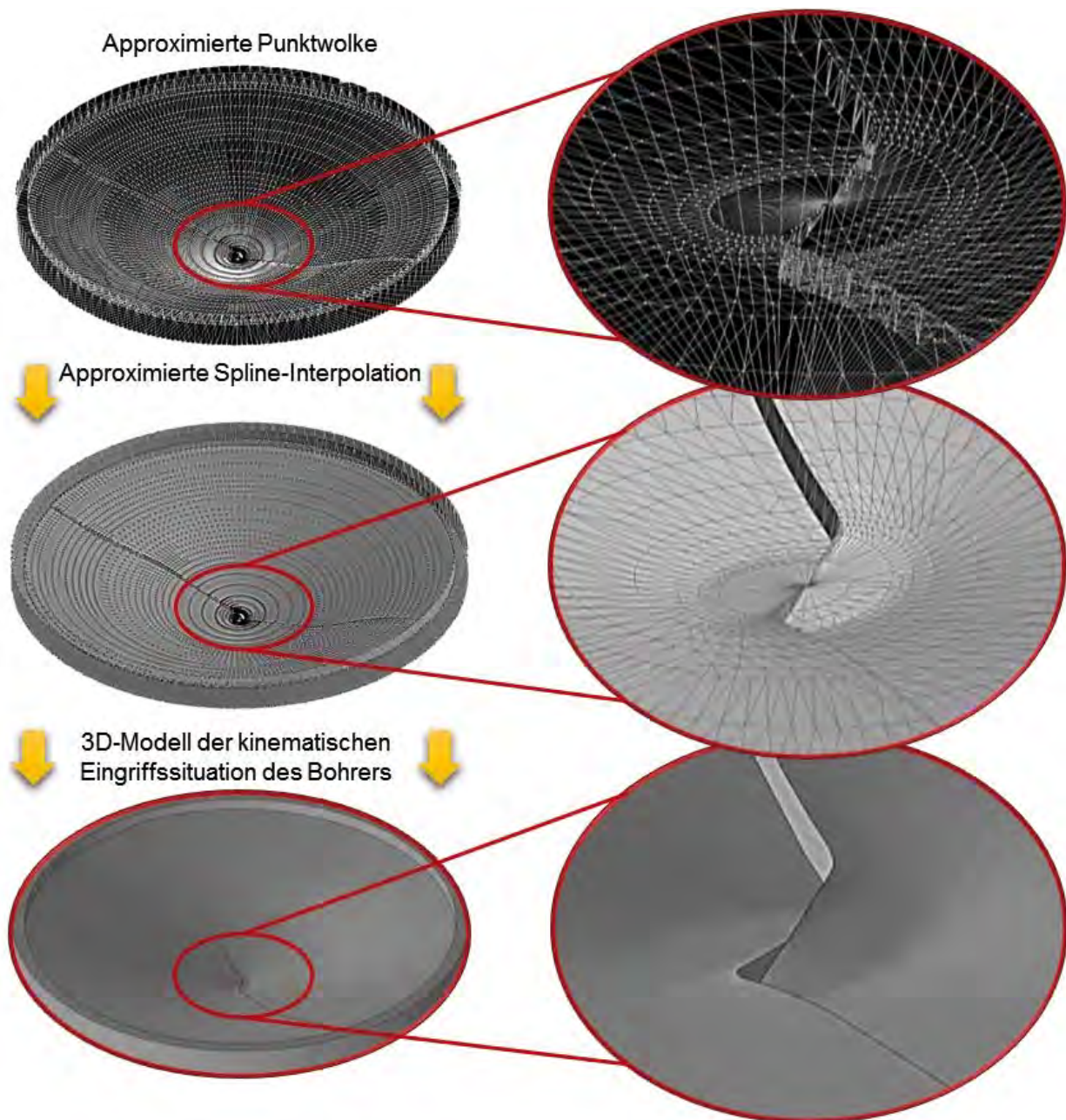


Abb. 3-1: Kinematischer Abdruck des Wendelbohrers am Bohrungsgrund

3.1 CAD-Modelle

Mit SolidWorks wurde zunächst ein Modell, bestehend aus einem Bohrungsgrund, Bohrungswand und Werkzeug erstellt (Abb. 3-2 links). Für das Werkzeugmodell wurde ein Wendelbohrer (Durchmesser 7,5 mm) mit zwei innenliegenden Kühlkanälen (Durchmesser je 1 mm) gewählt. Damit sich die FEM-Simulationszeit bei der Spanbildungssimulation gering hält, wurde das Werkzeug auf eine Länge von 20 mm gekürzt. Als Bohrungsgrund diente ein extrudierter Zylinder (Durchmesser von 7,5 mm) und als Bohrungsgrund der kinematische Abdruck des Wendelbohrers (vgl. Abb. 4-1). Das herausgeschnittene Profil erzeugt an der Oberfläche des Bohrungsgrunds zwei radial verlaufende Kanten der Hauptschneiden. An diesen Hauptschneidenkanten konnte das Werkzeugmodell optimal für die FEM-Spannsimulation angelegt werden. Der untere Teil des Bohrungsgrunds wurde durch einen rotierten Schnitt entfernt, um das Volumen des Modells weitgehend zu verringern. Die Höhe der Hauptschneidenkanten ergab sich aus der Vorschubgeschwindigkeit von $f = 0,1 \text{ mm/U}$ und der Festlegung, dass die Simulation der Spanbildung in einer halben Umdrehung erfolgt. Das überstehende Volumen am äuße-

ren Umfang berechnete sich aus der Höhe der beiden Kanten, multipliziert mit dem inneren Radius und dem halben inneren Umfang der Spanplatte und entspricht dem Volumen einer halben Umdrehung. Das Modell für die Bohrungswand wurde aus einem Kreisring mit einem inneren Durchmesser von 6,8 mm und einem Außendurchmesser von 7 mm auf eine Länge von 6 mm extrudiert. Dieses Modell war erforderlich, um die realen Bedingungen während eines Bohrprozesses abbilden zu können. Das Modell der kompletten Baugruppe, bestehend aus der Spanplatte, der Bohrungswand und dem Werkzeug, wurde anschließend in die FEM-Software DEFORM 3D importiert und die Spanbildung über eine halbe Werkzeugumdrehung simuliert.

3.2 FEM-Materialmodell

Für die FEM-Spanbildungssimulation wurde das viskoplastische Materialmodell von Johnson und Cook mit Parametern für den Werkstoff Inconel 718 gewählt. Insbesondere für Zerspansimulationen hat sich dieses Materialmodell bis heute bewährt, da es die Vergleichsspannung σ , die zusammenhängenden hohen Dehnungen, die Dehnraten und die Temperaturverhältnisse entsprechend den hohen dynamischen Schnittkräften berücksichtigt:

$$\sigma = (A + B \varepsilon^n) \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (1)$$

Mit dem ersten Term der Gleichung 1 wird die Verfestigung des Materials berechnet, wobei A die Streckgrenze, B der Faktor und ε^n die plastische Vergleichsdehnung mit dem Verfestigungsexponenten darstellt. Im zweiten Term wird die dimensionslose Dehnratenrate C des Verfestigungskoeffizienten mit der plastischen Vergleichsdehnratenrate $\dot{\varepsilon}$ in Abhängigkeit der Referenzdehnratenrate $\dot{\varepsilon}_0$ berechnet. Der dritte Term berücksichtigt die Temperatur, wobei T_m die Schmelztemperatur, T_r die Referenztemperatur und m den Exponenten für die Entfestigung darstellt.

3.3 FEM-Simulation der Spanbildung

Das Ergebnis der FEM-Simulation der Spanbildung nach einer halben Umdrehung ist in Abb. 3-2 dargestellt. Bei der Vernetzung wurden die Elemente für den Wendelbohrer und der Bohrungswand größer als für den Bohrungsgrund gewählt, da die Verformungen des Letzteren für die Untersuchung im Vordergrund stehen. Das Werkzeug und die Bohrungswand wurden für die Simulation als Starrkörper und der Bohrungsgrund als frei beweglicher Körper definiert. Durch die Verschiebung der Netzknotten konnte die Eigenform der Spanbildung gut dargestellt werden.

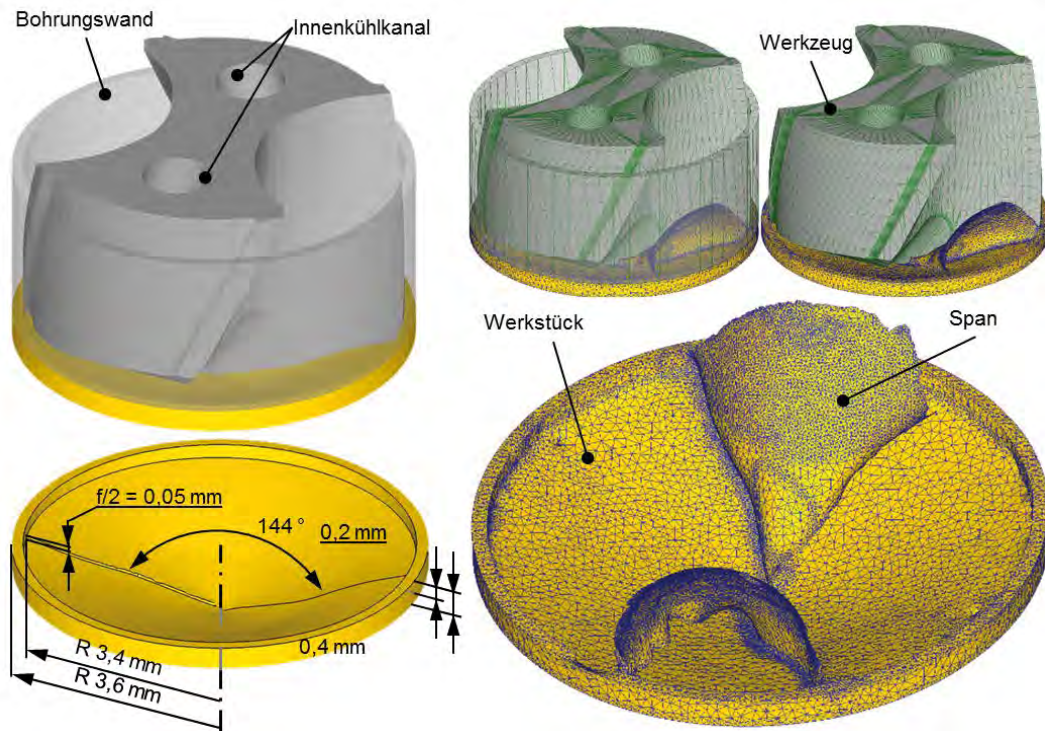


Abb. 3-2: Spanbildungsmodell und simulierte Spanbildung

4 Flächenrückführung

Die simulierte Spannbildung kann nicht direkt in die CFD-Software ANSYS-CFX importiert werden. Zum einen ist die Polygonanzahl zu hoch und zum anderen weist der Bohrungsgrund einen unregelmäßigen äußeren Spanrand auf. Daher wurde das Spanbildungsmodell in die 3D-Designsoftware Geomagic importiert und eine Flächenrückführung durchgeführt (Abb. 4-1). Hierbei wurden die Stellen zur Flächenreparatur anhand einer Punktwolke definiert und geglättet. Die Polygonflächen werden dadurch reduziert und zu einer NURBS-Fläche zusammengefügt, so dass der unregelmäßige äußere Spanrand wieder als eine geschlossene Modelloberfläche dargestellt wird. Anschließend wurden die Polygone approximiert und die NURBS-Flächen für das gesamte Spanbildungsmodell neu berechnet. Das generierte Spanbildungsmodell wurde über das IGES-Dateiformat wieder in die CAD-Software SolidWorks importiert und zusammen mit dem Werkzeug kombiniert. Das Spanflu-idmodell entstand, indem die Baugruppe zunächst auf ein zylinderförmiges Modell gesetzt und mithilfe eines Formnestes wieder herausgeschnitten wurde. Für die CFD-Simulation wurde das Fluidmodell der Spanbildungszone in ANSYS-CFX importiert.

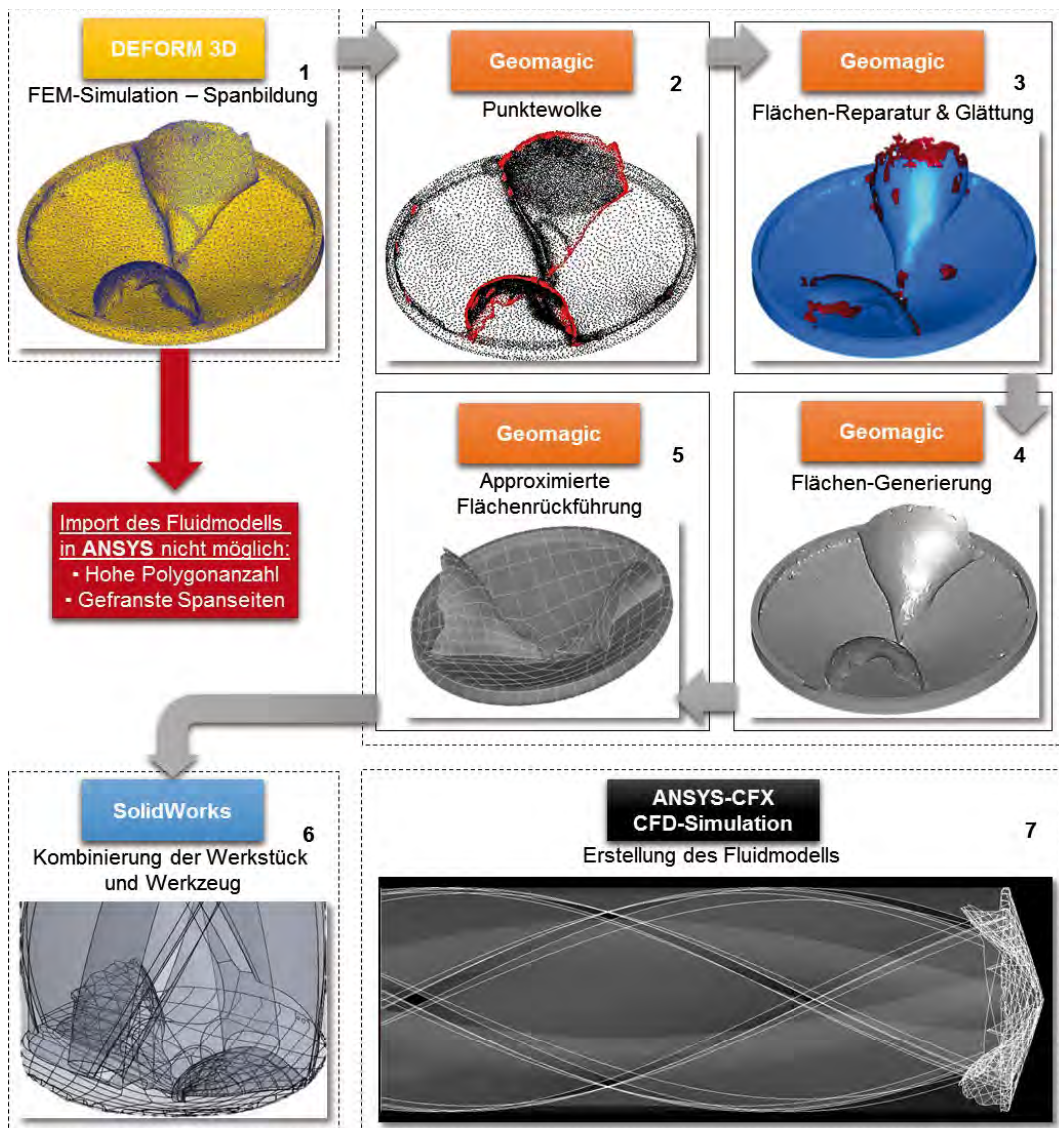


Abb. 4-1: Flächenrückführung des Spanmodells und Rücktransformation in die CAD-Software SolidWorks

5 Flächenrückführung

Eine häufig angewendete Modellgleichung bei herkömmlichen CFD-Softwareprogrammen stellt unter anderem die Reynolds-gemittelte Navier-Stokes-Gleichung dar. Diese basiert auf Erhaltungssätzen und löst numerisch die nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen 2. Ordnung. Für inkompressible Fluide lautet die Navier-Stokes-Gleichung:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \nabla \cdot \mathbf{u} = -\nabla \vec{p} + \nu \Delta \mathbf{u} + \vec{f} \quad | \quad \nabla \cdot \mathbf{u} = 0. \quad (3)$$

Wobei \vec{p} der Quotient aus dem Druck p und der Dichte ρ

$$\vec{p} = \frac{p}{\rho}, \quad (4)$$

\vec{f} der Quotient aus der Volumenkraft f und der Dichte ρ

$$\vec{f} = \frac{f}{\rho} \quad (5)$$

und ν der Quotient aus der dynamischen Viskosität μ und der Dichte ρ ist

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (6)$$

5.1 Randbedingungen

Die Festlegung der Randbedingungen ist zum einen notwendig, um die DGLs lösen zu können und zum anderen entscheiden diese im Wesentlichen über die korrekte physikalische Abbildung der realen Strömungsumgebung. Die Randbedingungen für die CFD-Simulation sind in Tab. 5-1 aufgeführt.

Tab. 5-1: Randbedingungen für die CFD-Simulation

Randbedingung	Wendelbohrer mit Innenkühlkanal	
	Größen	
Berechnungstyp: Transient	Zeit	$t_t = 10 \text{ s}$
Simulationszeitschritte	Zeit	$t_s = 0,1 \text{ s}$
Fluid	Wasser	-
Wasser	Temperatur	$T = 298,15 \text{ K}$
Inlet	Druck	$p_{MWF} = 40 \text{ bar}$
	Massenstrom	$\dot{m} = 0,048 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$
Outlet: Umgebungsdruck	Druck	$p_{amb} = 1 \text{ bar}$
Interface 1: Werkstück/Werkzeug	Reibung	0,01 mm
Interface 2: Werkstück/Fluid/Werkzeug	Reibung	0,01 mm / glatt
Interface 3: Werkzeug/Werkstück	Reibung	glatt
Interface 1, 2 und 3	Rotationsgeschwindigkeit	$n = 24,923 \text{ rad/s}$
Fluidmodell	Elementanzahl	ca. 8 Million
Inflation-Layer: 1st Schicht	Länge	0.0005 mm
Inflation-Layer: Wachstumsrate	Faktor	1,2
Turbulenzmodell	Typ	$k\text{-}\omega\text{-SST}$

Die Abb. 5-1 zeigt das Fluidmodell der Spanbildungszone. Hier wurden die Eingänge (Inlet – A) der beiden Innenkühlkanäle und die Ausgänge (Outlet – B) definiert. Die Außenseite des Fluidgebietes stellt eine rotierende sogenannte Rotationswand (Rotwall – C) dar, die an der Bohrungswand Reibung erfährt. Hierfür wurde ein Reibungsbeiwert von 0,01 mm gewählt, wodurch eine Reibung durch die Anströmung an der Oberfläche entsteht. Ähnlich verhält es sich auch mit der Haftbedingung der Wand (Wall – E). Mit den Schnittstellen (Interface 1, 2

und 3 – D) wurden die jeweiligen Beziehungen mit der Rotationsgeschwindigkeit festgelegt. Da sich das Wasser weitgehend zusammenhängend ausbreitet, wird es als kontinuierliches und inkompressibles Fluid simuliert [12]. Die numerische Berechnung erfolgte stationär unter Annahme des eingreifenden Werkzeugs, weshalb das Fluid, wie auch im realen Prozess, mit der Bohrbewegung rotiert.

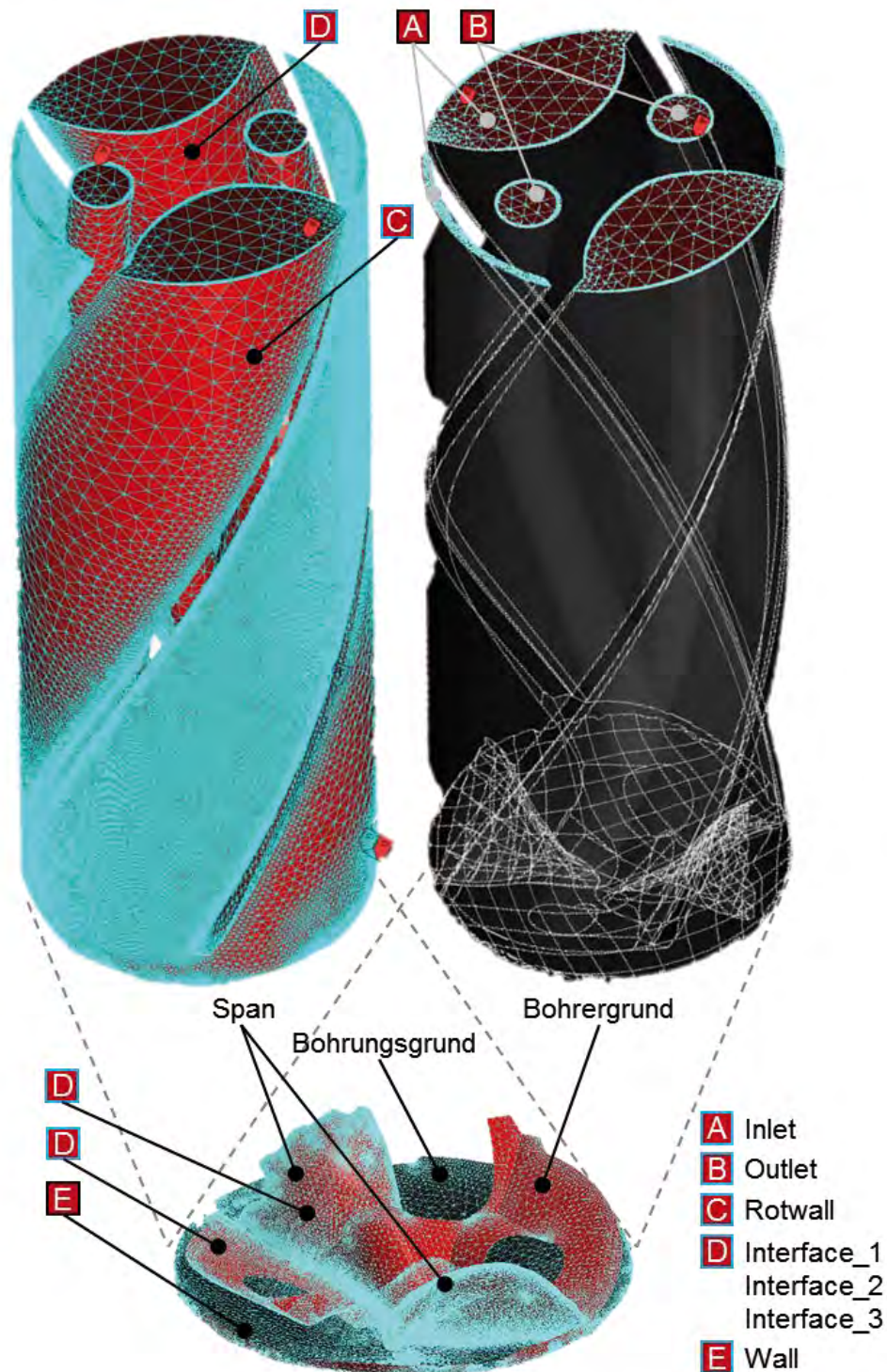


Abb. 5-1: Fluidmodell der Spanbildungszone

5.2 Turbulenzmodell

Turbulenzmodelle werden zur Lösung des Schließungsproblems und zur Bereitstellung von Gleichungen, die das Verhalten der Turbulenz approximieren, benötigt. Nachfolgend wird auf das k - ω -Shear Stress Transport (SST)-Modell nach *Menter* [13] eingegangen, da sich dieses, wie in [9] untersucht wurde, für die hier durchgeführte Analyse am besten eignet. Das k - ω -SST-Modell ermöglicht die Kombination des k - ω -Modells mit einer Funktion A_1 und des transformierten k - ε -Modells, das mit $1-A_1$ multipliziert wird. Die Modelle werden in der k - ω -Formulierung (transformiertes k - ε -Modells) addiert und für die k - und die ω -Gleichung des k - ω -SST-Modells ergeben sich die folgenden Terme für die turbulente kinetische Energie

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho k + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_j \cdot k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P - \beta^* \rho k \omega \tag{7}$$

und für die spezifische Dissipationsrate:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j \cdot \omega) = \alpha_3 \frac{\omega}{k} P_k - \beta_3 \rho \omega^2 + (1 - A_1) \frac{2\rho}{\sigma_{\omega 2} \omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\omega 3}} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] \tag{8}$$

Die vermengte Funktion A_1 erhält vor der Wand den Wert 1, sodass das k - ω Modell verwendet werden kann, während in logarithmischen Bereichen die Funktion den Wert 0 annimmt und die Parameter des k - ε Modells eingesetzt werden. Dazwischen wird eine Kombination aus beiden Parametersätzen verwendet. Die Definition der Funktion A_1 lautet dann:

$$A_1 = \tanh \left(\min \left(\max \left(\frac{\sqrt{k}}{0.09 \omega y}, \frac{500 \nu}{y^2 \omega} \right), \frac{4\rho \sigma_{\omega 2} k}{CD_{k\omega} y^2} \right)^4 \right) \tag{9}$$

Der Term $CD_{k\omega}$ beschreibt den Kreuz-Diffusionsterm mit folgender Gleichung:

$$CD_{k\omega} = \max \left(\frac{2\rho}{\sigma_{\omega 2} \omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-10} \right) \tag{10}$$

Die turbulente Viskosität μ_t kann in Bezug auf k und ω wie folgt wiedergegeben werden:

$$\mu_t = \rho \frac{\alpha_1 k}{\max \left(\alpha_1 \omega, \frac{\partial u}{\partial y} A_2 \right)} \tag{11}$$

Die Funktion A_2 wird zur Begrenzung der turbulenten Viskosität verwendet und besitzt die Werte zwischen null und eins:

$$A_2 = \tanh \left(\max \left(2 \frac{\sqrt{k}}{0.09 \omega y}, \frac{500 \nu}{y^2 \omega} \right)^2 \right) \tag{12}$$

Der Faktor α_1 in Gleichung 11 beschreibt die Proportionalität der Schubspannungen $u_i u_j$ mit der turbulenten kinetischen Energie k nach [14, 13]. Durch diesen Ansatz kann der wesentliche Anteil der Schubspannungen ähnlich wie in einem Reynoldsspannungsmodell berücksichtigt werden. Die Konstanten $\alpha_3, \beta_3, \sigma_{k2}, \sigma_{\omega 3}$ ergeben sich in der Variablentransformation ϕ der beiden Modelle wie folgt:

$$\phi_3 = \phi_1 \cdot A_1 + \phi_2 \cdot (1 - A_1) \tag{13}$$

Die Werte der Schließungskonstanten können aus der Tabelle 4-1 entnommen werden.

Tab. 5-2: Parameter der Schließungskonstanten für das k - ω -SST-Modell

	ϕ_1				ϕ_2			
β^*	α_1	β_1	σ_{k1}	$\sigma_{\omega 1}$	α_2	β_2	σ_{k2}	$\sigma_{\omega 2}$
0.09	0,31	0,075	0,85	0,65	0.44	0.0828	1	0.856

Die Vorteile des $k-\omega$ - SST-Modells liegen neben einer genaueren Beschreibung der Grenzschicht bei einer realistischeren Modellierung von Staupunkten, Strömungen mit Druckgradienten und starker Stromlinienkrümmung, die bei der Simulation komplexer Geometrien wie z. B. bei den Bohrern auftreten.

5.3 Vernetzung

Die Elemente und die Elementgrößen, die bei der Vernetzung eingesetzt werden, beeinflussen das Ergebnis der CFD-Simulation. Mit zunehmender geometrischer Komplexität und der sich dadurch ergebenden unregelmäßigen Fluidausbreitung steigen die Anforderungen der Vernetzung. Für den zu analysierenden Bereich wurde eine hohe Grenzschichtauflösung und hohe Netzqualität gewählt. An die Grenzschichten in Wandnähe und die schmalen Bereiche (Abb. 5-2) wurde eine Grenzschichtvernetzung (Inflation-Layer) gelegt. Diese Bereiche betreffen die Spanbildungszone (1), die Stellen zwischen Span, Fluid und Werkzeug (2), die Randzonen (3) und die Spanwurzel (4). Die Vernetzung dieser Grenzschichten war mit sehr hohen Herausforderungen verbunden, da sich die ohnehin sehr klein dimensionierten Elemente an den zulaufenden spitzen und schiefwinkligen Angrenzungen nochmals verkleinern müssen. Für die realitätsnahe numerische Abbildung des Strömungsverhaltens wurden insgesamt ca. 8 Millionen Elemente vernetzt und ca. 2,5 Millionen Knoten berechnet.

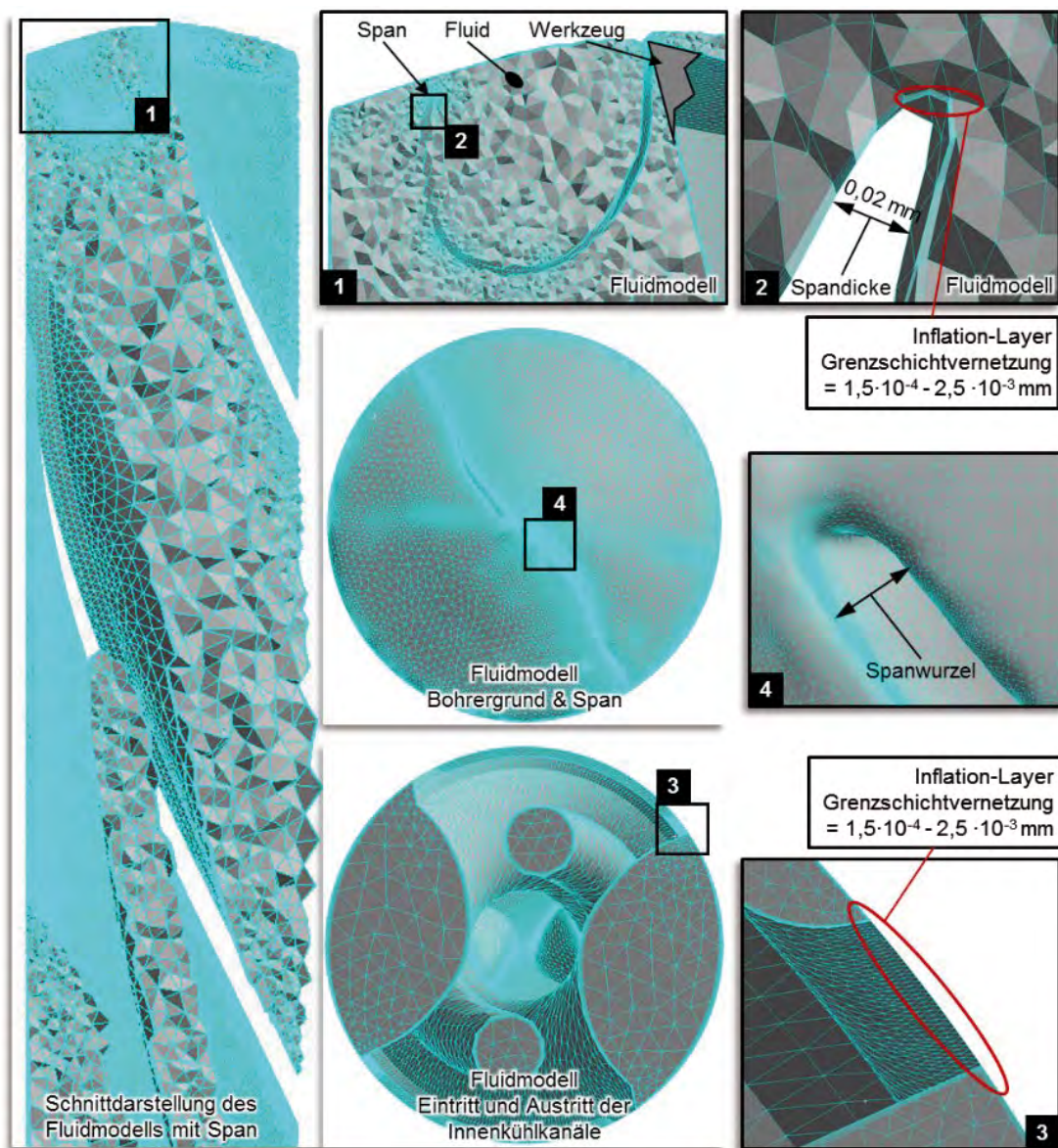


Abb. 5-2: Vernetzung der Fluidregion

5.4 Ergebnisse der CFD-Simulation in der Spanbildungszone

Abb. 5-3 zeigt im unteren Bereich das CFD-Ergebnis, der darüber liegenden Spanbildungssituation. Die einzelnen turbulenten Verwirbelungen unterströmen zwar den Span, jedoch wird die Kühlung hierdurch nicht direkt beeinflusst. Es fällt auf, dass die Geschwindigkeit in den Spannuten sehr gering ist.

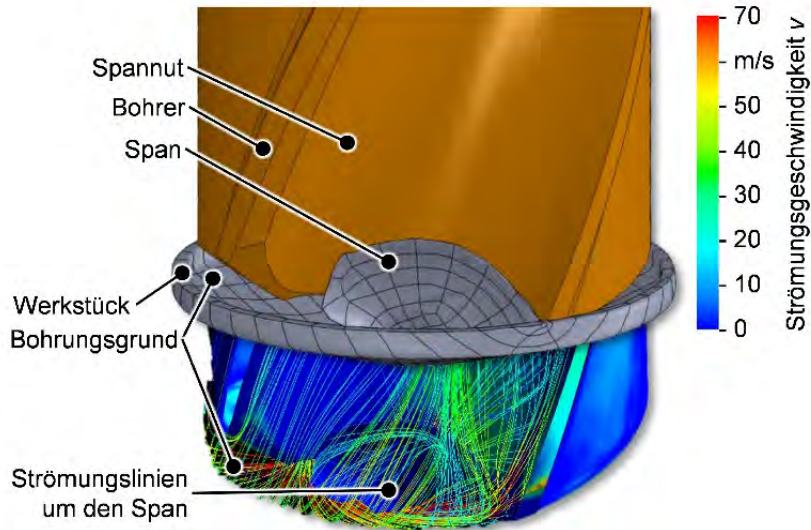


Abb. 5-3: Festkörper und Strömungsgeschwindigkeit um den Span

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Strömung das Fluid nicht in die Spanbildungszone geführt hat und die Strömungsgeschwindigkeit in Richtung der Schneiden auf null geht. Das Fluid strömt aus den Innenkühlkanälen mit einer mittelhohen Geschwindigkeit und verdoppelt sich in Richtung der äußeren Randzonen (Abb. 5-4).

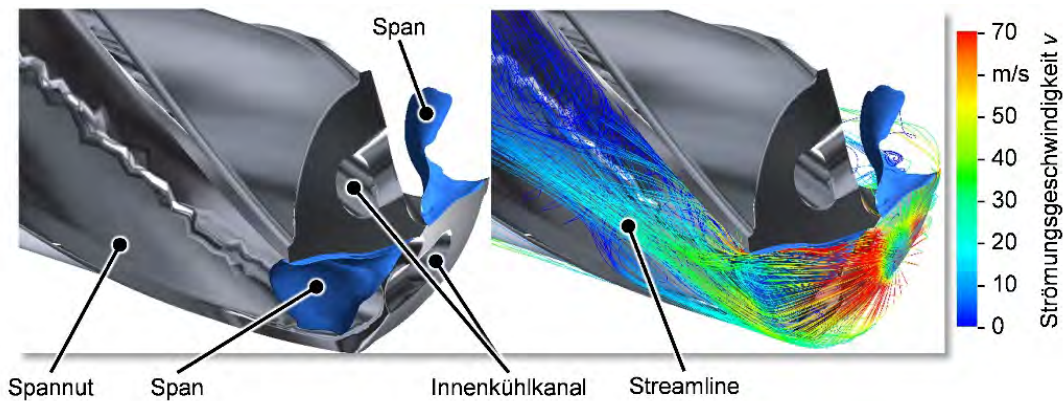


Abb. 5-4: Strömungsgeschwindigkeit in der Spanbildungszone

Das Fluid strömt aus den Innenkühlkanälen mit einer mittelhohen Geschwindigkeit und verdoppelt sich in Richtung der äußeren Randzonen (Abb. 5-5). Der radial gerichtete Strömungsverlauf wird durch die Fliehkräfte und die Rotation beeinflusst.

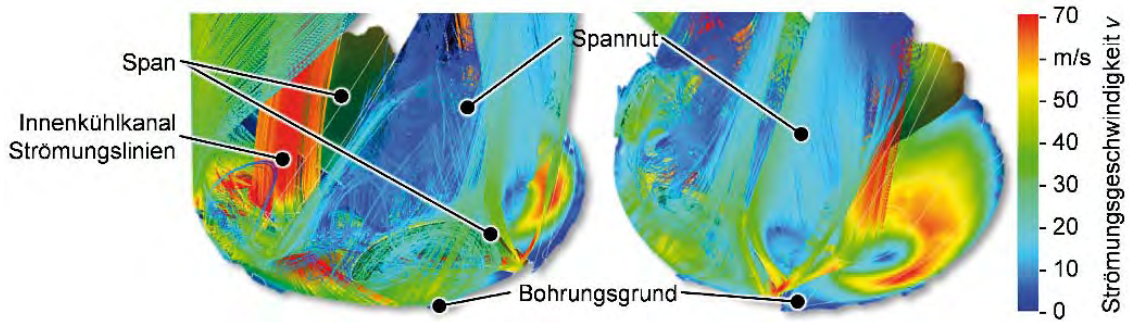


Abb. 5-5: Fluidmodell – Span und Innenkühlkanal

Zwischen dem Bohrer und dem Bohrungsgrund wird das Fluid durch einen kleinen Spalt beeinflusst. Dieser Querschnittsprung führt zwangsläufig dazu, dass der Druck abfällt und die Strömung beschleunigt wird. An den Oberflächen der Spannuten sind die Strömungsgeschwindigkeiten wesentlich geringer als zwischen der Bohrspitze und dem Bohrungsgrund (Abb. 5-6).

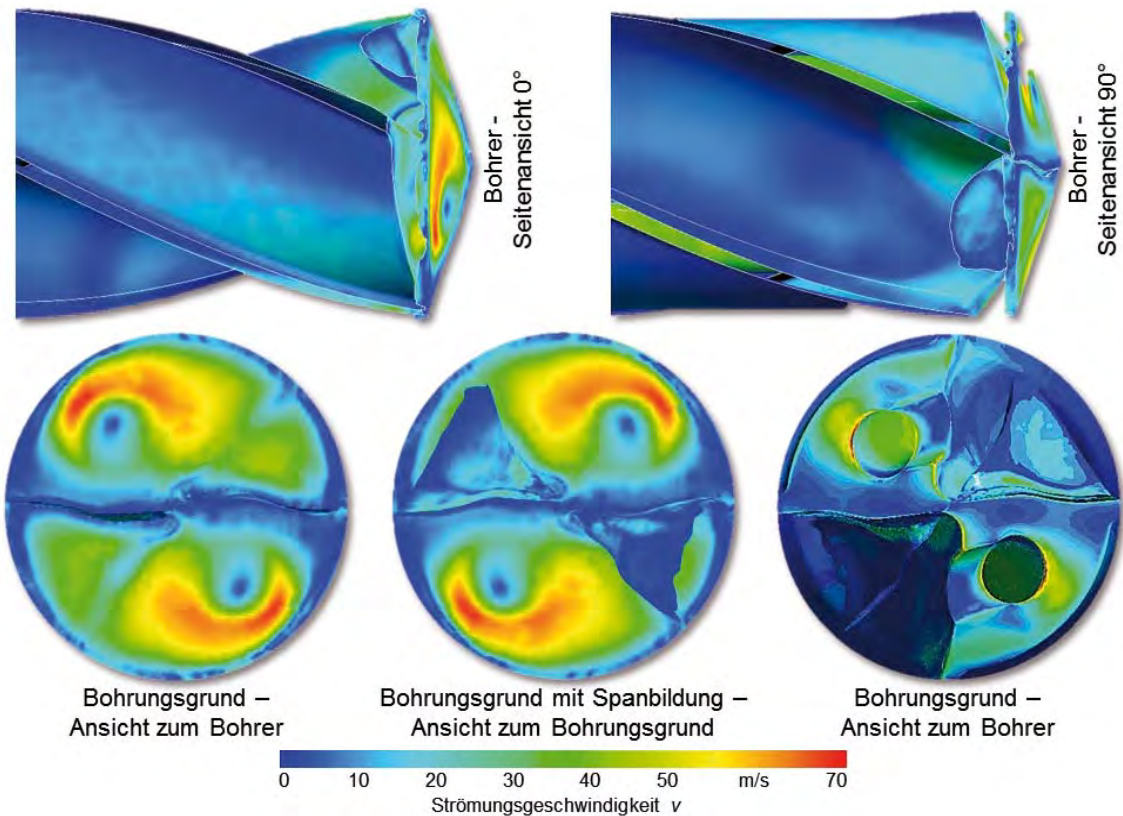


Abb. 5-6: Strömungsgeschwindigkeit – Ansicht des Fluids zum Bohrungsgrund

Daher kann angenommen werden, dass durch die Umströmung der Oberflächen die Wirbelbildung angeregt wird und fast kein Kontakt zwischen dem KSS, der Oberfläche des Bohrers und dem Bohrungsgrund vorhanden ist (Abb. 5-7). Auf der Spanoberfläche herrschen zudem geringe Strömungsgeschwindigkeiten, so dass diese im engen Spanraum nicht gekühlt wird.

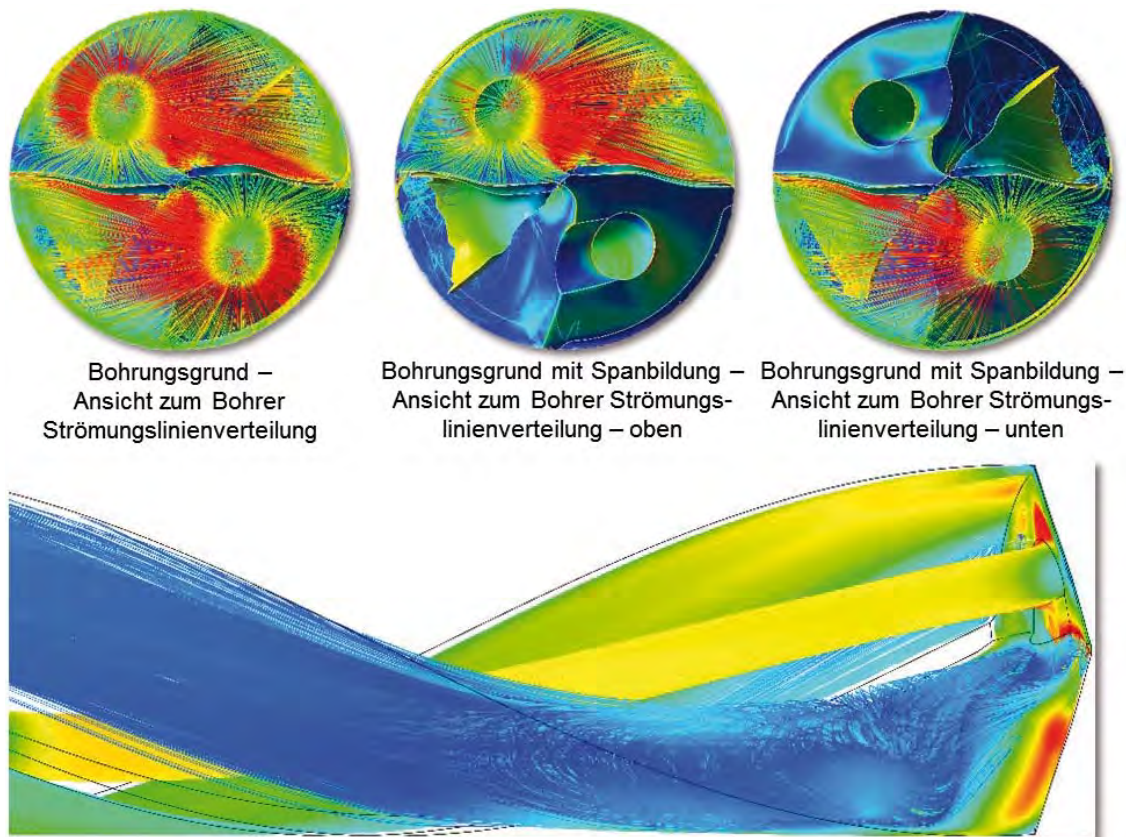


Abb. 5-7: Strömungsgeschwindigkeit – Ansicht des Fluids zum Bohrers

6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde eine Methodik vorgestellt, die die Kombination der FEM- und CFD-Simulation möglichst ohne relevante Datenverluste ermöglicht. Mit dieser Methodik gelang es, das Strömungsverhalten eines innen-gekühlten Wendelbohrers zu analysieren und dabei die Spanbildung zu berücksichtigen. Die CFD-Ergebnisse zeigen, dass in der Spanbildungszone kaum eine Strömung herrscht und somit der gewünschte Kühleffekt nicht erreicht wird. Des Weiteren konnte mit dieser Methodik ein tieferes Prozessverständnis gewonnen und entgegen bisheriger Annahmen festgestellt werden, dass im Bereich unterhalb des Spans und im Rücklaufkanal der Spannuten eine starke turbulente Strömung herrscht. Inwiefern dies den Spanabtransport beeinflusst, muss in weiteren Forschungsarbeiten untersucht werden. Durch die geometrischen und physikalischen Bedingungen entsteht eine starke Strömung vom Kühlkanal in Richtung des an der Hauptscheide liegenden Spans, wodurch eine unvorhergesehene Kühlung auftritt. Die Möglichkeit der Kombination zwischen der FEM- und CFD-Simulation wird bezüglich der Transientität und der Flächenrückführung weiterentwickelt und liefert die Basis für weitere Untersuchungen in der spanenden Fertigung.

7 Literatur

- [1] Heisel, U., Klocke, F., Uhlmann, E., Spur, G., Hg. Handbuch Spanen, München. Carl Hanser Verlag, 2014. Vortrag, Edition/Handbuch der Fertigungstechnik, ISBN 978-3446428263
- [2] Okada, M.; Asakawa, N.; Sentoku, E.; M'Saoubi, R.; Ueda, T.: Cutting performance of an indexable insert drill for difficult-to-cut materials under supplied oil mist. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72 (2014) 1-4, S. 475–485, DOI: 10.1007/s00170-014-5691-0
- [3] Mondal, N.; Sardar, B.S.; Halder, R.N.; Das, S.: Observation of Drilling Burr and Finding out the Condition for Minimum Burr Formation. *International Journal of Manufacturing Engineering*, 2014 (2014) 1, S. 1–12, DOI: 10.1155/2014/208293
- [4] Chowdhury, S.A.; Islam, M.N.; Boswell, B.: Effectiveness of Using CFD for Comparing Tool Cooling Methods. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, 2 (2014)
- [5] Alberdi, R.; Sanchez, J.A.; Pombo, I.; Ortega, N., et al.: Strategies for optimal use of fluids in grinding. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 51 (2011) 6, S. 491–499, DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2011.02.007
- [6] Lopez-Arraiza, A.; Castillo, G.; Dhakal, H.N.; Alberdi, R.: High performance composite nozzle for the improvement of cooling in grinding machine tools. *Composites Part B: Engineering*, 54 (2013), S. 313–318, DOI: 10.1016/j.compositesb.2013.05.029
- [7] Fallenstein, F.; Aurich, J.C.: CFD based Investigation on Internal Cooling of Twist Drills. *Procedia CIRP*, 14 (2014), S. 293–298, DOI: 10.1016/j.procir.2014.03.112
- [8] Beer, N.; Özkaya, E.; Biermann, D.: Drilling of Inconel 718 with Geometry-modified Twist Drills. *Procedia CIRP*, 24 (2014), S. 49–55, DOI: 10.1016/j.procir.2014.07.124
- [9] Oezkaya, E.; Beer, N.; Biermann, D.: Experimental studies and CFD simulation of the internal cooling conditions when drilling Inconel 718. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 108 (2016), S. 52–65
- [10] Lee, S.H.: A CAD–CAE integration approach using feature-based multi-resolution and multi-abstraction modelling techniques. *Computer-Aided Design*, 37 (2005) 9, S. 941–955, DOI: 10.1016/j.cad.2004.09.021
- [11] Söhner, J.: Beitrag zur Simulation zerspanungstechnologischer Vorgänge mit Hilfe der FEM, Karlsruhe, 2003
- [12] ANSYS: CFX-Solver Modeling Guide (2014)
- [13] Menter, F.R.: Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)*, 32 (1994) 8
- [14] Wilcox, D.C.: Reassessment of the scale-determining equation for advanced turbulence models. *American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)*, 26 (1988) 11, S. 1299–1310

Danksagung

Das Institut für Spanende Fertigung dankt für die industrielle Forschungskooperation und Zusammenarbeit mit der Firma Guehring oHG, in Albstadt, Deutschland.

Autoren

Dr.-Ing. Ekrem Özkaya, Dirk Biermann
 Tel.: +49-231-755-5518; Fax: +49-231-755-5141;
 E-Mail: oezkaya@isf.de, biermann@isf.de
 Institut für Spanende Fertigung, Dortmund 44227, Germany

Direkte Kopplung von parametrischem CAD und adjungierter CFD für die effiziente Optimierung von Strömungsgeometrien

Mattia Brenner, Carsten Fütterer, Stefan Harries

FRIENDSHIP SYSTEMS AG, Potsdam, Deutschland

Heutzutage wird die Optimierung von Strömungsgeometrien typischerweise über die Kopplung von parametrischem Modellieren (variable Geometrie) und Strömungssimulation (CFD) vorgenommen. Ein Ansatz, der zunehmend Interesse in der Industrie findet, basiert auf der Lösung der adjungierten RANS-Gleichungen für ausgewählte Zielfunktionen (wie Widerstand oder Wirkungsgrad) und die darauf folgende Deformation des Rechengitters in einem CAD-freien Optimierungsprozess. Dieser Ansatz erschwert es jedoch oftmals die vorgenommenen Modifikationen in den CAD-Prozess zurückzuführen und geometrische Nebenbedingungen zu berücksichtigen. Die Kombination von parametrischen und parameterfreien Lösung ist eine aufkommende Technik, die die effiziente Optimierung von Formen ermöglicht, ohne die CAD-Domäne des Modells zu verlassen, und damit die Integration in den Entwurfsprozess vereinfacht.

Auf Basis der Computer Aided Engineering (CAE) Plattform CAESSES soll ein parametrisch-adjungierter Ansatz vorgestellt werden. Dieser Ansatz basiert auf der Verkettung von sogenannten „Design Velocities“ und adjungierten Formsensitivitäten. Design Velocities liefern die Einflussbereiche der Parameter eines gegebenen Modells unter rein geometrischen Gesichtspunkten. Die adjungierten Formsensitivitäten wiederum zeigen an wo und wie Änderungen der Modelloberfläche die Zielfunktion beeinflussen. Die Überlagerung der Oberflächenfelder der Design Velocities und der adjungierten Formsensitivitäten resultiert in den sogenannten „parametrischen Sensitivitäten“. Diese geben Aufschluss über die Auswirkung aller Parameter eines gewählten Modells.

Dieser Ansatz wird an praktischen Formoptimierungsbeispielen aus verschiedenen Einsatzfeldern, bzw. Industrien, demonstriert.

1 Einleitung

Unter Anwendung parametrischer Modellierung lassen sich Variationen der Geometrie effizient durchführen, siehe [1,2]. Die Gesamtzahl der formdefinierenden Parameter in einem typischen parametrischen Modell einer strömungsrelevanten Geometrie (z.B. eines Schiffsrumpfs oder einer Komponente aus einem Verbrennungsmotor oder einer Turbomaschine) in *FRIENDSHIP SYSTEMS* CAE Plattform *CAESSES* bewegt sich in der Regel im Bereich von 20 bis 50. Damit ist bei komplexen Freiformgeometrien die Anzahl der Freiheitsgrade in der Regel dennoch so groß, dass, bei der Verwendung direkter Optimierungsmethoden unter Einbeziehung aller Parameter, eine Vielzahl von Funktionsauswertungen, d.h. CFD-Rechnungen, nötig wäre, um Trends hinsichtlich der zur Verbesserung der betrachteten Zielfunktion(en) nötigen Geometrieänderungen zu erkennen. Insbesondere bei komplexen Strömungszuständen verbietet sich dieses Vorgehen aufgrund der hohen Rechenzeiten.

Um den Aufwand an die vorhandenen Ressourcen anzupassen, würde der Entwurfsingenieur typischerweise, basierend auf seiner Erfahrung oder seinem technischen Verständnis, eine ausreichend kleine Untermenge von Parametern für die Optimierung aussuchen. Neben dem Nachteil, dass der verfügbare Designraum für die Optimierung sich erheblich reduziert, ist die Auswahl leider oft schwierig, da der jeweilige Einfluss auf die Zielfunktion a priori nicht bekannt ist. Insbesondere schwierig wird es, wenn der Ingenieur nicht über ausreichend Erfahrung verfügt, um eine gute Auswahl zu treffen oder wenn das parametrische Modell von jemand anderem erstellt wurde, damit also die Auswirkung aller Parameter auf die Geometrie nicht bekannt ist.

Ziel der hier dargestellten Entwicklungen war es eine Methode zu finden, die es mit einem vergleichbar geringem Rechenaufwand erlaubt, komplexe Freiformgeometrien unter Einbeziehung des gesamten Entwurfsraums, d.h. aller Modellparameter, zu optimieren.

2 Adjungierte CFD

Die entscheidende Information für die Strömungsoptimierung einer Geometrie ist der Zusammenhang zwischen der Zielfunktion J und den Formparametern α_i . Dieser Zusammenhang wird mathematisch durch die sogenannten Sensitivitäten – dies sind die Änderungen (bzw. Gradienten) der Zielfunktion bei Variation der Formparameter – wiedergegeben. Die einzelnen Sensitivitäten lassen sich in erster Näherung durch den Differenzenquotienten bestimmen, wofür, bei klassischen gradientenbasierten Optimierungsverfahren und n Parametern, mindestens $n+1$ CFD-Simulationen nötig wären, um für jeden Formparameter eine zugehörige Geometrievariation zu bewerten. Dieser direkte Ansatz ist somit, wie oben erwähnt, bei vielen Formparametern und rechenintensiven Simulationen, nicht anwendbar. Natürlich können intelligente DoE-Strategien möglicherweise die Anzahl der Funktionsauswertungen reduzieren, dennoch skaliert der Ansatz immer noch signifikant mit der Anzahl der Freiheitsgrade.

Sogenannte adjungierte Methoden gehen dagegen den umgekehrten Weg. Hier wird nicht die Änderung der Zielfunktion bei Variation der Formparameter bestimmt, sondern die benötigte Variation der Formparameter, um zu einer gewünschten Änderung der Zielfunktion zu gelangen. Die adjungierten Methoden liefern den vollen Gradienten der Zielfunktion unabhängig von der Zahl der Formparameter zum Aufwand einer zusätzlichen Simulationsrechnung. Für die volle Analyse wird dabei eine konventionelle primale CFD-Rechnung durchgeführt, gefolgt von einer adjungierten Rechnung pro betrachteter Zielfunktion (siehe Abb. 1).

Im Zusammenhang mit Formoptimierung liefert die adjungierte Analyse die sogenannte Formsensitivität als Ergebnis. Diese liegt als Feldinformation auf der Modelloberfläche vor und beschreibt die Änderung der Zielfunktion aufgrund der Normalverschiebungen der Wandzellen ($\partial J/\partial n_n$). Ein positiver Wert der Formsensitivität indiziert eine lokale Verschiebung in positive Normalenrichtung und umgekehrt. Die Sensitivität liegt als Ergebnis der adjungierten Analyse mit Bezug auf die CFD-Diskretisierung der Modelloberfläche vor. Für industrietypische Fälle ist die CFD-Geometrie mit einer Auflösung von einigen zehntausend Knoten, und damit Freiheitsgraden, beschrieben, so dass die Sensitivität mit einem sehr hohen Detaillierungsgrad, quasi-kontinuierlich vorliegt. Diese Information kann in einem CAD-freien Ansatz direkt zur Verschiebung der Knoten und damit zur Verformung der Geometrie verwendet werden. Der Nachteil dabei ist jedoch, dass sich die Formänderungen nur schwer wieder in den Entwurfsprozess zurückführen lassen und geometrische Randbedingungen (z.B. aufgrund von Produktionseinschränkungen) verletzt werden können. Daraus folgt die Motivation eine Methode zu entwickeln, die diese Ausgangssensitivitäten für die CFD-Freiheitsgrade in die dazugehörigen Sensitivitäten $\partial J/\partial \alpha_i$ (Änderung der Zielfunktion nach Parameterveränderung) der CAD-Formparameter überträgt.

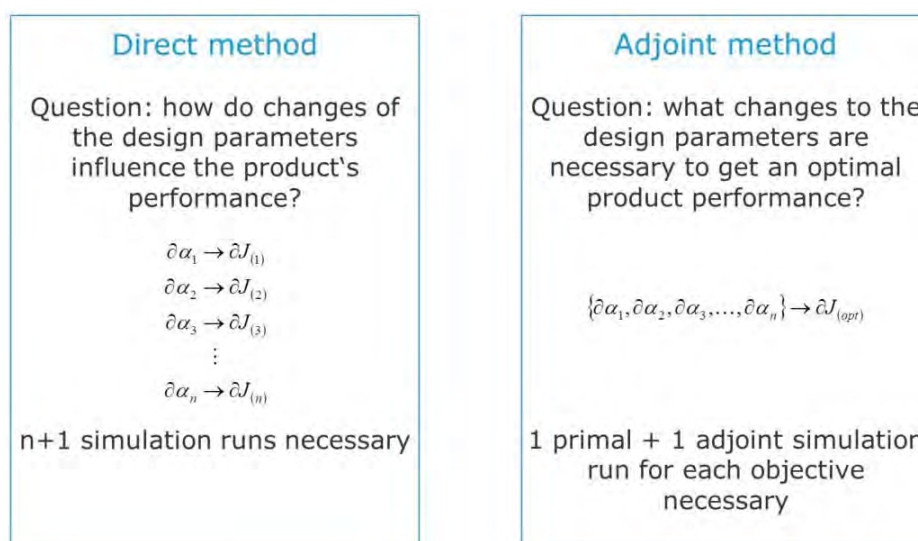


Abb. 1: Vergleich von direkter und adjungierter Methode

3 Übertragung der adjungierten Formsensitivitäten auf die CAD-Modellparameter

Um die adjungierten Sensitivitäten auf die CAD-Parameter zu übertragen, wurde ein neues Objekt – die *Sensitivity Computation* – in der Entwurfsplattform CAESES implementiert, das sämtliche benötigte Schritte durchführt. Zunächst werden die adjungierten Sensitivitäten, befreit vom Einfluss der Zellgröße des CFD-Gitters A_n , von der CFD-Diskretisierung auf die Flächentessellierung des CAD-Modells interpoliert. Danach müssen die Verschiebungen der Modelloberfläche nach Parameterveränderung – $\partial n_k / \partial \alpha_i$, die sogenannten Design Velocities – bestimmt werden. Dafür werden für alle gewählte Flächen über eine Verfolgung der Abhängigkeiten sämtliche beeinflussende Parameter bestimmt. Diese werden um einen individuellen Betrag, der sich aus einer vorgegebenen absoluten Verschiebung der Modelloberfläche ergibt, in positive und negative Richtung perturbiert und die Normalverschiebungen der Flächentessellierungsknoten werden ausgewertet. Für jedes Element kann dann über die Zentraldifferenz, aus den Verschiebungen infolge der Störung, der Gradient $\partial n_k / \partial \alpha_i$ numerisch berechnet und gespeichert werden. Dieser kann, wie die Ausgangsensitivität $\partial J / \partial n_n$ auch, als Plot auf der Modelloberfläche visualisiert werden.

Sensitivity for CAD parameter α_i

$$\frac{\partial J}{\partial \alpha_i} = \sum_k \frac{\partial J}{\partial n_n A_n} \frac{\partial n_k}{\partial \alpha_i} A_k$$

Adjoint shape sensitivity
Local cell size

Normal displacement of model boundary due to CAD parameter change: „design velocity“

Fig. 2: Berechnung der parametrischen Sensitivitäten

Aus dem Vergleich der beiden Plots lässt sich bereits recht gut visuell beurteilen, welche Parameter Gebiete mit hoher Formsensitivität beeinflussen und damit einen großen Einfluss auf die Zielfunktion haben. Eine genauere Aussage ergibt sich, wenn man für jeden Knoten das Produkt aus $\partial J / \partial n_n A_n$ und $\partial n_k / \partial \alpha_i$ bildet, mit der lokalen Zellgröße der Geometrietessellierung A_k wichtet, über die Fläche aufsummiert und damit die Sensitivität $\partial J / \partial \alpha_i$ eines entsprechenden Parameters erhält (siehe. Abb. 2). Diese skalaren Werte für alle beteiligten Parameter werden gesammelt in einer Tabelle dargestellt und zeigen an, welche Parameter den größten Einfluss auf die Zielfunktion haben und in welche Richtung diese zu ändern sind, um die Zielfunktion positiv zu beeinflussen. Diese Gradienteninformation kann sowohl zur Auswahl der wichtigsten Parameter, als auch direkt für nachfolgende automatisierte Optimierungsprozesse verwendet werden. Im ersten Fall können die Werte der gewählten Parameter manuell verändert oder in einer konventionellen Optimierung verwendet werden. Im zweiten Fall kann die Gradienteninformation direkt von einem geeigneten Optimierungsalgorithmus verwendet werden, um die Richtung zu dem (nächstgelegenen lokalen) Optimum zu bestimmen. Dies beschleunigt die Konvergenz der Optimierung signifikant, da der Gradient nicht von dem Algorithmus numerisch bestimmt werden muss.

4 Fallstudien

4.1 Außenaerodynamik: Heckflügel eines Sportwagens

Die Anwendbarkeit der im Vorangegangenen beschriebenen Methode wurde durch direkte Kopplung des adjungierten Löser des CFD-Tools *iconCFD* mit CAESES an einem Beispiel aus der Fahrzeugaerodynamik ausgetestet. Ziel war es den Heckflügel eines Sportwagens (siehe Abb. 3) bezüglich der Zielfunktionen Widerstand und Abtrieb zu optimieren.

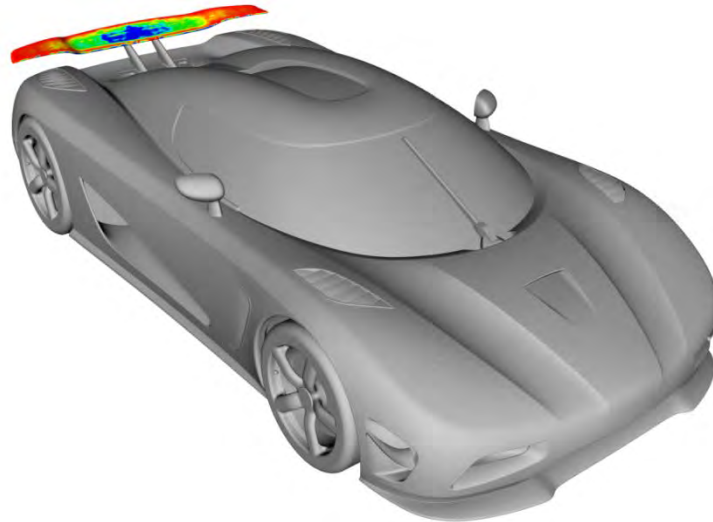


Abb. 3: Geometrie des Sportwagens mit adjungierten Sensitivitäten auf dem Heckflügel (mit freundlicher Erlaubnis von Koenigsegg Automotive AB)

Das Gitter für die CFD-Rechnungen beinhaltete in etwa 18 Millionen Zellen. Gerechnet wurde bei einer Geschwindigkeit von 144 km/h mit dem Spalart-Allmaras Turbulenzmodell, Reifen als rotierende Wände, drei als poröse Medien modellierte Kühler und eingefrorener adjungierter Turbulenz. Die Rechenzeiten auf 64 Prozessorkernen betragen ca. 7 Stunden für die primale und ca. 5 Stunden für die adjungierte Lösung bezüglich jeder der betrachteten Zielfunktionen (Widerstand und Abtrieb).

Das parametrische Modell des Heckflügels basierte auf der sogenannten *Metasurface* Technologie. Dies ist ein proprietärer Flächentyp in CAESSES und erlaubt die flexible und effiziente Parametrisierung von Freiformflächen. Dabei wird ein Querschnitt durch die Fläche, in diesem Fall ein Flügelprofil, topologisch in einer *Featuredefinition* beschrieben. Features sind in diesem Zusammenhang höherwertige Geometrielemente, die mehrere Arbeitsschritte kapseln und damit eine aus mehreren primitiven Geometrielementen bestehende Topologie beschreiben können, siehe [2]. Die benötigten Eingabeparameter werden zur grafischen Benutzeroberfläche rausgeführt und durch Eingabe von Werten können Instanzen des Features erstellt werden. Eingabeparameter für den Flächenquerschnitt können positioneller, differentieller (Winkel) und integraler (Flächen) Natur sein. Wenn für die Eingabeparameter kontinuierliche Verteilungen in Form von parametrisierten Kurven vorgegeben werden, in diesem Fall Profilparameter als Funktionen über die Spannweite des Flügels (siehe Abb. 4, unten), ist die Form des Querschnitts an beliebigen Positionen innerhalb des Definitionsbereichs der Kurven bekannt und es kann eine Fläche erstellt werden (siehe Abb. 4, oben). Aus dieser speziellen Art der Flächenbeschreibung, die Information in zwei ausgewiesene Richtungen der Fläche kombiniert, folgt, dass die Freiformfläche komplett durch Parameter beschrieben ist. Aufgrund der Tatsache, dass, anstatt von diskreten Querschnitten, die Verteilungsfunktionen über Parameter gesteuert werden, folgt außerdem, dass die zur Kontrolle der Flächenform notwendige Anzahl von Parametern reduziert werden kann, oft um bis zu eine Größenordnung. Für den Austausch mit anderen Programmen wird diese proprietäre Fläche durch eine NURBS-Fläche approximiert. Im vorliegenden Fall wurde die Fläche tesselliert und im STL-Format rausgeschrieben. Der Heckflügel wurde in seiner Form durch 19 Parameter kontrolliert, geometrische Randbedingung bezüglich Spannweite und Sehnenlänge wurden implizit durch das Modell erfüllt.

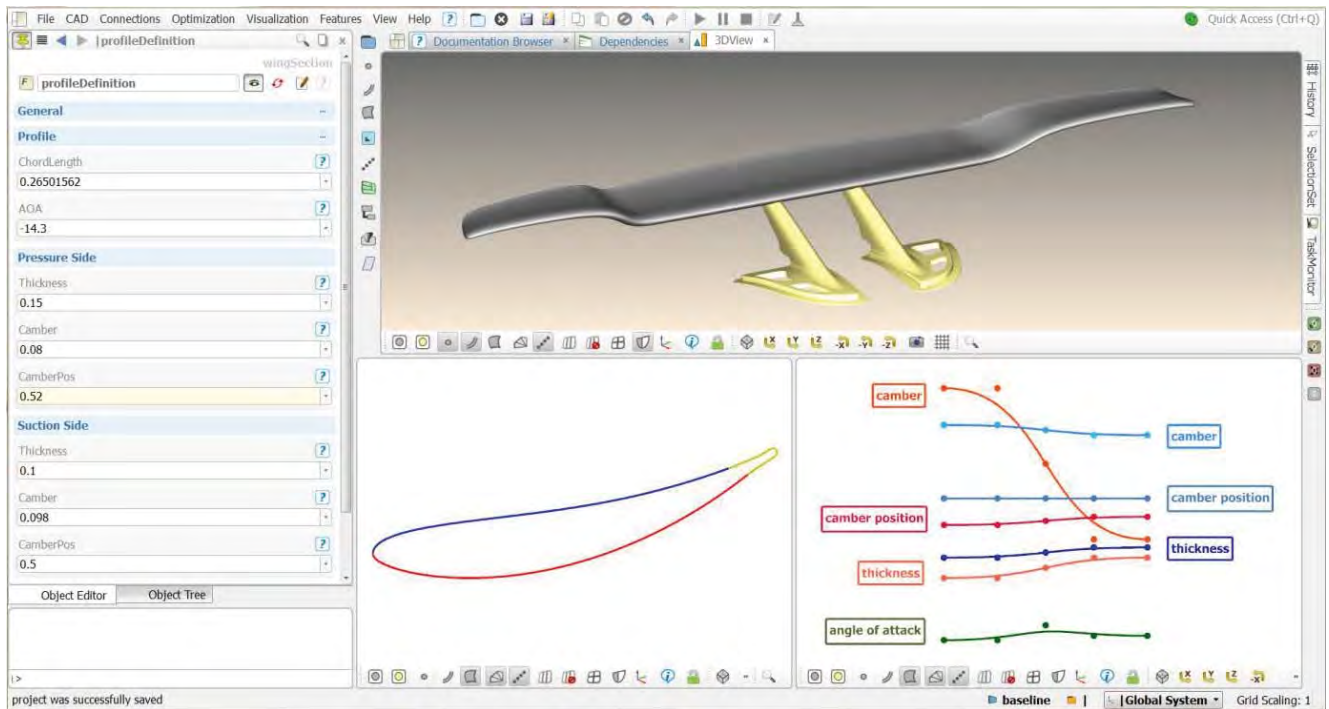


Abb. 4: Parametrisches Modell des Heckflügels
(Profildefinition unten Mitte, Funktionen für die Profilparameter unten rechts)

Die adjungierten Sensitivitäten für die betrachteten Zielfunktionen wurden berechnet und auf die Formparameter des Modells übertragen. Dabei zeigte sich, dass viele der Parametersensitivitäten für die beiden Zielfunktionen in entgegengesetzte Richtungen zeigten. Basierend auf den Ergebnissen wurden drei manuelle Varianten erzeugt und durch jeweils eine primale CFD-Rechnung überprüft:

- Eine Variante, in der die fünf einflussreichsten Parameter für die Zielfunktion Widerstand geändert wurden. Der Widerstand wurde erwartungsgemäß verringert (-0.96%), allerdings in Verbindung mit einer deutlichen Verringerung des Abtriebs (-3.75%).
- Eine Variante, in der die fünf einflussreichsten Parameter für die Zielfunktion Abtrieb geändert wurden. Hier verbesserte sich der Abtrieb deutlich (+3.86%), diesmal allerdings in Verbindung mit einem annähernd neutralen Einfluss auf den Widerstand (-0.03%).
- Eine Variante, in der alle Parameter geändert wurden, die nur für eine der zwei Zielfunktionen eine deutliche Sensitivität zeigten und wenig Einfluss auf die andere hatten, mit dem Ziel beide Zielfunktionen gleichzeitig zu positiv zu beeinflussen. Hier zeigten sich für beide Zielfunktionen deutliche Verbesserungen (Widerstand: -10.58%, Abtrieb: +2.94%).

Die Schrittweiten für die verschiedenen Parametermodifikationen wurden unter der einfachen Betrachtung, nicht zu drastische Änderungen der Geometrie herbeizuführen, gewählt (dem Gedanken folgend, dass die Vorhersagen der adjungierten CFD für kleine, bzw. infinitesimale, Änderungen gültig sind). Demzufolge spiegeln die erzeugten Varianten und deren Ergebnisse lediglich ein Tasten in die empfohlene Richtung des Entwurfsraumes mit einer mehr oder weniger zufälligen Schrittweite wieder. Dies kann nicht als echte Optimierung angesehen werden, sondern eher als eine Studie, ob die durch das Übertragen der Formsensitivitäten auf die CAD-Modellparameter vorgeschlagene Richtung korrekt ist. Weiterhin wurden Indikationen zu den Möglichkeiten der gleichzeitigen Betrachtung mehrerer (möglicherweise entgegengesetzter) Zielfunktionen gesucht.

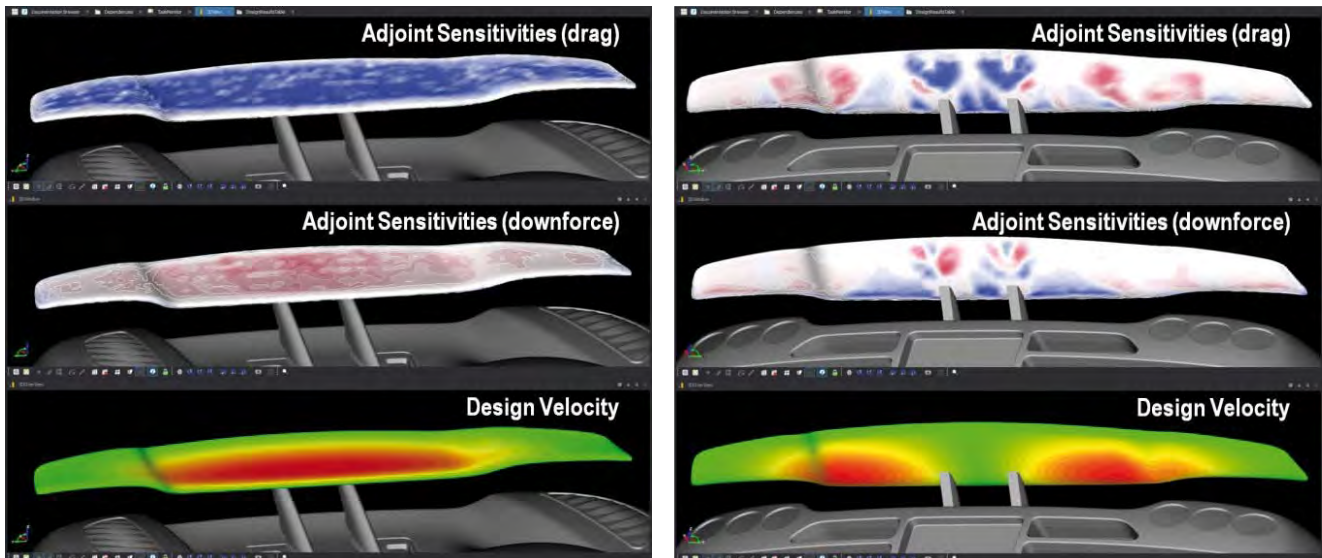


Abb. 5: Ansicht der adjungierten Formsensitivitäten auf dem Flügel mit exemplarischen Design Velocities für zwei verschiedene Parameter

4.2 Hydrodynamik: Schiffsrumpf

Ziel der nächsten Studie war es, die Methodik ein Schritt weiter zu führen und den Entwurf über den ersten Variationsschritt hinweg weiterzuentwickeln. Beim Objekt der Studie handelte es sich um einen Bulk-Carrier mit einer Länge über Alles von 180m (LPP 172m), einer Breite von 30m und einem Tiefgang von 9,5m. Das Schiff wurde unter Eigenpropulsionsbedingungen und bei einer Modell-Reynoldszahl von $Re=1.8e8$ mit dem Finite-Volumen Navier-Stokes-Löser *AdFrèSCo+* [3,4,5] simuliert. Ein iteratives Bodyforce-Modell sorgte für die Anpassung des Propellerschubs an den Gesamtwiderstand, inklusive der Wechselwirkung zwischen Rumpf und Propeller. Das $k-\Omega$ -MSST Turbulenzmodell wurde mit high-Re Wandrandbedingungen eingesetzt. Das adjungierte Framework ist auf die Impuls- und Druckgleichungen beschränkt und folgt damit dem wohlbekannten „frozen Turbulence“ Ansatz. Das Rechengitter bestand aus 1,6M Hexaederzellen und war um das Hinterschiff und im Bereich des Propellers lokal verfeinert, wo auch die primalen und adjungierten Propellerkräfte angesetzt und die Zielfunktion evaluiert wurde. Die auf diesen Testfall angesetzte Optimierung hatte das Ziel die Betriebsbedingungen für den Propeller zu verbessern, mit dem Fokus auf der Homogenität der axialen Anströmung in der Propellerkreisscheibe. Die Motivation dabei ist es die mit den variierenden axialen Anströmbedingungen verbundene Variation der lokalen Anströmwinkel über eine Propellerumdrehung zu reduzieren, da diese zu Geräusch- und Vibrationsausbildung führen und Kavitation verursachen kann. Details zu der Zielfunktion und deren Auswertung sind in [6] zu finden.

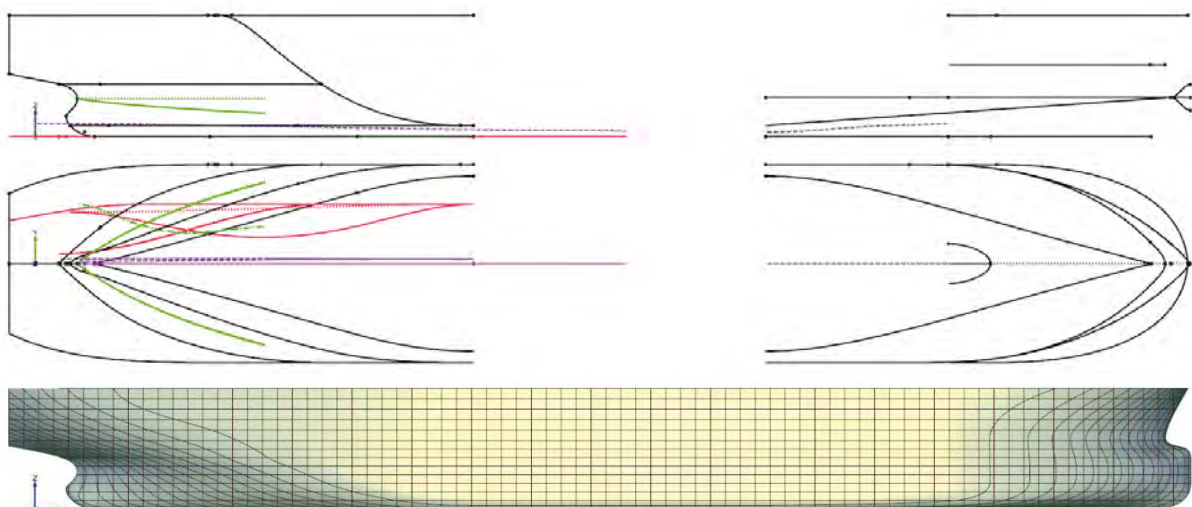


Abb. 6: Längskurven (oben) und Oberfläche (unten) des Bulk Carrier Rumpfes

Das Geometriemodell (siehe Abb. 6) war wieder auf der zuvor dargestellten *Metasurface* Technologie basiert. Die Form des Rumpfes ließ sich über einen Satz von etwa 50 Parametern kontrollieren, von denen manche globalen Einfluss haben (Länge, Breite, usw.), während andere wiederum lokale Änderungen der Geometrie zur Folge haben, wie z.B. der lokale Spantcharakter. Ein STL-basiertes, diskretisiertes Oberflächenmodell des gesamten Rechengebietes wurde an den *HEXPRESS* Gittergenerator exportiert. Dem primal/adjungierten Lösungsprozess folgend, wurde das CAD-Modell aktualisiert und das neue Rechengebiet wurde mit vergleichbarer Qualität vergittert.

Als erster Schritt wurden die primale und adjungierte Lösung für die initiale Geometrie berechnet. Die Auswertung der Zielfunktion für diese Startgeometrie ergab einen Wert von 0,751. Das adjungierte Sensitivitätsfeld auf der Rumpfoberfläche ist in Abb. 7 dargestellt, wo es der Design Velocity für einen der Optimierungsparameter gegenübergestellt ist. Insgesamt wurden für die Optimierung 12 Parameter eingesetzt, was alle Parameter einschloss, die einen Einfluss auf die Form des Skegs (Teil des Rumpfes direkt vor dem Propeller) haben. Die Parameter wurden der in Abschnitt 3 dargestellten Sensitivitätsanalyse ausgesetzt. Eine exemplarische Tabelle mit den Parametersensitivitäten für einen der Optimierungsschritte ist in Abb. 8 dargestellt.

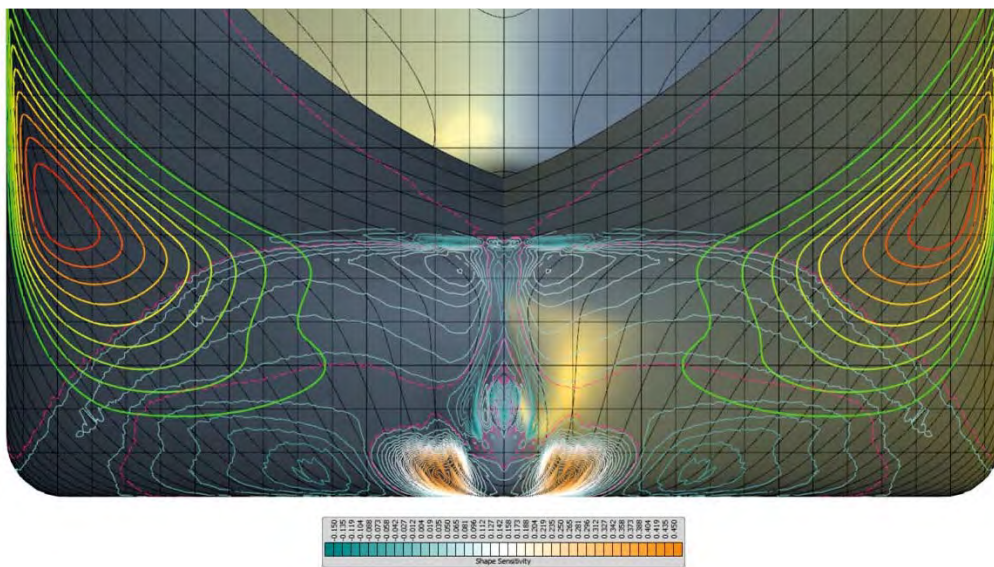


Abb. 7: Ansicht des Hinterschiffs mit geplotteter adjungierter Formsensitivität (Petrol nach Orange, gestrichelte pinkle Linie repräsentiert Formsensitivität gleich 0) und Design Velocity (Blau nach Rot, Farbbereich Grün nach Rot repräsentiert positive Werte) für einen Parameter mit niedriger parametrischer Sensitivität

vers2_mod1: Sensivities		
	Sensitivity	Variation Delta
CPCFullnessPart4_norm	0.779167	0.0001
WL2FullnessFwd_norm	0.77508	0.0001
diagAngle_norm	0.261984	0.0001
diagFullness_norm	3.38109	0.0001
diagTanAft_norm	1.5776	0.0001
xAftBase_norm	-16.7834	0.0001
xRelWL2Int_norm	-0.370241	0.0001
xWL1IntAft_norm	-20.7753	0.0001
xWL1IntFwd_norm	-1.36425	0.0001
yRelWL2Int_norm	0.496294	0.0001
yWL1IntAft_norm	12.3389	0.0001
yWL1IntFwd_norm	2.22798	0.0001

Abb. 8: Parametrische Sensitivitäten

Um die nächste Geometrievariante zu erhalten, wurde in einem manuellen Prozess die parametrische Sensitivität für jeden Parameter mit einer gemeinsamen Schrittweite multipliziert und auf den momentanen Parameterwert aufaddiert. Die Schrittweite wurde so gewählt, dass sich eine maximale Verschiebung der Rumpfoberfläche von 10cm ergab. Dieses Vorgehen wurde iterativ 5mal wiederholt und resultierte in einer schrittweisen Verbesserung der Zielfunktion bis zu einem Wert von 0,753 (siehe Abb. 9). Da in dieser Studie nur die Skeg-Parameter berücksichtigt wurden, und die finale Gesamtänderung der Geometrie relativ groß war, wurde der Rumpfbereich oberhalb des Skegs anschließend manuell angepasst ("gestrakt", hier über die Anpassung von 2 Parameterwerten), um besser zu dem signifikant schmaleren Skeg zu passen. Dies resultierte in einer weiteren, überraschend großen, Verbesserung der Zielfunktion auf einen Wert von 0,761.

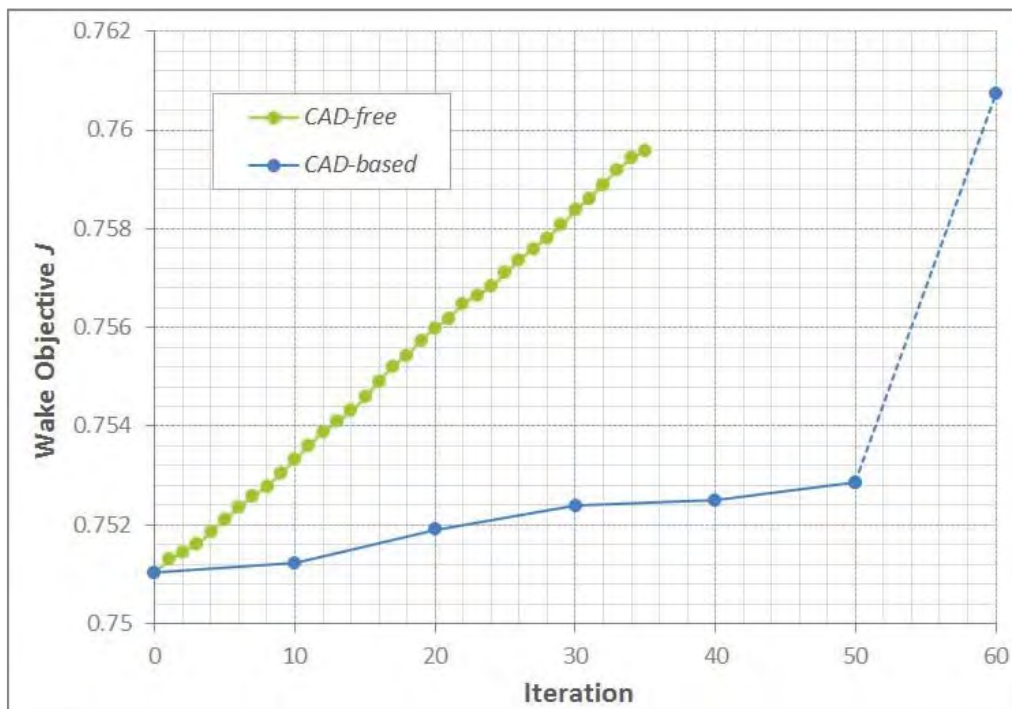


Abb. 9: Fortschrittsverlauf für CAD-basierte (um Faktor 10 gestreckt) und CAD-freie Optimierung

Für Validierungszwecke wurde die gleiche Hinterschiffsoptimierung mit einem CAD-freien Ansatz, der ebenfalls in *AdFreSCo+* zur Verfügung steht, durchgeführt. Die Prozedur beinhaltet Module für die Glättung der rohen Sensitivitäten, die Bestimmung eines symmetriekonformen Oberflächendeformationsfeldes, die Superposition von geometrischen Randbedingungen und eine PDE-basierte Methode für die Berechnung der Verzerrung des Volumengitters. Ein automatisierter Optimierungsprozess adaptiert die Form des Entwurfsobjekts in einer Sequenz von sukzessiven Ausführungen des primalen und adjungierten Strömungslösers. Für Details zu der eingesetzten Methode siehe [7]. Da die Deformation der Oberfläche bei diesem Ansatz streng der adjungierten Formsensitivität folgt (abgesehen von leichten lokalen Abweichungen aufgrund der Glättung/Filterung), liefern diese Ergebnisse wertvolle Informationen, um zu bewerten, ob das Übertragen der Sensitivität auf die Formparameter genug Information zu den Modifikationen des parametrischen Modells durchreicht.

Die CAD-freie Optimierungsstudie wurde von demselben primalen Referenzfall gestartet, der auch für die CAD-basierte Optimierungsstudie verwendet wurde. Die maximale Normalverschiebung der Modelloberfläche pro Optimierungsschritt wurde auf eine absolute Schrittweite von 1cm beschränkt, was eine Größenordnung kleiner als bei dem CAD-basierten Ansatz war. Die Deformation wurde auf das Hinterschiff eingeschränkt. Zusätzliche Nebenbedingungen sorgten für das Einhalten der maximalen Breite und des Tiefgangs des Rumpfes, sowie für das konstant halten der Geometrie in der Nähe der Propellerwelle. In 35 Optimierungsschritten konnte die Zielfunktion monoton von 0,751 auf 0,760 verbessert werden (siehe Abb. 9).

Abb. 9 zeigt den Vergleich des Optimierungsprozesses zwischen CAD-basiertem und CAD-freiem Ansatz. Die Zielfunktionswerte für den CAD-basierten Ansatz sind in Abszissenintervallen von 10 aufgetragen, um die 10fach größere Verschiebung der Modelloberfläche, im Vergleich zu dem CAD-freien Ansatz, zu

berücksichtigen. In dieser Darstellung kann man deutlich erkennen, dass, innerhalb des gleichen Deformationsumfangs (aber hier in mehr Iterationen) der CAD-freie Ansatz zu einer größeren Verbesserung der Zielfunktion führt. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen, dass dieser, durch die Entkopplung von der Parametrisierung des Modells, den Formsensitivitäten exakter folgen kann. Darüber hinaus war der Einflussbereich, durch die Anwendung auf das gesamte Hinterschiff, größer als bei dem CAD-basierten Ansatz, der lediglich auf den Skeg-Bereich beschränkt war. Es kann mit diesen Ergebnissen jedoch gezeigt werden, dass der Transfer der adjungierten Formsensitivitäten auf die CAD-Modellparameter gut funktioniert hat und die Zielfunktion innerhalb eines iterativen Prozesses kontinuierlich verbessert werden konnte, bei gleichzeitiger Vereinfachung des Transfers der Geometrie in den nachfolgenden CAD-Prozess.

4.3 Innenströmung: Rohr

Die letzte hier vorgestellte Studie hatte das Ziel noch einen Schritt weiter zu gehen, d.h. den iterativen Geometrievariationsprozess zu automatisieren. Das Open-Source Optimierungstoolkit *DAKOTA* [8] von den Sandia National Laboratories, welches in *CAESES* über eine direkte Schnittstelle integriert ist, lieferte eine Optimierungsstrategie, die Gradienteninformation als direkten Input verwenden kann (konjugierte Gradientenmethode). Basierend auf dieser Information wählt der Algorithmus die Parameterkombination für die nächste Variante, welche von *CAESES* erzeugt und von dem adjungierten Strömungslöser analysiert wird (siehe Prozessdiagramm in Abb. 10).

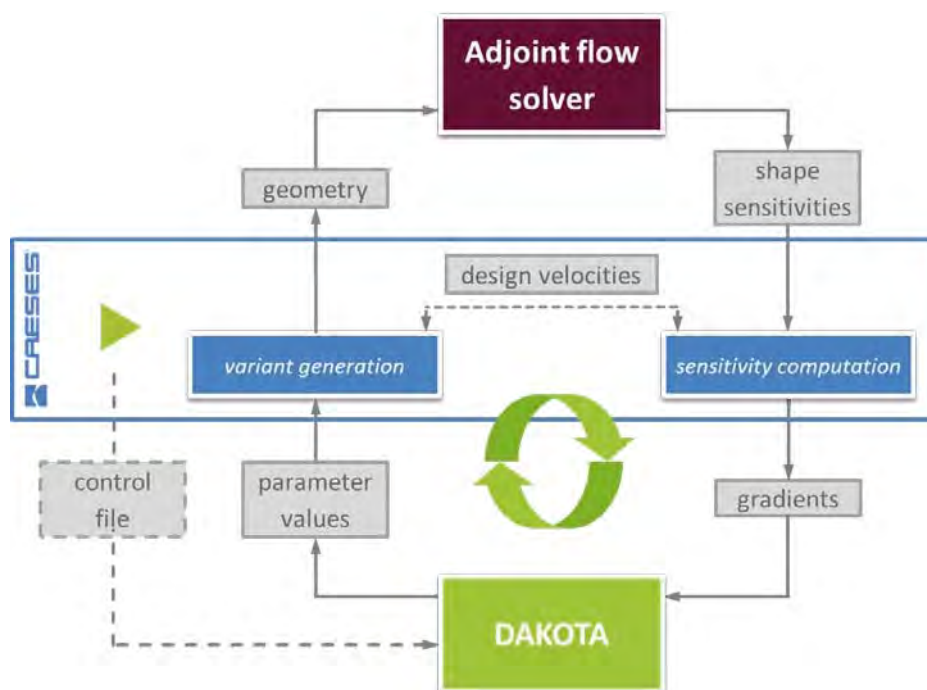


Abb. 10: Prozessdiagramm für die automatisierte Optimierung unter Verwendung der Gradienteninformation aus der adjungierten Analyse

Die in diesem Beispiel betrachtete Geometrie war ein einfaches fiktives Rohr mit einer 90-Grad-Umlenkung, das eine Komponente aus einem Verbrennungsmotor darstellen könnte (siehe Abb. 11). Ein- und Auslass waren bezüglich Position, Form und Ausrichtung fixiert, während die Geometrie dazwischen frei variiert werden konnte. Wie in den vorangegangenen Beispielen wurde das Rohr als eine *Metasurface* in Strömungsrichtung modelliert, mit 13 definierenden Parametern, die die Formen des Pfades und des Querschnitts kontrollieren. Die Geometrie wurde an die Gittergenerierung in Form eines „kolorierten“ STEP-Files übergeben, welches den Transfer der Patch-Namen erlaubt.

In diesem Beispiel kam zur Lösung der primalen und adjungierten Strömungsgleichungen für jede Variante der kommerzielle Strömungslöser *STAR-CCM+* zum Einsatz. Das Fluid war Luft mit einer Einlassgeschwindigkeit von 50m/s, was einer üblichen Gasgeschwindigkeit in Motorenkomponenten entspricht. Die Rechenzeit, inklusive der Gittergenerierung mit ca. 33.000 Zellen, betrug in etwa 6 Minuten. Die auf der Modelloberfläche vorliegenden Formsensitivitäten wurden von *STAR-CCM+* im Anschluss an die adjungierte Rechnung berechnet

und im *Enight Gold* Format exportiert, um sie in *CAESES* einlesen zu können. Innerhalb von *CAESES* wurden die *STAR-CCM+*-Rechnungen über *Java-Macros* gestartet und kontrolliert. Der Druckverlust zwischen Ein- und Auslass wurde als Zielfunktion verwendet.



Abb. 11: Geometriemodell des Rohrs

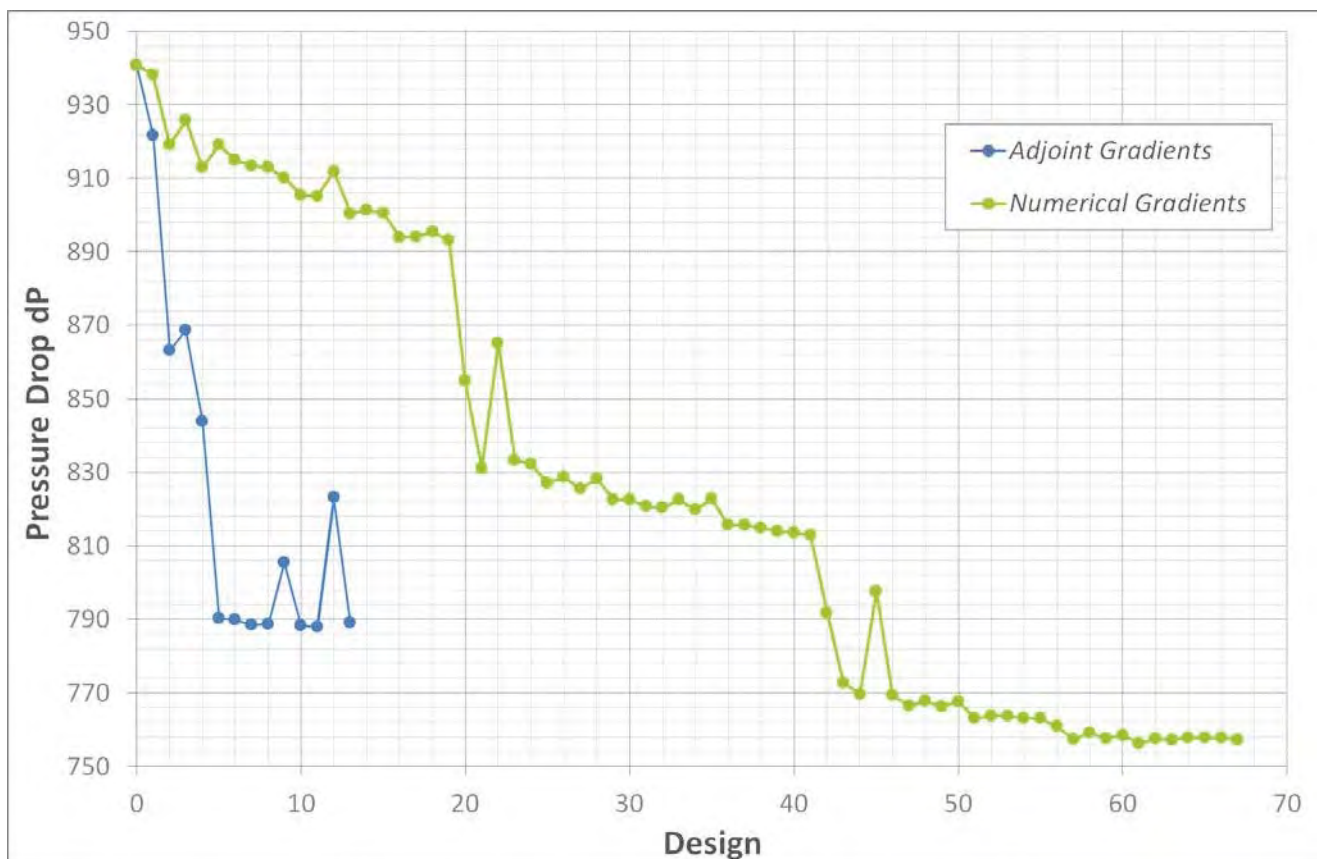


Abb. 12: Konvergenzverlauf des Druckverlusts für Optimierung mit und ohne Gradienten aus der adjungierten Analyse

Im Verlauf der automatisierten Optimierung wurden 13 Varianten untersucht, wobei ein lokales Minimum mit einer Verbesserung der Zielfunktion von ca. 16%, nach einem sehr schnellen Abstieg, bereits bei der 5. Variante gefunden wurde und daraufhin keine nennenswerte Verbesserung mehr erfolgte (siehe Abb. 12). Zum Vergleich wurde eine konventionelle Optimierung mit einem TSearch-Algorithmus durchgeführt. Diese führte zwar zu einem etwas besseren lokalen Minimum (ca. 20% Verbesserung), benötigte allerdings wesentlich mehr Varianten und damit Funktionsauswertungen (67 neue Varianten). Es fallen insbesondere die kleinen Schritte in den Explorationsphasen des Algorithmus auf, die zur numerischen Bestimmung der lokalen Gradientenrichtung

nötig sind. Dieser Schritt entfällt natürlich bei Verwendung der Gradienten aus der adjungierten Analyse, was ausschlaggebend für das Zeitsparpotential ist.

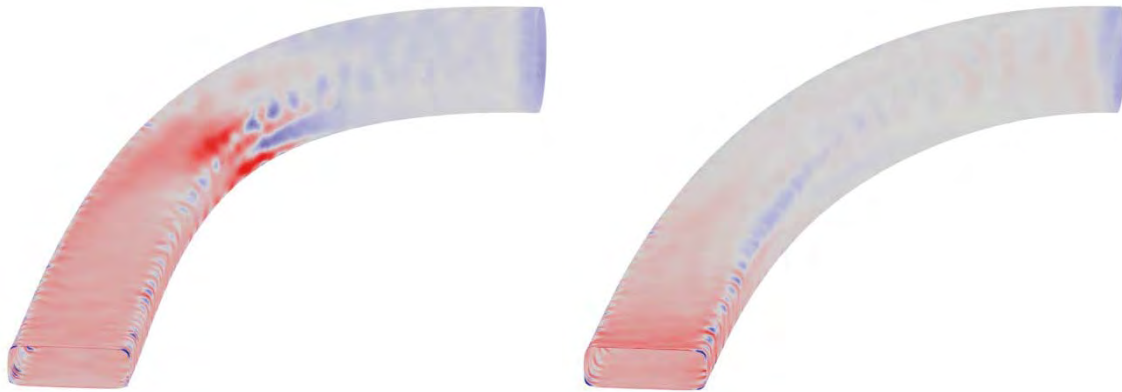


Abb. 13: Formsensitivitäten für die initiale (links) und optimierte Geometrie (rechts)

Die Konvergenz des Entwurfes lässt sich auch sehr gut in den Unterschieden des Formsensitivitätsfeldes auf der Modelloberfläche zwischen der initialen und optimierten Geometrie erkennen (siehe Abb. 13). Die Formsensitivität wurde in den Bereichen der Geometrie, die frei verformt werden konnten, erheblich reduziert und lag am Ende der Optimierung bei annähernd 0. Die Sensitivität in den Bereichen nahe den Auslässen, die aufgrund der Einschränkungen nicht verformt werden konnten, ist dagegen weitestgehend unverändert.

5 Fazit

Abschließend kann festgestellt werden, dass sich durch die Anwendung von adjungierten CFD-Methoden und das Übertragen der Sensitivitäten auf die CAD-Modellparameter der größtmögliche Entwurfsraum betrachtet werden kann. Alle Parameter des Modells lassen sich in die Optimierung einbeziehen, ohne eine Vorauswahl treffen zu müssen. Dabei skaliert der Aufwand nicht mit der Anzahl der Parameter. Die Sensitivitäten aller Parameter des Modells können sogar schneller bestimmt werden als für eine Untermenge mit dem direkten Ansatz.

Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die auf den Sensitivitäten basierenden Voraussagen nur für kleine (im strengen mathematischen Sinne infinitesimale) Änderungen der Geometrie gültig sind, und dass das Verwenden dieser Informationen in einer Optimierung ein lokales Verfahren ist. Man wird in der Praxis also iterativ vorgehen und, mit einer sinnvollen Schrittweite, in mehreren Schritten neue Sensitivitäten für die jeweilige modifizierte Geometrie berechnen müssen. Ist das Ziel darüber hinaus das Auffinden eines globalen Optimums, ist es möglicherweise sinnvoll der eigentlichen Optimierung eine Exploration (DoE) vorzuschalten, um den weiteren Entwurfsraum abzusuchen. Dies führt zusammen zu der Schlussfolgerung, dass der adjungierte Optimierungsansatz insbesondere bei hochdimensionalen Entwurfsräumen sinnvoll und effizient ist, wo nur begrenzte Änderungen der Geometrie erwünscht sind (Fine-Tuning des Entwurfs für optimale Performance).

6 Danksagung

Große Teile der hier präsentierten Arbeit wurden in dem Forschungs- und Entwicklungsprojekt No-Welle (FKZ 03SX362) realisiert, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

7 Literatur

- [1] Harries, S.: "Investigating Multi-dimensional Design Spaces Using First Principle Methods", 7th International Conference on High-Performance Marine Vehicles (HIPER 2010), Melbourne, Florida, USA, 2010.
- [2] Brenner, M., Abt, C. and Harries, S.: "Feature Modelling and Simulation-driven Design for Faster Processes and Greener Products", International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCAS 2009), Shanghai, China, 2009.
- [3] Brenner, M., Harries, S., Kröger, J., Rung, T.: "Parametric Adjoint Approach for the Efficient Optimization of Flow-Exposed Geometries", 6th International Conference on Computational Methods in Marine Engineering (MARINE 2015), Rome, Italy, 2015.
- [4] Rung, T., Wöckner, K., Manzke, M., Brunswig, J., Stück, A. and Ulrich, C.: "Challenges and Perspectives for Maritime CFD Applications", Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft (2009) 103, pp.127-139.
- [5] Stück, A.: "Adjoint Navier-Stokes Methods for Hydrodynamic Shape Optimisation", PhD thesis, Hamburg University of Technology, 2012.
- [6] Stück, A., Kröger, J. and Rung, T.: "Adjoint-based Hull Design for Wake Optimisation", Ship Technology Research (2011) 58(1), pp. 34-44.
- [7] Kröger, J. and Rung, T.: "CAD-free Hydrodynamic Optimisation Using Consistent Kernel-based Sensitivity Filtering", Ship Technology Research (2015) 63(3), pp. 111-130.
- [8] Adams, B.M., Bohnhoff, W.J., Dalbey, K.R., Eddy, J.P., Ebeida, M.S., Eldred, M.S., Hough, P.D., Hu, K.T., Jakeman, J.D., Maupin, K.A., Monschke, J.A., Ridgway, E.M., Rushdi, A., Swiler, L.P., Stephens, J.A., Vigil, D.M., and Wildey, T.M.: "Dakota, a multilevel parallel object-oriented framework for design optimization, parameter estimation, uncertainty quantification, and sensitivity analysis: Version 6.4 developers manual", Technical Report SAND2014-5014, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, USA, 2016.

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

Adresse für Fensterkuvert



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

Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (2/2017)

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. 2017 |

Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.

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

Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:

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

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

Absender

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____

Bitte senden Sie das NAFEMS Magazin auch an:

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____

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

Adresse für Fensterkuvert



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

Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (2/2017)

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. 2017 |

Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.

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

Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:

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

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

Absender

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____

Bitte senden Sie das NAFEMS Magazin auch an:

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____



Online-Magazin

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

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

www.nafems.org/magazin

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

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

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

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



www.nafems.org