www.cadfem.de

Ausgabe 02 | 2012

CADFEM® JOURNAL

infoplaner

Qualifikation für Simulation

- **Ausbildung:**
  ANSYS in der Hochschullehre
- **Innovation:**
  CAE-Forschungsanwendungen
- **Spezialisierung:**
  CAE-Weiterbildungsangebote

Aktuelle Informationen zur Simulation in der Produktentwicklung

Auspacken, Einschalten, Rechnen

Warum Sie mit dem CADFEM Workstation Konfigurations- und Installations-Service schneller rechnen?

Weil Sie Ihre HP Workstation schon einsatzbereit geliefert bekommen!

Als Ihr HP Gold Specialist unterstützt Sie das CADFEM Hardware Team nicht nur bei der Auswahl der geeigneten Hardware für Ihre Simulationsanwendungen, sondern richtet sie auf Wunsch auch gleich so ein, dass Sie sie vor dem Rechnen nur noch auspacken und einschalten müssen. Und auch wenn es um den Support zur Hardware geht, bleibt CADFEM Ihr Ansprechpartner.

Simulationssoftware, Hardware & IT-Management mit allen begleitenden Dienstleistungen aus einer Hand

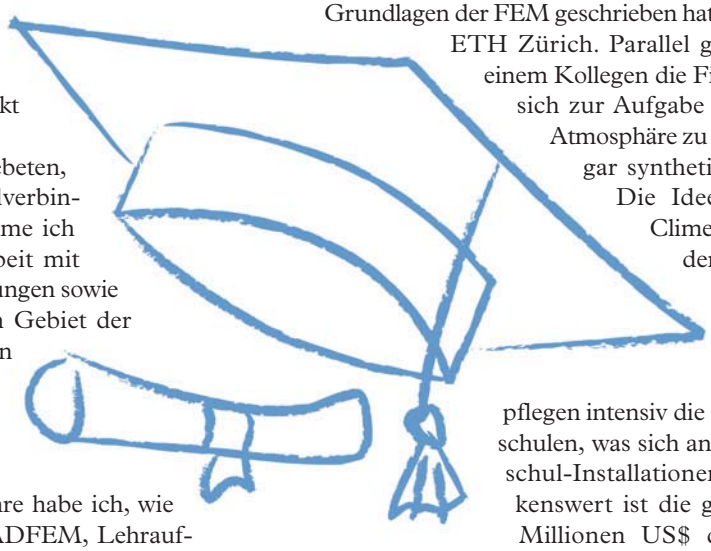
CADFEM Hardware Team

Manfred Bayerl
Tel. +49 (0)8092-7005-39
hardware@cadfem.de
www.cadfem.de/hardware

2012 GOLD Specialist CADFEM®

Hochschul-verbindungen

Es gibt mich – Günter Müller – noch. Die Nachfolge ist abgeschlossen und ich bin befreit von allen Tagesarbeiten. Mein Wochenplan sieht heute so aus: Montags arbeite ich für die CADFEM GmbH, dienstags übernehme ich zusammen mit Oma Margareta die Betreuung der Enkel, die – just in time – geboren wurden, mittwochs widme ich mich zukünftigen Projekten (Simulation in der virtuellen Stadt), donnerstags treibe ich unsere internationale Expansion voran und freitags baue ich unser Weiterbildungsangebot esocaet (European School of Computer Aided Engineering Technology) aus. Das Wochenende dient mittlerweile (fast) ausschließlich der Erholung. Außerdem wird der Kontakt zu alten Freunden wieder verstärkt.



Heute ist Montag. Man hat mich gebeten, ein Editorial zum Thema Hochschulverbindungen zu schreiben. Der Bitte komme ich gerne nach, denn die Zusammenarbeit mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen sowie die Aus- und Weiterbildung auf dem Gebiet der Simulation war für CADFEM schon immer ein wichtiges Anliegen.

Die Bücher der Reihe „FEM für Praktiker“ haben viele Studenten und Ingenieure beim Einstieg in das Thema FEM und ANSYS begleitet. Viele Jahre habe ich, wie auch einige andere Kollegen von CADFEM, Lehraufträge für FEM wahrgenommen und einige unserer Mitarbeiter sind einem Ruf an die Hochschule gefolgt. Neben den Hochschulen pflegt CADFEM eine enge Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen wie dem Max-Planck-Institut, der DLR oder mehreren Fraunhofer-Instituten.

Im Rahmen des CADFEM Users’ Meetings vergeben wir gemeinsam mit ANSYS Germany jedes Jahr Studentenpreise in Höhe von insgesamt 2.200 € für die besten Diplomarbeiten auf dem Gebiet Simulation oder für herausragende studentische Arbeiten über aktuelle gesellschaftliche Themen.

Aber auch umgekehrt gibt es viele Aktivitäten: Professoren lehren bei unseren Seminaren, entwickeln spezielle Elemente und viele Hochschulangehörige tragen zum Erfolg unserer Users’ Meetings bei.

Den Trend zu berufsbegleitender Ausbildung haben wir früh erkannt und haben bereits 2005 den Masterkurs Applied Computational Mechanics etabliert. Daraus hat sich bei CADFEM ein eigener Geschäftsbereich (esocaet) für berufsbegleitende CAE-Ausbildung mit einem umfangreichen Angebot entwickelt. Diese Schulungen werden wir in Zukunft auch im Ausland, zunächst in Indien, anbieten. Dort gibt es, auch für unsere Kunden, Bedarf an praxisnaher CAE-Ausbildung. Bildungsexport war 2011 ein Schwerpunktthema des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklungshilfe (BMZ). Es freut uns, dass wir ein Förderprojekt des BMZ gewonnen haben, um unseren Masterkurs in Indien und Malaysia aufzubauen.

Ein großes Anliegen ist es uns, Schüler Einblick in berufliche Chancen der MINT-Fächer und insbesondere die der Simulation zu geben. Beispiele dafür sind FEM-Projekte am Gymnasium in Grafing und in Herzogenaurach. Was daraus werden kann, zeigt Christoph Gebald, der eine Facharbeit über mathematische Grundlagen der FEM geschrieben hat. Heute promoviert er an der ETH Zürich. Parallel gründete er zusammen mit einem Kollegen die Firma Climeworks AG, die es sich zur Aufgabe gemacht hat, CO_2 aus der Atmosphäre zu nehmen, um damit am Ende gar synthetisches Benzin zu erzeugen. Die Idee ist so bestechend, dass Climeworks zu den elf Finalisten der „Virgin Earth Challenge“ gehört.

Auch unser Softwarepartner ANSYS, Inc. und ANSYS Germany pflegen intensiv die Zusammenarbeit mit Hochschulen, was sich an heute rund 330.000 Hochschul-Installationen widerspiegelt. Bemerkenswert ist die großzügige Spende von 41 Millionen US$ des Firmengründers John Swanson an die University of Pennsylvania. Ihm zu Ehren heißt der dortige Ingenieurbereich seitdem „Swanson School of Engineering“.

Erfreulicherweise erkennen auch Politiker die Bedeutung der Simulation. Forschungsministerin Annette Schavan erklärte Anfang des Jahres, dass sich Computersimulationen neben Theorie und Experiment zur „Dritten Säule der Wissenschaft“ entwickelt haben. Das spornt uns zusätzlich an, die praxisorientierte CAE-Weiterbildung für die virtuelle Produktentwicklung fortzuführen und ständig an die Belange der Industrie anzupassen. Lesen Sie in diesem Heft mehr über unsere Initiative „aCADFEM“ mit der wir uns an Dozenten und Doktorranden richten, über Beiträge unserer Kunden aus Forschung und Lehre und über das Angebot an beruflicher Weiterbildung von esocaet.

Günter Müller
Geschäftsführender Gesellschafter der
CADFEM International GmbH

www.cadfem.de/acad
www.esocaet.com
www.cadfem-international.com

Bild: Lasse Kristensen/shutterstock.com

THE ART OF ENGINEERING

ANSYS Conference & 30.

Die Fachkonferenz zur numerischen Simulation

Kassel steht im Jahr 2012 ganz im Zeichen der dOCUMENTA, der weltweit wichtigsten Ausstellung für zeitgenössische Kunst. Aktuelle Ingenieurskunst prägt die Stadt dann vom 24. – 26. Oktober 2012, wenn CADFEM und ANSYS Germany im Kongress Palais Kassel Anwender und Interessierte zur größten jährlichen Fachkonferenz Europas zum Thema numerische Simulation in der Produktentwicklung einladen.

Die ANSYS Conference & das 30. CADFEM Users´ Meeting sind ein Spiegelbild dessen, was Ingenieure heute mit hochmodernen Simulationswerkzeugen in den Bereichen Strömungsmechanik, Strukturmechanik, Elektromagnetik sowie Systeme & Multiphysik leisten. Anwender aus Industrie, Forschung und Lehre zeigen in über 200 Beiträgen in bis zu 13 parallelen Vortragssträngen den erfolgreichen Einsatz von Simulationstechnologie in verschiedenen Branchen und physikalischen Bereichen.

Zu den Schwerpunktbranchen, denen am ersten Veranstaltungstag eigene Sessions gewidmet sind, gehören in diesem Jahr Solar & Windkraft, Elektronik im Automobil, Werkzeugmaschinen, Städte & Gebäude, Biomechanik & Medizin sowie Lehre, Forschung und Ausbildung.

Darüber hinaus erwarten die Teilnehmer in Technologie-Updates erste Impressionen kommender Programmversionen – beispielsweise ANSYS 14.5 – und Informationen zu aktuellen Strömungen der Simulation. In zahlreichen Kompaktseminaren können die Besucher selbst neue Simulationstechniken erlernen und in der großen Fachausstellung Exponate und Installationen komplementärer Produkte für die professionelle Anwendung der Simulation entdecken.

So vielfältig das Programm rund um die simulationsgesteuerte Produktentwicklung ist, so kurz und prägnant sind die Werkzeuge benannt, mit denen es gestaltet wird: Die ANSYS Programmfamilie mit dem Herzstück ANSYS Workbench und einige ausgewählte komplementäre Lösungen wie LS-DYNA (Crash und Umformung), DIGIMAT (Materialmodellierung), optiSLang (Robustheitsbewertung), Diffpack (Spezialanwendungen) oder AnyBody (menschlicher Bewegungsapparat).

Sie sehen: Es ist keine Kunst, sich im Oktober in Kassel umfassend zum Thema Simulation in der Produktentwicklung zu informieren und weiterzubilden. Tagesaktuell finden Sie das Programm und viele weitere Zusatzinformationen auf unserer Konferenz-Homepage **www.usersmeeting.com.**

Bild: tommi/istockphoto.com

Wir freuen uns Sie in Kassel zu treffen!

ANSYS CADFEM

CADFEM Users' Meeting

24. – 26. Oktober 2012 | Kongress Palais Kassel

Enabling manufacturing/CAE innovation with accessible technical computing solutions

Premium-Sponsoren

HP and Intel® bring together the depth of high-performance computing expertise, and breadth of software, systems and services to enable the highest levels of agility, efficiency, and certainty:

Performance – Speed advancements with a converged infrastructure purpose-built for scale. Adapt easily with a unified, modular cluster portfolio that utilizes leading-edge Intel® Xeon® processors.

Agility – Quickly deploy an optimally configured system for your application, using our in-depth HPC and industry expertise.

Efficiency – Optimize to meet any workload with lightweight, powerful management that spans local to cloud models.

By working closely with ANSYS, HP and Intel® are able to deliver optimized simulation solutions using the newest Intel® Xeon® processors. HP and Intel® are recognized leaders in providing technical computing solutions to meet the demands for Computer Aided Engineering.

More information on HP and Intel® at:

www.hp.com/go/hpc

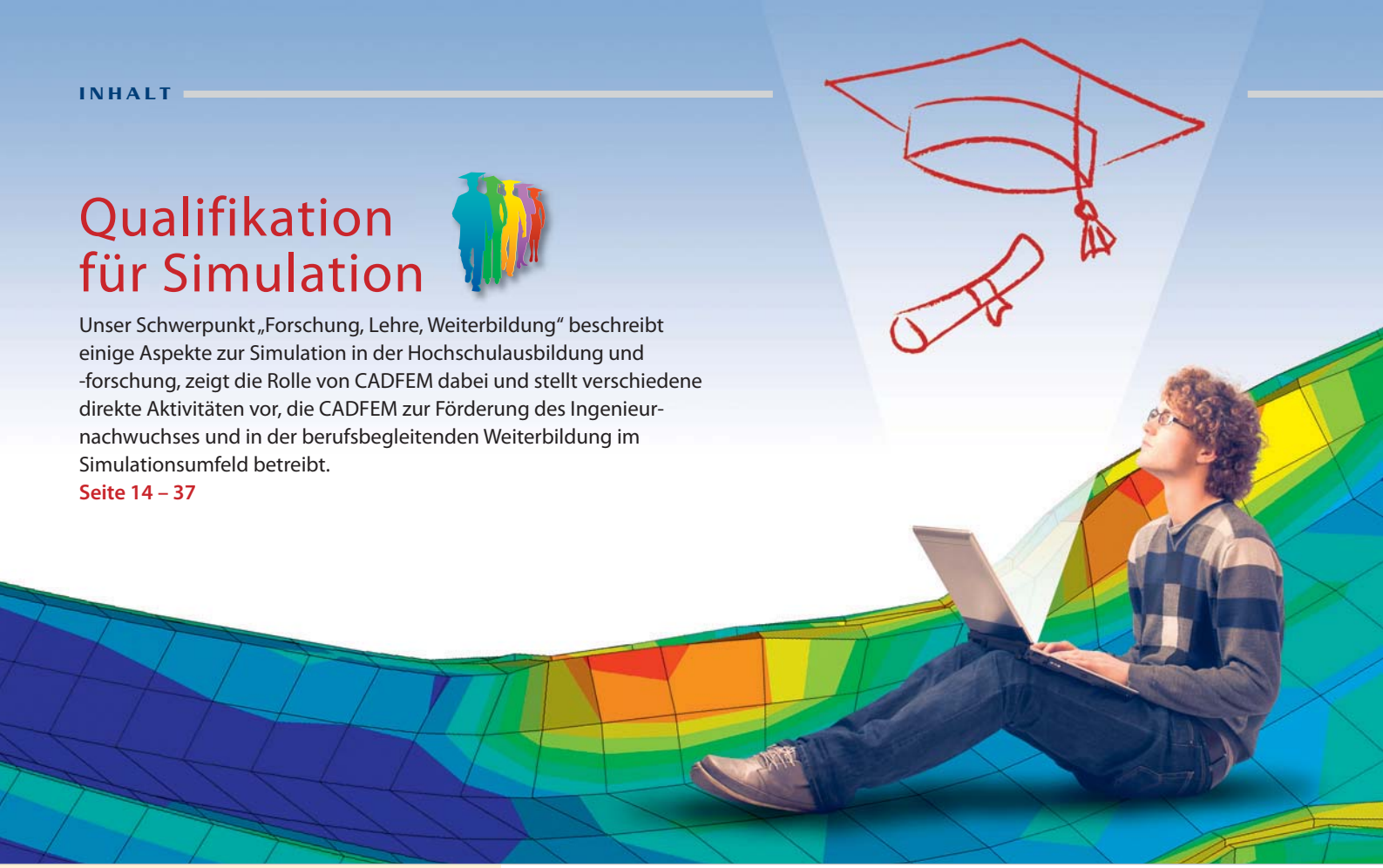
www.intel.com/hpc

www.usersmeeting.com

Qualifikation für Simulation

Unser Schwerpunkt „Forschung, Lehre, Weiterbildung“ beschreibt einige Aspekte zur Simulation in der Hochschulausbildung und -forschung, zeigt die Rolle von CADFEM dabei und stellt verschiedene direkte Aktivitäten vor, die CADFEM zur Förderung des Ingenieurnachwuchses und in der berufsbegleitenden Weiterbildung im Simulationsumfeld betreibt.

Seite 14 – 37



Werkzeuge für Workbench

In der CADFEM ihf Toolbox sind verschiedene Werkzeuge für ANSYS „made by CADFEM“ zusammengefasst, beispielsweise WB/FKM zur Festigkeitsbewertung nach der FKM-Richtlinie oder eine umfassende Materialdatenbank. Einen Gesamtüberblick über die Toolbox finden Sie auf

Seite 44 – 45

CADFEM

02 ANSYS Conference & 30. CADFEM Users’ Meeting 2012 in Kassel

06 CADFEM im Portrait: **Ihr Partner für Simulation**

08 CADFEM News: **Nachrichten von CADFEM und aus der Welt der Simulation**

12 CADFEM International: **Das Dach für vielfältige Aktivitäten**

THEMENSCHWERPUNKT: FORSCHUNG, LEHRE, WEITERBILDUNG

14 Einleitung
Qualifikation für Simulation

16 aCADFEM Initiative
Wissen schaffen mit Simulation

18 FEM-Ausbildung im Maschinenbau an der Hochschule Hannover
ANSYS in Hörsaal und Labor

21 FH Dortmund: Mit automatisierter Optimierung zu mehr Effizienz
Den Turbo einschalten

24 FAU Erlangen-Nürnberg: Toleranzmanagement und Robust Design
So eng wie nötig, so breit wie möglich

26 Universität der Bundeswehr München: Elektrische Antriebe im Teillastbetrieb
Verlustminimierung

28 TU München, Klinikum rechts der Isar: Optimierung von Prothesenschäften
Virtuelle Anprobe von Prothesenschäften

30 Leibniz Universität Hannover: Konduktive Erwärmung von Formplatinen
Heißes Eisen

32 **CAE-Training, CAE-Studium, Lebenslanges Lernen**
esocaet – CAE-Weiterbildung bei CADFEM

34 **CADFEM Forum**
Erfahrungen mit CAE-Berechnungen in Low-Cost-Regionen

36 **CAE-Studium**
Den strukturmechanischen Horizont erweitern – Die Projektarbeit im Masterstudium

esocaet
european school of computer aided engineering technology

Nichts dem Zufall überlassen

In mehreren Beiträgen in diesem Heft geht es um Robust Design Optimierung (RDO). Mit RDO wird die Zuverlässigkeit von Produkten erhöht, indem schon im frühen Entwicklungsstadium potenzielle Parameterstreuungen und Toleranzen bei Herstellung und Gebrauch mit berücksichtigt werden.

Den Turbo einschalten
Seite 21 – 23

So eng wie möglich, so breit wie möglich
Seite 24 – 25

Zuverlässige Verbindung
Seite 46 – 47

ANSYS bei CADFEM

40 ANSYS: **Schneller von der Idee zur Innovation**

41 Komplementäre CAE-Software zu ANSYS
Stand-alone oder in ANSYS integriert

42 **Die ANSYS Programmfamilie im Überblick**

44 CADFEM ihf Toolbox
Werkzeuge für Workbench

46 Simulation mit ANSYS bei der Entwicklung und Fertigung von Steckverbindungen
Zuverlässige Verbindung

48 Miele: Bestimmung von Materialparametern mit ANSYS DesignXplorer
Der Belastung standhalten

Grundlagen & Technologie

50 **Lineare Dynamik ist...**

Rubriken

01 **Editorial** von Günter Müller, Geschäftsführender Gesellschafter CADFEM International GmbH

11 **Empfehlungen:** Risikoabsicherung für IT-Unternehmen

38 Arbeitgeber gesucht: Hochqualifizierte Ingenieure aus Griechenland und anderen Regionen
Perspektiven

Inserentenverzeichnis

U2 HP/CADFEM
09 Nafems
10 CAE-Stellenmarkt.de
23 Dräxlmeier
U3 Hoppenstedt

Impressum

Herausgeber:
CADFEM GmbH
Marktplatz 2
85567 Grafing b. München
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-0
Fax +49 (0) 80 92-70 05-77
E-Mail info@cadfem.de
www.cadfem.de

Redaktion/Koordination:
Alexander Kunz, akunz@cadfem.de
Gerhard Friederici, gfriederici@cadfem.de

Anzeigen:
Alexander Kunz, akunz@cadfem.de

Layout:
G&K Design, Rechtmehring

Titelbild:
Olly, Lasse Kirstensen/shutterstock.com; ANSYS, Inc.

Produktion:
Bechtle Druck & Service, Esslingen
Auflage 35.000 Exemplare

Geschäftsführer:
Christoph Müller, M.Sc., Dr.-Ing. Jürgen Vogt, Erke Wang

Handelsregister-Nummer:
HRB München Nr. 75979

Ust.-Ident.-Nummer:
DE 131171831

Steuernummer:
114/123/00051

Betriebshaftpflichtversicherung:
Zurich Gruppe Deutschland
Poppelsdorfer Allee 25-33
53115 Bonn

Geltungsbereich: weltweit

Copyright:
© 2012 CADFEM GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Gedruckt in Deutschland.

Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsschutzes ist ohne Zustimmung der CADFEM GmbH unzulässig. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Warenzeichen/eingetragene Warenzeichen: ANSYS, ANSYS DesignSpace, ANSYS Professional NLS, ANSYS Structural, ANSYS Mechanical, ANSYS Mechanical/EMAG, ANSYS Explicit STR, ANSYS Multiphysics, ANSYS Icepak, ANSYS CFD, ANSYS Workbench, ANSYS CFX, ANSYS ICEM CFD, ANSYS Autodyn, ANSYS Fluent, ANSYS Maxwell, ANSYS HFSS, Ansoft Designer, Slwave, ANSYS Q3D Extractor, ANSYS Simplorer, ANSYS RMxprt, ANSYS PExprt, ANSYS nCode DesignLife, ANSYS Rigid Dynamics, ANSYS SpaceClaim, ANSYS Composite PrepPost, ANSYS HPC und alle Produkt- oder Dienstleistungsnamen von ANSYS, Inc. sind registrierte Warenzeichen oder Warenzeichen von ANSYS, Inc. und Ansoft Corp.. LS-DYNA, LS-OPT und LS-PrepPost sind registrierte Warenzeichen der Livermore Software Technology Corp.. Sämtliche in diesem Heft genannte Produktnamen sind Warenzeichen oder registrierte Warenzeichen ihrer jeweiligen Eigentümer. Aus dem Fehlen der Markierung kann nicht geschlossen werden, dass eine Bezeichnung ein freier Warenname ist.

Irrtümer und Änderungen vorbehalten.

Ihr Partner für Simulation

ZENTRUM FÜR SIMULATION IN DER PRODUKTENTWICKLUNG

Mit mehr als 25 Jahren Praxiserfahrung und dem Know-how von über 100 Simulationsingenieuren ist das mittelständische Familienunternehmen CADFEM der starke Partner von Industrie, Forschung und Lehre für die numerische Simulation in der Produktentwicklung.

In enger Partnerschaft mit der ANSYS Germany GmbH, dem ANSYS Competence Center CFD, unterstützt CADFEM als offizielles ANSYS Competence Center FEM in Zentraleuropa den führenden unabhängigen Hersteller von Simulationssoftware, ANSYS, Inc.. Dabei versteht sich CADFEM als Brücke zwischen dem Hersteller ANSYS, Inc. und dem Kunden: CADFEM Kunden erhalten ANSYS Simulationstechnologie so, dass sie sicher und ergebnisorientiert eingesetzt werden kann.

CADFEM ist Systemhaus und Ingenieurdienstleister in einem. Aus einer Hand erhalten CADFEM Kunden ANSYS und komplementäre Simulationswerkzeuge, aber auch die passende Hardware, Anwendersupport, Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter und bei Bedarf auch Simulation als Dienstleistung.

CADFEM®

Extras für Sie

Das Spektrum an Services von CADFEM rund um die numerische Simulation geht weit über den Softwarevertrieb hinaus.

Erste Informationen aus erster Hand

CADFEM Informationstage & Info-Webinare

Hier lernen Sie die Möglichkeiten der Simulation kennen – und CADFEM gleich mit! Kompakt an einem Tag erhalten Interessierte einen themenspezifischen Überblick über die technischen Möglichkeiten, die Vorgehensweise und die Einsatzgebiete von ANSYS oder einem anderen Programm. Die Teilnahme ist kostenfrei, die Informationen sind technisch ausgerichtet und auf den Bedarf der Zielgruppe zugeschnitten. Ein fester Bestandteil der Agenda ist die Diskussion individueller Fragen.

www.cadfem.de/infotage
www.cadfem.de/webinare

Den passenden Rechner gleich dazu

CADFEM Hardware inklusive Installation

Sie möchten aus Ihrer Berechnungssoftware durch die richtige Hardwareplattform das Optimum herausholen? Auch hier sollten Sie mit CADFEM sprechen. CADFEM ist Partner der bekannten Hardwarefirmen wie HP, Fujitsu oder Dell, und kann die Anwender herstellerneutral beraten. Kunden profitieren von unseren Erfahrungen bei Benchmarks. Auch die Preise der Rechner sind attraktiv, betriebsbereite Konfiguration & Installation der bestellten Programme inklusive.

www.cadfem.de/hardware

Simulationssoftware nach Bedarf

eCADFEM: Software „on Demand"

eCADFEM ist ein Service, der bedarfsgerecht und mit genauer Abrechnung – daher besonders wirtschaftlich – die Nutzung vieler CADFEM Simulationsprogramme ermöglicht. Alternativ zum Lizenzkauf bietet eCADFEM über das Internet unmittelbaren Zugriff auf ANSYS und weitere Simulationslösungen. Insbesondere wenn Programme nicht regelmäßig genutzt werden oder vorhandene Lizenzen temporär erweitert werden müssen, gewährleistet eCADFEM ein Höchstmaß an Flexibilität und Kostenkontrolle.

www.eCADFEM.com

Simulieren studieren

CADFEM Training, Weiterbildung, Studium

Das CADFEM Schulungsangebot erstreckt sich für ANSYS und alle anderen Produkte von Einführungs- bis hin zu Vertiefungsveranstaltungen für Experten. Referenten sind Mitarbeiter von CADFEM und externe Fachleute, die alle eine langjährige Erfahrung mit dem geschulten Programm und Anwendungsgebiet mit-

bringen. Seminare werden bei CADFEM oder beim Kunden durchgeführt. Unter der Marke esocaet (European School of Computer Aided Engineering Technology) bietet CADFEM einen berufsbegleitenden CAE-Masterstudiengang und andere hochkarätige Kurse zur gezielten Weiterqualifizierung im Bereich des CAE an. 2011 wurden die 436 Seminarveranstaltungen von CADFEM von über 2.100 Teilnehmern besucht.
www.cadfem.de/seminare
www.esocaet.com

Der direkte Draht

CADFEM Anwendersupport

Ob Einsteiger oder Experte – bei Simulationsprojekten können sich immer Fragen ergeben, durch die es ins Stocken kommt. Eine schnelle Antwort ist hier viel wert und deshalb ist der CADFEM Anwendersupport von Montag bis Freitag ganztags zuverlässig und reaktionsschnell erreichbar: Per Telefon, Telefax, E-Mail, Internet, WebEx oder beim Kunden vor Ort.
www.cadfem.de/support

Programmanpassung & Prozessautomatisierung

CADFEM Customization

ANSYS und andere CAE-Softwareprogramme sind offene Systeme, die zusammengeführt, automatisiert oder um kundenindividuelle Lösungen erweitert werden können. Wenn durch programmiertechnische Anpassungen oder Prozessautomatisierungen der spezifische Nutzen der Software für den Kunden zusätzlich erhöht werden kann, dann ist das CADFEM Workbench Customization Team der richtige Ansprechpartner. Einige der Lösungen „made by CADFEM“ sind in der CADFEM ihf Toolbox zusammengefasst (vgl. S. 44).
www.cadfem.de/customization

Simulation als Dienstleistung

CADFEM Berechnung im Auftrag

Über kompetent durchgeführte Simulationen im Kundenauftrag mit ANSYS und anderen Programmen hinaus sind Bewertung, Nachweisführung und Diskussion der Ergebnisse wesentliche Teile unserer Dienstleistung. Dies beinhaltet auf Wunsch auch den Know-How Transfer zum Beispiel durch individuelle Projektschulungen und Lösungen, die auf spezifische Aufgabenstellungen zugeschnitten sind. Im Jahr 2011 hat das CADFEM Team rund 300 Projekte im Kundenauftrag bearbeitet.
www.cadfem.de/consulting

Austausch unter Anwendern

ANSYS Conference & CADFEM Users' Meeting

Seit 30 Jahren lädt CADFEM zum Users' Meeting, das heute unter dem Namen „ANSYS Conference & CADFEM Users' Meeting“ die mit 800 und mehr Teilnehmern wahrscheinlich größte jährliche Veranstaltung ihrer Art weltweit ist. Die Gäste von CADFEM und ANSYS Germany erwartet dort ein umfassendes Programm aus Fachbeiträgen, Kompaktseminaren und Fachausstellung sowie viel Raum für den fachlichen Austausch unter Anwendern.
www.usersmeeting.com

InfoAnsprechpartner bei CADFEM

Deutschland | CADFEM GmbH

Software
Dr.-Ing. Volker Bäumer
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-51
vbaeumer@cadfem.de

Hardware
Manfred Bayerl
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-39
mbayerl@cadfem.de

Seminare
Thomas Nelson
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-47
tnelson@cadfem.de

Customization
Stefan Gotthold
Tel. +49 (0)30-475 96 66-24
sgotthold@cadfem.de

Berechnung im Auftrag
Dr.-Ing. Marold Moosrainer
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-45
mmoosrainer@cadfem.de

Hochschulen
Dr.-Ing. Cord Steinbeck-Behrens
Tel. +49 (0) 511-39 06 03-17
csb@cadfem.de

Schweiz | CADFEM (Suisse) AG

Software
Markus Dutly
Tel. +41 (0) 52-3 68 01-02
markus.dutly@cadfem.ch

Seminare
Fabian Bründler
Tel. +41 (0) 32-6 75 80-72
fabian.bruendler@cadfem.ch

Berechnung im Auftrag
Dr.-Ing. Davide Valtorta
Tel. +41 (0) 52-3 68 01-01
davide.valtorta@cadfem.ch

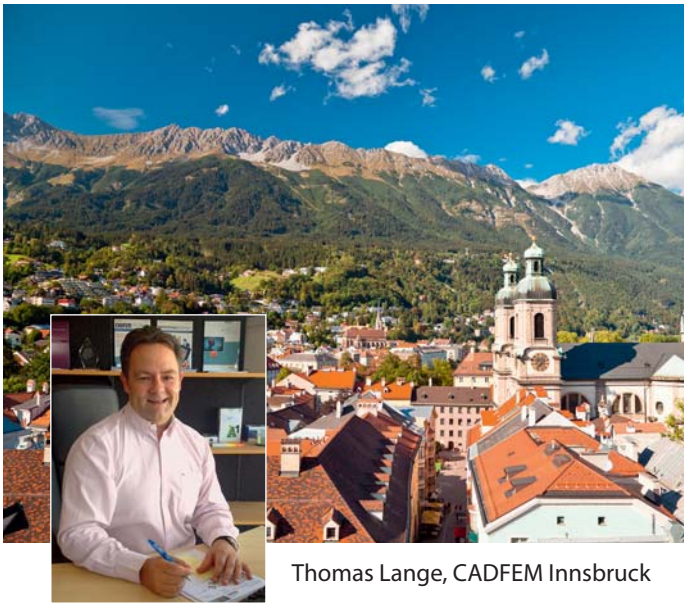
Österreich | CADFEM (Austria) GmbH

Software
Alexander Dopf
Tel. +43 (0)1-5 87 70 73-14
alexander.dopf@cadfem.at

Seminare
Dr.-Ing. Bernhard Hößl
Tel. +43 (0)1-5 87 70 73-11
bernhard.hoessl@cadfem.at

Berechnung im Auftrag
Christoph Schlegel
Tel. +43 (0)1-5 87 70 73-12
christoph.schlegel@cadfem.at

CADFEM Austria goes West!



Thomas Lange, CADFEM Innsbruck

Die zunehmende Anzahl von Kunden in Österreich seit Gründung der CADFEM (Austria) GmbH 2005 in Wien macht eine Expansion in weitere Standorte erforderlich, um auch die hohen CADFEM Qualitätsstandards hinsichtlich Kundennähe weiter auszubauen. Die CADFEM (Austria) GmbH hat deshalb am 1. Juli 2012 eine neue Geschäftsstelle in Innsbruck eröffnet. Sie befindet sich im modernen SOHO 2.0 Bürokomplex mit optimaler Verkehrsanbindung und Infrastruktur.

Der Mitarbeiter vor Ort ist Dipl.-Ing. (FH) Thomas Lange und verfügt über mehr als 15 Jahre ANSYS Erfahrung, ihn verbindet bereits eine lange Partnerschaft mit dem Unternehmen CADFEM auf Kundenseite. Wir wünschen ihm und dem neuen Standort viel Erfolg!
www.cadfem.at/innsbruck

Bilder: CADFEM; Vitalez/shutterstock.com

Frühjahrstreffen des **ANSYS User Club e.V.**

Das diesjährige Treffen des ANSYS User Clubs e. V. fand Ende April 2012 in Essen statt. Im Mittelpunkt standen die Themen „Fluid-Struktur-Interaktion“, „Vernetzung in ANSYS Workbench“ und „Python-Programmierung als ANSYS Skriptsprache“. In weiteren Vorträgen stellten ANSYS Germany und CADFEM Neuigkeiten zu ANSYS vor, u.a. die Komprimierungs- und Visualsierungslösung C.A.V.E. und die Möglichkeiten, die ANSYS für die Anwendungen aus dem Bereich der Regelungstechnik bietet.

Zum Abschluss der Veranstaltung wurden neue Anforderungen an ANSYS mit den Vertretern von CADFEM und ANSYS Germany diskutiert, für deren Umsetzung sich der AUC einsetzen will. Neben der fachlichen Veranstaltung fand auch die Vorstandssitzung und eine Mitgliederversammlung statt.

Die Protokolle und alle Vorträge stehen den Teilnehmern und Mitgliedern im geschützten Bereich der AUC-Homepage zur Verfügung. Das nächste AUC-Treffen ist für den 7. und 8. März 2013 in Bamberg geplant.

Kontakt
info@auc-ev.de
www.auc-ev.de

CADFEM Austria im Schloss Schönbrunn

Vom 26. bis 27. April 2012 fand die ANSYS Conference & das 7. CADFEM Austria Users’ Meeting im besonderen Ambiente des Tagungszentrums Schloss Schönbrunn in Wien statt. Mit über 100 Teilnehmern war es das bislang besucherreichste Meeting und zeigt sehr deutlich das wachsende Interesse an simulationsgestützter Produktentwicklung in Österreich.

Wir laden Sie herzlich zur nächstjährigen ANSYS Conference & 8. CADFEM Austria Users’ Meeting vom 25. bis 26.April 2013, wieder im Tagungszentrum Schloss Schönbrunn, ein!
www.usersmeeting.at

Datenkomprimierung: So klein kann groß sein

CADFEM C.A.V.E. (Collaboration And Visualization Engine) wurde von CADFEM auf Basis der führenden VCollab-Daten-Kompressionstechnologie für die Nutzung in ANSYS Workbench entwickelt. Mit C.A.V.E. können riesige ANSYS Ergebnisdateien bequem auf 1 % und weniger ihrer Originalgröße verkleinert werden, ohne dass die Genauigkeit darunter leidet. Dies ermöglicht nicht nur einen schnellen und komfortablen Datenaustausch, sondern unterstützt auch eine platzsparende Archivierung und die professionelle 3D-Ergebnispräsentation.
www.cadfem.de/cave

Bild: JfommL/istockphoto.com

CADFEM auf Tour: Treffen Sie uns auf Messen & Kongressen

HUSUM WindEnergy
The Leading Wind Energy Trade Fair
18 – 22 Sept. 2012
Husum, Germany

Husum WindEnergy
18. – 22. September 2012 in Husum
CADFEM Stand in Halle 3, Stand 3D20
www.husumwindenergy.com

izb
CONNECTING CAR COMPETENCE

IZB – Internationale Zuliefererbörse
10. – 12. Oktober 2012 in Wolfsburg
CADFEM & ANSYS Stand in Halle 3, Stand 105
www.izb-online.de

VDI Wissensforum:
SIMVEC 2012 – Berechnung, Simulation und Erprobung im Fahrzeugbau
20. – 21. November 2012 in Baden-Baden
Mehrere Vorträge von CADFEM &
Stand in der Fachausstellung
www.simvec.de

SPS IPC Drives
27. – 29. November 2012 in Nürnberg
CADFEM Stand in Halle 7A, Stand 653
www.mesago.de/sps

Nähere Informationen zu den Veranstaltungen & Terminvereinbarung
marketing@cadfem.de

Erweitertes Angebot zu **High Performance Computing**

Dass CADFEM Sie auch mit der notwendigen Hardware für Ihre CAE-Anwendungen versorgt, dürfte bekannt sein. Da die Nachfrage speziell für den Bereich HPC (High Performance Computing) ständig wächst, hat CADFEM die entsprechenden Personalkapazitäten ausgebaut. Nach der Ermittlung des individuellen Kundenbedarfs werden gemeinsam die dafür notwendigen Komponenten festgelegt und beschafft. Dies umfasst sowohl die Hardware, das Betriebssystem (Windows/Linux) und zusätzliche Software-Pakete (Jobscheduler) als auch die Installation, die gesamte Anpassungen sowie die Einbindung in das Netzwerk des Kunden.

Dem Trend „alles aus einer Hand“ folgend bietet CADFEM jetzt auch die zusätzliche Möglichkeit von sogenannten „Service Level Agreements“ (SLA) an und deckt damit das gesamte Leistungsspektrum beim HPC Clustering ab – vom Presales über die Umsetzung bis zum Postsales.

Nähere Informationen bei:
Klaus Fischer
Tel. +49 (0)8092-7005-833
kfischer@cadfem.de
www.cadfem.de/hardware

CADFEM ist Mitglied des KoSim in Dortmund

KOMPETENZnetz simulation dortmund

Die in Dortmund und der Region vorhandenen wissenschaftlichen und technischen Kompetenzen aus dem Bereich der Computersimulation werden im „Kompetenznetz Simulation Dortmund“ (KoSim) gebündelt und für Unternehmen bedarfsorientiert nutzbar gemacht. Das Netzwerk bietet Dienstleistungen im Produktentwicklungsprozess, beginnend von der Konzeption bis hin zur Fabriksimulation an. Die CADFEM Geschäftsstelle in Dortmund ist seit wenigen Wochen Teil dieses Netzwerkes.
www.simulation-dortmund.de

Anzeige

Call for Papers

NAFEMS

NWC 2013
NAFEMS WORLD CONGRESS
9-12 JUNE | SALZBURG | AUSTRIA
A WORLD OF ENGINEERING SIMULATION

neutral - unabhängig - übergreifend

www.nafems.org/congress

Bild: CADFEM

CADFEM und **HBM Sommerakademie:** Betriebsfestigkeit – Messen und Simulieren

Erstmalig fand im Juli 2012 in Wien die gemeinsam von CADFEM und HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik) entwickelte Sommerakademie „Betriebsfestigkeit – Messen und Simulieren“ statt. Obwohl sich beide Disziplinen gegenseitig perfekt ergänzen, werden diese Fachgebiete meist unabhängig voneinander gelehrt. Die Sommerakademie soll diese Lücke schließen und den Gesamtprozess darstellen, wie die Lebensdauer eines realen Bauteils durch Simulation und Messtechnik optimiert werden kann. Ziel dieses umfassenderen Blicks auf die ganze Prozesskette war auch, das gegenseitige Verständnis zwischen Simulationsingenieuren und Messtechnikern zu erhöhen.

Die Teilnehmer konnten dabei selbst hautnah den Aufbau der Messkette an einem PKW-Querlenker von erfahrenen Praktikern erlernen. Danach wurden die Auswertung der Messdaten und die Betriebsfestigkeitsrechnung mittels FEM (ANSYS und nCode) gezeigt. Eine Einführung in die Parameteroptimierung mit optiSLang rundete das Seminar ab.
www.esocaet.com/sommerakademie

Immer up-to-date: **CADFEM Newsletter**

Sie wollen nicht bis zum nächsten CADFEM Journal Infoplaner auf Neuigkeiten zur numerischen Simulation aus dem Hause CADFEM warten? Dann abonnieren Sie einfach den CADFEM Newsletter, der Sie alle zwei Monate mit aktuellen Informationen versorgt.
Anmeldung: www.cadfem.de/newsletter
Besuchen Sie uns auch auf Facebook & Twitter

Anzeige

Simulation erleben, kompakt und kompetent: **CADFEM Infotage**

ANSYS Strukturmechanik
Der erste Schritt zum professionellen Einsatz der FEM: Nach den wichtigsten theoretischen Grundlagen lernen Sie den Workflow einer FEM-Simulation kennen. Im Hauptteil erfahren Sie anhand von vielen Praxisbeispielen die Möglichkeiten, wie Ihnen die FEM-Simulation im Bereich der Strukturmechanik neue Impulse und Möglichkeiten für Ihre Produktentwicklung liefert.
Agenda, Termine, Anmeldeformular:
www.cadfem.de/strukturmechanik

ANSYS Antriebs- und Automatisierungstechnik
Wie bekommen Elektromotoren, mechatronische Systeme und ihre Komponenten noch mehr „Drive“? Lernen Sie auf diesem Infotag, wie Sie mit modernster Simulationstechnologie von CADFEM und ANSYS mehr herausholen können. Holen Sie sich Tipps & Tricks in den Bereichen elektrische Antriebstechnik, elektromechanische Systeme und Automatisierungstechnik.
Agenda, Termine, Anmeldeformular:
www.cadfem.de/antriebe

ANSYS Energietechnik und Leistungselektronik
Vom elektronischen Bauteil zum System: Dieser Infotag richtet sich an Entwickler aus der Energie- und Hochspannungstechnik und aus der Leistungselektronik, die über Simulationen elektrische Verluste von Generatoren, Transformatoren und anderen Energiewandlern minimieren wollen. Der zweite Schwerpunkt zielt auf die Optimierung von Steckern, Kontakten, Schienen und Kabeln.
Agenda, Termine, Anmeldeformular:
www.cadfem.de/energie

Neu: Finite-Element-Simulation von Werkzeugmaschinen
Auf dieser Veranstaltung wird gezeigt, wie verschiedene Anforderungen im Werkzeugmaschinenbau aus den Bereichen Statik, Schwingungsverhalten, Mechatronik, Temperatur und Optimierung auf dem Wege der FE-Simulation gelöst werden können.
www.cadfem.de/werkzeugmaschinen

Neu: Simulationsmethoden zur Entwicklung und Optimierung von Hybrid- und Elektrofahrzeugen
Experten von CADFEM und ANSYS stellen Möglichkeiten vor, wie elektromagnetische Simulationen in der Automobil-, der Luftfahrtindustrie und verwandten Bereichen erfolgreich eingesetzt werden können, um Entwicklungszeiten zu straffen und neue Einblicke in das Produktverhalten zu erhalten.
www.cadfem.de/hev

Weitere Informationstage zu aktuellen Themen:
www.cadfem.de/infotage
Info-Webinare zu aktuellen Themen:
www.cadfem.de/webinare

Risikoabsicherung für IT-Unternehmen

Nummer sicher

Was passiert, wenn bei einem IT-Projekt Vertragsfristen überschritten werden? Oft entstehen aus solchen Verzögerungen große, teilweise die Existenz von Unternehmen gefährdende Schäden. CADFEM hat hier vorgesorgt und beim Münchner Versicherungsmakler Schunck Group die so genannte „Net Risk"-Police abgeschlossen. Das Produkt, das auf die Risikosituation der IT-Branche zugeschnitten ist, deckt sowohl Haftungs- als auch Vermögensschäden.

Die „Net Risk" ist eine modulare Versicherungspolice. Hinter allen Bausteinen, die sich beliebig kombinieren und bedarfsgerecht anpassen lassen, stecken mehrere Versicherungspartner mit unterschiedlichen Stärken. Anwendungsbeispiele aus der Praxis gibt es viele. „Wir hatten einen Fall, bei dem ein Handelsunternehmen bei einer IT-Firma ein Paket aus Hardware und einer speziellen Lagerverwaltungssoftware bestellt hat", erzählt Gerhard Müller, Vorstand der Oskar Schunck AG & Co. KG. Dabei verzögerte sich jedoch nicht nur die Umsetzung, es kam durch Programmieranpassungen auch noch zu Fehlfunktionen des Systems. Sendungen wurden falsch ausgeliefert, Aufträge mussten manuell nachbearbeitet werden. So entstanden Mehrkosten für Personal, um die Wareneerfassung und Auslieferung von Hand durchzuführen. „Der geltend gemachte Vermögensschaden betrug 750.000 Euro", fährt Müller fort. In dieser Situation machte sich „Net Risk" mehr als bezahlt. Der Schaden wurde gemeldet und in kürzester Zeit reguliert.

Um die Bedürfnisse von mittelständischen Unternehmen wie CADFEM genau erfassen zu können, arbeitet die Schunck Group in verschiedenen Kompetenzzentren, von denen sich eines ausschließlich mit dem Thema IT befasst. Die Mitarbeiter beschäftigen sich bereits seit 12 Jahren mit Versicherungslösungen für Systemhäuser und ITK-Unternehmen und können sich durch ihre Spezialisierung sofort in die Risiken aus neuen IT-Modellen, etwa dem Cloud Computing, einarbeiten. Darüber hinaus wird bei Schunck der Blick auf Themen wie die Managerhaftung, so genannte „Directors & Officers"-Versicherungen, gerichtet. „Vielen leitenden Angestellten ist zum Beispiel nicht bewusst, dass sie auch für Fehler ihrer Mitarbeiter mit ihrem Privatvermögen haften", führt Gerhard Müller an.

Für CADFEM stellte sich die „Net Risk"-Police als Ideallösung heraus, da sie als so genannte Allgefahrenversicherung auch Sachbeschädigungen und Elementarschäden mit abdeckt. So sind nicht nur Gebäude, Betriebseinrichtungen und Daten abgesichert, die Police kommt auch bei einem Ertragsausfall zum Zuge. Darüber hinaus umfasst sie insbesondere für Systemhäuser Lösungen zur Transportversicherung und Garantieverlängerung. „Die meisten Vermögensschäden passieren in der Implementierungsphase", betont Gerhard Müller. Genau hier hätten konventionelle Deckungen jedoch ihre Schwächen und auch die Mitversicherung der so genannten Vermögensfolgeschäden sei oft recht unbefriedigend gelöst. „Solche Deckungslücken gleicht die „Net Risk" durch Sonderregelungen oder spezielle Deckungserweiterungen zuverlässig aus", fährt er fort. Für CADFEM bedeutet dies, durch den Abschluss der Police eine umfassende Vorsorge getroffen zu haben.

> „Vielen leitenden Angestellten ist zum Beispiel nicht bewusst, dass sie auch für Fehler ihrer Mitarbeiter mit ihrem Privatvermögen haften."
>
> Gerhard Müller, Vorstand der Oskar Schunck AG & Co. KG

Schunck Group

Die Schunck Group gehört zu den zehn größten deutschen Versicherungsmaklern. Rund 350 Mitarbeiter betreuen an elf nationalen und acht internationalen Standorten mehr als 13.000 Kunden. Schunck ist Teil eines globalen Netzwerks mit über 180 Maklern weltweit. Im Fokus stehen die Beratung und die Vermittlung von maßgeschneiderten Versicherungslösungen.

www.schunck.de
LindnerG@Schunck.de

Bilder: nbundm*; Shortkut/shutterstock.com

CADFEM International:

Das Dach für vielfältige Aktivitäten

Unter der in Aadorf (Schweiz) ansässigen CADFEM International AG (seit 1998) und der CADFEM International GmbH (seit 2010) mit Sitz in Grafing sind Beteiligungen an und Partnerschaften mit kleinen und mittelgroßen Firmen zusammengefasst.

Einerseits sind dies Firmen, die das klassische CADFEM Geschäft international betreiben oder auch komplementäre Lösungen zur CAE-Technologie anbieten. Andererseits gehören dazu mittlerweile aber auch Beteiligungen an jungen Unternehmen, die sich auf andere Tätigkeiten konzentrieren, zum Beispiel auf Internet-Dienstleistungen.

Während seiner mehr als 25-jährigen Firmengeschichte mit kontinuierlichem Wachstum hat CADFEM immer die Unternehmensphilosophie verfolgt „Small is beautiful". Denn im Gegensatz zu großen Firmen können kleine und mittelgroße Firmen meist flexibler agieren. Außerdem übernehmen deren Mitarbeiter viel Verantwortung und ihre Identifizierung mit dem „eigenen" Unternehmen ist sehr hoch. Dadurch, dass die Partnerfirmen der CADFEM International eng zusammenarbeiten, können sie Synergien nutzen und ihr Portfolio und ihren Wirkungskreis erweitern. Risikominderung, Haftungsbeschränkung und Perspektiven für Mitarbeiter sind weitere positive Aspekte.

In den vergangenen drei Ausgaben des CADFEM Journals wurden die Firmen virtualcitySYSTEMS GmbH, Software Diagnostics GmbH und die roomeon GmbH vorgestellt, an denen CADFEM International beteiligt ist. In diesem Heft geht es um das Architekturbüro nbundm*.

nbundm*
* neuburger, bohnert und müller Architekten

Architekten BDA und Stadtplaner

Wohnbebauung Hinteranger – WBW-Rendering, Blick in den Innenhof

Das Architekturbüro nbundm* mit Standorten in München und Ingolstadt besteht in seiner jetzigen Form seit 2005. nbundm*, das ist ein Team aus insgesamt sieben Architektinnen und Architekten um die Partner Anick Bohnert (geb. Müller, Tochter des Gründers von CADFEM, Günter Müller), Christian Neuburger und Jan Bohnert. Der Tätigkeitsbereich umschließt alle klassischen Arbeitsfelder eines Architekturbüros, von der Erstellung von Studien und Entwürfen zu Beginn von Projekten über die Werk- und Detailplanung bis hin zur Bauleitung, der Kontrolle der Bauausführung und dem Kostenmanagement.

Die Aufgaben sind mannigfaltig und abwechslungsreich, sie reichen vom Möbelentwurf bis zur Stadtplanung. Aktuell werden die Entwürfe für eine Wohn-

siedlung, ein Bürogebäude und ein Bürgerhaus, städtebauliche Planungen zu einer Ortsmitte und mehrere Einfamilienhäuser bearbeitet. In Freising befindet sich eine Kindertagesstätte für 170 Kinder im Bau, in Ingolstadt ein Veranstaltungshalle mit Atelierhäusern und ein Passagenausbau in der Innenstadt. Die Aufträge werden neben der „Mund zu Mund Propaganda“ hauptsächlich über Wettbewerbe generiert.

Gerade bei Präsentationen und Wettbewerben fällt der Darstellung der Idee und des Entwurfes eine entscheidende Rolle zu. Die Arbeit an Modellen und Simulationen nimmt dabei einen erheblichen Anteil ein. Neben dem klassischen Modell aus Holz, Pappe, Gips oder Styrodur werden Innen- und Außenraumperspektiven mit CAD-Programmen erstellt. So können zum Beispiel Entwurfsvarianten oder Materialkonzepte präzise und schnell erarbeitet und überprüft werden. Die Untersuchung der Integration von Entwürfen in einen bereits existierenden städtebaulichen Kontext ist ein weiteres wichtiges Beurteilungskriterium, welches in Zusammenarbeit mit virtualcitySYSTEMS, die digitale Stadt- und Landschaftsmodelle erstellen, als Werkzeug zur Stadtplanung bereits mehrfach erprobt wurde.

Anhand der Formentwicklung von verschiedenen Bauwerken der letzten Jahrzehnte lässt sich der Einfluss der computerunterstützen Entwurfsweise leicht ablesen. Viele Gebäude sind erst durch die Computertechnik und Programme möglich geworden. Trotz des gestiegenen technischen Standards bleiben Stift und Skizzenrolle nach wie vor wichtige Werkzeuge unseres Berufes. Der „Bilbao-Effekt“, benannt nach dem spektakulären Gebäude des Guggenheim-Museums in einem traditionellen Stadtbild, ist nicht an jedem Ort erstrebenswert und erträglich. Die Globalisierung und der Wettkampf der Städte im

internationalen Vergleich, die Investitionswut und Gewinnmaximierung sind nicht zuletzt zu einem hohen Anteil mitverantwortlich an einem oft unvernünftig hohen Maß an „Außergewöhnlichem“.

Der Einsatz der Mittel ist daher sorgfältig zu wählen. Nachhaltigkeit wird nicht nur mit hohem technischen Einsatz in Gebäuden und energetisch aufwendig hergestellten Dämmstoffen erreicht, sondern auch mit Optimierung im Nutzungsablauf eines Gebäudes, seiner Ausrichtung und der Wahl der Baustoffe. Historische Bauwerke zeigen oftmals sehr eindrucksvoll, wie langlebig einfache und solide Konstruktionen sind und wie intelligent sie in der Vergangenheit errichtet wurden. Diese Aspekte spielen in unserer Entwurfsphilosophie eine wichtige Rolle.

nbundm*
* neuburger, bohnert und müller Architekten

InfoAnsprechpartner
Jan Bohnert
Tel. +49 (0)89 - 219 66 59-30
bohnert@nbundm.de
www.nbundm.de

Bürogebäude in Chemnitz, Rendering Außenperspektive und bereits realisiertes Einfamilienhaus Bachl, Rendering Volumenstudie

Studentenwohnheim Deggendorf – WBW-Rendering, Aussenperspektive

Kindertagesstätte Freising – Arbeitsmodell Depafit, Gesamtanlage – in Bau

Qualifikation für Simulation

Ob in der Breite oder in der Tiefe – der wichtigste Baustein für den Erfolg der numerischen Simulation ist qualifiziertes Personal. Gleichzeitig werden Simulationskenntnisse eine immer wichtigere Zusatzqualifikation für Ingenieure, unabhängig davon, ob sie in einem Industrieunternehmen Produkte entwickeln oder als Wissenschaftler im Rahmen von Forschungsprojekten ganz neue Wege, Systeme oder Methoden erkunden. Unser Schwerpunkt „Forschung, Lehre, Weiterbildung" beschreibt einige Aspekte zur Simulation in der Hochschulausbildung und -forschung, zeigt die Rolle von CADFEM dabei und stellt verschiedene direkte Aktivitäten vor, die CADFEM zur Förderung des Ingenieurnachwuchses und in der berufsbegleitenden Weiterbildung im Simulationsumfeld betreibt.

Mit Simulation kann bei der Entwicklung von Bauteilen und Produkten, aber auch Prozessen und innovativen Systemen sehr viel Zeit und Kosten gespart werden. Manchmal machen Erkenntnisse, die nur durch Simulationen gewonnen werden können, den Weg überhaupt erst frei für völlig neue Ansätze und Ideen. Die Beherrschung von Methoden und Werkzeuge zur Simulation struktur- und strömungsmechanischer, elektromagnetischer oder gekoppelter Phänomene ist für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen eine wichtige Kompetenz und für den Ingenieurnachwuchs ein immer bedeutsamerer Baustein ihrer Qualifikation.

Als Spezialist für die Simulation in der Produktentwicklung ist für CADFEM schon immer neben der Beratung und Begleitung der kommerziellen Kunden auch die der Anwender aus den Bereichen Forschung und Lehre ein wichtiges Anliegen: Hier werden nicht nur die Simulationsanwender von morgen ausgebildet, sondern oft auch neue Simulationsherausforderungen angegangen. Um die akademischen Aktivitäten von CADFEM und ihren Mehrwert für Dozenten, Doktoranden und Anwender aus Forschung und Lehre zu verdeutlichen, haben wir sie in der Initiative aCADFEM gebündelt, die wir Ihnen auf Seite 16 vorstellen.

Der enge Kontakt zu Hochschulen hat auch eine persönliche Grundlage, denn immer wieder übernehmen Mitarbeiter von CADFEM Lehrtätigkeiten in der Hochschulausbildung zum Thema Simulation. Sei es, indem sie zusätzlich zu ihren Aufgaben bei CADFEM als Dozenten tätig werden oder indem sie komplett an eine Hochschule wechseln. Letzteres war unter anderem bei Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Rust der Fall, der CADFEM immer noch eng verbunden ist und auf den Seiten 18 bis 20 einen Teil seiner Lehrtätigkeit an der Hochschule Hannover vorstellt. Weil dabei ANSYS verwendet wird, ist dies für die Studierenden eine gute Grundlage für den Einstieg in den Beruf, denn auch in der Industrie genießt ANSYS eine sehr hohe Verbreitung.

Prof. Dr.-Ing. Geller von der FH Dortmund (Seite 21), Prof. Dr.-Ing. Wartzack, von der Friedrich-Alexander Universität

Bild: Kriglov_Orda, vectomart/shutterstock.com

Erlangen-Nürnberg (Seite 24) und Prof. Dr.-Ing. Gerling von der Universität der Bundeswehr in München-Neubiberg (Seite 26) geben dann auf den folgenden Seiten einen Einblick in eines ihrer Forschungsgebiete. Unter den vielen Forschungsvorhaben, an denen CADFEM beteiligt ist, hat das C.O.P.K.O. Projekt aus dem Bereich der Biomechanik eine Sonderstellung: Einer der Projektbeteiligten ist zu jeweils 50 % bei CADFEM und beim Forschungspartner, dem Klinikum rechts der Isar, angestellt (Seite 28). Um neue Wege im Umgang mit Formplatinen geht es bei einem Projekt der Leibniz Universität in Hannover (S. 30).

CADFEM unterstützt aber nicht nur Hochschulen und Forschungseinrichtungen bei der Vermittlung und optimalen Nutzung der Simulation. Vielmehr ist CADFEM selbst über den Geschäftsbereich esocaet (European School of Computer Aided Engineering Technology) eine Aus- und Weiterbildungseinrichtung auf dem Gebiet der numerischen Simulation. esocaet agiert auf sehr verschiedenen Ebenen, beginnend mit der Förderung der technischen Ausbildung an Gymnasien im Rahmen der MINT-Initiative. Über Seminare, eLearning Kurse und Sommerschulen reicht das Angebot bis hin zum akkreditierten berufsbegleitenden Masterstudiengang „Applied Computational Mechanics“, der seit 5 Jahren gemeinsam mit den Hochschulen in Ingolstadt und Landshut angeboten wird. Mehr über esocaet lesen Sie ab Seite 32.

„Die Wertschätzung der Lehre ist so wichtig wie die Wertschätzung der Forschung.“

Prof. Dr. Anette Schavan, Bundesministerin für Bildung und Forschung in *Die Zeit (27. Mai 2010)*

Inhalt Forschung, Lehre, Weiterbildung

aCADFEM Initiative
Wissen schaffen mit Simulation ..... Seite 16

Hochschule Hannover: FEM-Ausbildung im Maschinenbau
ANSYS in Hörsaal und Labor ..... Seite 18

Fachhochschule Dortmund: Mit automatisierter Optimierung zu mehr Effizienz
Den Turbo einschalten ..... Seite 21

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg: Toleranzmanagement und Robust Design
So eng wie nötig, so breit wie möglich ..... Seite 24

Universität der Bundeswehr München: Wirkungsgradoptimierung in der Leistungselektronik
Verlustminimierung ..... Seite 26

Technische Universität München/Klinikum Rechts der Isar: Forschungsprojekt C.O.P.K.O.
Virtuelle Anprobe in der Prothesenentwicklung ..... Seite 28

Konduktive Erwärmung von Formplatinen
Heißes Eisen ..... Seite 30

CAE-Training, CAE-Studium, Lebenslanges Lernen
esocaet – CAE-Weiterbildung bei CADFEM ..... Seite 32

aCADFEM, eine neue Initiative der CADFEM GmbH bringt Vorteile für Dozenten, Doktoranden und akademische Anwender

Wissen schaffen mit Simulation

„Tüfteln", nach neuen Wegen suchen, vor allem aber dem Ingenieurnachwuchs Wissen und Methoden weitergeben – ganz klar: die Anforderungen von Forschungseinrichtungen und Hochschulen an die Simulation sind anders als die der Industrie. Exakt daran orientiert sich aCADFEM, eine neue Initiative für Simulationsanwender aus Forschung und Lehre.

Bild: David Lentz/istockphoto.com

Im akademischen Umfeld ist Simulation vor allem ein wichtiger Baustein bei der Grundlagenforschung und bei Projekten mit wissenschaftlichem Hintergrund. Von überragender Bedeutung ist neben der Anwendung der Simulation die Simulationsausbildung des Ingenieurnachwuchses.

Mit den ANSYS Academic Produkten trägt ANSYS, Inc. dieser Situation mit passgenauen und preisgünstigen Lizenzierungsmodellen Rechnung. Nicht zuletzt deshalb gehört ANSYS auch im akademischen Bereich weltweit zu den Lösungen mit der größten Verbreitung.

aCADFEM – Simulation in Forschung und Lehre – ist eine Initiative der CADFEM GmbH. Als das ANSYS Competence Center FEM in Zentraleuropa ist CADFEM seit 1985 enger Partner von ANSYS, Inc.. Im Mittelpunkt von aCADFEM steht die ANSYS Academic Programmfamilie, die von Kunden aus dem Forschungs- oder Hochschulsektor mit sämtlichen begleitenden Serviceleistungen bezogen werden kann. Darüber hinaus umfasst aCADFEM weitere Simulationswerkzeuge, die ANSYS gezielt ergänzen, aber auch stand-alone sehr leistungsfähig sind. Dass CADFEM selbst unmittelbar an vielen Forschungsprojekten beteiligt und mit den Anforderungen vertraut ist macht manches einfacher. Ein echter Zusatznutzen für Anwender aus dem akademischen Bereich – Dozenten, Doktoranden, Forschungsbeteiligte, wissenschaftliche Mitarbeiter oder Studierende – sind die „Extras" der aCADFEM Initiative. Diese stellt CADFEM seinen Kunden unbürokratisch und ohne Mehrkosten zur Verfügung:

- **Dozenten-Workshops und Bereitstellung von aktuellen Lehrunterlagen**
  Dozenten für FEM haben als Kunden von CADFEM die Möglichkeit, kostenlos an einem Workshop teilzunehmen, der sie im Hinblick auf ihre eigene Lehrveranstaltung unterstützt. Der Workshop basiert auf den Starter-Übungsunterlagen von Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Rust, die die Teilnehmer zur Verfügung gestellt bekommen. Wilhelm Rust ist einer der Experten für strukturmechanische Simulationen in Theorie und Praxis. Im Rahmen seiner Professur an der Hochschule Hannover betreut Wilhelm Rust die Fächer „Technische Mechanik" und „Finite-Elemente-Methode" in mehreren Stufen. Wie er dabei ANSYS einsetzt, beschreibt er auf Seite 18 bis 20 in diesem Heft. Zudem ist er Autor des Buches „Nichtlineare Finite-Elemente Berechnungen", erschienen bei Vieweg + Teubner. Die FEM-Beispiele des Buches basieren auf ANSYS.

aCADFEM im Überblick

Alle Produkte aus der ANSYS Academic Programmfamilie

- inkl. umfassende Beratung zur Konfiguration und zu Lizenzierungsmodellen
- inkl. Unterstützung bei der Implementierung der Produkte
- inkl. professionellem Anwendersupport durch CADFEM
- inkl. aCADFEM „Extras" für Dozenten, Doktoranden und Anwender

Optionale Zusatzleistungen

- Hardware: Beratung, Installation, Lieferung
- Zu ANSYS komplementäre Simulationssoftware
- Aus- und Weiterbildungskonzepte für Anwender durch CADFEM

- **Doktorandengespräche zur Vorbereitung und Diskussion Ihrer Promotion**
  Sie beginnen Ihre Promotionsarbeit oder ein Forschungsprojekt? Simulation mit ANSYS im Bereich Strukturmechanik oder Multiphysik wird ein wesentlicher Bestandteil der Arbeit sein? Als Kunde

Hochschulpakete	Mögliche Anzahl Arbeitsplätze	Einsatzbereich	Anwendungsbereiche
ANSYS Academic Teaching	5, 25, 50	Lehre	Multiphysik, Strukturmechanik, Strömungsmechanik, Elektromagnetik
ANSYS Academic Research	1, 5, 25	Grundlagenforschung, Bachelor-, Masterarbeiten, Dissertationen	
ANSYS Academic Associate	1, 5	Forschung mit Industrie-beteiligung, Drittelmittelförderung	
ANSYS Academic HPC	**High Performance Computing (HPC)** Mit ANSYS HPC kann die Simulation besonders großer und komplexerModelle stark beschleunigt werden. *www.cadfem.de/hpc*		
CADFEM ihf Toolbox Academic	**Zusatzapplikationen für ANSYS** Die CADFEM ihf Toolbox enthält nützliche Zusatzapplikationen für ANSYS, u.a. den FKM-Festigkeitsnachweis und eine Macro-Bibliothek für ANSYS Workbench (vgl. Seite 44) *www.cadfem.de/toolbox*		

Tabelle 1: Die ANSYS Academic Produkte im Überblick.

von CADFEM haben Doktoranden und junge Forscher die Möglichkeit, ausführlich mit einem CADFEM Fachmann aus dem angestrebten Fachgebiet ihre Simulationsidee in einer individuellen Doktorandensprechstunde zu diskutieren. Dadurch erhalten sie eine direkte Rückmeldung zur Machbarkeit und zu möglichen Lösungsbausteinen aus der ANSYS Simulationsumgebung und anderen geeigneten CADFEM Simulationswerkzeugen.

- **Regelmäßige Weiterbildungsveranstaltungen für die Anwender am Standort**
  Bereits in zahlreichen Hochschul- und Forschungsinstituten haben Mitarbeiter von CADFEM gemeinsam mit den dortigen Software-Verantwortlichen informelle Anwendertreffen organisiert und mit Beiträgen und Moderation unterstützt. Vorab wird mit den beteiligten Rechenzentren, Anwendern, Lehrstühlen und Instituten geklärt, welche Informationen zu ANSYS Strukturmechanik, ANSYS Multiphysik und anderen CADFEM Simulationswerkzeugen für ihre Projekte und Lehrveranstaltungen relevant sind. Ein positiver Nebeneffekt ist, dass damit auch die Diskussion und der Austausch untereinander gefördert wird. Die Möglichkeit, gemeinsam mit CADFEM eine solche Ganztagesveranstaltung für alle Simulationsanwender am Standort zu planen und durchzuführen, steht über ihre Software-Verantwortlichen allen akademischen CADFEM Kunden offen.

InfoAnsprechpartner für Hochschulen und Forschungseinrichtungen

Software und Technik
Dr. Cord Steinbeck-Behrens
Tel. +49 (0) 511-39 06 03-17
academic@cadfem.de

Software und Lizenzmodelle
Elke Horwege-Pfeiffer
Tel. +49 (0) 511-39 06 03-29
academic@cadfem.de

Verträge und Lizenzierung
Elke Flechsenhaar
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-61
academic@cadfem.de

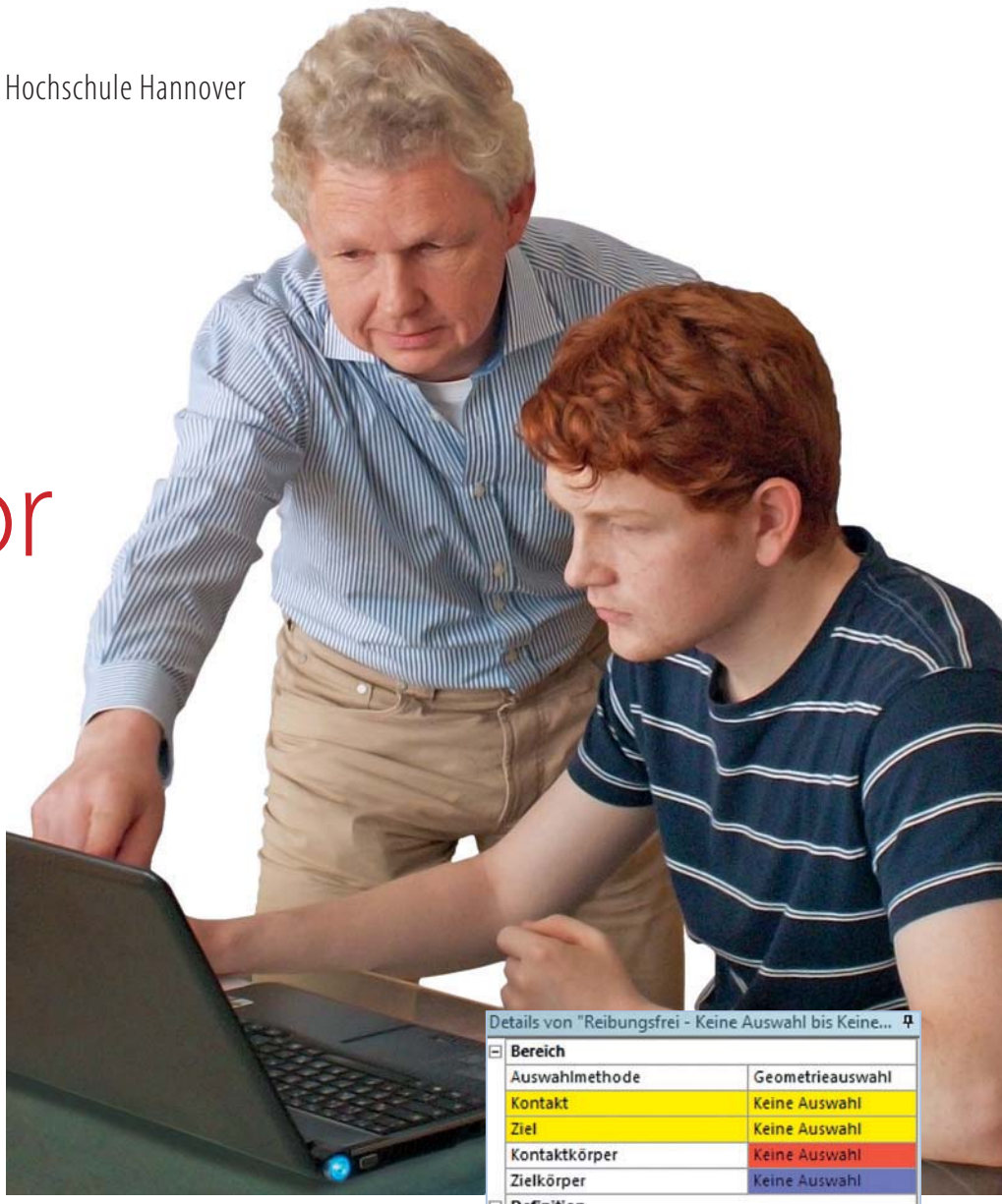
www.cadfem.de/acad

LS-DYNA	**Simulationssoftware für Explizite Strukturmechanik (Crash, Umformung)**
optiSLang	**Simulationssoftware für Optimierungsaufgaben und Robustheitsbewertungen**
ANYBODY TECHNOLOGY	**Simulationssoftware für die Analyse des menschlichen Bewegungsapparates**
digimat	**Virtuelles Materiallabor und Schnittstelle zwischen Spritzguss und Mechanik**

Tabelle 2: Zu ANSYS komplementäre Simulationswerkzeuge für Forschung und Lehre.

FEM-Ausbildung im Maschinenbau an der Hochschule Hannover

ANSYS in Hörsaal und Labor



Im Maschinenbau an der Hochschule Hannover (ehemals FH) hat die theoretische und praktische FEM-Ausbildung eine lange Tradition. Fast so lange, wie es in Hannover schon die theoretische FEM-Ausbildung gibt, wird die praktische mit ANSYS betrieben.

Sowohl im Bachelor-Studium zum Maschinenbau-Ingenieur als auch im Masterstudium „Maschinenbau – Entwicklung“ an der Hochschule Hannover sind Lehrveranstaltungen zum Thema FEM-Simulation ein fester Bestandteil. Für die meisten der künftigen Bachelor ist die Vorlesung FEM1 ein Pflichtfach, so dass das Prinzip und die Grundzüge der strukturmechanischen Simulation auf breiter Basis bekannt sind. Die Erweiterung der Grundkenntnisse auf mehrdimensionale Elemente und numerische Integration, Massenmatrix, Zeitintegration und Eigenwertbestimmung ist im Wahlfach FEM2 möglich.

Im Masterstudium kann das Fachwissen in mehreren Veranstaltungen gezielt ausgebaut werden. Zu den Schwerpunkten in der Master-Ausbildung gehören u.a. Nichtlinearitäten, Stabilität, Kurvenverfolgung, Materialmodelle, Kontakt und die FKM-Richtlinie sowie Differenzenverfahren und weitere Methoden der numerischen Mathematik. Alle Vorlesungen werden von praktischen Anwendungen begleitet, die zu großen Teilen mit Simulationswerkzeugen von ANSYS durchgeführt werden.

Studentische Arbeiten

Neben der Abschlussarbeit, die meist in der Industrie angefertigt wird, können die Studierenden individuelle Aufgaben in Projekten, so auch in FEM, durchführen, die dann aktuelle, forschungsnahe Fragestellungen beinhalten.

Beispiele:
Es war die Frage zu untersuchen, ob ein Unterdruck zum Versagen eines Bauteils führen kann. Weil das Innenvolumen durch die Verformungen wesentlich verändert wurde, musste der dadurch bedingte Innendruckabfall berücksichtigt werden. Ein Student programmierte diesen Zusammenhang; heute gibt es ein entsprechendes ANSYS Element.

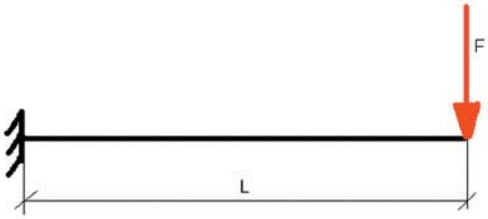
Memory-Metalle oder Formgedächtnis-Legierungen gehen bei Überschreiten einer bestimmten Temperatur vom quasiplastischen in den elastischen Zustand über und nehmen dadurch ihre ursprüngliche Gestalt wieder an. Ein Student simulierte dies zuerst in einem Projekt durch

Details von "Reibungsfrei - Keine Auswahl bis Keine...

Bereich	
Auswahlmethode	Geometrieauswahl
Kontakt	Keine Auswahl
Ziel	Keine Auswahl
Kontaktkörper	Keine Auswahl
Zielkörper	Keine Auswahl
Definition	
Typ	Reibungsfrei
Kontaktfindung	Manuell
Verhalten	Symmetrisch
Kontaktfläche trimmen (Beta)	Programmgesteuert
Unterdrückt	Nein
Erweitert	
Algorithmus	Pure Penalty-Verfahr...
Kontaktbehandlung	Versatz hinzufügen,...
Versatz	0, mm
Kontaktsteifigkeit	Programmgesteuert
Kontaktsteifigkeit aktualisieren	Nie
Pinball-Bereich	Programmgesteuert
Zeitschrittsteuerungen	Keine

Bild 1: Kontaktfenster in ANSYS Workbench

Bilder: W. Rust, Hochschule Hannover



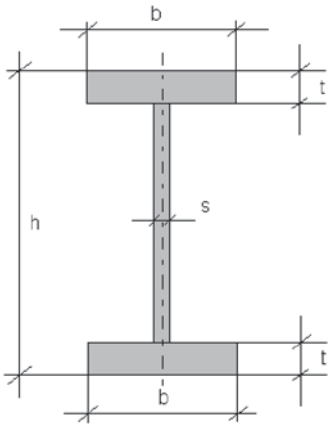


Bild 2: Kragarm mit Doppel-T-Profil

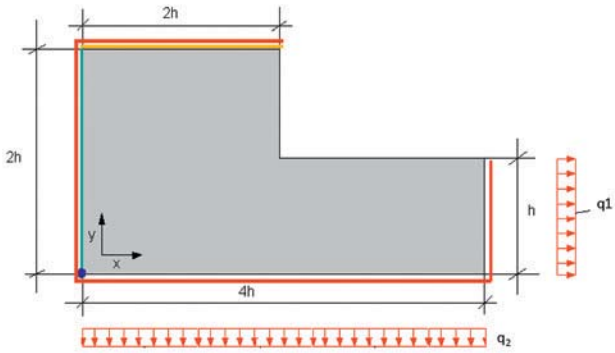


Bild 3: Scheibe mit einspringender Ecke

Kombination vorhandener Materialgesetze, später in seiner Diplomarbeit durch die Programmierung eines Materialgesetzes. Später bot ANSYS ein Modell für das spezielle elastische Verhalten, heute auch eines für den Memory-Effekt.

ANSYS an der Hochschule Hannover

Fast so lang, wie es die theoretische FEM-Ausbildung gibt, wird die praktische mit ANSYS betrieben. Gründe sind:

- ANSYS ist ein Komplettsystem, d. h.
  - Geometrieerstellung
  - Vernetzung
  - Aufbringung von Lasten, auch geometriebezogen
  - Durchführung der Berechnung
  - Postprocessing

  sind in einer einheitlichen Umgebung mit Menüführung verfügbar.
- Es stehen vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für viele Bereiche der Physik zur Verfügung, für Hochschulen ohne Aufpreis.
- Es ist eine Parametrisierung und Optimierung möglich.
- Ein Interface zu LS-DYNA erleichtert den Einstieg dort.
- ANSYS verfügt mit APDL über eine vollständige Programmiersprache mit Vektorfunktionen.

ANSYS Workbench

Vor einigen Semestern wurden die Lehrveranstaltungen von der klassischen ANSYS Umgebung auf ANSYS Workbench umgestellt. Es stellte sich dabei heraus, dass die Studierenden leichter den Einstieg in die FEM finden. Das liegt offensichtlich daran, dass die Geometrieerstellung und das Geometriehandling den CAD-Programmen ähnlicher sind. Weitere Vorteile sind für viele die deutschsprachige Menüführung und die Verfügbarkeit eines Strukturbaums, der die Entstehung des Modells dokumentiert, das dazu nachträglich in den Abmessungen verändert und parametrisiert werden kann. Viele Funktionalitäten lassen sich deutlich eleganter erreichen und wegen des Strukturbaumes später nachvollziehen, z.B. Kontakte (Bild 1).

ANSYS Workbench deckt noch nicht alle Möglichkeiten ab, die im klassischen ANSYS enthalten sind. Um sie trotzdem in der Workbench zu nutzen, stehen verschiedene Funktionalitäten zur Verfügung:

- Die Projektseite bietet auch die Möglichkeit, den FE-Modeler, ANSYS Classic oder z.B. Excel einzubeziehen.
- An verschiedenen Stellen können Kommando-Objekte eingefügt werden, wobei die jeweilige Nummerierung als Parameter zur Verfügung steht. Zur Selektion werden Named Selections in ANSYS Components umgewandelt. Argumente und Rückgabewerte können zu Workbench-Parametern erklärt werden und sind dadurch in Parameterstudien oder einer Optimierung verfügbar.
- Kommando-Objekte sind auch für andere Analysesysteme wie LS-DYNA nutzbar.
- Zwischen den Analysen können Informationen über Dateien ausgetauscht werden, die im Projektverzeichnis platziert sind.

Beispiele aus dem einführenden FEM-Labor 1

Der Schlüssel für die praktische Ausbildung in FEM ist das FEM-Labor 1. Ziel ist, dass die Studierenden anhand von Beispielen Sachverhalte aus anderen Lehrveranstaltungen wiedererkennen und den Bezug zur FEM sehen. Gleichzeitig erarbeiteten sie sich einige Eigenschaften und Möglichkeiten der FEM und lernen ein umfassendes kommerzielles Programm kennen.

Die im FEM-Labor 1 verwendeten Beispiele führen über einen Kragbalken und eine Scheibe mit einspringender Ecke zu einem besseren Verständnis der FEM und beziehen dazu auch Parameterstudien und eine Optimierung ein. Ferner lernen die Studierenden die statische, die transiente, die Modal- und die Beulanalyse kennen.

Im ersten Beispiel wird an einem Kragarm mit Doppel-T-Profil (Bild 2) gezeigt, dass manche Systeme sowohl mit Balken- als auch mit Schalen- oder Volumenelementen diskretisiert werden können. Das kann zu unterschiedlichen Arten von Ergebnissen führen, weil nur bei Schalen- und Volumenelementen Einzellasten und -festhaltungen zu Spannungssingularitäten führen und Zwängungsspannungen infolge ungeeigneter Festhaltungen entstehen.

An einem in der Ebene belasteten Rechteck kann untersucht werden, wie sich Drei- und Viereckelemente mit und ohne

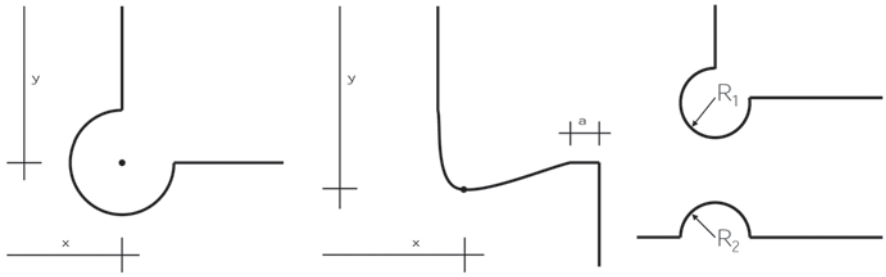


Bild 4: Konstruktive Varianten

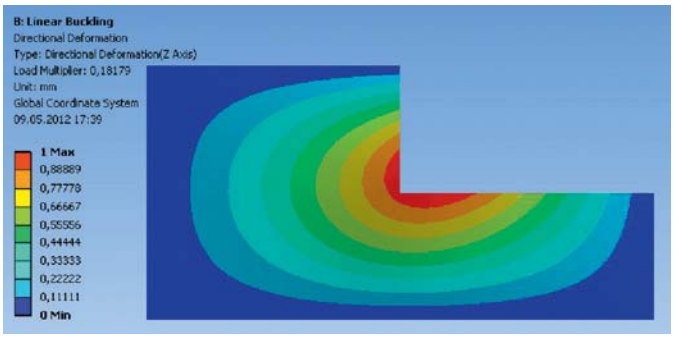


Bild 5: 1. Beulform des unversteiften Systems

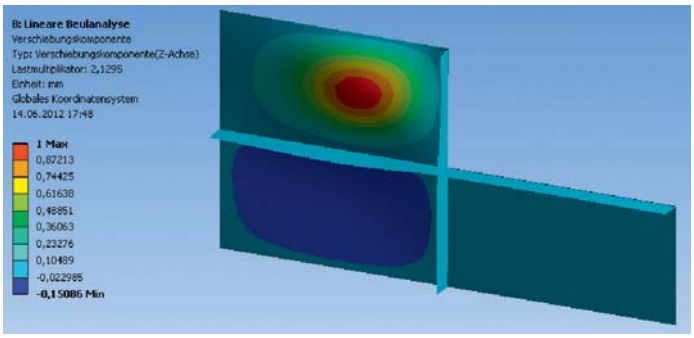


Bild 6: Eine Steifenanordnung

Mittenknoten sowie mit speziellen Formulierungen (enhanced strain, reduzierte Integration) bezüglich der Genauigkeit verhalten. Dazu gibt es natürlich Erklärungen in Form von Skizzen z.B. von Spannungsverläufen bei den verschiedenen Elementformulierungen.

Das System aus Bild 3 wird zunächst genutzt, um

- den Einfluss der Netzdichte auf die berechneten Spannungen zu studieren
- die Spannungssingularität an der einspringenden Ecke zu zeigen
- durchgehende und lokale Netzverfeinerung gegenüber zu stellen
- konstruktive Maßnahmen zur Spannungsreduktion einzuführen

Als konstruktive Maßnahmen werden betrachtet (Bild 4):

- Ausrundung
- kreisförmige Ausschnitte in verschiedene Lagen (u.a. als Freistich, Hinterschnitt und mit variierten Mittelpunkten)
- Spline mit variablen Bestimmungsgrößen

Hier bietet sich eine Parametrisierung und die Benutzung des Optimierungswerkzeugs zur Auslegung an, wobei Grundzüge der Parameteroptimierung wie Designvariablen, Zielfunktion und Nebenbedingungen sowie von Antwortflächenverfahren erläutert werden müssen. Für die nachfolgenden Berechnungen genügt wieder das Ausgangssystem, weil vorwiegend Verformungen eine Rolle spielen.

Bei entsprechender Belastungsrichtung entstehen ausgedehnte Zonen mit Druckspannungen, die zum Beulen führen können. Die lineare Beulanalyse liefert Lastfaktoren und damit ideale kritische Lasten und Beulformen (Bild 5). Diese geben Hinweise darauf, wie die Beullast durch Steifen erhöht werden kann. Verschiedene Steifenanordnungen können gegenübergestellt werden (Bild 6). Anschließend können die Steifenabmessungen parametrisiert und ggf. optimiert werden.

Das unversteifte System wird einer Modalanalyse unterzogen. Dabei ist zunächst zu erkennen, was sich als Resultat ergibt; die Bedeutung wird später noch in transienten Analysen weiter geklärt. Zusätzlich wird der Einfluss einer Vorspannung (Zug und Druck) auf die Eigenfrequenz untersucht. Im Druckbereich wird die Last bis über die Beullast erhöht, um den Zusammenhang und den programmtechnischen Effekt zu zeigen.

In transienten Analysen ist zu erkennen, dass

- eine konstante Belastung eine oder mehrere Eigenfrequenzen anregt (Bild 7), je nachdem, welche Verformung sie erzeugt,
- eine sinusförmige Erregung je nach Frequenz und Abstand zur Eigenfrequenz unterschiedliche Amplituden hervorruft,
- eine Anregung mit einer Eigenfrequenz zu Resonanz führt.

Dadurch werden die Bedeutung von Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen illustriert.

Alle Aufgaben des FEM-Labors werden im Rahmen des von CADFEM angebotenen Dozenten-Workshops vorgestellt – Siehe Artikel „Wissen Schaffen mit Simulation“ auf Seite 16. Die Aufgaben und ein Lösungsheft sind als Seminarunterlagen enthalten.

InfoAutor | Hochschule Hannover

Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Rust
Hochschule Hannover
Fakultät II – Maschinenbau und Bioverfahrenstechnik

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Dr.-Ing. Cord Steinbeck-Behrens, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)511 39 06 03-24
academic@cadfem.de
www.cadfem.de/acad

Hochschule Hannover
University of Applied Sciences and Arts

http://www.fakultaet2.fh-hannover.de

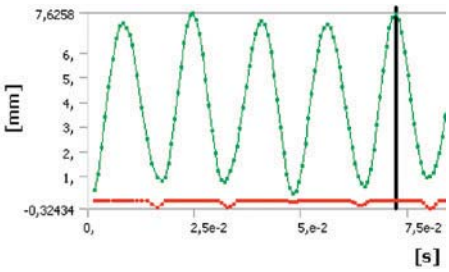


Bild 7: Anregung vorwiegend der ersten Eigenfrequenz durch konstante Last

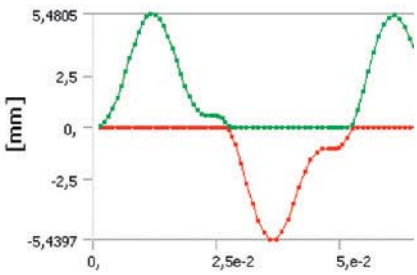


Bild 8: Harmonische Erregung mit 30 % der ersten Eigenfrequenz

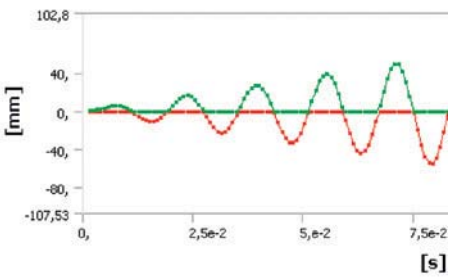


Bild 9: Resonanz

Bild: HomeArt/Shutterstock.com

Mit automatisierter Optimierung zu mehr Effizienz

Den Turbo einschalten

Der weltweit ständig steigende Energiebedarf und die gleichzeitig rapide abnehmenden Ressourcen haben das Thema Energieeffizienz – und damit die Optimierung – zu einer der wichtigsten Fragestellungen der Gegenwart gemacht. Bei der Energiewandlung gehören in nahezu jedem Anwendungsfall die Turbomaschinen zu den wichtigsten Teilen der Prozesskette und bieten somit Ansatzpunkte für Optimierungen. Werden diese mit modernen automatisierten Methoden durchgeführt, so lässt sich mit vergleichsweise kleinem Aufwand eine große Effizienzsteigerung erreichen.

Fragestellungen zur Optimierung treten in allen Bereichen des Ingenieuralltags auf. Hierbei stellen automatisierte Optimierungsmethoden eine hocheffiziente Alternative zu klassischen iterativen Optimierungsstrategien dar. Der Einsatz stochastischer Sampling-Methoden in Verbindung mit hochwertigen Metamodellen ermöglicht es, den zu untersuchenden Parameterraum zu erfassen, die wichtigsten Einflussgrößen sicher zu identifizieren und mit einem Minimum an notwendigen Solver-Aufrufen das gesuchte Optimum zu finden. Das Laufrad eines Turbokompressors ist sowohl strömungs- als auch strukturmechanisch eine hochkomplexe Komponente. Bei der Auslegung und beim geometrischen Design gilt es daher, sowohl ein in Hinsicht auf die Strömungsmechanik effizientes Design zu finden als auch die durch die Strukturmechanik vorgegebenen Festigkeitsgrenzen einzuhalten. Die Optimierung eines solchen hochbelasteten Laufrades wird im Folgenden beschrieben.

Sensitivitätsanalyse

Eine multidisziplinäre Optimierung, die sowohl FEM- als auch CFD-Simulationen umfasst, ist mit erheblichem numerischem Aufwand verbunden. Zur Reduzierung des notwendigen Berechnungsaufwandes ist eine der Optimierung vorgeschaltete Sensitivitätsanalyse empfehlenswert. Diese dient der Identifizierung der einflussreichsten Eingangsgrößen und ermöglicht somit eine Filterung und Reduktion der Parameter in der Optimierung. Die hierfür

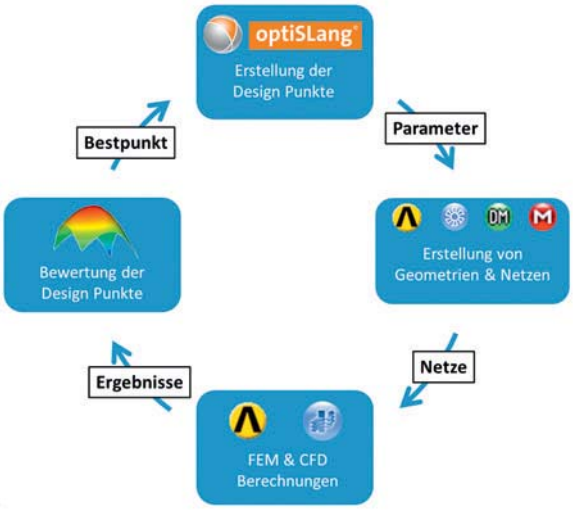


Bild 1: Der Optimierungs-Workflow ermöglicht mit kleinem Aufwand eine große Effizienzsteigerung

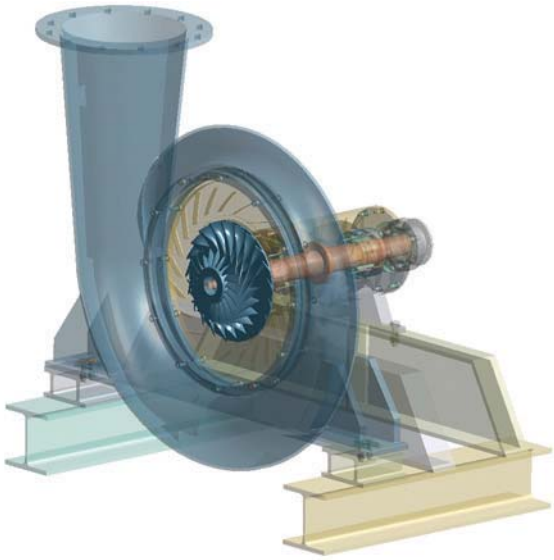


Bild 2: Das Laufrad eines zu optimierenden Turbokompressors

Bilder: Fachhochschule Dortmund

benötigten Algorithmen stellt die von der Dynardo GmbH entwickelte Software optiSLang in einem vollautomatischen Workflow zur Verfügung.

Abhängig von der Anzahl der Eingangsparameter wird in optiSLang ein „Design of Experiments“ (DOE) mithilfe stochastischer Sampling-Methoden über den gesamten Parameterraum erstellt. Im nächsten Schritt wird für jeden Design-Punkt ein Geometriemodell und daraus je ein FEM- und ein CFD-Netz generiert. Um einen stabilen und voll parametrisierten Prozessablauf sicherzustellen, findet dieser Schritt komplett in der ANSYS Workbench statt. Durch die Verwendung von stark miteinander verzahnten Software-Komponenten wird eine konsistente Parametrisierung und somit ein reibungsloser Ablauf der Optimierung sichergestellt. Aufbauend auf der im DesignModeler/BladeEditor erstellten Geometrie erfolgt der Netzaufbau für den CFD-Teil in Turbogrid während das FEM-Netz im Vernetzungswerkzeug der Workbench generiert wird. Liegen die Ergebnisse aller Design-Punkte vor, folgt die Bewertung in optiSLang. Anhand von Zusammenhangsmodellen zwischen den Ein- und Ausgangsgrößen lassen sich die einflussreichen Eingangsparameter identifizieren.

Optimierung

Ausgangspunkt der Optimierung ist ein mit einer konventionellen Auslegungs-Software berechnetes Laufrad, welches bereits gute strömungsmechanische Eigenschaften aufweist. Aufgrund der rein strömungsmechanischen Auslegung liegen die Spannungen im Laufrad allerdings weit außerhalb der vorgegebenen Festigkeitsgrenzen. Ziel der Optimierung ist es daher, die Spannungen auf ein sicheres Niveau abzusenken. Dabei muss gleichzeitig sichergestellt werden, dass die guten strömungsmechanischen Eigenschaften erhalten bleiben.

Bevor das zuvor reduzierte Parameterset zur Optimierung eingesetzt wird, bietet optiSLang die Möglichkeit, die bereits für die Sensitivitätsanalyse gerechneten Design-Punkte für einen ersten Optimierungsschritt zu nutzen. Dies geschieht mithilfe des „Metamodel of Optimal Prognosis“ (MOP). Dabei ermittelt optiSLang aus einer Vielzahl von geeigneten Metamodellen und in möglichen Unterräumen wichtigen Parametern das Metamodell, welches die höchste Prognosegenauigkeit der Variation der Ergebnisgrößen hat. Basierend auf diesem Metamodell lässt sich nun eine erste globale Optimierung durchführen, ohne weitere Solver-Aufrufe zu initiieren. Lediglich das auf dem Metamodel identifizierte Optimum muss anhand einer weiteren numerischen Berechnung validiert werden.

Ausgehend von der zuvor auf den globalen Metamodellen ermittelten Designverbesserung können weitere Optimierungsschritte durchgeführt werden. Hierfür steht eine Vielzahl von Algorithmen zur Verfügung. Diese umfassen unter anderem die klassischen gradienten-basierten Algorithmen, adaptive Antwortflächenverfahren oder die von der Natur inspirierten Optimierungsmethoden wie evolutionäre Strategien oder genetische Algorithmen.

Im Rahmen der hier durchgeführten Optimierung kommt ein adaptives Antwortflächenverfahren zum Einsatz. Dabei wird in mehreren Schritten der Parameterraum um das zuvor gefundene erste Optimum adaptiert. In diesen Parameterräumen werden wiederum Design-Punkte berechnet und mithilfe eines Metamodells das neue Optimum bestimmt.

Ergebnisse

Das Ergebnis der Optimierung zeigt die gewünschten Eigenschaften. Sowohl die dreidimensionalen Plots als auch die Auswertung der strömungs- und festigkeitsmechanischen Kenngrößen belegen deutlich, dass die gesetzten Ziele sehr gut erreicht werden. Durch den Einsatz moderner automatisierter Optimierungsmethoden ist eine Spannungsreduktion bei gleichzeitigem Erhalt der guten strömungsmechanischen Eigenschaften möglich.

Hierbei hat sich die Kombination der Stochastik- und Optimierungstools von optiSLang mit den Parametrisierungs- und Preprocessing-Möglichkeiten der ANSYS Workbench als ein mächtiges Werkzeug

Durch den Einsatz automatisierter Optimierungsmethoden ist eine Spannungsreduktion bei gleichzeitigem Erhalt der guten strömungsmechanischen Eigenschaften möglich.

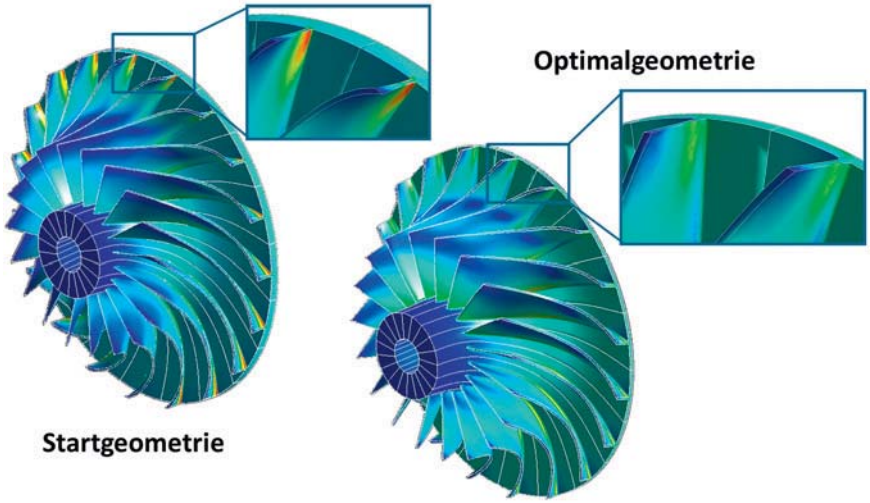


Bild 3: Die Spannungsreduktion am Laufradaustritt

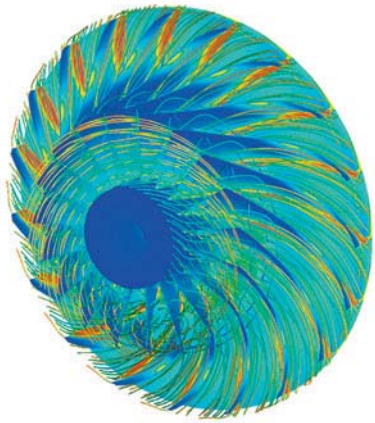


Bild 4: Die FEM- und CFD-Ergebnis der Startgeometrie

erwiesen. Die enge Verzahnung der einzelnen Softwarekomponenten miteinander ermöglicht ein hohes Maß an Automation und damit einen zeit- und ressourcensparenden Optimierungsprozess. Mit einem Minimum an benötigten Solver-Aufrufen lässt sich ein komplexes, hochdimensionales Optimierungsproblem effizient lösen.

InfoAutoren

Prof. Dr.-Ing. M. Geller, Dipl.-Ing. Ch. Schemmann, Dipl.-Ing. N. Kluck;
Forschungsschwerpunkt Computersimulation im Maschinenbau, Fachhochschule Dortmund

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Marc Vidal, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)8092-7005-18
mvidal@cadfem.de

InfoVerwendeteSoftware

ANSYS Workbench, optiSLang, optiSlang inside ANSYS Workbench

Fachhochschule Dortmund
University of Applied Sciences and Arts
www.computersim.fh-dortmund.de

Anzeige

DräxImaier

feel connected

Moderne Bordnetzsysteme, exklusives Fahrzeuginterieur und zukunftsweisende Elektrik- / Elektroniklösungen: Das Familienunternehmen DräxImaier steht seit mehr als 50 Jahren für Innovationen im Premiumsegment der internationalen Automobilindustrie. Weltweit beschäftigt der Global Player aus Niederbayern rund 42.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die in interdisziplinären Teams Lösungen für die individuelle Mobilität von morgen erarbeiten.

Zur Verstärkung im Interieur-Bereich suchen wir Professionals und Führungskräfte, die sich den Herausforderungen der internationalen Märkte mit Offenheit, Flexibilität und Begeisterung stellen.

Nutzen Sie die Möglichkeit, in unserer Unternehmenszentrale in Vilsiburg / Nähe Landshut, ein spannendes und faszinierendes Arbeitsgebiet mitzugestalten:

top ARBEITGEBER 2011/12 AUTOMOTIVE CERTIFIED BY THE CRF INSTITUTE

- **Technischer Projektleiter (m/w) Interieur**
- **Gruppenleiter (m/w) Konstruktion Interieur**
- **Berechnungsingenieur (m/w) Automotive**
- **Versuchsingenieur (m/w) Passive Sicherheit Fahrzeuginterieur**

Haben wir Ihr Interesse geweckt? Dann senden Sie uns noch heute Ihre aussagekräftige Bewerbung online oder per Post zu.
Gerne können Sie sich auch initiativ bewerben – wir freuen uns auf Sie!

DräxImaier Group, Recruiting / Personalmarketing, Elisabeth Zängerl, Landshuter Str. 100, 84137 Vilsiburg
Telefon: +49 8741 47-2879

Weitere Informationen zu den genannten Positionen sowie zum Online-Bewerbungsverfahren finden Sie auf unserer Karriereseite.

www.draexlmaier.com / karriere

MOVING AHEAD THE AUTOMOTIVE FUTURE

Toleranzmanagement und Robust Design

So eng wie nötig, so breit wie möglich

Bild: Tatiana Popova/shutterstock.com

Auch wenn in Serie gefertigte Produkte faktisch gleich sind, treten immer wieder qualitätsmindernde Abweichungen auf. Je später im Produktentwicklungsprozess ihre potenziellen Auswirkungen auf Funktion und Ästhetik identifiziert werden, desto zeit- und kostenintensiver sind die notwendigen Änderungen am Produkt und seinem Herstellungsprozess. Folglich sind die frühzeitige virtuelle Absicherung der Produkte und Prozesse sowie die Vergabe kostenoptimaler Toleranzen von wesentlicher Bedeutung für die Entwicklung hochwertiger, robuster Produkte.

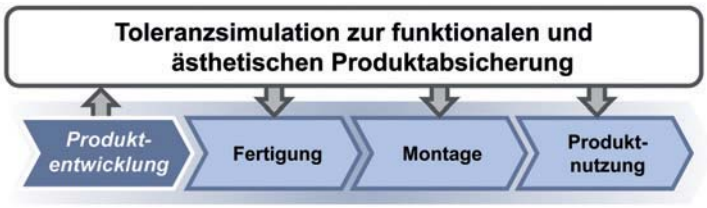


Bild 1: Lebenszyklusübergreifende Produktabsicherung

Bereits seit 1996 richtet sich der Blick des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik KTmfk der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) auf Forschungsaktivitäten im Bereich des Toleranzmanagements und des Robust Designs. Dabei geht es um Maßnahmen, wie schon in der Entwicklung die Robustheit von Produkten gegenüber zufälligen Streuungen eigener und externer Parameter erhöht werden kann (Bild 1).

Aktuelle Herausforderungen

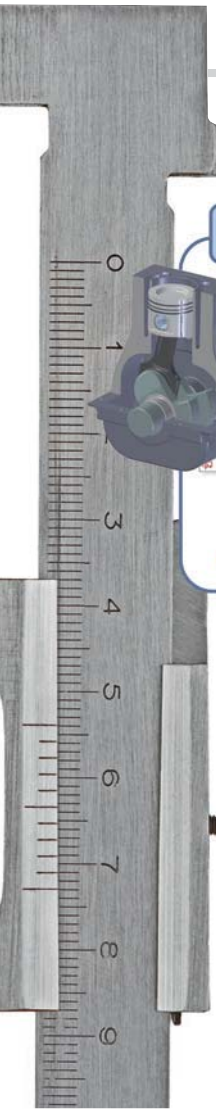
Die wachsenden Anforderungen an die Qualität technischer Produkte (Stichwort: Six Sigma), die durch ihre zunehmende Komplexität und immer kürzere Produktentwicklungszyklen geprägt sind, stellen das Toleranzmanagement und das Robust Design vor enorme Herausforderungen. Zum einen müssen wichtige Entscheidungen bezüglich der Bauteilgeometrie und der Designparameter möglichst früh im Produktentwicklungsprozess getroffen werden. Zum anderen gilt es, durch die Vergabe kostenoptimaler Toleranzen die ästhetische und die funktionelle Qualität des Produktes auch unter vielfältig schwankenden Umgebungsbedingungen sicherzustellen.

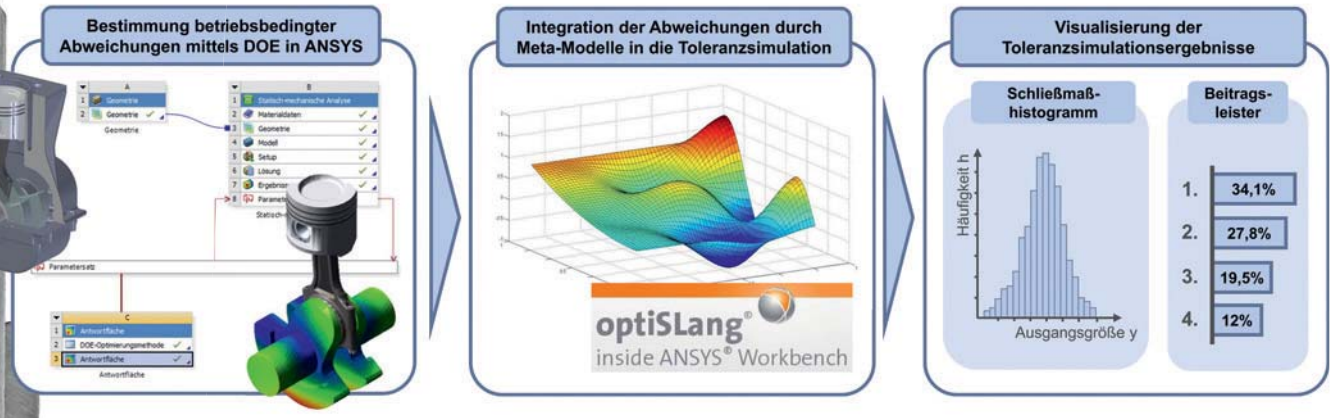
Simulation von Einflussgrößen

Für das virtuelle Toleranzmanagement lassen sich daraus drei Aktivitäten ableiten: die Toleranzspezifikation, die Toleranzsynthese und die Toleranzanalyse. Bei der Toleranzspezifikation müssen zunächst alle geometrischen Abweichungen, die Auswirkungen auf die relevante Produktfunktion haben können, identifiziert werden und ihnen ist eine entsprechende Toleranzart zuzuordnen. Anschließend können durch die Toleranzsynthese für diese Abweichungen zulässige Toleranzen bestimmt werden, deren Einflüsse auf das funktionsrelevante Maß im Rahmen der Toleranzanalyse zu beurteilen sind.

Die klassische Toleranzrechnung basiert zu diesem Zweck auf der statistischen Auswertung eines mathematischen Zusammenhangs zwischen dem funktionsrelevanten Maß (dem sogenannten Schließmaß) und den auftretenden Abweichungen der Einzelteile des betrachteten Systems. Diese Schließmaßgleichungen können beispielsweise über Vektorketten, welche die Montagefolge der Einzelbauteile des Systems abbilden, ermittelt werden.

Treten geometrische Abweichungen der Bauteile auf, so können diese in Form zusätzlicher Vektoren in die bestehende Vektorkette integriert werden. Dieser vektorkettenbasierte Ansatz wird zum Beispiel zur Toleranzanalyse bewegter technischer Systeme herangezogen. Hierbei konzentrieren sich die Forschungsarbeiten des Lehrstuhls auf die Zeitabhängigkeit von Systemen und ermöglichen die vollständige Toleranzbetrachtung von bewegten Systemen während des Betriebs. Zur statistischen Auswertung und Vi-





Grafiken: Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik

Bild 2: Integration betriebsbedingter Abweichungen in die vektorielle Toleranzsimulation

sualisierung der Ergebnisse wird auf die von der Dynardo GmbH entwickelte Software optiSLang zurückgegriffen. Sie ermöglicht unter anderem die einfache Identifikation der stärksten Einflussgrößen (Beitragsleister) beziehungsweise Abweichungen mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen.

Kopplung verschiedener Simulationswerkzeuge

Darüber hinaus erlaubt die vektorielle Toleranzrechnung, insbesondere bei komplexeren Systemen, die Integration von Simulationsergebnissen. Somit können betriebsbedingte Abweichungen, beispielsweise die elastische Deformation eines Bauteils, in der Toleranzanalyse berücksichtigt werden (Bild 2). Aufgrund der Bewegungsabhängigkeit der betriebsbedingten Abweichungen ist meist die Kopplung verschiedener Simulationswerkzeuge notwendig (z. B. Mehrkörpersimulation und FEM), was mit ANSYS Workbench einfach realisierbar ist. Ein zusätzlicher Datenaustausch mit optiSLang erleichtert die statistische Auswertung der auftretenden Abweichungen.

Um die Effizienz weiter zu erhöhen, wurde von CADFEM eine in ANSYS Workbench integrierte optiSLang Version (optiSLang inside ANSYS Workbench) forciert und von Dynardo umgesetzt. Damit werden die Vorteile von ANSYS Workbench – multidisziplinäre, vollständig parametrische, automatisierte CAE-Berechnungsprozesse – direkt mit den Stärken von optiSLang – hoch effiziente, automatische Workflows der Robust Design Optimierung – gekoppelt, um möglichst frühzeitig die Leistung und Qualität des zukünftigen Produktes unter besonderer Beachtung von Streuungen und Toleranzen abzusichern.

Neben der Berücksichtigung der durch Simulationen bestimmten Bauteilabweichungen in der vektoriellen Toleranzrechnung können die generierten abweichungsbehafteten Bauteiloberflächen auch im Rahmen des geometriebasierten Toleranzmanagements verwendet werden. Dabei kommen wiederum verschiedene CAX-Werkzeuge zum Einsatz, beispielsweise Montagesimulationen oder stochastische Nachgiebigkeitsberechnungen. Ziel ist es, auch komplexere Form- und Lageabweichungen zu berücksichtigen und deren Einfluss auf die Funktionserfüllung zu analysieren.

Somit ergibt sich ein vollständiges Bild aller zu erwartenden Abweichungen entlang des Produktentstehungsprozesses und ihrer Einflüsse auf das Betriebsverhalten eines Produktes. Diese Erkenntnisse können genutzt werden, um sowohl die Aktivitäten im Toleranzmanagement zu optimieren als auch Handlungsempfehlungen an vor- oder nachgelagerte Stufen der Entwicklungskette abzuleiten.

Die Sensibilisierung des Ingenieursnachwuchses für die Relevanz der Betrachtung von Streuungen und Abweichungen während der Produktentwicklung sowie die Möglichkeiten, diesen mittels geeigneter Methoden und Simulationswerkzeuge zu begegnen sind in den Lehrtätigkeiten des Lehrstuhls fest verankert.

Resümee

Das virtuelle Toleranzmanagement trägt wesentlich zur Erfüllung der Qualitätsziele moderner Technologieunternehmen bei. Neben der Sicherstellung der Produktfunktion und -ästhetik sowie der Befriedigung der Kundenansprüche spielen sowohl die Reduzierung des Entwicklungsaufwandes als auch der Herstellungskosten eine wichtige Rolle. Ziel der Toleranzforschung ist es daher, durch den Einsatz moderner Simulationswerkzeuge den Produktentwickler zu befähigen, die komplexen Zusammenhänge zwischen Fertigungsabweichungen, Montageprozessen sowie dem Betriebsverhalten des Produktes zu verstehen und durch die Toleranzvergabe gezielt zu beeinflussen.

InfoAutoren

Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack,
Michael Walter, Benjamin Schleich
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik

InfoVerwendeteSoftware

ANSYS Workbench, optiSLang,
optiSlang inside ANSYS Workbench

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Marc Vidal, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)8092-7005-18
mvidal@cadfem.de

InfoWebinare

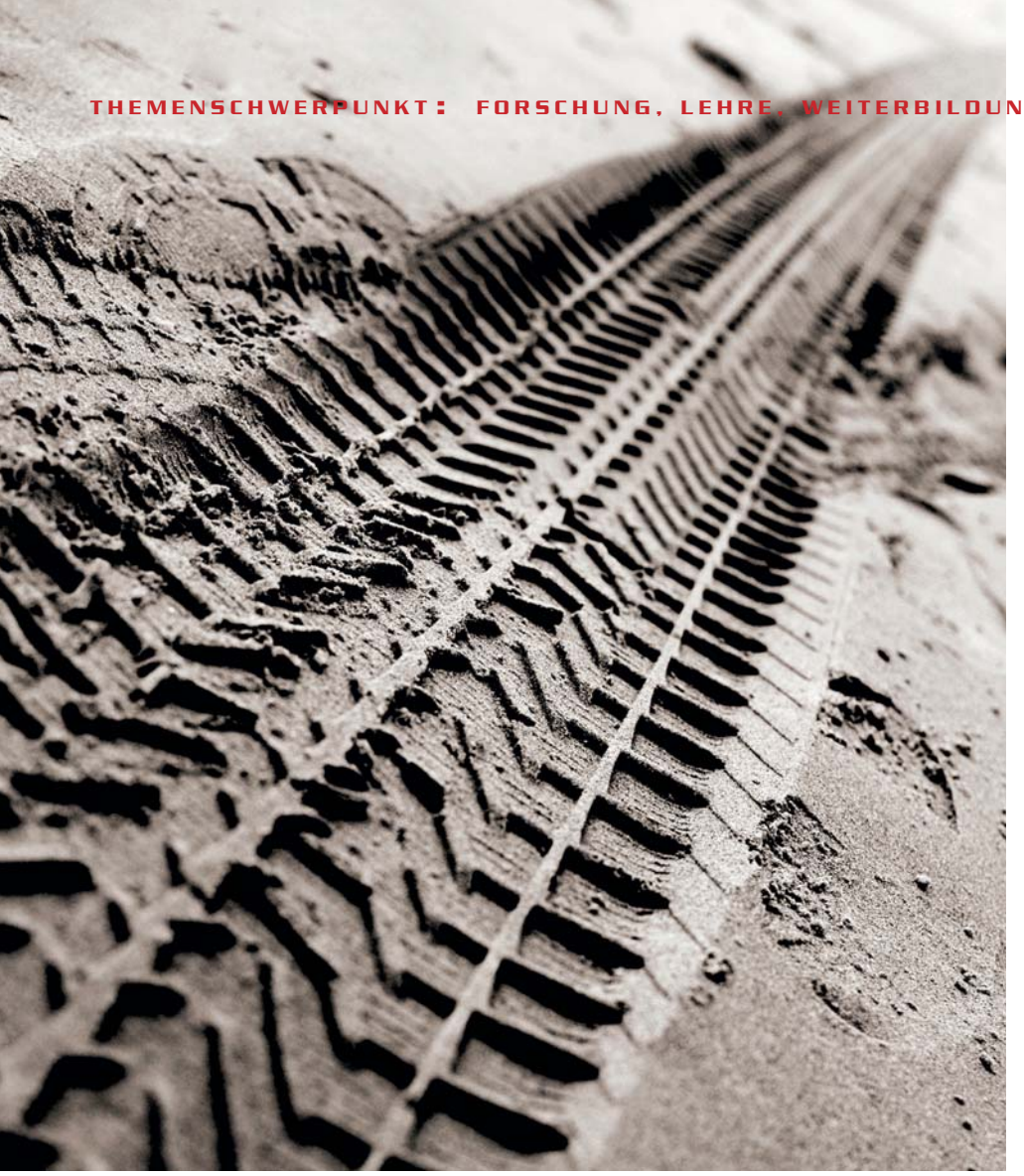
Nichts dem Zufall überlassen:
optiSlang inside ANSYS Workbench
www.cadfem.de/webinare

InfoVeranstaltungshinweise

9. Weimarer Optimierungs- und Stochastiktage 2012
29. – 30. November 2012 in Weimar
www.dynardo.de/wost

DFX-Symposium 2012 in Bamberg
4. – 5. Oktober 2012 in Bamberg
www.dfx-symposium.de

FAU FRIEDRICH-ALEXANDER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG
KT mfk
www.mfk.uni-erlangen.de



Elektrische Antriebe im Teillastbetrieb:
Wirkungsgradoptimierung der Leistungselektronik

Verlust-minimierung

Speziell bei Elektrofahrzeugen ist es besonders wichtig, dass der Traktionsantrieb bei optimalem Wirkungsgrad betrieben wird, da die Reichweite bzw. die Kosten der Batterie davon abhängen. Nachdem der Traktionsantrieb fast ausschließlich in Teillast betrieben wird, ist die Energieeffizienz in diesem Betriebsbereich zu steigern. Für die Leistungselektronik kann dies erreicht werden, indem die stromführende Chipfläche der Transistoren während des Betriebs variiert wird. Dadurch wird die Verlustenergie in der Leistungselektronik im realistischen Fahrzyklus um etwa 16 % reduziert.

Die Energieeffizienz elektrischer Antriebe gewinnt zunehmend an Bedeutung. Dies gilt nicht nur für stationäre Anwendungen wie Pumpen, Lüfter und Windkraftanlagen, sondern auch für Elektrofahrzeuge. All diese Anwendungen haben gemeinsam, dass sie fast ausschließlich in Teillast betrieben werden. Bei der elektrischen Maschine kann die Energieeffizienz in Teillast gesteigert werden, indem konzentrierte Wicklungen anstatt verteilter Wicklungen verwendet werden [1], [2], [3], [4]*. Dies hat wiederum direkte Wirkungsgradvorteile in der Leistungselektronik, da der Phasenstrom bei gleichen Anforderungen in der elektrischen Maschine mit konzentrierten Wicklungen geringer ausfällt [5]*. Außerdem kann die Leistungselektronik auf einen geringeren maximalen Phasenstrom ausgelegt werden, wodurch eine weitere Steigerung des Wirkungsgrads der Leistungselektronik erreicht wird [5], [6]*. Um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten, wird im Folgenden ein Traktionsantrieb für Elektrofahrzeuge betrachtet. Die Überlegungen sind jedoch auf vielfältige Applikationen übertragbar.

Aufbau der Leistungselektronik für Traktionsantriebe

Die Leistungselektronik eines Traktionsantriebs besteht typischerweise aus einer B6-Brücke mit sechs IGBT-Schaltern und antiparallelen Dioden. Jeder IGBT-Schalter und jede Diode sind aus mehreren diskreten Chips aufgebaut, die parallel geschaltet sind. Über einen gemeinsamen Treiber je IGBT-Schalter werden alle IGBT-Chips synchron ein- und ausgeschaltet (Standardansteuerverfahren). Die relevanten Verluste in den Chips können in Durchlass- und Schaltverluste gegliedert werden. Erstere entstehen, da die Leistungshalbleiter im leitenden Zustand über eine Diodenkennlinie charakterisiert werden, die durch eine Schwellspannung und einen differentiellen Widerstand approximiert wird. Dieser differentielle Widerstand und damit auch der entsprechende Verlustanteil nehmen mit steigender Anzahl an parallel geschalteten Chips ab. Dagegen nehmen die Schaltverluste mit steigender Anzahl an parallel geschalteten Chips zu [6]*.

Steigerung des Wirkungsgrades in Teillast

Diese konträre Korrelation zwischen der Anzahl an parallel geschalteten Chips und beiden Verlustanteilen lässt sich nutzen, um

Bild: michaket/shutterstock.com

den Wirkungsgrad der Leistungselektronik in Teillast zu verbessern. Dazu wird die Anzahl an parallel geschalteten Chips je IGBT-Schalter während des Betriebs in Abhängigkeit vom aktuellen Lastpunkt des elektrischen Antriebs variiert. Dies lässt sich realisieren, indem die Anzahl an stromführenden IGBT-Chips über die Gate-Signale geändert wird (Bild 1). Allerdings kann damit nicht die Anzahl an stromführenden Dioden-Chips modifiziert werden. Die Festlegung der Anzahl an stromführenden IGBT-Chips erfolgt anhand eines Algorithmus, so dass minimale Gesamtverluste in der Leistungselektronik entstehen.

Auswirkungen auf den elektrischen Antriebstrang

Um die Effizienz dieses Verfahrens zu quantifizieren, wird analog zum Vorgehen der Maschine ein Modell der Leistungselektronik aufgebaut, das die Verluste analytisch anhand der Parameter in den Datenblättern der Leistungshalbleiterbauelemente bestimmt [7], [8]*. Die Verluste werden an ein thermisches Modell der Leistungselektronik weitergegeben, um die Temperatur der Leistungshalbleiter zu bestimmen. Zur Analyse der entsprechenden thermischen Parameter sind FEM-Berechnungen geeignet. Um den typischen Gebrauch eines Traktionsantriebs eines Elektrofahrzeugs abzubilden, wird im Folgenden der praxisnahe Fahrzyklus Artemis Road verwendet.

Im Bild 2 sind die Verlustenergien (Integration der Verlustleistung) der Standardleistungselektronik und der verlustleistungsoptimierten Leistungselektronik jeweils für die Standardmaschine und für die verlustleistungsoptimierte Maschine über den Fahrzyklus aufgetragen. Für beide Maschinen wird eine Verlustleistungsreduktion in der Leistungselektronik mit dem Verfahren der Variation der IGBT-Chipfläche gegenüber dem Standardansteuerverfahren von etwa 16 % bzw. 17 % erreicht.

Nachdem sich zwar die Verluste reduzieren lassen, jedoch diese meist auf einer kleineren Fläche gegenüber dem Standardansteuerverfahren generiert werden, nimmt die Temperaturzyklisierung zu, was sich auf die Lebensdauer negativ auswirkt [9]*. Beim Elektrofahrzeug sind zwar die Verluste von großem Interesse, jedoch ist deren Auswirkung auf die in der Batterie zu speichernde Energie entscheidend. Dazu werden im Bild 3 die Verluste des Standardantriebs, der aus dem Standardmotor und einer Standardleistungselektronik besteht, mit den Verlusten des verlustleistungsoptimierten Antriebs verglichen, der aus der Maschine mit konzentrierten Wicklungen und der verlustleistungsoptimieren Leistungselektronik besteht. Am Ende des Zyklus können die Verluste mit dem optimierten Antrieb um etwa 29 % reduziert werden. Der mittlere Wirkungsgrad über den Fahrzyklus steigt so von etwa 73 % auf 78 %. Im Bild 3 werden die Verluste in Relation zur aufgenommenen Energie gesetzt, die in der Batterie zu speichern ist. Insgesamt kann der Energieverbrauch um etwa 6 % reduziert werden. Diese Reduktion setzt sich nicht nur aus der Verringerung der Verluste, sondern auch aus der Erhöhung der zurückgespeisten Energie zusammen.

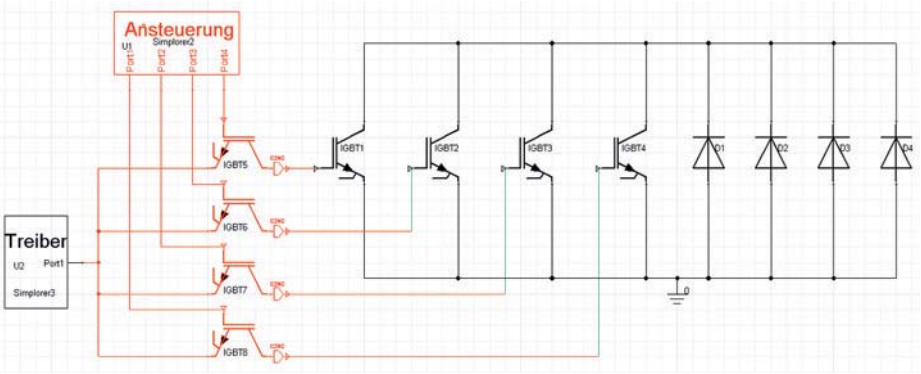


Bild 1: Aufbau eines IGBT-Schalters mit antiparallelen Diodenchips mit der Variation an stromführenden IGBT-Chips

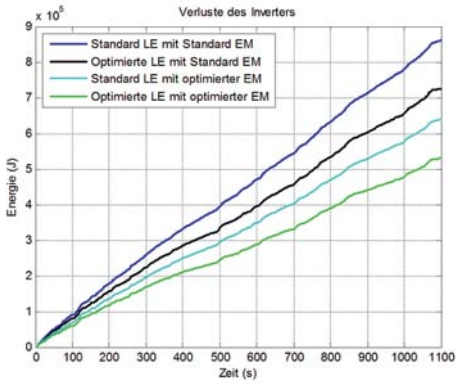


Bild 2: Kumulierte Energieverluste in der Leistungselektronik während des Fahrzyklus Artemis Road

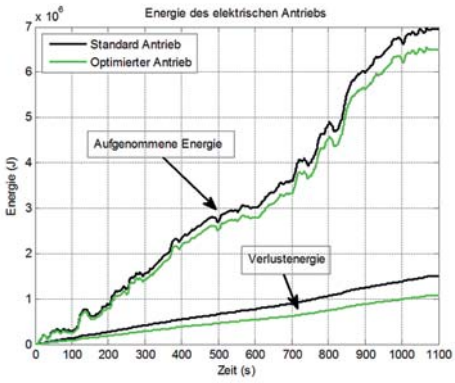


Bild 3: Kumulierte Energie des elektrischen Antriebs

Zusammenfassung und Ausblick

Da die meisten Antriebsapplikationen fast ausschließlich in Teillast betrieben werden, gilt es die Verluste in diesem Betriebsbereich zu reduzieren. Bei der Leistungselektronik lässt sich dies erreichen, indem die stromführende IGBT-Chipfläche während des Betriebes variiert wird. Die Verluste in der Leistungselektronik des Traktionsantriebes eines Elektrofahrzeugs im realistischen Fahrzyklus sind so um etwa 16 % reduzierbar. Für den optimierten Antrieb, der aus der verlustleistungsoptimierten Maschine und der optimierten Leistungselektronik besteht, bedeutet dies eine Reduktion der gesamten Antriebsverluste um etwa 29 %, was einer Reduktion der aufgenommen Energie um 6 % entspricht.

InfoAutor | CADFEM

Prof. Dr.-Ing Dieter Gerling,
Dipl.-Ing. Klaus Muehlbauer
Universität der Bundeswehr München
Lehrstuhl für Elektrische Antriebstechnik und Aktorik
Dipl.-Ing. Eva Knischourek, FEAAM GmbH, Neubiberg
Dieter.Gerling@unibw.de

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Udo Killat, CADFEM GmbH
Tel.+49 (0)8092-7005-23
ukillat@cadfem.de

InfoLiteratur

* www.cadfem.de/infoplaner

EAA Lehrstuhl für Elektrische Antriebstechnik und Aktorik
Chair of Electrical Drives and Actuators
der Bundeswehr Universität München
www.unibw.de/EAA

Interdisziplinäres Forschungsprojekt zur Optimierung von Prothesenschäften

Virtuelle Anprobe von Prothesen-schäften

Bild 1: Druckspannungsvergleich zwischen Simulation und Messung.

Für das Wohlbefinden von Amputationspatienten, die mit einer Prothese leben müssen, hat der Prothesenschaft eine entscheidende Bedeutung: Hier werden der menschliche Körper und die Prothesenkonstruktion miteinander verbunden. Trotz hohem Aufwand für Herstellung und Anpassung des Schaftes, lassen sich Komplikationen vielfach nicht vermeiden. Im Forschungsprojekt C.O.P.K.O. wird versucht, die Passform von Prothesenschäften durch Simulationsmethoden zu verbessern.

Trotz verbesserter Prävention und Behandlung von Risikofaktoren lag die Zahl der Neuamputationen in den letzten Jahren konstant hoch bei etwa 85.000 Fällen pro Jahr. Große Fortschritte bei der prothetischen Versorgung wurden vor allem bei den Gelenkkomponenten der Prothese erzielt. Der wichtigste Teil einer Prothese ist jedoch der Prothesenschaft, denn er ist ihre Verbindungsstelle mit dem Amputationsstumpf, d.h. mit dem menschlichen Körper. Von herausragender Bedeutung bei der Versorgung von Amputationspatienten ist daher die Konstruktion einer passgenauen Prothesenschaftform.

Die Herstellung und Anpassung des Prothesenschaftes erfolgt weitgehend in Handarbeit durch den Orthopädietechniker: Über einen Gipsabdruck bzw. Vermessung des Amputationsstumpfes mit anschließender Zweckformmodellierung wird ein Positivmodell des Schaftes erstellt. Darüber wird im Tiefziehverfahren ein aus thermoplastischem Kunststoff bestehender Testschaft gefertigt. Dieser wird bei der Anprobe solange modifiziert, bis sich ein akzeptables Tragegefühl einstellt und die Passform aus orthopädietechnischer, medizinischer und biomechanischer Sicht als korrekt bewertet wird. Dieser empirische Bearbeitungsprozess kann sehr langwierig sein und erfordert viel Erfahrung und Geschick des Technikers. Jede suboptimale Modifikation zieht eine weitere Iterationsschleife nach sich, so dass man sehr häufig nicht mit einem Testschaft auskommt.

Trotz der Anfertigung zahlreicher Testschäfte, die an sich schon einen hohen Material- und Arbeitsaufwand erzeugen, schätzen Experten, dass circa 60 % der Versorgungen nicht den Qualitätskriterien entsprechen. Dies führt bei Patienten nicht selten zu sekundären Krankheitserscheinungen oder Druckstellen, die eine Neuanpassung des Schaftes erfordern.

Forschungsprojekt C.O.P.K.O.

Ziel des Forschungsprojektes C.O.P.K.O. (Computerunterstützte Optimierung der Prothesenschaftkonstruktion in der Orthopädietechnik) ist es, einen Weg zu finden, um das „Anziehen“ eines Prothesenschaftes an einem Amputationsstumpf zu simulieren. Dabei sollen die Einflüsse einer Prothese numerisch ausgewertet und eine computergestützte Schaftoptimierung für die Anpassung der Prothese an den Patienten erforscht werden. Erreicht werden soll dies mit Hilfe von FEM-Simulationen der Weichteildeformierung und der Interaktionskräfte zwischen dem Amputationsstumpfmodell und dem geplanten Prothesenschaftmodell.

Die Forschungspartner des Projektes sind die Klinik und Poliklinik für Plastische- und Handchirurgie und die Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, die beide zum Klinikum

Bilder: CAPS/TU München

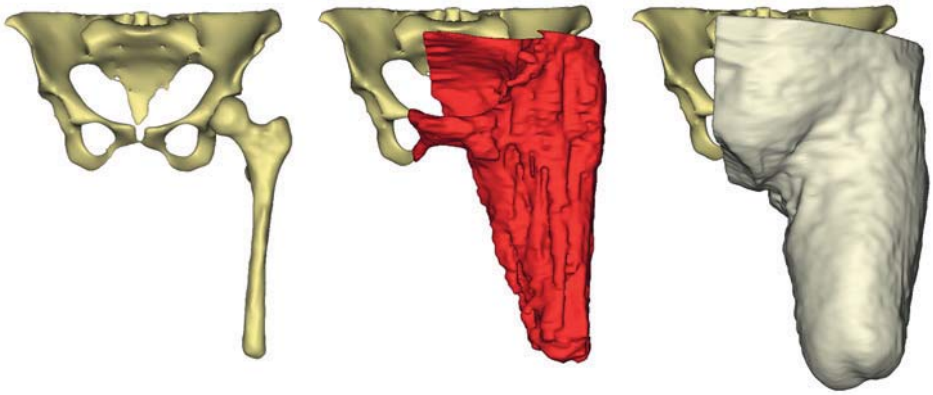


Bild 2: Segmentierte Geometrie mit Knochen-, Muskel- und Fettgewebe.

rechts der Isar der Technischen Universität München gehören. Als industrielle Partner sind die CADFEM GmbH, die F. Gottinger Orthopädietechnik GmbH und die Materialise GmbH an C.O.P.K.O. beteiligt. C.O.P.K.O. wird von der Bayerischen Forschungsstiftung (AZ-809-08) gefördert.

Ziele von C.O.P.K.O.

1. Optimierte Prothesenschäfte und weniger Nebenwirkungen

Während bei der herkömmlichen Herstellung immer nur eine Schaftform per Anprobe beim Patienten bewertet wird, können über eine computergestützte Optimierung Hunderte von Schaftvarianten unmittelbar nacheinander „virtuell anprobiert" werden. Man kann davon ausgehen, dass passende Schäfte in wesentlich kürzerer Zeit ermittelt werden.

2. Reproduzierbare und wirtschaftliche Versorgungsqualität

Die auf Erfahrung basierende Gestaltung des Schaftes ist nur bedingt wiederholbar. Ergebnisse und Qualität bei vergleichbaren Stumpfverhältnissen variieren demnach stark. Die Folge sind hohe und teure Fehlversorgungsraten. Diese können durch eine Schaftmodellierung auf Basis eines gegebenen Stumpfmodells und die objektive Bewertung durch Simulation vermieden werden.

3. „Virtuelle Anprobe" ohne den Patienten.

Da bei der konventionellen Schaftgestaltung gerade die ersten Modelle optimiert werden müssen, kann die Anprobe am Anfang der Versorgung für den Amputierten eine belastende Situation darstellen. Eine „virtuelle Anprobe" ohne die Anwesenheit des Patienten wäre somit sehr wünschenswert.

Bild 3: Die vernetzte Geometrie (Knochengewebe); zwischen Pelvis und Femur wurde ein Gelenk definiert.

Enge Kooperation

Um diese Ziele zu erreichen, ist eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit notwendig. Die medizinische und technische Kompetenz ist durch die Vielfalt der Projektpartner gewährleistet. „Schnittstelle" zwischen Simulationstechnik und Chirurgie ist Alexander Volf, der am Projekt beteiligt und jeweils zu 50 % bei CADFEM und bei der Forschungsgruppe CAPS des Klinikums rechts der Isar angestellt ist.

Vorgehensweise

Um die Weichteildeformationen am Amputationsstumpf mit FEM zu simulieren, wird als Eingangsgröße die genaue Geometrie des Stumpfes, der Muskelmasse und der Knochen im Stumpf benötigt. Dafür werden MRT-Aufnahmen erstellt. Da dies liegend erfolgt, wird der Stumpf durch die Auflagefläche zunächst stark deformiert, was mit Hilfe eines Oberflächenscans im Stehen und eines vereinfachten FEM-Modells zurückgerechnet wird.

Die aus der Rückrechnung gewonnene Geometrie des Muskels wird zusammen mit dem Oberflächenscan zur Erstellung eines genauen biomechanischen Modells des Stumpfes eingesetzt. Mit diesem Modell kann dann eine „virtuelle Anprobe" durchgeführt, indem unterschiedliche Schaftvarianten simuliert werden. Das Ergebnis einer solchen Simulation ist die Druckverteilung am Stumpf für eine gegebene Schaftgeometrie. Diese kann nun am Bildschirm optimiert werden, bis eine definierte Druckverteilung, die einen guten Tragekomfort gewährleistet, erreicht wird.

Erste Ergebnisse

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde ein breites Probandenkollektiv retrospektiv untersucht. Dem MRT und dem Oberflächenscan folgten eine Ganganalyse und Druckmessungen im Schaft. Mit Hilfe dieser Daten wurden Modelle der Biomechanik des Stumpfes entwickelt, die sehr genaue Vorhersagen der Druckverhältnisse im Schaft ermöglichen.

Dieses Modell wurde dann bei einer kleineren Gruppe von Patienten prospektiv validiert. Es hat sich gezeigt, dass die Simulation die Biomechanik des Stumpfes gut vorhergesagt hat. Die ersten erstellten Schaftgeometrien lassen auf gute weitere Ergebnisse hoffen.

Bei einigen Patienten ist es gelungen, direkt eine Ausgangsbasis zu schaffen, die dem konventionell erstellten Schaft, welcher über einen langen Zeitraum optimiert wurde, nicht nachstand bzw. sogar übertraf.

InfoAutor | CADFEM

Alexander Volf, CADFEM GmbH und Klinikum rechts der Isar

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Christoph Müller, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)8092-7005-43
cmueller@cadfem.de

InfoSeminar

Finite-Elemente-Simulation für Biomechaniker und Mediziner
27. – 28. September 2012 in Aadorf (CH)
19. – 20. November 2012 in Grafing b. München
www.esocaet.com/seminare

TUM TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
COMPUTER AIDED PLASTIC SURGERY
www.caps.me.tum.de

Konduktive Erwärmung von Formplatinen

Heißes Eisen

Crashrelevante Karosseriebauteile werden vermehrt durch Presshärten gefertigt. Traditionelle Erwärmungsanlagen erfordern allerdings einen hohen energetischen Aufwand und viel Platz. Eine Alternative dazu ist die konduktive Erwärmung der Platinen über Elektroden.

Diese hat sich bereits bei rechteckigen Platinenzuschnitten bewährt, bei Formplatinen stellt sich jedoch die inhomogene Temperaturverteilung als Herausforderung dar. In einem Forschungsprojekt hat das Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz-Universität in Hannover gemeinsam mit CADFEM und anderen Industrieunternehmen ein Verfahren entwickelt, um eine gleichmäßige Erwärmung zu erreichen.

Im Rahmen des automobilen Karosserieleichtbaus kommen zunehmend Stahlfeinbleche mit erhöhten Festigkeiten zum Einsatz. Besonders für crashrelevante Bauteile wird eine möglichst hohe Festigkeit gewünscht. Ein Herstellungsverfahren, das dies ermöglicht, ist das Presshärten. Dabei wird der Umformvorgang mit einer Wärmebehandlung in einem Prozess kombiniert. Die Zuschnitte werden dazu zunächst bis zur vollständigen Austenitisierung auf 950 °C erwärmt und anschließend im gekühlten Werkzeug umgeformt und gehärtet. Neben einer guten Umformbarkeit sind sehr hohe Bauteilfestigkeiten, eine geringe Rückfederungsneigung und eine hohe Maßhaltigkeit realisierbar.

Die Erwärmung der Platinen für das Presshärten erfolgt im industriellen Einsatz in der Regel in bis zu 40 Meter langen Ofenstraßen durch Konvektion, Wärmestrahlung und -leitung. Dies ist mit erheblichem Anlagenaufwand und Hallenplatzbedarf verbunden. Eine gute Alternative hierzu bietet die konduktive Erwärmung. Dabei werden Elektroden an die Platine angelegt, die diese über einen Stromfluss erwärmen. Neben großen Einsparungen von Energie- und Investitionskosten liegen die wesentlichen technologischen Vorteile in der sehr kurzen Erwärmungszeit von ca. 20 Sekunden, einer Verringerung von Zunderbildung bei unbeschichteten Blechen sowie einer Steigerung der Bruchdehnung der Bauteile bei gleichbleibender Festigkeit. Nachdem eine Erwärmung für rechtecknahe Zuschnitte, z. B. für Türaufprallträger oder Bumper bereits am IFUM realisiert wurde, stellt die Erwärmung von Formplatinen (z. B. für B-Säulen) aufgrund des inhomogenen Stromflusses und der damit verbundenen inhomogenen Erwärmung eine große Herausforderung dar.

Diese Thematik wird am IFUM in dem laufenden Projekt AiF16248N der industriellen Gemeinschaftsforschung bei der Europäischen Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. in Zusammenarbeit mit CADFEM, verschiedenen OEMs der Automobilindustrie und anderen Unternehmen untersucht.

Das Erwärmungskonzept

Bei einer rechtecknahen Platine, die mit zwei Elektroden kontaktiert wird, stellt sich eine homogene Spannungsverteilung ein, woraus sich eine homogene Erwärmung ergibt, vgl. Bild 1. Bei einer Formplatine fließt der Strom bei einer vergleichbaren Kontaktierung den Weg des geringsten Widerstands, woraus eine inhomogene Spannungsverteilung und damit auch eine inhomogene Erwärmung resultieren. Diese Inhomogenität führt dazu, dass einzelne Bereiche in der Platine überhitzen und aufschmelzen, während andere fast vollständig kalt bleiben.

Die Lösung bietet das folgende Konzept, bei dem die Formplatine durch Verwendung mehrerer Elektroden in rechtecknahe und trapezförmige Bereiche aufgeteilt wird, hier am Beispiel des Zuschnitts einer B-Säule. Während die rechtecknahen Bereiche konventionell erwärmt werden, muss in dem trapezförmigen Bereich durch eine treppenförmige zusätzliche Kontaktierung eine homogene Spannungsverteilung erzwungen werden, aus der dann die homogene Erwärmung resultiert.

Die numerische Auslegung

Konstruktionsbegleitend wurden FE-Simulationen zur Anlagenauslegung mit ANSYS durchgeführt und die konduktive Widerstandserwärmung für den Formzuschnitt ausgelegt. Hierbei wurden der notwendige Energiebedarf der Anlage, die

Bild: TDHster/shutterstock.com

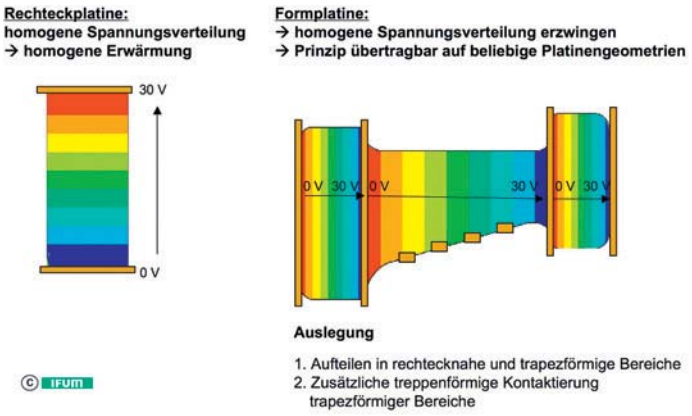


Bild 1: Erwärmungskonzept

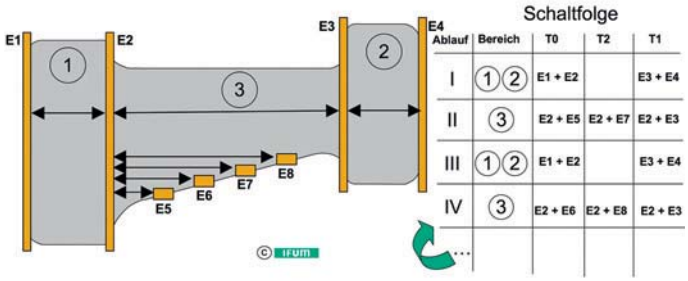


Bild 2: Schaltfolge der Elektroden

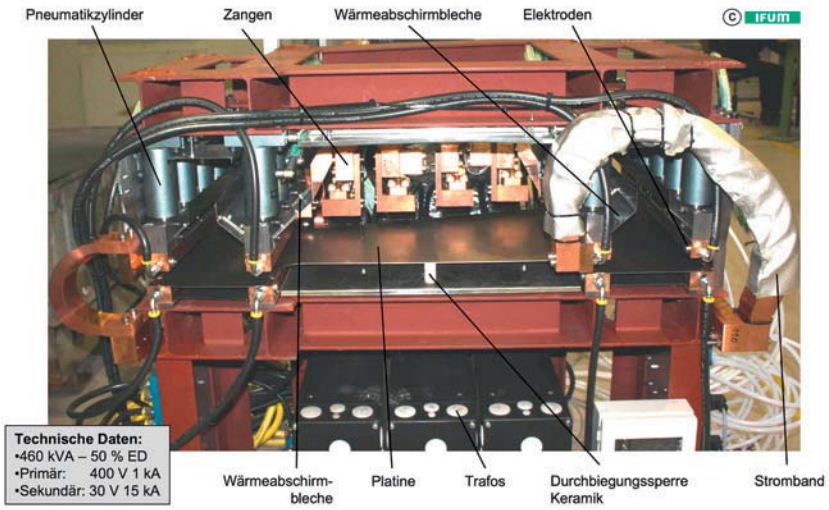


Bild 3: Anlage zum konduktiven Erwärmen von Formplatinen

Elektrodenanzahl, die Elektrodenlayouts und die Ansteuerungszeiten zur Erreichung der homogenen Temperaturverteilung im ausgewählten Formzuschnitt berechnet. Dazu wurde der Platinenzuschnitt als FE-Modell modelliert und die Elektroden als Randbedingungen aufgebracht. Sowohl die interne Kühlung der Elektroden als auch die kontaktdruckabhängige Einbringung des Stroms während der Erwärmungssimulationen wurden dabei berücksichtigt. Ziel war es, mit möglichst wenigen Elektroden eine schnelle und homogene Erwärmung zu ermöglichen. Aufgrund der komplexen Geometrie werden einzelne „Hot Spots", in denen die Temperatur gegenüber anderen Gebieten deutlich erhöht ist, toleriert und in der späteren Praxis mittels Luftkühlung unterdrückt. In den Simulationen hat sich herausgestellt, dass für den Zuschnitt einer B-Säule eine Anlage mit drei Erwärmungsbereichen und einer Treppenanordnung im Mittelbereich die praktikabelste Lösung ist.

Die Anlagentechnik

Die drei Erwärmungsbereiche können nicht gleichzeitig erwärmt werden, da sie sich gegenseitig elektrisch beeinflussen würden. Daher werden die Bereiche sukzessive geschaltet (Bild 2), bis in allen Bereichen die Zieltemperatur von 950° C erreicht ist. Das Zuschalten erfolgt durch das Zustellen der jeweiligen Elektroden von oben über Pneumatikzylinder. In den Schaltpausen erfolgt die mechanische Entspannung der Platine, die sich durch die Erwärmung ausdehnt.

Die vollständige Anlage ist in Bild 3 dargestellt. Für die drei Erwärmungsbereiche existieren drei Regelkreise, jeweils bestehend aus Regler, Trafo mit Tyristorleistungsregelung, Sekundärstromkreis durch die Platine (30 V, bis 15 kA) und Ist-Temperaturerfassung mittels Pyrometer. Die einzelnen Regelkreise sowie das pneumatische Zustellen der Elektroden erfolgen per SPS, die durch einen PC bedient wird. Hier kann der Benutzer auf einer Bedienoberfläche die Arbeitsabfolge festlegen und die Erwärmungsdaten protokollieren. Die Stromführung auf der Primärseite der Trafos erfolgt mit flexibler Leitung zum Schaltschrank, die die Anlage mobil einsetzbar macht. Die Stromführung auf der Sekundärseite erfolgt über massive Stromschienen und im Bereich der beweglichen Elektrodenanbindung durch flexible Strombänder. Die Elektroden sind wassergekühlt und so klein konstruiert, dass die Bereiche unter den Elektroden, die quer über die Platine laufen, durch Wärmeleitung in schnellster Zeit nachwärmen. Zum Schutz der Anlagenkomponenten vor der Strahlungswärme der Platine sind allseitig Wärmeabschirmbleche montiert.

Aktuelle Arbeiten und Ausblick

Derzeit läuft die Inbetriebnahme der Anlagentechnik am IFUM. Im Anschluss daran werden Presshärteversuche am Beispiel der B-Säule unternommen. Hier soll dezidiert der Unterschied der Bauteilqualität zwischen konventioneller Erwärmung im Ofen und konduktiver Erwärmung untersucht werden. Neben der erwarteten verbesserten Duktilität und reduzierten Zunderbildung, gilt es auch das Gefüge im Bereich der Elektrodenauflage genau zu untersuchen.

InfoAutoren

Prof. Dr.-Ing. B.-A. Behrens, Dr.-Ing. S. Hübner, Dr.-Ing. A. Bouguecha, J. Schrödter, Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM), Leibniz Universität Hannover

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Tobias Menke, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)511-39 06 03-20
tmenke@cadfem.de

Leibniz Universität Hannover
IFUM
www.ifum.uni-hannover.de

European School of CAE Technology

esocaet - CAE-Weiterbildung bei CADFEM

Unter dem Arbeitstitel „European School of Computer Aided Engineering Technology“ – kurz esocaet – entstand im Jahr 2004 aus einem von der EU geförderten Projekt der berufsbegleitende Masterstudiengang „Applied Computational Mechanics“. Beteiligt an dem Projekt waren neben CADFEM die Fachhochschulen Landshut und Ingolstadt sowie internationale Partner. Zusätzlich zur Etablierung des Masterstudiengangs, bei der CADFEM die Bedeutung des dualen Studiums frühzeitig erkannt hat, wurde das esocaet-Konzept in den letzten Jahren durch weitere berufsbegleitende Bildungsangebote ergänzt und hat sich damit zu einem eigenen Geschäftsbereich von CADFEM entwickelt.

In den Weiterbildungsangeboten von esocaet wird einerseits ein fundiertes theoretisches und methodisches Wissen vermittelt, andererseits ist die Praxisorientierung ein grundlegendes Fundament des Ausbildungskonzeptes. esocaet sieht sich als Bindeglied zwischen Industrie und Hochschulen, denn das vermittelte Wissen soll konkrete Unterstützung im jeweiligen Arbeitsalltag bieten, unabhängig davon, welche Software im Einsatz ist.

Zum Angebot von esocaet gehören heute:

- CAE-Seminare
- e-Learning
- Berufsbegleitendes CAE-Masterstudium
- CADFEM Forum
- Unterstützung der MINT-Initiative für Schüler
- Sommerschule für Doktoranden

Der Einstieg in die Simulation: eFEM für Praktiker

Der Kurs eFEM für Praktiker vermittelt ein **Grundverständnis für die Finite-Elemente-Methode (FEM)** und befähigt die Teilnehmer entsprechende **Simulationen selbst durchzuführen**. Die berufsbegleitende, dreimonatige Weiterbildung ist nach dem Konzept des so genannten **Blended Learning** aufgebaut. Sie besteht hauptsächlich aus **e-Learning-Modulen**, wobei die Teilnehmer weitestgehend selbst bestimmen können, wann und wo sie lernen wollen – am Arbeitsplatz oder daheim. Um die Lernfortschritte der einzelnen Teilnehmer konsequent zu begleiten, enthält der Kurs drei **Präsenzseminare** am Anfang, in der Mitte und zum Abschluss des Kurses. Außerdem finden **regelmäßige Online-Sprechstunden** statt, in denen sich die Teilnehmer mit dem Tutor und den anderen Kursteilnehmer austauschen und Fragen stellen können. Zusätzlich erhalten die Teilnehmer vom Tutor eine Beurteilung zu den von ihnen eingereichten Aufgaben.

Zukünftig sollen weitere **e-Learning-Angebote** die bisherigen Kurse ergänzen. Im Jahr 2011 wurde der Kurs **eFEM für Praktiker auch in Indien** abgehalten. In Indien sind neben diesen Weiterbildungsaktivitäten auch verschiedene Seminare im Angebot. Zusätzlich will esocaet im nächsten Jahr in Nordafrika Weiterbildungen im Bereich der Simulationstechnologien anbieten.

Weitere Informationen unter www.esocaet.com/eFEM

Ansprechpartner

Anja Vogel, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0) 8092/7005-52
E-Mail avogel@esocaet.com

Berufsbegleitender Masterstudiengang

Während des zweijährigen, englischsprachigen Studiums **„Applied Computational Mechanics“** wird den Studierenden aus den verschiedensten Ländern, die mindestens ein Jahr einschlägige Berufserfahrung vorweisen müssen, in **komprimierten Präsenzblöcken** umfassendes Simulationswissen vermittelt. Dadurch können sie Beruf und Studium miteinander verbinden und zusätzlich eigene Problemstellungen aus ihrem Berufsalltag in das Studium einbringen. Nicht nur die **Hochschuldozenten** aus Ingolstadt und Landshut, sondern auch weitere hochkarätige Lehrkräfte aus anderen Hochschulen und Universitäten sowie anerkannte **CAE-Spezialisten aus unterschiedlichen Industriebranchen** garantieren eine qualifizierte Ausbildung in **kleinen Gruppen mit internationaler Besetzung**.

Insgesamt bietet der von esocaet organisierte Masterstudiengang viele simulations- und technologieorientierte Themen – aber auch Managementhemen – die in der Kombination an anderen Hochschulen und Universitäten nicht gelehrt werden. Davon profitieren auch die Unternehmen, in denen die Studierenden arbeiten, denn die **Absolventen sind bestens ausgebildet**, um international Positionen als **qualifizierte CAE-Spezialisten** und Projektmanager zu übernehmen.

Da in vielen Ländern diese Art der praxisorientierten Hochschulausbildung nicht angeboten wird, soll auch im Ausland mit dem Aufbau eines entsprechenden Angebotes begonnen werden. Unterstützt durch die Förderung des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit startet esocaet nun mit der **Etablierung von entsprechenden Masterstudiengängen in Indien und Malaysia**. Aber auch andere Länder sind an einem solchen Weiterbildungskonzept interessiert.

Weitere Informationen unter **www.esocaet.com/studium**

Internationalisierung der Hochschulen

»Wir brauchen dringend eine Gesamtstrategie, um die Internationalisierung an unseren Hochschulen voranzutreiben«, betonte Professor Randolf Rodenstock, Initiator des Aktionsrat Bildung.

(Quelle: dpa, 28.06.2012)

Das Angebot von esocaet reicht von der Unterstützung von Schülerprojekten, die eine praxisnahe Einführung in die Welt der numerischen Simulation ermöglichen, bis zum zweijährigen berufsbegleitenden Masterstudium.

Simulation braucht lebenslanges Lernen

Zu dem Weiterbildungsangebot von esocaet im deutschsprachigen Raum gehören aber auch diverse technologieorientierte **Seminare**, zum Beispiel zu den Themen Qualitätsmanagement und Produkthaftung. Ferner werden immer wieder **aktuelle Themen** aufgegriffen, unter anderem die Elektromobilität sowie eine umweltorientierte Produkt- und Prozessoptimierung. Die einwöchigen **Sommerschulen für Doktoranden** ermöglichen einen intensiven Erfahrungsaustausch und informieren detailliert über den praktischen Einsatz von Simulations-Software im jeweiligen Anwendungsgebiet. Um auch Schülern schon die Simulationstechnologien näher zu bringen, wurde von CADFEM im letzten Schuljahr unter anderem ein einjähriger Projektkurs im Grafinger Gymnasium betreut. In diesem Jahr erhalten Schüler aus Herzogenaurach und aus der Europaregion „Salzburger Land – Berchtesgaden – Traunstein“ Unterstützung von esocaet. Schließlich sei noch das seit 2007 durchgeführte **CADFEM Forum** (ehemals CAE-Forum) genannt, das in diesem Jahr zum 10. Mal durchgeführt wird und den Teilnehmern umfassende Diskussionsmöglichkeiten bietet.

Weitere Informationen zum CADFEM Forum finden Sie auf Seite 34/35 und unter **www.esocaet.com/cadfem-forum**

Erfahrungen mit CAE-Berechnungen in Low-Cost-Regionen

Das 9. CADFEM Forum (ehemals CAE Forum) widmete sich im Juni 2012 dem Thema: „Zusammenarbeit mit Low-Cost CAE-Dienstleistern - Status nach einer Dekade“. Unter der Leitung von Prof. Sandro Wartzack (Friedrich-Alexander-Universität in Erlangen-Nürnberg) und der Co-Moderation von Dieter Hummel (Astrium Space Transportation GmbH) trafen sich rund 25 Interessierte von Herstellerfirmen, Zulieferern und Dienstleistungsunternehmen, um ihre Erfahrungen auszutauschen. Anhand von fünf Impulsvorträgen aus verschiedenen Firmen entstand eine angeregte Diskussion.

Im ersten Jahrzehnt des neuen Jahrhunderts wurden von vielen deutschen Unternehmen sowohl Fertigungs- als auch Entwicklungskapazitäten in Indien aufgebaut. Dabei lagen die Beweggründe der Unternehmensleitungen einerseits in den niedrigen Lohnkosten, andererseits aber auch in den sich dort entwickelnden Absatzmärkten. Diese Einschätzung wurde nicht nur von den Impulsvortragenden des CADFEM Forums formuliert, sondern auch von vielen Teilnehmern aus dem Auditorium geteilt. Dadurch entstanden in den letzten zehn Jahren in Indien zusätzliche Engineering-Kapazitäten für Simulationsaufgaben, mit denen die globale Produktentwicklung der Unternehmen unterstützt wird. In der Diskussion zeigte sich, dass der Anteil indischer Berechnungsingenieure im Unternehmen eines Teilnehmers schon auf rund 50 Prozent der gesamten Berechnungskapazität angewachsen ist.

Enge Verzahnung der Teams

Bezüglich der organisatorischen Voraussetzungen wurde die einhellige Meinung vertreten, dass aufgrund der unterschiedlichen kulturellen Hintergründe eine enge Verzahnung der indischen Simulationsmitarbeiter mit dem deutschen Kernteam besonders wichtig sei. Beispielsweise reisen indische Ingenieure zu den firmeninternen Kunden in Deutschland, arbeiten sich dort in ein neues Projekt ein und führen es dann von Indien aus weiter. Außerdem muss ein gutes Maß an Koordination und Kontrolle vorhanden sein und entsprechende Kapazitäten dafür in Deutschland vorgehalten werden. In der Diskussion wurde immer wieder betont, wie wichtig enge persönliche Kontakte seien, um interkulturelle Unterschiede berücksichtigen zu können. Dazu werden neben gegenseitigen Besuchen auch Chat- und Screensharing-Tools genutzt, wöchentliche Telefonkonferenzen abgehalten und teilweise tägliche Abfragen über den aktuellen Bearbeitungsstatus in Indien gestartet.
Zwar muss für die Einbindung der indischen Kollegen ein erheblicher Koordinierungsaufwand geleistet und eine entsprechende Einarbeitungszeit einkalkuliert werden, jedoch kann dann auch eine spürbare Entlastung des deutschen Engineering-Teams realisiert werden. Beispielsweise wurde berichtet, dass dadurch in Deutschland mehr Zeit für komplexe Aufgaben wie explizite Berechnungen zur Verfügung steht. Die erfahrenen Simulationsingenieure wurden von Routinetätigkeiten befreit und konnten sich unter anderem mit der Einführung von effizienten, aber für sie neuen Berechnungsmethoden beschäftigen.

10. CADFEM Forum am 25. Oktober 2012 in Kassel

(im Rahmen der ANSYS Conference & 30. CADFEM Users‘ Meeting)

Automatisierung von CAE-Prozessen

Das 10. CADFEM Forum beschäftigt sich mit dem Thema „Automatisierung von CAE-Prozessen“ und unter anderem damit, ob die Automatisierung eine Alternative zur Einbindung von Low-Cost CAE-Dienstleistungen sein kann oder eher eine sinnvolle Ergänzung dazu.
Viele, sich ständig wiederholende Prozesse in der heutigen Industrie werden mit Computerunterstützung automatisiert. Dieses gilt auch für CAE-Anwendungen, da mehrere Vorteile dafür sprechen, denn die Automatisierung befreit die Mitarbeiter nicht nur von aufwändigen Routinetätigkeiten und bringt dadurch in der Regel eine Zeitersparnis.

Was vielleicht noch viel wichtiger ist, ist die Standardisierung von Routinen durch die Automatisierung, so dass Fehlerquellen reduziert und die Qualität erhöht werden kann. Genauso wie die Prozesse per Knopfdruck selbständig ablaufen, können Modelle und Ergebnisse auch per Knopfdruck geprüft werden. Hierzu stehen die unterschiedlichsten Programmiersprachen als Werkzeuge zur Verfügung.
Während des CADFEM Forums sollen hierzu anhand mehrerer Ansätze aus verschiedenen Firmen die unterschiedlichen Vorgehensweisen mit ihren Vor- und Nachteilen, Randbedingungen und Besonderheiten vorgestellt und diskutiert werden.

Fluktuation möglichst gering halten

Dieses Konzept funktioniert natürlich nur, wenn die Fluktuation bei den indischen Kollegen möglichst gering gehalten wird, was nicht immer einfach ist. Einige Forumsteilnehmer wussten von Fluktuationsraten von 30 Prozent und mehr zu berichten. Um diese gering zu halten, müssen neben der emotionalen Einbindung der indischen Mitarbeiter in das Unternehmen auch die Aufgaben, die nach Indien vergeben werden, dem steigenden Know-how der dortigen Mitarbeiter entsprechen. Dabei besteht die große Herausforderung, die Balance zwischen Motivationserhalt und totalem Know-how-Transfer zu wahren. Folglich sieht die gängige Praxis so aus, dass bestimmte komplexe Simulationsaufgaben in Deutschland bleiben und dort auch weiterentwickelt werden, um den technologischen Vorsprung zu wahren.

Grundsätzlich bestand bei den Forums-Teilnehmern darin Übereinstimmung, dass die kulturellen Unterschiede überwunden werden können, wenn die organisatorischen Rahmenbedingungen stimmen. Zwar sei der Erfolg nicht garantiert, aber er werde eintreten, wenn die Erfolgskriterien, die während der Diskussion im CADFEM Forum immer wieder genannt wurden, berücksichtigt werden.

Die Moderatoren und Vortragenden des 9. CADFEM Forums (v.l.n.r.): Thomas Resch (Brose Fahrzeugteile), Peter Seggewiß (KSPG AG), Sandro Wartzack (Universität Erlangen-Nürnberg), Günter Müller (CADFEM), Dieter Hummel (Astrium Space Transportation), Thomas Stark (Bauknecht/Whirlpool), Stephan Pitzing (Knorr-Bremse).

Schlüsselfaktor Weiterbildung

In einem abschließenden Impulsvortrag erläuterte Günter Müller von CADFEM, wie zum Beispiel indische Mitarbeiter während eines zweijährigen Aufenthalts in Deutschland umfassend weitergebildet und gleichzeitig mit der deutschen Unternehmenskultur vertraut gemacht werden können. Dazu lässt sich der von esocaet (European School of CAE Technology) angebotene, berufsbegleitende Masterstudiengang „Applied Computational Mechanics“ nutzen (siehe Seite 36 - 37).

So wurde ein indischer Mitarbeiter von Whirlpool für zwei Jahre ins deutsche Simulationsteam von Bauknecht integriert und absolvierte parallel das Masterstudium (siehe CADFEM Journal 2012/1, Seite V). Ein weiteres interessantes Konzept wurde von Bosch Siemens Hausgeräte (BSH) erfolgreich realisiert. Dabei waren indische Studenten des Studiengangs parallel als Praktikanten jeweils zwei Jahre bei BSH in Deutschland tätig und lernten die Simulationsprozesse grundlegend kennen. Nach ihrem Masterabschluss arbeiten die Ingenieure jetzt in Hyderabad als Mitarbeiter von CADFEM India für mindestens zwei Jahre in einem Outsourcing-Projekt exklusiv für BSH (siehe CADFEM Journal 2011/2, Seite IV - V). Neben der Simulationsausbildung in Deutschland können natürlich auch die Kapazitäten von CADFEM India genutzt werden, um die Mitarbeiter von Simulationsteams vor Ort zu schulen.

Weitere Informationen

www.esocaet.com/cadfem-forum

Ansprechpartner
Anja Höller, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0) 8092 7005 74
E-Mail ahoeller@esocaet.com

Den strukturmechanischen Horizont erweitern – Die Projektarbeit im Masterstudium

Das Curriculum des zweijährigen, berufsbegleitenden Master-Studienganges „Applied Computational Mechanics“ (ACM) legt neben den Kern-Fächern der numerischen Simulation einen weiteren Schwerpunkt auf die Vermittlung von Management-Kompetenzen. Die Projektarbeit während des dritten Semesters stellt den Mittelpunkt dieses Bereichs dar.

Welche Themen sind geeignet?

Das Thema der Arbeit wird von der Projektgruppe selbst gewählt. Unser Team, bestehend aus fünf Ingenieuren mit Tätigkeitsschwerpunkten in der Strukturmechanik, nutzte diese Gelegenheit zur Einarbeitung in die numerische und experimentelle Fluiddynamik.

Im Unterschied zur abschließenden Master-Thesis bietet das Projekt die Möglichkeit, in einer Gruppenarbeit alle wesentlichen Phasen eines realen Projektes aus dem CAE-Bereich „durchzuspielen“. Die Schwerpunkte liegen dabei auf dem Projekt-, Risiko-, Ressourcen- und Zeit-Management sowie der Zusammenarbeit der Team-Mitglieder untereinander und der Erweiterung der damit verbundenen Schlüsselqualifikationen.

Die fünf Mitglieder unseres Teams verfügten zu Beginn über nur geringe Erfahrungen im Bereich Strömungssimulation und wollten das Projekt als Chance zur Einarbeitung in diese Disziplin nutzen. Während ein Team-Mitglied für das Projektmanagement verantwortlich war, wurden die verbleibenden Arbeitsgebiete für den sechsmonatigen Zeitraum unter den anderen Teammitgliedern aufgeteilt. So konnten wir diverse, umfangreiche Aufgaben bewältigen: Literaturrecherche, Umwandlung der Scandaten in eine brauchbare CAD-Geometrie, Herstellung des Epoxid-Modells und Durchführung der Windkanal-Versuche sowie die eigentlichen numerischen Simulationen mit anschließendem Vergleich der Ergebnisse.

Quelle: I. Wyss

Ermittlung des Luftwiderstandbeiwerts für einen Aston Martin V8, Baujahr 1977 (oben), am Modell in Windkanal (rechts oben) und mittels numerischer Simulation (rechts unten)

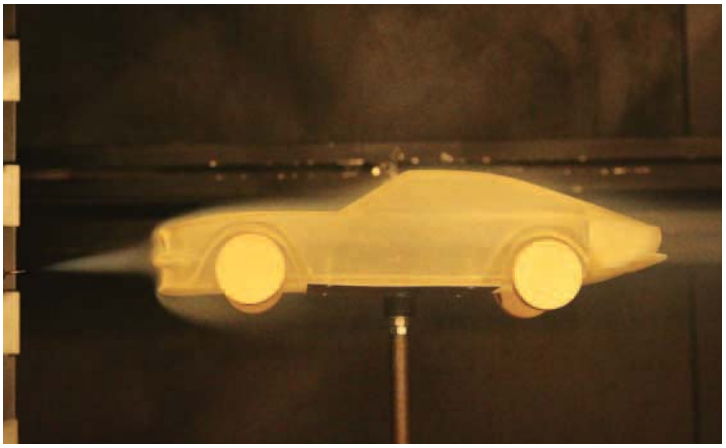
Die Teilnehmer des Masterprogramms können eigene Problemstellungen aus ihrem Berufsalltag in das Studium einbringen und mit Experten diskutieren. Im Rahmen der abschließenden Master-Thesis vertiefen sie ausführlich ein individuell gewähltes Thema, oft aus ihren Firmen. In den letzten Jahren entstanden beispielsweise die folgenden Arbeiten:

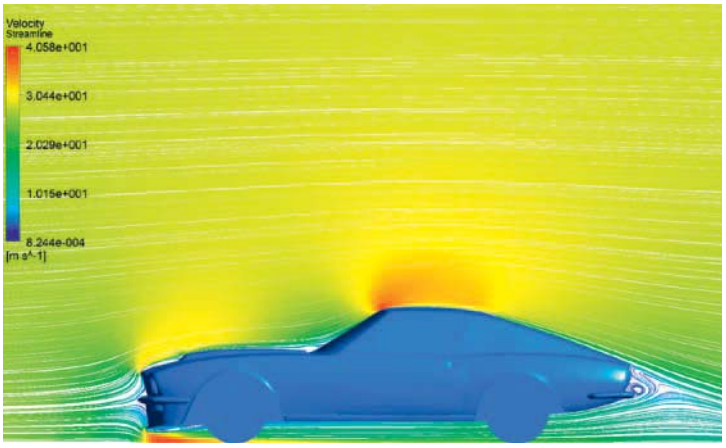
- Acoustic simulation of a turbocharger silencer
- Inspection of the Deformation Behaviour of Filled and Capped PET Bottles in the High-Speed Labelling Machine Output Range
- Corrugated Fiberboard as a Packaging Material: Experimental and Numerical Analysis of the Mechanical Behavior
- Simulation of Tank sloshing using Fluid-Structure-Interaction with CEL
- System level Modeling and Simulation for Hybrid Electric Vehicle Probulsion

Experimentelle Daten aus dem Windkanal

Im Vordergrund der Arbeit stand die Ermittlung des Luftwiderstandsbeiwertes eines Sportwagens. Für den Aston Martin V8, Baujahr 1977, eines Kommilitonen lagen „Rohdaten“ eines 3D-Scans vor. Mithilfe dieser Daten sollten zum einen ein Windkanal-Experiment und zum anderen CFD-Simulationen mit verschiedenen Softwarepaketen durchgeführt werden. Daneben haben wir dem Projektablauf und dem Arbeitsfortschritt selbst besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Das Windkanalexperiment wurde mit freundlicher Unterstützung der Hochschule Ingolstadt sowie der Firma CADFEM durchgeführt. Für die Messstrecke des Ingolstädter Windkanals war ein Modell im Maßstab 1:10 des genannten Fahrzeugs erforderlich. Da ein fertiges Modellauto nicht verfügbar war, wurde für die Messungen im Windkanal ein Epoxid-Modell in einem 3D-Drucker anfertigt.





Der Vergleich mit der CFD-Simulation

Für die Simulationen kamen eine kommerzielle CFD-Software (ANSYS CFX) sowie eine nicht kommerzielle CFD-Software (OpenFOAM) zum Einsatz, deren Ergebnisse im Anschluss miteinander verglichen wurden.

Die Bewertung der mit den Simulationsprogrammen ANSYS CFX und OpenFOAM erzielten Ergebnisse, die von jeweils einem Team-Mitglied betreut wurden, zeigte, dass die Druckverteilung und die Fließgeschwindigkeiten im laminaren Strömungsbereich sehr ähnlich waren. In turbulenten Gebieten wichen diese Größen jedoch stärker voneinander ab, trotz exakt gleich definierter Randbedingungen und identischer Konvergenzbedingungen. Einen Grund hierfür haben wir in der unterschiedlichen Topologie-Annäherung (volumenzentrierte gegenüber zellenzentrierte Annäherung) der beiden Programme gesehen, die Unterschiede in der Solver-Technologie der beiden Programme nach sich zieht. Es stellte sich heraus, dass beide Simulations-Programme und ebenfalls das Windkanalexperiment gut mit dem c_w-Wert aus der Literatur korrelieren.

Dokumentation und Präsentation

Alle Bereiche der Projektarbeit wurden ausführlich dokumentiert und die Ergebnisse in einer gemeinsamen Präsentation vorgestellt. Die Rolle des „virtuellen Kunden“ übernahm Prof. Maurer, Hochschule Landshut, der die Projektarbeit begleitet hat.

Das Team konnte während des Projektes tiefe Einblicke in die numerische Strömungssimulation gewinnen und das Thema Validierung von Simulationsergebnissen vertiefen. Darüber hinaus bot die Projektarbeit dem Team immer wieder die Gelegenheit, unerwartete Hürden zu überwinden – wie im realen „Projektleben“.

Autor

Dipl.-Ing. Andreas Schulte,
BHR Hochdruck-Rohrleitungsbau GmbH

Weitere Informationen

www.esocaet.com/studium

Ansprechpartner
Anja Vogel, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0) 8092/7005-52
E-Mail avogel@esocaet.com

Arbeitgeber gesucht: Hochqualifizierte Ingenieure aus Griechenland und anderen Regionen

Perspektiven

Natürlich gibt es auch erfolgreiche griechische Technologieunternehmen, die weltweit exportieren. Ein bekanntes Beispiel aus der Welt der Simulation ist beta CAE Systems, das als Start-up der Universität Thessaloniki begann und führende Pre- und Postprocessing-Technologie entwickelt. Oder der Batteriehersteller Sunlight. Wie der Spiegel vom 26. Juni 2012 berichtete, rangiert das Athener Unternehmen in den Top 3 der Hersteller komplexer Batteriesysteme. Christiane Serger, die das stationäre Batteriegeschäft der Firma leitet, beschreibt das Unternehmen wie folgt: „Ich habe viele Batteriefabriken in Deutschland, den Niederlanden, Italien und der Schweiz gesehen. Die Fabrik von Sunlight war moderner und technisch ausgereifter als alle anderen."

Doch leider sind dies eher die Ausnahmen als die Regel. Griechenland steckt in der Krise. Seit 5 Jahren schrumpft die Wirtschaft und die Produktivität hinkt um 25 Prozent hinter den mitteleuropäischen Ländern her. Wenig wettbewerbsfähige Unternehmen konzentrieren sich auf den lokalen Markt und können nicht mit verstärkten Exporten auf die Krise reagieren. Das wirkt sich natürlich negativ auf die Beschäftigungslage aus. Besonders schlimm sind junge Menschen betroffen. Bestens ausgebildet, haben sie kaum eine Chance, adäquate Stellen zu finden.

Bild: olly/shutterstock.com

„Über seine Partner der TechNet Alliance kann CADFEM hiesigen Technologie-Unternehmen dabei helfen, im Ausland hochqualifizierte Berechnungsspezialisten zu finden und damit einen bestehenden Fachkräftemangel auf Zeit oder dauerhaft auszugleichen."

So ist es nicht weiter verwunderlich, dass inzwischen mehr als jeder zweite Absolvent eines technischen Studiengangs in Griechenland Auswanderungspläne hegt. Aus einer Absolventenbefragung des Trendence-Instituts aus Berlin geht hervor, dass die beliebtesten Auswanderungsziele unter den Jungakademikern Großbritannien, Deutschland und die Schweiz sind. Deutschland genießt vor allem unter angehenden Informatikern und Ingenieuren hohes Ansehen.

PhilonNet, Partner von CADFEM in Griechenland und Mitglied der TechNet Alliance ist eng mit vielen Ingenieurfakultäten an griechischen Universitäten und Fachhochschulen verknüpft. Das Unternehmen schafft als Berechnungsdienstleister nicht nur Arbeitsplätze für hochqualifizierte Fachkräfte, sondern hilft auch gerne, geeignete griechische Kandidaten auf Zeit oder dauerhaft für offene Ingenieurstellen in Deutschland, Österreich oder der Schweiz zu finden.

Übrigens: Auch in anderen Ländern gibt es sehr gut ausgebildete Doktoranden und Naturwissenschaftler, die großes Interesse haben, ihre Kenntnisse für einen bestimmten Zeitraum bei hiesigen Technologieunternehmen und Forschungseinrichtungen einzubringen. Organisationen, die einen Fachkräftemangel in Forschung und Entwicklung mit Berechnungsspezialisten aus Osteuropa, Russland, Asien oder Südamerika ausgleichen wollen, können über CADFEM das weltweite Netzwerk der TechNet Alliance (www.technet-alliance.com) nutzen.

Kontakt

PhilonNet
Johannes Heydenreich
Tel. +49 (0)172 8333534
johannes.heydenreich@philonnet.gr
www.philonnet.gr

CADFEM GmbH
Christine Bundlechner
Tel. +49 (0)8092 7005-97
cbundlechner@cadfem.de

Schneller von der Idee zur Innovation

ANSYS ist die führende Software für die numerische Simulation im Produktentwicklungsprozess weltweit. Die Kombination der Werkzeuge der ANSYS Programmfamilie mit dem Rundum-Service von CADFEM, Ihrem ANSYS Competence Center FEM, schafft optimale Voraussetzungen, damit aus Ihren guten Ideen schneller erfolgreiche Innovationen werden.

CADFEM – Ihr ANSYS Competence Center FEM

ANSYS Software, die passende Ausbildung, die Unterstützung der täglichen Simulationsarbeit durch Support und Projektbegleitung mit Know-how Transfer – aber auch komplementäre Programme bis hin zur individuellen Anpassung von Standardsoftware sowie Hardwarelösungen inklusive IT-Management – das ist das Komplettangebot des CADFEM Teams mit über 100 Simulationsexperten.

Wir sind für Sie da!

Deutschland
CADFEM GmbH
Dr.-Ing. Volker Bäumer
Tel. +49 (0)8092-7005-51
vbaeumer@cadfem.de

Schweiz
CADFEM (Suisse) AG
Markus Dutly
Tel. +41 (0)52-3 68 01-02
markus.dutly@cadfem.ch

Österreich
CADFEM (Austria) GmbH
Alexander Dopf
Tel. +43 (0)1-5 87 70 73-14
alexander.dopf@cadfem.at

Eine jahrzehntelange Partnerschaft verbindet CADFEM und ANSYS. Gemeinsam sind beide Unternehmen gewachsen. ANSYS wurde durch eigenes Wachstum und gezielte Zukäufe zum weltweit größten unabhängigen Hersteller von Software für die numerische Simulation. CADFEM ist das ANSYS Competence Center FEM in Deutschland, Österreich, der Schweiz, aber auch in Russland und weiteren osteuropäischen Ländern. CADFEM kooperiert hier eng mit ANSYS Germany, ANSYS Europe und natürlich ANSYS, Inc.. Neben dem umfassenden Angebot an ANSYS Produkten und Dienstleistungen profitieren CADFEM Kunden von vielen Zusatzleistungen wie anwenderspezifische Programmanpassungen, komplementäre Software oder der Beratung und Unterstützung bei der Hardware-Auswahl und dem IT Management.

Workbench

ANSYS Workbench ist die zentrale Simulationsumgebung von ANSYS, die die verschiedenen Werkzeuge von ANSYS, aber auch Fremdprodukte, innerhalb einer einheitlichen Arbeitsumgebung integriert. ANSYS Workbench unterstützt den Anwender, seine Arbeitsprozesse auf der Basis eines einheitlichen Produktdatenmodells reproduzierbar abzubilden.

Workflow

Von der CAD-Anbindung über die Modellerstellung, physikalische Berechnung, Auswertung, Parametermanagement, Optimierung bis zum intelligenten Datenmanagement werden sämtliche Schritte im Simulationsprozess mit ANSYS Work-

bench definiert und grafisch anschaulich verknüpft. Die Datenverwaltung und das Schnittstellenmanagement zwischen den Programmen erfolgen automatisiert im Hintergrund und geben dem Anwender dadurch mehr Zeit für seine eigentlichen Aufgaben. Einmal definierte Simulationsprozesse beliebiger Komplexität können jederzeit wiederholt und mit minimalem Aufwand variiert werden und schaffen damit die Basis für ein besseres Verständnis der Zusammenhänge.

Workspace

ANSYS deckt mit weltweit führender Simulationstechnologie ein breites Spektrum der Bereiche Strömungsmechanik, Strukturmechanik, Akustik, Elektromagnetik sowie Systeme & Multiphysik ab. Eine bedarfsorientierte Skalierbarkeit der Lizenzierung, die Integrationsfähigkeit eines offenen Systems in vorhandene Infrastrukturen und komplementäre Technologien wie Simulationsdatenmanagement und High Performance Computing runden das Leistungsspektrum von ANSYS ab.

Komplementäre CAE-Software zu ANSYS

Standalone oder in ANSYS integriert

Explizite Strukturmechanik: **LS-DYNA** mit **LS-OPT** und **LS-PrePost** stehen insbesondere für Simulationsanwendungen in den Bereichen Crash und Metallumformung.

www.cadfem.de/ls-dyna

Optimierung/Robustheit: **optiSLang bzw. optiSLang inside ANSYS Workbench** ist eine Software für die parametrische Sensitivitätsanalyse, multidisziplinäre Optimierung, Zuverlässigkeits- und Robustheitsbewertung sowie für die Robust Design Optimierung.

www.dynardo.de

Materialdesign: **DIGIMAT** ist als eigenständiges virtuelles Materiallabor einsetzbar, als Materialschnittstelle in strukturmechanischen Rechnungen mit ANSYS und LS-DYNA oder als vollständiges Interface zwischen Spritzgusssimulation und Strukturmechanik. Zu den großen Vorteilen, die DIGIMAT dem Entwickler von Spritzgussbauteilen bietet, gehört die Möglichkeit, bei der Auslegung Materialnichtlinearitäten und Faserorientierungen zu kombinieren.

www.cadfem.de/materialdesign

Biomechanik: Mit **AnyBody** kann die Mechanik des menschlichen Bewegungsapparates unter Berücksichtigung der Muskeln analysiert werden. Damit sind z. B. Aussagen über Muskel- oder Gelenkkräfte, die elastische Energie in Sehnen oder die antagonistische Muskelaktivität möglich. In der Kombination mit ANSYS können so auf Implantate und Prothesen wirkende Kräfte berechnet werden.

www.cadfem.de/anybody

Differentialgleichungen: **Diffpack**, ein Produkt der inuTech GmbH, ist eine objektorientierte Klassenbibliothek für die Lösung von u. a. stochastischen Differentialgleichungen, die Implementierung von gekoppelten Systemen. Integriert in ANSYS erhält der Anwender eine Vielzahl zusätzlicher Berechnungsmöglichkeiten.

www.diffpack.com

Blechumformung: Die **FTI Forming Suite** ist ein modulares Programmpaket zur Bewertung der Umformbarkeit von Blechbauteilen, zur Berechnung von Platinenzuschnitten, Platinenschachtelung, Schachtelung von Folgeverbundprozessen und Optimierung von Materialkosten. FTI FormingSuite Produkte sind standalone und CAD-integriert (u.a. CATIA) verfügbar. Innerhalb der FTI FormingSuite wird im Produkt FAST Incremental der LS-DYNA Solver genutzt. Mit FTI Forming Module for ANSYS ist die FTI Umformtechnologie nun auch in ANSYS Workbench verfügbar, so dass die relevanten Werte aus dem Umformprozess direkt in der Festigkeitsberechnung verwendet werden können.

www.cadfem.de/fti

Die ANSYS Programmfamilie

ANSYS Strömungsmechanik

Strömung
ANSYS CFD basiert auf den seit Jahren als eigenständige Produkte erfolgreichen Werkzeugen ANSYS CFX und ANSYS Fluent und ist nahtlos in ANSYS Workbench integriert. Der enorme Funktionsumfang, den ANSYS CFD dem Anwender für anspruchsvolle Strömungssimulationen bietet, umfasst unter anderem realitätsgetreue Turbulenzmodelle sowie Funktionen für Turbomaschinen und Pumpen, Mehrphasen-Strömungen oder reagierende Medien.

- **ANSYS CFD**

ANSYS Strukturmechanik

Konstruktionsbegleitende, CAD-nahe Berechnung
ANSYS stellt auch speziell auf die Anforderungen von Anwendern aus der CAD-Konstruktion zugeschnittene Simulationswerkzeuge zur Verfügung. Die wesentlichen Unterschiede zu den Tools, die von CAD-Anbietern selbst angeboten werden, sind die ingenieurgerechte Definition, z. B. von Randbedingungen, Kontakten und Schraubverbindungen sowie die Auswertung nach anerkannten Standards (z. B. FKM). Darüber hinaus bieten die konstruktionsnahen ANSYS Lösungen dem Kunden Investitionssicherheit, denn der Übergang zum erweiterten ANSYS Simulationsspektrum ist nahtlos. Ein weiteres Argument vieler Anwender ist zudem der gesicherte und professionelle Support durch CADFEM.

- **ANSYS DesignSpace**
- **ANSYS Professional NLS**

Strukturmechanik linear/nichtlinear, statisch/dynamisch, implizit/explizit
ANSYS deckt die ganze Bandbreite der anspruchsvollen strukturmechanischen FEM-Simulation ab, um so zum Beispiel die Möglichkeiten neuer Werkstoffe auszureizen oder Bauteileigenschaften, auch bei dynamischer oder nichtlinearer Belastung im Detail zu analysieren. Darüber hinaus können Effekte aus der Akustik, der Thermodynamik sowie thermisch-elektrische Wechselwirkungen in die Simulation einbezogen werden.

- **ANSYS Structural**
- **ANSYS Mechanical**
- **ANSYS Explicit STR**
- **ANSYS LS-DYNA**
- **ANSYS Rigid Dynamics** (Mehrkörpersimulation)

InfoCADFEM Seminarprogramm zu ANSYS

Ein umfassendes Angebot an Einführungs- und Vertiefungsseminaren rund um ANSYS zeichnet das CADFEM Seminarprogramm aus. Die meisten Seminare werden in den CADFEM Geschäftsstellen durchgeführt, weitere als Online-Seminar oder als Firmenseminar vor Ort beim Kunden. Die Inhalte der Firmenseminare können in Abstimmung mit dem Kunden an dessen individuelle Anforderungen angepasst werden.

Ansprechpartner Seminare
Thomas Nelson, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)8092-7005-47
tnelson@cadfem.de

ANSYS Elektromagnetik

Elektromagnetik

Im Bereich elektromagnetischer Feldanalysen bietet ANSYS umfassende Lösungen zur detaillierten Beschreibung von resultierenden Kräften, Momenten, Impedanzen und Verlusten. Die Werkzeuge sind besonders etabliert für Anwendungen im Bereich der elektrischen Antriebstechnik, der Energie- und Signalübertragung (z. B. Transformatoren, Sensoren) und der Prozesssimulation produktionstechnischer Anlagen und Verfahren (z. B. induktives Härten). In Kombination mit ANSYS Mechanical, dem Systemsimulator Simplorer und den Expertenlösungen (RMxprt, PExpert und Q3D) stehen etablierte Produkte bereit, die eine umfassende Modellierung z. B. kompletter Antriebssysteme (Entwärmung, Schwingungsübertragung, Akustik) ermöglichen.

- **ANSYS Maxwell**
- **ANSYS Mechanical + ANSYS Maxwell**
- **ANSYS Mechanical/Emag**
- **ANSYS Simplorer**
- **ANSYS Q3D Extractor**
- **ANSYS RMxprt**
- **ANSYS PExprt**

ANSYS Systeme und Multiphysik

Systemsimulation

Die zunehmende Komplexität „smarter Systeme“ setzt eine dynamische Systembetrachtung voraus, die die Interaktion aller beteiligten Komponenten genau beschreiben kann. Während klassische Systemsimulationen auf mathematischen Modellen mit starkem Idealisierungsgrad basieren, liefert die Integration der 3D-Feldsimulation für Mechanik, Temperatur, Magnetfeld oder Strömung die Chance, die Komponenten genauer zu beschreiben, vorhandenes Wissen weiterzuverwenden, die Parametrisierung früher zu realisieren und komplexe, auch nichtlineare Phänomene abzubilden.

Die Integration von ANSYS Simplorer in ANSYS Workbench erweitert die Anwendung in der Leistungelektronik und bei geregelten Systemen um zusätzliche interdisziplinäre Kopplungen der Struktur-Magnetik-Fluidik-Thermodynamik.

Die von CADFEM implementierte Methode der Ordnungsreduktion „MOR for ANSYS“, ein Werkzeug der CADFEM ihf Toolbox, liefert präzise FEM-basierte Modelle für die Systembetrachtung.

- **ANSYS Maxwell**
- **ANSYS Simplorer**
- **ANSYS Mechanical + MOR for ANSYS + ANSYS Simplorer**

Multiphysik

Der Name ANSYS steht seit Jahren für technologisch führende Werkzeuge für die Berechnung des Verhaltens von Bauteilen und Produkten, wenn Wechselwirkungen unterschiedlicher technischer Disziplinen berücksichtigt werden müssen. Mit diesem einen Programm und unter einer einheitlichen Oberfläche können statische, dynamische, thermische, strömungsmechanische, akustische und elektromagnetische Effekte miteinander kombiniert werden.

- **ANSYS Multiphysics**
- **ANSYS Mechanical + ANSYS CFD**

Thermisches Management

ANSYS verfügt über effiziente Speziallösungen für die Kühlungssimulation von Leiterplatten, elektronischen Komponenten und Geräten. Die Detailanalyse von Bauteilen im Chipgehäuse basierend auf ECAD-Daten, ermöglicht eine optimale thermische Konstruktion und die Ableitung von Kompaktmodellen.

- **ANSYS Icepak**

InfoCADFEM Ansprechpartner für ANSYS

Strömungsmechanik
Dr.-Ing. Volker Bäumer, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)8092-7005-51
vbaeumer@cadfem.de

Strukturmechanik
Christof Gebhardt, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)8092-7005-65
cgebhardt@cadfem.de

Elektromagnetik, Systeme & Multiphysik
Jens Otto, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)8092-7005-17
jotto@cadfem.de

ANSYS Anwendersupport bei CADFEM
Tel. +49 (0)8092-7005-55
support@cadfem.de

CADFEM ihf Toolbox – Zusatzapplikationen für ANSYS & ANSYS Workbench „made by CADFEM“

Werkzeuge für Workbench

Viele CADFEM Kunden haben in den vergangenen Jahren einen besonderen Service in Anspruch genommen: Die ANSYS Customization durch CADFEM. Dahinter verbirgt sich die Anpassung von ANSYS an besondere unternehmens- oder branchenspezifische Anforderungen. Dieser CADFEM Service reicht von der Prozessautomatisierung über die Integration vorhandener Lösungen und der Programmierung individueller Workflows bis hin zur Entwicklung von Zusatzapplikationen.

In der CADFEM ihf Toolbox sind verschiedene Werkzeuge für ANSYS und ANSYS Workbench „made by CADFEM“ zusammengefasst. Damit werden sie – natürlich mit dem Einverständnis der Kunden, die sie ursprünglich beauftragt haben – einem breiten Anwenderkreis zugänglich gemacht.

Die Werkzeuge der CADFEM ihf Toolbox werden als Source-Code Musterlösungen ausgeliefert. Dies bedeutet, dass der Anwender sie flexibel und frei an die eigenen Bedürfnisse anpassen kann. Um ihm den Zugang zur enthaltenen Technologie so einfach wie möglich zu machen, bietet CADFEM entsprechende Einführungsseminare an. Eine darüber hinausgehende Beratung kann in Form von Consulting-Projekten erfolgen.

Die CADFEM ihf Toolbox, ein Produkt der CADFEM GmbH und des Ingenieurbüros Huß & Feickert (ihf), wird Schritt für Schritt um neue Werkzeuge erweitert und ist als Gesamtpaket erhältlich.

InfoAnsprechparnter

ANSYS Workbench Customization Team
Stefan Gotthold
Tel. +49 (0) 30 – 475 96 66-24
sgotthold@cadfem.de
www.cadfem.de/toolbox

InfoANSYS Workbench Customization Team

ANSYS Programmierung und ANSYS Workbench Customization bei CADFEM

Mit ihrem Standardumfang deckt die ANSYS Programmfamilie einen großen Teil dessen ab, was in vielen verschiedenen Branchen benötigt wird. Dennoch gibt es immer wieder unternehmensspezifische Bedürfnisse, die darüber hinausgehen. Deshalb ist ANSYS auch ein offenes System,

- dessen Funktionalitäten individuell erweitert oder angepasst werden können,
- das via Schnittstellen an komplementäre Tools oder Inhouse-Codes angebunden werden kann und
- dessen Einsatz über Programmassistenten („Wizards“) für bestimmte Funktionen oder Anwendergruppen automatisiert werden kann.

Das CADFEM ANSYS Workbench Customization Team bietet Ihnen genau solche Dienstleistungen an.

Die CADFEM

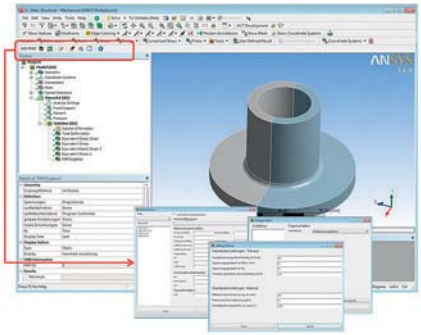
(Stand: August 2012)

WB/FKM: Richtlinienkonformer Festigkeitsnachweis nach FKM in ANSYS Workbench

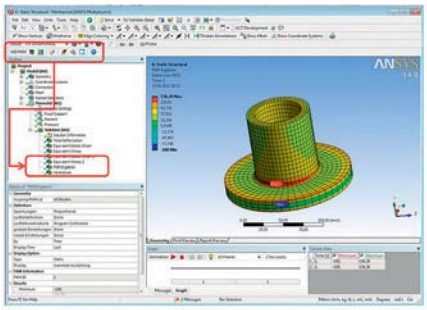
Die FKM-Richtlinie „Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile“, 5. erweiterte Ausgabe 2003, ist ein anerkannter und aktueller Standard im Maschinenbau. Sie enthält den statischen Festigkeits- und den Ermüdungsfestigkeitsnachweis. Für die Anwendung der Richtlinie sind die Spannungen im versagenskritischsten Nachweispunkt zu ermitteln. Meist werden für einen FKM-Nachweis die Spannungen örtlich mit der FEM ermittelt.

Mit WB/FKM, einem Produkt, das gemeinsam von CADFEM und ihf entwickelt wurde, kann der Nachweis komfortabel in ANSYS Workbench mit örtlichen Spannungen vorgenommen werden. Neben der Bewertung einzelner Flächen und ganzer Bauteile können u.a. auch Mehrfachbewertungen und Lastfallkombinationen durchgeführt werden, ohne dass die Simulation neu aufgesetzt werden muss.

Gegenüber einem manuellen Nachweis ergeben sich viele Vorteile, unter anderem



- die schnelle und einfache Definition der Nachweisparameter durch vollständige Integration in Workbench



ihf Toolbox im Überblick

- die schnelle und sichere Identifikation von kritisch beanspruchten Stellen durch den vollflächigen Nachweis sowie die vereinfachte Ergebnisinterpretation durch die Visualisierung des Auslastungsgrades und

- die komfortable und automatisierte Ergebnisdokumentation der Auswertung.

CADFEM IDAC Materialdatenbank für ANSYS Workbench

Die Suche nach Materialeigenschaften ist häufig ein zeitraubender Vorgang. Um ihn zu verkürzen hat die Firma IDAC, ein langjähriger Partner von CADFEM, speziell für ANSYS Workbench eine Datenbank mit mehr als 250 Materialien entwickelt. Sie ist vollständig in Workbench integriert und ermöglicht dem Anwender einen schnellen Zugriff auf mechanische, thermische und elektromagnetische Eigenschaften sowie zyklische Kennwerte vieler Materialien.

SBSound: Körperschallbewertung schwingender Strukturen in ANSYS

Zum abgestrahlten Luftschall existieren etablierte Methoden und Software-Lösungen für eine detaillierte Auswertung des Schalldrucks oder der Schallleistung. In vielen Fällen, z.B. im frühen Entwurfsstadium, reicht allerdings schon eine schnelle Abschätzung des akustischen Verhaltens aus. Dafür wurde SBSound entwickelt, das nicht den Luftschall berechnet, sondern den Körperschall, wie er in der Fachiteratur zur Maschinenakustik beschrieben wird. Dies geschieht meist innerhalb weniger Minuten auf Basis der Ergebnisse der vorab durchgeführten Frequenzganganalyse mit modaler Superposition in ANSYS.

MOR4ANSYS: Modellordnungsreduktion zur Einbindung von 3D-FEM-Modellen in die Systemsimulation in ANSYS

MOR4ANSYS schließt die Lücke zwischen den detaillierten FE-Modellen in ANSYS und der Systemsimulation in Simplorer oder Matlab/Simulink: Detaillierte 3D-FEM-Modelle werden in kleine Zustandsraummodelle überführt, die in der Systemsimulation zusammen mit der Regelung und Leistungselektronik zu einem Gesamtsimulationsmodell verknüpft werden können. Solche Systemsimulationen mit FEM-basierten Verhaltensmodellen sind schnell, genau und ermöglichen die sichere Abstimmung im Gesamtsystem.

Assistent zur flexiblen MKS-Simulation in ANSYS Workbench über CMS

Der Trend in der Mehrkörpersimulation geht zu hybriden Systemen (starre und flexible Bauteile). Vorteilhaft ist dabei, dass die Elastizität von Bauteilen berücksichtigt werden kann. Reduktionsverfahren wie die CMS (Component Mode Synthesis) beschleunigen solche Analysen massiv, weil komplette Bauteile durch sogenannte "Superelemente" beschrieben werden. Die CADFEM ihf Toolbox-Lösung für die CMS stellt dem Benutzer zwei Bausteine zur Verfügung, die es ihm ermöglichen, schnell, einfach und effizient die CMS-Methode in bestehende Workbench-Modelle einzubauen.

VWS: Abbildung von Schweißvorgängen inkl. Gefügeumwandlung in ANSYS Workbench

Das Schweißsimulationstool (Virtual Weld Shop VWS) gibt dem Benutzer spezifische Methoden und Routinen zur Simulation von Verzug und Eigenspannungen beim Schweißprozess. Mit VWS können verschiedene Berechnungsziele verfolgt werden, z. B. Temperaturfelder, Gefügestrukturen, Härteverteilungen, Verzug und Eigenspannungen.

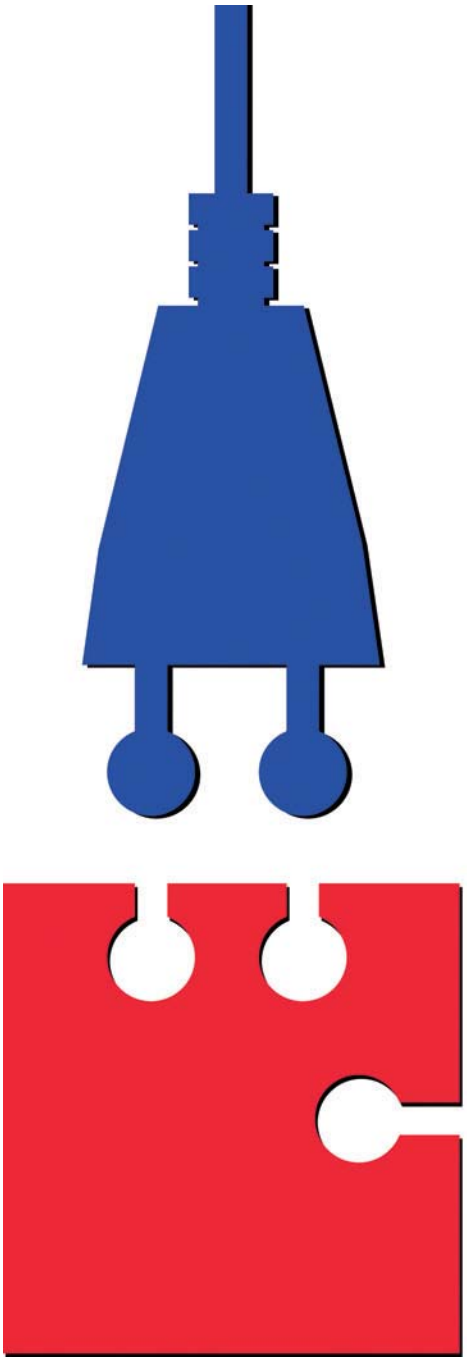
Rückführung verformter FEM-Modelle aus ANSYS Workbench in Parasolid

Die ANSYS Standardfunktionen zur Rückführung von nicht deformierten Geometrien werden durch Zusatzprogrammierungen um die Geometrierückführung verformter Modelle erweitert.

Macro-Bibliothek

Die Macro-Bibliothek der CADFEM ihf Toolbox enthält verschiedene hilfreiche Routinen, die auf der Basis aktueller Programmiertechniken für ANSYS Workbench entwickelt wurden und die tägliche Arbeit vereinfachen und effektiver gestalten.

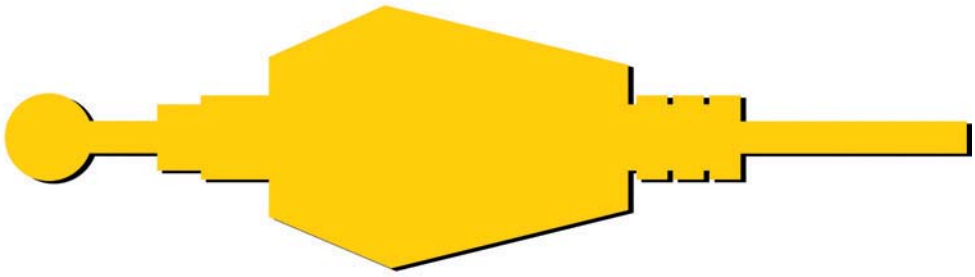
Bilder: VladisChern, Seregam/shutterstock.com



Simulation mit ANSYS bei der Entwicklung und Fertigung von Steckverbindungen

Zuverlässige Verbindung

Bei der Entwicklung von Steckverbindern müssen vielfältige Anforderungen an das Design des Produktes und an die Fertigungsprozesse berücksichtigt werden. Ziel ist es, eine optimale elektrische und thermische Leitfähigkeit, robuste mechanische Eigenschaften sowie eine gute Signalübertragung im gesamten Frequenzbereich mit hoher Zuverlässigkeit und kostengünstiger Fertigung zu verbinden.



Um die Präzision der einzelnen Komponenten und ihres Zusammenspiels zu erhöhen, können die physikalischen Eigenschaften von Steckverbindern und die zu deren Herstellung notwendigen Produktionsprozesse frühzeitig mit ANSYS eingehend analysiert und optimiert werden.

Am Beispiel eines Tyco-Steckverbinders lässt sich aufzeigen, wie die sehr hohe Ausfallwahrscheinlichkeit eines Ausgangs-Designs von 89 Prozent durch den Einsatz von ANSYS Workbench in Kombination mit optiSLang auf Werte kleiner 0.00034 Prozent (Six Sigma Niveau) verbessert wurde. Weitere Anwendungsgebiete für die Simulation mit ANSYS bei Steckverbindern ergeben sich für mechanische, elektrische und thermische Produkteigenschaften sowie die erforderlichen Fertigungsprozesse.

Simulation im Entwicklungsprozess

In die Simulationsumgebung ANSYS Workbench sind diverse Werkzeuge für verschiedene physikalische Aufgabenstellungen unter einer einheitlichen Benutzeroberfläche integriert. Die Durchgängigkeit über alle Arbeitsschritte und Simulationen hinweg ermöglicht es, eine der zentralen Herausforderungen in der Entwicklung und Produktion von Steckverbindern beherrschbar zu machen: Die Zuverlässigkeit. Die traditionelle simulationsbasierte Produktentwicklung, in der ein Design in einem iterativen Veränderungsprozess simuliert, verändert, erneut simuliert und weiter verändert wird, bis bestimmte Eigenschaften erreicht sind, basiert auf konkreten Eingangsgrößen wie Signalen, Geometrien oder Materialeigenschaften. Bei diesen konkreten Einflussgrößen bleibt jedoch die Streuung von Eigenschaften, die das Produktverhalten beeinflussen, unberücksichtigt, so dass die Produktzuverlässigkeit nicht für alle in der Praxis auftretenden Konstellationen gewährleistet ist. Die Streuung von Materialparametern, die Varianz in den auftretenden Lasten und Signalen, schwankende Produktionsparameter und geometrische Toleranzen setzen für sichere Produkte

Bild: vs148/shutterstock.com

eine weitergehende Absicherung voraus: Ziel ist ein robustes Produkt, das über eine sogenannte Robust-Design-Optimierung (RDO) erreicht wird.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde die RDO-Software optiSLang in die Simulationslösungen von ANSYS integriert. optiSLang inside ANSYS Workbench setzt auf dem vollparametrischen Simulationsmodell von ANSYS Workbench auf und nimmt mit intelligenten Voreinstellungen und minimalem Nutzereingriff eine systematische und effiziente Untersuchung des gesamten Parameterraums vor. Die daran anschließende Sensitivitätsstudie liefert die Zusammenhänge der verschiedenen Einflussgrößen auf die relevanten Ergebnisse, so dass der Entwicklungsingenieur einen guten Überblick über wichtige und unwichtige Größen erhält und funktionale Zusammenhänge besser versteht und bewerten kann.

Eine darauf aufbauende Optimierung ermöglicht – je nach Methode – die zielgerichtete Verbesserung von Produkteigenschaften innerhalb von nur wenigen Sekunden. Um die Streubreiten der betroffenen Einflussgrößen mit zu berücksichtigen, gibt die Robustheitsanalyse Auskunft darüber, welche Ausfallsicherheit erreicht wird. Automatisierte Arbeitsschritte und eine quantifizierbare Prognosefähigkeit gewährleisten eine hohe Sicherheit und Benutzerfreundlichkeit bei der Nutzung der Simulationsmodelle.

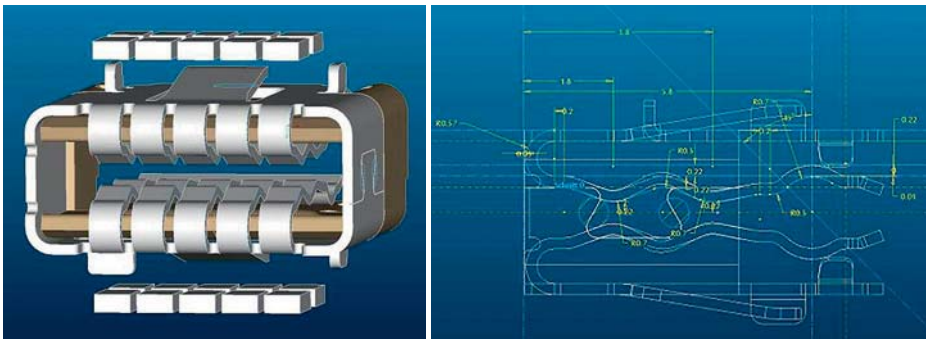


Bild 1: 3D-Geometrie und Variationsparameter in der Simulation (mit freundlicher Genehmigung von Tyco Electronics).

Fallstudie Tyco Electronics

Bei der Entwicklung eines neuen Steckverbinders setzte die Tyco Electronics AMP auf optiSLang und ANSYS, um die geforderten Spezifikationen bezüglich der Kontaktkräfte in einem eng tolerierten Rahmen zuverlässig zu erreichen. Dabei wurde für jeden Kontakt eine Mindestklemmkraft von 1 N gefordert, aber auch ein Maximalwert für den gesamten Steckverbinder von 50 N. Die 36 variablen geometrischen Abmessungen des Steckverbinders sollten so festgelegt werden, dass ein zuverlässiges Design mit weniger als 3.4 Ausfällen pro 1 Mio. Teile (Six Sigma Design) erreicht wird.

Durch ein vollständig parametrisches Simulationsmodell, das die Parameter des CAD-Modells kontrolliert, wurde der Parameterraum mit einem automatisierten Versuchsplan mit der minimal möglichen Zahl von Analysen (no run too much strategy) untersucht. Dies führte dazu, dass die Zusammenhänge für die Wirkmechanismen besser verständlich und die wichtigen Parameter erkennbar waren (Bild 1).

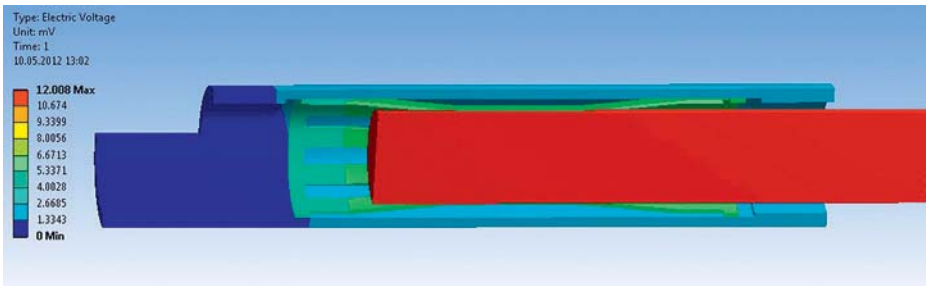
Mit den so ermittelten 15 dominanten Parametern des Steckverbinders wurde anschließend eine Optimierung durchgeführt, die die Kontaktkräfte um 30 Prozent verbesserte und die Ausfallwahrscheinlichkeit von ursprünglich 89 Prozent beim Ausgangs-Design auf einen Wert kleiner 0.00034 Prozent minimierte.

Für Tyco Electronics waren die Vorteile von ANSYS Mechanical und optiSLang:

- die Identifikation der relevanten Parameter,
- eine Abstimmung der Parameter und eine signifikante Reduktion der Kosten,
- ein tieferes Verständnis über die Variation,
- die Minimierung des Einflusses von Streuungen und
- ein Six Sigma Design.

Weitere Möglichkeiten

Bei der Untersuchung von elektrischen und thermischen Feldern ergeben sich durch den elektrischen Stromfluss in dreidimensionalen Strukturen komplexe Strompfade mit lokalen Verlusten, die in einer elektrischen Feldanalyse direkt berechnet werden können (Bild 2). Für eine genaue Abbildung der Realität ist darüber hinaus noch die Temperaturabhängigkeit des Materials mit zu berücksichtigen, was innerhalb der ANSYS Workbench Umgebung als elektrisch-thermisch gekoppelte Analyse mit geringem Aufwand zu realisieren ist. Ebenso können die Kontaktverhältnisse aus der mechanischen oder Fertigungssimulation verwendet werden, um den Einfluss des Kontaktbereichs und des Kontaktdrucks auf elektrische und thermische Leitfähigkeit mit zu erfassen. Die Vielzahl dieser Einflussgrößen und die damit verbundenen Streuungen sprechen dafür, auch für das elektrisch-thermische Verhalten von Steckverbindern eine Robust-Design-Optimierung durchzuführen. Denn damit kann die Robustheit der Produktentwicklung gegenüber streuenden Einflussgrößen weiter erhöht und die Ausfallwahrscheinlichkeit minimiert werden.



Quelle: CADFEM

Bild 2: Verifikation der Stromtragfähigkeit eines elektrischen Kontaktes durch 3D-FEM-Simulation.

InfoAutor | InfoAnsprechpartner | CADFEM

Christof Gebhardt, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)8092-7005-65
cgebhardt@cadfem.de

InfoVerwendeteSoftware

ANSYS Workbench; optiSLang inside ANSYS Workbench

InfoWebinar

Simulation bei der Entwicklung von Steckverbindungen
www.cadfem.de/webinare

Bestimmung von Materialparametern mit ANSYS DesignXplorer

Der Belastung standhalten

Das Berechnen von Kunststoffbauteilen gehört zu den besonderen Herausforderungen eines Berechnungsingenieurs. Kunststoffbauteile zeichnen sich bei Belastung dadurch aus, dass neben der Plastizität auch zeitabhängige Effekte wie Kriechen und Spannungsrelaxation auftreten. Das Problem besteht aber gar nicht immer in der Simulation selbst, sondern im Beschaffen der erforderlichen Werkstoffkennwerte.

Grundsätzlich lassen sich diese Werte auf drei unterschiedliche Weisen ermitteln: aus Datenbanken, vom Materiallieferanten oder durch Messung an Zugproben. Jedoch führen diese Wege nicht immer direkt zum Ziel. Deswegen wurde bei Miele in Zusammenarbeit mit CADFEM nach einer pragmatischen Alternative gesucht und ein Verfahren entwickelt, um die erforderlichen Materialparameter bestmöglich zu bestimmen.

Dazu wurde ein bereits existierendes Bauteil (Bild 1) aus dem entsprechenden Material einem einfachen mechanischen Test unterzogen (Bild 2). Dieser Test wurde dann in der Simulation nachgestellt, um über Optimierungsrechnungen, bei denen die Werkstoffparameter variiert wurden, eine möglichst geringe Abweichung zwischen der gemessenen und der berechneten Kraftreaktion zu erreichen.

Da im vorliegenden Fall neben dem plastischen Materialverhalten auch das Relaxieren berücksichtigt werden sollte, wurde der Versuch so ausgeführt, dass zunächst das Bauteil relativ schnell verformt wird ($0 \leq t \leq 1$s), um den viskosen Einfluss klein zu halten. Diese vorgegebene Verformung wurde dann über einen längeren Zeitraum ($1 < t \leq 10000$ s) konstant gehalten und der Kraftabfall gemessen. Daraus ergab sich die Möglichkeit, das elastisch-plastische Materialverhalten und das zeitabhängige Materialverhalten (Relaxieren) in separaten Optimierungsrechnungen zu ermitteln.

Die Parameter sind zum einen der E-Modul und in diesem Beispiel drei Stützstellen im multilinearen Plastizitätsgesetz und zum anderen die für das gewählte Kriechgesetz erforderlichen Parameter. Die Aufteilung in mehrere Optimierungsrechnungen hat durch die daraus resultierende Reduktion der Parameterzahl entscheidende Vorteile. So war es möglich, die Aufgabenstellung mit ANSYS DesignXplorer zu lösen.

Optimierungsschritte

Zunächst wurde in einer ersten Optimierung versucht, den E-Modul des Werkstoffes so anzupassen, dass sich am Ende des Elastizitätsbereiches der Messkurve (I) bei vorgegebener Verformung die gemessene Reaktionskraft auch in der Simulation einstellt (Bild 2). In dieser Rechnung wurde dann auch die maximal auftretende Vergleichsspannung im Bauteil ermittelt und diente als erster Stützpunkt ($\epsilon_{p|1}$, σ_1) für das multilinear-isotrope plastische Materialgesetz.

In einer zweiten Optimierung wurden nun sowohl der Endpunkt des Plastizitätsgesetzes (II) als auch ein weiterer, mittig liegender Stützpunkt (III) variiert, mit dem Ziel, den gemessenen Kraftverlauf in der Simulation möglichst gut widerzuspiegeln (Bild 3). Dabei müssen die Geradenabschnitte im Plastizitätsgesetz streng monoton steigend ausfallen. Besonders elegant lässt sich das durch ein parametrisiertes APDL-Skript sicherstellen, welches das Werkstoffgesetz in der ANSYS Workbench modifiziert. Der entsprechende Parameter für σ_2 ist dabei kein Absolutwert für die Spannung, sondern ein relativer Parameter, der im DesignXplorer in den Grenzen zwischen 0 und 1 variiert wurde. Das APDL-Skript generiert daraus dann den zulässigen Spannungswert für σ_2 zwischen $\sigma_{2,min}$ und σ_3. Die Berechnungsvorschrift dafür ist sehr simpel und kann in Bild 3 nachvollzogen werden.

Zur Implementierung der Relaxationseffekte wurden die Materialeigenschaften um das „Modified Time Hardening"-Gesetz erweitert. Die Entwicklung der Kriechdehnungen ϵ_{cr} in Abhängigkeit von der vorliegenden Spannung σ, Zeit t sowie den Konstanten C_1, C_2 und C_3 ergibt sich zu:

$$\epsilon_{cr} = \frac{C_1 \sigma^{C_2} t^{C_3+1}}{C_3+1}$$

Für die Anpassung stand ein Kraft-Zeit-Verlauf aus dem Experiment zur Verfügung (siehe Bild 2).

Bilder: Miele

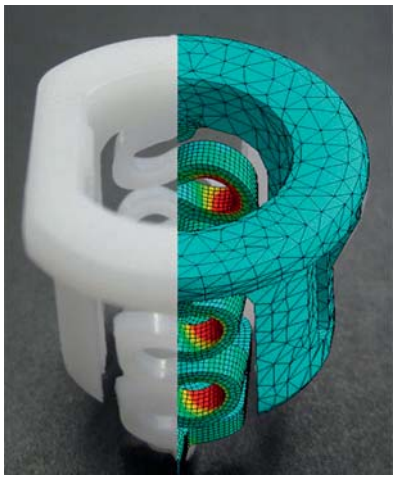


Bild 1: Reales Bauteil und FE-Modell.

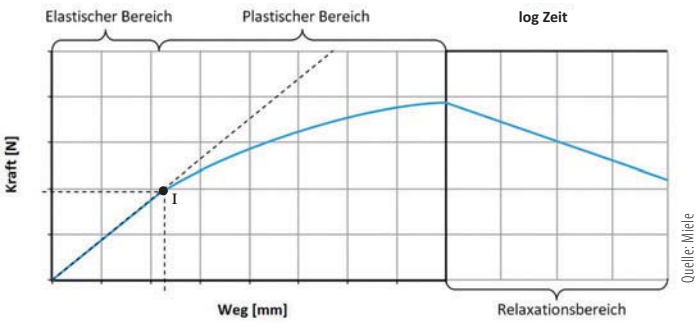


Bild 2: Mechanischer Bauteiltest.

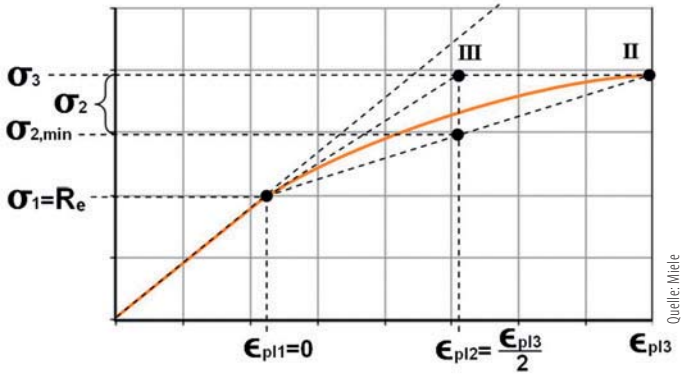


Bild 3: Elastisch plastisches Material-gesetz

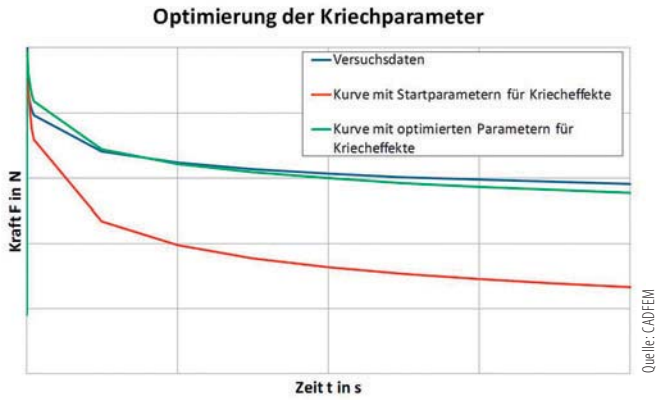


Bild 4: Kraft-Zeitkurven vor und nach der Optimierung mit dem ANSYS DesignXplorer

Für die Bestimmung der Anfangswerte der Materialparameter wurde angenommen, dass der Spannungs-Zeit-Verlauf dem Kraft-Zeit-Verlauf ähnlich ist, was streng nur für eine lineare Abhängigkeit der Kriechdehnung von der Spannung ($C_2 = 1$) gilt. Dann ist auch die Zunahme der Kriechdehnung proportional zum Verlust der Kraft.

Diese Information genügt für die Festlegung von C_3. Der Term $C_1 \sigma^{C2}$ bestimmt den Betrag der Kriechdehnung. Dessen Startwert wurde aus der maximalen Spannung im Modell und der dieser zugeordneten Dehnung für die Endzeit aus einem Isochronen-Diagramm für einen verwandten Werkstoff bestimmt. C_2 ist erfahrungsgemäß größer als 1; der Startwert wird als 1,2 gewählt. C_1 und C_3 können durch zwei von der Sollkurve abgelesene Wertepaare bestimmt werden. Beide müssen die Kriechgleichung erfüllen:

$$(C_3+1)\ \epsilon_{cr1} = C_1 \sigma^{C_2} t_1^{C_3+1} \quad \text{und}$$
$$(C_3+1)\ \epsilon_{cr2} = C_1 \sigma^{C_2} t_2^{C_3+1}$$

Dieses Gleichungssystem kann nach C_3 und C_1 aufgelöst werden. Für die Güte der Annäherung kommt allerdings der Auswahl der Stützstellen besondere Bedeutung zu, sodass C_1 und C_3 zum Beispiel auch durch Variation in Excel (optisch) angepasst werden können, wobei C_3 negativ sein muss. Die weitere Anpassung erfolgt durch Optimierung im ANSYS DesignXplorer.

Als *Zielfunktion* ist

$$Obj = \Sigma_{i=1}^{nSt} (F_{rechn}(t_i)) - (F_{mess}(t_i))^2$$

zu minimieren (Fehlerquadrat). Dabei bedeutet

n_{St} Anzahl der berücksichtigten Stützstellen

F_{rechn} die mit dem FE-Modell berechnete

F_{mess} die im Versuch gemessene Kraft zum Zeitpunkt t_i.

Design-Variablen sind die Materialparameter C_1, C_2 und C_3.

Für C_1 in der Größenordnung 10^{-5}, $C_2 \approx 1{,}2$ und $C_3 \approx -0{,}9$ bei der Zeiteinheit s und der Spannungseinheit N/mm² ergab sich im ersten Optimierungsdurchgang die Annäherung aus dem Diagramm in Bild 4.

Dieses Verfahren ist zusammen mit CADFEM sehr erfolgreich getestet worden und wird bei Miele sicherlich auch weiterhin bei entsprechenden Aufgabenstellungen Anwendung finden. Es genügt vielleicht nicht streng akademischen Ansprüchen, aber es ist pragmatisch, schnell und erfolgreich und vor allem erleichtert es dem Berechnungsingenieur das Leben.

InfoAutoren

Matthias Hollenhorst, Miele & Cie. KG;
matthias.hollenhorst@miele.de;

Miele IMMER BESSER

Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Rust, FH Hannover;
Peter Thomas, Dr.-Ing. Ansgar Polley,
CADFEM GmbH

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Dr.-Ing. Ansgar Polley, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)511-390603-11
apolley@cadfem.de

InfoVerwendeteSoftware

DesignXplorer, ANSYS Workbench, APDL-Skript

Lineare Dynamik ist ...

... die Voraussetzung für darauf aufbauende Ingenieuraufgaben

Häufig werden dynamische Analysen durchgeführt, weil die Beanspruchung eines Bauteils durch periodische oder impulshaltige Anregungen ermittelt und bewertet werden muss. Ziel ist eine Festigkeitsaussage, die aus der Klassifizierung und der Bewertung von Spannungsschwingspielen mit ANSYS nCode DesignLife gewonnen wird. In anderen Fällen führen Schwingungen nicht zu Festigkeitsproblemen, sondern zu Schallabstrahlung. Als unerwünschter Lärm muss sie reduziert werden – eine Kernaufgabe der Maschinenakustik. Ist sie dagegen der eigentliche Zweck des Produktes, z. B. im HiFi-Bereich, wird sie optimiert. Die klassische Vorgehensweise ist hier die Körperschallanalyse – meist als harmonische Schwingungsanalyse – mit der darauf basierenden Luftschallanalyse, am besten über die stark erweiterten Akustikelemente aus ANSYS Mechanical.

Ein dritter Grund, sich mit Dynamik zu befassen ist, wenn ein komplexes Produkt in seiner grundlegenden Wirkungsweise und im Zusammenspiel der einzelnen Bauteile und physikalischen Phänomene verstanden werden muss. Dazu wird das dynamische System vereinfacht aufgebaut, entweder aus diskreten Elementen oder aber – und das ist der interessante Aspekt dieser Vorgehensweise in ANSYS – über ordnungsreduzierte Beschreibungen. Dabei werden komplexe Komponenten unter Erhalt der dynamischen Eigenschaften der zugrunde liegenden FE-Modelle mit wenigen Freiheitsgraden dargestellt. Diese werden im Rahmen der Systemsimulation in ein Gesamtmodell integriert und mit ihren gegenseitigen Wechselwirkungen mit ANSYS Simplorer analysiert.

... wenn man über „Static Structural" hinaus viele weitere Solver in ANSYS entdeckt

Die Statik ist nur eine Untermenge der Dynamik. Dies stellt man spätestens mit Blick auf die in ANSYS enthaltenen Solver fest. Von der Modalanalyse über die Frequenzganganalyse bis hin zur transienten Analyse stehen auch Lösungsmöglichkeiten für spezielle Probleme, z. B. für die Erdbebenanalyse (Antwortspektrum) oder die Rauschanregung als Zufallssignal (PSD-Analyse), zur Verfügung. Bereits die Modalanalyse erlaubt die Berücksichtigung einer großen Vielfalt spezieller Effekte, z. B. rotierende Bauteile in der Rotordynamik, Reibung bei der Beschreibung von Bremsenquietschen oder Auswirkungen durch angrenzende Flüssigkeiten oder Gase.

Bilder: CADFEM; Frank Fischbach/shutterstock.com

...wenn trotzdem beliebige nichtlineare statische Analysen zur Ermittlung des Arbeitspunktes vorausgehen können

Meist weisen Schwingungen trotz ihrer deutlich wahrnehmbaren Auswirkungen (spürbare Vibration, Schall, Rissentstehung) nur verhältnismäßig kleine Amplituden auf. Oft ist es deshalb möglich, die eigentliche Dynamikuntersuchung linear durchzuführen – mit erheblichen Vorteilen bei den Analysemöglichkeiten und den Rechenzeiten. Trotz dieser Annahme kann z. B. ein Gummilager beliebig nichtlinear mit den entsprechenden hyperelastischen Materialgesetzen statisch vorgespannt werden. Die konsistente Linearisierung des Arbeitspunktes für die folgenden Dynamikanalysen wird von ANSYS mittels Linear Perturbation automatisch durchgeführt. Für den Anwender genügt es, auf der ANSYS Projektseite per Drag & Drop die Modalanalyse an die Lösung der nichtlinearen Statikanalyse zu koppeln – fertig.

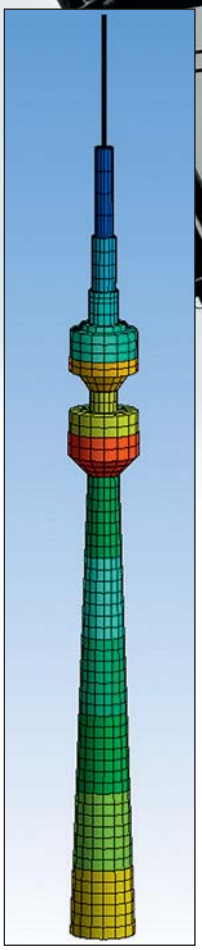
...wenn wie bei Usain Bolt die Schrittweite ausschlaggebend ist

Doch zunächst ein Schritt zurück. Grundsätzlich ist die Beschreibung eines beliebigen Signals im Zeitbereich gleichberechtigt mit der Beschreibung im Frequenzbereich. Die Fast Fourier Transform (FFT) als einer der Top-10-Algorithmen des 20. Jahrhunderts (www.uta.edu/faculty/rcli/TopTen/topten.pdf) macht es möglich, zwischen den Bereichen in Echtzeit zu wechseln. ANSYS bietet per APDL Math ebenfalls einen Zugang über das Kommando *FFT.

Der Frequenzbereich bietet Vorteile, gerade wenn es um stationär eingeschwungene Vorgänge wie die Wirkung einer Unwucht auf eine stationär drehende Welle geht. Hier wäre die Simulation im Zeitbereich zwar möglich, jedoch bis zum Erreichen des eingeschwungenen Zustands mit erheblich höherem Rechenaufwand verbunden. Anders sieht es aus, wenn kurzzeitige, impulshaltige (z. B. Schocklasten auf Elektronikkomponenten) oder andere klar instationäre Anregungen (z. B. Erdbeben) wirken. In diesen Fällen wäre die Lösung im Frequenzbereich grundsätzlich ebenfalls möglich, allerdings ist nun die transiente Simulation im Zeitbereich die effizientere Alternative. Dies gilt insbesondere, wenn man sich auf die linear transiente Variante in ANSYS Mechanical beschränkt.

Am Beispiel des Münchner Olympiaturms, dessen Querschnittsdaten in ein FE-Modell bestehend aus 1500 Schalenelementen (Bild 1) umgesetzt wurden, soll dies kurz dargestellt werden. Nachdem das El Centro Erdbeben vom Mai 1940 im Internet als Zeitreihe verfügbar ist, wurde kurzerhand das Szenario „30s kalifornisches Erdbeben wirkt auf den 291m hohen Münchener Olympiaturm ein“ simuliert. Zunächst wurde eine transiente Simulation durchgeführt, die ohne weiteres Zutun in ANSYS mit vollen Matrizen (FULL) und der Möglichkeit beliebiger Nichtlinearitäten abgearbeitet wird. Dies bedeutet, dass für jeden der insgesamt 1560 Zeitschritte das komplette Gleichungssystem gelöst wird. Ein 3.7GB RST file und 490s Elapsed Time sind das Ergebnis der Mühe. Wird jedoch das lineare Verfahren der modalen Superposition (MSUP) verwendet, sieht die Bilanz sehr viel günstiger aus, denn die Rechenzeit sinkt um den Faktor 20 auf nun insgesamt 22s. Der I/O-Aufwand stellt bei transienten Analysen den zweiten dominanten Effizienzfaktor dar. Es ist daher nicht ratsam, zu jedem Zeitschritt an jedem Knoten bzw. in jedem Element jede Ergebnisgröße in die Ergebnisdatei schreiben zu lassen. Schränkt man diese Kriterien sinnvoll ein, so ergeben sich im Olympia-Beispiel die RST-Dateien mit den Ergebnissen aus der Modalanalyse und der transienten Analyse mit einer Größe von zusammen 73MB.

Zurück zur Überschrift: um in der Olympia-Welt zu bleiben ist wie bei Usain Bolt die Schrittweite, im Falle transienter Analysen die Zeitschrittweite, maßgeblich um korrekte Lösungen zu erhalten. Es gilt



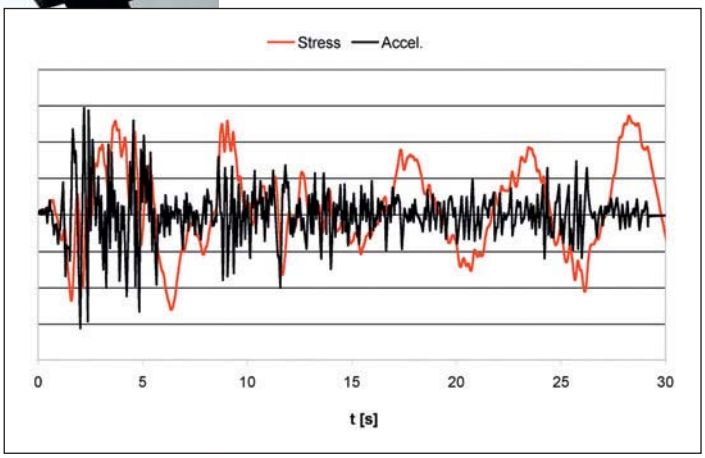


Bild 1: Olympiaturm München mit kalifornischer Erdbebenanregung (schwarz) und transient simulierter Spannungsantwort (rot).

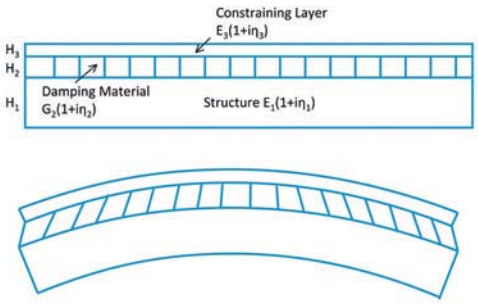


Bild 2: Constraint Layer Damping Treatment CLDT ausgeführt als Metall-Elastomer-Verbund.

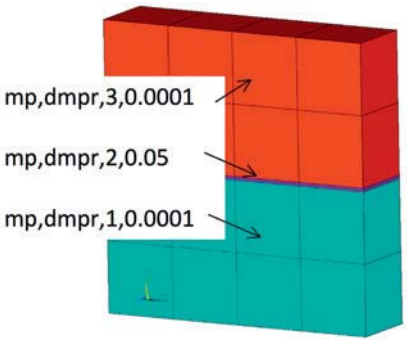


Bild 3: Generisches Modell zur Fügestellendämpfung.

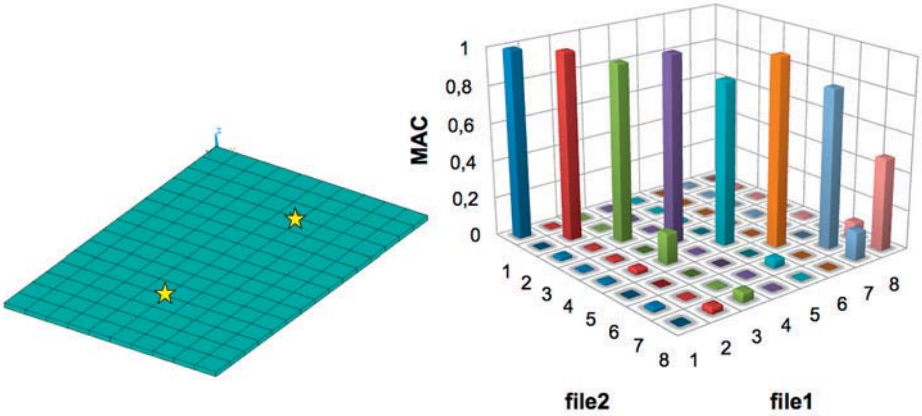


Bild 4: Platte mit zwei Punktmassen und MAC-Matrix für den Fall, dass die beiden Punktmassen leicht verschoben werden.

die Faustformel „20 Zeitschritte für die höchste auftretende Frequenz". Höchste auftretende Frequenz? Antwort: *FFT!

...wenn man bei der Modellierung von Dämpfung flexibel sein kann

Die Dämpfung wird meist über die gesamte Baugruppe „verschmiert" eingebracht, z. B. bei Verwendung eines Dämpfungsgrades von 2 % (DMPRAT) für eine komplette Baugruppe oder analog bei Eingabe der sogenannten Beta-Dämpfung (BETAD). Beide Möglichkeiten können unter der Bezeichnung proportionale Dämpfung erfasst werden. Die Dämpfung wird dabei mangels detaillierterer Kenntnis und wegen durchaus erwünschter Vereinfachungen in der Berechnung proportional zur Masse und Steifigkeitsverteilung der Baugruppe verteilt. Eine Erweiterung dieses Konzepts stellt die modale Dämpfung dar, die es erlaubt, für jede Schwingungsform einen eigenen Dämpfungswert (MDAMP) einzutragen.

Es ist weitaus weniger geläufig, dass ANSYS wertvolle Möglichkeiten bietet, auch mit nicht-proportionaler Dämpfung zu arbeiten. So kann etwa die Wirkung von Entkopplungselementen mittels diskreter Feder-Dämpfer eingebracht werden (klassische nicht-proportionale Dämpfung also) und deren Wirkung auf Frequenz und Dämpfung einzelner Bauteilmoden im Rahmen einer komplexen Modalanalyse (QRDAMP) untersucht werden. Nicht selbstverständlich, jedoch in ANSYS durchaus möglich ist es, trotz diskreter Dämpfer für die Folgeanalysen weiter mit modaler Superposition zu arbeiten. Eine andere Alternative besteht in der Berücksichtigung von lokaler Materialdämpfung: MP,DMPR & LANB Block-Lanczos-Solver oder MP,BETD & komplexer QRDAMP-Eigenwertlöser. In beiden Fällen lassen sich so aus bekannten Dämpfungen der beteiligten Bauteile und Materialien, die resultierenden Dämpfungseigenschaften der Baugruppe ermitteln. Dies ist zum Beispiel relevant für die zielgerichtete Dämpfung von Blechstrukturen über Metall-Elastomer-Verbunde (Bild 2) und die Optimierung von deren Aufbau und Positionierung. Mit einer ähnlichen Vorgehensweise lässt sich auch die vielgefürchtete Fügestellendämpfung beschreiben. Forschungsprojekte schlagen in diesem Zusammenhang vor, die Fügestelle gezielt mit Dünnschichtelementen (SOLSH190) zu modellieren (Bild 3) und danach Dämpfung und Steifigkeit aus einer Messung der entsprechenden Fügestellendetails lokalisiert dort einzubringen. Es bleibt zu erwähnen, dass in ANSYS 14 nun auch die Berücksichtigung frequenzabhängiger Dämpfungswerte z. B. zur Beschreibung von Elastomeren gemäß einer DMA Messung möglich ist (TB,PRONY,,,, EXPERIMENTAL).

...wenn seltsame Begriffe am Horizont erscheinen

Ein Begriff als Beispiel: MAC (Modal Assurance Criterion) klingt zwar nach Imbiss, ist aber ein klassisches Verfahren um die „Verwandtschaft" zweier Ergebnisse zu quantifizieren. Dabei wird das normierte und auf die Massenmatrix bezogene Skalarprodukt zweier Eigenvektoren gebildet. Sind die beiden Vektoren verschieden (orthogonal zueinander), ist der resultierende MAC-Wert gleich 0, sind sie identisch (parallel), ist der MAC-Wert gleich 1. Das gewählte Beispiel zeigt eine Platte mit zwei applizierten Punktmassen. Wird für die Konfiguration 1 eine Modalanalyse durchgeführt und diese für den Fall leicht verschobener Punktmassen als Konfiguration 2 wiederholt, ist die Verwandtschaft der Moden aus der Dominanz der Diagonalterme der MAC-Matrix (RSTMAC) klar ablesbar (Bild 4). Neben dem Einsatzbereich Simulation-Test-Korrelation wird diese Methode auch gerne zum Mode-Tracking verwendet.

Wie auch immer diese Begriffe lauten (CMS, CMCC, ...), welche Lösungsmethoden auch morgen dazukommen werden, klar ist: wenn man sich auf die innere Logik der linearen Dynamik einmal einlässt und sich nicht von einigen Fachbegriffen abschrecken lässt, wird man ein mächtiges Werkzeug besitzen, das die Lösung von vielfältigsten Ingenieuraufgaben ermöglicht.

InfoAutor & InfoAnsprechpartner | CADFEM
Dr.-Ing. Marold Moosrainer, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)8092-7005-45
mmoosrainer@cadfem.de

PLM IT Business

Portal für Produktentwicklung und Datenmanagement

3 auf einen Klick

CAD-CAM ENGINEERING REPORT
www.cad-cam-report.de

PLM-Jahrbuch
Der Leitfaden für den PLM-Markt
www.plm-jahrbuch.de

eDM REPORT
electronic Data Management
www.edm-report.de

www.plm-it-business.de

ADRESSEN CADFEM UND PARTNER

Deutschland

CADFEM GmbH
Zentrale Grafing
Marktplatz 2
85567 Grafing b. München
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-0
Fax +49 (0) 80 92-70 05-77
info@cadfem.de
www.cadfem.de

Geschäftsstelle Berlin
Breite Straße 2a
13187 Berlin
Tel. +49 (0) 30-4 75 96 66-0
Fax +49 (0) 30-4 75 96 66-21

Geschäftsstelle Chemnitz
Cervantesstraße 89
09127 Chemnitz
Tel. +49 (0) 371-33 42 62-0
Fax +49 (0) 371-33 42 62-99

Geschäftsstelle Dortmund
Carlo-Schmid-Allee 3
PHOENIX-West Park
44263 Dortmund
Tel. +49 (0) 231-4 77 30-71 46
Fax +49 (0) 231-4 77 30-71 44

Geschäftsstelle Frankfurt
c/o Ingenieurbüro Huß & Feickert
Im Kohlruß 1–3
65835 Liederbach
Tel. +49 (0) 61 96-670 71-20
Fax +49 (0) 61 96-670 71-28

Geschäftsstelle Hannover
Pelikanstr. 13
30177 Hannover
Tel. +49 (0) 511-39 06 03-0
Fax +49 (0) 511-39 06 03-25

Geschäftsstelle Stuttgart
Leinfelder Str. 60
70771 Leinfelden-Echterdingen
Tel. +49 (0) 711-99 07 45-0
Fax +49 (0) 711-99 07 45-99

International

Schweiz
CADFEM (Suisse) AG
Zentrale Aadorf
Wittenwilerstraße 25
8355 Aadorf
Tel. +41 (0) 52-368-01-01
Fax +41 (0) 52-368-01-09
info@cadfem.ch
www.cadfem.ch

Geschäftsstelle Mittelland
Privatstrasse 8
4563 Gerlafingen
Tel. +41 (0) 32-675-80-70
Fax +41 (0) 32-675-80-74

Bureau Lausanne
Avenue de la Poste 3
1020 Renens
Tel. +41 (0) 21-6 14 80-40
Fax +41 (0) 21-6 14 80-49

Österreich
CADFEM (Austria) GmbH
Wagenseilgasse 14
1120 Wien
Tel. +43 (0)1-5 87 70 73
Fax +43 (0)1-5 87 70 73-19
info@cadfem.at
www.cadfem.at

Geschäftsstelle Innsbruck
Grabenweg 68 (Soho 2.0)
6020 Innsbruck
Tel. +43 (0)512-31 90 56

Tschechien/Slowakei
SVS FEM s.r.o. (CADFEM CZ)
Skrochova 42
61500 Brno
Tel. +42 (0) 543-254 554
Fax +42 (0) 543-254 556
info@svsfem.cz
www.svsfem.cz

Polen
MESco (CADFEM PL)
ul.Górnicza 20A
42-600 Tarnowskie Gory
Tel. +48 (0) 3 27 68 36-36
Fax +48 (0) 3 27 68 36-35
info@mesco.com.pl
www.mesco.com.pl

Russland/Ukraine
CADFEM CIS
Moscow, St. Petersburg, Samara,
Yekaterinburg, Novosibirsk (Russland);
Kiew (Ukraine)
info@cadfem-cis.ru
www.cadfem-cis.ru

Indien
CADFEM Engineering Services India PVT Ltd.
Hyderabad
info@cadfem.in
www.cadfem.in

CADFEM Technology India PVT Ltd.
Pune
info-cft@cadfem.in
www.cadfem.in

USA
CADFEM US, Inc.
CU-ICAR Partnership Office
Greenville, SC
matthias.alberts@cadfem-us.com
www.cadfem-us.com

Ozen Engineering, Inc.
Sunnyvale, CA
info@ozeninc.com
www.ozeninc.com

China
Anshizhongde Consultation (Beijing) Ltd. (Pera-CADFEM)
Beijing
gangqiang.bao@peraglobal.com
www.peraglobal.com

Partner Deutschland

DYNARDO GmbH
Weimar
kontakt@dynardo.de
www.dynardo.de

inuTech GmbH
Nürnberg
info@inutech.de
www.inutech.de

virtualcitySYSTEMS GmbH
Berlin
info@virtualcitysystems.de
www.virtualcitysystems.de

Member of
TechNetAlliance
Worldwide Partners
www.technet-alliance.com