



# Online-Magazin

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

### FACHBEITRÄGE

**Additive Fertigung**  
Untersuchung der thermomechanischen Eigenschaften von additiv gefertigtem IN718 mit Hilfe von Mikrostruktursimulationen

**Aerodynamik**  
Diskret-adjungierter aerodynamischer Form-optimierungsprozess am Beispiel eines getrimmten Transportflugzeugs mit aktivem Triebwerk

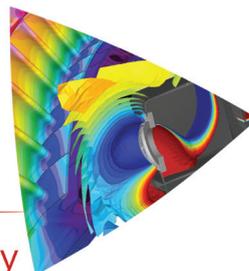
**Crash**  
Validierung eines Crashbox-Modells unter Berücksichtigung der Informationen aus der Bauteil- und Materialcharakterisierung

### CALL FOR PAPERS

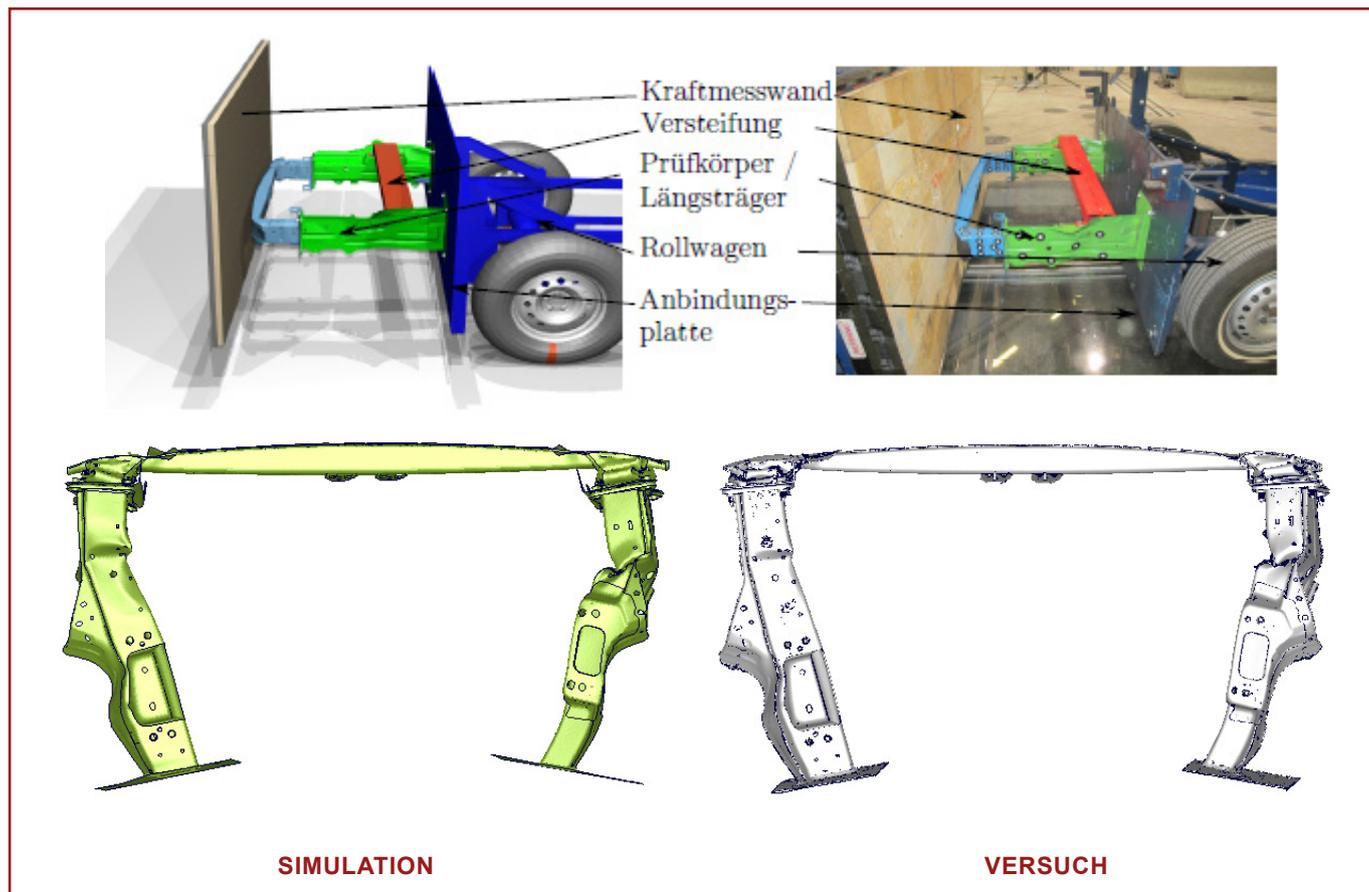
## NAFEMS 18 DACH Conference

Berechnung und Simulation:  
Anwendungen, Entwicklungen, Trends

14-16 May, Bamberg, Germany



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



Kraftmesswand  
Versteifung  
Prüfkörper / Längsträger  
Rollwagen  
Anbindungsplatte

**SIMULATION** **VERSUCH**

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

Sponsoren dieser Ausgabe:



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

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

die numerische Simulation lässt sich prinzipiell in vier Schritte unterteilen. Am Anfang steht immer eine Modellbildung. Das Modell sollte nur so detailliert wie nötig sein, dabei aber die gewünschten Aussagen ermöglichen. Als Nächstes muss das Modell dann in eine numerische Formulierung umgesetzt werden. Dafür stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung, die zum Teil auf häufig gewählte Modelle abgestimmt sind. Im dritten Schritt müssen die numerischen Gleichungen gelöst werden. Die Löser richten sich nach der Charakteristik der Gleichungssysteme. Schließlich müssen dann noch die Ergebnisse dargestellt und interpretiert werden. Innerhalb aller dieser Schritte, aber auch über den gesamten Prozess hinweg, können Iterationen nötig werden. Ganz entscheidend ist die geeignete Wahl des Modells; davon hängt der Erfolg wesentlich ab. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass es besonders für diesen Schritt viele interessante Vorschläge gibt. Insbesondere werden immer mehr Aspekte in die Modellbildung einbezogen, damit die Simulation der Realität näher kommt.

Das gilt besonders für Methoden der Additiven Fertigung, auch unter den Begriffen Rapid Prototyping oder 3-D-Druck bekannt. Sie haben sich erstaunlich schnell von Anwendungen in Einzelfällen zu einem breit gefächerten Spektrum mit vielen Möglichkeiten entwickelt. Im März dieses Jahres fand in Wiesbaden ein NAFEMS-Seminar zu diesem Thema statt. Ziel war es herauszuarbeiten, wie mit Simulationen die Fertigungsverfahren unterstützt werden können, um sie effektiver einzusetzen. Auf dem NAFEMS World Congress, der im Juni in Stockholm stattfand, wurden sogar in fünf Sitzungen Möglichkeiten und Lösungsansätze zur Simulation der additiven Fertigung dargelegt, ein deutlicher Hinweis auf die Aktualität des Problems. Es zeigte sich, dass die Modelle auf die jeweils anstehenden Anwendungen abgestimmt sein müssen.

Auch der erste Fachbeitrag in diesem Heft behandelt ein Thema aus dem Bereich der Additiven Fertigung. Es geht darin um die thermomechanischen Eigenschaften von Werkstücken aus der hitze- und korrosionsbeständigen Nickel-Legierung IN718, die aus dem Pulverbett durch selektives Elektronenstrahlschmelzen hergestellt sind. Der zweite Beitrag behandelt die CFD-basierte Formoptimierung im aerodynamischen Flugzeugentwurf. Dazu wird eine adjungiertbasierte Prozesskette für eingetrimmte Flugzeugkonfigurationen unter Berücksichtigung aktiver Triebwerke aufgebaut, mit der größere Widerstandsreduktionen erzielt werden. Im dritten Beitrag wird gezeigt, dass Informationen aus der Bauteil- und Materialcharakterisierung erfolgreich eingesetzt werden können, um die Vorhersagegenauigkeit von Crash-Simulationen für Fahrzeuge wesentlich zu steigern.

Ich hoffe und wünsche, dass in diesem Strauß unterschiedlichster Anwendungen der numerischen Simulation für Sie etwas Interessantes dabei ist.

Mit freundlichen Grüßen

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



*Prof. Dr.-Ing.  
Klaus Rohwer*

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



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



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



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



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



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



[www.math2market.de](http://www.math2market.de)



[www.mssoftware.com](http://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)
- M. Felice (Ford, USA)
- G. Miccoli (Imamoter, I)
- M. Moatamedi (University of Narvik, N)
- S. Morrison (Lusas, UK)
- P. Newton (GBE, UK)
- M.-C. Oghly (Micado, F)
- A. Ptchelintsev (formerly Nokia, FI)
- A. Puri (Selex Sensors & Airborne Systems, UK)
- J. Wood (formerly Strathclyde University, UK)

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

- W. Dirschmid (CAE Consulting), Chair
- 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

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

## Werden auch Sie – 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](http://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 .....6

Seminare - Vortragsprogramme:

Simulation Driven Engineering.....7 - 9

CFD-Methoden zur Simulation des  
Wärmeübertragungsverhaltens.....10 - 11

**NAFEMS DACH Regionalkonferenz 2018**.....12 - 13

**NAFEMS Trainings**

Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation.....14

Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung .....15

Verification and Validation in Engineering Simulation .....16 - 17

Simulation und Analyse von Composites .....18

Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis.....19

**VMAP Projekt**.....20 - 21

**Stellenanzeige:** VolumeGraphics .....23

**Literatur**

Invitation 2 Tender .....24 - 25

Internationale NAFEMS Zeitschrift „Benchmark“ .....26

**NAFEMS Regionen: Nordic** .....

Seminar: Increase the Confidence in Numerical Simulation .....27

**Neuigkeiten** .....28 - 50

Veranstaltungskalender.....51

**Fachbeiträge**

**Additive Fertigung**

**Untersuchung der thermomechanischen Eigenschaften von  
additiv gefertigtem IN718 mit Hilfe von Mikrostruktur-  
simulationen**

M. Baiker, J. Pagenkopf, D. Helm (Fraunhofer IWM).....52 - 58

**Aerodynamik**

**Diskret-adjungierter aerodynamischer Formoptimierungs-  
prozess am Beispiel eines getrimmten Transportflugzeugs  
mit aktivem Triebwerk**

A. Merle, A. Stück, A. Rempke (Deutsches Zentrum für  
Luft- und Raumfahrt (DLR)) .....59 - 69

**Crash**

**Validierung eines Crashbox-Modells unter Berücksichtigung der  
Informationen aus der Bauteil- und Materialcharakterisierung**

P. Wellkamp (Volkswagen); M. Meywerk (Univ. Hamburg) .....70 - 77

**Werbeanzeigen**

Dassault Simulia.....35

DYNAmore .....37

esocaet.....31

ISKO engineers .....33

NAFEMS Mitgliedschaft.....22

**Rückmeldeformulare**.....78 - 79

## Konferenzen und Seminare

Konferenz-/Seminartitel	Termin	Ort
Simulation Driven Engineering <a href="http://www.nafems.org/sde17">www.nafems.org/sde17</a>	20. - 21. Nov.	Neuendettelsau
CFD-Methoden zur Simulation des Wärmeübertragungsverhaltens <a href="http://www.nafems.org/cfd17">www.nafems.org/cfd17</a>	22. - 23. Nov.	Neuendettelsau
Deutschsprachige NAFEMS Regionalkonferenz 2018 <a href="http://www.nafems.org/2018/dach">www.nafems.org/2018/dach</a>	14. - 16. Mai	Bamberg

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

## Schulungen

Schulungstitel	Termin	Ort	Teilnahmegebühr
Verification and Validation in Engineering Simulation <a href="http://www.nafems.org/events/nafems/2017/vandv3">www.nafems.org/events/nafems/2017/vandv3</a>	15. - 16. Nov.	Wiesbaden	1.950 / 1.560 <sup>1)</sup>
Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation	Feb. 2018	tba	1.490 / 1.100 <sup>1)</sup>
CFD Analysis: Theory and Applications	auf Anfrage / Inhouse		
Non-Linear Finite Element Analysis	auf Anfrage / Inhouse		
Simulation und Analyse von Composites	auf Anfrage / Inhouse		

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

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

## e-Learning Kurse

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

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

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



# CAEJobsite.com

The NAFEMS online jobsite for CAE Engineers



NAFEMS Member?  
Advertise for FREE!

RECENT JOBS
CREATE JOB ADVERT
SEARCH JOB ADVERTS
NAFEMS HOME

---

### Welcome to CAEJobsite.com

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

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

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

#### RECRUITERS

**List your vacancy here to reach thousands of CAE engineers.**

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

[>>> Click here to get started](#)

#### Agencies

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

## Einladung und Vortragsprogramm: NAFEMS Seminar

# Simulation Driven Engineering

20. - 21. November 2017

Neuendettelsau (bei Nürnberg)

### Einladung

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 Konstruktions-schritte 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 auf Ihre Teilnahme.

NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH

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

### Organisation

#### Veranstaltungsort / Zimmer

Hotel Sonne, Hauptstraße 43,  
D-91564 Neuendettelsau (Nürnberg)

Telefon +49 98 74 / 50 80

Fax +49 98 74 / 50 8-18

info@landhotel-sonne.com

www.landhotel-sonne.com

Im Tagungshotel haben wir Zimmer für Tagungsteilnehmer zu vergünstigten Preisen optioniert. Bitte buchen Sie diese selbst unter dem Stichwort „NAFEMS“.

#### Fachausstellung und Sponsoring

Ausstellungsfläche: 600,- Euro

Bitte fordern Sie Informationen zum Sponsoring an.

#### Teilnahmegebühr

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,-. Vortragende entrichten die reguläre Teilnahmegebühr. Die Teilnahmegebühr beinhaltet Kaffeepausen an beiden Tagen, das Get-together am 20. Nov. und das Mittagessen am 21. Nov. Das Hotelzimmer ist nicht in der Teilnahmegebühr enthalten.

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

Alle Preise jeweils zzgl. ges. MwSt.

### Informationen und Anmeldung

[www.nafems.org/sde17](http://www.nafems.org/sde17)

**VORTRAGSPROGRAMM, MONTAG, 20. NOVEMBER**

**SESSION 1 A**

- 13:30 **Begrüßung und NAFEMS Einführung**  
E. Niederauer (Siemens PLM Software, Mitglied des NAFEMS Steering Committees für Deutschland, Österreich und der Schweiz); T. Morris (NAFEMS)
- 13:40 **Simulation Driven Engineering at the Example of the New Opel Insignia**  
J. Siegmann (Opel Automobile)
- 14:20 **Sponsor-Vortrag:**  
**SPDM Solutions for Effective CAE Processes**  
A. Fassas (BETA CAE Systems)
- 14:30 **Sponsor-Vortrag:**  
**CAESES: Robuste variable Geometrie für den simulationsgetriebenen Entwurf**  
M. Brenner (Friendship Systems)
- 14:40 Pause

**SESSION 2 A**

- 15:25 **Design Driven Simulation**  
S. Starost (Brose Fahrzeugteile)
- 16:00 **Modellbasierte Entwicklung als dynamisches Verhalten eines Column Drive Lenksystems**  
D. Munoz (ZF TRW)
- 16:25 **Sponsor-Vortrag:**  
**Simcenter und der Digitale Zwilling**  
E. Niederauer (Siemens PLM Software)
- 16:35 Pause

**SESSION 3 A**

- 17:20 **Ultra schnelle Produktentwicklung und die Notwendigkeit von Simulationen in der Formula Student**  
M. Goebel, C. Reichelt (Hochschule Aalen)
- 17:45 **Simulation und Optimierung von Flugzeugkabinen**  
M. Munoz-Sanchez (Diehl Aircabin)
- 18:10 **Automation of Structural Optimization for an Easy and Error-Free Process Chain**  
K. Deese, J. Glamsch, F. Rieg (Universität Bayreuth)

**GET-TOGETHER IN DER AUSSTELLUNG**

- 18:35 Imbiß und Getränke in der Ausstellung gesponsort von



- 20:00 Ende des ersten Seminartages

Programmänderungen vorbehalten.  
\* Vorbehaltlich finaler Genehmigung.

## VORTRAGSPROGRAMM, DIENSTAG, 21. NOVEMBER

## SESSION 4 A

- 08:30 Democratization of Simulation in the Design Engineering of Gear Boxes  
S. Donders, T. Tamarozzi, P. Jiranek, D. Park, M. Vivet, S. Flock (Siemens Industry Software)
- 08:55 Der Experte hinter dem Bildschirm: Verpacken von Wissen und Erfahrung in maßgefertigte Entwurfsapps  
M. Brenner, S. Harries, C. Abt (Friendship Systems)
- 09:20 SDM Console: A New Approach on Data Management for the CAE Model Building Processes  
A. Fassas (BETA CAE Systems)
- 09:45 Conceptual Engineering in the Automotive Industry  
G. Judex (Dassault Systemes Austria)

10:10 Pause

## SESSION 5 A

- 10:50 Nutzen der frühen Simulation bei konkreten Industrieanwendungen im Mittelstand  
L. Ziegler (Cadfem)
- 11:15 Simulations Apps für bessere Produkte und effizientere Entwickler  
n.n. (Siemens PLM Software)
- 11:40 Product Lifecycle Quality - Key to Zero Defect  
C. F. Töpfer (EnginSoft) \*
- 12:05 Simulation Driven Engineering for Machine Tools  
J. Hamann, H. Klause (Dr. Binde Ingenieure Design & Engineering)

12:30 Mittagspause

## SESSION 6 A

- 13:35 Berechnest Du noch oder optimierst Du schon? – Revolution der Produktauslegung durch sensitivitätsbasierte Formoptimierung  
R. Meske (Federal-Mogul)
- 14:00 Examples of Simulation Driven Engineering in the Aerodynamic Vehicle Development at OPEL  
M. Wolf, U. Falk, D. Lautenschlager (Opel Automobile)
- 14:25 Präzise interaktive 3D Simulationen auf Basis von GPUs  
T. Papadopoulos, S. Gavranovic, P. Stelzig, D. Hartmann (Siemens)
- 14:50 Wrap-Up und Schlußworte  
E. Niederauer (Siemens PLM Software, Mitglied des NAFEMS Steering Committees für Deutschland, Österreich und der Schweiz)
- 15:15 Ende der Veranstaltung

## SESSION 4 B

- Neue Eigenschaften der Total Materia Datenbank für CAE Simulation  
V. Pocajt, K. Nowak (Key to Metals)
- Lattice Structure Design for Additive Manufacturing based on Topology Optimization  
H. Erdelyi, A. Remouchamps, S. Donders, L. Farkas, C. Liefoghe (Siemens Industry Software); T. Craeghs (Materialise); W. Van Paepegem (University of Ghent)
- Simulationsgestützte Entwicklung additiv gefertigter Produkte  
S. Ribeiro-Ayeh (Dassault Systemes)
- Potential of Tailored Fiber Placement Process to Manufacture Topology-Optimized Variable-Axial Composite Structures  
J. H. Santos Almeida (IPF - Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden) \*

## SESSION 5 B

- Topologieoptimierung basierend auf einer quasistatischen Analyse  
N. Wagner, R. Helfrich (Intes)
- Algorithmen für die industrielle Topologie-Optimierung  
U. Wever, H. Erdelyi, M. Herz, E. Lemaire, M. Paffrath (Siemens)
- Konstruktionsbegleitende Berechnung – Effiziente Kommunikation zwischen zwei Welten  
V. Traykov (Igel)
- Simulation Driven Engineering – eine Prozessbeschreibung und Analyse  
M. Gruetzmacher, B. Marovic (Mentor Graphics)

Gold Sponsoren



## Einladung und Vortragsprogramm: NAFEMS Seminar

# CFD-Methoden zur Simulation des Wärmeübertragungsverhaltens

– Kühlung von Bauteilen, Auslegung von Wärmetauschern usw.

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

### Einladung

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 Teilnahme

Ihre NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH

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

### Organisation

#### Veranstaltungsort / Zimmer

Hotel Sonne, Hauptstraße 43,  
D-91564 Neuendettelsau  
(Nürnberg)

Telefon +49 98 74 / 50 80

Fax +49 98 74 / 50 8-18

info@landhotel-sonne.com

www.landhotel-sonne.com

Im Tagungshotel haben wir Zimmer für Tagungsteilnehmer zu vergünstigten Preisen optioniert. Bitte buchen Sie diese selbst unter dem Stichwort „NAFEMS“.

#### Fachausstellung und Sponsoring

Ausstellungsfläche: 600,- Euro

Bitte fordern Sie Informationen zum Sponsoring an.

#### Teilnahmegebühr

Nicht-Mitglieder:

Euro 590,- / Person

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,-. Vortragende entrichten die reguläre Teilnahmegebühr. Die Teilnahmegebühr beinhaltet Kaffeepausen an beiden Tagen, das Get-together am 20. Nov. und das Mittagessen am 21. Nov. Das Hotelzimmer ist nicht in der Teilnahmegebühr enthalten.

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

Alle Preise zzgl. ges. MwSt.

### Informationen und Anmeldung

[www.nafems.org/cfd17](http://www.nafems.org/cfd17)

**VORTRAGSPROGRAMM, MITTWOCH, 22. NOVEMBER**

- 13:30 Begrüßung und technische Einführung  
Mitglieder des NAFEMS CFD Advisory Boards
- 13:40 Keynote-Vortrag:  
Berechnung von Lufttemperaturen im Motorraum eines stehenden Fahrzeugs  
D. Bäder (Audi)
- 14:35 Efficient Numerical Simulation for Surface Structure Design in  
Complex Heat Exchangers  
J. Turnow (Universität Rostock/Silentdynamics); N. Kornev (Universität Rostock)
- 15:00 Kaffeepause
- 15:45 Conjugate Heat Transfer Analysis Of Oil-Free Compressors  
A. Leberfinger, M. Schmid, A. Kuhn, D. Solo (Knorr-Bremse)
- 16:15 Virtuelle Auslegung und Optimierung von komplexen 3D Wärmetauschern  
G. Hartmann (Magma)
- 16:45 Gekoppelte thermische Simulationen in der Automobil-, Turbomaschinen-  
und Mikroelektronikentwicklung  
C. Brodbeck (Fraunhofer SCAI)
- 17:15 Quenchsimulation: Kühlungsprozess von Heißgasen durch Partikelverdunstung  
U. Heck, M. Becker (DHCAE Tools)
- 17:45 Get together in der Ausstellung

**VORTRAGSPROGRAMM, DONNERSTAG, 23. NOVEMBER**

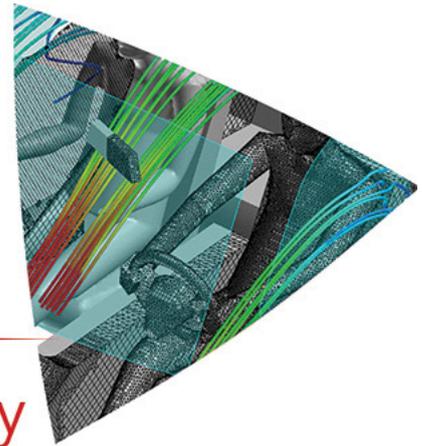
- 08:30 Keynote-Vortrag:  
Designing Innovative Cooling Solutions for High Power Modules using CFD  
K. Olesen (Danfoss)
- 09:15 Keynote-Vortrag:  
Abstimmung von 1D Bauteilmodellen im elektrischen Antriebsstrang mittels  
3D CFD Simulation und deren Anwendung für die Berechnung transienter Fahrzyklen  
C. Rathberger (Magna)
- 10:00 Kaffeepause
- 10:45 Simulation des konjugierten Wärmeübergangs in der Entwicklung von Kühlungs-  
und Belüftungssystemen von Wasserkraftgeneratoren  
A. Walter-Krause (Voith Hydro)
- 11:15 CFD-Simulation der Wärmeübertragung in Leistungselektroniken  
B. Heller (ISKO engineers)
- 11:45 Enhancing CFD Workflows for Heat Transfer Analysis  
H. Kröger (Silentdynamics); N. Kornev (Universität Rostock)
- 12:15 Mittagspause
- 13:15 Verbesserte Modellierung von Wärmeübergang und Wandreibung bei  
hochviskosen Ölen  
M. Schenker (TU Berlin)
- 13:45 Betrachtung der Wärmeübertragung bei der Fertigung von CFK-Bauteilen  
im Autoklaven  
T. Frerich (Faserinstitut FIBRE)
- 14:15 Wrap-up/Diskussion  
Mitglieder des NAFEMS CFD Advisory Boards
- 15:15 Ende der Veranstaltung

Programmänderungen vorbehalten.

# NAFEMS 18

## DACH Conference

Berechnung und Simulation:  
Anwendungen, Entwicklungen, Trends



## 14-16 May, Bamberg, Germany

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



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

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

### Call for Papers

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

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

### Gestalten Sie mit - reichen Sie einen Vortrag ein!

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

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

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

Wir freuen uns auf die Einreichung Ihres Abstracts.

Ihr NAFEMS Lenkungsausschuss für Deutschland, Österreich, Schweiz

**Forum „Additive Manufacturing“**

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

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

Wir freuen uns über Ihre Beiträge.

  
 ADDITIVE FERTIGUNG

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

### Organisation

#### Einreichung von Abstracts

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

**31. Januar 2018.**

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

#### Termin

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

#### Veranstaltungsort / Hotel

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

#### Teilnahmegebühren

Nicht-Mitglieder:  
 Euro 750,— / Person  
 Vortragende aus der Industrie<sup>1)</sup>:  
 frei  
 NAFEMS-Mitglieder:  
 frei\*  
 Proceedings, Mittagessen und Pausengetränke sind in den Teilnahmegebühren enthalten.  
 Übernachtung ist nicht im Preis enthalten.

#### \* Mitgliedsgebühren für Unternehmen/Institute

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

#### Begleitende Ausstellung und Sponsoring

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

#### Tagungssprache

Deutsch (Vorträge in Einzelfällen auch in Englisch)

Alle Preise zzgl. ges. MwSt.

**Medienpartner**

  
 ADDITIVE FERTIGUNG

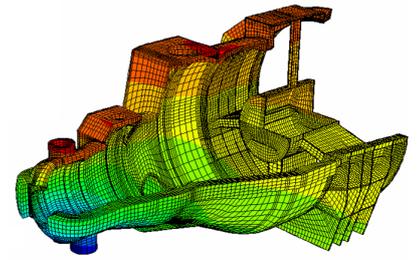


### Informationen und Anmeldung

[www.nafems.org/2018/dach](http://www.nafems.org/2018/dach)

## NAFEMS Schulung

# Praktische Anwendung der FEM und Ergebnisinterpretation



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

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

### Inhalte

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

### Referent



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

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

### Kurssprache

Deutsch

### Inhouse-Kurs

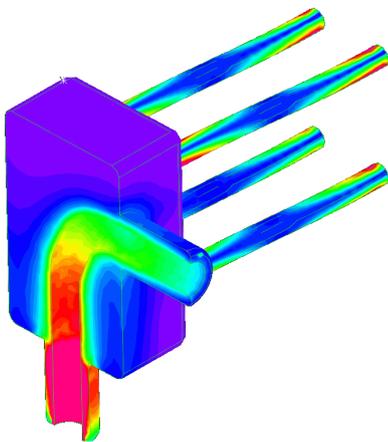
Dieser Kurs wird auch als Inhouse-Kurs bei Ihnen vor Ort angeboten. Bitte fordern Sie nähere Informationen an - Rückmeldeformular auf der vorletzten Seite.

## NAFEMS Schulung

# Strömungssimulation (CFD): Theorie und Anwendung

Auf Anfrage / auch als Inhouse-Schulung buchbar

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



### Inhalte

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

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

### Kurssprache

Englisch / Deutsch, falls nur deutschsprachige Teilnehmer.

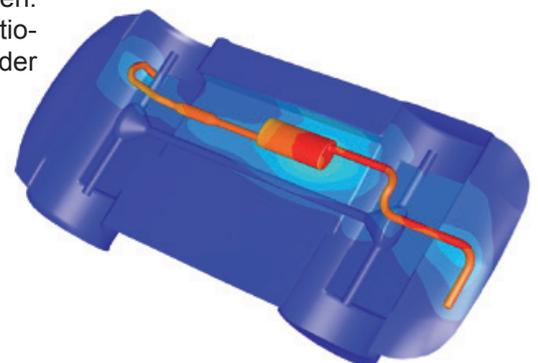
### Inhouse-Kurs

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

### Referent



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



## NAFEMS Schulung

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

15. - 16 November 2017 in Wiesbaden / auch als Inhouse-Schulung buchbar

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

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

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

### The Course

#### Participants of this master class will:

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

### Who Should Attend?

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

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

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

### Program

#### Introduction

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

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

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

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

**V&V and Simulation Management**

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

**Realistic Simulation**

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

**V&V Fundamentals and Standards**

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

**Verification**

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

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

**Uncertainty Quantification**

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

**V&V Implementation Strategies**

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

**Course Language**

Englisch

**Tutors**



Jean-Francois Imbert

*Mr. Imbert has 40 years' experience in Structural Engineering, CAE/numerical simulation, mostly in the aeronautical and aerospace sectors where he has exercised both operational, expert and management responsibilities. Throughout his career, Jean-Francois ensured the development and implementation of innovative numerical simulation capabilities in industrial contexts, mostly in Structure Analysis. In his successive responsibilities, he accumulated a unique and broad experience in simulation management and the multiple features of V&V, including validation tests and analysis /test synergy. Furthermore he has a long practice of engineering education both in academic institutions and professional seminars..*



Philippe Pasquet

*With almost forty years of extensive experience in engineering simulation, Philippe Pasquet has covered the full range of technical responsibility in this domain, both with research institutes and various consulting firms and software houses: development of software, development of methods, advanced studies, team management, scientific and technical management etc. Powered by his passion for pedagogy and simulation technology, he has presented at several conferences and talks at high level towards efficient use and good practices of simulation in the industry, motivating students and engineers for those fascinating engineering simulation jobs..*

**Informationen und Anmeldung**

[www.nafems.org/events/nafevents/2017/vandv3](http://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 langjährige Erfahrung in der Anwendung und Entwicklung von Materialmodellen,*

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

### Kurssprache

Deutsch

### Inhouse-Kurs

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

## NAFEMS Schulung

# Practical Introduction to Non-Linear Finite Element Analysis

Auf Anfrage / auch als Inhouse-Schulung buchbar

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

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

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

### Who Should Attend

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

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

### Technical Content

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

and non-linear FE analysis, Non-linear algorithms and procedures, Difficulties in modelling non-linear problems.

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

### Tutor



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

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

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

### Course Language

English

### Inhouse-Kurs

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

NAFEMS will act as associated partner in the VMAP project and support the activities



Project Profile

# VMAP

## Virtual Material Modelling in Manufacturing

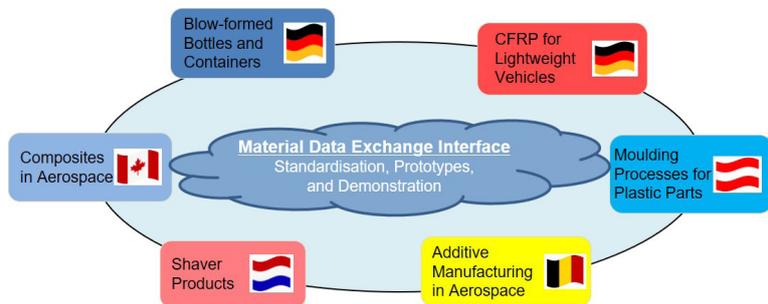
The ITEA VMAP project aims to gain a common understanding of and interoperable definitions for virtual material models in CAE. Using industrial use cases from major material domains and with representative manufacturing processes, new concepts will be created for a universal material exchange interface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

### ADDRESSING THE CHALLENGE

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

### PROPOSED SOLUTIONS

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



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

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

### PROJECTED RESULTS AND IMPACT

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

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

# VMAP



**Netherlands**

- TU Delft (Delft University of Technology)
- DevControl
- In Summa Innovation
- KE-works
- MSC Software
- m2i materials innovation institute
- PHILIPS
- reden (research development roderland)
- university of groningen

**Canada**

- CONVERGENT MANUFACTURING TECHNOLOGIES

**Belgium**

- GEONX
- Stream ENGINEERING

**Switzerland**

- BETA SIMULATION SOLUTIONS
- Sintratec

**Austria**

- 4Q ENGINEERING
- Wittmann Battenfeld

**Germany**

- Audi
- AF-COLOR (Think Masterbatch)
- DYNA MORE
- Dr. Reinhold Hagen Stiftung
- EDAG
- esi (get it right)
- Fraunhofer
- Hagen GmbH engineering
- KIT (Karlsruher Institut für Technologie)
- KAUTEX MASCHINENBAU
- NAFEMS
- RIKUTEC
- BOSCH (Invented for life)
- simcon SUPPLYING SOLUTIONS
- inuTech

<p><b>Project start</b> September 2017</p>	<p><b>Project leader</b> Klaus Wolf, Fraunhofer SCAI</p>	<p><b>Project website</b> <a href="https://itea3.org/project/vmap.html">https://itea3.org/project/vmap.html</a></p>
<p><b>Project end</b> September 2020</p>	<p><b>Project email</b> klaus.wolf@scai.fraunhofer.de</p>	

ITEA is the EUREKA Cluster programme supporting innovative, industry-driven, pre-competitive R&D projects in the area of Software-intensive Systems & Services (SISS). ITEA stimulates projects in an open community of large industry, SMEs, universities, research institutes and user organisations. As ITEA is a EUREKA Cluster, the community is founded in Europe based on the EUREKA principles and is open to participants worldwide.

<https://itea3.org>



## 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.

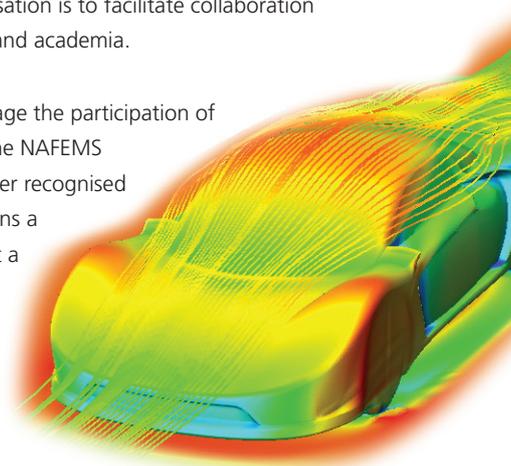
Small Company Membership is tailored to the specific needs of small to medium sized enterprises, and can also be appropriate in areas without a NAFEMS Regional Group.

### 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](http://www.nafems.org/involved)**



Customers love our software.  
You shape its future.

We develop leading software for the analysis and visualization of industrial 3D computer tomography data. As of 2016, more than 70 % of the "Fortune Global 500" companies worldwide in the automotive and electronics industries were using Volume Graphics solutions for quality control, metrology, damage analysis, and product development.

For our offices in Heidelberg, Germany, we are looking for a

## Product Manager (m/f) Structural Mechanics Simulation

---

### Your Tasks

- > Market observation and competitive analyses
- > Independent customer visits to explore user requirements and to generate sales leads
- > Support of the sales teams in customer visits and projects
- > Generation of product ideas and product roadmaps
- > Specification of requirements for new products
- > Management of lead customers
- > Market launch of new products
- > Design of application-specific marketing materials
- > Creation and presentation of webinars
- > Presentations at industry shows and congresses
- > Training of the sales teams
- > Collection of reference projects
- > Controlling of the market success of your products

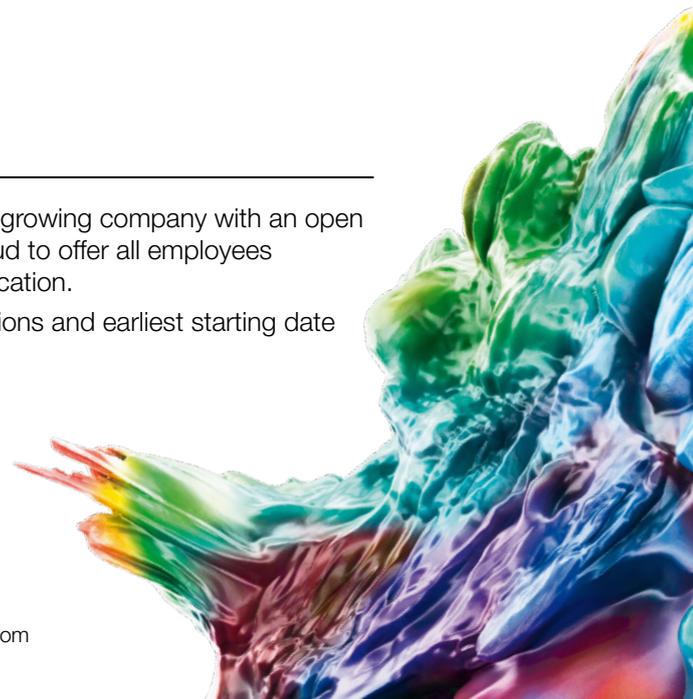
### Your Profile

- > University degree in natural sciences or engineering (preferably physics, mathematics, mechanical engineering, computer sciences)
- > Practical experiences in the numerical simulation of mechanical phenomena preferably from professional engagements (e.g. as simulation engineer in product development/CAE, or in sales or product management of simulation software), or from scientific research
- > Entrepreneurial drive and results orientation
- > Self-confidence and ability to convince in an international environment
- > Business-fluent command of English and German
- > Willingness to travel both nationally and internationally
- > Knowledge of MS Office (mainly PowerPoint and Excel)

---

**Volume Graphics** offers an innovative work environment in a rapidly growing company with an open corporate culture, room for creativity, and flat hierarchies. We are proud to offer all employees competitive remuneration and a modern workplace at an attractive location.

Please send your complete application including your salary expectations and earliest starting date as a PDF file to Ms. Nicole Brunner at [jobs@volumegraphics.com](mailto:jobs@volumegraphics.com).



# invitation<sup>2</sup>TENDER



## Case Studies Demonstrating Industrial Usage of Engineering Analysis & Simulation

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

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

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

### Intended Readership

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

### Content

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

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

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

### Format

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

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

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

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

for full details visit [nafems.org/publications/tender](http://nafems.org/publications/tender)

## An Introduction to Manufacturing Process Optimisation

The NAFEMS Optimisation Working Group (OWG) wishes to commission a new document with the suggested title "Why Do Process Optimisation".

Product optimisation is a widely applied and well established method used across a range of industries to improve product design, product performance and customer satisfaction. However, recent years have seen a rise in the application of process optimisation techniques by companies in order to improve operational efficiency and reduce costs. Process optimisation constitutes the optimisation of a system, assembly or machine with respect to one or more chosen objective functions.

Through process optimisation, companies can achieve increased throughput, increased utilisation, reduced labour costs, reduced lead times and decreased downtime amongst other potential benefits.

The document is anticipated to be approximately 100-150 A5 pages in length.

**Costs** The total cost is not expected to exceed £5K (GBP), and it is expected that the document will be completed within 12 months from NAFEMS approval.

**Submission** Interested potential authors should view full submission details at [nafems.org/publications/tender](http://nafems.org/publications/tender), or request additional information using the following email address: [optimisation@nafems.org](mailto:optimisation@nafems.org)

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

## Why do Equilibrium Finite Element Analysis?

The NAFEMS Education and Training Working Group (ETWG) wishes to commission a new document with the title "Why do Equilibrium Finite Element Analysis?". 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 the equilibrium finite element (EFE) formulation. The following topics are expected to be included:

- Introduction. This should lead the reader into the virtue of the EFE formulation by presenting the idea that the conforming finite element (CFE) formulation only satisfies equilibrium in a weak sense and the implications of this to engineers; a strongly equilibrated solution is essential for most structural design work.
- A brief history of the EFE formulation.
- Theoretical foundation of the EFE formulation. This should be presented in an approachable manner, starting with the potential problem, e.g., for heat conduction or torsion, and leading into linear elasticity for planar problems.
- Use of EFE for lower-bound limit analysis.
- Use of EFE for error estimation in CFE models.
- Extension to non-linear problems.
- Some examples of EFE analysis.

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

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

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

Internationales NAFEMS Magazin

## Benchmark Magazin, Ausgabe Oktober 2017

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

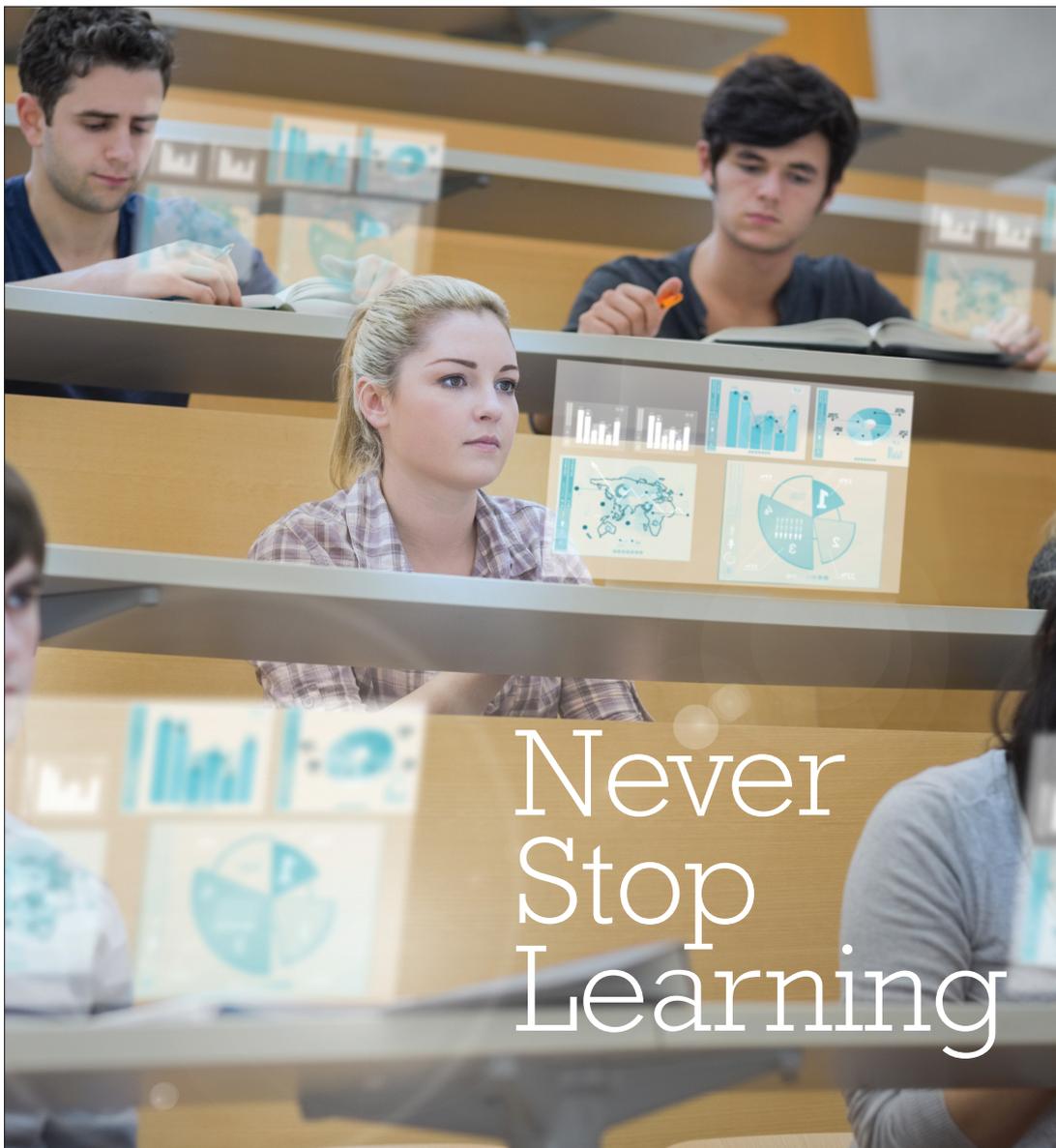
[www.nafems.org/publications/benchmark](http://www.nafems.org/publications/benchmark)

# BENCH MARK

### October 2017 issue . . .

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

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



## Was läuft in anderen NAFEMS Regionen?

### z. B. Nordic: Dänemark, Finnland, Schweden, Norwegen

NAFEMS Nordic veranstaltet hier im Herbst folgendes Seminar:

## Increase the Confidence in Numerical Simulation

5. - 6. Dezember 2017 in Oslo, Norwegen

### Dienstag, 5. Dezember

- 13:30 Welcome and NAFEMS Introduction  
NAFEMS Nordic Steering Committee;  
T. Morris (NAFEMS)
- 13:45 Keynote Presentation:  
Analysis Planning and Simulation Data  
Management, Complementary Techniques  
to Assure Confidence in Simulation Results  
M. Norris (TheSDM consultancy); A. de Souza  
(Quesada Solutions); S. Howell (Abercus)
- 14:30 Coffee Break
- 15:15 Blast Simulation for a Homeland  
Security Application  
D. Hilding (DYNAmore Nordic)
- 15:45 Improved Confidence With Smarter Integration  
of Simulation and Test Data  
R. Lanza, K. Bengtsson, J. Haenisch, O. Liestøl  
(Jotne EPM Technology)
- 16:15 Exploring the Role of Computational Modelling  
in Product Certification: Some Case Studies from  
RISE – Mechanics Research Laboratory  
F. Santandrea, D. Vennetti (RISE Safety)
- 16:45 Coffee Break
- 17:15 Workshop:  
„LOTAR and Standards AP209“  
Moderated by Jotne Technology
- 18:45 End of day 1

### Mittwoch, 6. Dezember

- 08:30 Keynote presentation:  
Activities and Factors Essential to the  
Endorsement of Confidence in Numerical  
Simulation and Predictions  
M. Eriksson (Validus Engineering)
- 09:15 Coffee Break
- 10:00 Numerical Investigation of the Effects of the  
Parameters to the Clinched Joints  
S. Jónás, D. Felhős (Knorr-Bremse Vasúti  
Jármű Rendszerek Hungária); M. Tisza,  
P. Z. Kovács (University of Miskolc)
- 10:30 Resistance Spot Welding Process Simulation  
for Bus Metal Sheets  
A. C. Onur (MAN Türkiye)
- 11:00 The HiFrancis Project  
E. Tengs (Norwegian University of Science and  
Technology Trondheim/EDR Medeso); P. Storli  
(Norwegian University of Science and Tech  
nology Trondheim); M. A. Holst (EDR Medeso)
- 11:30 FEM Model Optimum  
R. Zaroni (Tower Specialist Engineer at  
Siemens, Brunel Netherlands)
- 12:00 Lunch Break
- 13:00 Increasing Level of Confidence in CFD  
Analysis Results  
G. Todorov, K. Kamberov, M. Semkov  
(Technical University of Sofia)
- 13:30 CFD Modeling in the Context of Wind  
Tunnel Tests  
M. G. Cojocaru, D. Pepelea, M. G. Stoican,  
M. V. Pricop, C. Stoica, C. Nae (National  
Institute for Aerospace Research  
„Elie Carafoli“ - INCAS)
- 14:00 Wrap up and Discussion  
NAFEMS Nordic Steering Committee
- 14:30 End of day 2

Vielleicht haben Sie ja Interesse, am Seminar teilzunehmen? NAFEMS „seminar credits“ können auch für dieses Seminar für eine kostenlose Teilnahme für Mitglieder verwendet werden. Wir freuen uns auf Ihre Teilnahme.

**Informationen und Anmeldung**  
[www.nafems.org/confidence17](http://www.nafems.org/confidence17)

### 3I-PRINT

#### VW Caddy erhält funktionsintegrierten 3d-Druck Vorderwagen

Die Unternehmen Altair, Apworks, csi entwicklungs-technik, EOS GmbH, GERG und Heraeus zeigen am Beispiel der Vorderwagenstruktur eines alten VW Caddy das volle Potenzial des industriellen 3D-Drucks für die Automobilindustrie. Die Struktur ist besonders leicht und gleichzeitig stabil und verfügt über ein hohes Maß an Funktionsintegration. In dem gemeinsamen Entwicklungsprojekt mit dem Namen 3i-Print haben die Unternehmen dabei alle Schritte der Prozesskette abgedeckt: von Design, Auslegung, Berechnung und Konstruktion bis hin zu Bau und Nachbearbeitung der Baugruppe. Die Umsetzung von der Idee bis zum fertig umgebauten Fahrzeug erfolgte innerhalb von nur neun Monaten.

Der industrielle 3D-Druck, auch als additive Fertigung oder Additive Manufacturing (AM) bezeichnet, wird in den kommenden Jahren ein fester Bestandteil der Serienfertigung werden. Schon heute findet die Technologie Einsatz in zahlreichen Industrien. Die beständige Weiterentwicklung der Produktions- und Konstruktionstechniken mit der additiven Fertigung wird die Technologie in den nächsten Jahren noch kostengünstiger und schneller machen. Der Einsatz des industriellen 3D-Drucks wird damit weiter steigen – auch in der Automobilindustrie. Um künftige Innovationen zu treiben und Entwicklungen zu prägen ist es wichtig, schon heute die Möglichkeiten im Bereich Design und additiver Fertigung zu untersuchen.

Damit wirtschaftliche Lösungen gefunden und ein echter Mehrwert erzeugt werden können, müssen die Betrachtungen hinsichtlich additiver Fertigung für den Automobilbau weit über die Bereiche Strukturmechanik und Leichtbau hinausgehen. So ist die Möglichkeit zur Funktionsintegration – die Realisierung möglichst vieler technischer Funktionen mit möglichst wenigen Bauteilen - und der damit verbundene Mehrwert ein weiterer wesentlicher Vorteil, der den Einsatz von 3D-Druck für die Automobilindustrie auch aus

wirtschaftlicher Sicht attraktiv macht. Das Projekt 3i-Print setzt mit dem Caddy-Konzept an diesen Punkten an und möchte aufzeigen, was technologisch in Zukunft möglich ist. Vor dem Hintergrund der Elektrifizierung im Automobilbereich, zum Beispiel bei Antrieb und Aktuatoren, waren das Wärmemanagement sowie die Bauraum- und Gewichtsreduzierung entscheidende Punkte für die Konstruktion des innovativen Vorderbaus. Zudem galt es, die strukturellen Anforderungen bezüglich Fahrzeugsicherheit, Leistung und Komfort zu erfüllen.

Entsprechend verfügt der additiv gefertigte Vorderwagen über lasttragende Strukturen mit Details zur aktiven und passiven Kühlung – beispielsweise in Form eines geleiteten Luftstroms für die Kühlung von Batterien und Bremsen. Darüber hinaus wurden Funktionen aus dem Wärmemanagement, der passiven Sicherheit, der Flüssigkeitsspeicherung und andere Funktionen in das organische, lastgetriebene Design des Frontmoduls integriert. So ist der Wischwasserbehälter im Zuge der Topologie-Optimierung direkt in die Vorderwagenstruktur integriert. Mit diesen Zielen vor Augen begannen die Experten der Firmen csi entwicklungs-technik mit Design, Berechnung und Konstruktion der Vorderwagenstruktur. Das Unternehmen entwickelt für Hersteller und Zulieferer der Automobilbranche hochwertige Module im Karosserie-, Interieur- und Exterieur-Bereich. Die Firma GERG ist ein führender Anbieter innovativer Lösungen im Bereich Prototypen und Kleinserien für die Automobil- und Luftfahrtindustrie und übernahm im Zuge des Projektes den Rahmenbau aus den additiv gefertigten Einzelbauteilen. Bei Auslegung, Berechnung, Simulation und Konstruktion kamen dabei die Software-Lösungen von Altair zum Einsatz, das als führendes Unternehmen die breite Anwendung von Simulationstechnologie entwickelt und unterstützt.

Nach erfolgreicher Simulation und Konstruktion des Konzepts erfolgte die finale Auslegung der Bauteile auf den 3D-Druck durch die Firma Apworks, die ihr Knowhow zur

Druckvorbereitung beisteuerte und die additive Fertigung der Strukturelemente umsetzte. Als hundertprozentige Tochter von Airbus ist das Unternehmen bestens mit modernen Fertigungsprozessen vertraut und macht aus der Luftfahrt bewährte Konzepte für verschiedenste Industrien nutzbar. Für den Bau des Vorderwagens setzte Apworks auf ein System von EOS, dem führenden Technologieanbieter für den industriellen 3D-Druck von Metallen und Kunststoffen. Für die Produktion der Bauteile lieferte und qualifizierte der Metallpulverspezialist Heraeus die von Apworks entwickelte technisch hoch-feste Aluminium-Legierung Scalmalloy. Apworks unterstützte mit der Entwicklung der idealen Parametersätze den Druckprozess auf dem System EOS M 400. Dank additiver Fertigung und innovativem Werkstoff gelang es so, die Möglichkeiten der Funktionsintegration zu demonstrieren, die traditionelle Fertigungsverfahren nicht bieten.

Initiiert von csi entwicklungs-technik fungiert das 3i-Print Projekt als agile Engineering- Plattform für Forschung und Entwicklung, auf der innovative Prototypenkonzepte präsentiert werden können. Das Konzept baut auf dem Einsatz neuer Entwicklungswerkzeuge und - Methoden auf, darunter industrieller 3D-Druck. Ziel ist es, so das Potenzial moderner Fertigungsverfahren aufzuzeigen und komplett auszuschöpfen. Das 3i-Print Projekt ist eine offene Plattform für Zusammenarbeit, mit der neue Ideen schnell umgesetzt werden können.

Stefan Herrmann aus dem Bereich Leichtbau im Team Rohkarosserie, csi entwicklungs-technik: „Wir sind stolz darauf, den Caddy jetzt beispielhaft mit additiv gefertigter Vorderwagenstruktur präsentieren zu können. Die Struktur und der Kontrast zwischen alt und neu zeigen eindrucksvoll, welches Potenzial der industrielle 3D-Druck und ein hoher Grad an Funktionsintegration gerade auch für die Automobilindustrie bieten.“ Und weiter: „Doch nicht nur das Ergebnis, auch den agilen und zeiteffizienten Weg von der Idee bis zum fertig umgebauten Fahrzeug innerhalb von nur neun Monaten,



# PSE

Professional Simulation Engineer

## Introducing PSE within ASML: Lessons Learned and the Way Forward

Keynote Presentation from NWC17

Tuesday, October 31st, 2017

11:00am EDT (New York)

4:00pm BST (London)

5:00pm CEST (Amsterdam)

[nafe.ms/2uMm45E](http://nafe.ms/2uMm45E)

Free  
Webinar

möchte ich gern betonen. Jedes der beteiligten Unternehmen ist in seinem Bereich führend. Die ausgezeichnete Zusammenarbeit und vereintes Expertenwissen machen 3i-Print zu einem großen Erfolg.“

[www.3i-print.de](http://www.3i-print.de) / [www.eos.info](http://www.eos.info)

### ALTAIR

#### Übernahme von Componeering

Altair hat die Componeering Inc., ein in Helsinki, Finnland, ansässiges, auf Strukturanalyse und Design von Verbundwerkstoffen spezialisiertes Technologieunternehmen, übernommen. Componeering, jetzt Altair Engineering Finland Oy, ist der Entwickler der ESAComp Verbundwerkstoff-Simulationssoftware. Ursprünglich durch ein Projekt der Europäischen Weltraumorganisation ESA (European Space Agency) ins Leben gerufen, ist ESAComp heute eine Basistechnologie, die in der ge-

samten Luft- und Raumfahrtindustrie eingesetzt wird und sich in nahezu allen Industriebereichen etabliert hat, in denen Verbundwerkstoffe verwendet werden, darunter in der Marineindustrie, dem Schienenfahrzeugbau sowie bei alternativen Energien und im Maschinenbau.

#### Additive Works tritt der Altair Partner Alliance bei

Die Altair Partner Alliance (APA) freut sich bekanntzugeben, dass Additive Works mit seiner Lösung Amphyon der APA beigetreten ist. Amphyon ist eine simulationsgetriebene Prozesssoftware für additive Fertigungsverfahren wie Pulverbett- und Laserstrahlschmelzen. Die Lösung ermöglicht eine automatische Optimierung der Bauteilorientierung und die Simulation des Aufbauprozesses. Durch die Anpassung von Prozessparametern kann so eine höhere Bauteilqualität und eine bessere Prozessstabilität erreicht werden.

#### Phoenix Integration tritt der Altair Partner Alliance bei

Die Altair Partner Alliance (APA) freut sich bekanntzugeben, dass die Software ModelCenter von Phoenix Integration dem Softwareportfolio hinzugefügt wurde. ModelCenter ist ein herstellerunabhängiges Software-Framework, mit dem Multi-Tool Arbeitsabläufe erstellt und automatisiert, Produktdesigns optimiert und Entwicklungsdaten und Know-how ausgetauscht werden können. ModelCenter Integrate steigert die Produktivität, da Nutzer deutlich mehr Simulationen in kürzerer Zeit und mit weniger Ressourcen durchführen können. ModelCenter Explore treibt Innovationen an und verbessert die Produktqualität, indem Nutzer die verfügbaren Gestaltungsmöglichkeiten tiefergehend untersuchen und verstehen, bessere Entscheidungen treffen und folglich die optimale Lösung finden können. ModelCenters Mbsepak erschließt die Möglichkeiten, die sich aus Model Based Systems Engineering

(MBSE) ergeben, indem technische Analysen mit dem Systemmodell verbunden werden.

**FieldView Express bereichert**

**Altair Partner Alliance**

Die Altair Partner Alliance (APA) freut sich mitzuteilen, dass die Software FieldView Express ihrem Softwareangebot hinzugefügt wurde. FieldView Express basiert auf FieldView, dem CFD Postprozessor der Wahl, wenn es darum geht, genaue Ergebnisse in kürzester Zeit zu liefern. Weltweit führende Hersteller aus den Bereichen Luft- und Raumfahrt, Automobil, Rüstung und Schwermaschinenbau setzen in ihrer täglichen Arbeit auf FieldView.

**Granta Design tritt der Altair Partner Alliance bei**

Die Altair Partner Alliance (APA) freut sich bekanntzugeben, dass die Software CES Selector von Granta Design dem Softwareangebot der APA hinzugefügt wurde. CES Selector ist das Standardwerkzeug der Industrie für Werkstoffauswahl und grafische Analysen von Materialkennwerten. Es wird eingesetzt, um innovative und bessere Produkte zu entwickeln, schnell Lösungen zu Materialfragen zu finden, eine getroffene Werkstoffauswahl zu bestätigen und zu validieren und um Material- und Entwicklungskosten zu senken.

**Altair Partner Alliance um multiphysikalische Co-Simulationssoftware ergänzt**

Die Altair Partner Alliance (APA) freut sich bekanntzugeben, dass die Software CosiMate von Chiatek dem Softwareangebot der APA hinzugefügt wurde. CosiMate unterstützt die modellbasierende Systemtechnik und ermöglicht simulationsgetriebenes Design sowie eine virtuelle Produktentwicklung. Bei der Software handelt es sich um eine Plattform für multiphysikalische Co-Simulation mit offener Architektur, für die Anbindung an beliebige Simulationstools. Mit seiner Flexibilität, Anwenderfreundlichkeit und seinen geringen Betriebskosten ist CosiMate die bevorzugte Lösung für Systemsimulation, unabhängig

vom Umfang und Maßstab der Anwendung.

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

**ANSYS**

**Ansys Discovery Live – Bahnbrechende Simulationstechnologie revolutioniert digitale Untersuchungen während der Produktentwicklung**

Ansys bietet ab sofort Ansys Discovery Live zum Test an, das die Geschwindigkeit und Benutzerfreundlichkeit der Simulation revolutioniert. Damit können Produktentwickler erstmalig Designvariationen direkt während der Konstruktion überprüfen und erhalten sofort Simulationsergebnisse. Dadurch entstehen in kürzerer Zeit bessere Produkte mit höherer Sicherheit und Wirtschaftlichkeit.

„Ansys verfolgt mit Pervasive Engineering Simulation das Ziel, dass jeder Ingenieur alle einfachen wie komplexen Produkte von morgen im gesamten Produkt-Lebenszyklus mit Simulationstechnologie optimieren kann. Einen großen Teil dieser Vision erfüllt Ansys Discovery Live“, erklärt Thomas Zanzinger, Geschäftsführer von Ansys Germany. „Ansys Discovery Live stellt einen Durchbruch in Geschwindigkeit und Anwenderfreundlichkeit bei der Engineering-Simulation dar. Damit können wirklich alle Konstrukteure und Ingenieure jederzeit digitale Analysen durchführen.“

Im Zeitalter von Industrie 4.0, Elektromobilität und generativer Fertigungstechniken ist Simulation eine der wichtigsten Engineering-Technologien überhaupt. Allerdings überprüfen hauptsächlich Spezialisten damit besonders komplizierte Projekte im Engineering-Bereich. Ansys erweitert nun die Anwenderbasis der Pervasive Engineering Simulation und ermöglicht jedem Ingenieur, die leistungsstarken Simulationswerkzeuge direkt im Konstruktionsprozess zu nutzen.

Anstatt Tage, Wochen oder Monate für Erstellung und Auswertung digitaler Prototypen in herkömmlichen

Lösungen zu verbrauchen, können die Anwender von Discovery Live die Auswirkungen ihrer Konstruktionsänderungen sofort überprüfen. Sie können früher im Designprozess ‚Was-wäre-wenn-Fragen‘ stellen, damit schnell tausende von Alternativen untersuchen und die Auswirkungen ihrer Änderungen in sofortigen Aktualisierungen ansehen. Ansys hat enormen Forschungs- und Entwicklungsaufwand investiert, um eine neue Simulationstechnologie auf der Basis der massiven Fähigkeiten zur Parallelberechnung von Grafikprozessoren (GPU) zu entwickeln. Nvidia-Grafikprozessoren verleihen Fähigkeiten zum Supercomputing; In Verbindung mit der innovativen Simulationstechnologie von Discovery Live werden Ergebnisse mehrere tausendmal schneller berechnet als mit konventionellen Methoden. Hinzu kommt eine intuitive Bedienung, die gerade den Anwendern die Analysen erleichtert, die keine Simulations-Experten sind. Discovery Live eignet sich für strömungsmechanische sowie strukturelle und thermische Simulationsanwendungen. So können Konstrukteure mit Entwicklungs-ideen experimentieren und interaktiv die Auswirkungen von einfachen und komplexen Änderungen auf die Performanz des Produktes untersuchen. Die Umgebung von Discovery Live liefert sofortige Simulationsergebnisse – eng verknüpft mit direkter Geometriemodellierung, um interaktive Design-Analysen und schnelle Produktinnovationen zu ermöglichen.

„Mit der bahnbrechenden Technologie von Discovery Live kann jeder Ingenieur Simulationen in Echtzeit durchführen. Durch die enorme Anwenderfreundlichkeit führt dies zu echtem digitalen Experimentieren und damit besseren Produkten in kürzerer Entwicklungszeit“, fasst Thomas Zanzinger zusammen. „Dies wird die Produktentwicklung grundlegend verändern. Der bekannte Entwicklungsprozess wird umgekehrt: In Zukunft steht die Simulation nicht mehr am Ende, sondern am Beginn. Rückrufaktionen von Produkten gehören damit der Vergangenheit an.“

Seit dem erfolgreichen Pre-Launch von Ansys Discovery Live am 7. September 2017 kann die Testversion bis zum Ende dieses Jahres unter [www.ansys.com/discovery/](http://www.ansys.com/discovery/) kostenlos heruntergeladen werden. So kann jeder die innovativen Features von Discovery Live selbst kennenlernen, auch ohne Simulationserfahrungen. Ansys wird diese Phase dazu nutzen, Feedback von den Usern einzusammeln. Ab Januar 2018 ist Ansys Discovery Live dann verfügbar.

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

## ARAS

### Cargotec entscheidet sich für Aras PLM

Aras hat bekanntgegeben, dass Cargotec Aras Innovator als PLM-Backbone einführen wird. Cargotec ist ein führender Anbieter von Lösungen und Dienstleistungen im Bereich der intelligenten Frachtabfertigung. Aras Innovator wird zunächst bei MacGregor, einem der drei Geschäftsfelder von Cargotec, an mehr als zehn Standorten zum Einsatz kommen. Wesentliche Gründe für die Entscheidung zugunsten von Aras waren Flexibilität, Plattformfähigkeit, die Schnelligkeit der Implementierung sowie die große Funktionsvielfalt und die Erweiterbarkeit inklusive Anpassungsmöglichkeiten. In Zusammenarbeit mit dem gold-zertifizierten Partner Minerva wird MacGregor Aras Innovator einsetzen, um die Entwicklungsprozesse zu rationalisieren. „Wir freuen uns sehr auf die Implementierung von Aras Innovator“, sagt Pär Dehlin, Director Product Lifecycle Management. „Mit der Aras Innovator Suite können wir ein Backbone über den bestehenden Engineering-Lösungen aufbauen und nach und nach immer mehr Funktionen aus diesen Applikationen in Aras integrieren. Im Laufe der Zeit harmonisieren wir so unsere technische Systemlandschaft. Auf lange Sicht werden wir die Funktionalität von Aras auf diesem Weg über die Möglichkeiten hinaus ausweiten, die unsere aktuellen PDM-/PLM-Anwendungen der-

esocaet  
STUDIES



## Universitätszertifikat Computational Medical Engineering

Berufsbegleitend studieren –  
Hochschulzertifikat oder Module



### Ihr Kurzstudium

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

### Ihre Vorteile

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



**Info-Webinar:**  
26. Oktober 2017

[www.esocaet.com/nafems](http://www.esocaet.com/nafems) + by CADFEM®

zeit bieten.“ Cargotec nutzt bereits seit geraumer Zeit eine Reihe von Anwendungen, um die Entwicklung von Kränen softwareseitig zu begleiten – von den frühesten Entwürfen bis zur Installation und Wartung. Alle diese Anwendungen liefen bislang jedoch meist in isolierten Datensilos ohne Transparenz, Rückverfolgbarkeit und die Möglichkeit, Prozesse abzugleichen. „Es ist interessant zu sehen, dass immer mehr größere Unternehmen die Lösung von Aras als Backbone zusätzlich zu den bereits installierten, traditionellen PLM-Anwendungen nutzen. Der Grund dafür: die Unternehmen benötigen eine flexible Plattform und erweiterte Funktionalität, um fortgeschrittene Informationsstrukturen verwalten und miteinander zu verknüpfen. So können sie den Digital Thread von den Anforderungen über das Design bis hin zur Installation und Wartung etablieren und ermöglichen damit einen Digital Twin“, erklärt Leon Lauritsen, VP bei Minerva, Aras Certified Gold Partner und am Projekt bei MacGregor beteiligt.

„Weltweit haben Hersteller mit veralteten IT-Architekturen zu kämpfen, die ihre aktuellsten Produktentwicklungsprozesse nicht unterstützen können. Als Antwort darauf setzen sie auf die PLM-Plattform von Aras, um Designdisziplinen aufeinander abzustimmen und die Rückverfolgbarkeit des gesamten Produktlebenszyklus zu ermöglichen. Unternehmen wie Cargotec, die als erste ihre Prozesse transformieren, werden zweifellos in ihrer Branche den Takt vorgeben“, so Peter Schroer, CEO und Präsident von Aras.

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

## AVL LIST

### Partnerschaft vereinbart - AVL nutzt ice.NET von PD Tec für Modelldatenmanagement - siehe auch PD Tec -

AVL List GmbH und die PD Tec AG haben eine Partnerschaft vereinbart. Im Rahmen dieser Partnerschaft wird AVL die Datenmanagementplattform ice.NET von PD Tec ein-

setzen, um darauf aufbauend ein Modelldatenverwaltungs-System für die Simulationsprodukte Model.Connect, Cruise M, FIRE M und Excite anzubieten und weltweit zu vermarkten.

„AVL wird ihren Kunden eine leistungsfähige, umfassende und robuste Lösung zur Verwaltung von Simulationsmodellen auf System- und Komponentenebene anbieten. Wir sehen in der Partnerschaft mit PD Tec eine hervorragende Möglichkeit, um auf die etablierte und bewährte Technologie von ice.NET aufzusetzen. So konnten wir in kürzester Zeit ein Modelldatenverwaltungs-System für unsere Simulationsprodukte Model.Connect und Cruise M realisieren. In weiterer Folge wird die Lösung auch für die Simulationsprodukte FIRE M und Excite verfügbar sein“, erklärt Jürgen Krasser, Entwicklungsleiter Software bei AVL.

PD Tec sieht in dieser Partnerschaft einen wichtigen Meilenstein des Unternehmens in der konsequenten Umsetzung seiner Partnerstrategie. „Wir freuen uns, dass die AVL-Kunden schon sehr bald ein Datenmanagement-System in ihrer gewohnten Simulationsumgebung einsetzen können“, sagt Albrecht Pfaff, Vertriebsvorstand der PD Tec AG. „Die AVL-Simulationssoftware ist in der Antriebstechnik eine weltweit verbreitete Technologie, die von tausenden Ingenieuren täglich erfolgreich eingesetzt wird. Das neue Datenmanagement-System bietet deutliche Vorteile durch eine strukturierte Modellablage und ermöglicht es dem Berechnungsingenieur, wertvolle Entwicklungszeit einzusparen.“

## BETA CAE Systems

### Software Suite Version 18.0.0 veröffentlicht

BETA CAE Systems gab die Verfügbarkeit der neuen Software Suite v18.0.0 bekannt. Neben Verbesserungen in ANSA, Epilysis and META ist nun auch das neue Produkt Komvos-SDM Console integraler Bestandteil der BETA suite.

## Neue Software Retomo – 3D-Modellierung von CT-Daten

BETA CAE Systems gab die Veröffentlichung der neuen Software Retomo bekannt, mit Hilfe derer Computertomographie-Daten in den CAE-Prozess importiert, analysiert und visualisiert werden können.

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

## CAD FEM

### Simulationswerkzeuge für Gleitlager und zum VDI-Wärmeatlas

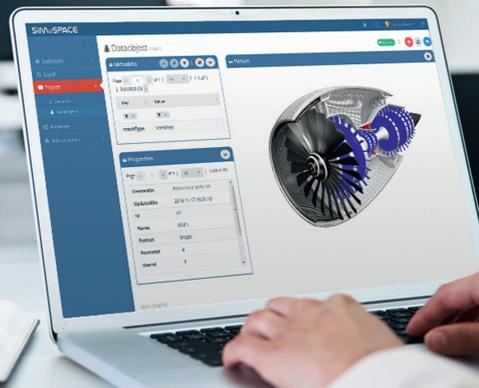
Cad fem hat jetzt seine Palette an Engineering-Werkzeugen für den Einsatz mit der Simulationssoftware Ansys erweitert. Die Cad fem Ansys Extensions wurden durch die Anwendungspakete Tribo-X inside Ansys und VDI-Wärmeatlas inside Ansys ergänzt. Damit lassen sich einerseits die Beanspruchung, Reibung und Temperatur von geschmierten Systemen bei hydrodynamischen Gleitlagern einfacher berechnen. Andererseits führt die Integration des VDI-Wärmeatlas in Ansys Workbench zu einem durchgängigen Prozess, der die Validierung und Detailanalyse bei der Auslegung technischer Apparate und Anlagen in der Verfahrens- und Energietechnik unterstützt.

Die Cad fem Ansys Extensions sind von Cad fem und Partnern entwickelte Engineering-Werkzeuge für Ansys. Sie erweitern den Funktionsumfang der Simulationssoftware Ansys punktuell um spezifische Anwendungen und verdeutlichen damit das umfassende Know-how von Cad fem.

Tribo-X inside Ansys

Hydrodynamische Gleitlager sind aufgrund ihrer guten Betriebseigenschaften in vielen Anwendungsbereichen anzutreffen, unter anderem wegen ihres ruhigen Laufverhaltens und der hohen Tragfähigkeit. Hierbei kommt dem für Gleitlager charakteristischen Schmierfilm eine große Bedeutung zu, der einen großen Einfluss auf die Lebensdauer des Lagers hat. Ebenso hängt das Schwingungsverhalten von gleitgelagerten Wellen in starkem Maße

**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](http://www.simuspace.de), [info@simuspace.de](mailto:info@simuspace.de)

von den dynamischen Eigenschaften des Schmierfilms ab.

Zur Simulation der Schmierfilmbildung wurde am Lehrstuhl für Maschinenelemente und Tribologie des Institutes für Maschinenkonstruktion (IMK) der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg die Software Tribo-X entwickelt. Sie berechnet die Beanspruchung, Reibung und Temperatur von geschmierten Systemen und wirkt wie eine „numerische Lupe“ für den Reibkontakt, was zu einem besseren Verständnis der dort ablaufenden Prozesse führt. Mit Tribo-X inside Ansys ([www.cad-fem.de/tribox](http://www.cad-fem.de/tribox)) haben Cadfem und das IMK Magdeburg gemeinsam eine komfortable und zeiteffiziente Lösung zur Berechnung von Gleitlagern innerhalb von Ansys Workbench entwickelt.

VDI-Wärmeatlas inside Ansys  
Der VDI-Wärmeatlas dient als Standardwerk für die Auslegung technischer Apparate und Anlagen in der Verfahrens- und Energietechnik. Speziell in frühen Phasen, in denen

noch keine numerische Simulation durchführbar ist, liefert der Wärmeatlas die Daten und Methoden – von Stoffeigenschaften über physikalische Kennwerte bis hin zu typischen Entwürfen und Bemessungsberechnungen – für den effizienten und sicheren Anlagenentwurf. Lauterbach Verfahrenstechnik GmbH hat den VDI-Wärmeatlas als Software (LV-Atlas) umgesetzt. Damit kann schnell auf das umfangreiche Expertenwissen zugegriffen und über automatisierte, analytische Berechnungsmethoden ein geeignetes Design ermittelt werden.

Die Integration in Ansys Workbench führt zu einem durchgängigen Prozess, der die Validierung und Detailanalyse per FEM (Finite Elemente Methode) oder CFD (Computational Fluid Dynamics) verbessert. Dadurch sinkt die Zahl der erforderlichen Eingaben, die Konsistenz von Entwurfs- und Validierungsberechnungen wird gesichert und außerdem basiert der Modellaufbau in der Simulation auf praxisgerechten

Randbedingungen. Kern der neuen Software VDI-Wärmeatlas inside Ansys ([www.cad-fem.de/waermeatlas](http://www.cad-fem.de/waermeatlas)) ist der schnelle Austausch von Parametern mit einem Editor, über den frei wählbare Einflussgrößen verknüpft werden. Beispielsweise können Wärmeübergangszahlen basierend auf verschiedenen Ausgangsbedingungen in LV-Atlas analytisch bestimmt und an Ansys Mechanical übergeben werden, wo sie als Grundlage für thermische oder mechanische Analysen dienen. Ebenso lassen sich geometrische Abmessungen oder Simulationsergebnisse wie Rohrdurchmesser oder Temperaturen aus Ansys an LV-Atlas übertragen.

Zu den weiteren Cadfem Ansys Extensions gehören Bolt Assessment inside Ansys für die automatisierte Schraubenbewertung nach VDI 2230, Electric Drive Acoustics inside Ansys zur Simulation von Elektromotorgeräuschen, FKM inside Ansys für Festigkeitsnachweise nach FKM mit Materialdatenbank, MoldSim NL

inside Ansys zur direkten Verknüpfung von Spritzgießsimulation mit Ansys Workbench sowie Model Reduction inside Ansys für die Systembetrachtung von 3D-FEM-Modellen.

**Cadferm Ansys Extension zur Berechnung von Elektromotorgeräuschen**

Mit der zunehmenden Präsenz elektrischer Antriebe werden diese auch hinsichtlich ihrer Geräuschentwicklung kritischer unter die Lupe genommen. Hier setzt das Cadferm Engineering-Werkzeug „Electric Drive Acoustics inside Ansys“ an. Die Software wurde speziell für die Simulation von Elektromotorgeräuschen entwickelt. Sie berechnet den Körperschallpegel, der aufgrund der internen magnetischen Anregungen als Oberflächenschwingung des Gehäuses entstehen.

„Electric Drive Acoustics inside Ansys“ stellt Zusatzfunktionen für die dynamische Analyse in Ansys Mechanical bereit und ergänzt die bisher schon vorhandenen Cadferm Ansys Extensions, mit denen die Anwendungskompetenz von Cadferm im Ansys Bereich unterstrichen wird. Als Anregungen für die dynamische Analyse werden die oszillierenden Luftspaltkräfte an den Ständerzähnen importiert, die aus einer transienten elektromagnetischen FEM-Berechnung der Maschine stammen. Für deren Überführung aus dem Zeit- in den Frequenzbereich wird eine Fouriertransformation intern automatisch ausgeführt.

Der Import der zeitabhängigen Erregungsdaten bietet verschiedene Optionen und berücksichtigt so auch unterschiedliche Vorgehensweisen bei der Erstellung der Daten. Dedizierte Funktionen übernehmen außerdem die Verteilung der importierten Anregungslasten auf die Ständerzähne und reduzieren die Handarbeit auf ein Minimum. Die Vibrationsberechnung wird mit einer harmonischen Analyse mit modaler Superposition durchgeführt. Sie erlaubt den Sweep über einen Drehzahlbereich, in welchem die Anregungen auch arbeitspunktabhängig variieren können. Das Körperschallmaß wird dann zeit-

und speichereffizient direkt aus den modalen Amplituden ermittelt. Die Darstellung für den Drehzahlbereich erfolgt in dem in der Akustik beliebten Wasserfall- beziehungsweise Campbell-Diagramm.

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

**COMSOL**

**Numerische Akustik treibt innovative Designlösungen an**

Die Comsol Multiphysics GmbH hat eine Sonderausgabe seiner jährlich erscheinenden Zeitschrift Comsol News zum Thema Akustik veröffentlicht und präsentiert in dieser Ausgabe wie Simulationsexperten die Akustik-Funktionalitäten von Comsol Multiphysics einsetzen, um innovative Produkte zu entwerfen und Kundenanforderungen zu erfüllen. Akustikingenieure schaffen Erfahrungen, die einen Menschen ihr Leben lang begleiten und prägen. Dabei kann es sich um Hörgeräte handeln, die es ermöglichen, einer abendlichen Unterhaltung zu folgen oder um die Momente, die man erlebt, wenn man im Auto sein Lieblingslied mitsingt. Die Sonderausgabe der Comsol News 2017 behandelt moderne Designlösungen aus dem täglichen Leben und beschreibt Projekte aus den Bereichen virtuelle Produktentwicklung, NVH Eigenschaften, akustische Abschirmung, Rückkopplungsreduzierung und weitere.

„Da akustische Phänomene von Natur aus multiphysikalisch sind, nutzen Ingenieure die leistungsstärksten Modellierungswerkzeuge, um alle unterschiedlichen physikalischen Einflüsse und ihre Kopplungen zu berücksichtigen, die bei Akustikprojekten auftreten“, sagte Mads Jensen, Technical Product Manager, Acoustics. „Die hier gezeigten Erfolgsgeschichten inspirieren und zeigen uns die Arbeit, die in das Design innovativer Produkte eingeflossen ist, um den zum Teil gegensätzlichen Prioritäten vieler unterschiedlicher Kunden gerecht zu werden.“

Die Sonderausgabe „Akustik“ der

Comsol News 2017 ist als Online-Magazin verfügbar und kann im PDF-Format unter [www.comsol.com/offers/comsol-news-2017-special-edition-acoustics](http://www.comsol.com/offers/comsol-news-2017-special-edition-acoustics) heruntergeladen werden.

**Comsol Multiphysics GmbH unterstützt Formula Student Electric Teams**

Die Comsol Multiphysics GmbH ist Sponsor von zwei Formula Student Electric Teams, dem Team Starkstrom Augsburg und dem Göttinger Team Blue Flash. Im Rahmen des Sponsorings erhalten die Teams Lizenzen der Comsol Multiphysics Simulationsumgebung sowie weitere finanzielle Unterstützung. Mithilfe von Comsol Multiphysics optimieren die Teams in der aktuellen Saison das thermische Management der Zellverbinder (Busbar) in ihren selbstdesignten Akku Packs. Darüber hinaus setzt Starkstrom Augsburg die Software ein, um das Design ihres Elektro-Motors zu verbessern.

Während das Team Starkstrom Augsburg schon seit einigen Jahren von Comsol unterstützt wird, wurde das Blue Flash Team zum ersten Mal in 2016 mit entsprechenden Simulationskapazitäten ausgestattet. Umso erfreulicher ist es daher, dass das noch relativ junge Blue Flash Team in kürzester Zeit in der Formula Student Electric bereits mit nennenswerten Erfolgen in den Konstruktionswettbewerben aufwarten kann. So konnte der eHAWK\_17 bei seinem Formula Student Debüt in der Formula SAE Italy nicht nur einen Sieg in der Effizienz-Wertung und einen sehr guten fünften Platz in der Gesamtwertung erzielen, das Team wurde darüber hinaus mit dem ZF Safety Award für ihr ausgeklügeltes Sicherheitskonzept ausgezeichnet. „Grundlage dafür war ein mit Comsol Multiphysics optimierter Akku Pack“ sagt Laurent Matthies, Projektleitung Technik. Und auch die Formula Student Germany (FSG) im August war ein wichtiger Auftritt für das Team, das mit seinem Boliden an allen dynamischen Disziplinen teilnehmen konnte.

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

**CPU24/7****Medien- und Technologiezentrum Babelsberg erhält fachliche Unterstützung in den Bereichen HPC und Cloud**

Der Potsdamer HPC-Cloud-Anbieter CPU 24/7 bezieht am heutigen Tag offiziell seine neuen Büroflächen auf dem Studiogelände in der Medienstadt von Potsdam-Babelsberg – einer der traditionsreichsten Dreh- und Produktionsorte der Welt.

Nach 11 Jahren im Potsdamer Centrum für Technologie ist CPU 24/7 um eine Vielzahl an Erfahrungen, Kunden und Cores gewachsen. Um der steigenden Nachfrage gerecht zu werden, hat sich die Anzahl der Mitarbeiter mittlerweile verdreifacht. Nach nunmehr einem Jahrzehnt in Potsdam-Bornstedt ist das Unternehmen aus seinen Räumen schlichtweg herausgewachsen.

„Mit neuen, großzügigen Flächen sind wir nicht nur bestens für ein weiteres Wachstum aufgestellt, sondern können unserem Team sowie zukünftigen Mitarbeitern ein attraktives Arbeitsumfeld bieten. Wir freuen uns auf die Zukunft!“ so CEO Dr.-Ing. Matthias Reyer. Die großflächige Dachterrasse mit direktem Blick auf das Set von Deutschlands erfolgreichster Fernsehserie Gute Zeiten, schlechte Zeiten (GZSZ) ist nur einer der vielen spektakulären Neuerungen im Hause CPU 24/7.

**CPU 24/7 ist offizieller Partner der Initiative Cloud28+**

Der Potsdamer HPC-Cloud-Anbieter CPU 24/7 ist offizieller Partner der Initiative Cloud28+, die von Hewlett-Packard Enterprise (HPE) ins Leben gerufen wurde. Damit reiht sich CPU 24/7 neben weiteren führenden IT-Dienstleistern und Software-Anbietern wie z.B. Intel Corporation, DYNAbit Systemhaus GmbH und QSC AG ein. Gemeinsames Ziel der Initiative ist es, den Cloud-Markt in Europa zu fördern, Transparenz im Markt zu schaffen und lokale Anbieter im Sinne einer EU-weiten Wirtschaftsförderung zu unterstützen.

Mit Cloud28+ haben Unternehmen kostenlosen Zugriff auf einen umfassenden Angebotskatalog

**3S DASSAULT SYSTEMES**

**3S SIMULIA**

**EINE LÖWENSTARKE COMMUNITY...**

**...FÜR MULTIPHYSICS SIMULATION**

**TRIFFT SICH IN BRAUNSCHWEIG:**

**7. November**  
European  
Multibody Simulation  
User Group Meeting

**8.-9. November**  
Deutsches SIMULIA  
Anwendertreffen

**10. November**  
European Durability  
User Group Meeting

**Jetzt anmelden:**  
[www.3ds.com/de/events](http://www.3ds.com/de/events)

**3DEXPERIENCE**

aus den Bereichen Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS) und Software as a Service (SaaS). Kunden können in Übereinstimmung mit europäischen Richtlinien rechtlich abgesicherte Infrastruktur-, Plattform- und Software-services von Cloud28+-zertifizierten Service Providern in 28 Ländern Europas in Anspruch nehmen und die Dienstleister risikofrei innerhalb dieses Pools wechseln. Dabei lassen sich entsprechend spezialisierte Partner mit der jeweilig passenden IT-Lösung zusammenstellen, welche so den gesonderten Workload-, Branchen- und Datenschutzerfordernissen der Unternehmen gerecht werden sollen.

Mit dem Beitritt von CPU 24/7 erhält die weltweit größte offene Cloud-Community fachliche Unterstützung im Rahmen der virtuellen Produktentwicklung und deckt erstmalig den Bedarf für hybride IT-Lösungen im Bereich des Computer-Aided Engineering (CAE) ab. Mittlerweile besteht der Pool aus 18.000 Diensten, die in mehr als 300 Rechenzentren rund um den Globus bereitgestellt werden. Im Detail gehören hierzu Dienstleister, Lösungsanbieter, Softwarehäuser, Distributoren, Systemintegratoren aus der Industrie, sowie Universitäten und Organisationen des öffentlichen Sektors. Kürzlich ernannte 451 Research die Initiative Cloud28+ zum weltweit größten Cloud-Aggregator mit nunmehr 500 Partnern.

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

## DASSAULT SYSTÈMES

### **Simpack Release 2018 – Mehrkörper Simulation Software mit weiteren Neuerungen - siehe auch *Simpack***

Simpack, jetzt Teil der Produktpalette von Dassault Systèmes Simulia – die Brand für realistische Simulation – ist die führende MKS Software für mechanische und mechatronische Designs im Bereich Virtual Prototyping und 3D-Simulation.

Simpack steht für nichtlineare Mehrkörpersimulation, mit der u. a. das Verhalten von flexiblen Körpern be-

rücksichtigt werden kann, aber auch Vibrationen im hohen Frequenz- und im „Shock Contact“-Bereich und ist somit erste Wahl für Analyse von Fahr- und Komfortverhalten sowie NVH und Lebensdauerberechnung. Die Simulation von Automobilen, Motoren, Nutz-, Schienen- und Luftfahrzeugen und Windkraftanlagen stellen nur einige Anwendungsgebiete von Simpack dar.

Das neue Release „Simpack 2018“ beinhaltet 163 funktionale Erweiterungen und über 100 Verbesserungen.

Die wichtigsten funktionalen Erweiterungen davon sind wie folgt:

- Berechnung von potentieller und dissipativer Energie bei der Eigenwertanalyse
- Neue detailauflösende und effiziente 3D Kontaktberechnungsmethode
- Neue NVH/Flexible Body Ergebnisauswertungsmöglichkeiten
- Erweiterte Leistungsmerkmale bei Simpack Gear Pair und Simpack EHD
- Solver Debugger

Für mehr Information und einen größeren Überblick über die neusten Erweiterungen, besuchen Sie bitte: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/simpack/latest-release/>

### **Elektromagnetische Simulation mit CST nun Teil von Simulia**

Seit dem 30.09.2016 ist CST - Computer Simulation Technology GmbH, Teil der Simulia Brand von Dassault Systèmes. Damit beinhaltet das Portfolio von Simulia führende elektromagnetische Simulationstechnologie für alle Frequenzbereiche, von der Statik bis zur Optik.

In Zeiten zunehmender Vernetzung und Verbreitung von Smart Devices gewinnt elektromagnetisch/mechanisches Co-Design und Co-Simulation an Bedeutung. Mit der am 14. September 2017 beginnenden CST Webinar Serie bieten wir eine gute Gelegenheit sich mit den allgemeinen und neuen Funktionalitäten in der CST Studio Suite vertraut zu machen.

In diesen kostenlosen Webinaren werden aktuelle Anwendungen aus verschiedenen Bereichen der Elekt-

rotechnik und Elektronik vorgestellt. Im Bereich Automotive werden z. B. drei Webinare angeboten. Dabei ist Elektromobilität durch das Thema induktives Laden, und ADAS durch die Aspekte Radar Simulation und elektromagnetische Verträglichkeit des Automotive Ethernets vertreten. Weitere Themen kommen aus den Bereichen Luft und Raumfahrt, Mikrowellen Komponenten, Optik (Photonische integrierte Schaltungen), EDA und IOT. Letzteres, ein Smart Projektor, ist Teil einer Simulia/CST Zusammenarbeit zur Demonstration von Co-Design Möglichkeiten multiphysikalischer Problemstellungen. Die Teilnahme an den Webinaren ist kostenlos. Die Vorträge dauern typischerweise 45 Minuten, anschließend werden Fragen beantwortet. Mehr Informationen und zur Anmeldung unter: [www.cst.com/webinar-series-2017](http://www.cst.com/webinar-series-2017)

### **Elektromobilitäts-Startup Kreisel Electric setzt auf Dassault Systèmes zur Beschleunigung seiner Geschäftsentwicklung**

Dassault Systèmes gab bekannt, dass sich das Elektromobilitäts-Startup Kreisel Electric für die 3DEXperience Plattform entschieden hat, um seine Geschäftsentwicklung zu beschleunigen. Grund dafür ist die zunehmende Nachfrage von Partnern aus der Automobilindustrie nach den innovativen Batteriesystemen und Elektroantrieben des österreichischen Startups.

Kreisel Electric setzt die Branchenlösung „Electro Mobility Accelerator“ für die Entwicklung und Lieferung von leichten, kompakten und hochleistungsfähigen Batterielösungen und Antrieben sowie Ladetechnik und Software ein. Damit will das Startup sein Ziel, den Elektroantrieb in alle Bereiche der Mobilität (Autos, Busse, Nutzfahrzeuge, Fahrräder und Roller) zu integrieren, schneller erreichen.

Die Bereitstellung der Software unterstützt das neue 6.200 Quadratmeter große Werk und die vollautomatische Fertigungslinie von Kreisel Electric. Die Teams können Projekte in einer kollaborativen Umgebung virtuell managen und dabei alle elektrischen und mechanischen

## 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™

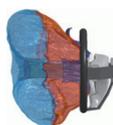
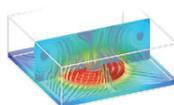
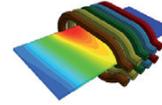
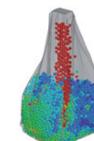
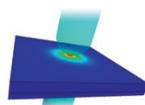


Bild: Daimler AG



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

Produktkomponenten designen und simulieren. Ebenso können sie deren Leistung analysieren und validieren sowie schlanke Fertigungsprozesse planen. Dazu zählt auch die Massenproduktion von Akkupacks mit einer Lebensdauer von 400.000 Kilometern. Diese Batterien gehören zu den leichtesten, sichersten und effizientesten am Markt.

„OEMs und Tier-1-Zulieferer erwarten von uns Innovationen. Daher müssen wir in der Lage sein, diesem Bedarf gerecht zu werden. Gleichzeitig wollen wir von einem jungen, 70-köpfigen Unternehmen, das von drei Brüdern gegründet wurde, zu einem hocheffizienten und internationalen Lieferanten mit einer schnell wachsenden Belegschaft werden“, sagt Markus Kreisel, CEO bei Kreisel Electric. „Durch den Einsatz der 3DExperience Plattform von Dassault Systèmes können wir die Beschaffungsprozesse jetzt früher

starten. Dies hat den Zeitaufwand bei Engineering-Prozessen bereits um ein bis zwei Monate reduziert.“ „Die Automobilindustrie befindet sich im Umbruch, angestoßen von revolutionären Startups und dem Engagement von Regierungen und etablierten Herstellern, die der Entwicklung von Elektro- und Hybridfahrzeugen in den nächsten Jahrzehnten Vorrang geben wollen“, sagt Olivier Sappin, Vice President Transportation & Mobility Industry bei Dassault Systèmes. „Die 3DExperience Plattform ermöglicht Startups wie Kreisel Electric, ihre Rolle bei diesem Umbruch zu schärfen, indem sie neue Fahrzeugkonzepte nicht nur schneller präsentieren, sondern auch deren Machbarkeit früher validieren können. Dies erleichtert das langfristige Wachstum bei einer fortschreitenden Einführung von Elektrofahrzeugen.“

### Boeing und Dassault Systèmes kündigen erweiterte Partnerschaft an

Dassault Systèmes und Boeing haben ihre Partnerschaft erweitert. Boeing baut den Einsatz von Dassault Systèmes Produkten in seinen kommerziellen Programmen in der Luft- und Raumfahrt sowie Verteidigung aus, um die Dassault Systèmes 3DExperience Plattform einzusetzen.

Diese Entscheidung ist das Ergebnis eines Wettbewerbsprozesses, bei dem technische und funktionale Fähigkeiten, Kosten und Geschäftsvorteile entlang der gesamten Wertschöpfungskette analysiert wurden. Boeing wird die 3DExperience Plattform nach und nach in Produktion nehmen. Das Unternehmen setzt auf die Branchenlösungen Winning Program, Co-Design to Target, Ready for Rate, Build to Operate und License to Fly für die Luft- und Raumfahrt,

um im gesamten Unternehmen das Potenzial eines digitalen End-to-End Prozesses auszuschöpfen. Dies schließt sowohl die Kollaboration über die Plattform, als auch die Bereiche Design und Engineering, Analyse sowie Fertigungsplanung und -abwicklung mit ein.

„Dassault Systèmes ist stolz darauf, mit Boeing zusammenzuarbeiten. Das Unternehmen macht sich gemeinsam mit einem Partner des Vertrauens in ein neues Innovationszeitalter auf. Boeing ist nicht nur ein Vorreiter innerhalb der eigenen Branche, sondern prägt den Fortschritt in der modernen Gesellschaft“, sagt Bernard Charlès, Vice Chairman und CEO, Dassault Systèmes. „Wir sind an einem Wendepunkt des Industriezeitalters angelangt, an dem wir uns von einem Paradigma der Industrie trennen dürfen: Die Mehrwertkette wird abgelöst durch eine Wertschöpfungskette, und das wird möglich durch den parallelen Austausch von Daten zwischen dem virtuellen und realen Betrieb. Auf diese Weise kann das gesamte „erweiterte“ Unternehmen seine Geschäftsprozesse kontinuierlich messen und steuern und somit maximale Effizienz und potenzielles Umsatzwachstum erzielen. So funktioniert Business im Zeitalter der Erlebnisse.“

Die 3DExperience Plattform kann die Integrations- und Supportkosten senken, die Produktivität steigern und Innovationen fördern. Sie unterstützt zudem dabei, Best-Practice-Prozesse einzuführen. Auf diese Weise lassen sich Abläufe über die gesamte Wertschöpfungskette standardisiert abwickeln. Die 3DExperience Plattform kann nicht nur Produkte und Prozesse simulieren, sondern auch potenzielle Risiken und Qualitätsprobleme aufdecken und eliminieren, bevor die Produktion überhaupt startet. Da die Plattform die einzige Datenquelle ist, die von allen Anwendungen verwendet wird, liefert sie zuverlässige und prozessfähige Echtzeitinformationen. Sie ermöglicht die nahtlose Kommunikation im gesamten Unternehmen und in der Lieferkette sowie über alle Produktgenerationen hinweg. Diese digitale Kontinuität wird die

Datenqualität und die Analysemöglichkeiten verbessern.

„Die Entscheidung für die 3DExperience Plattform von Dassault Systèmes ist ein wichtiger Meilenstein unserer digitalen Transformation. Als digitaler „Enabler“ bietet sie Möglichkeiten weltweit zu designen und zu fertigen. Dies wird den Weg in unser zweites Jahrhundert beschleunigen“, sagt Ted Colbert, Chief Information Officer und Senior Vice President of Information Technology & Data Analytics, Boeing. „Der Mehrwert dieser erweiterten strategischen Partnerschaft ist das gemeinsame Anliegen, die Art und Weise zu verändern, wie Boeing die Welt miteinander verbindet, schützt, erforscht und begeistert.“

[www.3ds.com](http://www.3ds.com)  
[www.simpack.com](http://www.simpack.com)

## ESI-GROUP

### **PAM-Composites 2017: Erleichterung bei der Fertigung von Verbundwerkstoff-Bauteilen**

Die ESI Group gab die Veröffentlichung von ESI PAM-Composites 2017 bekannt. Die neueste Version der führenden Simulationslösung für Fertigungsprozesse von Bauteilen aus Verbundwerkstoffen deckt die Herstellung faserverstärkter struktureller und semi-struktureller Komponenten sowie thermogeformter Akustik- und Bauteile für die Innenausstattung und Verkleidung von Fahrzeugen und Flugzeugen ab. Sowohl im Automobil- als auch im Flugzeugbau müssen Prozess- und Design-Ingenieure, leichte, stabile und haltbare Komponenten aus Verbundwerkstoffen entwickeln, die noch dazu bei vertretbaren Kosten allen Qualitätsanforderungen genügen. Mit PAM-Composites 2017 können sie simulierte, genau auf die Eigenschaften des verwendeten Verbundmaterials abgestimmte Teile erzeugen, die Prozess-Stabilität steigern und Fertigungsdefekte für eine breite Palette von Materialtypen und Fertigungsprozessen deutlich reduzieren.

Während sich in der Vergangenheit die Verbesserungen in der Software vor allem auf endlosfaserverstärkte Verbundbauteile mit hohen strukturellen Anforderungen konzentrierten, zielt PAM-Composites 2017 auf die Fertigung thermogeformter akustischer und kosmetischer Multi-Material-Komponenten, wie sie typischerweise bei der Innenausstattung von Fahrzeugen und Flugzeugen verbaut werden. Die neue Version ermöglicht Anwendern die präzise Vorhersage des Geräusch- und Schwingungsverhaltens (NVH oder Noise, Vibration & Harshness) des gefertigten Produkts, indem Steifigkeit und Materialstärke für jede Position des geformten Bauteils vorhergesagt werden können. Typische Defekte, wie durch den Fertigungsprozess hervorgerufene Rissbildung oder Veränderungen der Oberflächentextur, können vorhergesehen und mittels Simulation korrigiert werden. Diese kosteneffiziente Lösung versetzt Entwicklungs- und Prozessingenieure in die Lage, die Fertigung von Bauteilen aus Verbundwerkstoffen wesentlich präziser zu untersuchen und zeit- und kostenintensive Versuche auf ein Minimum zu reduzieren.

### **ESI Virtual Seat Solution 2017**

Die ESI Group gab die Veröffentlichung der neuesten Version von ESI Virtual Seat Solution 2017 bekannt, der einzigen Software am Markt für die Entwicklung von Sitzen für die Fahrzeug- und Luftfahrtindustrie. Die Software ermöglicht OEMs (Original Equipment Manufacturers) und Sitz-Zulieferern, ihre Sitzprototypen zu konstruieren, zu testen, zu verbessern und zu vorzertifizieren, ohne kostspielige physische Prototypen bauen zu müssen. Industriekunden, welche die Software einsetzen, sparen nicht nur Zeit und Kosten, sondern können hoch innovative Leichtbausitze liefern, die alle Anforderungskriterien erfüllen. Die Anforderungen an die Sitzqualität sind höher als je zuvor, und die Ingenieure müssen diesen Anforderungen mit Produkten gerecht werden, die sicher, komfortabel und zudem leicht sind. In der neuesten Version der Virtual Seat Solution



**CAEJobsite.com**  
The NAFEMS online jobsite for CAE Engineers



NAFEMS Member?  
Advertise for FREE!

RECENT JOBS    CREATE JOB ADVERT    SEARCH JOB ADVERTS    NAFEMS HOME

---

**Welcome to CAEJobsite.com**

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

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

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

**RECRUITERS**

**List your vacancy here to reach thousands of CAE engineers.**

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

[>>> Click here to get started](#)

**Agencies**

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

2017 erweiterte ESI die Möglichkeiten der Software deutlich, um wichtige Sicherheitsstandards zu unterstützen und Ingenieuren zu helfen, bei der Entwicklung eine Vielzahl unterschiedlicher Physiognomien zu berücksichtigen.

“Wenn Sie in der Luftfahrtindustrie eine Sitzlösung entwerfen und konstruieren, ist die 16G EASA- und FAA-Zertifizierung eine der größten Herausforderungen. Die Nutzung von ESI Virtual Seat Solution ist für uns ein effizienter Weg, die Eigenschaften unserer Sitze wesentlich schneller und bei geringeren Kosten beurteilen und Probleme erkennen zu können, als dies mit zeitraubenden Tests an teuren physischen Prototypen möglich wäre. Wir können virtuell unterschiedliche Design- und Materialvarianten testen und so oft wie nötig Änderungen vornehmen, um bei der virtuellen Vorzertifizierung des Sitzes erfolgreich zu sein. Durch Vermeidung des Zeitverlusts und den mit der Korrektur eines nicht befriedigenden Tests verbundenen Kosten konnten wir die Produkteinführungszeit drastisch verkürzen“, kommentiert Benjamin Saada, CEO von Expliseat.

Die speziell an die Erfordernisse in der Luftfahrtindustrie angepasste Version der ESI Virtual Seat Solution 2017 bietet einen komplett vom Programm geführten Head Impact Criteria (HIC)-Prozess und deckt damit einen der herausforderndsten Tests bei der Vorzertifizierung ab. Die Version 2017 vereinfacht

nicht nur Set-Up und Analyse der dynamischen Tests, sondern liefert zudem, dank der korrekten Positionierung des Hybrid II-Dummys und neuer Funktionalitäten, wie z. B. der Harness Definition, genauere Ergebnisse. All dies ermöglicht es den Ingenieuren bei dem Design von Sitz und Kabine, die für die Sitz-Zertifizierung benötigen Iterationen des virtuellen Designs mit nur wenigen Klicks durchzuführen.

Neben der Sitz-Zertifizierung bietet ESI Virtual Seat Solution 2017 spezielle Funktionalitäten und Menschmodelle für die Bewertung des Komforts und der Bewegungsfreiheit. ESI hat die Bibliothek seiner Menschmodelle um ältere, übergewichtige oder körperlich behinderte Personen erweitert, so dass jetzt die Untersuchung des Sitzkomforts für ein breiteres Spektrum unterschiedlicher Personen durchgeführt werden kann. ESI hat diese neuen Modelle und ihren Einsatz an einem Prototyp des Zodiac Sitzes Z301 im letzten Juni auf dem Digital Human Modeling Symposium in Bonn vorgestellt.

Während in der Vergangenheit beheizte und belüftete Sitze nur in Luxusfahrzeugen verbaut wurden, bieten viele Fahrzeughersteller diese Sitztypen heute auch für ihre Mittelklassemodelle an. Für Elektro- und Hybridfahrzeuge benutzen Hersteller diese Sitztypen zunehmend auch, um den Gesamtenergiebedarf zu steuern. Das Design beheizter Sitze und ihre Optimierung, um den

thermischen Komfort effektiv zu steigern, kann eine sehr komplexe Aufgabenstellung darstellen, bei der jede Interaktion zwischen dem Passagier, dem Sitzbezug, dem Schaumkern und dem Heizsystem berücksichtigt werden muss. Darüber hinaus ist es notwendig, den vom Passagier wahrgenommenen, höchst subjektiven bewerteten thermischen Komfort zu adressieren. In ESI Virtual Seat Solution enthaltene Menschmodelle beinhalten die thermische Modellierung für den Dummy und Bewertungskriterien für den thermischen Komfort, die benötigt werden, um den Effekt untersuchen und bewerten zu können, den ein beheizter Sitz auf dem Komfort des Passagiers hat. Die Software-Version enthält darüber hinaus spezielle Funktionalitäten für die Auslegung der Heizmatte und den Thermostat des Sitzes.

Obwohl sie mittlerweile Bestandteil des Standardentwicklungsprozesses sind, ist die Vorhersage des H-Punkts und dessen Optimierung nach wie vor eine Herausforderung, speziell bei innovativen Sitz-Designs. Die neueste Version von ESI Virtual Seat Solution vereinfacht diesen Prozess dank spezieller Werkzeuge zur Optimierung des Materials für den Schaumkern deutlich. Sitz-Ingenieure können nun durch die schnelle und effiziente Untersuchung unterschiedlicher kreativer Konzepte innovativere Produkte entwickeln. Der Schwerpunkt der neuen Version liegt darauf, die

Effektivität von Zeit und Kosten zu gewährleisten und gleichzeitig den bestmöglichen Sitz für jeden Passagier zu bieten.

**ESI veröffentlicht Sysweld 2017**

Die ESI Group gab die Veröffentlichung der neuesten Version von Sysweld – ESIs Softwarelösung für Montage, Schweißen und Wärmebehandlung – bekannt. ESI Sysweld ist am Markt die genaueste Multi-Physics Software für die Finite-Elemente-Analyse (FEA) zur Simulation thermischer Fügeprozesse (Bogen-, Elektronenstrahl-, Laser-, Rührreib- und Punktschweißen) und der Wärmebehandlung (Aufkohlen, Karbonitrieren, Abschrecken). Sysweld sagt zuverlässig und genau die Materialeigenschaften, Restspannungen und Verformungen von Strukturen voraus. Durch die Berücksichtigung aller relevanten Fertigungseffekte und die Möglichkeit, die Simulationsergebnisse von einem Fertigungsschritt zum nächsten zu transferieren, bietet Sysweld eine realistisch vorhersagende End-to-End Lösung für die Fertigung von geschweißten und montierten industriellen Bauteilen.

**ESI Pro-SiVIC 2017: Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen & autonomen Fahrsystemen**

Die ESI Group gab die Veröffentlichung seiner Sensor-Simulationsplattform Pro-SiVIC 2017 bekannt. ESI Pro-SiVIC ermöglicht es Herstellern, das Betriebsverhalten unterschiedlicher Wahrnehmungssysteme (Sensoren) an Bord eines Fahrzeugs oder Flugzeugs virtuell zu testen und unterstützt so maßgeblich die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen, autonomen Fahrsystemen und intelligenten Lichtsystemen. Nach der Veröffentlichung neuer Physik-basierter Sensor-Modelle im letzten Jahr, liegt der Schwerpunkt der neuen Version von Pro-SiVIC auf einer verbesserten Benutzerfreundlichkeit. Darüber hinaus beschleunigt ESI Pro-SiVIC 2017 zeitaufwändige Aufgaben signifikant, wie etwa die Aufbereitung virtueller Simulationsszenarien und die Definition der Fahrzeugbewegung. Die aktuelle Software-Version

ermöglicht ebenso den Import externer Dynamikmodelle, so dass Ingenieure sie in Verbindung mit Pro-SiVIC nutzen können und ein umständlicher Datentransfer und Kompatibilitätsprobleme entfallen.

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

**GRANTA DESIGN**

**Granta erweitert Materialdatenunterstützung für die Simulation**

Granta Design hat angekündigt, dass die JAHM Diagrammdateien, ein umfangreicher Datensatz über temperaturabhängige Werkstoffkennwerte, nun direkt in Granta MI und CES Selector verfügbar ist. Einer der wichtigsten Anwendungsbereiche dieser Daten ist die Bereitstellung verlässlicher Eingabegrößen für die Finite Elemente Simulation. Darüber hinaus ist nun auch Version 5 der Granta MI:Materials Gateway App verfügbar. Diese bietet eine frische, intuitive Anwendererfahrung und ermöglicht es, Materialdaten innerhalb verschiedener Simulationsumgebungen, unter anderem Abaqus/CAE, Ansys Workbench, NX und HyperMesh, sehr schnell zu durchsuchen und zu filtern.

Im Rahmen der Vereinbarung mit JAHM Software Inc. (die erstmals im November 2016 bekannt gegeben wurde) erhalten Granta Anwender Zugriff auf Daten von über 2.900 Werkstoffen, darunter Metalle, Kunststoffe und Keramik, mit 24.000 temperaturabhängigen Datensätzen für E-Module, thermische Ausdehnungen, thermische Leitfähigkeiten, Wöhlerkurven, Spannungs-Dehnungsdiagramme und mehr. Ab sofort stehen diese Daten vollständig im branchenführenden Materialdaten-Managementsystem

Granta MI zur Verfügung. Unternehmen setzen Granta MI ein, um eine einzige, rückverfolgbare, zentrale und einfach zugängliche Quelle für alle Werkstoffinformationen eines Unternehmens einzurichten. Diese umfasst sowohl firmeneigene Daten, wie z. B. aus Testdaten abgeleitete Simulationsmodelle, als auch Daten

aus der Granta Bibliothek mit vertrauenswürdigen Referenzquellen. Die Anwender können aus einer zentralen Quelle auf alle benötigten Daten zugreifen, unter anderem, via MI:Materials Gateway, auch direkt aus ihrer Computer-Aided Engineering (CAE) Software heraus.

Mit Version 5 von MI:Materials Gateway wird eine neue Architektur eingeführt. Diese bietet Konstrukteuren und Berechnungsingenieuren eine schnelle und intuitive Anwendererfahrung mit der Möglichkeit, Apps direkt zu starten und so die Firmendatenbank sehr schnell zu durchsuchen und zu filtern. Dabei sind Konsistenz und Rückverfolgbarkeit gewährleistet. Mit der neuesten Version und den in der Anwendung integrierten Datenblätter, können sie nun alle Materialkennwerte eines gewählten Werkstoffes überprüfen, ohne ihre CAE-Umgebung verlassen zu müssen. Darüber hinaus verbessert Version 5 die zentralisierte Bereitstellung der Software und ermöglicht so eine einfachere Verteilung und Aktualisierung der Anwendung bei den einzelnen Konstruktions- und Simulationsteams.

Dr. Sarah Egan, Product Manager für Grantas Datenprodukte, sagte: „Die idealen Daten für die Simulation stammen aus vollständig getesteten und statistisch analysierten Materialbeschreibungen. Allerdings ist diese Art Daten nicht immer verfügbar, vor allem früh in der Designphase, wenn einige der grundlegenden Designdaten bereits benötigt werden, bevor in ein vollständiges Programm zur Werkstoffprüfung investiert wird. Daher ist es wichtig, qualitativ hochwertige Referenzdaten zu verwenden. Die neuen JAHM Diagrammdateien bieten dies für sehr viele verschiedene Werkstoffe an. Damit ist die Integration der JAHM Diagrammdateien eine wirklich großartige Erweiterung unserer Sammlung an Referenzmaterialien.“

Die JAHM Diagrammdateien können auch aus CES Selector heraus verwendet werden. Die Desktop PC-Software ermöglicht es Ingenieuren, auf die Daten zuzugreifen und sie für den Einsatz in einer Simulation zu exportieren, auch wenn ihr Unternehmen Granta MI noch

# e-LEARNING



Learn Anytime, Anywhere.

nicht im Einsatz hat. Des Weiteren können die JAHM Diagrammdateien auch in Werkstoffauswahlstudien eingebunden werden. Dies ist besonders dann hilfreich, wenn der Ingenieur die Werkstoffauswahl für eine Anwendung auf die Werkstoffe einschränken möchte, für die es bereits gute Eingabewerte für die Simulation gibt.

## Werkstoffkennwerte und UL Yellow Cards Daten

Granta Design hat eine Erweiterung ihrer Partnerschaft mit UL (Underwriters Laboratories, Inc.) bekannt gegeben, die es ermöglicht, über das Granta MI Materialinformations-Managementssystem auf weitere Prospector Materialkennwerte und technische Informationen wie UL Yellow Cards Daten zuzugreifen. Anwender haben nun direkten Zugriff auf diese anerkannte Informationsquelle für Kunststoffe und können sie als Ergänzung zu den umfangreichen digitalen Bibliotheken von Granta und dem eigenen Werkstoffwissen ihres Unternehmens ab sofort nutzen.

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

## INTES

### Generationswechsel bei Intes

Nach 33 Jahren als Geschäftsführer der Intes hat Reinhard Helfrich am 1. Juli 2017 sein Amt an Rolf Fischer übergeben. Reinhard Helfrich bleibt auch künftig für die Entwicklung der Tochtergesellschaften der Intes verantwortlich. „Wir wollen weiterhin unsere Unabhängigkeit behalten und übertragen die Verantwortung auf die nächste Generation“, sagt Reinhard Helfrich. „Damit schaffen wir für unsere Kunden die Vertrauensbasis für eine fortgesetzte kontinuierliche Entwicklung der Intes“.

Rolf Fischer ist seit über 20 Jahren als Entwicklungsleiter bei der Intes tätig. „Wir bieten unseren Kunden bereits heute die Software für die kommenden Herausforderungen hinsichtlich Modellkomplexität und Rechengeschwindigkeit“, betont Rolf Fischer. „Mit dem weiteren Ausbau der Software in Funktion und Komfort wollen wir für unsere Kunden national und international noch attraktiver werden. Dabei setzen wir auf innovative Lösungen in enger Kooperation mit unseren Kunden.“

Intes ist seit der Gründung in 1984 ein unabhängiges Software-Entwicklungsunternehmen in privater Hand. Mit seinen Produkten Permas und VisPER zur Finite-Elemente-Analyse von Bauteilen, Maschinen und Fahrzeugen hat sich Intes am Markt etabliert. Permas ist eine integrierte FE-Berechnungssoftware. Permas verbindet Thermomechanik, Vibroakustik und Entwurfsoptimierung. VisPER ist der dazu passende integrierte Pre- und Postprozessor mit graphischer Benutzerführung und komfortablen Modellierungs- und Auswertefunktionen.

### Multimodale Optimierung zur Auslegung und Positionierung von Schwingungsabsorbern

Schwingungsabsorber werden hauptsächlich im Bauwesen eingesetzt, z.B. für Hochhäuser und Brücken. Aber auch der Maschinenbau profitiert von Schwingungsdämpfern wie bei der Interaktion von Maschinen und Gebäuden und der Isolation schwingender Strukturen. Außerdem sind Schwingungsdämpfer immer ein Thema, wenn instabile Schwingungen entstehen können,

z.B. beim Bremsenquietschen und bei Schwingungen von Rotorblättern in Turbinen.

Obwohl oft zeitabhängige Prozesse für anwachsende Schwingungsamplituden verantwortlich sind, bleibt eine gute Dämpfung über einen weiten Frequenzbereich von großem Interesse, weil die kritischen Frequenzen selten zuvor genau bekannt sind. Deshalb liegt hier der Fokus auf deterministischen harmonischen Lasten.

Das klassische Mittel zur Schwingungsabsorption sind abgestimmte Schwingungstilger, die als Feder-Masse-Dämpfer-System ausgelegt sind. Sie werden mit dem zu dämpfenden System verbunden und beeinflussen dessen Schwingungsverhalten, um unerwünschte Schwingungen zu unterdrücken. Für die Auslegung solcher Tilger gibt es nur für einfache Zweimassenschwinger geschlossene Lösungen zur Berechnung der Tilgerparameter. Im Falle einer Finite-Element-Berechnung von flexiblen Strukturen müssen aber mehrere Moden gedämpft werden, muss ein breites Band an Anregungsfrequenzen berücksichtigt werden und müssen mehrere Schwingungsabsorber gleichzeitig behandelt werden können.

Die Lösung gelingt mit einer multimodalen Optimierung mit einem Dimensionierungsansatz (Sizing) für die Absorberparameter und einem Positionierungsansatz für die optimale Montage der Absorber. In Permas erfolgt die Lösung mit einem einzigen Modell und in einer einzigen Software für die dynamische Finite-Elemente-Berechnung und die Optimierung. In jeder Optimierungsschleife erfolgt eine dynamische Eigenwertberechnung, eine modale Frequenzganganalyse und ein Optimierungsschritt. Mit diesem integrierten Optimierungsprozess kann der Anwender die optimalen Absorberparameter und die Positionen mehrerer Schwingungsabsorber gleichzeitig ermitteln.

### Permas auf den neuen Intel XEON Scalable Processors

Die erreichbaren Rechenzeiten von Permas hängen stets von der Leistung der Hardware und der Software ab. Die seit vielen Jahren bestehende enge Kooperation zwischen Intel und Intes gewährleistet die laufende Anpassung der Software an neue Möglichkeiten der Hardware, um immer an der Spitze des High Performance Computing zu bleiben. Deshalb sind neue Prozessorgenerationen von Anfang an mit passenden Softwareversionen verfügbar. Das ist es, was Intes seinen Kunden anbieten kann.

Wir möchten mit unseren Lösungen alle Anwender erreichen, die einen steigenden Bedarf nach High Performance FE-Berechnungen haben. Simulationsgetriebene Entwicklungen stärken dabei den Trend zu genaueren Simulationsergebnissen. Dabei ist eine höhere Genauigkeit durch den Einsatz größerer und komplexerer Modelle erreichbar.

Die neuen Intel XEON Scalable Processors werden durch Permas von Anfang an unterstützt. Auf diesen Prozessoren zeigt Permas eine herausragende Leistung, die auf dem gemeinsamen Flyer dokumentiert ist. Es wurde eine um 56% höhere Leistung auf einem 4-Socket-Server gemessen im Vergleich zur vorigen Servergeneration.

Der Leistungssprung auf diesen neuen Intel XEON Scalable Processors ist vor allem dem AVX 512 Instruktionssatz zu danken, der die hochstufigen Matrizenoperationen in Permas perfekt unterstützt. Außerdem hilft eine größere Memory-Bandbreite, die Prozessorgeschwindigkeit auszunutzen.

Große Simulationsmodelle laufen meist nicht nur im Memory. Ein Hochgeschwindigkeitsspeicher wie Intels NVMe SSD wird von Permas direkt angesprochen, ohne einen I/O-Controller, was zu einem hocheffizienten I/O und kurzen Laufzeiten beiträgt. Insbesondere kann Permas den I/O direkt auf den Speicher schreiben und von dort lesen, um die höchstmögliche I/O-Geschwindigkeit zu erreichen. Eine weitere Steigerung der Geschwindigkeit des Datentransfers kann durch

Striping von SSDs erreicht werden. Prozessorsysteme mit mehreren Sockets sind für die Erhöhung des Durchsatzes in Kombination mit SSDs bestens geeignet, da mehrere Jobs gleichzeitig ausgeführt werden können.

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

### INSTAL

#### Instal-News

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

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

### IPH HANNOVER

#### Wissenschaftler aus Hannover entwickeln neues Leichtbau-Verfahren

Ein neues Schmiedeverfahren für den automobilen Leichtbau entwickelt das Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH) gGmbH gemeinsam mit dem Institut für Schweißtechnik und Trennende Fertigungsverfahren (ISAF) der TU Clausthal. Die Wissenschaftler wollen Stahlbleche und Aluminium-Massivteile bereits während der Umformung stoffschlüssig verbinden – ohne zusätzlichen Fügenschritt. Damit lassen sich belastungsoptimierte Bauteile schnell und effizient herstellen.

Das Verbundhybridschmieden kombiniert erstmals zwei Leichtbauansätze: Zum einen verbindet es Blech- und Massivteile stoffschlüssig miteinander, zum anderen nutzt es verschiedene Werkstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften – etwa leichtes Aluminium und festen Stahl. In einem einzigen Prozessschritt wollen die Wissenschaftler ein Stahlblech und einen massiven Aluminiumbolzen umformen und gleichzeitig fügen. Bisher werden die einzelnen Komponenten erst umgeformt und dann verbunden, etwa mittels Bolzenschweißen. Das

Verbundhybridschmieden soll den zusätzlichen Fügeschritt überflüssig machen – und so dazu beitragen, dass sich Leichtbauteile schneller und wirtschaftlicher herstellen lassen.

Auf dem Weg zum neuen Leichtbauverfahren stehen das IPH und das ISAF vor zwei Herausforderungen. Zum einen hat Aluminium einen deutlich niedrigeren Schmelzpunkt als Stahl – das erschwert die gemeinsame Umformung. Zum anderen entstehen spröde intermetallische Phasen, wenn sich Stahl und Aluminium vermischen. Eine solche stoffschlüssige Verbindung ist nicht belastbar und damit ungeeignet für den Automobilbau. Die Forscher nutzen deshalb ein verzinktes Stahlblech und einen Aluminiumbolzen mit Zinkbeschichtung: Zink lässt sich sowohl mit Aluminium als auch mit Stahl stoffschlüssig verbinden, ohne dass spröde Phasen entstehen.

Im Forschungsprojekt „Verbundhybridschmieden“ untersuchen die Wissenschaftler, unter welchen Bedingungen das Verfahren gelingt – also bei welcher Temperatur, welchem Druck und welcher Geschwindigkeit die beiden Komponenten umgeformt und gefügt werden sollten. Für welche Blechdicken und Bolzenformen sich das Verfahren eignet, ermitteln die Wissenschaftler ebenfalls. Zudem erforschen sie, welchen Belastungen die Fügezone standhält und inwieweit sich das Hybridbauteil nach dem Fügen weiterverarbeiten lässt.

Mittels Verbundhybridschmieden könnten in Zukunft Bauteile für die Automobil- und Luftfahrtbranche hergestellt werden, beispielsweise Längsträger, Aufnahmen für Heckleuchten oder Ösen zur Frachtsicherung. Leichtbau spielt im Automobil- und Flugzeugbau eine große Rolle, denn mit jeder Gewichtseinsparung sinkt der Kraftstoffverbrauch. Das Institut für Integrierte Produktion Hannover (IPH) gGmbH erforscht seit Jahren unterschiedliche Leichtbauansätze in der Blech- und Massivumformung: Die Forscher widmen sich beispielsweise dem Querkeilwalzen und Innenhochdruckumformen von Hybridbauteilen aus Stahl und Aluminium. Auch die Kombina-

tion von Blech- und Massivbauteilen unterschiedlicher Werkstoffe in einem einzigen Umformschritt ist den Forschern schon gelungen – bisher haben sie jedoch nur eine prototypische formschlüssige Verbindung zwischen einem Stahlblech und einem Aluminiumbolzen hergestellt. Im Forschungsprojekt „Verbundhybridschmieden“ setzen sie auf eine stoffschlüssige Verbindung mit Zink als Lotwerkstoff, da dies gleichzeitig Vorteile bei der Kontaktkorrosion der Materialpaarung Stahl-Aluminium bietet.

Gefördert wird das Projekt von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Weitere Informationen sind unter [www.verbundhybridschmieden.iph-hannover.de](http://www.verbundhybridschmieden.iph-hannover.de) zu finden.

[www.iph-hannover.de](http://www.iph-hannover.de)

## MSC SOFTWARE

### **Nichtlineare Erweiterungen in Marc 2017: NASA Tech Briefs Produkt des Jahres 2016 wird erweitert**

MSC Software gab die Veröffentlichung von Marc 2017 bekannt. MSC erweitert die wegweisenden Marc-Funktionalitäten für adaptive Vernetzung, Materialmodellierung und Kontakt. Somit können nichtlineare Berechnungen noch effizienter und genauer durchgeführt werden. Highlights dieser Version:

> Erweiterte Kurvenanpassung für Materialmodelle

Um die Eigenschaften von Kunststoffen, Gummi und Faserverbundwerkstoffen für die Berechnung richtig abzubilden, werden komplizierte Materialmodelle benötigt. Die Daten dafür werden durch Tests gewonnen. Mithilfe der Kurvenanpassung (Data Fitting) entsteht daraus die Gleichung für das Materialmodell. Marc ist ein Vorreiter bei Materialmodellierung und Data Fitting. Dieses steht jetzt auch für Karbongummi, Thermoplaste, Walzbleche, die komplexe anisotrope Flächen aufweisen, und weitere nichtlineare Materialien zur Verfügung. Mit diesen Erweiterungen kann der Anwender hochentwickelte Materialien zuverlässiger,

schneller und kostengünstiger für die Berechnung modellieren.

> Neues in der Fertigungssimulation  
Der Anwender kann definieren, dass beim Erreichen einer bestimmten Temperatur der Kontakt zwischen zwei Teilen entweder fest verschmolzen wird oder aufbricht. Mit dem Verschmelzen des Kontakts kann thermisches Fügen, z.B. Schweißen, simuliert werden. Das Aufbrechen des Kontakts ist interessant für Delamination von Faserverbund oder anderen verklebten Strukturen. Dadurch kann der Anwender Änderungen im Kontaktverhalten sowohl abhängig von der Position als auch von der Temperatur abbilden.

> Höhere Produktivität und Effizienz  
Das Parallelrechnen in Marc wurde weiter verbessert, es ergeben sich deutlich geringere Rechenzeiten und höhere Effizienz in der nichtlinearen Analyse. Die globale adaptive Vernetzung in Marc, die das Netz während der Rechnung an interessanten Stellen verfeinert, ist weitverbreitet bei der Simulation von Gummiteilen, Umformprozessen und Bruchmechanik. Neu ist, dass die globale adaptive Vernetzung nun auch für Tetraederelemente höherer Ordnung unterstützt wird, welche normalerweise für die Simulation des Biegeverhaltens verwendet werden. Außerdem wird die aktuelle deformierte Geometrie besser und mit höherer Netzqualität abgebildet. Die Elementbibliothek wurde erweitert: es gibt nun auch Pyramidenelemente, die einen korrekten Übergang zwischen Hexaeder- und Tetraederelementen ermöglichen. Das ist praktisch bei der Modellierung komplexer Geometrien, und es werden weniger Elemente im Modell benötigt. Als multidisziplinäre Software bietet Marc 2017 auch Verbesserungen bei der Modellierung von Gebern, Regelungssystemen, Drucksensoren und Motoren, die piezoelektrische Materialien enthalten. Auch für diese Simulationen werden jetzt 3D-Elemente höherer Ordnung unterstützt, die das Biegeverhalten genauer abbilden.

> Schnittstellen

Mit dem neuen Datenverschlüsselungssystem in Marc 2017 können

Ingenieure auf einfache und sichere Weise Materialmodelle austauschen. Dies sorgt für eine effizientere Zusammenarbeit zwischen den Anwendern in Materialprüflaboren, bei OEMs und Zulieferern. Es gibt weniger Reibungsverluste, wenn die Ingenieure in verschiedenen Firmen eine konsistente Methode zum Datenaustausch haben, und gleichzeitig wird geistiges Eigentum zuverlässig geschützt.

> Verbesserungen der Benutzeroberfläche

In Mentat wird die CAD-CAE-Integration weiter vorangetrieben. Die CAD-Geometrie wird von der Modellerzeugung bis zur Ergebnisdarstellung durchgängig genutzt, so dass im Entwicklungsprozess keine Geometrieinformationen verlorengehen.

„Die Erweiterungen, die wir zu den preisgekrönten Fähigkeiten von Marc hinzugefügt haben, machen für unsere Anwender die Benutzung noch einfacher und die Ergebnisse noch genauer.“ - Dr. Ted Wertheimer, Technical Fellow bei MSC Software.

Weltweit vertrauen Ingenieure der umfassenden und einheitlichen Marc-Software und verwenden sie für ein enormes Spektrum an Simulationen in Luft- und Raumfahrt, Automobilbau, Bio- und Medizintechnik, Öl- und Gasindustrie und Fertigungsindustrie.

**Exakte Fahrzeugsimulationen, erweiterte Echtzeitfähigkeiten in MSC Adams 2017.2**

MSC Software gab die Veröffentlichung der neuesten Version von MSC Adams bekannt - 2017.2. MSC Adams ist bekannt für genaue und robuste Mehrkörpersimulation. Schwerpunkt der Version 2017.2 sind Anwenderfreundlichkeit und Rechengeschwindigkeit von Adams Solver und Adams Car und erweiterte Echtzeitfähigkeiten von Adams Real Time. Die Version kommt im Juli 2017 heraus.

Highlights von Adams 2017.2:

> • Schnelleres Parallelrechnen mit Adams Solver

Die Rechenleistung von Adams Solver Shared Memory Parallel (SMP) auf mehreren Threads wurde ver-

bessert, es zeigten sich bis zu 30% Reduktion der Rechenzeit.

> Adams Car Modellorganisation  
Bisher repräsentierte ein Adams Car Assembly eine einzige Modellkonfiguration. In Adams 2017.2 können mehrere Modellkonfigurationen in einem Assembly gespeichert werden, so dass die Organisation von Assemblymodellen mit verschiedenen Untersystem-Kombinationen viel einfacher wird.

• Anpassung der Modellgenauigkeit  
Hochgenau modellierte Komponenten können sehr rechenaufwändig sein. Das wird besonders kritisch, wenn es um Hardware-in-the-Loop Echtzeitsimulationen geht. In vielen Fällen können auch mit einem vereinfachten Modellierungsansatz ausreichend genaue Ergebnisse erzielt werden. In Adams 2017.2 wurde eine automatisierte Methode eingebaut, die die Modellierungsgenauigkeit von Reifen und Stabilisatoren reduziert. Damit können oft bis zu 90% der Rechenzeit fürs Gesamtfahrzeug eingespart werden - bei vergleichbar genauen Ergebnissen. So steht den Adams Real Time Anwendern eine größere Auswahl von Fahrzeuganalysen offen.

> Aerodynamische Kraft und Seitenwind

In Adams 2017.2 gibt es ein neues Objekt für die aerodynamische Kraft, mit dem aerodynamische Lasten an entweder einem oder zwei Punkten auf dem Körper aufgebracht werden können. So können die Auswirkungen aerodynamischer Kräfte besser berechnet werden. Das neue Seitenwind-Event verwendet dieses Objekt für die aerodynamische Kraft, um Windlasten auf das Fahrzeug aufzubringen, wodurch aerodynamische Kräfte leichter in alle möglichen Automodelle integrierbar sind.

> Neue Fahrzeugevents

In dieser Version wurden eine Reihe zusätzlicher Fahrzeugevents in Adams Car implementiert:  
- Neue Events für Open Loop Steuerung (kein Nachregeln durch den Fahrer): Fishhook-Test, Grist Mill, Freihändig, J-Turn, Um Lenkradmitteinstellung, Einparken, Lenkung voll einschlagen

- Weitere neue Events: Ausweichmanöver, Gasgeben in der Kurve,

Driften und Seitenwind-Event

Da diese Events nun standardmäßig vorhanden sind, erfordern sie keine manuelle Anpassung mehr, und der Anwender spart viel Zeit bei den verschiedenen Analysen des Fahrzeugverhaltens.

**Die japanische Firma Manabe Zoki nutzt MSC Apex für die Entwicklung von Schwerlastkränen**

MSC Software gab bekannt, dass Manabe Zoki Company Limited sich für MSC Apex als Software für die effiziente Produktentwicklung von Schwerlastkränen entschieden hat. Manabe Zoki ist ein führender Hersteller von Deckskränen und Seilwinden für die Schifffahrt.

In den letzten Jahren steigt die Nachfrage nach einer effizienten Nutzung der Decksfläche und verbessertem Güterumschlag, wobei gleichzeitig die Fracht vielfältiger wird.

Manabe Zoki entwickelt „Japans ersten 500-Tonnen-Deckskran“, der sowohl Schwergut als auch Stückgut hocheffizient und energiesparend handhabt.

MSC Apex ist die innovative CAE-Plattform, welche den Ingenieuren einen neuartigen Simulationsprozess mit einem vollständig integrierten Modellierungstool bietet. Die Ergebnisse werden bei Geometrieänderungen automatisch aktualisiert, was die Simulationszeit stark reduziert. Zudem prüft die Anwendung interaktiv, ob alle Eingaben im Modell gültig und vollständig sind, damit Fehler schon vor der Rechnung abgefangen werden.

Mit MSC Apex können Entwicklungsingenieure Problemstellen einfach identifizieren und das Design verbessern und feintunen, um die entscheidenden Anforderungen zu erfüllen. Dank der in Apex integrierten Geometriewerkzeuge muss der Berechner auch nicht mehr auf das CAD-System zurückgreifen, um Geometrie zu erzeugen und Designänderungen auszuprobieren. Dadurch sind Designiterationen weniger aufwändig, und die Simulation ist schon zu einem früheren Zeitpunkt im Entwicklungszyklus involviert. Um einen Schwerlastkran mit 500 Tonnen Traglast effizienter

zu entwickeln, benötigte das Team von Manabe Zoki ein präzises Werkzeug für die Strukturberechnung. Also evaluierte Manabe die leicht erlernbare und intuitive CAE-Plattform MSC Apex mit ihrer unverwechselbaren Entwicklungsumgebung. Von der Einführung von MSC Apex verspricht sich Manabe reduzierte Entwicklungszeiten und -kosten.

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

## PD Tec

### PD Tec auf Wachstumskurs: Neues Büro am bekannten Standort

Die PD Tec AG informiert, dass das Unternehmen im Juni 2017 neue Büroräume innerhalb des Technologiepark Karlsruhe (TPK), in der Albert-Nestler Str. 21, bezogen hat. Die neuen Räumlichkeiten, die einer Verdopplung der bisherigen Flächen entspricht, umfassen nicht nur Büros für die in jüngster Zeit hinzugekommenen Mitarbeiter von PD Tec, sondern bieten dem Unternehmen auch die Möglichkeit, auf den Wachstumskurs der Zukunft vorbereitet zu sein.

„Mit den erweiterten Räumlichkeiten unserer Hauptniederlassung in Karlsruhe ist die PD Tec AG in Bezug auf das in den kommenden Jahren zu erwartende Wachstum gut aufgestellt“, sagt Albrecht Pfaff, Vertriebsvorstand der PD Tec AG. „Der Technologiepark Karlsruhe ist für uns der ideale Standort. Hier stehen uns moderne Gebäude, eine gute Infrastruktur, hervorragende Verkehrsanbindungen, umfangreiche Schulungs-, Tagungs- und Konferenzräume zur Verfügung und haben - nicht zuletzt durch das KIT (Karlsruher Institut für Technologie) - auch einen sehr guten Zugang zu Studenten, Absolventen und neuen Mitarbeitern.“

Die PD Tec AG ist ein bekannter und renommierter Anbieter von Software und Services für das Datenmanagement im Engineering sowie für Partner- und Lieferantenintegration auf PDM-basierten Struktur- und CAD-Datenaustausch. Die von PD-

Tec angebotene Software Collaboration Portal, CAD Portal, SimData Manager, und ice.NET wurden mit der langjährigen Erfahrung des Unternehmens im Bereich Prozessintegration entwickelt und werden vor allem in der Automobilindustrie, der Luft- und Raumfahrt, dem Maschinen- und dem Schiffbau aber auch in der Energieversorgung, der Elektroindustrie sowie in der Informationstechnologie eingesetzt. Das Unternehmen hat seinen Hauptsitz in Karlsruhe.

### Partnerschaft vereinbart - AVL nutzt ice.NET von PD Tec für Modelldatenmanagement - siehe auch AVL List -

AVL List GmbH und die PD Tec AG haben eine Partnerschaft vereinbart. Im Rahmen dieser Partnerschaft wird AVL die Datenmanagementplattform ice.NET von PD Tec einsetzen, um darauf aufbauend ein Modelldatenverwaltungs-System für die Simulationsprodukte Model.Connect, Cruise M, FIRE M und Excite anzubieten und weltweit zu vermarkten.

„AVL wird ihren Kunden eine leistungsfähige, umfassende und robuste Lösung zur Verwaltung von Simulationsmodellen auf System- und Komponentenebene anbieten. Wir sehen in der Partnerschaft mit PD Tec eine hervorragende Möglichkeit, um auf die etablierte und bewährte Technologie von ice.NET aufzusetzen. So konnten wir in kürzester Zeit ein Modelldatenverwaltungs-System für unsere Simulationsprodukte Model.Connect und Cruise M realisieren. In weiterer Folge wird die Lösung auch für die Simulationsprodukte FIRE M und Excite verfügbar sein“, erklärt Jürgen Krasser, Entwicklungsleiter Software bei AVL.

PD Tec sieht in dieser Partnerschaft einen wichtigen Meilenstein des Unternehmens in der konsequenten Umsetzung seiner Partnerstrategie. „Wir freuen uns, dass die AVL-Kunden schon sehr bald ein Datenmanagement-System in ihrer gewohnten Simulationsumgebung einsetzen können“, sagt Albrecht Pfaff, Vertriebsvorstand der PD Tec AG. „Die AVL-Simulationssoftware

ist in der Antriebstechnik eine weltweit verbreitete Technologie, die von tausenden Ingenieuren täglich erfolgreich eingesetzt wird. Das neue Datenmanagementsystem bietet deutliche Vorteile durch eine strukturierte Modellablage und ermöglicht es dem Berechnungsingenieur, wertvolle Entwicklungszeit einzusparen.“

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

## SCALE

### SCALE eröffnet Büro in Wolfsburg

Die SCALE GmbH hat in der Altstadt Wolfsburg am 1. Juli ein neues Büro eröffnet. Das im Bahnhofsgelände gelegene Büro befindet sich in unmittelbarer Nähe zum Stammwerk der Volkswagen AG sowie zu zahlreichen Entwicklungspartnern. Mit der neuen Niederlassung in der Hochburg der norddeutschen Automobilindustrie hat SCALE ideale Voraussetzungen zur Vor-Ort-Unterstützung der Anwender und Entwicklungspartner im Großraum Wolfsburg geschaffen. SCALE verbindet eine enge Geschäftsbeziehung mit dem Volkswagen-Konzern und Automobilzulieferern im Bereich CAE Prozess- und Datenmanagement. In diesem Zusammenhang wurden IT-Lösungen wie LoCo entwickelt, die bei Volkswagen im Einsatz sind und die Berechnungsprozesse dort unterstützen. SCALE ist als Tochterunternehmen der DYNAMORE Group mit Firmensitz in Ingolstadt auf Softwareentwicklung für Prozess- und Simulationsdatenmanagement spezialisiert. Im Vordergrund steht die Realisierung anspruchsvoller Client-Server-Applikationen, Web-Frontends und Visualisierungsanwendungen im Bereich der virtuellen Produktentwicklung (CAE, Simulation). Softwarelösungen für das Management von Simulationsdaten und -prozesse sowie für kollaboratives Arbeiten in großen Teams verzeichnen insbesondere in der Automobilindustrie weltweit hohe Zuwächse. Das von SCALE entwickelte Flaggschiffprodukt LoCo bietet dafür eine äußerst innovative Systemlösung. Als DYNAMORE-

Tochter hat SCALE zudem einen fundierten Background in CAE-Anwendungen und -Prozessen und kann Kunden bei der Integration von SDM-Systemen optimal beraten.

[www.scale.eu](http://www.scale.eu)

## SCHNEIDER DIGITAL

### Neues 3D PluraView Basis-Modell mit 2,5K – Mehr Auflösung und Helligkeit zum gleichen Preis

Mit 2x 3,7 MP Auflösung (2.560 x 1.440 Bildpunkte) bei 27" Bildschirm-Diagonale stellt das 2,5K passive Stereo Display von Schneider Digital den neuen Einstieg in die 3D PluraView Referenzklasse dar. 3,7 MP Display-Auflösung bietet 77% Prozent mehr Bildschirm-Arbeitsfläche als ein Full-HD System mit 2,1 MP. Der Monitor wurde speziell für die stereoskopische Darstellung von 3D-Software-Applikationen wie der Photogrammetrie, Punktwolkensvisualisierung von Laserscans sowie zur 3D-Datenvisualisierung in der Öl- und Gas-Prospektion entwickelt. Auch in der Computertomographie, Medizintechnik und der Molekülforschung finden sich viele Anwender und profitieren dabei von seiner nun 77% höheren Basis-Auflösung. Der neue 3D PluraView 2,5K verfügt dank neuester LED Backlite Technologie jetzt über eine Stereo-Helligkeit von 210cd/qm! Mit dieser fast 17% Helligkeit Steigerung gegenüber dem Full-HD Modell ist der 3D PluraView 2,5K noch besser für die 3D-Stereo Auswertung in Tageslicht Umgebung geeignet. Höchster Kontrast von 12.000.000:1 und 8-Bit Farbtiefe in Verbindung mit der BlackTuner-Technologie des neuen 3D PluraView 2,5K ermöglichen pixelgenaues Arbeiten bei gestochen scharfem 3D-Bildern. Die bewährte innovative Beamsplitter Spiegel-Technologie der 3D PluraView Familie gewährleistet dabei absolute Flimmerfreiheit und führt in Verbindung mit den ergonomischen, passiven 3D-Polarisationsbrillen, zu einem Höchstmaß an Anwenderzufriedenheit.

Der neue 3D PluraView 2,5K unterstützt unter Linux und Windows alle gängigen 3D-Stereo Applikationen. Summit Evolution von Datem, DTMaster von Trimble (Inpho), Imagine Photogrammetry (LPS) von Hexagon/erdas, Z/I ImageStation von Intergraph, Gcarto/ArcGDS von Geosoft, Socet Set/Socet GXP von BAE Systems, uSmart von Smart-Tech, TerraSolid, Rhino-Terrain sind dabei nur einige zertifizierte GIS-Lösungen. Mit dem neuen 2,5K Basis-Modell und dem erfolgreichen High-Res. 3D PluraView 4K grenzt sich Schneider Digital weiter im Wettbewerb professioneller 3D-Stereo Monitor Anbieter nach oben ab.

[www.schneider-digital.com](http://www.schneider-digital.com)

## SIEMENS PLM SOFTWARE

### Neue LMS Sound Camera von Siemens

Siemens stellt die neue LMS Sound Camera vor: ein schnelles, flexibles System zur Schallquellenlokalisierung, das sich in zahlreichen Branchen für eine schnellere Ursachenforschung in der Akustik einsetzen lässt. Außerdem lassen sich mit der Lösung Akustikdesign und Markenwahrnehmung verbessern. Egal, ob im Praxisversuch oder im Labor: Mit dem modularen, hochwertigen digitalen Mikrofon-Array mit Spezialsoftware lassen sich Schallquellen jeglicher schallerzeugender Objekte sofort und präzise visualisieren. Die LMS Sound Camera gehört zum Simcenter-Portfolio von Siemens mit Simulations- und Testlösungen für Predictive Engineering Analytics und kann durch unterschiedliche Armlängen in drei Größen eingesetzt werden. Gekoppelt mit zusätzlichen Mikrofonen lassen sich die Möglichkeiten je nach den individuellen Kundenanforderungen erweitern. Abgedeckt wird ein Frequenzbereich von bis zu 20 kHz. Neue digitale Sensoren, ein skalierbares Design und schnelle Ergebnisse: ein effizienteres, kostengünstigeres Produkt, das sich von Einsteigern wie Experten nutzen lässt.

„Mit der LMS Sound Camera lassen sich einfache wie technisch hochkomplexe Tests deutlich schneller und mit weniger Schulungsaufwand durchführen“, so Dr. Jan Leuridan, Senior Vice President für Simulations- und Testlösungen von Siemens PLM Software. „Diese Neuheit in unserem Simcenter-Portfolio bietet spannende Möglichkeiten für die Schallquellenlokalisierung in den verschiedensten Branchen, zum Beispiel in der Automobilindustrie, in der Luft- und Raumfahrt, im Schiffsbau, in der Konsumgüterindustrie, im Industriemaschinenbau und vielen anderen.“

Mit der LMS Sound Camera können Ingenieure durch die Schallquellenlokalisierung aus verschiedenen Abständen und Winkeln die Ursachen von Akustikproblemen schneller analysieren. Mit kurzer Armlänge eingesetzt, kann das Array zuverlässige Ergebnisse im Nah- und Fernfeld liefern. Für größere Strukturen, die aus längerem Abstand gemessen werden müssen, bietet sich die größere Armlänge an.

Mit der LMS Sound Camera wird die effiziente Ursachenforschung im Akustikbereich unabhängig von Distanz oder Objektgröße. Sie können dasselbe Array im Praxisversuch und für Labormessungen einsetzen. Außerdem lässt es sich von unterschiedlichen Teams für die verschiedensten Aufgaben bei der Schallquellenlokalisierung verwenden. Da die gesamte Elektronik im Array integriert ist, sind keine weiteren externen Systeme für die Datenerfassung erforderlich. Es ermöglicht die sofortige, zuverlässige Lokalisierung von stationärem oder transientem Schall oder von Impulsgeräuschen.

Für komplexere Anwendungen lässt sich die LMS Sound Camera mit der Hardware LMS Scadas und der Software LMS Test.Lab kombinieren, die ebenfalls zum Simcenter-Portfolio gehören. LMS Test.Lab bietet eine komplette, integrierte Lösung für die testbasierte Entwicklung. Mit der Lösung können Daten in Hochgeschwindigkeit und über mehrere Kanäle erfasst werden. Gleichzeitig bietet die Lösung einen vollständigen Satz an Tools für Tests, Analyse

und Berichterstellung.

Weitere Informationen über die LMS Sound Camera finden Sie hier:

<https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/lms/testing/sound-camera/index.shtml>

### **DNV GL und Siemens gehen voran bei Asset Lifecycle Management für Öl- und Gasindustrie**

DNV GL, technischer Berater in der Öl- und Gasindustrie, setzt auf das Teamcenter-Portfolio von Siemens, der weltweit am häufigsten eingesetzten Software für Digital Lifecycle Management. Damit unterstützt das Unternehmen Kunden dabei, die Sicherheit und Wirksamkeit von Informationen über den gesamten Anlagenlebenszyklus hinweg zu verwalten. Für den nächsten Schritt hin zu einem effizienten und Informations-basierten Asset Lifecycle Management kombinieren die beiden Unternehmen das umfassende technische Branchenwissen von DNV GL aus Öl- und Gasprojekten sowie -verfahren mit der Technologie von Siemens PLM Software. So entsteht ein leistungsstarkes, digitales Asset-Modell.

Das Interesse für die digitale Transformation in der Öl- und Gasindustrie nimmt weiter zu. Siemens und DNV GL unterstützen diesen Trend. Laut einer Studie<sup>1</sup> von DNV GL zeigt sich fast die Hälfte (49 Prozent) aller Führungskräfte in der Öl- und Gasbranche davon überzeugt, dass Digitalisierung ein notwendiger Schritt zu mehr Rentabilität ist. 39 Prozent glauben, dass die Ausgaben für Digitalisierung im Jahr 2017 zunehmen werden.

Der Lebenszyklus einer Anlage ist von der Phase der Durchführbarkeit bis zum Ende der Lebensdauer von Daten in unterschiedlichen Formaten geprägt. Zudem fehlt oft eine einheitliche Quelle für entscheidende Informationen, auf die alle Inhaber, Betreiber, Konstrukteure, Werften und Hersteller zugreifen können. Dadurch ergeben sich Kosten-, Qualitäts- und Sicherheitsaspekte bei der Konstruktion sowie während des Betriebs und bei Modifikationen von Anlagen. DNV GL begegnet diesen Herausforderungen durch die Kombination seines einzigartigen Bran-

chenwissens mit dem umfassenden Teamcenter-Portfolio von Siemens.

### **Leica Geosystems setzt auf Teamcenter und NX**

Leica Geosystems, ein weltweit führender Anbieter für Messtechnik, hat sich zur Beschleunigung der digitalen Transformation für das Teamcenter-Portfolio der Business Unit für Product Lifecycle Management (PLM) von Siemens entschieden. Der Wechsel vom bisherigen System zu Teamcenter, der weltweit am häufigsten eingesetzten Software für digitales Lifecycle Management, verschafft dem Unternehmen einen ganzheitlichen Blick auf den Produktentwicklungsprozess – vom ersten Konzept bis zur Ausführung. Außerdem trägt dieser Schritt zur Verbesserung der operativen Exzellenz bei. Hierfür wird Teamcenter mit NX, der integrierten Lösung für Computer-aided Design, Manufacturing und Engineering (CAD/CAM/CAE) von Siemens, kombiniert. So hat der Branchenführer für räumliche Datenerfassung alle notwendigen Werkzeuge an der Hand, um neue Produkte zu konstruieren und die Produktions- und Qualitätssicherung zu optimieren.

Eine digitale Strategie auf Basis von Teamcenter und NX soll es Leica Geosystems erleichtern, Prozesse zu vereinfachen, zu standardisieren und zu automatisieren. Dadurch können Innovationen ermöglicht werden und Wettbewerbsvorteile geschaffen werden.

### **Siemens und HP kooperieren bei 3D-Druck**

Im Rahmen ihrer langjährigen Partnerschaft treiben HP Inc. und Siemens jetzt den 3D-Druck in der industriellen Produktion weiter voran. Dafür haben die beiden Unternehmen zusammen ein neues, HP-zertifiziertes Softwaremodul für die additive Fertigung (AM) entwickelt. Siemens NX AM für HP Multi Jet Fusion ist ab sofort bei Siemens PLM Software erhältlich. Es erweitert die End-to-End-Lösung für alle Prozesse der additiven Fertigung von Konstruktion bis Produktion. Das NX-Softwaremodul ermöglicht es Kunden, für ihre HP 3D-Druck-

projekte Teile in einer einzigen Softwareumgebung zu entwickeln und zu verwalten. So lassen sich kostspielige und zeitaufwändige Datenkonvertierungen vermeiden. Auch sind keine Tools von Drittanbietern notwendig. Die Effizienz des gesamten Arbeitsablaufs von der Konstruktion bis zum fertigen Teil verbessert sich erheblich. Zudem richten Siemens und HP ihre Roadmaps für künftige Technologien gemeinsam aus. So können Konstrukteure und Ingenieure das Potenzial von 3D-Druck vollständig ausschöpfen und Produkte komplett neu gestalten. Damit lassen sich die Grenzen der traditionellen Fertigung sprengen und Produkte schneller und kosteneffizient herstellen. Das Ergebnis sind neue Chancen für den industriellen 3D-Druck innovativer Konstruktionen.

Mit dem Softwaremodul von Siemens können NX-Kunden Konstruktion, Optimierung, Simulation, Vorbereitung von Druckaufträgen und Prüfprozesse für 3D-Druckteile von HP Multi Jet Fusion in einer verwalteten Umgebung kombinieren. Anwender haben die Möglichkeit, mehrere unterschiedliche 3D-Teilemodelle in NX zu laden, automatisch miteinander zu verschachteln, optimal zu stapeln und an einen HP 3D-Drucker zu senden – all das in nur einer Umgebung und in wenigen Schritten. Durch die Integration von NX und Multi Jet Fusion entfällt bereits aktuell auch die Datenkonvertierung zwischen Softwareanwendungen oder Prozessschritten. Zukünftig wird sogar eine bisher unerreichte Kontrolle der Materialeigenschaften bis hin zur Voxel-Ebene ermöglicht. So lassen sich Teile auch dann drucken, wenn Textur, Dichte, Festigkeit oder Reibung sowie thermische und elektrische Eigenschaften oder die Leitfähigkeit variieren.

### **Siemens plant Übernahme von TASS International**

Siemens plant die Übernahme von TASS International, einem weltweiten Anbieter von Simulationssoftware sowie Engineering- und Test-Services hauptsächlich für die Automobilindustrie. Das Unternehmen ist

spezialisiert auf autonomes Fahren, integrierte Sicherheit, fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme sowie Reifenmodellierung. TASS International mit Hauptsitz in Helmond/Niederlande besitzt eine große Bandbreite an Lösungen, die das Angebot von Siemens im Bereich PLM -Software entscheidend bereichern und zudem die Position von Siemens als führendem Anbieter systemgetriebener Produktentwicklung für die internationale Automobilindustrie weiter ausbauen wird.

„Die Automobilindustrie ist eine Fokusbranche von Siemens. Die Übernahme von TASS International ist ein weiterer Beleg für unser Ziel, unseren Kunden ein vollständiges Portfolio an Lösungen zur Realisierung ihrer digitalen Unternehmens anzubieten. Damit unterstützen wir Autohersteller, den digitalen Wandel erfolgreich zu gestalten und alle Chancen der Digitalisierung zu nutzen“, erläutert Dr. Jan Mrosik, CEO der Siemens -Division Digital Factory. „TASS International ist ein etabliertes und führendes Unternehmen im Markt für integrierte Sicherheit ebenso wie für autonomes Fahren – zwei Bereiche, die in der Branche eine zunehmend bedeutende Rolle spielen. Mit unserem kombinierten Angebot sind wir zukünftig noch besser in der Lage, auf die aktuellen Herausforderungen der Automobilindustrie zu reagieren.“

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

## SIMPACT

### Simpack Release 2018 – Mehrkörper Simulation Software mit weiteren Neuerungen

**-siehe auch Dassault Systemes-** Simpack, jetzt Teil der Produktpalette von Dassault Systèmes Simulia – die Brand für realistische Simulation – ist die führende MKS Software für mechanische und mechatronische Designs im Bereich Virtual Prototyping und 3D-Simulation.

Simpack steht für nichtlineare Mehrkörpersimulation, mit der u. a. das Verhalten von flexiblen Körpern berücksichtigt werden kann, aber auch

Vibrationen im hohen Frequenz- und im „Shock Contact“-Bereich und ist somit erste Wahl für Analyse von Fahr- und Komfortverhalten sowie NVH und Lebensdauerberechnung. Die Simulation von Automobilen, Motoren, Nutz-, Schienen- und Luftfahrzeugen und Windkraftanlagen stellen nur einige Anwendungsbeispiele von Simpack dar.

Das neue Release „Simpack 2018“ beinhaltet 163 funktionale Erweiterungen und über 100 Verbesserungen.

Die wichtigsten funktionalen Erweiterungen davon sind wie folgt:

- Berechnung von potentieller und dissipativer Energie bei der Eigenwertanalyse
- Neue detailauflösende und effiziente 3D Kontaktberechnungsmethode
- Neue NVH/Flexible Body Ergebnisauswertungsmöglichkeiten
- Erweiterte Leistungsmerkmale bei Simpack Gear Pair und Simpack EHD
- Solver Debugger

Für mehr Information und einen größeren Überblick über die neusten Erweiterungen, besuchen Sie bitte: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/simpack/latest-release/>

[www.simpack.com](http://www.simpack.com) / [www.3ds.com](http://www.3ds.com)

## SIMUFACT

### 3D-Druck in Metall optimieren mit Software für Prozesssimulation

Additive Fertigungsprozesse, oft auch als 3D-Druck bezeichnet, erobern die Welt der industriellen Fertigung und etablieren sich als weiteres Fertigungsverfahren. Doch abseits aller Euphorie reift die Erkenntnis, dass auch diese Art zu fertigen gelernt sein will. Aus CAD-Daten direkt ein reales Teil zu drucken, wiederholbar in besserer Qualität, ist eine der aktuellen Herausforderungen für additiv fertige Unternehmen. Um sich hier besser aufzustellen, setzt Toolcraft, Komplettlöser für 3D-Druck in Metall, künftig die Softwarelösung Simufact

Additive für die Simulation von metallbasierten additiven Druckverfahren ein.

Der Einsatz von Simulationssoftware, in der Druckprozesse realitätsnah modelliert werden, ist ein wichtiger Lösungsansatz, um additive Fertigungsprozesse zu optimieren und sie effizienter und kostengünstiger zu gestalten. „Wir haben Simufact Additive ausgiebig getestet und gesehen, dass uns diese Lösung in der täglichen Praxis weiterhelfen wird,“ sagt Christoph Hauck, Geschäftsführer bei Toolcraft. „Unsere Kunden erwarten, dass wir in der frühen Projektphase 3D-Druckaufträge schnell auf ihre Realisierbarkeit prüfen – die Simulation des Fertigungsprozesses ist der Schlüssel dafür. Im Zuge der weiteren Optimierung der Bauteile liefert uns die Simulation schnell und kostengünstig Hinweise, wie sich der Druckprozess bei verschiedenen Stützstrukturen, unterschiedlichen Ausrichtungen im Bauraum sowie veränderten Maschinenparametern verhält,“ ergänzt Hauck. Simufact Additive berechnet Verzüge und Spannungen im Bauteil, zeigt die Gefahr von Druckabbrüchen auf und verringert die Anzahl der realen Versuche bis zum erfolgreichen Druck deutlich.

Simufact Additive ist eine leistungsstarke und skalierbare Softwarelösung für die Simulation metallbasierter additiver Fertigungsprozesse. Die Simulation des 3D-Druckprozesses gibt Aufschlüsse über Verzüge und Eigenspannungen im Bauteil und damit die Grundlage für die Entwicklung geeigneter Gegenmaßnahmen, bevor das erste Teil jemals gedruckt wird. Simufact Additive deckt die komplette fertigungsnahe AM-Prozesskette für Pulverbettsschmelzverfahren ab und simuliert den eigentlichen Druck sowie nachfolgende Prozesse wie die Wärmebehandlung zum Abbau von Spannungen im Bauteil, das Abschneiden der Grundplatte, das Entfernen von Stützstrukturen sowie das heiß-isostatische Pressen (HIP). Simufact Additive wird vorwiegend in Unternehmen der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie und deren Zulieferer- und Dienstleistungsunternehmen eingesetzt.

Simufact und Toolcraft haben vereinbart, bei der Optimierung von additiven metallbasierten Fertigungsprozessen eng zusammenzuarbeiten. „In Toolcraft haben wir einen Partner gefunden, der sich als hochprofessioneller Dienstleister und Experte in der additiven Fertigung bereits einen Namen gemacht hat,“ so Michael Wohlmut, Geschäftsführer und CEO bei Simufact. „Wir werden uns intensiv zum Einsatz der Software in der Praxis austauschen. Die Simulation von additiven Fertigungsprozessen ist eine junge Disziplin mit einem hohen Innovationspotenzial; umso wichtiger ist es für uns, die nächsten Schritte der Weiterentwicklung an den Anforderungen des Marktes auszurichten,“ sagt Wohlmut. „Der intensive Dialog mit den Anwendern unserer Software ist dafür essenziell.“

#### **Partnerprojekt LightHinge+: Additiv gefertigtes Leichtbau- Haubenscharnier mit integrier- tem Fußgängerschutz**

Den praktischen Einsatz und das Potenzial von additiven Fertigungstechnologien in der Automobilproduktion aufzeigen – mit diesem Ziel haben sich die Projektpartner EDAG Engineering GmbH, voestalpine Additive Manufacturing Center sowie Simufact Engineering GmbH zusammengeschlossen und das Projekt „LightHinge+“ aus der Taufe gehoben. LightHinge+ ist ein im Laserstrahlschmelz-Verfahren additiv hergestelltes Motorhaubenscharnier, das Leichtbau und erhöhte Sicherheit in einer Konstruktion vereint. Die Ergebnisse des Projektes stellen die Partner auf dem IAA-Messestand der EDAG in Frankfurt vor.

„Motorhauben-Scharniersysteme sind aufgrund der hohen Anforderungen an Sicherheit und Funktionalität sehr komplex,“ sagt Dr. Martin Hillebrecht, Leiter Competence Center Leichtbau, Werkstoffe und Technologien bei der EDAG Engineering GmbH. „Somit bleibt der Leichtbau bislang auf der Strecke. Deshalb haben wir uns gemeinsam mit voestalpine und Simufact das Ziel gesetzt, das Scharnier durch die generative Fertigung ganz neu zu überdenken.“

Die EDAG-Ingenieure haben das Scharniersystem neu konstruiert. Im zweiten Schritt folgte die Topologie-Optimierung der komplexen Bauteilstruktur, um den gewünschten Gewichtsvorteil zu erreichen. Unter Anwendung bionischer Prinzipien gelang es den EDAG-Ingenieuren, den minimalen Materialbedarf zu ermitteln und einen Gewichtsvorteil von 50 % gegenüber der Referenz zu erzielen. Die anschließende Optimierung der Stützstrukturen wurde in enger Zusammenarbeit mit dem voestalpine Additive Manufacturing Center durchgeführt.

„Die Topologieoptimierung berechnet anhand der tatsächlichen Belastungen den minimalen Materialbedarf des Scharniers,“ erklärt Dr. Eric Klemp, Geschäftsführer des voestalpine Additive Manufacturing Center in Düsseldorf. „Die daraus resultierenden Geometrien der Bauteile erfordern einen hohen Anteil an Stützstrukturen, die wir im Projekt dann auf ein Minimum reduzieren konnten“, so Klemp.

Ein wichtiger Zwischenschritt in der Konstruktion und Fertigung additiver Bauteile ist die Simulation des eigentlichen Druckprozesses im 3D-Drucker. Hier kam Simufact mit seiner speziell für die additive Fertigung erstellten Softwarelösung „Simufact Additive“ zum Zuge. „Im additiven Fertigungsprozess entstehen durch den konzentrierten Wärmeeintrag mit hohen Aufheiz- und Abkühlraten Verzug und Eigenspannungen im Bauteil,“ weiß Dr. Patrick Mehmert, Product Manager Additive Manufacturing bei Simufact. „Ein nicht verzugskompensiertes Scharnier kann so Abweichungen von ein bis zwei Millimetern vom CAD-Modell aufweisen.“

Mit Simufact Additive können der eigentliche Druckvorgang und die nachfolgenden Prozessschritte simuliert und damit Verzüge und Eigenspannungen vorhergesagt werden. „Auf Basis des simulierten Verzugs haben wir die Bauteil-Geometrie negativ vorverformt, um so die Formabweichungen der gedruckten Scharnierteile zur Sollgeometrie zu minimieren,“ beschreibt Mehmert das Vorgehen im Projekt. Dass dieses Verfahren auch die

gewünschten Ergebnisse erzielt, zeigte ein dem Druck der Teile nachgelagerter Abgleich der verzugskompensierten Bauteile: Eine dreidimensionale optische Vermessung durch die Firma AICON 3D Systems konnte die Maßhaltigkeit der Bauteile nachweisen.

Die Simulation des Bauprozesses hat wesentlich zur verbesserten Auslegung, Absicherung und Verzugs-Optimierung des additiv gefertigten LightHinge+ Scharniers beigetragen. Teure und zeitintensive Fertigungsversuche konnten verhindert werden.

Am Ende wurde im voestalpine Additive Manufacturing Center eine wirtschaftliche, ressourcen-schonende Fertigung mit geringer Nacharbeit erzielt. Das Scharnier ist somit nach dem Laserschmelzprozess bereits so gut wie einsatzbereit.

Martin Hillebrecht fasst zusammen: „Das LightHinge+ Haubenscharnier nutzt durch ein effizientes software-unterstütztes Engineering die Potenziale des Additive Manufacturing voll aus. Es werden eine ultimative Gewichtsreduktion und Integration einer Fußgängerschutz-Funktion, in verzugs- und eigenspannungs-optimierter werkzeugloser Herstellung mit geringer Nacharbeit für kleine Serien erzielt.“

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

#### **TECOSIM**

##### **Tecosim-Forschungsprojekt: Sicheres Plexiglas im Auto- mobilbau**

Gemeinsam mit Hochschul- und Industriepartnern startete Tecosim jetzt das Forschungsprojekt SimPlex. Ziel des auf zwei Jahre angelegten Vorhabens ist die Weiterentwicklung einer neuen Simulationsmethodik zur Berechnung des Crashverhaltens von Automobilverglasungen aus Plexiglas. Tecosim sieht großes Potenzial in dem Material. In einer Vorstudie konnte der Entwicklungspartner und Spezialist für Computer Aided Engineering (CAE) die potenziellen Einsatzmöglichkeiten von Plexiglas im Hinblick auf verschiedene

Crashszenarien erstmals näher ausloten. Der Werkstoff verspricht eine Gewichtsreduktion von bis zu 50 Prozent im direkten Vergleich zu konventionellen Fahrzeugscheiben. Und dies bei deutlich verbesserter Bruchdehnung und Akustik.

In der Automobilbranche ist die Nachfrage nach neuen Leichtbaulösungen ungebrochen. Insbesondere vor dem Hintergrund der Elektrifizierung werden kontinuierlich Maßnahmen zur weiteren Gewichtsreduzierung untersucht. Bei einem Anteil der Verglasung am Gesamtfahrzeuggewicht von bis zu fünf Prozent bieten Scheiben aus transparenten Kunststoffen hohes Potenzial. Dabei gilt es nicht nur den direkten Massenvergleich zu betrachten. Das Gesamtgewicht wird am Fahrzeug auf einem einheitlichen Höhenniveau, etwa bei Seitenfenstern oder Schiebedächern, eingespart. Dadurch kann der Fahrzeugschwerpunkt für eine bessere Fahrdynamik abgesenkt werden. Darüber hinaus sind Plexiglasscheiben durch ihre höhere Bruchdehnung besser als Mineralglasscheiben gegen Steinschlag geschützt. Aufgrund seiner Dämpfungseigenschaft liefert Plexiglas zudem eine bessere Akustik und kann somit den Fahrkomfort erhöhen.

In einer Vorstudie untersuchte Tecosim gemeinsam mit dem Institut für Mechanik und Materialforschung (IMM) der Technischen Hochschule Mittelhessen einen möglichen Einsatz von Plexiglas in der Fahrzeugverglasung. In einer CAE-Validation

für den Kunden Evonik konnte der Engineering-Partner am Beispiel einer Fahrzeugscheibe durch numerische Berechnung und Simulation verschiedene Crashszenarien erfolgreich abbilden.

Das nun neu initiierte Forschungsprojekt SimPlex baut auf diesen Ergebnissen auf und verfolgt das Ziel, die weiteren Untersuchungsergebnisse in ein praxistaugliches Crash-Simulationstool zu überführen. Mithilfe dieses Tools kann ein virtueller Prototyp erstellt werden, mit dem Tecosim die verschiedenen Crashszenarien prognosesicher in der Simulation abbilden kann. Mit dem daraus resultierenden Nachweis der Gebrauchsfähigkeit kann ein späterer Einsatz von Plexiglas in der automobilen Großserie möglich werden.

Um die Voraussetzungen für die Entwicklung des Simulationsmodells zu erreichen, wird in einem ersten Schritt das Materialverhalten von Plexiglas (Polymethylmethacrylat /PMMA) untersucht. Dafür zeichnet das Institut für Mechanik und Materialforschung der Universität Gießen sowie das Institut für Statik und Konstruktion der Technischen Universität Darmstadt verantwortlich. Beide Forschungsinstitute analysieren in einem ersten Schritt zunächst eingehend das Material- und Bruchverhalten. Die Erkenntnisse fließen in die Erstellung einer Materialkarte ein, die eine spätere Crashsimulation erst ermöglichen. Tecosim definiert die Anforderungen an die Crashtaughigkeit und

lässt diese bei der Realisierung des Prototyps einfließen. Hierzu nutzt das Unternehmen die vorhandenen Simulationsdaten aus dem eigenentwickelten Reverse Engineering Prozess TEC|Bench. Dabei werden auf dem Markt verfügbare Fahrzeuge gescannt und die gewonnenen Geometriedaten in CAE-Modelle zur Crashsimulation aufbereitet.

Auf Basis dieser Datenmodelle nimmt Tecosim die Crashsimulation für verschiedene Lastfälle, etwa im Front-, Heck-, oder Seitenbereich, am Gesamtfahrzeug vor. Zusätzlich führt Tecosim spezifische Bauteilveruche durch. Dabei werden in einem ersten Schritt Plexiglasplatten mit einem Kopfpimpaktor beschossen, diese realen Versuche in einem zweiten Schritt in verschiedenen Crashszenarien simuliert und anschließend durch Anpassung der einzelnen Materialparameter final validiert. Am Ende des zweijährigen Forschungsprojektes ist ein Simulationsmodell mit Plexiglasscheiben für ein Gesamtfahrzeug erfolgreich erstellt.

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

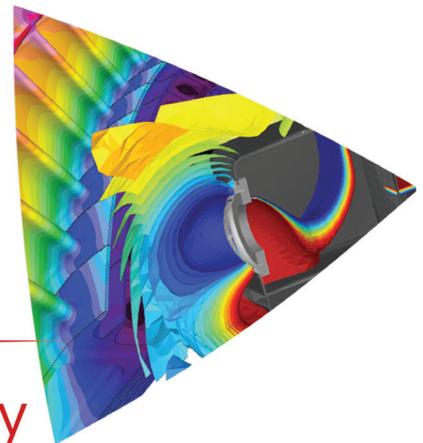
Die hier veröffentlichten Texte wurden nicht redaktionell redigiert sondern weitestgehend unverändert von den jeweiligen Firmen übernommen. Bitte senden Sie uns Ihre Pressemitteilungen an [magazin@nafems.de](mailto:magazin@nafems.de).

<b>MSC Software Conference</b>	24.-26.10.	Berlin, D	<a href="http://www.mscsoftware.com">www.mscsoftware.com</a>	MSC Software
<b>ESI Forum</b>	07.-09.11.	Weimar, D	<a href="http://www.esigmbh.de/EDF2017">www.esigmbh.de/EDF2017</a>	ESI Group
<b>Blechexpo</b>	07.-10.11.	Stuttgart, D	<a href="http://www.blechexpo-messe.de">www.blechexpo-messe.de</a>	P.E. Schall
<b>Deutsches Simulia Anwendertreffen</b>	08. - 10.11.	Braunschweig, D	<a href="http://www.3ds.com">www.3ds.com</a>	Dassault Simulia
<b>Simulia Austria Technologietag</b>	14.11.	Linz, A	<a href="http://www.3ds.com">www.3ds.com</a>	Dassault Simulia
<b>formnext</b>	14. - 17.11.	Frankfurt, D	<a href="http://www.formnext.com">www.formnext.com</a>	Mesago
<b>Cadferm Ansys Simulation Conference</b>	15.-17.11.	Koblenz, D	<a href="http://www.simulation-conference.com">www.simulation-conference.com</a>	Cadferm/Ansys
<b>ISimT-17</b>	20.-21.11.	Rottach-Egern, D	<a href="http://www.isimq.com">www.isimq.com</a>	ISimQ
<b>NAFEMS Seminar: Simulation Driven Engineering</b>	20.-21.11.	Neuendettelsau, D	<a href="http://www.nafems.org/sde17">www.nafems.org/sde17</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS Seminar: CFD-Methoden zur Simulation des Wärmeübertragungsverhaltens</b>	22.-23.11.	Neuendettelsau, D	<a href="http://www.nafems.org/cfd17">www.nafems.org/cfd17</a>	NAFEMS
<b>FloEFD Simulation Conference</b>	27.-29.11.	Berlin, D	<a href="http://www.mentor.com">www.mentor.com</a>	Mentor Graphics
<b>Integrated Electrical Solutions Forum for Automotive</b>	30.11.	München, D	<a href="http://www.mentor.com">www.mentor.com</a>	Mentor Graphics
<b>Ensignt European User Meeting</b>	30.11.-01.12.	München	<a href="http://www.ensight.com">www.ensight.com</a>	Ensignt/CEI
<b>4a Technologietage: Kunststoffe, Simulation, Prüfmethode und Verarbeitung</b>	28.02.-01.03.18	Schladming, A	<a href="http://www.4a.co.at">www.4a.co.at</a>	4a Engineering

# NAFEMS 18

## DACH Conference

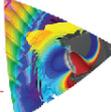
Berechnung und Simulation:  
Anwendungen, Entwicklungen, Trends



14-16 May, Bamberg, Germany

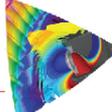
THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR THE ENGINEERING ANALYSIS, MODELLING, AND SIMULATION COMMUNITY 

**NAFEMS 18**  
NORDIC Conference  
Engineering Simulation: Best Practices,  
New Developments, Future Trends



24-25 April, Göteborg

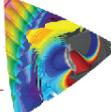
**NAFEMS 18**  
DACH Conference  
Berechnung und Simulation:  
Anwendungen, Entwicklungen, Trends



14-16 May, Bamberg

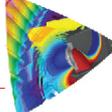
**CAASE18**  
The Conference on Advancing Analysis & Simulation in Engineering  
June 5 - 7, Cleveland, Ohio

**NAFEMS 18**  
UK Conference  
Taking Engineering Analysis & Simulation to the Next Level



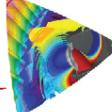
July 17-18, Milton Keynes

**NAFEMS 18**  
India Conference  
Engineering Analysis, Modeling, Simulation  
and 3D-Printing



July 20-21, Bangalore

**NAFEMS 18**  
France Conference  
Simulation numérique: modèle de performance  
état de l'art - pratiques - tendances - Impact Industriel



November 14-15, Paris

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

# Untersuchung der thermomechanischen Eigenschaften von additiv gefertigtem IN718 mit Hilfe von Mikrostruktursimulationen

Maria Baiker, Jan Pagenkopf, Dirk Helm

Fraunhofer IWM

**Pulverbettbasierte additive Fertigungsprozesse ermöglichen die Herstellung von komplex geformten Komponenten mit wenig Materialverlust. Allerdings werden bei diesen Verfahren die mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe stark durch die Prozessparameter beeinflusst und können in einigen Fällen signifikant anisotrop sein.**

**In dieser Arbeit werden mit Hilfe der Einkristallplastizität Simulationen an Mikrostrukturmodellen durchgeführt, die es ermöglichen, das temperaturabhängige Verhalten von IN718 vorherzusagen, das durch selektives Elektronenstrahlschmelzen (SEBM) hergestellt wurde.**

**Für die Generierung der Mikrostrukturmodelle wurden entweder Informationen aus Messungen mit der Elektronenrückstreubeugung (EBSD) oder von Erstarrungs- und Kornwachstumssimulationen mit Zellulären Automaten und der Lattice-Boltzmann-Methode verwendet. Es wurde das elastische und plastische Verhalten bei verschiedenen Temperaturen und für unterschiedliche Richtungen untersucht und mit experimentellen Daten verglichen. Die Ergebnisse zeigen die Eignung der Methode, um die effektiven mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs zu beschreiben.**

**Diese Arbeit ist Teil des Clean Sky Joint Undertaken unter der Grant No. 32602 in dem eine physikalisch basierte Simulationskette entwickelt wurde, mit deren Hilfe die Entwicklung der Mikrostruktur und der mechanischen Eigenschaften von additiv gefertigten Teilen beschrieben werden kann.**

## 1 Einführung

Mit pulverbettbasierten additiven Fertigungsverfahren ist es möglich, auch komplex geformte Bauteile aufzubauen, die mit konventionellen Fertigungstechniken nicht hergestellt werden könnten. Darin, und in der Möglichkeit mechanische Eigenschaften gezielt lokal zu beeinflussen, zeigt sich das künftige Potential dieser Verfahren. Durch den schichtweisen Aufbau und das lokale Aufschmelzen des Pulvers entstehen viele Freiheitsgrade in der Fertigung. Um diese Freiheitsgrade zu nutzen und gleichzeitig gleichbleibend gute mechanische Eigenschaften der Bauteile zu garantieren, ist es von fundamentaler Bedeutung, geeignete Prozessfenster für die Fertigung zu finden, bei welchen die erforderlichen Eigenschaften des Werkstoffs erreicht werden.

Mit Hilfe einer geeigneten Kombination aus Prozessparametern und Scanstrategie können die resultierenden Mikrostrukturen und damit die mechanischen Eigenschaften des fertigen Bauteils direkt beeinflusst werden. Dieser Zusammenhang wird durch die experimentellen Ergebnisse von Körner et al. [1] bestätigt, wo würfelförmige metallische Bauteile mit zwei verschiedenen Prozessführungsstrategien hergestellt wurden. Die Mikrostruktur der Bauteile unterscheidet sich deutlich, und die Körner sind für die eine Prozessführung näherungsweise äquiaxial, während sich im andern Fall ein kolumnares Gefüge ausbildet. Diese Unterschiede wirken sich auch deutlich auf die gemessenen mechanischen Eigenschaften aus. Im Hinblick auf den Einsatz von selektivem Elektronenstrahl- oder Laserschmelzen (SEBM/SLM) in industriellen Fertigungsprozessen ist detailliertes Verständnis des Zusammenhangs zwischen Prozessführung und den resultierenden mechanischen Eigenschaften notwendig.

Es existieren verschiedene Simulationsmethoden, die es ermöglichen, die effektiven makroskopischen mechanischen Eigenschaften auf Basis der lokalen Mikrostruktur zu berechnen [2]. Darin wird mit

Materialmodellen der Kristallplastizität das elastische und plastische Verhalten auf Einkristallebene beschrieben. Der Übergang auf das mechanische Verhalten eines Polykristalls erfolgt dann mit unterschiedlichen Homogenisierungsansätzen. In dieser Arbeit wird ein orts aufgelöster Ansatz verwendet, bei dem das mechanische Verhalten des polykristallinen Werkstoffs mit der Methode der finiten Elemente abgebildet wird. Dabei kann sowohl der Einfluss der kristallographischen Textur als auch der Kornmorphologie auf das temperaturabhängige mechanische Verhalten untersucht werden.

## 2 Kristallplastizitätsmodell

In den Simulationen wurde ein Materialmodell der Einkristallplastizität verwendet, bei dem die Verfestigung auf den Gleitsystem basierend auf Versetzungsdichten formuliert ist [3]. Das Modell wurde so erweitert, dass der Einfluss von Temperatur und Ausscheidungszustand in den Simulationen berücksichtigt werden kann.

Die wesentliche Modellvorstellung in der Kristallplastizität besteht in der Annahme, dass plastische Deformation durch Abgleiten von Versetzungen auf wohldefinierten Gleitsystemen beschreiben werden kann, die durch die dichteste Packung des Kristallgitters gegeben ist. Bei den kubisch flächenzentrierten Kristallen von IN718 sind die {111}-Ebenen die dichtest gepackten Gleitebenen, die durch ihre Normale  $\mathbf{n}^{(\alpha)}$  charakterisiert sind. Die Gleitrichtung  $\mathbf{s}^{(\alpha)}$  ist durch die  $\langle 110 \rangle$ -Richtungen gegeben. Daraus ergeben sich  $N = 12$  mögliche Gleitsysteme. Verwendet man diesen Zusammenhang, kann der plastische Teil des Geschwindigkeitsgradienten als Summe der Gleitraten  $\dot{\gamma}^{(\alpha)}$  auf allen Gleitsystemen ausgedrückt werden, wie es beispielsweise Hutchinson [4] und Mandel [5] vorschlagen.

$$\dot{\mathbf{L}}_p = \sum_{\alpha}^N \dot{\gamma}^{(\alpha)} \mathbf{s}^{(\alpha)} \otimes \hat{\mathbf{n}}^{(\alpha)} \quad (1)$$

Für eine komplette Beschreibung des Materialverhaltens werden Konstitutivgleichungen benötigt, die das elastische Verhalten, die Gleitvorgänge und das Verfestigungsverhalten beschreiben. Diese Gleichungen werden in der nicht rotierten Zwischenkonfiguration eingeführt, die durch das Hutsymbol gekennzeichnet ist. Hier wird das elastische Verhalten durch Cauchy-Elastizität [6] beschrieben

$$\hat{\mathbf{T}} = \frac{1}{2} \mathbb{C} [\hat{\mathbf{F}}_e^T \hat{\mathbf{F}}_e - \mathbf{1}], \quad (2)$$

wobei der Spannungstensor  $\hat{\mathbf{T}}$  in der Zwischenkonfiguration operiert. Die elastischen Konstanten sind in dem Tensor vierter Stufe  $\mathbb{C}$  enthalten, der die bei kubischen Materialien durch drei elastische Konstanten komplett beschrieben werden kann. Dafür werden hier der E-Modul  $E_{\langle 001 \rangle}$ , der Schubmodul  $\mu_{\langle 001 \rangle}$  und die Querkontraktion  $\nu_{\langle 001 \rangle}$  des Einkristalls verwendet.

$$\begin{aligned} C_{11} &= \frac{E_{\langle 001 \rangle} (1 - \nu_{\langle 001 \rangle})}{(1 + \nu_{\langle 001 \rangle}) (1 - 2\nu_{\langle 001 \rangle})} \\ C_{12} &= C_{11} \frac{\nu_{\langle 001 \rangle}}{1 - \nu_{\langle 001 \rangle}} \\ C_{44} &= \mu_{\langle 001 \rangle} \end{aligned} \quad (3)$$

Im betrachteten Temperaturbereich bis  $T = 650^\circ\text{C}$  wird ein linearer Ansatz eingeführt, um das temperaturabhängige Verhalten abzubilden

$$\begin{aligned} E_{\langle 001 \rangle}(T) &= E_{\langle 001 \rangle, \text{Ref}} + m_{\text{moduli}} (T - T_{\text{Ref}}) \\ \mu_{\langle 001 \rangle}(T) &= \mu_{\langle 001 \rangle, \text{Ref}} + m_{\text{moduli}} (T - T_{\text{Ref}}) \\ \nu_{\langle 001 \rangle}(T) &= \nu_{\langle 001 \rangle, \text{Ref}} + m_{\nu} (T - T_{\text{Ref}}). \end{aligned} \quad (4)$$

Mit einem ratenabhängigen Ansatz für die Gleitrate  $\dot{\gamma}^{(\alpha)}$  ist es möglich, Mehrfachgleiten zu modellieren. Entsprechend dem Schmidt'schen Gesetz werden anliegende Spannungen auf die Gleitsysteme projiziert, was

zu einer resultierenden Schubspannung  $\tau^{(\alpha)}$  auf dem Gleitsystem  $\alpha$  führt. Die Dehnratensensitivität wird über den Exponentialansatz

$$\dot{\gamma}^\alpha = \dot{\gamma}_0 \operatorname{sign}[\tau^{(\alpha)}] \left| \frac{\tau^{(\alpha)}}{g^{(\alpha)}} \right|^m \quad (5)$$

beschrieben, in dem eine Referenzscherrate  $\dot{\gamma}_0$  und die Dehnratensensitivität  $m$  enthalten sind. Zur Modellierung des Verfestigungsverhaltens wird die Gleichung für die zu überwindende Schubspannung auf dem Gleitsystem verwendet

$$g^{(\alpha)}(T) = \tau_0^{(\alpha)}(T) + \mu b \sqrt{\sum_{\beta=1}^N h_{\alpha\beta} \rho^{(\beta)}}. \quad (6)$$

Darin entspricht der erste Teil  $\tau_0^{(\alpha)}(T)$  der temperaturabhängigen Anfangsfestigkeit auf dem Gleitsystem, die sich aus verschiedenen Beiträgen zusammensetzt, wie beispielsweise der intrinsischen Festigkeit des Werkstoffs oder dem Ausscheidungszustand. Der zweite Teil mit dem Burgersvektor  $b$ , dem Schubmodul  $\mu$  und der Dichte an Versetzungen auf den anderen Gleitsystemen  $\beta$  beschreibt die Entwicklung der zu überwindenden Schubspannung.

Basierend auf dem Model von Orowan [7] wird von dem Gedanken ausgegangen, dass Hindernisse Versetzungen pinnen können. Überschreiten die Spannungen eine gewisse Größe, kann die Versetzung das Hindernis passieren und lässt einen Versetzungsring zurück. Lee et al. [3] folgend wird hier davon ausgegangen, dass Waldversetzungen die Haupthindernisse für die Versetzungsbewegung darstellen. Unter dieser Annahme kann die Wechselwirkung mit Versetzungen auf anderen Gleitsystemen  $\beta$  geometrisch durch die Interaktionsmatrix  $h_{\alpha\beta} = \mathbf{n}^{(\alpha)} \cdot \boldsymbol{\xi}^{(\beta)}$  beschrieben werden, wobei  $\mathbf{n}^{(\alpha)}$  die Normale der Gleitebene der sich bewegenden Versetzung ist und  $\boldsymbol{\xi}^{(\beta)} = \mathbf{s}^{(\beta)} \times \mathbf{n}^{(\beta)}$  die Linienrichtung der kreuzenden Versetzung. Für die initiale Versetzungsdichte  $\rho_0$  wird eine homogene Verteilung über alle Körner und Gleitsysteme angenommen. Schließlich wird die Entwicklung der Versetzungsdichte durch die Gleichung

$$\dot{\rho}^{(\alpha)} = \frac{1}{b} \left( \frac{\sqrt{\sum_{\beta}^N \rho^{(\beta)}}}{k_a} - k_b \rho^\alpha \right) \cdot |\dot{\gamma}^{(\alpha)}| \quad (9)$$

modelliert, in der zwei Verfestigungsparameter enthalten sind, von denen  $k_a$  die Generierung und  $k_b$  die Anihilierung von Versetzungen beschreibt.

### 3 Experimentelle Untersuchungen

Die temperaturabhängigen Eigenschaften von im SEBM Prozess hergestellten Teilen wurde anhand von Zugversuchen in drei Richtungen untersucht. Die Proben wurden am WTM der Universität Erlangen aufgebaut, und eine detaillierte Übersicht der Ergebnisse ist in [8] zu finden. Bei der ersten Gruppe von Proben ist die Zugrichtung in Aufbaurichtung angeordnet (0°-Richtung), während bei der zweiten und dritten Gruppe die Zugrichtung in einem Winkel von 45° beziehungsweise 90° zur Aufbaurichtung liegt (45°-Richtung und 90°-Richtung). Mit allen Proben wurden Zugversuche durchgeführt. Dabei wurde ein Temperaturbereich von Raumtemperatur (RT) bis 650°C untersucht. Abb. 1 zeigt exemplarisch die resultierenden Spannungs-Dehnungskurven in 0° und 90°-Richtung, die über den gesamten Temperaturbereich nahezu parallel verlaufen. Die Oszillation der Kurven bei 400°C kann vermutlich durch den Portevin-Le-Chatelier Effekt erklärt werden, der das diffusionskontrollierte Pinnen und Freibrechen von Versetzungen beschreibt.

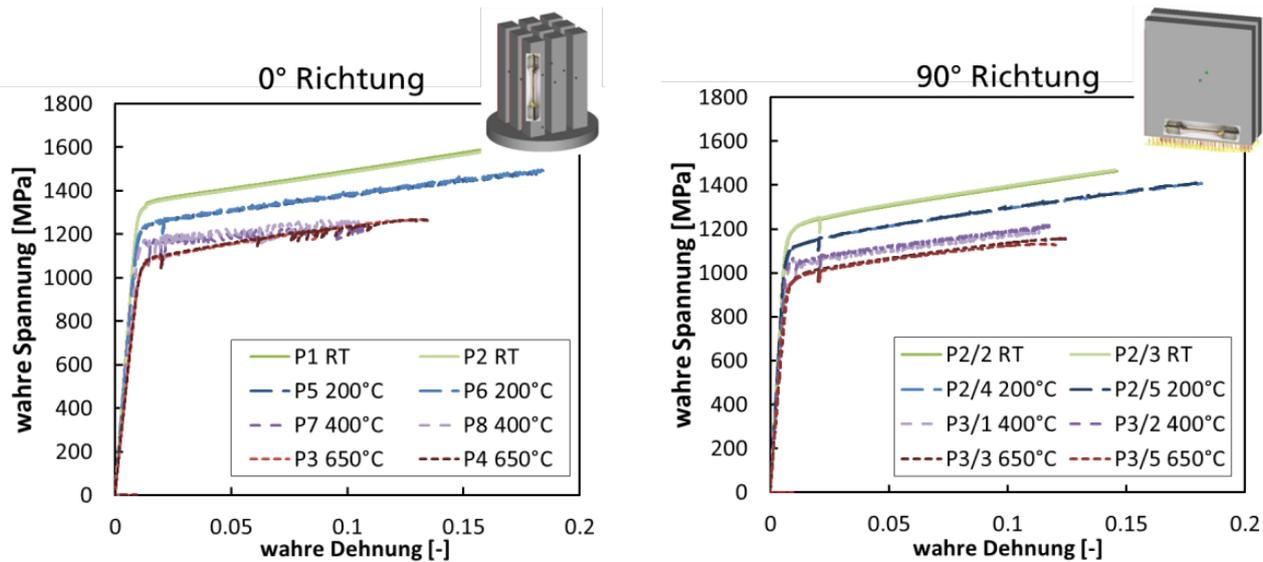


Abb. 1: Spannungs-Dehnungskurven aus Zugversuchen in 0° zur Aufbaurichtung (links) und 90°-Richtung (rechts) für vier Temperaturen von RT bis 650°C

Das rechte Diagramm in Abb. 5 zeigt einen Überblick über die Richtungsabhängigkeit des E-Moduls und der Fließspannung. Die niedrigsten Werte für die Fließspannung werden in 90°-Richtung beobachtet, während die Spannungs-Dehnungskurven in 0°- und 45°-Richtung nahezu auf gleichem Niveau verlaufen. Diese Charakteristik in der Richtungsabhängigkeit kann für alle betrachteten Temperaturen beobachtet werden. Im elastischen Bereich treten die höchsten Werte für den E-Modul in 45°-Richtung auf, während sich in 0°-Richtung die niedrigsten Werte zeigen.

Die Ursache für dieses stark anisotrope Verhalten kann in der Mikrostruktur des Materials gefunden werden. EBSD Messungen wurden im Schaftbereich der unterschiedlich orientierten Zugproben durchgeführt. Abb. 2 zeigt die Orientierungskarte für diese Schiffe. In allen Fällen kann man Stängelkristalle erkennen, die eine stark ausgeprägte (100)-Fasertextur aufweisen und nur eine kleine Anzahl von anders orientierten Körnern in der Mitte des Schiffs aufweisen.

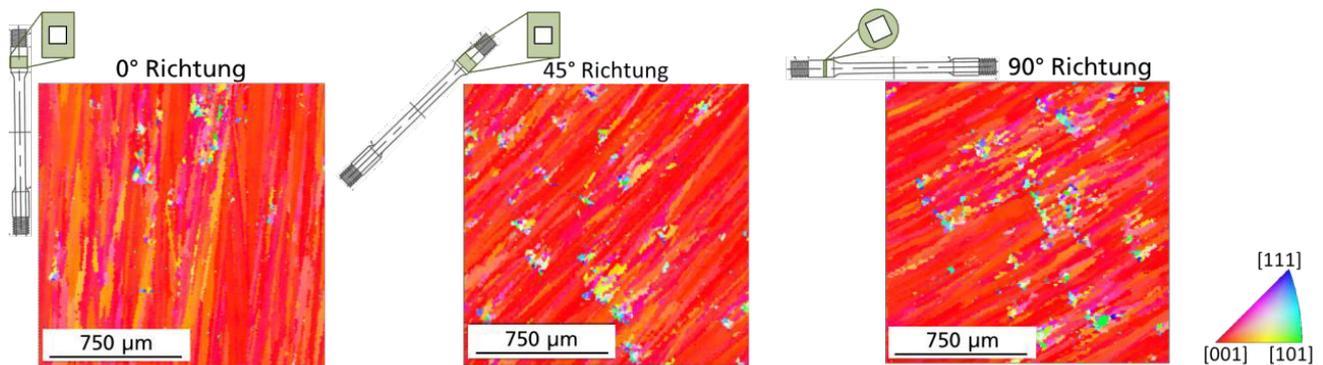


Abb. 2: Orientierungskarten aus EBSD-Messungen an Schiffsen der Zugproben in 0°-Richtung (links), 45°-Richtung (Mitte) und 90°-Richtung (rechts)

## 4 Aufbau der Simulationsmodelle

### 4.1 Mikrostrukturmodell

Die statistischen Informationen aus EBSD Daten oder aus Kornwachstumssimulationen können mit Hilfe von existierenden, frei verfügbaren Tools ausgewertet werden [9]. Unter Berücksichtigung der statistischen Informationen über die Kornmorphologie ist es möglich, 3D Mikrostrukturmodelle aufzubauen [10] und mit Hexaeder-Elementen zu vernetzen. Für die Simulationen in dieser Arbeit wurde ein Mikrostrukturmodell generiert, das aus 200 Körnern besteht, die eine Langstreckung in Aufbaurichtung mit einem Aspektverhältnis von acht aufweisen. Das Modell wurde mit  $40^3$  Hexaeder-Elementen vernetzt. Abb. 3 zeigt auf der linken Seite das Mikrostrukturmodell. Jedem Korn wurde initial eine Orientierung zugewiesen, die durch die drei Eulerwinkel definiert ist. Die resultierende Textur des Mikrostrukturmodells ist in Form der Polfiguren in Abb. 3 auf der rechten Seite dargestellt. Es ist eine ausgeprägte (100)-Faser in der Textur des Werkstoffs zu erkennen.

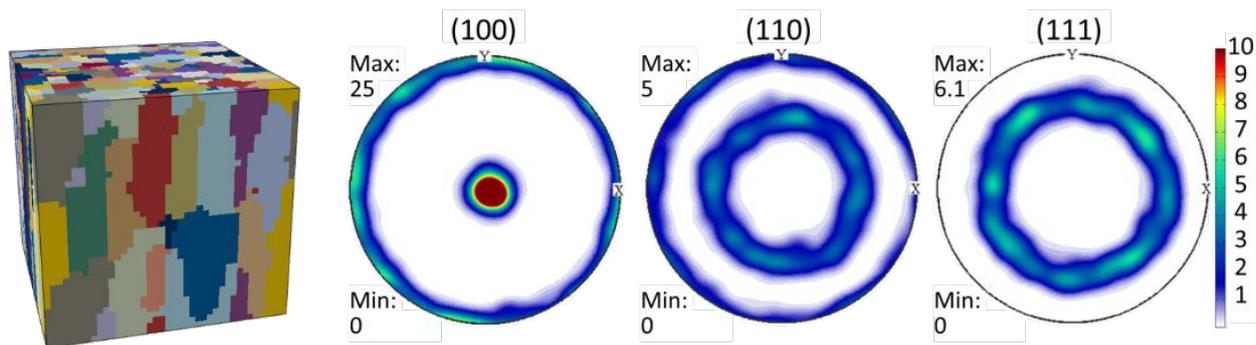


Abb. 3: Generiertes 3D Mikrostrukturmodell (links) und Darstellung der Ausgangstextur des Mikrostrukturmodells in Form von Polfiguren (rechts) basierend auf EBSD-Daten gemessen an den Proben in 0°-Richtung

### 4.2 Kalibrierung der Parameter des Kristallplastizitätsmodells

Für die Anpassung der Modellparameter wurde als Referenztemperatur  $T_{Ref} = 20^{\circ}C$  verwendet. Ausgehend von den elastischen Konstanten von reinen Nickel-Einkristallen [11] wurden die elastischen Konstanten der IN718-Einkristalle anhand der E-Moduli aus dem Zugversuch kalibriert. Um die Temperaturabhängigkeit im elastischen Bereich zu beschreiben, wurden die Werte aus [12] für die Legierung CMSX-4 verwendet. Alle elastischen Konstanten sind in Tabelle 1 aufgeführt. Abb. 4 zeigt rechts die resultierende Temperaturabhängigkeit des E-Moduls in 0°-Richtung.

Tabelle 1: Elastische Konstanten von IN718 für das Kristallplastizitätsmodell

$E_{\langle 001 \rangle, Ref}$ [GPa]	$\mu_{\langle 001 \rangle, Ref}$ [GPa]	$m_{Moduli}$ [MPa/K]	$\nu_{\langle 001 \rangle, Ref}$ [-]	$m_{\nu}$ [1/K]
126	118	-44.4	0.384	$-3.81 \cdot 10^{-05}$

Da die Dehnratenabhängigkeit des Werkstoffs nicht im Fokus der Untersuchungen lag, wurde hier für die Referenzdehnrates  $\dot{\gamma}_0$  ein Wert in der Größenordnung der Scherrate im Zugversuch gewählt, der bei  $\dot{\gamma}_0 = 0.001$  1/s lag. Für die Dehnratesensitivität wurde ein Literaturwert von  $m = 0.025$  verwendet. Die Länge des Burgers-Vektor stammt aus Literaturdaten [13], und die Verfestigungsparameter wurden an die Spannungs-Dehnungskurven bei RT und  $650^{\circ}C$  in 0°-Richtung angepasst. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Parameterwerte und Abb. 4 zeigt die Ergebnisse der Kalibrierung. Der Kurvenverlauf wird sowohl im elastischen als auch im plastischen Bereich gut vom Modell beschrieben.

Tabelle 2: Verfestigungsparameter von IN718 für das Kristallplastizitätsmodell

$\tau_0^\alpha$	$m_{\tau^\alpha}$	$b$	$k_a$	$k_b$	$\rho_0$
[MPa]	[MPa/K]	[mm]	[-]	[mm]	[m <sup>-2</sup> ]
420	-0.115	$2.54 \cdot 10^{-07}$	38	16	$5.5 \cdot 10^{13}$

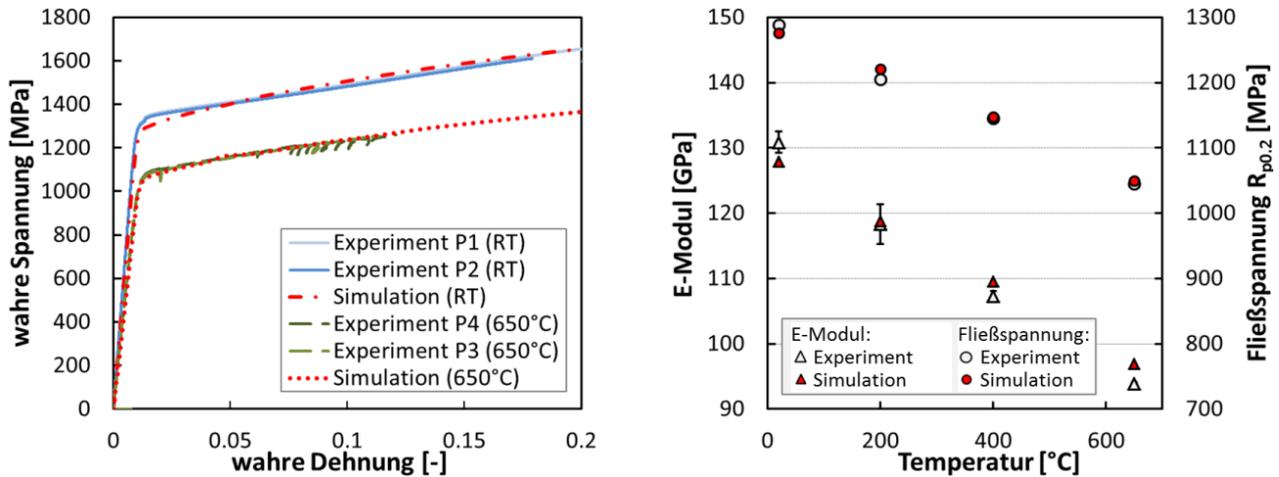


Abb. 4: Kalibrierung anhand der Spannungs-Dehnungskurven aus Zugversuchen in 0°-Richtung bei RT und 650°C (links) und E-Moduli und Fließspannungen für vier Temperaturen aus Experiment und Simulation in 0°-Richtung (rechts)

### 5 Ergebnisse

Mit dem kalibrierten Modell wurde das temperaturabhängige Verhalten in 45°- und 90°-Richtung simuliert. Die Ergebnisse wurden, wie in Abb. 5 dargestellt, mit den Zugversuchsdaten aus Abschnitt 3 verglichen. Auf der linken Seite in Abb. 5 werden die experimentelle und die vorhergesagte Spannungs-Dehnungskurve in 90°-Richtung bei RT und 650°C verglichen. Die Kurven zeigen eine gute Übereinstimmung, wobei das Spannungsniveau in der Simulation leicht überschätzt wird. Die Abweichung ist allerdings kleiner als fünf Prozent.

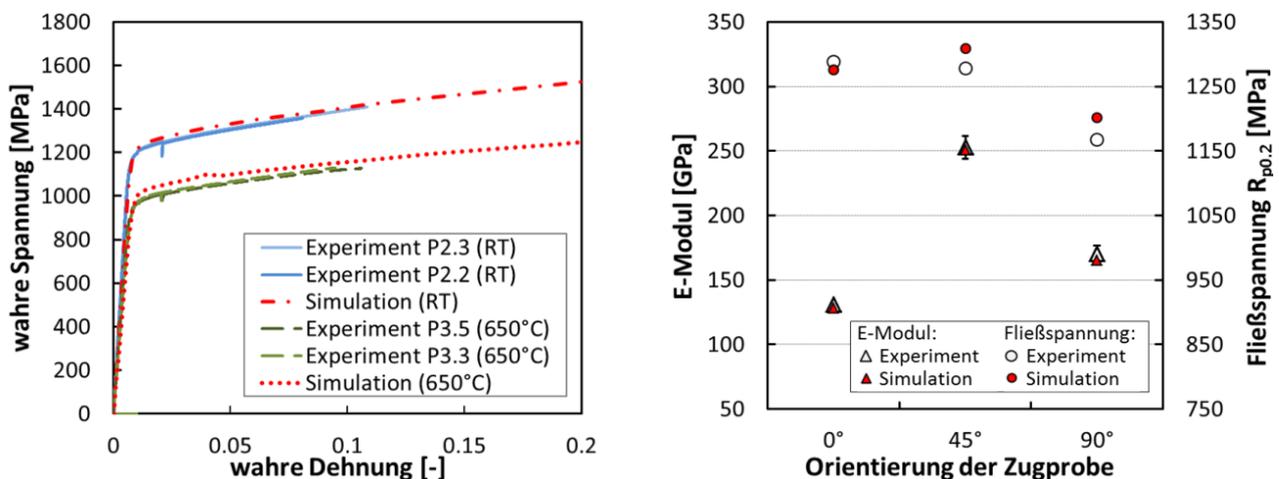


Abb. 5: Validierung anhand der Spannungs-Dehnungskurven in 90°-Richtung bei RT und 650°C (links) und der Richtungsabhängigkeit von E-Modul und Fließspannung bei RT (rechts)

Die ausgeprägte Anisotropie des Werkstoffs im elastischen und plastischen Bereich ist in Abb. 5 auf der rechten Seite zu sehen. Sowohl der E-Modul als auch die Fließspannung zeigen eine deutliche Richtungsabhängigkeit, die vom Modell in guter Übereinstimmung mit den experimentellen Befunden vorhergesagt wird. Die simulierten E-Moduli liegen im Streuband der Versuchsdaten, und die maximale Abweichung in den Fließspannungen tritt in 90°-Richtung auf, wo sie mit drei Prozent immer noch klein ist. Hier sind exemplarisch die Ergebnisse bei Raumtemperatur dargestellt, wobei für die anderen Temperaturen eine ähnlich gute Vorhersagegenauigkeit erreicht werden konnte.

## 6 Zusammenfassung

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen die Eignung des Ansatzes, um das temperaturabhängige Verhalten von im SEBM-Prozess hergestelltem IN718 abzubilden. Mit der Modellierung der Temperaturabhängigkeit durch einen linearen Zusammenhang für die elastischen Konstanten und die Anfangsfestigkeit auf der Gleitebene konnten die temperaturabhängigen Veränderungen im E-Modul und der effektiven Fließspannung in guter Genauigkeit abgebildet werden. Nach der Anpassung an Zugversuche in 0°-Richtung zeigte die Vorhersage der richtungsabhängigen Eigenschaften des Werkstoffs eine gute Übereinstimmung mit experimentellen Daten. Interessanterweise wurde für die elastische Anisotropie eine bessere Übereinstimmung erreicht als für die plastische Anisotropie, wo eine geringe Abweichung beobachtet werden konnte, die allerdings kleiner als fünf Prozent war. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es mit dem verwendeten Modellierungsansatz möglich ist, das elasto-plastische Verhalten für verschiedene Temperaturen und unterschiedliche Richtungen in guter Übereinstimmung mit experimentellen Ergebnissen vorherzusagen. Auf diesem Grund kann die Methode eingesetzt werden, um die lokalen mechanischen Eigenschaften auf Basis der Mikrostruktur zu berechnen und damit die Auswahl geeigneter Prozessparameter zu unterstützen. Auf diesem Weg kann künftig der Designprozess des finalen Bauteils unterstützt werden, indem die aufgrund des additiven Fertigungsprozesses auftretenden lokalen mechanischen Eigenschaften im Design berücksichtigt werden können.

## 7 Danksagung

Die Autoren danken dem europäischen Clean Sky Joint Undertaken für die finanzielle Unterstützung durch das Projekt SIMCHAIN unter der Grant Agreement No.326020.

## 8 Literatur

- [1] Körner, C., Helmer, H., Bauereiß, A., Singer, R. F.: "Tailoring the grain structure of IN718 during selective electron beam melting." In MATEC Web of Conferences, 14, 2014, 08001
- [2] Helm, D, Butz, A., Raabe, D., Gubsch, P.: "Microstructure based description of the deformation of metals: Theory and application." JOM, 63(4), 2011, 26-33
- [3] Lee, M., Lim, H., Adams, B., Hirth, J., and Wagoner, R.: "A dislocation density-based single crystal constitutive equation." International Journal of Plasticity, 26(7), 2010, 925-938
- [4] Hutchinson, J. W.: "Elastic-plastic behaviour of polycrystalline metals and composites." Proceedings of the Royal Society A, 19(1537), 1970, 247-272
- [5] Mandel, J.: "Plasticité classique et viscoplasticité." Springer, cism inter edition, 1973
- [6] Ma, A., Roters, F., Raabe, D.: "A dislocation density based constitutive model for crystal plasticity FEM including geometrically necessary dislocations." Acta Materialia, 54(8), 2006, 2169-2179
- [7] Orowan, E.: "Discussion on internal stresses." Symposium on internal stresses in metals and alloys, 1948, 451-453
- [8] Rai, Abha, Harald Helmer, and Carolin Körner. "Simulation of grain structure evolution during powder bed based additive manufacturing." Additive Manufacturing 13, 2017, 124-134
- [9] Schaeben, H.; Hielscher, R.; Bachmann, F.: "Texture analysis with mtex--free and open source software toolbox". Solid State Phenomena, 160, 2010, 63-68
- [10] Groeber, M., Jackson, M.: "Dream.3d: A digital representation environment for the analysis of microstructure in 3d." Integrating Materials and Manufacturing Innovation, 3:5, 2014
- [11] Frederikse, H. P. R.: "CRC handbook of chemistry and physics." CRC press., 2015
- [12] Siebörger, D., Knake, H., Glatzel, U.: "Temperature dependence of the elastic moduli of the nickel-base superalloy CMSX-4 and its isolated phases". Materials Science and Engineering: A, 298(1), 2001, 26-33
- [13] Oblak, J., Paulonis, D., Duvall, D.: "Coherency strengthening in Ni base alloys hardened by  $\gamma'$  precipitates." Metallurgical Transactions, 5(1), 1974, 143-153

# Diskret-adjungierter aerodynamischer Formoptimierungsprozess am Beispiel eines getrimmten Transportflugzeugs mit aktivem Triebwerk

Andrei Merle, Arthur Stück, Arne Rempke

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Center for Computer Applications in AeroSpace Science and Engineering (C<sup>2</sup>A<sup>2</sup>S<sup>2</sup>E)

Für die aerodynamische Formoptimierung eines freifliegenden, selbstangetriebenen Flugzeugs müssen die relevanten Steuerflächen und der Triebwerksschub berücksichtigt werden, um den gewünschten Flugzustand als Optimierungsnebenbedingung zu halten. In einem gradientenbasierten Optimierungsprozess finden daher neben dem Basis-RANS-Verfahren die Netzdeformation für Formänderungen und Bewegungen der Steuerflächen, die Triebwerksrandbehandlung und der numerische Trimmprozess Eingang in die Sensitivitätsanalyse. Die wesentlichen Bausteine des adjungierten Prozesses sind: (a) der diskret-adjungierte RANS-Löser TAU mit linearisierter Triebwerksrandbehandlung, (b) die adjungierte Netzdeformation entsprechend der Methode der linearen Elastizität, (c) die differenzierte Freiformdeformation zur Formparametrisierung sowie (d) ein auf einem Pseudo-Newton-Verfahren basiertes Trimm-Modul für die Berücksichtigung der Trimmnebenbedingungen.

Der erste Teil des Artikels beschreibt den Aufbau einer gradientenbasierten Optimierungsprozesskette für eine implizit getrimmte, selbstangetriebene Flugzeugkonfiguration unter Berücksichtigung der Triebwerkswirkung. Der primal-duale Simulationsprozess bestehend aus den Bausteinen (a-d) ist in der modularen HPC-Plattform FlowSimulator realisiert, was einen annähernd I/O-freien Workflow ermöglicht. In der adjungierten Sensitivitätsanalyse werden die Zielfunktionsgradienten korrigiert, um die Trimmnebenbedingungen zu berücksichtigen.

Im zweiten Teil des Artikels wird die skizzierte Prozesskette zunächst zur Widerstandsminimierung einer stark vereinfachten, getrimmten zweidimensionalen Flugzeugkonfiguration verwendet. Dabei werden zwei Strategien für die Einbehaltung der Trimmnebenbedingungen verglichen. Darauf folgend wird die Anwendbarkeit der Methode für die Optimierung einer generischen, dreidimensionalen Transportflugzeugkonfiguration im Reiseflug demonstriert.

## 1 Einleitung

Die CFD-basierte Formoptimierung gewinnt im aerodynamischen Flugzeugentwurf zunehmend an Bedeutung, um durch Treibstoffeinsparung operationelle Kosten weiter zu reduzieren und ehrgeizige umweltpolitische Ziele zu erfüllen. Eindeutig definierte Teilaufgaben können an automatisierte Optimierungsroutinen übertragen werden. Diese durchsuchen den erlaubten Entwurfsraum systematisch nach der optimalen Form. In vielen Fällen erübrigen sich so aufwändige manuelle Parameterstudien. Durch den Einsatz effizienter Optimierungsmethoden können somit auch Entwicklungszeiten reduziert werden.

Dank steigender Rechenkapazitäten und zunehmenden Effizienzgewinn, z.B. mithilfe der adjungiertbasierten Sensitivitätsanalyse, rückt die gradientenbasierte aerodynamische Formoptimierung verstärkt in den Fokus industrieller Forschung und Entwicklung. Ziel ist es, das volle Potenzial der Methode zu erfassen und sie für den täglichen Einsatz im industriellen Entwicklungsprozess vorzubereiten.

Die Güte der CFD-Simulationen in der Formoptimierung hinkt notorisch den in Leistungs- und Validierungsberechnungen üblichen Standards und Ansprüchen hinterher. Es ist beispielsweise einladend, im Optimierungskontext vereinfachte Beschreibungen von Nebenbedingungen, Geometrien, Netzen und Turbulenzmodellen zu verwenden, um die benötigten Rechenressourcen und den Bearbeitungsaufwand zu

reduzieren. Wenn allerdings das optimierte Design wieder auf seine ursprüngliche Komplexität zurückgeführt und mittels realitätsgetreuerer Simulationsverfahren analysiert wird, lassen sich die in der Optimierung erzielten Verbesserungen oft kaum mehr nachweisen oder zeigen sogar unerwünschte Auswirkungen. Aus diesem Grund ist es erstrebenswert, auch die Formoptimierung auf der Basis moderner Simulationsverfahren, wie sie z.B. in der Leistungsrechnung genutzt werden, durchzuführen. So werden durch eine konsistente „high-fidelity“ CFD-Bewertung weitere Optimierungspotenziale zugänglich.

Am Beispiel der Triebwerksintegration in das virtuelle Flugzeugmodell spiegelt sich häufig die reduzierte Detailtiefe in der Optimierung wider. In aerodynamischen Optimierungsstudien werden Triebwerke oft vernachlässigt oder lediglich als Durchflussgondeln modelliert. Daraus ergeben sich zwei wesentliche Nachteile für den Entwurf: Zunächst wird die aerodynamische Interaktion des Triebwerksstrahls mit der Flugzeugzelle nicht berücksichtigt, wodurch mögliches Optimierungspotenzial nicht ausgeschöpft wird. Darüber hinaus wird der Beitrag des Triebwerkschubs in den Kraft- und Momentenbilanzen des freifliegenden, getrimmten Flugzeugs vernachlässigt. Kraft- oder Momentenungleichgewichte, die im Lauf der Optimierung aufgrund von Formänderung hervorgerufen werden, können dann nicht durch eine Anpassung des Triebwerksbetriebspunkts ausgeglichen werden. Ein vergleichbares Manko wird u.a. durch Untersuchungsergebnisse am Benchmark-Problem 5 der „AIAA Aerodynamic Design Optimization Discussion Group“ (ADODG) [1, 2, 3] verdeutlicht. Diese zeigen, dass es vorteilhaft ist, neben den Trimmnebenbedingungen auch die Trimmparameter in die Formulierung des Optimierungsproblems aufzunehmen. Der somit vergrößerte Entwurfsraum ermöglicht es, durch gegenseitige Abstimmung von Form- und Trimmparametern bessere Optima unter der Berücksichtigung aller Nebenbedingungen zu finden.

Vor diesem Hintergrund möchten wir die gradientenbasierte aerodynamische Formoptimierung hin zu realistischeren Bedingungen, in denen die Effekte aktiver Triebwerke im stationären, eingetrimmten Flugzustand erfasst werden, weiterentwickeln. Zwei unterschiedliche Ansätze, die die Trimmnebenbedingungen in den gradientenbasierten Optimierungsprozess einschließlich der adjungierten Sensitivitätsanalyse integrieren, werden dazu vorgestellt und untersucht.

Der Fokus der Darstellung liegt auf den einzelnen numerischen Bausteinen des Formoptimierungsprozesses und ihrer Verbindung zu einer effizienten Prozesskette. In Absatz 2 werden zwei unterschiedliche Ansätze für die Durchsetzung von Trimmnebenbedingungen vorgestellt, gefolgt von einer kurzen Beschreibung der wichtigsten primal-dualen numerischen Komponenten im Optimierungsprozess. In Absatz 3 werden Optimierungsergebnisse, die anhand von zwei unterschiedlichen Testfällen erzielt wurden, diskutiert. Fazit und Ausblick finden sich in Absatz 4.

## 2 Methodik

Die Optimierungsprozesskette kann entweder mit der DLR-Software Pyranha [4] oder mit dem Open Source Paket pyOpt [5] gekoppelt werden. Es handelt sich in beiden Fällen um Python-basierte Wrapper die den Zugriff auf jeweils zwei umfangreiche Bibliotheken für Optimierungsalgorithmen vereinheitlichen. Die aerodynamischen Leistungskennzahlen werden mithilfe des DLR-eigenen RANS-basierten Strömungslösers TAU [6] berechnet, und der Datenfluss beruht auf den FlowSimulator [7], einer Simulationsumgebung für massivparallele, multidisziplinäre Anwendungen. Dessen Kern bildet der FlowSimulator Data Manager (FSDM), der einen effizienten arbeitsspeicherbasierten Datenaustausch zwischen den einzelnen FlowSimulator Plug-Ins ermöglicht. Im Folgenden wird das Optimierungsproblem formuliert, und die zum Einsatz kommenden FlowSimulator-Plug-Ins werden näher beschrieben. Ferner werden einige Details bzgl. der Berechnung der aerodynamischen Sensitivitäten geklärt.

### 2.1 Optimierungsstrategien

Im Rahmen dieser Studie wurde der Widerstandsbeiwert der Flugzeugzelle  $C_w$  über eine Variation der Komponenten des Entwurfsvektors  $\mathbf{D}$  minimiert. Der Entwurfsvektor wird im Folgenden weiter unterteilt in den Formparametern  $\mathbf{S}$  und den Trimmparametern  $\mathbf{P}$

$$\mathbf{D} = [\mathbf{S}, \mathbf{P}]^T . \quad (1)$$

Bei den Formparametern  $\mathbf{S}$  handelt es sich um die in Absatz 2.2 beschriebenen Freiheitsgrade der Freiformdeformation. Die Trimmparameter  $\mathbf{P}$  setzen sich zusammen aus dem aerodynamischen Anstellwinkel  $\alpha$ , dem Höhenleitwerksausschlag  $\gamma$  und dem Triebwerksschubparameter  $\tau$

$$\mathbf{P} = [\alpha, \gamma, \tau]^T . \quad (2)$$

Das Triebwerk wird mithilfe von Randbedingungen im CFD-Modell berücksichtigt, vgl. Absatz 2.4. Dabei steuert der Schubparameter  $\tau$  den Triebwerksschub indirekt über eine Skalierung des Totaldrucks und der Totaltemperatur am Triebwerksauslass. Bei der in Absatz 3.2 vorgestellten Flugzeugkonfiguration kam ein Mantelstromtriebwerk zum Einsatz. In diesem Fall wurden die genannten Zustände sowohl am Kernstrom- als auch am Bypassauslass mit demselben Triebwerksschubparameter  $\tau$  skaliert. Der am numerischen Triebwerkseinlass vorgeschriebene statische Druck blieb über den Optimierungsverlauf konstant. Dies ergibt sich als erste Näherung aus der Vorgabe einer konstanten Reisemachzahl. In zukünftigen Arbeiten soll dieses Vorgehen um ein zusätzliches Modul, das auf der Grundlage des aktuellen Flugzustands sämtliche Triebwerksgrößen berechnet, ergänzt werden.

Die Vorgabe eines stationären Flugs setzt ein Gleichgewicht aller an der Flugzeugzelle angreifenden Kräfte und Momente voraus. Hierzu zählen aerodynamische Kräfte und Momente, die Schwerkraft, der Triebwerksschub und die damit einhergehenden Momente. Da die behandelten Testfälle symmetrisch zur  $xz$ -Ebene sind, müssen nur drei anstatt sechs Starrkörperfreiheitsgrade berücksichtigt werden. Der Vektor der zu erfüllenden Trimmnebenbedingungen  $\mathbf{C}$  ergibt sich somit aus den folgenden integralen Kräfte- und Momentenbeiwerten

$$\mathbf{C} = [C_{Fx}, C_{Fz}, C_{My}]^T. \quad (3)$$

Designs wurden als zulässig bewertet, wenn die Abweichungen der Kräfte- bzw. Momentenbeiwerte vom Gleichgewichtszustand einen Toleranzwert von  $10^{-3}$  bzw.  $10^{-4}$  unterschritten. An dieser Stelle ist die Darstellung auf ausschließlich physikalische Nebenbedingungen reduziert. Diese werden später bei einer Berücksichtigung des gesamten Prozesses um die numerischen Nebenbedingungen, die sich aus der Finite-Elemente-basierten Netzdeformation (s. Absatz 2.3) und der Finite-Volumenbasierten RANS-Simulation (s. Absatz 2.4) ergeben, erweitert.

### 2.1.1 Direkte Optimierungsstrategie

Mit der sog. *Direkten Optimierungsstrategie* (DOS) wird die Optimierungsaufgabe einschließlich der Trimmnebenbedingungen

$$\begin{aligned} C_w(\mathbf{D}) &\rightarrow \min \\ \text{mit } \mathbf{C}(\mathbf{D}) &= \mathbf{0} \end{aligned} \quad (4)$$

direkt einem Algorithmus zur Lösung beschränkter Optimierungsprobleme übergeben. Der Optimierungsalgorithmus übernimmt also nicht nur die Minimierungs-, sondern auch die Trimmvorgabe, die in der Formulierung des Optimierungsproblems (4) enthalten ist. Im laufenden Optimierungsprozess erhält der Optimierungsalgorithmus Werte und Gradienten der Zielfunktion und der Nebenbedingungen und generiert auf Grundlage dieser Informationen neue Designs  $\mathbf{D}$ . Der Optimierungsalgorithmus steuert sowohl Form- als auch Trimmparameter, wobei keine formale Unterscheidung zwischen den beiden Parametertypen getroffen wird.

Für den in Absatz 3.1 mit DOS behandelten Testfall kam der in pyOpt implementierte Optimierungsalgorithmus SNOPT zum Einsatz.

### 2.1.2 Trimmkorrigierte Optimierungsstrategie

Die hier vorgestellte *Trimm-korrigierte Optimierungsstrategie* (TCOS) erfüllt die an sich beschränkte Optimierungsaufgabe mithilfe einer Pseudo-Newton-Trimmmethode sowie einem unbeschränkten Optimierungsverfahren, dem ein entsprechend korrigierter Zielfunktionsgradient zur Verfügung gestellt wird. Der Optimierungsprozess beginnt mit einer Trimmung des Ausgangsentwurfs. Ein FlowSimulator-Plug-In stellt die Trimmparameter  $\mathbf{P}$  so ein, dass die Trimmnebenbedingungen erfüllt werden. In diesem iterativen Trimmprozess wird der Strömungslöser TAU mehrmals aufgerufen, um die integralen Kraft- und Momentenbeiwerte zu berechnen. Nach erfolgter Trimmung werden in einem zweiten Schritt der aktuelle aerodynamische Widerstandsbeiwert und dessen korrigierter Gradient einem Algorithmus für unbeschränkte Optimierungsprobleme übergeben. Dieser minimiert nun den aerodynamischen Widerstand ausschließlich über die Formparameter  $\mathbf{S}$ . Der Optimierungsalgorithmus berücksichtigt weder die Trimmparameter, noch die Trimmnebenbedingungen in direkter Weise:

$$C_w(\mathbf{S}) \rightarrow \min. \quad (5)$$

Der Optimierungsalgorithmus generiert daraufhin eine neue Form  $S$  und der Trimmprozess erzwingt ausschließlich über die Trimmparameter  $P$ , dass diese die Trimmnebenbedingungen erfüllt:

$$C(S, P) = \mathbf{0} \quad (6)$$

Wie oben erwähnt, muss in einem solchen Prozess der Zielfunktionsgradient um den Einfluss des nicht-linearen Trimmprozesses korrigiert werden, bevor er dem nebenbedingungsfreien Optimierungsalgorithmus übergeben wird. Die Korrektur des Zielfunktionsgradienten kann über die totale Ableitung der Zielfunktion

$$\frac{dc_w(S, P(S))}{dS} = \frac{\partial c_w}{\partial S} + \frac{\partial c_w}{\partial P} \frac{dP}{dS} \quad (7)$$

und der Trimmnebenbedingungen

$$\frac{dC(S, P(S))}{dS} = \frac{\partial C}{\partial S} + \frac{\partial C}{\partial P} \frac{dP}{dS} = \mathbf{0} \quad (8)$$

hergeleitet werden. Der Term  $\frac{\partial C}{\partial P} \frac{dP}{dS}$  kompensiert dabei einen Trimmdefekt, der durch  $\frac{\partial C}{\partial S}$  erzeugt wird. Die Beziehungen (7) und (8) können zu folgendem linearen Gleichungssystem zusammengefasst werden:

$$\begin{bmatrix} -1 & \frac{\partial c_w}{\partial P} \\ \mathbf{0} & \frac{\partial C}{\partial P} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dc_w}{dS} \\ \frac{dP}{dS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial c_w}{\partial S} \\ -\frac{\partial C}{\partial S} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Die darin auftretenden partiellen Gradienten werden stets vor dem Hintergrund eines eingetrimmten Entwurfs berechnet. Der korrigierte Zielfunktionsgradient lässt sich nun mit einer Lösung des Gleichungssystems nach  $\frac{dc_w}{dS}$  ermitteln. Mit dieser Optimierungsstrategie werden die Trimmparameter einzig und allein zur Erfüllung der Trimmnebenbedingungen genutzt. Die Aufgabe der Trimmparameter ist es also, mögliche Trimmungleichgewichte zu kompensieren. Diese können – trotz des korrigierten Zielfunktionsgradienten – beispielsweise durch große Formänderungen entstehen. Gegenüber dem DOS-Ansatz reduziert sich dabei formal die Anzahl der Optimierungsparameter um die Trimmparameter.

Das lineare Gleichungssystem (9) wurde mithilfe der Python-Bibliothek SciPy gelöst. Für die Lösung des unbeschränkten Optimierungsproblems (5) kam das in Pyranha implementierte Verfahren der konjugierten Gradienten (CG) zum Einsatz.

## 2.2 Formparametrisierung

Die hier verwendete Formparametrisierung beruht auf der Methode der Freiformdeformation und wurde in TAU als zusätzliche Routine implementiert. Zunächst wird der zu deformierende Bereich des Oberflächennetzes in eine initiale Freiformbox eingebettet, und mittels eines volumetrischen B-Splines wird eine Abbildungsvorschrift zwischen Box und Netz erzeugt. Eine Änderung der Freiformbox bewirkt eine Verformung des darin eingeschlossenen Oberflächennetzes. Die Formänderung wird somit über die Eckpunkte, d.h. Kontrollpunkte der Freiformbox bestimmt. Die analytische Ableitung der Oberflächennetzpunkte bzgl. der Kontrollpunkte  $\frac{dX_s}{dS}$  ist über die entsprechenden B-Spline-Koeffizienten gegeben.

Im Rahmen dieser Studie wurde lediglich die Tragfläche parametrisiert, um Formänderungen durchlaufen zu können. Der Ausschlag des Höhenleitwerks wurde direkt über den Trimmparameter  $\gamma$  gesteuert. Die Form des Höhenleitwerks blieb dabei konstant. Die restlichen Oberflächen, z.B. Rumpf, Gondel und Triebwerksein- und -auslass wurden komplett fixiert. Es wurden jeweils zwei Kontrollpunkte über und unter der Tragfläche bei konstantem Abstand miteinander gekoppelt. Die Formparameter  $S$  wurden über eine Verschiebung der Kontrollpunktpaare entlang der  $z$ -Richtung des körperfesten Koordinatensystems definiert. Damit konnte gewährleistet werden, dass die Dickenverteilung und das Volumen der Tragfläche über den Optimierungsverlauf konstant bleiben.

### 2.3 Netzdeformation

Die Deformation des Volumennetzes beruht auf der Methode der Linearen Elastizität und wurde entsprechend des Ansatzes nach Stein, Tezduyar und Benney [8] implementiert. Das Volumennetz wird dabei als elastischer Festkörper mit lokal variablem E-Modul betrachtet, letzterer skaliert mit dem Kehrwert des Volumens eines undeformierten Elements im Ausgangsnetz. Kleine Elemente werden dadurch künstlich versteift und durchlaufen im Wesentlichen eine Starrkörpertranslation. Große Elemente sind dagegen flexibler und absorbieren einen Großteil der an den Rändern initiierten Deformationen. Da die aufgebrachten Deformationen verhältnismäßig klein ausfallen, genügt eine lineare Approximation des elastischen Modells. Dieses wird entsprechend der Finite-Elemente-Methode diskretisiert, und das resultierende Gleichungssystem wird für jede Formänderung neu gelöst. Die Deformation erfolgt dabei stets relativ zum Ausgangsnetz.

Eine Besonderheit ergibt sich bei einer Rotation des Höhenleitwerks aufgrund eines Trimmwinkels  $\gamma$ . Es muss gewährleistet werden, dass die Form des Rumpfes im Bereich der Verschneidung erhalten bleibt. Die Oberflächennetzpunkte dürfen daher lediglich auf den vorgegebenen Oberflächen gleiten. Diese Anforderung kann u.a. mithilfe einer Neumann-Randbedingung erfüllt werden. Deren Verwendung destabilisierte allerdings das Lösungsverfahren der Deformation. Es wurde deswegen folgender Zwei-Schritt-Ansatz entwickelt: Zuerst wird ein reduziertes Deformationsproblem, das auf das Oberflächennetz des betreffenden Rumpfabschnitts und des Höhenleitwerks beschränkt ist, aufgestellt. Die Verschiebung der Oberflächennetzpunkte des Höhenleitwerks  $Y_D$  wird zunächst entsprechend des Ausschlags  $\gamma$  vorgegeben.  $Y_D$  kann damit als Dirichlet-Randbedingung für die reduzierte, zweidimensionale Deformationsaufgabe

$$N(\gamma, Y) = AY - Y_D(\gamma) = \mathbf{0} \quad (10)$$

verwendet werden. Darin stellt  $A$  die Steifigkeitsmatrix auf dem reduzierten, zweidimensionalen Gebiet dar. Der Lösungsvektor  $Y$  enthält die Verschiebung der Oberflächennetzpunkte auf einer linearen Approximation der konstanten Rumpfgeometrie und des Höhenleitwerks einschließlich des vorgeschriebenen Rotationsanteils. In einem zweiten Schritt wird die eigentliche Volumennetzdeformation durchgeführt. Nun wird die Dirichlet-Randbedingung auf das gesamte Oberflächennetz angewendet. Die Randwerte  $X_D$  werden aus der Freiformverschiebung  $X_S$  und der Höhenleitwerksverschiebung  $X_Y$  zusammengesetzt:

$$X_D(S, Y) = X_S(S) + X_Y(Y) . \quad (11)$$

Ähnlich zur reduzierten Deformationsaufgabe (10) kann die Deformation des Volumennetzes definiert werden als

$$T(S, Y, X) = KX - X_D(S, Y) = \mathbf{0} . \quad (12)$$

Dabei ist  $K$  die Steifigkeitsmatrix des dreidimensionalen Volumennetzes und  $X$  die Verschiebung der Volumennetzpunkte.

Die Deformationsaufgaben (10) und (12) wurden mithilfe der PETSc-Bibliothek [9] innerhalb der Maschinengenauigkeit exakt gelöst.

### 2.4 RANS-Methode

Die numerische Entwurfsbewertung wurde RANS-basiert mit der im DLR entwickelten Finite-Volumen-Methode TAU durchgeführt. In dieser Arbeit wurde die negative Erweiterung des Spalart-Allmaras Turbulenzmodells (SA-neg) verwendet. Die kompressible Strömung wurde unter voll-turbulenten Bedingungen auf unstrukturierten, knotenzentrierten Gittern simuliert. Die von zweiter Ordnung genaue Diskretisierung verwendete ein matrixdissipatives Konvektionsschema und Green-Gauss-basierte viskose Flüsse. Die diskretisierten Transportgleichungen für Masse, Impuls, Energie und die SA-neg-Transportgröße wurden mithilfe der „Full-Approximation Scheme“ (FAS) Mehrgittermethode und geometrischer Agglomeration gelöst. Mehrere Rückwärts-Euler-Relaxationsschritte wurden auf jedem Mehrgitterlevel verwendet, wobei die darin enthaltenen linearen Probleme mit einem symmetrischen Vorwärts-Rückwärts-Gauss-Seidel-Verfahren (LUSGS) iteriert wurden. Eine vorgegebene Anzahl von FAS-Mehrgitteriterationen wurde je Entwurfsschritt ausgeführt, so dass die Residuen für die behandelten Testfälle um mindestens neun bzw. sieben Größenordnungen reduziert werden konnten.

Die Gradienten der aerodynamischen Zielfunktion und der Trimmnebenbedingungen hinsichtlich der Formparameter  $S$  wurden mithilfe der diskret-adjungierten Methode [10], die den exakten Gradienten der diskreten

Zielfunktion oder Nebenbedingung auf gegebenem Netz liefert, berechnet. Das Residuum der Strömungsdiskretisierung zweiter Ordnung,  $R = 0$ , ist vollständig – einschließlich des Turbulenzmodells – nach den Strömungsvariablen  $W$  diskret differenziert. Dabei werden die Terme des erweiterten numerischen Moleküls in zwei Schritten berechnet, sodass die Speicheranforderung des diskret-adjungierten RANS-Codes ähnlich zu der des nicht-linearen RANS-Verfahrens ist. Das diskret-adjungierte RANS-Problem wurde mit der GMRES-Methode gelöst, wobei eine Prädiktionierung durch den linearen Gegenpart des FAS-Mehrgitterverfahrens verwendet wurde. Die darin enthaltene Mehrgitterglättung erfolgte durch die Rückwärts-Euler-Methode, wobei der primale LUSGS-Glätter transponiert wurde. Die Residuen der diskret-adjungierten Gleichungen wurden wieder um neun bzw. sieben Größenordnungen für die behandelten Testfälle reduziert.

Die angetriebenen Triebwerke wurden in der RANS-Simulation der Flugzeugaußenströmung durch eine Fluss-basierte Randbehandlung, wie von Stück und Heinrich [11] beschrieben, modelliert. Die ein- und ausgehenden Triebwerksflüsse wurden entsprechend der approximativen Riemann-Methode nach Roe berechnet. Der äußere Triebwerkszustand, der in den Roe-Randfluss eingeht, spezifiziert dabei den Typ der Triebwerksrandbedingung: Am Triebwerkseinlass, der üblicherweise einen Ausstrom aus dem Lösungsgebiet darstellt, wird der statische Druck vorgeschrieben. Die übrigen Strömungszustandsgrößen werden entsprechend der Annahme eines thermisch und kalorisch perfekten Gases aus dem Inneren des Lösungsgebiets extrapoliert. Am Triebwerksauslass, an dem das Fluid in das Lösungsgebiet eintritt, wurde ein isentroper Strömungszustand, der durch Totaldruck und -temperatur parametrisiert ist, angenommen. Durch Extrapolation der Geschwindigkeit können annähernd entwickelte Geschwindigkeitsprofile in das Lösungsgebiet einkonvektiert werden. In dieser Arbeit wurde eine Bilanzierung der an einem Triebwerkseinlass ausgehenden und am entsprechenden Triebwerksauslass eingehenden Massenströme nicht explizit erzwungen. Mögliche Massenstromdefekte je Triebwerk werden in der konservativen Finite-Volumen-Methode derzeit über den Fernfeldrand ausgeglichen. Eine entsprechende iterative Korrektur ist in weitergehenden Entwicklungen geplant.

## 2.5 Berechnung der aerodynamischen Sensitivitäten

Die Sensitivität der Zielfunktion bzw. einer Trimmnebenbedingung bzgl. der Trimmparameter  $P$ , im Folgenden allgemein als  $\frac{dJ}{dP}$  notiert, wurde mit Finiten-Differenzen approximiert.

Für die Berechnung der aerodynamischen Sensitivitäten bzgl. der Formparameter  $S$ , d.h.  $\frac{dJ}{dS}$ , wurde das Adjungiertenverfahren verwendet. Darin wird das Optimierungsproblem um zwei zusätzliche, numerische Nebenbedingungen erweitert: Das nicht-lineare Residuum der Strömungsberechnung  $R$  und das Residuum der Volumennetzdeformation  $T$  ergeben im jeweils auskonvergierten Fall den Wert Null:

$$\begin{aligned} R(D, X, W) &= 0 \\ T(D, X) &= 0. \end{aligned} \tag{13}$$

Mit der adjungierten Variablen der Strömung  $\lambda_f$  und der Netzdeformation  $\lambda_t$  kann nun folgende Lagrange-Funktion aufgestellt werden:

$$L(D, X, W) = J(D, X, W) + \lambda_f^T R(D, X, W) + \lambda_t^T T(D, X). \tag{14}$$

In der DOS-Formulierung des Optimierungsproblems sind die im Entwurfsvektor  $D$  eingehenden Parameter  $S$  und  $P$  voneinander unabhängig. Die adjungiertbasierten Formsensitivitäten lassen sich daher einfach separieren:

$$\frac{dL}{dS} = \frac{\partial J}{\partial S} + \lambda_f^T \frac{\partial R}{\partial S} + \lambda_t^T \frac{\partial T}{\partial S} + \underbrace{\left( \frac{\partial J}{\partial W} + \lambda_f^T \frac{\partial R}{\partial W} \right)}_{\text{Strömungsadjungierte}} \frac{dW}{dS} + \underbrace{\left( \frac{\partial J}{\partial X} + \lambda_f^T \frac{\partial R}{\partial X} + \lambda_t^T \frac{\partial T}{\partial X} \right)}_{\text{Netzadjungierte}} \frac{dX}{dS}. \tag{15}$$

In der TCOS-Formulierung ist dagegen  $P$  abhängig von  $S$ , da jede Formänderung im Allgemeinen eine Trimmung nach sich zieht. Gesucht werden die Terme auf der rechten Seite der Gradientenkorrektur (9). Da diese lediglich die partiellen – im Gegensatz zu den totalen – Ableitungen bzgl.  $S$  darstellen, können die adjungiertbasierten Formsensitivitäten (15) auch für TCOS verwendet werden. Es muss angemerkt werden, dass die totalen und partiellen Ableitungen hier in einem anderen Zusammenhang als in Absatz 2.1.2 stehen, zumal die zusätzlichen numerischen Variablen  $X$  und  $W$  eingeführt wurden. Abgesehen von der Lösung des

Korrektursystems (9) benötigen damit DOS und TCOS dieselben Operationen für die Berechnung der aerodynamischen Sensitivitäten.

Die der Strömungs- und der Netzadjungierten zugeschriebenen Terme werden eliminiert, indem die resultierenden Gleichungssysteme nach  $\lambda_f$  bzw.  $\lambda_t$  gelöst werden. Da die Definition des Strömungsresiduums und der Zielfunktion bzw. der Trimmnebenbedingungen nicht direkt von einer Variation der Flugzeugform abhängig ist, kann Gl. (15) weiter vereinfacht werden zu

$$\frac{dL}{dS} = -\lambda_t^T \frac{dX_s}{dS}. \quad (16)$$

Das reduzierte Deformationsproblem (10) wurde der Kürze wegen in der Herleitung der adjungiertbasierten Formsensitivitäten vernachlässigt. Dieses Vorgehen ist allerdings gerechtfertigt, da die Form des Höhenleitwerks in den untersuchten Testfällen über den Optimierungsverlauf konstant bleibt.

### 3 Optimierungsergebnisse

Es wurden zwei Testfälle unterschiedlicher Komplexität ausgewählt, siehe. Abb. 1. Anhand des ersten stark vereinfachten Beispiels konnten verschiedene Detailspekte der vorgestellten Optimierungsstrategien mit reduziertem Aufwand untersucht werden. Der zweite Testfall demonstriert die Anwendbarkeit der verwendeten Methoden auf ein industrierelevantes Optimierungsszenario für eine Verkehrsflugzeugkonfiguration.

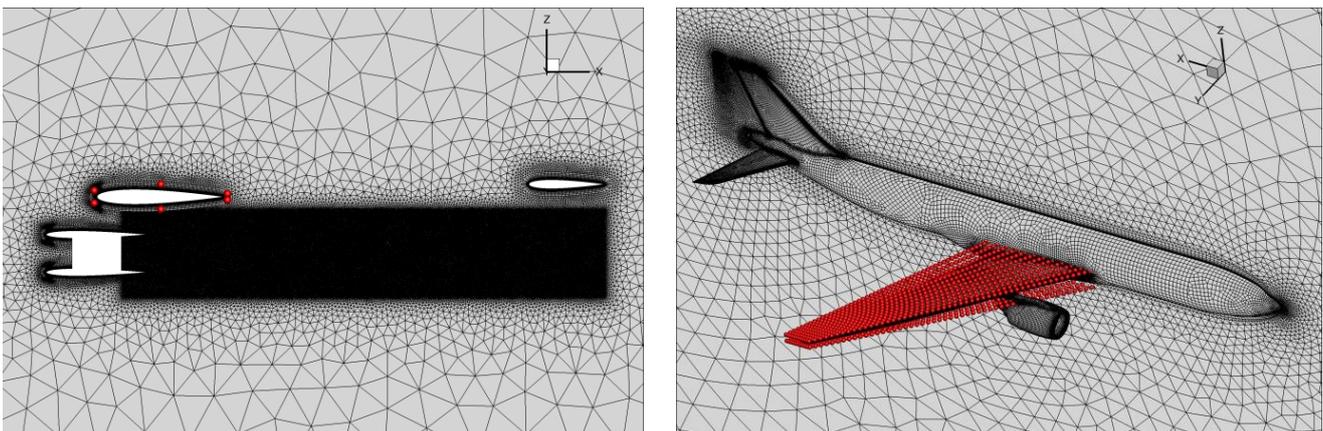


Abb. 1: Berechnungsnetz und Freiformbox für den 2D-Prototypen (links) und für das generische Flugzeugmodell (rechts).

#### 3.1 2D-Prototyp

Dieser Testfall stellt ein stark vereinfachtes zweidimensionales Flugzeugmodell dar. Die Geometrie wurde auf die wesentlichen, für eine Trimmung notwendigen Komponenten reduziert. Diese sind ein Tragflächenquerschnitt, ein Triebwerk und ein Höhenleitwerksprofil. Sowohl das Tragflächen- also auch das Höhenleitwerksprofil sind symmetrisch. Der fehlende Rumpfwiderstand wurde durch eine konstante Kraft entlang der  $x$ -Richtung des körperfesten Koordinatensystems ersetzt. Bei einer Mach-Zahl  $Ma = 0,3$  und einer Reynolds-Zahl  $Re = 7,0 \cdot 10^6$  wurde für die gegebene Gewichtskraft ein vergleichsweise großer Anstellwinkel  $\alpha$  und ein großer Trimmwinkel  $\gamma$  benötigt, um die Ausgangsgeometrie einzutrimmen. Das Berechnungsnetz bestand aus ca. 108.000 Netzknoten mit pseudo-strukturiertem Grenzschichtgitter im Nahfeld und Dreieckselementen im Fernfeld. Das Gebiet stromab des Triebwerksauslasses wurde verfeinert, um den Triebwerksstrahl besser auflösen zu können. Die Form des Tragflächenprofils wurde mit sechs Kontrollpunkten, d.h. mit drei Formparametern parametrisiert.

Abb. 2 zeigt die Optimierungsverläufe, die sich aus den beiden Optimierungsstrategien ergeben haben. TCOS erreichte eine aerodynamische Widerstandsreduktion von 13,1% relativ zur eingetrimmten Ausgangsgeometrie. Alle TCOS-Designs waren zulässig und ein wesentlicher Anteil der gesamten Widerstandsreduktion wurde

bereits innerhalb der ersten drei Optimierungsiterationen umgesetzt. Der Nachteil von TCOS ist ein im Vergleich zu DOS um Faktor 4-5 höherer zeitlicher Aufwand für die CFD-Bewertung eines Designs. Dies ist in der hier genutzten Umsetzung vor allem auf die große Zahl von CFD-Iterationen zurückzuführen, die in der Trimmung je TCOS-Optimierungsschritt zum einen für die Finite-Differenzen-basierte Berechnung der Trimm-Jacobi-Matrix und zum anderen für die Trimmiterationen selbst erforderlich ist. Da sich für diesen Testfall große Geometrieänderungen ergaben, mussten die Trimmparameter entsprechend stark angepasst werden. Für jeden TCOS-Optimierungsschritt wurden der Einfachheit halber die Ausgangswerte als Startwerte für den iterativen Trimmprozess verwendet, was im Lauf der Optimierung zu einer hohen Zahl an Trimmiterationen führte. Durch eine Anpassung der Startwerte und durch die Annahme einer konstanten Trimm-Jacobi-Matrix für alle zu trimmenden Designs könnte der mit TCOS verbundene Mehraufwand pro Optimierungsiteration reduziert werden. Der Aufwand für die Berechnung der Sensitivitäten ist für beide Optimierungsstrategien identisch, da das zusätzliche Gleichungssystem (9) im Vergleich zum RANS-Problem nur sehr wenige Freiheitsgrade besitzt. DOS erzielte ebenfalls eine große Widerstandsreduktion innerhalb der ersten Optimierungsiterationen. Die erzeugten Designs waren allerdings nicht zulässig, wenngleich sehr nah an den definierten Toleranzen. Für einen besseren Vergleich mit TCOS wurde die Geometrie aus der letzten DOS-Iteration mithilfe des FlowSimulator-basierten Trimm-Moduls nachgetrimmt. Dies führte zu einer finalen Widerstandsreduktion von 14,8%. Damit konvergierten beide Optimierungsstrategien zu einem ähnlichen Widerstandsniveau, wobei das nachgetrimmte DOS-Design eine höhere Widerstandsreduktion erzielte. Ferner wurde TCOS auch ohne die in Gl. (9) definierte Gradientenkorrektur getestet. Dieser Optimierungslauf erreichte keine aerodynamische Verbesserung. Es kann daraus geschlossen werden, dass in der TCOS-Formulierung die Übertragung der Trimminformation auf den Zielfunktionsgradienten unbedingt notwendig ist.

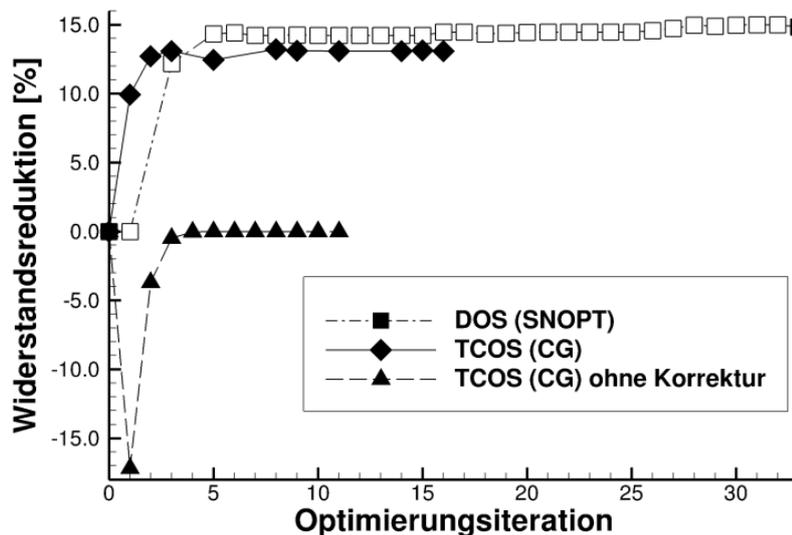


Abb. 2: Optimierungsverlauf für unterschiedliche Optimierungsstrategien. Zulässige Designs werden durch gefüllte, unzulässige durch leere Symbole repräsentiert.

DOS und TCOS generierten weitgehend ähnliche optimale Geometrien. Die wesentlichen Design-Änderungen werden in Abb. 3 dargestellt. Der globale aerodynamische Anstellwinkel  $\alpha$  wurde reduziert, womit auch der Gesamtwiderstand minimiert wurde. Eine Rotation des Tragflächenprofils im körperfesten Koordinatensystem ermöglichte es, den lokalen Anstellwinkel und damit den für die Kompensation der Gewichtskraft benötigten Auftrieb zu erhalten. Zudem wurden die ursprünglich symmetrischen Tragflächen- und Höhenleitwerksprofile gewölbt, um deren aerodynamische Effizienz zu erhöhen. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Optimierungsstrategien war, dass DOS den globalen Anstellwinkel weniger stark reduzierte und das Tragflächenprofil zu einem geringeren Maß im körperfesten Koordinatensystem rotierte. Ein Vergleich der Widerstandsbeiwerte der einzelnen Komponenten belegte, dass im Fall des TCOS-Designs der Tragflächen- und Höhenleitwerkswiderstand kleiner als im Fall des DOS-Designs waren und dass in beiden Fällen der Gondelwiderstand negative Werte aufzeigte. Letzteres kann auf eine ausgeprägte Saugspitze an der Einlaufleiste der Triebwerksgondel zurückgeführt werden. Diese Saugspitze war in erster Näherung eine Funktion des Anstellwinkels. Es kann deshalb angenommen werden, dass DOS diesen Effekt besser für die Reduktion des Gesamtwiderstands einsetzen konnte, da  $\alpha$  explizit vom Optimierungsalgorithmus vorgegeben wurde.

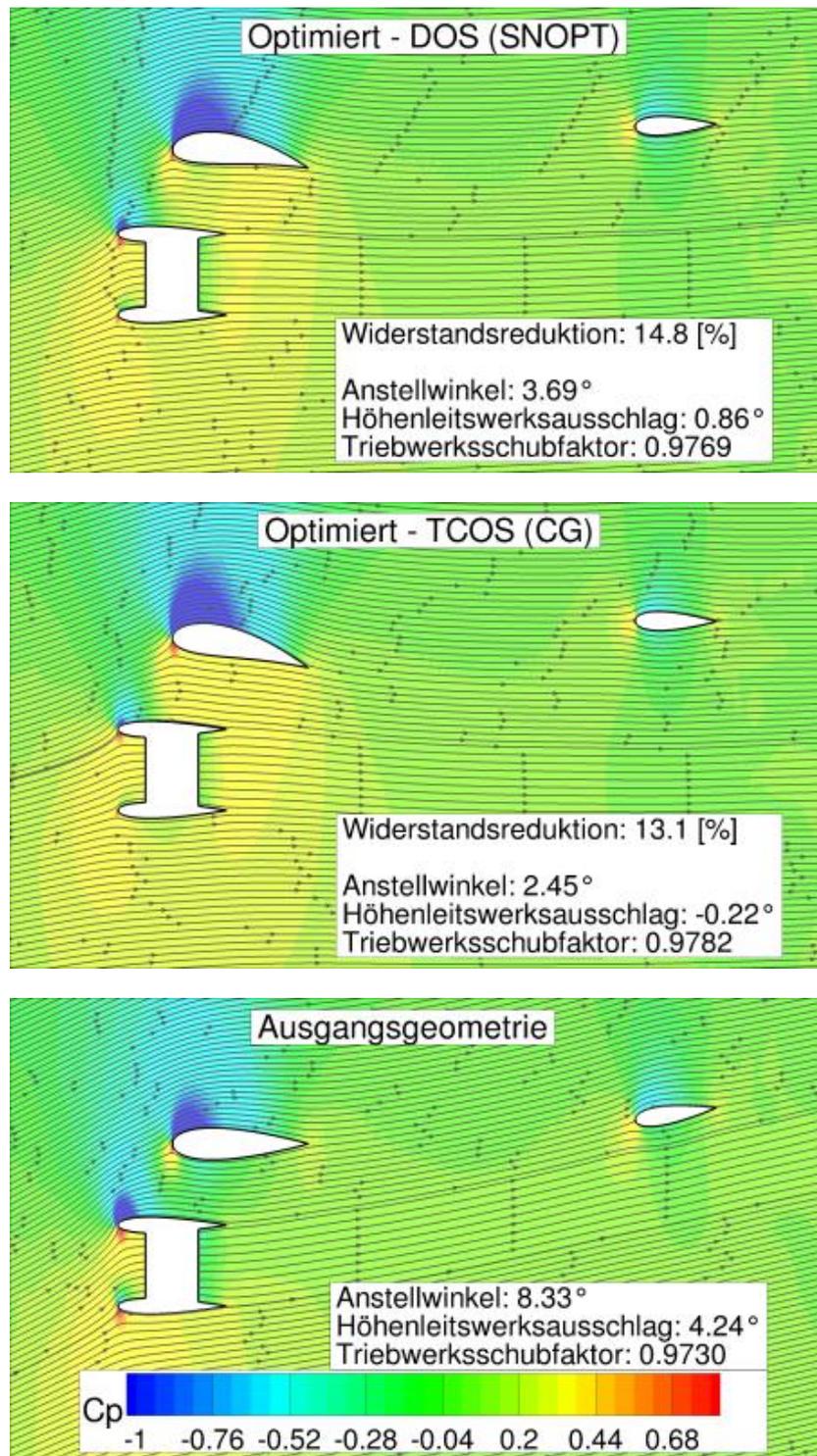


Abb. 3: Strömungslinien und  $C_p$ -Verteilung für die eingetrimmte Ausgangsgeometrie und dem optimierten DOS- und TCOS-Design.

### 3.2 Generisches Flugzeugmodell

Diese dreidimensionale Konfiguration repräsentiert ein modernes Verkehrsflugzeugmodell. Wie auch im zweidimensionalen Testfall wurden hier der aerodynamische Anstellwinkel  $\alpha$ , der Ausschlag des Höhenruders  $\gamma$  und der Triebwerksschubfaktor  $\tau$  als Trimmparameter verwendet. Es wurde eine viskose, kompressible Strömung mit einer Mach-Zahl  $Ma = 0,83$  und einer Reynolds-Zahl  $Re = 46,8 \cdot 10^6$  angenommen. Die

Optimierung wurde auf einem Berechnungsnetz mit ca. 4.200.000 Netzknoten, bestehend aus Prismen- und Hexaederelementen im Nahfeld und Tetraederelementen im Fernfeld, durchgeführt. Die Tragfläche wurde mithilfe einer Freiformbox mit 12x55x2 Kontrollpunkten in Richtung der Profiltiefe, der Spannweite und in vertikaler Richtung parametrisiert. Um die Qualität des Oberflächennetzes am Flügel-Rumpf-Übergang zu erhalten, wurden Formänderungen in diesem Bereich gedämpft. Die ersten fünf Kontrollpunktzeilen in Spannweitenrichtung wurden deshalb konstant gehalten. Damit standen dem Optimierungsalgorithmus 600 Formparameter für die Reduktion des aerodynamischen Widerstands zur Verfügung. Die Optimierung erfolgte für diesen Testfall nur mit TCOS, da innerhalb eines kurzen Zeitraums ein zulässiges und optimiertes Design gefunden werden sollte. Diese Bedingung entspricht einem realen, industrierelevanten Optimierungsszenario, für das sich im Übrigen die Verwendung von TCOS gut eignen würde.

Der Optimierungslauf konvergierte nach zehn Design-Iterationen zu dem in Abb. 4 dargestellten Ergebnis. Der in der Ausgangsgeometrie gut erkennbare Verdichtungsstoß auf der Tragflächenoberseite konnte durch eine Umverteilung der aerodynamischen Last reduziert werden. Dies wurde durch eine Verringerung des globalen Anstellwinkels und eine Zunahme der Verwindung, v.a. im mittleren Bereich der Tragfläche, erreicht. Der Verdichtungsstoß konnte allerdings nicht komplett eliminiert werden. Aufgrund von technischen Besonderheiten der Freiformparametrisierung wies eine nicht vernachlässigbare Anzahl von Oberflächennetzpunkten keine oder nur eine äußerst geringe Sensitivität gegenüber den Freiformkontrollpunkten auf. Dies trat v.a. in Bereichen auf, in denen der Abstand zwischen Oberflächennetz und Kontrollpunkten relativ groß war. Es wird angenommen, dass das Design weiter verbessert werden kann, wenn die Kontrollpunkte, ähnlich wie im zweidimensionalen Testfall, näher an der Tragfläche positioniert werden.

Wie oben bereits erwähnt, wurde eine Bilanz der Triebwerksmassenströme über die Triebwerksränder nicht explizit berücksichtigt. Der Massenstrom am Triebwerksauslass war 3,4% höher als am Einlass und der Triebwerksschub wurde im Lauf der Optimierung um 1,4% gesenkt. Widerstands- und Schubreduktion stimmten damit gut überein. Die geringen Unterschiede werden den während der Trimmung verwendeten Toleranzen für das Kräfte- und Momentengleichgewicht zugeschrieben.

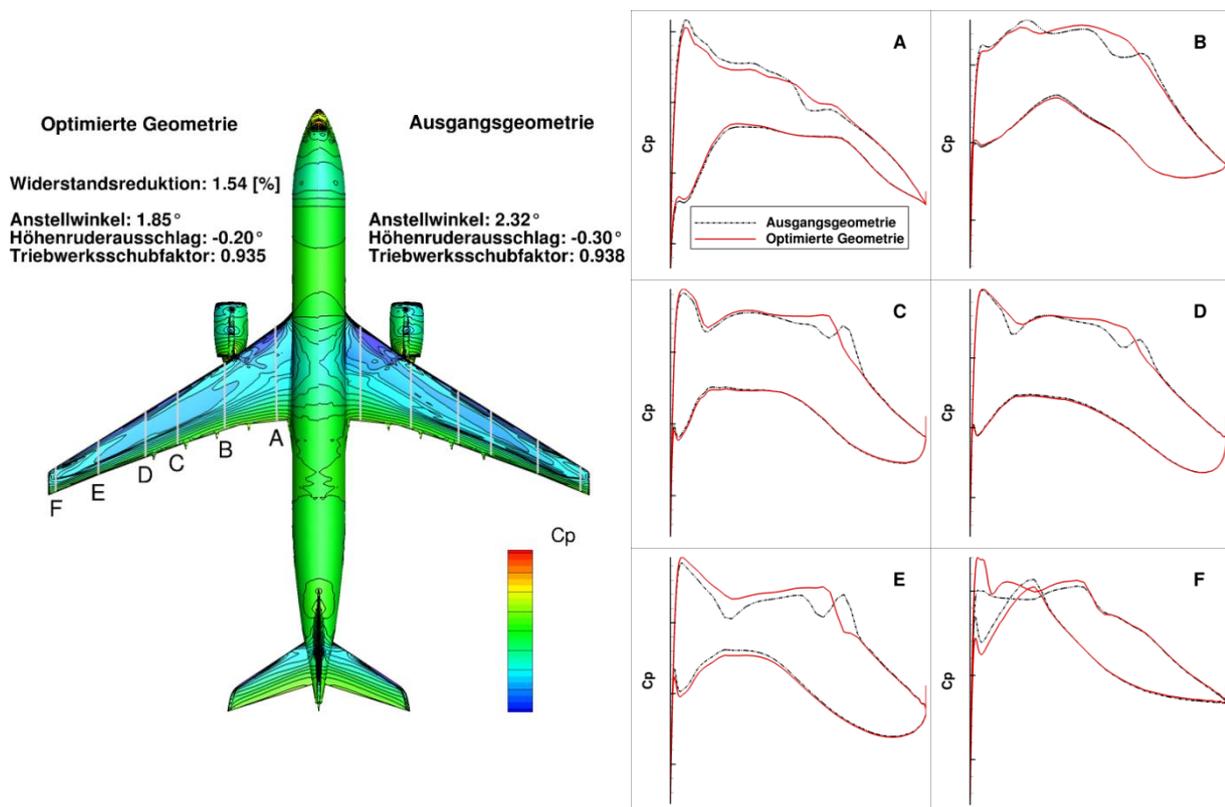


Abb. 4 :  $C_p$ -Verteilung für die eingetrimmte Ausgangsgeometrie und für die mit TCOS optimierte Form.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde eine adjungiertbasierte Prozesskette für die aerodynamische Formoptimierung eingetrimmter generische Flugzeugkonfigurationen unter Berücksichtigung aktiver Triebwerke vorgestellt. Zum Einsatz kamen u.a. der RANS-basierte Strömungslöser TAU und die hochparallele, multidisziplinäre Simulationsumgebung FlowSimulator. Der Flugzeugwiderstand konnte für zwei Testfälle unterschiedlicher Komplexität erfolgreich reduziert werden. Dabei wurden zwei Optimierungsstrategien, DOS und TCOS, für die Einhaltung der Trimmnebenbedingungen getestet. Beide konnten für den behandelten zweidimensionalen Testfall Widerstandsreduktionen derselben Größenordnung erzielen. TCOS hatte dabei den Vorteil, stets zulässige Designs zu erzeugen und bereits nach wenigen Optimierungsiterationen erhebliche aerodynamische Verbesserungen zu erzielen. Dem gegenüber steht ein durch den hier verwendeten Trimmprozess erhöhter Zeitaufwand je Optimierungsiteration. TCOS erzielte zudem vielversprechende Ergebnisse anhand eines dreidimensionalen, industrierelevanten Testfalls. Es wird erwartet, dass nach einer Überarbeitung der Formparametrisierung eine größere Widerstandsreduktion erzielt werden kann.

Um den Einfluss aktiver Triebwerke auf das Optimierungsergebnis besser zu verstehen und ihren Mehrwert zu quantifizieren, ist eine gesonderte Optimierungsstudie, in der an Stelle der Triebwerke eine Durchflussgondel eingesetzt wird, geplant. Außerdem möchten wir uns schrittweise realitätstreueren Optimierungsszenarien, wie der Mehrpunktoptimierung und der multidisziplinären Optimierung unter der Berücksichtigung aktiver Triebwerke zuwenden. Die numerischen Triebwerksrandbedingungen des Strömungslösers sollen dabei über ein dediziertes Triebwerksleistungsrechnungs-Modul gesteuert werden.

## 5 Literatur

- [1] Chen, S., Lyu, Z., Kenway, G. K. W., Martins, J. R. R. A., Aerodynamic shape optimization of the Common Research Model wing-body-tail configuration, *J. Aircraft*, Vol. 53, No. 1, 2016, pp. 276-293
- [2] Koo, D., Zingg, D. W., Progress in aerodynamic shape optimization based on the Reynolds-averaged Navier-Stokes equations, 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, San Diego, January 2016
- [3] Dumont, A., Méheut, M., Gradient-based optimization of CRM wing-alone and wing-body-tail configuration by RANS adjoint technique, 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, San Diego, January 2016
- [4] Brezillon, J., Ronzheimer, A., Haar, D., Abu-Zurayk, M., Lummer, M., Krüger, W., Natterer, F. J., Development and application of multidisciplinary optimization capabilities based on high fidelity methods, 8th AIAA Multidisciplinary Optimization Specialist Conference, Honolulu, April 2012
- [5] Perez, E. R., Jansen, P. W., Martins, J. R. R. A., pyOpt: A Python-based object-oriented framework for nonlinear constrained optimization, *J. Structures and Multidisciplinary Optimization*, Vol. 45, No. 1, 2012, pp. 101-118
- [6] Langer, S., Schwöppe, A., Kroll, N., The DLR flow solver TAU – status and recent algorithmic developments, 52nd AIAA Aerospace Sciences Meeting, National Harbor, 2014
- [7] Meinel, M., Einarsson, G. O., The FlowSimulator framework for massively parallel CFD applications, PARA 2010, Reykjavik, June 2010
- [8] Stein, K., Tezduyar, T.E., Benney, R., Mesh moving techniques for fluid-structure interactions with large displacements, *J. Appl. Mechanics*, Vol. 70, No. 1, 2003, pp. 58-63
- [9] Balay, S., Abhyankar, S., Adams, M. F., Brown, J., Brune, P., Buschelman, C., Dalcin, L., Eijkhout, V., Gropp, W. D., Dinesh Kaushik, D., Knepley, M. G., McInnes, L. C., Rupp, K., Smith, B. F., Zampini, S., Zhang H., PETSc Web page, <http://www.mcs.anl.gov/petsc>, September 2016
- [10] Stück, A., An adjoint view on flux consistency and strong wall boundary conditions to the Navier-Stokes equations, *J. Comput. Phys.*, 301, 2015, pp. 247-264
- [11] Stück, A., Heinrich, R., Flugsimulation des getrimmten Flugzeugs bei aktivem Triebwerk, STAB DGLR Conference, Munich, November 2014

# Validierung eines Crashbox-Modells unter Berücksichtigung der Informationen aus der Bauteil- und Materialcharakterisierung

P. Wellkamp – Volkswagen AG

Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Meywerk – Helmut-Schmidt-Universität Hamburg

Eine hohe Prognosegüte von Crashberechnungen ist eine wichtige Voraussetzung für deren stetig wachsenden Einsatz in der Karosserieauslegung. Auch wenn die Abbildungsgüte von Crashberechnungen mit Stahlstrukturen bereits ein hohes Niveau erreicht hat, ist eine kontinuierliche Verbesserung und Weiterentwicklung der Simulationen von höchster Bedeutung für die Fahrzeugentwicklung. Um die Vorteile des Einsatzes von FEM-Simulationen nutzen zu können, ist ein hohes Maß an Verlässlichkeit des Simulationsmodells und Glaubwürdigkeit der Ergebnisse aus der Simulation notwendig.

In diesem Zusammenhang werden folgende Forschungsfragen im Rahmen dieses Beitrags diskutiert:

- Kann die Abbildungsgüte durch Berücksichtigung von Informationen aus der Bauteil- und Materialcharakterisierung erhöht werden?
- In welcher Güte funktioniert der Transfer eines abgeglichenen Modells für andere Lastfälle?
- In welcher Güte funktioniert eine hierarchische Validierung des Modells?

## 1 Einleitung

Validierung wird als Prozess der Steigerung des Vertrauens in ein Modell betrachtet. Es wird sichergestellt, dass das Modell eine ausreichende Genauigkeit im Hinblick auf das Anwendungsziel besitzt [1].

Im Rahmen des Validierungsprozesses sind Ungewissheitsbetrachtungen essentiell, um Glaubwürdigkeit und Verlässlichkeit in das Simulationsmodell zu erhalten. Diese beziehen sich auf die physikalischen Eigenschaften des Untersuchungsgegenstands und der Versuchsrandbedingungen. Nach [2] entsteht Ungewissheit aufgrund mangelnden Wissens über den wahren Wert einer Größe oder der wahren Verteilung einer Variabilität. In diesem Zusammenhang differenziert man zwischen aleatorischer Ungewissheit, die als inhärent und nicht reduzierbar betrachtet wird, und epistemischer Unsicherheit, die aus dem unvollständigen Wissen resultiert und prinzipiell reduziert werden kann [3], [4].

Für den Validierungsprozess bedeutet das konkret, dass Ungewissheiten über die physikalischen Eigenschaften des Bauteils vorliegen. Die epistemische Ungewissheit ist durch technische Bauteilvermessungen wie Geometrie- und Wanddickenvermessungen sowie Messungen der Materialeigenschaften reduzierbar. Es bleibt noch eine aleatorische Ungewissheit im Rahmen der Messtoleranzen bezüglich dieser Eigenschaften bestehen.

Diese Arbeit beschäftigt sich im Folgenden u.a. damit, in welchem Maße die Abbildungsgüte des Simulationsmodells durch Berücksichtigung des detaillierten Wissens aus Vermessungen über das Bauteil verbessert werden kann.

## 2 Methodik

Diese Untersuchung zeigt einen Beitrag zur methodischen Analyse von gefügten Karosseriestrukturen aus Stahl. In diesem Rahmen werden experimentelle und numerische Untersuchungen an Stahlstrukturen vorgenommen, die der Bewertung und Verbesserung der Übereinstimmungsgüte von Simulation und Versuch dienen. Diese Abgleichuntersuchungen werden auf drei Komplexitätsebenen entlang der Validierungshierarchie durchgeführt: Bauteilebene, Komponentenebene und Gesamtsystemebene (Abbildung 1). Dementsprechend werden die Versuche und Simulationen an Crashboxen, Längsträgersystemen und Karosserien ausgeführt. Zur Beurteilung der Reproduzierbarkeit der Versuche wurden mehrere Versuche je Versuchsreihe durchgeführt. Der Fokus dieser Untersuchung liegt auf den Ergebnissen der Untersuchungen an einer Crashbox unter verschiedenen Lastfällen.

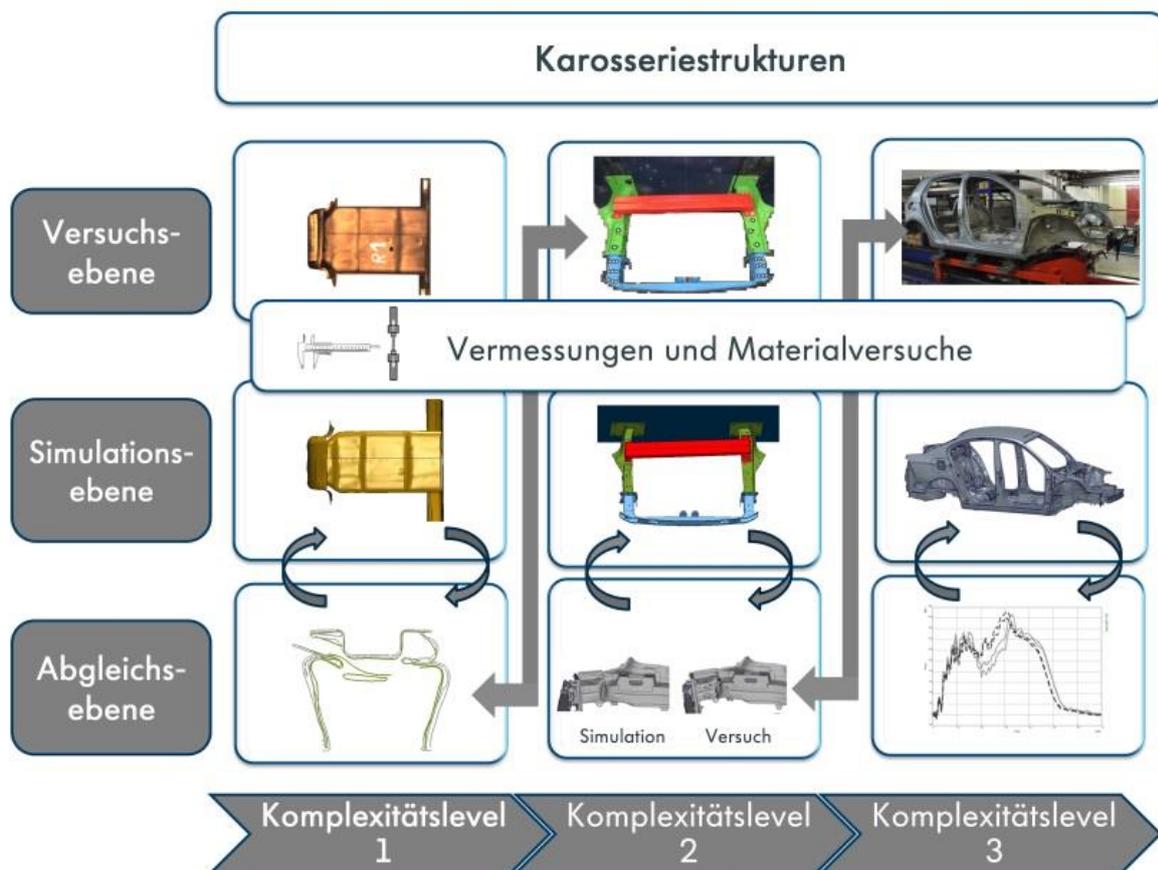


Abb. 1: Vorgehensweise zur Untersuchung der Abbildungsgüte

## 3 Experimentelle Untersuchungen an der Crashbox

Bevor die Simulationsergebnisse mit den Ergebnissen aus dem Versuch abgeglichen werden, erfolgt die Vorstellung der quasi-statischen und dynamischen Versuche.

### 3.1 Quasi-statische Versuche

Abbildung 2 zeigt den Versuchsaufbau für die quasi-statischen Druckversuche an einer servohydraulischen Universalprüfmaschine. Der Stempel hat in der ersten Versuchsreihe eine Neigung von 0 Grad und in der zweiten Versuchsvariante eine Neigung von 10 Grad. Die Schottplatte, die mit der Crashbox verschweißt ist, ist

mittels vier Schrauben mit der Grundplatte verbunden. Die Versuchsreihen werden im Folgenden *0-Grad-Versuche* und *10-Grad-Versuche* genannt.

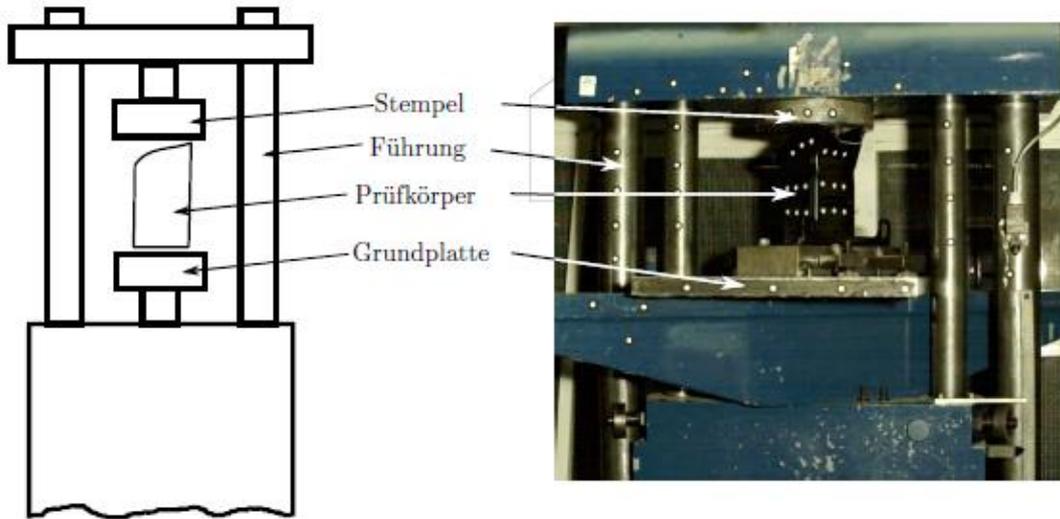


Abb. 2: Links: Schematischer Aufbau der Universalprüfmaschine; rechts: Versuchsstand der Universalprüfmaschine

Die Grundplatte fährt in der Führung von unten nach oben mit einer Geschwindigkeit von 30 mm pro Minute. Der Prüfkörper wird zwischen Grundplatte und fixiertem Stempel axial gestaucht. Es werden je Versuchsvariante, also für beide Lastenleitungswinkel, fünf gültige Versuche durchgeführt und ausgewertet. Die Kraft in Druckrichtung wird mittels einer Kraftmessdose, die über dem Stempel befestigt ist, aufgezeichnet.

### 3.2 Dynamische Versuche

Der Versuchsaufbau der dynamischen Impaktversuche ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Energie wird von dem Impaktor, der an den geführten Schlitten mit einer Gesamtmasse von 300 kg befestigt ist, über das Querträgerstück in die Crashbox eingeleitet. Es findet eine hochdynamische Verformung des Bauteils statt, bei der die eingeleitete Energie während des Impaktvorgangs von den Crashboxen aufgenommen wird. Das zu untersuchende Profil wird zentrisch über die Schottplatte auf die Grundplatte montiert und durch den Impaktor am Crasheschlitten zentrisch belastet. Die Kraftsignale werden mittels der hinter der Grundplatte positionierten Kraftmessdose aufgezeichnet. Auch hier werden zwei Versuchsreihen mit jeweils 0 und 10 Grad Lastenleitungswinkel durchgeführt.

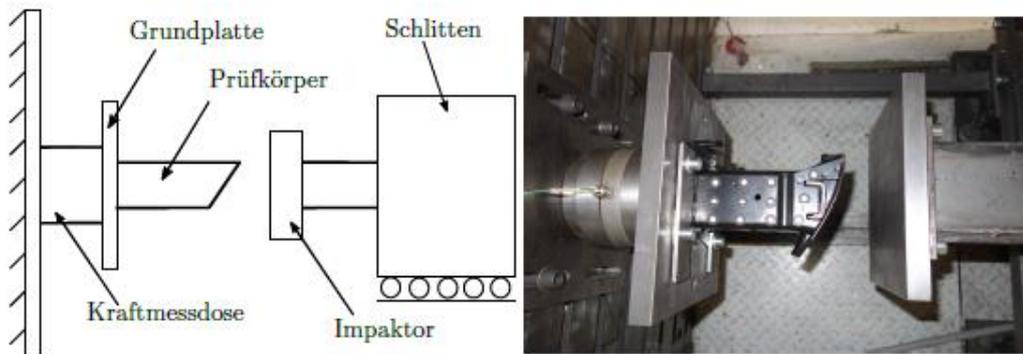


Abb. 3: Links: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus; rechts: Bild des Versuchsaufbaus

## 4 Abgleichuntersuchungen an der Crashbox

In diesem Abschnitt wird gezeigt, inwieweit die Abbildungsgüte durch Berücksichtigung von Informationen aus technischen Bauteilvermessungen erhöht werden kann. Anschließend wird der Transfer des abgeglichenen Modells auf verschiedene Lastfälle geprüft.

### 4.1 FE-Modell der Crashbox

Das FE-Modell der Crashbox aus Abbildung 4 ist mit Schalenelementen vernetzt, die eine Kantenlänge von 2 mm besitzen. Bei den Schalenelementen wird die Belytschko-Tsay-Formulierung mit fünf Integrationspunkten über die Schalendicke und mit einem Integrationspunkt auf der Schalenebene gewählt [5]. Die Kontaktdicke entspricht der physikalischen Dicke der Einzelteile. Als Materialmodell für die tragenden Außen- und Innenbleche wird das elastisch-plastische Materialmodell MAT103 in *PAM-CRASH* mit Dehnratenabhängigkeit gewählt. Um den Einfluss von Trägheitseffekten bei den quasi-statischen Berechnungen zu minimieren, wird die Dehnratenabhängigkeit der Fließkurven aus der Materialkarte entsprechend der Berechnungszeit skaliert. Der Stempel sowie die Grundplatte sind als Starrkörper modelliert.

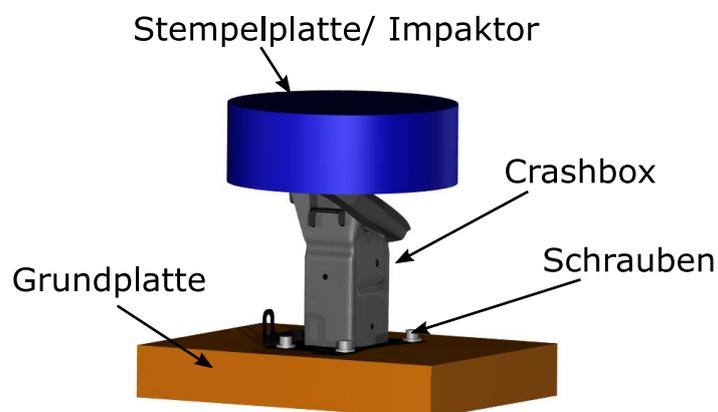


Abb. 4: FE-Modell der Crashbox

### 4.2 Berücksichtigung von Informationen aus technischen Vermessungen

Wie bereits erläutert, versteht man unter epistemischer Ungewissheit einen potentiellen Mangel an Information über den Versuchskörper und die Versuchsrandbedingungen aufgrund fehlenden Wissens aus der Bauteil- und Materialcharakterisierung. Diese Ungewissheit ist durch etablierte Mittel wie photogrammetrische Geometrie- und Wanddickenvermessung, Materialcharakterisierungen und Trajektorienmessung reduzierbar. In dieser Studie wird der Einfluss der Berücksichtigung der oben genannten Informationen aus den Messungen in dem Modell auf die Simulationsergebnisse untersucht. Dabei steht der Vergleich der Kraftverläufe in Stauchrichtung sowie der visuelle Vergleich der Deformationsmodi und der Restlänge im Vordergrund. Durch den Vergleich der Deformationsbilder können indirekt Aussagen über die Übereinstimmungsgüte von Versuch und Simulation hinsichtlich der eingeleiteten Momente und der Querkräfte gemacht werden. Es stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage, ob das eingebrachte Wissen aus Bauteil- und Materialcharakterisierung die Abbildungsgüte entscheidend erhöht und welche Faktoren den größten Einfluss haben.

Abbildung 5 stellt den Vergleich der Kraft-Weg-Kurven des Versuchs, des Ausgangsmodells mit nominalen Eingangsgrößen und dem Modell mit den Vermessungsdaten dar. Die Übereinstimmungsgüte ist mit dem Ausgangsmodell bereits auf einem hohen Niveau. Jedoch kann diese mit dem modifizierten Modell, das Wissen aus Vermessungen berücksichtigt, signifikant gesteigert werden. Diese Verbesserung der Übereinstimmungsgüte zeigt sich noch deutlicher in den Deformationsbildern aus Abbildung 6. Hier können charakteristische Falten- und Beulenausprägungen mit dem verbesserten Modell mit deutlich höherer Versuchsentsprechung abgebildet werden.

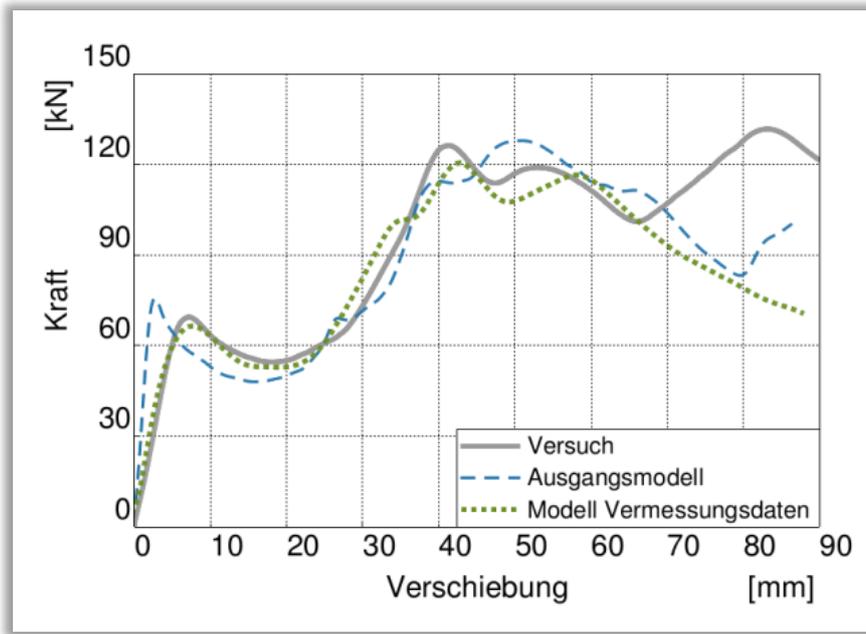


Abb. 5: Kraft-Weg-Diagramm

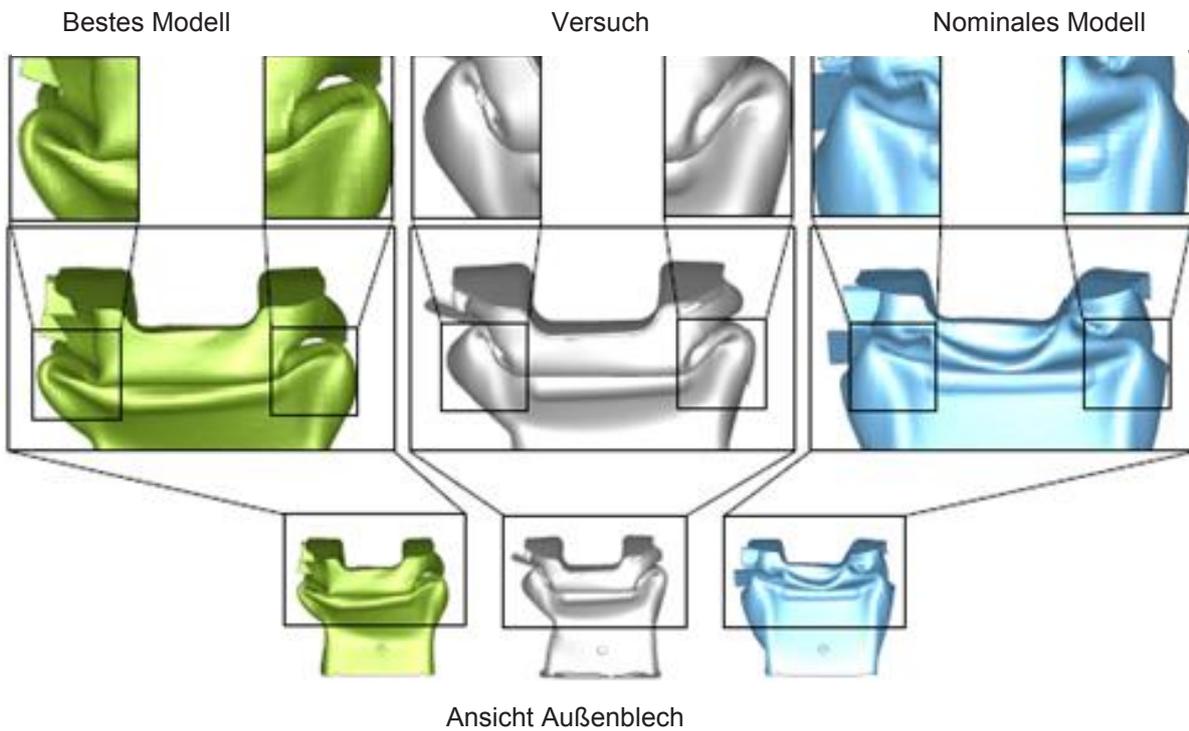


Abb. 6: Vergleich der Enddeformationen für den 0-Grad-Lastfall.  
 Links: Bestes Modell mit Informationen aus Bauteilvermessungen,  
 mitte: Photogrammetrische Vermessung des Versuchskörpers und  
 rechts: Nominales Modell

### 4.3 Transfer auf den dynamischen Lastfall

Die Übernahme des Modells aus Kapitel 4.2 auf den dynamischen Lastfall zeigt im Vergleich zum Ausgangsmodell ebenfalls eine signifikante Verbesserung des Kraftverlaufs (Abbildung 7 links) hinsichtlich der Kurvencharakteristik. Die Übereinstimmung kann nach CORA-Rating [6] um 16% gesteigert werden, was vor allem auf die bessere Entsprechung der Kurvencharakteristik ab dem zweiten Kraftabfall beruht. Die Verbesserung der Abbildungsgüte spiegelt sich auch in dem Vergleich der Schnittdarstellungen bezogen auf die Enddeformation wider, wie der Abbildung 8 links zu entnehmen ist. Restlänge sowie Falten- und Beulenbildung stimmen deutlich besser mit dem Versuch überein.

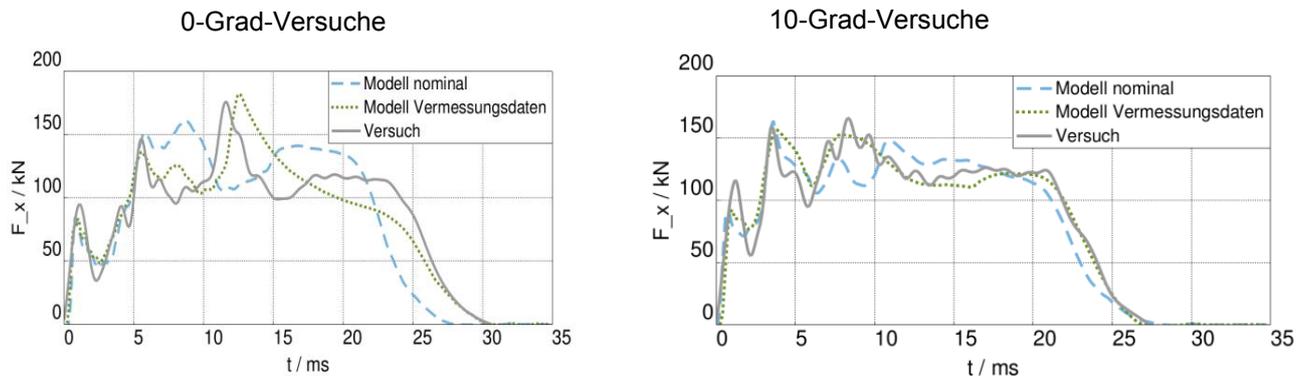


Abb. 7: Kraftverläufe des 0-Grad-Lastfalls (links) und des 10-Grad-Lastfalls (rechts)

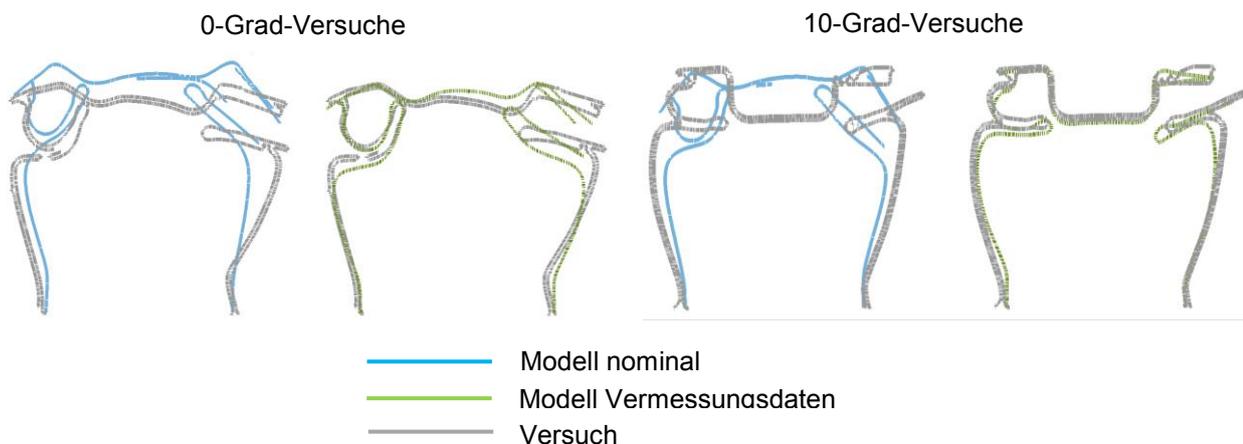


Abb. 8: Schnittdarstellungen der Enddeformationen. Links: 0-Grad-Versuch und rechts: 10-Grad-Versuch

Anschließend wird der Transfer auf den dynamischen Lastfall zusätzlich mit einer Lasteinleitung von 10 Grad geprüft. Auch hier zeigen sich wieder signifikante Verbesserungen in der Korrespondenz zwischen Simulation und Versuch im Vergleich zum Ausgangsmodell. Sowohl der Kraftverlauf (Abbildung 7 rechts) als auch das Deformationsbild (Abbildung 8 rechts) wird deutlich besser dargestellt. Somit lässt sich festhalten, dass die Übernahme des Modells vom quasi-statischen Lastfall auf die untersuchten schnellen Lastfälle unter verschiedenen Lasteinleitungen in hoher Güte funktioniert.

## 5 Bewertung des validierten Modells in einem Komponenten-Szenario

Nachdem eine hohe Übereinstimmungsgüte auf Bauteilebene gesichert ist, wird in diesem Abschnitt das Crashboxmodell als Submodells eines Modells höherer Komplexität untersucht. Es wird gezeigt in welcher Güte die Validierung eines bereits validierten Submodells entlang der Validierungshierarchie entsprechend Abbildung 1 funktioniert. Zu diesem Zweck werden numerische und experimentelle Untersuchungen an Längsträgersystemen vorgenommen. Der Komplexitätsgrad hinsichtlich der Geometrien, der Anzahl der Bauteile und der Fügetechnik steigt mit gleichzeitig zunehmender Praxisrelevanz.

### 5.1 Untersuchungsgegenstand und Versuchsaufbau

Das untersuchte Längsträgersystem besteht aus insgesamt 19 Einzelteilen. Die wesentlichen Bauteile für die Energieabsorption und das Deformationsverhalten sind die Crashboxen und die Längsträger aus DP780. Der Versuchsaufbau aus Abbildung 9 besteht im Wesentlichen aus dem Rollwagen, dem Versuchskörper, der Versteifung zwischen den Motorlagern und der Kraftmesswand. Das Längsträgersystem, das an dem geführten Rollwagen befestigt ist, trifft frontal mit 100 % Überdeckung und einer Geschwindigkeit von  $7,78 \pm 0,03$  m/s gegen die Kraftmesswand auf. Der Versuch wird drei Mal durchgeführt, um belastbare Versuchsergebnisse zu erzeugen und Rückschlüsse auf die Reproduzierbarkeit ziehen zu können. Das Modell des Längsträgersystems ist mit 2-mm-Schalenelementen vernetzt und beinhaltet das validierte Submodell der Crashbox, das die Geometrieinformation aus der Bauteilvermessung enthält.

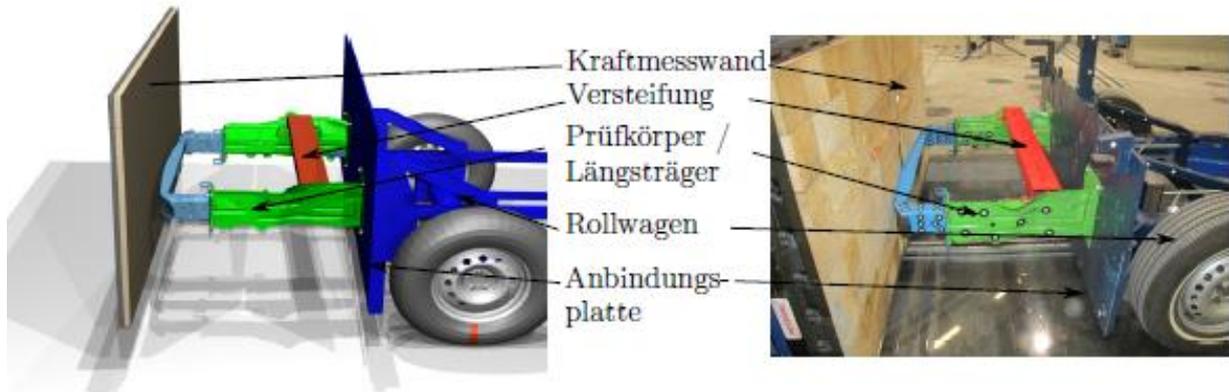


Abb. 9: Das Längsträgersystem. Links: Simulationsmodell; rechts: Versuchsaufbau

### 5.2 Übereinstimmung der Simulation mit den Versuchen

In Abbildung 10 werden die Kraftverläufe im linken und im rechten Längsträger dargestellt. Es zeigt sich eine hohe Übereinstimmung der Kraftverläufe aus der Simulation und den Versuchen, wobei die Versuchskurven untereinander eine hohe Reproduzierbarkeit aufweisen. Während im Kraftverlauf links eine leichte Abweichung zum Zeitpunkt der zweiten Kraftspitze bei ca. 16 ms und der dritten Kraftspitze bei ca. 31 ms zu beobachten ist, stimmt der Kraftverlauf rechts mit dem Versuch LT02 in hoher Güte überein (97 % nach CORA-Rating).

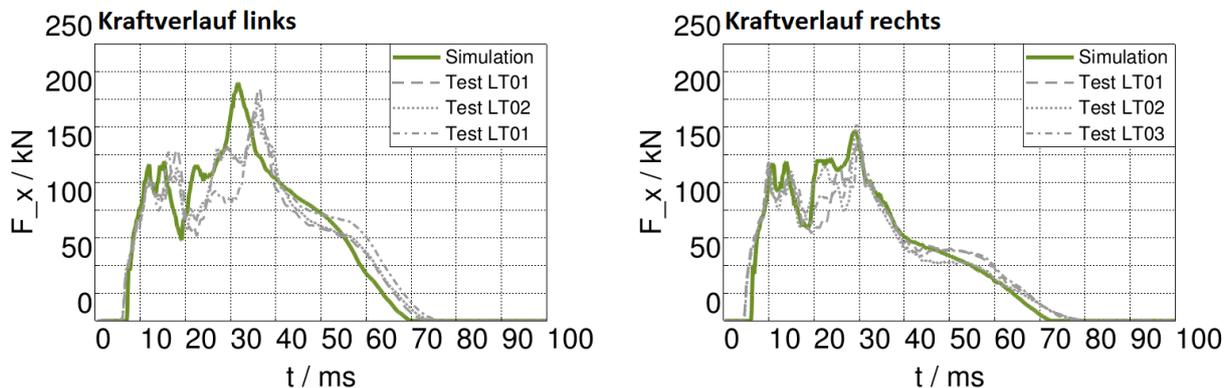


Abb. 10: Vergleich der Kraftverläufe aus Simulation und Versuch

Auch die Betrachtung der Deformationsbilder aus Abbildung 11 zeigt, dass der im Versuch beobachtete Modus in hoher Güte mit der Simulation abgebildet werden kann. Das Faltenbild der Crashboxen sowie der Längsträgerknick können in der Simulation in hoher Übereinstimmung mit dem Versuch dargestellt werden. Die Deformationsbilder zeigen das Längsträgersystem nach der Demontage vom Rollwagen. Das bedeutet, dass die durch die Verformung hervorgerufenen Eigenspannungen nach der Demontage abgebaut werden und die Längsträger einen Rückfederungseffekt aufweisen. Dieser wird in der Simulation ebenfalls durch eine zweistufige Rechnung (1. Crashvorgang, 2. Rückfederung/ Ausschlagen der Längsträger) berücksichtigt, um die photogrammetrische Vermessung des Versuchsträgers mit der Simulation sinnvoll vergleichen zu können.

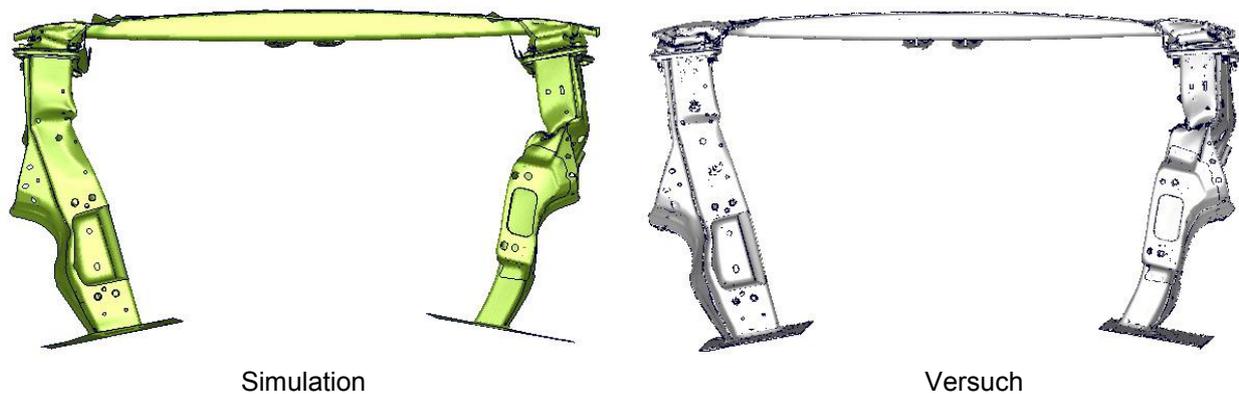


Abb. 11: Links: Enddeformation aus der Simulation; rechts: Enddeformation des Versuchs LT02

## 6 Fazit und Ausblick

Mit der vorgestellten Methodik lässt sich die Abbildungsgüte von Karosseriestrukturen auf verschiedenen Komplexitätsebenen systematisch bewerten. Nach den numerischen und experimentellen Untersuchungen an der Crashbox kann festgehalten werden, dass sich die Versuchsergebnisse in der Simulation in hoher Güte abbilden lassen. Die Übereinstimmungsgüte der Kraftverläufe wie auch der Deformationsmodi wird für die untersuchte Struktur mittels der vorgenommenen Bauteilcharakterisierungen signifikant erhöht. Dabei werden die vier Aspekte Stempeltrajektorie, versuchsspezifische Materialeigenschaften, Geometrieigenschaften und Blechdicken analysiert. Es zeigt sich, dass der Transfer vom langsamen zum schnellen Lastfall unter verschiedenen Lasteinleitungen in hoher Güte funktioniert. Eine ausreichende Diskretisierung ist (hier ohne Beleg) dafür Voraussetzung. Durch die Bewertung des modifizierten Modells in dem Komponenten-Szenario kann für den untersuchten Lastfall nachgewiesen werden, dass die Validierung eines Modell mit einem bereits validierten Submodell in hoher Entsprechung mit dem Versuch hinsichtlich der Kraftverläufe und Deformationsmodi funktioniert.

Nachfolgende Studien beschäftigen sich mit dem Simulationsabgleich an den Längsträgersystemen mit verschiedenen Versuchsvarianten und der Fragestellung welche Modellparameter wesentlich für Übereinstimmungsgüte sind.

## 7 Literatur

- [1] Oberkampf, W. L. und Barone, M. F.: Measures of agreement between computation and experiment: Validation metrics, 2005
- [2] Frey, H.C. und Rhodes, D. S.: „Quantitative Analysis of Variability and Uncertainty in Environmental Data and Models, Theory Methodology Based Upon Bootstrap Simulation, DOE/ER/30250, Ausgabe 1, 1999
- [3] Wojtkiewics, S.F. et al.: „Uncertainty Quantification In Large Computational Engineering Models“, AIAA2001-1455, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2001
- [4] Trucano, T.G.: “Uncertainty quantification at Sandia, SAND2000-0524c, Sandia National Laboratories, 2000
- [5] Belytschko, T. und Tsay, C.S.: International Journal for Numerical Methodes in Engineering, 19:pp. 405–419, 1983
- [6] Gehre, C. und Stahlschmidt, S.: “Assessment of Dummy Models by using Objective Rating Methods”, ESV (Paper 11-0216), 2011

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

Adresse für Fensterkuvert



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

## Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (3/2017)

Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

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

Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.

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

Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:

\_\_\_\_\_

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

Ich interessiere mich für [www.CAEjobsite.com](http://www.CAEjobsite.com). Bitte kontaktieren Sie uns.

Absender

Bitte senden Sie das NAFEMS Magazin auch an:

Firma: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Abt.: \_\_\_\_\_

Abt.: \_\_\_\_\_

Titel, Vor-/Nachname: \_\_\_\_\_

Titel, Vor-/Nachname: \_\_\_\_\_

Straße: \_\_\_\_\_

Straße: \_\_\_\_\_

PLZ-Ort: \_\_\_\_\_

PLZ-Ort: \_\_\_\_\_

Tel.: \_\_\_\_\_

Tel.: \_\_\_\_\_

Fax: \_\_\_\_\_

Fax: \_\_\_\_\_

e-mail: \_\_\_\_\_

e-mail: \_\_\_\_\_

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

Adresse für Fensterkuvert

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

## Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (3/2017)

Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

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

Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.

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

Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:

---

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

Ich interessiere mich für [www.CAEjobsite.com](http://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: \_\_\_\_\_

