

*Zeitschrift für numerische Simulationsmethoden und angrenzende Gebiete
FEM – CFD – MKS – VR / VIS – PROZESS – PDM*

Fachbeiträge:

Fokus Optimierung

Einführung der mathematischen Optimierung im Unternehmen - Konzepte und Erfolgsfaktoren -

Prof. Dr. A. Schumacher (HAW Hamburg) Seite 14

Strukturoptimierung in der industriellen Praxis

Dr. C. Katzenschwanz (IABG mbH) Seite 22

Fokus Computational Fluid Dynamics (CFD)

C μ FD: Simulation in der Mikrofluidik

Dr. F. Schönfeld (IMM GmbH) Seite 28

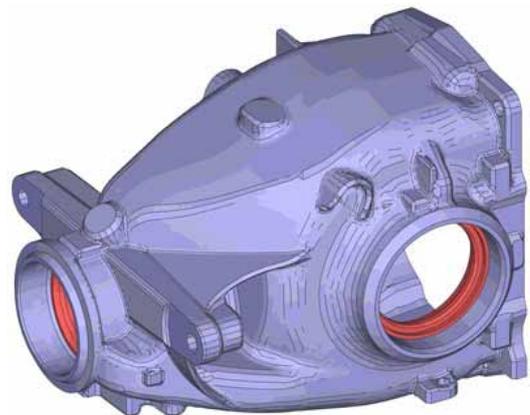
Gekoppelte Strömungs- und Strahlungsberechnung mit MpCCI

Prof. Dr. U. Janoske (Berufsakademie Mosbach) Seite 37

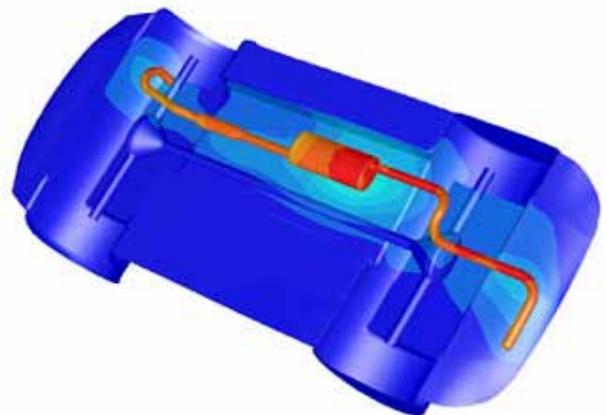
Tools

Femzip – Reduktion von Datenmengen in der Crash-Simulation

C.-A. Thole (Fraunhofer-Institut SCAI) Seite 40



*Gestalt des neuen Hinterachsgetriebes (BMW 1er)
Mit freundlicher Genehmigung: IABG mbH*



*Temperaturverteilung am Unterboden (Massenstrom Abgas 16 kg/h,
Eintrittstemperatur Abgas 923 K, Anströmgeschwindigkeit 50 km/h)
Mit freundlicher Genehmigung: Berufsakademie Mosbach*

Sponsored by



Please take notice of the AMD advert on page 12



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

Mit Freude und Genugtuung haben der Herausgeber und die Redaktion die überaus positive Resonanz auf das erste Heft des NAFEMS Magazins zur Kenntnis genommen. Die stimulierenden Äußerungen und die Zustimmung sind zugleich Ermutigung und zusätzlicher Motivationsschub, auch weiterhin Wissen und Erfahrung aus dem Anwenderbereich der numerischen Simulation zu sammeln, aufzubereiten und weiterzugeben, um damit die Nutzung entsprechender Werkzeuge und Verfahren effektiver, sicherer und zuverlässiger zu machen.

Die Vorträge der NAFEMS Seminare bieten einen wertvollen Fundus an aktuellen und anwendungsorientierten Beiträgen, aus dem auch in Zukunft wesentliche Teile der wissenschaftlichen Publikationen im online-Magazin gespeist werden. Für das vorliegende Heft wurden je zwei Vorträge aus den Seminaren „Die Simulation komplexer Strömungsvorgänge (CFD)“ und „Optimierung in der Strukturmechanik“ ausgewählt. Als Beitrag aus der Leserschaft ist darüber hinaus ein Artikel über die Kompression von Daten aus der Crashsimulation aufgenommen worden.

In diesem Zusammenhang soll noch einmal betont werden, dass die Auswahl der Beiträge ausschließlich nach Kriterien der fachlichen Ausrichtung, der wissenschaftlichen Qualität und einer geeigneten Darstellung der Inhalte erfolgt. Andere Kriterien, seien sie materieller oder ideeller Art, finden keine Berücksichtigung. Dies gilt sowohl für die Seminar-Beiträge als auch für Beiträge, die direkt eingereicht werden.

Das NAFEMS online-Magazin wird kostenlos zur Verfügung gestellt; Erstellung und Verteilung sind jedoch mit Kosten verbunden. Zu deren finanziellen Absicherung tragen zum einen Sponsoren bei, deren Engagement dankbar anerkannt wird. Zum anderen werden in geringem Maße Werbeflächen angeboten. Die Werbung wird deutlich als solche gekennzeichnet und ist damit von den wissenschaftlichen Beiträgen klar zu unterscheiden. Zudem sei darauf hingewiesen, dass auch Stellenanzeigen im Magazin veröffentlicht werden können, sofern sie von NAFEMS-Mitgliedern aufgegeben werden.

Redaktion und Herausgeber sind zuversichtlich, mit einer gesunden Mischung einerseits aus Fachbeiträgen zu grundsätzlichen Fragestellungen, Neuentwicklungen und Erfahrungsberichten über Probleme der numerischen Simulation, andererseits aus Hinweisen zu Veranstaltungen, aus Nachrichten und Pressemitteilungen sowie aus Werbe- und Stellenanzeigen auch weiterhin das Interesse eines fachlich kompetenten Leserkreises zu finden.

Prof. Dr. Klaus Rohwer
Editor-in-Chief

Call for papers

Wir würden uns sehr über die Einreichung eines Vortrags für folgende Seminare freuen:

- **3. NAFEMS CFD-Seminar: „Simulation gekoppelter Strömungsvorgänge (Multifield FSI)“ vom 8. - 9. Mai 2006 in Wiesbaden, D**
- **NAFEMS Seminar: „Virtual Testing - Simulationsverfahren als integrierter Baustein einer effizienten Produktentwicklung“ vom 10. - 11. Mai 2006 in Wiesbaden, D**

Nähere Informationen finden Sie unter www.nafems.de

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



www.abaqus.de



www.altair.de



www.cfx-germany.com



www.esi-group.com



www.fe-design.de



www.fluent.de



www.fujitsu-siemens.de



www.hewlett-packard.de



www.intes.de



www.lmsintl.com



www.scai.fraunhofer.de



www.ugsplm.de

Die nächsten NAFEMS Trainingskurse in DACH:

Basiswissen für die Anwendung von Finite-Element-Berechnungen für Ingenieure und Konstrukteure

Basic 1:

Praxisorientierte Strukturmechanik / Festigkeitslehre

Rapperswil, CH

20. - 21.03.2006

Wiesbaden, D

29. - 30.03.2006

Basic 2:

Praxisorientierte Grundlagen für FEM-Analysen

Wiesbaden, D

24. - 25.04.2006

Rapperswil, CH

27. - 28.04.2006

NEU - CFD Basic Trainingskurse:

Im Herbst 2006 werden zusätzlich CFD Basic-Trainingskurse angeboten!!

Das nächsten NAFEMS Seminare in DACH:

3. NAFEMS CFD-Seminar: Simulation gekoppelter Strömungsvorgänge (Multifield FSI)

Wiesbaden, D

08. - 09.05.2006

Virtual Testing - Simulationsverfahren als integrierter Baustein einer effizienten Produktentwicklung

Wiesbaden, D

10. - 11.05.2006

Mehr Infos finden Sie unter www.nafems.de

NAFEMS Literatur

kürzlich erschienen:

- Why Do Boundary Element Analysis?
- How To Use Elements Effectively
- How To Analyse Composites
- Why Do CFD?
- An Explicit Finite Element Primer
- Why Do Design Optimisation?
- Benchmarks for Composite Delamination
- How To Undertake FE Based Geotechnical Analysis
- How To Understand CFD Jargon
- Benchmarks for Radiation & Scattering of Sound
- How To Plan a CFD Analysis

geplant:

- Dynamic Response of Viscoelastic Polymeric Materials
- How to Undertake Seismic Analysis
- CFD Journal
- Road Map to NAFEMS documents
- Dynamics How To
- How to Analyse Practical Problems
- Electronic CFD Jargon Booklet
- Introduction to Material Models
- Why Do Multiphysics?
- How to Undertake a Smoke Movement Analysis in Complex Enclosed Spaces

- How to Use Beam, Plate & Shell
- Pressure Vessel Design Codes
- Modelling Engineering Joints
- Buckling and Collapse How to
- Concrete How to
- Turbulence Workbook

Mehr Informationen unter www.nafems.org/publications

Impressum

Editor in Chief

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

Redaktioneller Beirat

- Dr. Yasar Deger (HSR, CH)
- Dr. Moris Habip (Consultant, D)
- Dr. Alfred Svobodnik (NAD GmbH & Co.KG, A)
- Prof. Dr. Manfred Zehn (Univ. Magdeburg / Femcos mbH, D)

Redaktion

Albert Oswald (NAFEMS Kontakt
Deutschland, Österreich, Schweiz
und Nordic)

Herausgeber

NAFEMS Kontakt DACH & Nordic
Schillerstr. 6, D-85567 Grafing
Tel. +49 (0) 8092 – 8 35 50
Fax +49 (0) 8092 – 8 35 51
e-mail: magazin@nafems.de

Gestaltung / Layout / Grafik

Werbos GbR
Schillerstr. 6, D-85567 Grafing
Tel. +49 (0) 8092 – 8 35 50
Fax +49 (0) 8092 – 8 35 51
e-mail: info@werbos.de

Bezugspreis

Kostenlos

Verteilung / Bezug

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

Anzeigenpreise

Preisliste vom 31.10.2005

**Copyright © 2005 NAFEMS Kontakt
DACH & NORDIC, Werbos GbR.**

Nachdruck – auch auszugsweise -, Vervielfältigung oder sonstige Verwertung ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlages unter ausdrücklicher Quellenangabe gestattet. Gekennzeichnete Artikel stellen die Meinung des Autors, nicht unbedingt die Meinung der Redaktion dar. Für unverlangt eingesandte Manuskripte und Datenträger sowie Fotos übernehmen wir keine Haftung. Alle Unterlagen, insbesondere Bilder, Zeichnungen, Prospekte etc. müssen frei von Rechten Dritter sein. Mit der Einsendung erteilt der Verfasser / die Firma automatisch die Genehmigung zum kostenlosen weiteren Abdruck in allen Publikationen von NAFEMS, wo auch das Urheberrecht für veröffentlichte Manuskripte bleibt.

Eine Haftung für die Richtigkeit der Veröffentlichungen kann trotz Prüfung durch die Redaktion vom Herausgeber nicht übernommen werden.

Vorwort des Editor in Chief 2

Call for Papers 2

Sponsoren 3

NAFEMS DACH Aktuell 4

Impressum 5

Inhalt 5

Über NAFEMS / Mitgliedschaft 6

Neuigkeiten 7 - 10

Stellenangebote / Stellengesuche 11

Veranstaltungen 13

Fachbeiträge:

Fokus Optimierung

**Einführung der mathematischen Optimierung
im Unternehmen - Konzepte und Erfolgsfaktoren -** 14
Prof. Dr. A. Schumacher (HAW Hamburg)

Strukturoptimierung in der industriellen Praxis 22
Dr. C. Katzenschwanz (IABG mbH)

Fokus Computational Fluid Dynamics (CFD)

C_μFD: Simulation in der Mikrofluidik 28
Dr. F. Schönfeld (IMM GmbH)

**Gekoppelte Strömungs- und Strahlungsberechnung
mit MpCCI** 37
Prof. Dr. U. Janoske (Berufsakademie Mosbach)

Tools

**Femzip – Reduktion von Datenmengen
in der Crash-Simulation** 40
M. Krapp (Fraunhofer-Institut SCAI)

Rückmeldeformular 41

Werbeanzeigen

AMD 12

Demat GmbH 27

FE-Design GmbH 27

Intes GmbH 9

Über NAFEMS

NAFEMS ist eine gemeinnützige Organisation zur Förderung der sicheren und zuverlässigen Anwendung von Simulationsmethoden wie FEM und CFD.

1983 in Großbritannien gegründet, hat sich die Organisation längst in eine internationale Gesellschaft zur Förderung der rechnerischen Simulation entwickelt. Mit NAFEMS ist die neutrale und von Software- und Hardwareanbietern unabhängige Institution entstanden.

NAFEMS vertritt die Interessen der Anwender aus der Industrie, bindet Hochschulen und Forschungsinstitute in ihre Tätigkeit ein und hält Kontakt zu Systemanbietern.

Mitglieder des Internationalen NAFEMS Councils

C. Stavriniadis (Chairman), ESA, NL
 M. Zehn (Vice Chairman), Femcos mbH, D
 D. Ellis, Idac Ltd., UK
 A. Ezeilo, TWI Ltd., UK
 G. Miccolli, Imamoter, Italien
 S. Morrison, Lusas Ltd., UK
 P. Newton, GBE, UK
 M.-C. Oghly, Flowmaster, F
 A. Ptchelintsev, Nokia Research Centre, FI
 A. Puri, Selex Sensors & Airborne Systems, UK
 V. Sharan, Sony Ericsson, S
 J. Wood, Strathclyde University, UK

Um die Aktivitäten von NAFEMS im deutschsprachigen Raum neutral zu leiten und die nationalen Belange innerhalb der NAFEMS zu vertreten, wurde ein Lenkungsausschuss etabliert.

Mitglieder des deutschen NAFEMS Steering Committees

Dr.-Ing. W. Dirschmid (Consultant), Chairman
 Prof. Dr.-Ing. H. Bauer (Fachhochschule Aalen)
 Dr.-Ing. Y. Deger (HSR/Sitec)
 Dr.-Ing. A. Gill (Fluent Deutschland GmbH)
 Dr.-Ing. R. Helfrich (Intes GmbH)
 Dipl.-Ing. G. Müller (Siemens AG)
 Dr.-Ing. G. Müller (CADFEM GmbH)
 F. J. H. Peeters (Abaqus Europe BV)
 A. Pfaff (MSC.Software GmbH)
 Prof. Dr.-Ing. K. Rohwer (DLR)
 Dr. A. J. Svobodnik (NAD GmbH & Co.KG)
 Dr. T. Wintergerste (Sulzer Markets & Technology Ltd.)
 Prof. Dr.-Ing. habil. M. Zehn (Femcos mbH)

Der NAFEMS Kontakt für DACH und Nordic wie auch die Realisierung der Aktivitäten werden von der Werbos GbR übernommen.

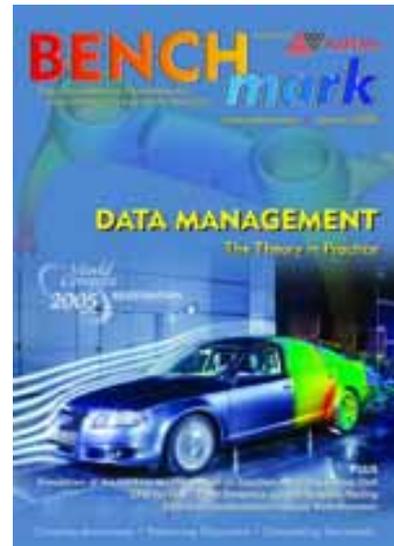
Mitglied bei NAFEMS?

NAFEMS hat über **700 Mitgliedsunternehmen und -Institutionen in 37 Ländern.**

NAFEMS Mitglieder erhalten unter anderem:

- Benchmark (Internationales FEM-Magazin)
- Literatur
- Freie Seminarplätze
- Ermäßigungen für Trainingskurse, Kongresse und Literatur
- Zugriff auf passwortgeschützten Webbereich mit Kontaktmöglichkeiten und Informationen
- Kontakt zu über 700 Organisationen weltweit

Werden auch Sie Mitglied !



„Benchmark“
 – das internationale
 NAFEMS Magazin

Jetzt abonnieren
 – für NAFEMS-Mitglieder natürlich frei!

Weitere Informationen erhalten Sie unter:

www.nafems.de
 (national)

www.nafems.org
 (international)

3Dims

3Dims und Inv3rsion beim LS-Dyna Forum 2005

Für die 3Dims GmbH, die zusammen mit inv3rsion, einer neuen, innovativen Softwareschmiede aus USA auftrat, war das diesjährige LS-Dyna Anwenderforum ein großer Erfolg. Auf einer portablen Stereowand wurden mit LS-PrePost-VR sehr eindrucksvoll LS-Dyna Berechnungsdaten interaktiv visualisiert. Der besondere Vorteil ist, dass außer den einmaligen Installationskosten nur Wartungskosten für Softwareupdates anfallen. LS-Dyna Anwender können ab sofort sehr günstige VR-Komplettpakete inklusive Hard- und Software von 3Dims beziehen. Auf Grund des starken Interesses vereinbarten Prof. Dr. Uli Göhner (DYNAmore), Todd J. Furlong (inv3rsion) und Friedhelm Birk (3Dims) noch während des Forums, dass 3Dims in Europa die Installation auf immersiven VR-Systemen vom einfachen Stereodisplay bis hin zur mehrkanaligen Wall/Würfel übernehmen soll.

www.3dims.de

Abaqus

Abaqus bei der BMW Group

Abaqus, Inc. kündigte an, dass die BMW Group künftig Abaqus Software als Basis für alle Fahrzeug-Crashsimulationen einsetzen wird.

www.abaqus.com

Altair Engineering

Magna Steyr wählt Altair Engineering als strategischen Partner für das CAE Datenmanagement

Im Rahmen der Kooperation wird die kommerzielle Datenmanagement-Software HyperWorks Data Manager (HDM) unter Berücksichtigung der Anforderungen von Magna Steyr weiterentwickelt. Hierbei handelt es sich sowohl um die eigentliche Datenverwaltung als auch um die Einbindung dieser Datenverwaltung in existierende und neu zu erstellende, automatisierte CAE Abläufe. Eine wichtige Komponente hierbei stellt das Zusammenspiel zwischen dem HyperWorks Data Manager mit der

existierenden Softwareumgebung dar. Die im Rahmen der Kooperation entstehenden Lösungen werden sukzessive für alle HyperWorks-Kunden von Altair Engineering zu Verfügung stehen.

www.altair.de

Ansys / Cadfem

Master in Applied Computational Mechanics: Pilotkurs in Landshut gestartet

Der Masterstudiengang Master of Engineering in Applied Computational Mechanics hat am 19. September 2005 an der Fachhochschule Landshut den Studienbetrieb aufgenommen. Der Studiengang bietet mit seinem berufsbegleitenden und anwendungsorientierten Ansatz ein innovatives und bisher einmaliges Weiterbildungsangebot im Bereich des Computer Aided Engineering (CAE). Als Public Private Partnership zwischen den Fachhochschulen Landshut und Ingolstadt und der Cadfem GmbH (Grafing b. München) setzt er zudem Maßstäbe für die oft geforderte engere Zusammenarbeit zwischen Hochschulen und Wirtschaft. Die Studenten des Pilotkurses kommen aus Luxemburg, der Schweiz, Italien, Tschechien, der Türkei und Deutschland. Der Masterstudiengang wird von der European School of Computer Aided Engineering Technology (ESoCaet) organisiert. Als Bereich der Cadfem GmbH ist sie von den Fachhochschulen Ingolstadt und Landshut mit der Organisation des Studiengangs beauftragt worden. Der innovative Ansatz von ESoCaet überzeugt die Europäische Union, das Projekt mit maßgeblichen Mitteln aus dem Leonardo-da-Vinci-Fonds zu unterstützen.

www.esocaet.com/www.cadfem.de

CD-adapco

Renault and CD-adapco

CD-adapco gratuliert dem Renault F1 Team zum Gewinn der FIA Formula One Drivers' World Championship 2005 durch Fernando Alonso und zum Gewinn der FIA Formula One World Constructors' Championship 2005. Seit Beginn im Jahr 2001

verwendet das Renault F1 Team die CAE software Star-CD and Star-CCM+ von CD-adapco.

StarR-CD V3.26 und Star-CCM+ V1.08 verfügbar

CD-adapco kündigt die Verfügbarkeit von Sar-CD V3.26 und Star-CCM+ V1.08 an.

www.cd-adapco.com

Dassault Systèmes

Übernahme von Abaqus, Inc. durch Dassault Systèmes abgeschlossen

Dassault Systèmes gibt den Abschluss der Übernahme von Abaqus, Inc. bekannt. Der „all-cash purchase price“ wurde auf \$413 million US\$ beziffert.

www.3ds.com

Dynamore

Audi AG entscheidet sich für LS-Opt und LS-Dyna

Die Dynamore GmbH, Distributor von LS-Dyna im deutschsprachigen Raum, vermeldet mit der Audi AG einen weiteren wichtigen Kunden aus der Automobilindustrie. Neben der Crashsimulationsoftware LS-Dyna, dem Hauptprodukt des kalifornischen Softwareherstellers LSTC, kommt verstärkt LS-Opt zur Optimierung der Insassensicherheitsysteme zum Einsatz. Dr. Mlekusch, Leiter der Insassensimulation und Module Interieur bei der Audi AG: „Mit LS-Opt steht uns eine Optimierungsoftware zur Verfügung, deren Algorithmen ihre Stärken speziell bei den hochgradig nichtlinearen Problemen in der Crashsimulation und Insassensicherheit haben. Die Software LS-Dyna wird bei uns zunächst im Bereich der Simulation von Whiplash (Schleudertrauma)-Lastfällen eingesetzt. Die hohe Qualität und Genauigkeit des dabei eingesetzten digitalen BioRID-Dummies von Dynamore war mit ein ausschlaggebender Faktor unserer Entscheidung für LS-Dyna.“

4. LS-DYNA Anwenderforum 2005 erneut ein großer Erfolg

Vom 20. - 21. Oktober 2005 fand das 4. LS-Dyna Anwenderforum in Bamberg statt. Organisiert wurde die Veranstaltung von der Dynamore GmbH. LS-Dyna ist eines der weltweit führenden FEM-Softwaresysteme zur rechnerischen Simulation von hochgradig nichtlinearen dynamischen Vorgängen. Über 250 Teilnehmer informierten sich in mehr als 80 Fachvorträgen und in einer Hard- und Softwareausstellung mit über 25 Ausstellern über Anwendungen, Entwicklungen, Trends, Hardware und Zusatzprodukte rund um LS-Dyna. Die umfassenden Informationsmöglichkeiten, der Wissens- und Erfahrungsaustausch und die Möglichkeit der fachlichen Diskussion machten dieses Anwenderforum erneut zu einem großen Erfolg. Das 5. LS-Dyna Anwenderforum findet vom 12.-13. Oktober 2006 in Ulm statt.

www.dynamore.de

Femlab

Femlab wird zu Comsol Multiphysics

Die Version 3.2 von Comsol Multiphysics ist erhältlich: eine Simulationssoftware für Forschung, Entwicklung und Lehre. Mit ihr lassen sich alle gängigen CAD-Formate importieren. Neu ist die Skriptsprache Comsol Script™, mit der Simulationen per Kommandozeile durchgeführt werden können. Die grafische Benutzeroberfläche unterstützt jetzt durchgehend physikalische Einheiten. Im Bereich Numerik liefert Comsol Multiphysics neue Algorithmen für bewegte Netze zur Simulation von bewegten Teilen und geometrischen Parametrisierungen. Die verbesserten Gleichungslöser können Modelle mit Millionen von Freiheitsgraden berechnen und liefern Ergebnisse schneller denn je. Comsol Multiphysics 3.2 ist das Nachfolgeprodukt der weltweit eingesetzten Software Femlab 3.1. Der neue Name wird dem breiten Anwendungsspektrum der Software für wissenschaftliche Berechnungen noch besser gerecht.

www.femlab.de/www.comsol.com

Fluent

Fluent setzt sich bei Williams F1 in einem Benchmark als CFD-Software der Wahl durch

In der Königsklasse des Motorsports hat sich das Formel 1 Team Williams nach einer Reihe von Benchmarks mit CFD-Programmen für die Software Fluent entschieden. Gemäß der Vereinbarung wird Williams F1 in den nächsten drei Jahren ausschließlich Fluent CFD-Programme und -Dienstleistungen bei der Optimierung seiner F1-Wagen einsetzen. Der Vertrag verlängert sich anschließend um zwei Jahre falls Fluent seine Position als CFD-Technologieführer beibehält.

Fluent stärkt mit FloWizard V2 seine Marktführerschaft im Bereich „Rapid Flow Modeling“

Fluent bietet ab sofort mit FloWizard V2 eine neue Version seines automatisierten Strömungslösers im noch jungen Bereich „Rapid Flow Modeling“ an. Mit dem neuartigen CFD-Ansatz des „Rapid Flow Modeling“ werden bereits in einer frühen Phase des Entwicklungsprozesses genaue und schnelle Design-Validierungen ermöglicht. FloWizard V2 hat viele neue Funktionen, unter anderem eine CAD-Integration für Unigraphics, SolidWorks und Solid Edge. Mit diesen Programmen erstellte Entwürfe können nun ohne Übersetzer in generische CAD-Formate direkt eingelesen werden. Neu implementierte CAD- und Netz-Importformate sind Catia V5, Nastran, Patran und Ansys, so dass Kompatibilität zu allen wichtigen CAE-Programmen sichergestellt ist. Der erweiterte Funktionsumfang in FloWizard V2 umfasst kompressible Strömungsphysik, Wärmetauscher-Modellierung und neue Post-Processing Funktionalität, wie z. B. Iso-Oberflächen, beliebige Ebenenschnitte und Punkt- Untersuchungen, so dass damit das Aufgabenspektrum von Entwurfsingenieuren deutlich ausgeweitet werden kann.

www.fluent.de

Fujitsu Siemens Computers

Automatisierte Bandsicherung für kleine und mittlere Unternehmen

Fujitsu Siemens Computers hat mit dem FibreCAT TX10 PacketLoader eine Lösung für die automatisierte Datensicherung und –Wiederherstellung angekündigt. Als Rack-Produkt mit nur einer Höheneinheit und 10 Kassetteneinschüben spart der FibreCAT TX10 PacketLoader nach Angaben des führenden europäischen IT-Herstellers Platz und bietet kleineren und mittelständischen Unternehmen sowie Filialen hohe Zuverlässigkeit. Die neuen Systeme werden ab November 2005 erhältlich sein.

www.fujitsu-siemens.de

Hewlett Packard

HP präsentiert Blade Server mit Itanium 2-Prozessoren

HP hat den HP Integrity Blade BL60p vorgestellt, den ersten Blade Server mit Itanium 2-Prozessoren unter HP-UX 11i. Damit erweitert der Anbieter seine HP Integrity Server-Reihe sowie die modulare BladeSystem-Plattform, die aus HP Blade Servern, Netzwerk-Komponenten und Services besteht und zudem über Management- und Virtualisierungstools verfügt. Mit dem Integrity Blade bietet HP erstmals eine Lösung, die dem HP BladeSystem-Portfolio die Leistungsfähigkeit der HP-UX11i-Plattform und der Integrity-Reihe zur Verfügung stellt. Somit werden Blades für einen weiteren Anwenderkreis zur interessanten Alternative. Die neuen Systeme kommen im ersten Quartal 2006 auf den Markt.

www.hp.com

IBM

Neue Intel-basierte Dual-Core Server mit X3-Architektur

IBM erweitert seine Serverfamilie mit X3-Architektur und stellt neue Serversysteme mit zwei Prozessorkernen vor. Die neuen Server sind mit dem Intel Xeon Prozessor 7000 Sequence ausgestattet (bisheriger Intel interner Code-Name „Paxville MP“).

www.ibm.de

Intec

Gearwheel-Element in der Mehrkörper-Simulations-Software Simpack

Im MKS-Programm Simpack steht zur Dynamiksimulation der von Getrieben und Antriebsträngen ein Zahnradelement zur Verfügung, welches den geometrischen Eingriff analytisch abbildet. Die Eingriffsteifigkeit einer Zahnpaarung entlang der Eingriffsstrecke wird mittels einer von Zähnezahl und Profilver-schiebung abhängigen Funktion beschrieben. Da in die Zahnkraftberechnung auch die dynamischen Änderungen in radialer und axialer Richtung eingeht, erfasst die Simulation auch die Einflüsse aus Lagerung und Wellenbiegung. Mit der Vorgabe von Tip Relief lässt sich der starke Wechsel der Zahnkräfte infolge der Überlagerung der Einzelkräfte auf das gewünschte Maß reduzieren. Durch eine weitgehende Vermeidung iterativer Verfahren arbeitet das Kraftelement schnell, robust und zuverlässig. Dies zeigt sich insbesondere bei der Simulation mehrstufiger Getriebe unter Wechsellast, wo die korrekte Darstellung von Zahnspiel und Phasenlagen der einzelnen Zahneingriffe von großer Bedeutung ist. Verschiedene Firmen nutzten Simpack Gearwheel intensiv zur Entwicklung hochdynamisch beanspruchter Getriebe. Die Rechenergebnisse konnten anhand von Prüfstandsversuchen eindrucksvoll verifiziert werden konnten.

www.simpack.com

LMS

LMS Virtual.Lab Motion Rev 5 führt neuen Auto-Recursive Solver ein

Der neue Auto-Recursive Solver spart bis zu 60% Zeit bei der Lösung komplexer kinematischer Ketten und einer Vielzahl von Kontaktpunkten zwischen den einzelnen Körpern. Damit entfällt der Engpass bei den Berechnungen des dynamischen Verhaltens von z. B. Steuerketten, Riemen, Kettenfahrzeugen und komplexen Produktionsmaschinen. LMS Virtual.Lab Motion Rev 5 bie-

PERMAS

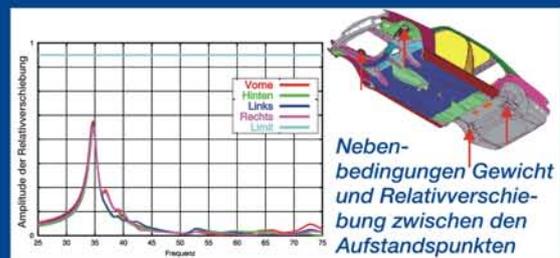
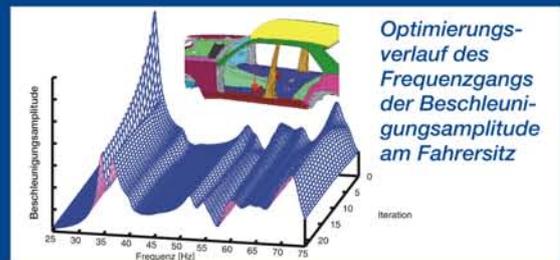
Die innovative Kraft der Simulation



Finite Elemente für erfolgreiche Produkte:

- Statik, Dynamik, Akustik, Wärmeleitung, Elektromagnetik;
- Linear und nichtlinear;
- Kurze Rechenzeit, sehr große Modelle;
- Integrierte Optimierung und Zuverlässigkeitsanalyse.

Zum Beispiel: Frequenzgang-Optimierung



Entwicklung - Beratung - Schulung - Berechnung

INTES GmbH
 Schulze-Delitzsch-Str. 16
 D-70565 Stuttgart
 Tel.: +49-711-784990
 Fax: +49-711-78499-10
 E-Mail: permas@intes.de
 Web: www.intes.de



tet u. a. auch eine neue Funktion zur Berücksichtigung von Subsystemen. Diese Funktion führt eine effiziente Methode ein, die es – basierend auf Subsystemen – ermöglicht, sehr komplexe Mechanismen wie z.B. Ventiltriebe oder Kettenfahrzeuge schnell zu modellieren und zu berechnen. Des Weiteren enthält die neue Version einen effizienten Algorithmus zur Berechnung von Kontaktkräften und lokalen Verformungen zwischen Starrkörpern und elastisch verformbaren Körpern.

DAF optimiert Leistung von Dieselmotoren mit LMS Virtual.Lab

LMS International kündigte an, dass die Software LMS Virtual.Lab Motion für die Simulation und Optimierung des komplexen Betriebsverhaltens von Dieselmotoren bei DAF Trucks N.V., einem in den Niederlanden tätigen Hersteller von mittleren und schweren Nutzfahrzeugen ausgewählt wurde. Als Tochterunternehmen von Paccar Inc., wird DAF Trucks die Software LMS Virtual.Lab einsetzen, um das Design unterschiedlicher Konfigurationen von Dieselmotoren sowohl für die eigenen Nutzfahrzeuge als auch für die Fahrzeuge anderer Hersteller, wie beispielsweise Busse, Reisebusse und Stromgeneratoren, zu steuern.

www.lmsintl.com

MSC.Software

Gardena nutzt verstärkt SimDesigner

Gardena nutzt verstärkt SimDesigner von MSC.Software, um die Produktleistung zu verbessern und die Entwicklungskosten zu senken. MSC.Software Corp. der weltweit führende Anbieter von Virtual Product Development (VPD) Lösungen, inklusive Simulationsssoftware and Services gibt bekannt, dass Gardena Deutschland, der führende europäische Hersteller von Gartengeräten und -ausrüstungen seine Investition in Catia V5-integrierte SimDesigner Produkte erhöht hat. SimDesigner, das von Ingenieuren in der Abteilung Feinmechanik zum Einsatz kommt, wird zur Simulation von Antrieben, Spannungen auf Plastik-

teilen und Teilen verwendet, die in Abhängigkeit von Zentrifugalkräften stehen. "Die Auswahl von SimDesigner für Catia V5 durch Gardena ist typisch für die zunehmende Anzahl spezialisierter Hersteller, die ihren Produktentwicklungs- und Produktionsprozess zu steigern versuchen, indem sie ihre Konstrukteure mit einer vollständig CAD-integrierten Simulationlösung ausstatten," sagt Amir Mobayen, MSC.Software, Corporate Senior VP, EMEA.

science + computing

s+c veröffentlicht scVenus 2.2 Höhere Flexibilität und mehr Effizienz in der Administration

Die science + computing ag (s+c) veröffentlicht scVenus 2.2 - eine neue Version der Systemmanagementsoftware für komplexe Rechenumgebungen. Die wichtigsten neuen Features: scVenus unterstützt ab sofort LDAP als weiteren Verzeichnisdienst, der Administrator kann jetzt zusätzlich mittels Multicast Software verteilen und er kann unterschiedliche Verzeichnisdienste – auch parallel – einsetzen.

www.science-computing.de

Silicon Graphics

SGI baut Position beim datenintensiven Computing mit neuen Cluster- und Storage-Produkten aus

Durch Einführung zweier neuer Produkte - eines fabrikseitig integrierten Clustersystems und einer Speicherlösung, welche sich beide für technisch-wissenschaftliche Anwendungen wie auch für den Einsatz im Unternehmensbereich eignen - macht SGI jetzt neuerlich Performanz und renommierte technologische Eigenschaften zu Preisen für breitere Nutzerkreise verfügbar. Mit dem Cluster 'SGI Altix 1330' und der Lösung 'SGI InfiniteStorage NAS 330' für Network-Attached-Storage zielt das Unternehmen auf Budget-sensible Kunden, die sich nach zuverlässig leistungsfähigen, einfach einricht- und verwaltbaren Lösungen umsehen. Die Produkte sind ab sofort erhältlich und bilden wesentlich erwei-

terte Möglichkeiten zum Einstieg in die SGI-Angebotspalette.

www.sgi.de

Unigraphics Solutions

UGS kündigt Femap Version 9.1 an

Die CAE-Anwendung unter Windows gehört zur UGS Velocity Series und erlaubt gelegentlichen Anwendern und Berechnungsingenieuren eingehende Finite Elemente Analysen. Femap ist die Komponente für Finite-Elemente-Analysen im neuen UGS-Portfolio für den Mittelstand, der UGS Velocity Series. Das umfassende, vorkonfigurierte Software-Portfolio enthält Lösungen für die digitale Produktentwicklung, CAE-Analysen und das Produktdaten-Management. Die Version 9.1 von Femap bietet eingehende Funktionalitäten für das Finite Elemente Modeling in einer nativen Windows-Umgebung und verbindet dies mit dem Zugriff auf weiterführende Analyse-Lösungen. Die Benutzerführung wurde auf die aktuelle Windows-Version umgestaltet und erhöht dadurch die Anwenderfreundlichkeit und Produktivität. Femap arbeitet integriert mit der führenden Solver-Technologie von Nastran zusammen und bildet dadurch eine breite und umfangreiche CAE-Lösung. Die Femap-Version 9.1 enthält unter anderen Erweiterungen leistungsfähige Werkzeuge für die kundenspezifische Anpassung und Automatisierung. Die Auslieferung an Kunden soll im 4. Quartal 2005 beginnen.

www.ugs.com/velocity

www.ugs.com/femap

Bitte senden Sie Ihre Pressemitteilungen an magazin@nafems.de.

Vielen Dank.

FE-DESIGN ist eines der weltweit führenden Engineering- und Softwareunternehmen mit Lösungen zur Struktur- und Prozessoptimierung in der virtuellen Produktentwicklung. Unsere Kunden aus den Bereichen Automobilbau, Luft- und Raumfahrt, dem allgemeinen Maschinenbau sowie Zulieferer und Serviceunternehmen profitieren von unseren bewährten Lösungen und unserer langjährigen Erfahrung in der Struktur- und Prozessoptimierung.



the optimization company

Um unser überdurchschnittliches Wachstum auch in den nächsten Jahren fortzusetzen, wollen wir unser erfolgreiches Vertriebsteam mit der folgenden Position verstärken:

Account Manager (m/w) | Dipl.-Ing./Dipl.-Ing. (FH)

Ihr Tätigkeitsfeld

- die Beziehungen zum vorhandenen großen Kundenkreis weiter festigen
- neue Kunden in den bekannten und neuen Märkten zu gewinnen.

Ihr Profil

- eine engagierte, selbstständig und zielorientiert arbeitende Persönlichkeit
- mit Freude daran, kompetent die spezifischen Anforderungen unserer Kunden zu diskutieren
- und gemeinsam mit unserem technischen Team geeignete Lösungen zu präsentieren
- einige Jahre Berufserfahrung in der virtuellen Produktentwicklung
- Zusätzliche Erfahrungen im Bereich der Optimierung sind von Nutzen.

Wir bieten Ihnen

- ein angenehmes Arbeitsumfeld mit offenem Betriebsklima
- eine interessante und abwechslungsreiche Tätigkeit im Umfeld der Simulation und Optimierung
- die Einarbeitung in zukunftsweisende Technologien mit der Unterstützung hervorragender Experten
- ein attraktives Leistungspaket inklusive Firmenwagen, auch zur privaten Nutzung

Wenn Sie zusammen mit einem motivierten Team unsere ehrgeizigen Ziele erreichen wollen und Sie in einem schnell wachsenden Unternehmen persönlich vorankommen möchten, dann freuen wir uns auf Ihre Bewerbung.

Bitte senden Sie Ihre aussagekräftigen Bewerbungsunterlagen einschließlich Eintrittstermin und Gehaltsvorstellung an

FE-DESIGN GmbH
z.H. Herrn Ioannis Nitsopoulos
Haid-und-Neu-Str. 7
76131 Karlsruhe

www.fe-design.de



INPROSIM

Innovative Produkt Simulation

Wir suchen

Berechnungsingenieure (m/w)

- Zur Erweiterung unseres Teams suchen wir Ingenieure (m/w) für implizite und explizite FEM - Berechnung und Simulation
- Erfahrungen auf dem Gebiet der numerischen Simulation und Crashberechnung sowie Vorkenntnisse in HyperWorks, Ls-Dyna, Abaqus, Nastran oder Ansys sind wünschenswert
- Gerne geben wir jedoch auch engagierten Neueinsteigern eine Chance



Ingenieurbüro für numerische Simulation

Tätigkeitsbereiche:

- Crash- und Unfallsimulation (Ls-Dyna, Abaqus, ...)
- Statische und dynamische Berechnung (Nastran, ...)
- Validierung der Ergebnisse anhand von Versuchen

Anwendungen:

- Triebwerks- / Kraftwerksbau
- Automobilbau sowie Zulieferindustrie
- Allgemeiner Maschinenbau / Konsumgüter



INPROSIM GmbH

Frankfurter Straße 19
65830 Kriftel

www.inprosim.de

06192 / 95 19 78 - 0
info@inprosim.de

Engagierter Dipl. Ing. Maschinenbau (33 Jahre), mit Berufsausbildung als Industriemechaniker und 7 Jahren Berufserfahrung als Berechnungs-Ing. und Projektmanager / Produktentwickler in der KFZ-Zulieferindustrie (Gummi-Metall), sucht neue Herausforderung im Bodenseeraum / Ostschweiz im Bereich FEM-Simulation / Entwicklung. Besondere Kenntnisse und Fähigkeiten: Abaqus, Patran, Tosca, Algor, (Marc); selbständiges und ergebnisorientiertes Arbeiten, teamfähig und kreativ.

Zuschriften erbeten an 2-2005-1@nafems.de

AMD's solutions for leading-edge Transportation

The AMD Opteron™ processor has enabled a new level of performance and productivity to the Automotive Industry. The Opteron processor provides an affordable 64-bit platform for companies to address increasingly complex requirements to simulate reality, whether it is car crash-impact simulation, aerospace fuselage fluid dynamics or the tensile stress of turbine blades in supersonic aircraft. Today, the design, verification and accuracy required of simulations is impacted by increasing simulation complexity and demands for reduced time to solution. Mathematical algorithms employed in simulating reality have high compute loads and perform a great deal of I/O to both memory and the network for system communication on the state of the simulation to all compute resources. The required computational resources for simulation solution are not simply measured by the number of processors but also by the system I/O design. Today, the Opteron processor is the most cost effective high performance 64-bit NUMA computing solution. The processor provides separate I/O ports to meet Automotive user's I/O requirements along with the computing performance for simulation solutions which are at the forefront of the automotive segment, such as crash simulation and Computational Fluid Dynamics (CFD).

By performing crash-impact, CFD and structural simulations in virtual reality, automotive users are employing the AMD Opteron processor to design the most reliable and complex transportation systems of today and tomorrow. Crash-impact analysis software today is limited in performance by processing prowess and communication latency. The software is optimized to make most accesses locally to the processor's cache via strip mining the data into local temporary buffers. The speed of stress, force and velocity computing is inherently limited by the the combined prowess of the compiler and processor. Additionally, each processor must communicate their boundary state with other processors during simulation. This is done today via the Message Passing Interface (MPI) instructions. The simulation state is dependent upon the time elapsed



between sending and receiving messages, referred to as latency. The AMD Opteron processor provides a dedicated 8 GB/s link for PCI express devices, such as network cards; thus minimizing contention between such devices and accesses to memory or caches in SMP cluster nodes. AMD has worked nearly 3 years with LSTC who build one of the leading in crash-impact analysis applications, LS-DYNA. By optimizing both the compiler and ISV vendor code the AMD Opteron processor with its powerful computation floating point unit (FPU), provides users the fastest and best priced solution to performing crash impact analysis (see www.topcrunch.org for publicly available LS-DYNA performance).

In contrast to crash analysis, CFD can not parse out problems in an explicit manner but must solve the non-linear dynamical equation globally via different mathematical procedures. The rate of communication, rather than the latency, is critical to these applications. For the last 2 years AMD has worked with Fluent, one of the leading CFD application vendors, and the premier automotive manufacturer, Ferrari, to optimize Fluent performance. Based on AMD Opteron Processor with its powerful FPU, and dedicated 8 GB/s PCI Express I/O port, this collaboration between customer, software and hardware provider have established the AMD Opteron processor as the industry leading CFD platform.

AMD is committed to continuing to further enable the software infrastructure employed by Automotive software vendors. By optimizing the compiler and hence the performance of the assembly code generated, AMD has enhanced the application performance for both customers and software vendors in the Automotive market as well as across other vertical markets. In the case of crash

impact analysis AMD has dramatically increased the degree of vector code generation and addressing efficiency in LS-DYNA binaries over the past 2 years. As well, AMD and the Numerical Algorithms Group (NAG) have invested in High Performance Computing (HPC) via building the AMD Core Math Library (ACML). The Double precision GEMM (DGEMM) routine, a component of ACML, is heavily utilized and critical to performance in proprietary numerical solvers employed by software vendors such as ANSYS, MSC and ABAQUS. AMD optimized the DGEMM routine in ACML in conjunction with ANSYS and other partners to provide maximal performance in the manner in which it is utilized by Automotive customers. Consequently, many ISVs have witnessed a 20-50% performance benefit by leveraging AMD/NAG optimized math libraries at zero cost to themselves.

Today AMD is providing Automotive customers industry leading performance at cost effective prices while leveraging customer and partner relationships to ensure solutions exist not only today but for the future as well.

Tim Wilkens, Ph.D., MTS
AMD

As requested by many key players in Vertical Markets it is now available the AMD WW Transportation Mailing List.

**If you wish to register you can simply send a mail to leon.little@amd.com with title:
*Registration for AMD WW Transportation Mailing List***

**and adding, as text,
*First and Last Name, Company Name, Address, City, State/Province, Postal Code, Country, Phone Number***

NAFEMS Workshop: The Business Benefits of Simulation

17.11.05 Lake Bluff, USA www.nafems.org NAFEMS USA

NAFEMS Trainingskurs Basic 2: Praxisorientierte Grundlagen für FEM-Analysen

21.-22.11.05 Wiesbaden, D www.nafems.de NAFEMS DACH

NAFEMS Seminar: Component and System Analysis Using Numerical Simulation Techniques – FEA, CFD, MBS

23.-24.11.05 Göteborg, S www.nafems.org/nordic NAFEMS Nordic

Euromold 2005

30.11.-03.12.05 Frankfurt, D www.euromold.com Demat GmbH

2006

1. NAFEMS/AutoSim Workshop

17.-18.01.06 Barcelona, E www.autosim.org NAFEMS

CeBit 2006

09.-15.03.06 Hannover, D www.cebit.de Deutsche Messe AG

NAFEMS Trainingskurs Basic 1: Praxisorientierte Strukturmechanik / Festigkeitslehre

20.-21.03.06 Rapperswil, CH www.nafems.de NAFEMS DACH

1. Konferenz zur Angewandten Optimierung in der virtuellen Produktentwicklung

21.-22.03.06 Karlsruhe, D www.fe-design.de FE-Design GmbH

Simpack Users Meeting

21.-22.03.06 Baden-Baden, D www.simpack.de Intec GmbH

7. Catia-FEM Usermeeting

28.-29.03.06 Würzburg, D www.transcat-plm.com Transcat PLM GmbH & Co. KG

NAFEMS Trainingskurs Basic 1: Praxisorientierte Strukturmechanik / Festigkeitslehre

29.-30.03.06 Wiesbaden, D www.nafems.de NAFEMS DACH

Hannover Messe 2006

24.-28.04.06 Hannover, D www.hannovermesse.de Deutsche Messe AG

NAFEMS Trainingskurs Basic 2: Praxisorientierte Grundlagen für FEM-Analysen

24.-25.04.06 Wiesbaden, D www.nafems.de NAFEMS DACH

NAFEMS Trainingskurs Basic 2: Praxisorientierte Grundlagen für FEM-Analysen

27.-28.04.06 Rapperswil, CH www.nafems.de NAFEMS DACH

Permas Users' Conference

27.-28.04.06 Strasbourg, F www.intes.de Intes GmbH

NAFEMS CFD-Seminar: Simulation gekoppelter Strömungsvorgänge (Multifield FSI) Anwendungen und Entwicklungstendenzen

08.-09.05.06 Wiesbaden, D www.nafems.de NAFEMS DACH

NAFEMS Seminar: Virtual Testing

10.-11.05.06 Wiesbaden, D www.nafems.de NAFEMS DACH

NAFEMS Seminar: Prediction and Modelling of Failure Using FEA

31.05.-01.06.06 Roskilde, DK www.nafems.org/nordic NAFEMS Nordic

VDI-Kongress: Berechnung und Simulation im Fahrzeugbau

27.-28.09.06 Würzburg, D www.vdi-wissensforum.de VDI

5. LS-Dyna Forum

12.-13.10.06 Ulm, D www.dynamore.de Dynamore GmbH

NAFEMS Trainingskurs Basic CFD: Basiswissen für die Anwendung von CFD-Berechnungen

23.-24.10.06 Wiesbaden, D www.nafems.de NAFEMS DACH

NAFEMS Seminar: Materialmodellierung

25.-26.10.06 Wiesbaden, D www.nafems.de NAFEMS DACH

Einführung der mathematischen Optimierung im Unternehmen

– Konzepte und Erfolgsfaktoren –

Axel Schumacher, Professor an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg,
Department für Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau, Berliner Tor 9, 20099 Hamburg, Germany
email: schumacher@fzt.haw-hamburg.de

Dieser Beitrag gibt einen Überblick zu den derzeitigen Möglichkeiten der mathematischen Optimierung. Nach einer kurzen Einführung in die Terminologie werden aktuelle Problemstellungen und Lösungen vorgestellt. Die wichtigsten Strategien zur multidisziplinären und zur multikriteriellen Optimierung werden skizziert. Die Berücksichtigung von Streuungen der Einflussgrößen (robustes Optimieren) wird besonders angesprochen. Zum Schluss wird ein Konzept für ein Roll-out der mathematischen Optimierung in einem Industrieunternehmen vorgestellt.

Definition des Optimierungsproblems

Zu Beginn der Optimierung müssen folgende Fragestellungen geklärt werden:

- Was ist die Zielsetzung der Optimierung? Kann man für das Problem Zielfunktionen definieren, die abhängig von den Einflussgrößen, den sog. Entwurfsvariablen, sind?
- Welche Nebenbedingungen (Restriktionen) müssen bzw. können definiert werden? Sind diese Restriktionen ebenfalls von den Entwurfsvariablen abhängig?
- Welche Größen im Simulationsmodell können verändert werden?
- Von welchen Größen kann welcher Einfluss auf das Systemverhalten erwartet werden?

Die Strukturoptimierung kann nach der Art der möglichen Entwurfsvariablen klassifiziert werden, wobei die Dimensionierung der einfachste Ansatz ist. Den weitreichsten Einfluss in den letzten 10 Jahren hat die Topologieoptimierung zum Finden prinzipieller Strukturkonzepte. Die Verwendung der anderen Arten von Entwurfsvariablen ist teilweise nur mit erheblichem Modellierungsaufwand möglich, wie z.B. eine angepasste CAD-Parametrisierung für den Einsatz in der Gestaltoptimierung [1].

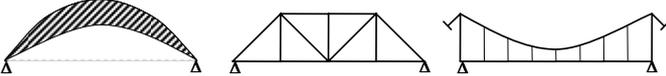
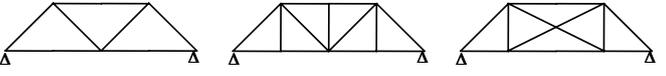
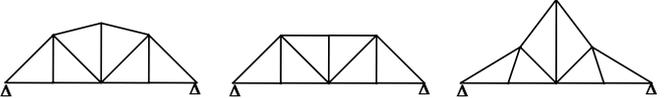
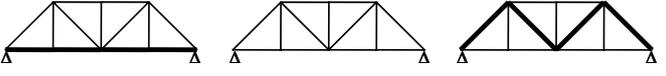
Wahl der Bauweise	
Wahl der Materialeigenschaften	Aluminium Stahl Verbundwerkstoffe
Topologieoptimierung	
Gestaltoptimierung	
Dimensionierung	

Abb. 1: Klassifizierung der möglichen Entwurfsvariablen

Ein beliebiges Optimierungsproblem wird folgendermaßen formuliert:

$$\min f(\mathbf{x}), \quad \text{Zielfunktion} \quad (1)$$

unter Berücksichtigung der Restriktionen:

$$g_j(\mathbf{x}) \leq 0 \quad j = 1, m_g \quad \text{Ungleichheitsrestriktionen,}$$

$$h_k(\mathbf{x}) = 0 \quad k = 1, m_h \quad \text{Gleichheitsrestriktionen,}$$

$$x_i^l \leq x_i \leq x_i^u \quad i = 1, n \quad \text{untere und obere Grenzen der Entwurfsvariablen.}$$

Das Minimierungsproblem „min f(x)“ ist mit „max f(x) = -min f(x)“ oder „max f(x) = min -f(x)“ für alle Aufgabenstellungen einsetzbar.

Mathematische Grundlagen

Für einen effizienten Einsatz der mathematischen Optimierung ist die Aneignung des Wissens zu den prinzipiellen Arbeitsweisen der Optimierungsalgorithmen notwendig. So ist es beispielsweise wichtig zu wissen, dass ganze Klassen von Optimierungsalgorithmen nur das nächstgelegene lokale Optimum finden. An diesen lokalen Optima können auch für Problem mit Restriktionen notwendige Bedingungen angegeben werden, die sich aus der Betrachtung der mit Ableitungen ergeben (Kuhn-Tucker-Kriterien). Effiziente Optimierungsalgorithmen beinhalten viele Ideen zur Effizienzsteigerung. Ein Beispiel ist die aus den 60er Jahren bekannte Methode nach Fletcher und Reeves [1]. Basierend auf der Bestimmung der Suchrichtung durch den steilsten Abstiegs

$$\mathbf{p}^{(k+1)} = - \begin{pmatrix} \partial f(\mathbf{x}^{(k)}) / \partial x_1^{(k)} \\ \partial f(\mathbf{x}^{(k)}) / \partial x_2^{(k)} \\ \vdots \\ \partial f(\mathbf{x}^{(k)}) / \partial x_n^{(k)} \end{pmatrix} = -\nabla f(\mathbf{x}^{(k)}). \quad (2)$$

wird ein Zusatzterm mit Informationen aus der letzten Iteration eingeführt

$$\mathbf{p}^{(k+1)} = -\nabla f(\mathbf{x}^{(k)}) + \frac{|\nabla f(\mathbf{x}^{(k)})|^2}{|\nabla f(\mathbf{x}^{(k-1)})|^2} \cdot \mathbf{p}^{(k)}. \quad (3)$$

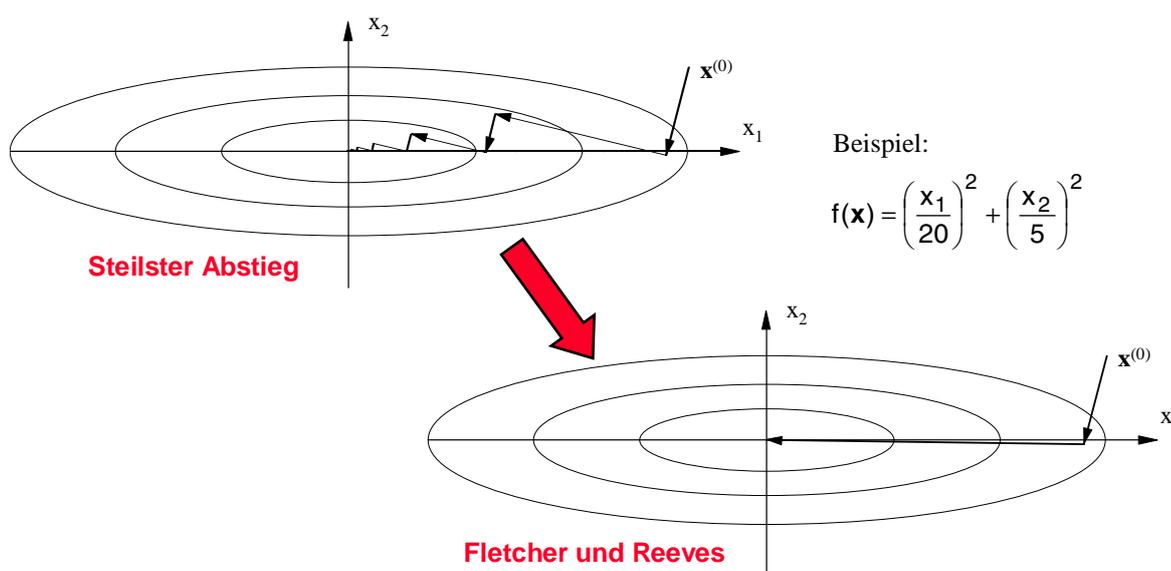


Abb. 2: Iterationshistorien der Methoden des steilsten Abstiegs vs. Fletcher und Reeves

Ziel der mathematischen Optimierung ist natürlich das Finden des globalen Optimums. Bei Problemen mit bis zu 10 Entwurfsvariablen werden hierzu Verfahren eingesetzt, die den Lösungsraum global approximieren („Design for Experiments“ und Response Surface Methoden). Auch liefern Evolutionsalgorithmen gute Ergebnisse [1,2].

Auswahl eines Optimierungssystems

Neben spezieller Strukturoptimierungssoftware haben sich allgemeine Optimierungssysteme etabliert [1]. Sie sind in der Lage, alle physikalischen Simulationen einzubinden, die über ASCII Inputdecks und ASCII Outputdecks verfügen.

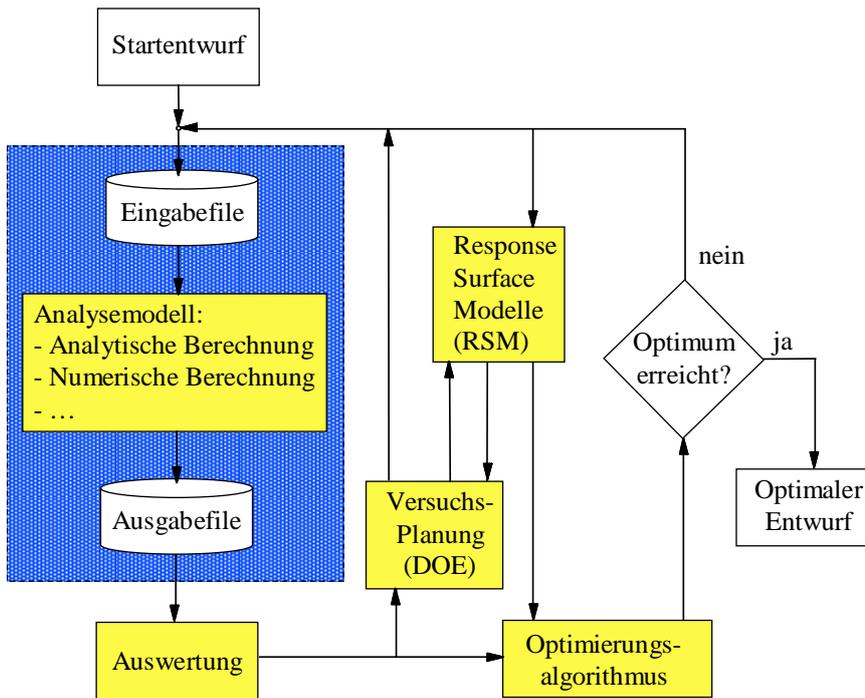


Abb. 3: Architektur eines allgemeinen Optimierungssystems

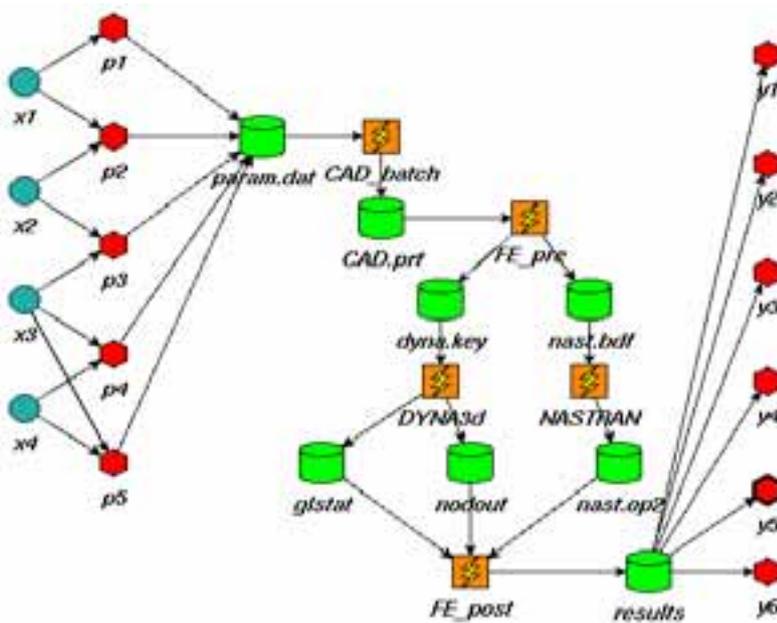


Abb. 4: Definition des Analyseablaufs für eine Optimierung (hier: Crash und Statik)

Im folgenden sind wichtige Punkte zur Auswahl eines geeigneten Optimierungssystems zusammengestellt:

- Einfache Benutzung, minimales Training, gute grafische Oberfläche
- Möglichkeit zur flexiblen Abbildung der kompletten Simulationssequenz („DO“-Schleifen, „IF“-Abfragen)
- Formate der Files der Simulationsprogramme (alle ASCII-lesbaren Files, vorgefertigte Schnittstellen zu verwendeten Simulationsprogrammen)
- Sensitivitätsinformationen
- ineinander verschachtelten Optimierungsschleifen
- Optimierungsalgorithmen
- „Design of Experiments“ und Response-Surface-Modelle
- Offenheit des Systems eigene Algorithmen integrierbar
- Diskrete Werte der Entwurfsvariablen
- „Batch“-Fähigkeit
- „Restart“-Fähigkeit
- Parallelverarbeitung
- Bearbeitung von Funktionen: Filter, ...
- Sparsamer Umgang mit Plattenplatz
- Online-Hilfe
- Online-Monitoring
- Grafische Aufbereitung der Ergebnisse
- Unterstützung durch die Software-Firma

Optimierungsstrategien

Vor dem Start der Optimierung müssen die Probleme so definiert werden, dass sie mit der Formulierung in Gleichung (1) gelöst werden können. In diesem Abschnitt werden einiger Strategien dazu angesprochen. Mit Hilfe der globalen Sensitivitätsmatrix kann ein multidisziplinärer Entwicklungsprozess abgebildet werden. Im einfachsten Fall erfolgt die Einbindung der unterschiedlichen Disziplinen aber über die Definition des Analyseablaufs.

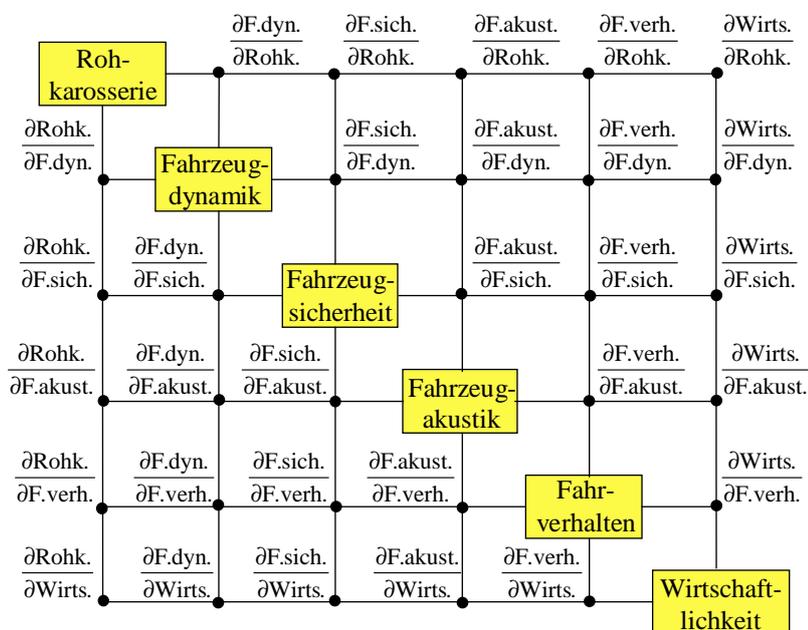


Abb. 5: Globale Sensitivitätsmatrix für eine multidisziplinäre Optimierung

Nicht nur bei multidisziplinären Problemen liegen häufig mehr als eine Zielfunktion vor. Für diese sog. multikriteriellen Probleme gibt es nicht einen optimalen Punkt, sondern eine Linie mit optimalen Punkten, der PARETO-Front. Die beste Möglichkeit zur Generation der PARETO-Front ist die restriktionsorientierte Transformation. Die Idee hierbei ist die Aufteilung der Zielfunktionen in ein Hauptziel und den Nebenzielen. Wenn man verschiedene Optimierungen für verschiedene Werte der neu definierten Restriktionen durchführt, so erhält man jeweils Punkte auf dem PARETO-optimalen Rand. Das ist sehr zeitaufwändig, aber hinsichtlich der Mehrzieloptimierung die beste Vorgehensweise. Mit der PARETO-Front kann nachträglich z.B. in Fachgesprächen der beste Kompromiss gefunden werden.

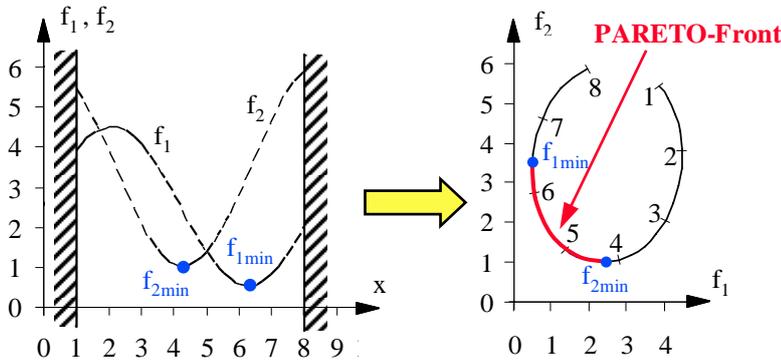


Abb. 6: Entwicklung einer PARETO-Front für zwei Zielfunktionen

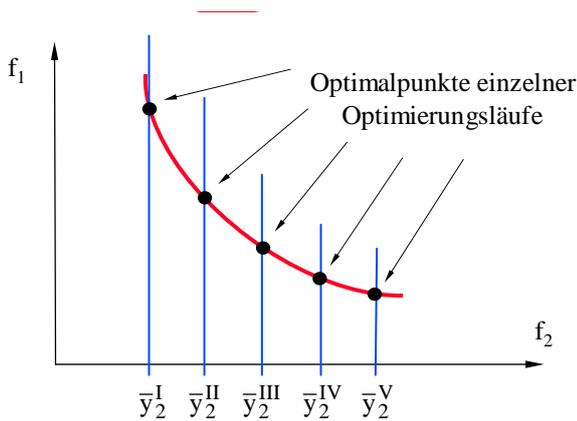


Abb. 7: Restriktionsorientierte Transformation zur Behandlung mehrerer Zielfunktionen

Für die Generation robuster Strukturen ist die Berücksichtigung der Streuungen aller Einflussgrößen (Entwurfsvariablen und andere Parameter) notwendig. Damit ist man in der Lage, schmale Täler zu vermeiden. Eine gute Möglichkeit ist die Verwendung von Quantilen. Beispielsweise beschreibt das 5%-Quantil den Wert, bei dem 5% aller Tests kleiner sind.

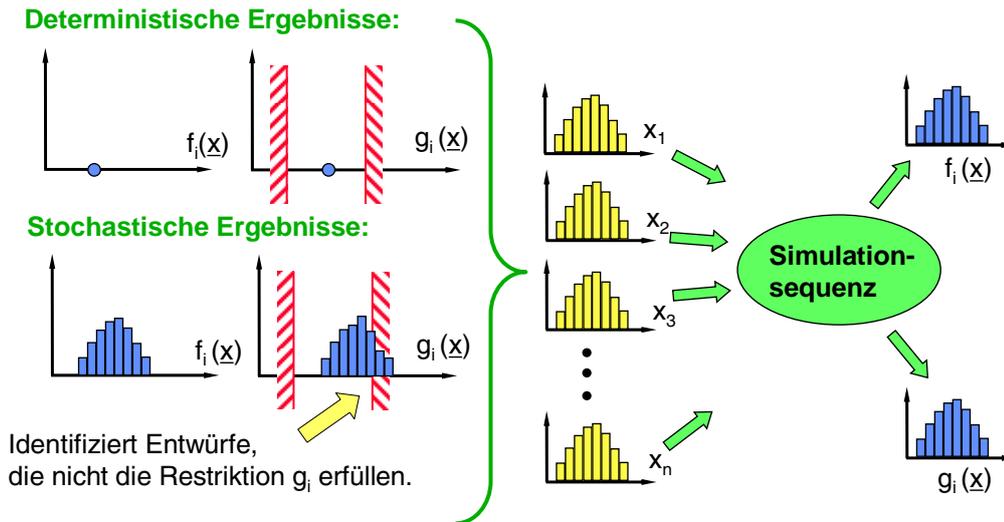
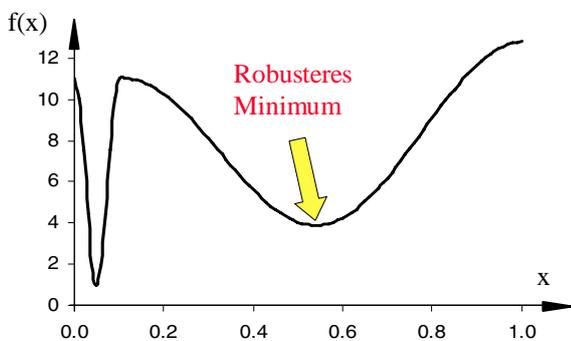


Abb. 8: Berücksichtigung der Streuung der Einflussgrößen in der Simulation



Normalverteilte Streuung von x :

$\sigma(x)$	Δx	$x_{5\%}(x=0)$	$x_{95\%}(x=0)$
0,02	0,033	-0,033	0,033
0,04	0,066	-0,066	0,066

Abb. 9: Vermeiden schmaler Täler durch robustes Optimieren

Als praktisches Beispiel wird die Optimierung der vier Wanddicken des Längsträgers eines Aluminiumfahrzeugs vorgestellt. Die mögliche Streuung der Wanddicken beträgt 0.06 mm. Der dominierende Lastfall ist der Frontcrash. Aus Gründen der Fahrdynamik wird zu der Crashberechnung noch eine Statikberechnung in die Optimierung einbezogen. Die Zielfunktion ist die Maximierung des 5%-Quantils der aufgenommenen Energie ($f_{5\%}$) im Frontcrash. Es werden folgende Restriktionen berücksichtigt:

- Das 95%-Quantil der Verschiebung während des Frontcrashes ($g_{195\%}$) soll kleiner als 300 mm sein.
- Das 95%-Quantil der Längsträgermasse ($g_{295\%}$) soll kleiner als 2.5 kg sein.
- Das 95%-Quantil der statischen Deformation im Torsionslastfall ($g_{395\%}$) soll kleiner als 2.4 mm sein.

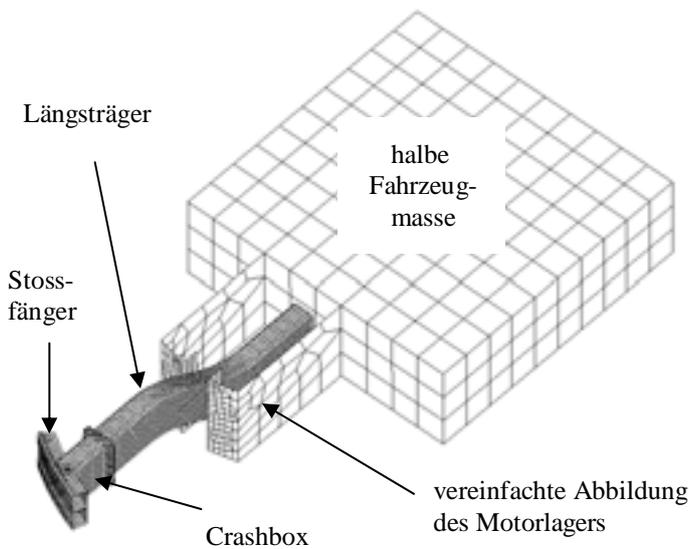


Abb. 10: Beispiel eines Finite Element Ersatzmodells für den Frontcrash

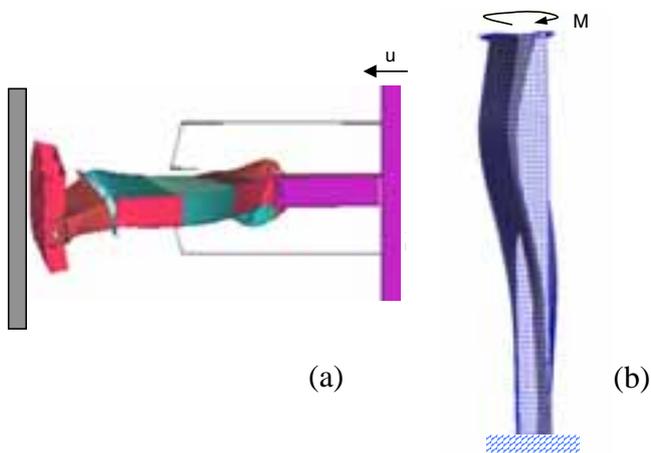


Abb. 11: Strukturantworten im Crash (a) und im Statiklastfall (b)

Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle erfüllen alle die Restriktionen g_1 , g_2 and g_3 :

Optimierungsergebnisse	X_1 [mm]	X_2 [mm]	X_3 [mm]	X_4 [mm]	f [Nmm]
Opt. 1: ohne Berücksichtigung der Streuung	5.0	2.0	5.5	2.0	1.049e7
Opt. 2: mit Berücksichtigung der Streuung von f , g_1 , g_2 , g_3	4.9	2.0	4.4	2.0	0.817e7
Opt. 3: mit Berücksichtigung der Streuung von f , g_1 , g_3	5.2	2.0	5.3	2.0	0.934e7

Die vorgestellten Ergebnisse sind mit einem sehr zeitsparenden Verfahren durchgeführt worden, welches auf der Erzeugung von Response Surfaces aller notwendigen Quantile basiert [3].

Konzept für ein Roll-out der mathematischen Optimierung in der Industrie

Eine Umfrage bei Industriebetrieben in Großbritannien ergab auf die Frage, warum Optimierungsverfahren nicht eingesetzt werden, folgende Gründe [4]:

1. nicht anwendbar: 12%,
2. keine Erfahrung: 38%,
3. keine Möglichkeit: 26%,
4. keine erwartete Verbesserung: 15%,
5. andere Gründe: 9%.

Es liegen also einige Vorbehalte gegen Optimierung vor, die aus dem Weg geräumt werden müssen. Vor allem zu den Antworten 1 und 4 ist zu bemerken, dass Optimierung eigentlich immer anwendbar ist und die Anwendung in der Regel zu Verbesserungen führt. Zudem führt die Optimierung zur Verkürzung der Entwicklungszeiten. Die Optimierungsverfahren sind als Design-Tools zu verstehen. Es muss allerdings gelingen, die tägliche Arbeit im Optimierungslauf abzubilden.

Der in einem Unternehmen gelebte Entwicklungsprozess ist die Rahmenbedingung für die Einführung der Optimierung. Er hat erheblichen Einfluss auf die Möglichkeiten und die Güte der Strukturoptimierung. Besonders für Optimierungen, an denen mehrere Abteilungen beteiligt sind, den sog. multidisziplinären Optimierungen, sind folgende Fragestellungen zu klären:

- Wie ist die Organisationsstruktur in dem Unternehmen? Wie kommunizieren die Abteilungen miteinander? Inwieweit werden wesentliche Aufgaben nach Außen vergeben?
- In welcher Situation ist das Unternehmen? Ist es ausreichend, ein funktionierendes Produkt zu entwickeln oder sind zusätzlich besondere Anforderungen an das Produkt gestellt, die ohne eine aufwändige Strukturoptimierung nicht erfüllt werden können?
- Wie wird Optimierung bereits angewendet?
- Wie ist die Akzeptanz im Unternehmen für Optimierung?
- Wie ist der Trainingsstand der Mitarbeiter/-innen?
- Welche Recherausstattung hat das Unternehmen?
- Wie erfolgt das Datenmanagement? Welche Standards existieren?
- Wie transparent sind Gestaltungsfreiheiten im Entwurfsprozess?

Für ein gutes Roll-out sind folgende Punkte notwendig:

- Durchführung von innerbetrieblichen Informationsveranstaltungen zu den Zielen und den Möglichkeiten der Optimierung,
- Vorführung des Optimierungsprogrammsystems und Beschaffung der Zugangsmöglichkeiten für alle interessierten Mitarbeiter/-innen,
- Durchführung von Pilotprojekten, mit denen die Erfolge der Strukturoptimierung dokumentiert werden können. Dabei sollte das Team von Anfang an integriert sein.
- spezielle Optimierungsaufgaben der Mitarbeiter/-innen besprechen und die Durchführung der Optimierungen betreuen.

Folgende Fehler reduzieren den Nutzen der Optimierung:

- falsche Position im Entwicklungsprozess,
- falscher Zeitpunkt (zu früh oder zu spät,
- falsche Problemdefinition,
- unzureichendes Einbeziehen relevanter Abteilungen und Disziplinen,
- zu wenig Erfahrung in der physikalische Simulation,
- zu wenig Erfahrung in der mathematischen Optimierung,
- Verwendung schlechter Software.

Referenzen

- [1] Schumacher, A.: Optimierung mechanischer Strukturen – Grundlagen und industrielle Anwendungen, Springer, Berlin Heidelberg, 2005
- [2] Schumacher, A.: "Mathematical optimization in the development process of mechanical structures - Overview and rollout investigations –", Proc. of the NAFEMS Seminar "Optimization in the Structural Mechanics", Wiesbaden, April 27-28, 2005
- [3] Schumacher, A.: "Time-saving robust design considering crash performance behavior", in: I.C. Parmee, P. Hajela (eds): Optimization in Industry. Springer, London Berlin Heidelberg, 2002
- [4] Balazs, M.E., Parks, G.T., Clarkson, P.J.: "Optimization in Industry – What Does Industry Really Need?", in: I.C. Parmee, P. Hajela (eds): Optimization in Industry. Springer, London Berlin Heidelberg, 2002

Strukturoptimierung in der industriellen Praxis

Dr. Christoph Katzenschwanz (Leiter der Abteilung CAE-Dienstleistungen)
 Industrieanlagen Betriebsgesellschaft mbH
 Einsteinstr. 20, D-85521 Ottobrunn, Tel.: +49(0)89/6088-2258
 Katzenschwanz@iabg.de, www.iabg.de

Die IABG ist ein Dienstleistungs- und Beratungsunternehmen mit technisch-wissenschaftlichen Schwerpunkten in verschiedenen Geschäftsfeldern. Neben experimentellen Erprobungen und Nachweisen gewinnen seit vielen Jahren numerische Simulationen an Bedeutung.

In diesem Beitrag werden verschiedene Optimierungsverfahren mit ihren Vor- und Nachteilen diskutiert. Insbesondere werden die Topologie-, die Gestalt- und die Parameteroptimierung diskutiert. Anhand von Beispielen aus der industriellen Praxis werden die Möglichkeiten und Grenzen der Verfahren aufgezeigt. Sie zeigen einen Ausschnitt aus vielen erfolgreich durchgeführten Optimierungsprojekten. Die Bedeutung von Randbedingungen und Lasten sowie die Notwendigkeit einer möglichst vollständigen Formulierung des Optimierungsproblems werden aufgezeigt.

Einleitung

Die Entwicklung neuer Produkte muss bei steigenden Anforderungen der Kunden in immer kürzerer Zeit erfolgen. Die Produkte sollen zusätzlich leicht, aber ausreichend steif und fest gestaltet werden. Insbesondere in der Automobil- und der Luft- und Raumfahrtindustrie sind die Leistungsziele an den Leichtbau hoch gesteckt.

Die Erreichung der Ziele erfordert schon zu einem frühen Zeitpunkt der Entwicklung den Einsatz von numerischen Methoden, um die Eigenschaften der Bauteile und Baugruppen virtuell zu erproben, lange bevor Prototypen entstehen. Für den computerunterstützten Entwick-

lungsprozess werden seit geraumer Zeit mit großem Erfolg Optimierungstools eingesetzt.

Dieser Artikel zeigt einige Beispiele aus einer Vielzahl von Optimierungsprojekten in der IABG.

Strukturoptimierung

Die Strukturoptimierung im mathematischen Sinn bedeutet die Minimierung (Maximierung) einer Zielfunktion unter Berücksichtigung von zusätzlichen Nebenbedingungen. In vielen Fällen werden dabei gradientenbasierende Optimierungsmethoden angewandt, um das Optimum zu finden.

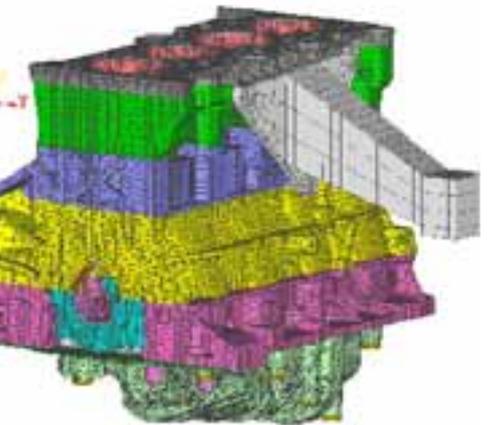


Abb. 1: Kurbelgehäuse

In der Strukturoptimierung wird häufig das Ziel formuliert, eine kostenoptimale Struktur zu entwickeln. Leider lassen sich die Kosten häufig nicht in mathematischen Gleichungen formulieren, so dass anstelle der Kosten Ziele wie „minimales Gewicht“ oder „maximale Steifigkeit“ formuliert werden. Bei vielen derart entwickelten Produkten kam es nie zu einer Markteinführung, weil die Kosten für die Fertigung zu hoch waren.

Neben dieser Zielfunktion haben die Strukturen meist noch andere Anforderungen, so genannte Nebenbedingungen zu erfüllen. Dies können z. B. erforderliche Steifigkeiten an Lasteinleitungsstellen, minimale Eigenfrequenzen oder die Masse des

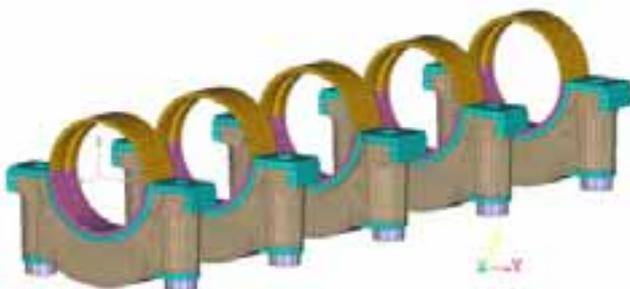


Abb. 2: Detail des Bauraumes der Lagerdeckel

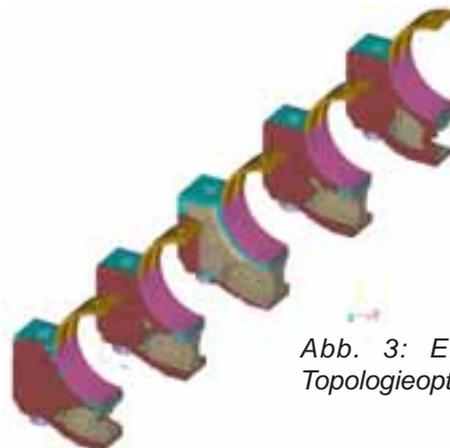


Abb. 3: Ergebnis der Topologieoptimierung

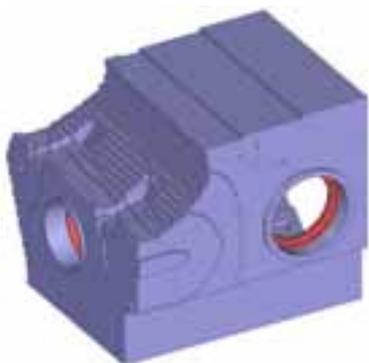


Abb. 4: Bauraum für ein Hinterachsgetriebegehäuse

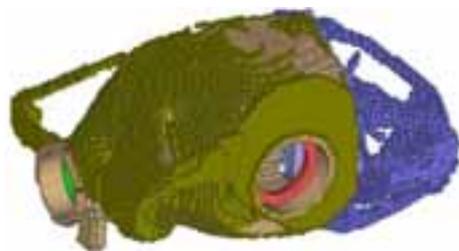


Abb. 5: Ergebnis der Topologieoptimierung für erste Getriebegehäuse (ungeglättetes Modell)

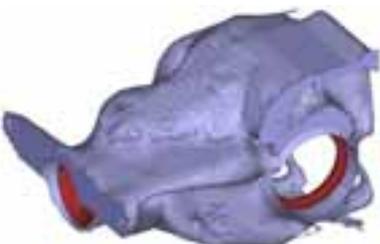


Abb. 6: Ergebnis der Topologieoptimierung mit Berücksichtigung der Entformbarkeit (geglättete Oberfläche)



Abb. 7: Gestalt des neuen Hinterachsgetriebes (BMW 1er)

Bauteils bei der Formulierung einer maximalen Steifigkeit sein. Sehr wichtig sind aber auch Nebenbedingungen, welche aus der Fertigung der Bauteile resultieren. Gerade diese Nebenbedingungen sind in ersten Topologieoptimierungen sehr schwierig umzusetzen gewesen, wodurch die Akzeptanz bei den Konstrukteuren gelitten hat. Generell ist anzustreben, dass möglichst alle Nebenbedingungen, zumindest aber so viele wie möglich, in die Optimierung mit einfließen. Die Schwierigkeit ist hierbei häufig, eine entsprechende mathematische Formulierung in Gleichungen zu finden.

Neben der streng mathematischen Optimierung wie sie in Tools wie MSC.Nastran [3] oder Optistruct [4] verwendet werden gibt es auch regelbasierte Optimierer wie TOSCA [5], die bestimmte Regeln anwenden, um zu einer optimalen Struktur zu gelangen. Beim so genannten „fully stressed design“ werden schrittweise die Elemente entfernt, welche gering belastet sind, um zu einer möglichst gleichmäßig belasteten Struktur zu kommen. Diese stellt dann ein Optimum dar.

Wichtig ist auch zu beachten, dass bis zum Optimierungsmodell einige Vereinfachungen gemacht bzw. Annahmen getroffen werden. Zunächst wird das physikalische Verhalten der Struktur abgebildet. Dies erfolgt häufig mit Hilfe von Finiten Elementen, die das Verhalten widerspiegeln sollen. Aus dieser Modellierung folgt dann ein mathematisches Modell, in dem letztlich die Optimierung durchgeführt wird. Um mit diesem Modell das physikalische Verhalten möglichst gut abbilden zu können, ist es wesentlich,

- die Ränder des Modells korrekt zu wählen,
- eine ausreichende Feinheit des Modells zu wählen und
- eine korrekte Abbildung der Lastpfade, Lagerungen und Belastungen zu finden.

Bei der Strukturanalyse wird häufig ein „konservativer“ Ansatz verwendet, d. h. es werden für die Struktur

ungünstige Annahmen getroffen, um die Beanspruchung nicht zu unterschätzen. Für die Lagerung bedeutet dies häufig, dass eine starre Einspannung gewählt wird. Bei der Optimierung führt diese Modellierung jedoch dazu, dass von der Lasteinleitung zu einem solchen starren Auflager ein möglichst kurzer, gerader Lastpfad gesucht wird. Für die realen Steifigkeitsverhältnisse sind jedoch gewisse Überlappungen notwendig, um die Last ein- bzw. auszuweichen. In der Strukturoptimierung haben Randbedingungen deshalb eine wesentlich größere Bedeutung. Um dieser Anforderung gerecht zu werden, sind die Grenzen des Modells weiter zu fassen. Dies führt dann zu erhöhten Anforderungen an die Ressourcen (z.B. hohe Rechenzeiten). Eine Methode, um dies zu umgehen stellt die Superelement-Technik dar.

Sehr oft wird auch das Potenzial übersehen, was in der Bereinigung der Anforderungen auf das Notwendige besteht. In der industriellen Praxis wird häufig die bisherige Struktur analysiert und bei der Optimierung deren Eigenschaften in unveränderter Form angestrebt. Ob alle diese Eigenschaften notwendig sind oder nur das Resultat der bisherigen Gestaltung, wird nicht hinterfragt. Diese an sich nicht notwendigen Eigenschaften führen zu erhöhtem Gewicht.

Die Strukturoptimierung sollte immer als ein Weg angesehen werden, dem Konstrukteur bei der Gestaltung des Bauteils die notwendigen Entscheidungen zu weisen. Die Strukturoptimierung stellt somit eine Dienstleistung der Berechnung an den Konstrukteur dar. Der Berechnungsingenieur muss die meist verbal formulierten Anforderungen der Konstruktion aufgreifen und in das Optimierungsmodell „übersetzen“. Diese Integration der Anforderungen erfordert häufig viel Erfahrung, die nur durch eine Vielzahl von Projekten erworben werden kann. Leider ist es immer wieder zu beobachten, dass durch Fehler in der Modellierung bzw. der Formulierung der Optimierungsaufgabe unplausible Er-

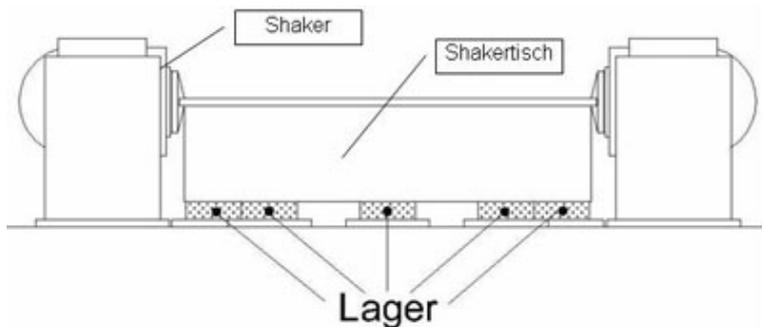


Abb. 8: Elektrodynamischer Shaker der IABG

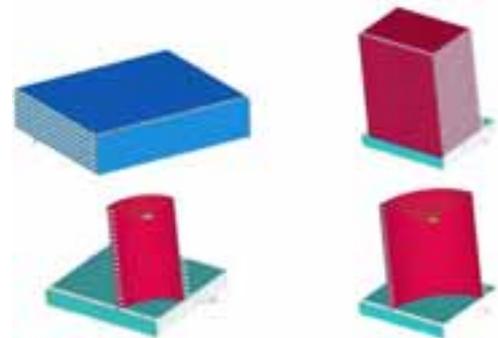


Abb. 9: In der Optimierung verwendete „Prüflinge“ mit dem Bauraum des Shakers

gebnisse entstehen, die anschließend der Methode angelastet werden. Durch die Einbindung – auch von externen Experten – kann dies vermieden werden.



Abb. 10: Gestaltungsvorschlag für einen neuen Gleittisch in der IABG

Topologieoptimierung

Topologieoptimierung ist eine Methode, mit der sich zu einem frühen Entwicklungsstand die Gestalt eines Bauteils bestimmen lässt. Ausgehend von einem Bauraum, der sich an dem zur Verfügung stehenden Platz orientiert sowie den Lasten und Randbedingungen, werden iterativ die Gebiete herausgearbeitet, welche zur Erfüllung der Nebenbedingungen und der Minimierung der Zielfunktion benötigt werden.

Als Ergebnis erhält man die optimierte Struktur, welche die Lastpfade mit ihren Dimensionen und Orientierungen aufzeigt. Zu Beginn der Anwendung dieser Optimierungsmethode konnten Fertigungsrestriktionen nicht berücksichtigt werden. Dies machte es erforderlich, diese für die Vollständigkeit des Optimierungsproblems notwendigen Nebenbe-

dingungen schrittweise in die Optimierung einzubringen, indem mehr und mehr Bereiche aus dem veränderlichen Gebiet der Optimierung genommen wurden. Insbesondere die Kommunikation mit dem Konstrukteur war sehr schwierig, weil diese Anforderungen bei der Entwicklung von z.B. Gussbauteilen wesentlich sind. In den aktuellen Versionen der Optimierungstools sind Einschränkungen der Fertigungsbedingungen heute kaum mehr gegeben. Die Akzeptanz der Ergebnisse ist dadurch deutlich angestiegen.

In [1] ist die Optimierung von Lagerdeckeln eines Motors vorgestellt. Die Aufgabe war, die Gestalt der 5 Lagerdeckel so zu bestimmen, dass bei minimalem Gewicht ausreichende Festigkeit erreicht wird. Neben den Kräften aus der Lagerung der Kurbelwelle sind Schraubenkräfte sowie Lasten und Temperaturrandbedingungen auf das Kurbelgehäuse zu berücksichtigen. Um all diese Anforderungen bei einem möglichst kleinen FE-Modell zu erreichen wurde ein zweistufiges Superelement gebildet, welches viele der unveränderbaren Strukturen beinhaltet. Die dadurch gewonnenen Ressourcen wurden in einen verfeinerten Bauraum investiert (siehe Abbildung 2). Eines der Ergebnisse der Optimierung ist in Abbildung 3 dargestellt. Dieses Ergebnis variiert je nach Verhältnis der Schraubenvorspannkräfte zu den dynamischen Lasten aus der Kurbelwelle.

Ein weiteres Beispiel stellt das Gehäuse eines Hinterachsgetriebes dar [2]. Abbildung 4 zeigt einen typischen Bauraum für das Gehäuse. Zu einem frühen Projektzeitpunkt war es noch nicht möglich, die Fertigungsrestriktion zur Entformbarkeit des Gussgehäuses zu berücksichtigen. In mehreren Optimierungsschritten wurde durch Verändern des Optimierungs- und des unveränderlichen Gebietes diese Fertigungsrestriktion nach und nach eingeführt. Abbildung 5 zeigt ein erstes Ergebnis, wie es sich aus der Optimierung ergab. Deutlich sind die Hinterschneidungen zu erkennen, die in einer Gussausführung nicht zulässig sind. Ferner ist der plastische Eindruck durch die fehlende Glättung unzureichend. Neuere Ergebnisse berücksichtigen die Entformbarkeit und zeigen durch

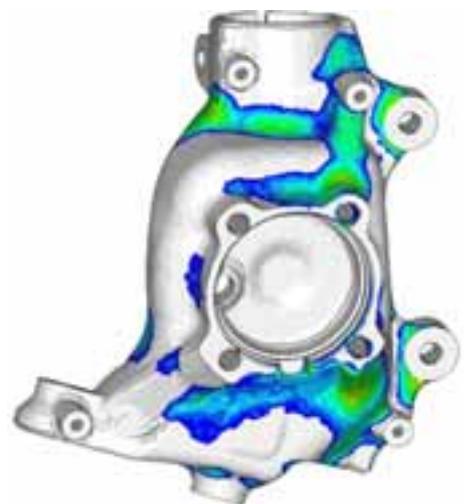


Abb. 11: Schädigung eines Schwenklagers nach der Gestaltungsoptimierung

eine Glättung des Ergebnisses eine deutlich vereinfachte Interpretation der Ergebnisse (Abbildung 6). Die Abbildung 7 zeigt die Umsetzung der Ergebnisse in eine Konstruktion (BMW).

Das dritte Beispiel [6] zeigt die Bestimmung einer möglichen Gestalt für einen neuen Tisch eines elektrodynamischen Shakers. Die IABG führt u. a. Strukturtests an Raumfahrtstrukturen durch. Eine der Anforderungen an diese Strukturen ist eine ausreichende dynamische Struktursteifigkeit, welche mit Hilfe elektrodynamischer Testanlagen ermittelt wird (Abbildung 8). Zwischen 4 Shakern nach dem gleichen Funktionsprinzip wie Lautsprecher, ist ein Tisch montiert, der die Energie der Shaker auf den Prüfling übertragen soll. Dieser Tisch muss ein minimales Gewicht aufweisen, um bei gegebener Kraft hohe Beschleunigungen zu erreichen. Andererseits muss er steif sein, um die Energie zum Prüfling zu übertragen. Der Tisch selbst soll aus einer Magnesiumlegierung bestehen, wobei die maximal gießbaren Mengen beachtet werden müssen. Deshalb wurde in der Optimierung die Maximierung der ersten Eigenfrequenz unter der Nebenbedingung einer Masse von 1800kg gewählt. Um den Einfluss verschiedener Prüflinge in die Optimierung einbeziehen zu können, wurden 4 typische Konfigurationen betrachtet:

- der Tisch ohne Prüfling
- zwei zylindrische Strukturen mit verschiedenen Abmessungen und Schwerpunktlagen und
- ein kastenförmiger Prüfling.

Die Optimierung wurde dabei so durchgeführt, dass alle 4 Konfigurationen in einer Optimierung simultan gerechnet wurden. Wegen der doppelten Symmetrie der Struktur war es ausreichend, unter Beachtung der notwendigen Randbedingungen ein Viertelmodell zu rechnen. Mit einem Grob- und einem Feinmodell wurde zunächst die Anordnung der Lager des Tisches optimiert und anschließend eine Struktur abgeleitet, die eine mögliche neue Gestalt darstellt (Abbildung 10).

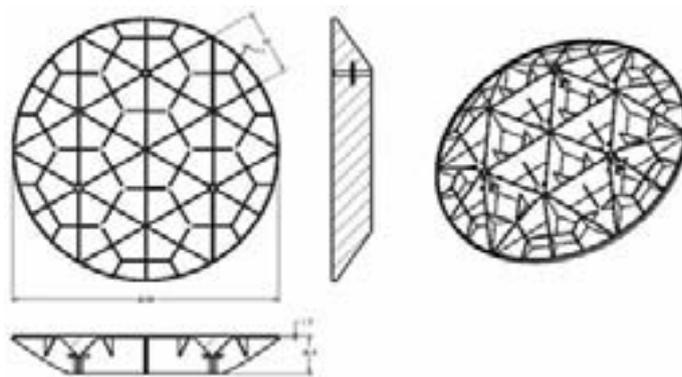


Abb. 12: Satellitenantenne

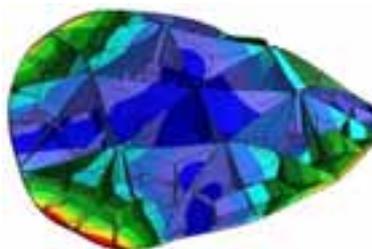


Abb. 13: Erste Eigenform der Antenne

Gestaltoptimierung

Bei der Gestaltoptimierung werden die Knoten des FE-Modells auf der Oberfläche verschoben. Bei Gradienten basierten Optimierungstools (z.B. MSC.Nastran oder Optistruct) sind häufig Formfunktionen zu definieren, die die Verschiebung der Knoten in Abhängigkeit von einigen Variablen definieren. In anderen Programmen, wie z.B. TOSCA wird für jeden Knoten eine eigene Variable definiert. Der Knoten wird dann in Normalenrichtung zur Oberfläche verschoben.

Das Ziel der Optimierung kann die Reduktion der Spannung oder auch die Steigerung der Lebensdauer sein. Aus der Erfahrung verschiedener Projekte kann mit einer Reduktion der Spannungen in Größenordnungen bis zu 20 % gerechnet werden. Weil die gefundene Gestalt wieder in das CAD-Modell zurückgeführt werden muss, bleiben typischerweise Reduktionen von 10 % - 20 %.

In einem weiteren Projekt sollte eine Methode gefunden werden, um die

Lebensdauer von Schwenklagern zu steigern. Zunächst erfolgte die Optimierung auf Basis von Spannungen, die infolge von zwei „lebensdauerrelevanten Lastfällen“ entstanden. Dabei wurden aus den Lastzeitreihen Kräfte und Momente abgeleitet, die in der Optimierung verwendet wurden. Als Ergebnis ergab sich eine gringfügig geänderte Struktur, welche jedoch hinsichtlich der Lebensdauer um Faktoren besser wurde. Mit der Möglichkeit, die Lebensdauerberechnung in die Optimierung mit einzubeziehen wurde in der IABG die Optimierung erneut wiederholt, um das Potenzial der Methode zu ermitteln. Es gelang erneut, die Lebensdauer um einen Faktor 4 gegenüber den bereits optimierten Modellen zu steigern. Dies ist möglich, weil in der Optimierung die Phasenlage der einzelnen Belastungen berücksichtigt wird, was bei den zuvor ermittelten Lastfällen nicht möglich ist. Das Ergebnis der minimierten Schädigung ist Abbildung 11 zu entnehmen.

Bei der Rückführung der Optimierungsergebnisse in das CAD-Modell ist große Sorgfalt notwendig,

weil bereits kleinere Abweichungen zu deutlich verschlechterten Eigenschaften führen können.

Parameteroptimierung

Die Parameteroptimierung stellt eine in der Strukturoptimierung schon sehr lange angewandte Methode dar. Dabei werden diskrete Parameter wie z.B. Wandstärken von Schalen oder Querschnittswerte von Balken verändert.

Antennen für Satelliten müssen hohe Anforderungen an die Formstabilität erfüllen um bei geringer Antennenleistung Daten über weite Entfernungen zu senden. Dabei sind wiederum sehr hohe Anforderungen bezüglich des Leichtbaus zu erfüllen. In der IABG sind Antennen aus faserverstärktem Kohlenstoff entwickelt und gebaut worden, weil dieses Material eine hohe thermische Stabilität aufweist. Ziel war z.B. die Maximierung der ersten Eigenfrequenz bei gegebener Masse.

Zunächst sind verschiedene Konstruktionsprinzipien untersucht worden, um anschließend optimierte Höhen und Wandstärken der einzelnen Rippen zu finden. Abbildung 12 zeigt das Konstruktionsprinzip und Abbildung 13 die erste Eigenform.

Eine weitere, relativ neue Anwendung der Parameteroptimierung stellt die Systemidentifikation dar. Hierbei ist das Ziel der Optimierung Annahmen bei der Modellierung so zu verändern, dass gemessene Eigenschaften der Struktur mit dem numerischen Modell wiedergegeben werden. Die wesentlichen Eigenschaften der Struktur müssen jedoch schon abgebildet sein, die Optimierung hilft nur, die verschiedenen Parameter so zu bestimmen, dass eine gute Übereinstimmung mit den Versuchswerten erreicht wird. Wichtig ist selbstverständlich, dass die im Versuch und der Berechnung untersuchten Konfigurationen einander entsprechen. Bei Modalanalysen sind neben den Eigenfrequenzen auch die Eigenformen in die Optimierung einzubeziehen.

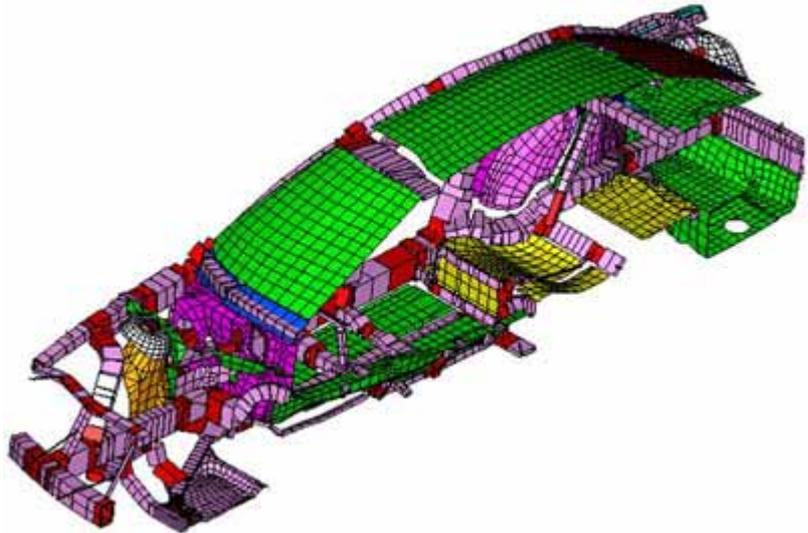


Abb. 14: Optimierung von Fahrzeugkarosserien in einem frühen Entwicklungsstand mit Balken-Schalen-Modellen (BMW)

In einem frühen Entwicklungsstand einer Fahrzeugkarosserie kann mit Hilfe der Parameteroptimierung an Balken-Schalen-Modellen Potenzial zur Gewichtseinsparung dadurch erkannt werden, dass Querschnittswerte der balkenartigen Strukturen optimiert werden. Die betrachteten Lastfälle stellen statische Lasten, Eigenformen und –frequenzen sowie linearisierte Crash-Lasten dar. Ziele und Nebenbedingungen ergeben sich aus Eigenfrequenzen und statischen Steifigkeitswerten (Abbildung 14).

Zusammenfassung und Ausblick

Es wurden verschiedene Optimierungsmethoden aufgezeigt, die alle Phasen der Entwicklung eines Bauteils begleiten können. Beginnend bei der Gestaltfindung mit Hilfe der Topologieoptimierung können durch Gestalt- oder Parameteroptimierung letzte Details der Struktur festgelegt werden.

Es wurde darauf hingewiesen, das Optimierungsmodell vollständig zu formulieren und möglichst alle Anforderungen an die Struktur zu berücksichtigen. Dies gilt in besonderem Maße für die Berücksichtigung der Entformbarkeit bei der Topologieoptimierung, welche zu einer deutlich gesteigerten Akzeptanz der Ergebnisse in der Konstruktion ge-

führt hat. Die Bedeutung der verschiedenen Modellierungsebenen und die letztendliche Optimierung innerhalb eines mathematischen Modells wurden verdeutlicht. Weitergehende Anforderungen an die Struktur wie z. B. akustische Eigenschaften können über „external responses“ in die Optimierung integriert werden und sind bereits in ersten Pilotanwendungen realisiert.

Superelement-Techniken können den erforderlichen Aufwand für die numerische Simulation deutlich reduzieren und helfen auch, Randbedingungen optimal zu berücksichtigen.

Literatur

- [1] Binder, T.; Hougardy, P.; Haffner, P.: „Optimierung von Guss- und Schmiedeteilen bei AUDI“, Simulation, 2/2003
- [2] Braun, S.; Poggel, J.: „Der Triebstrang des BMW 1er“, ATZ-MTZ-Sonderheft BMW 1er, 2004
- [3] MSC.Nastran 2004, Design Sensitivity and Optimization User's Guide
- [4] Altair, Optistruct 7.0 User's Guide
- [5] FE-Design, Tosca 5.0 User's Guide
- [6] Wagner, Auslegung und Optimierung eines Gleittisches für eine elektrodynamische Vibrationsanlage, Diplomarbeit in der IABG

Call-for-Papers | Einladung

1. Konferenz für angewandte Optimierung in der virtuellen Produktentwicklung

21. | 22. März 2006, Dorint Novotel, Karlsruhe



the optimization company

Fokussierung auf anspruchsvolle Technologiethemem

- Stand der Technik und Entwicklungstrends
- best in class Anwendungen aus unterschiedlichen Branchen

Teilnehmer

- Leiter und Mitarbeiter aus Berechnung und Konstruktion
- Entscheidungsträger aus Methodenentwicklung und Prozessoptimierung

Technologiethemem

Strukturoptimierung | Fertigungsrestriktionen | Lebensdauerberechnung |
Schweißpunkte | Integration in den Konstruktionsprozess |
Akustik | MDO | Strömungsoptimierung | MKS Analyse | Robust Design |
Simulation Data Management | ROI

Key Note Speakers

- Andreas Hoppe, Audi AG, Ingolstadt
- Prof. Martin P. Bendsoe, Tech. University, DK-Lyngby
- Dr. Klaus Dreßler, Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern
- Dr. Samir Mahfoudh, Robert Bosch GmbH, Bühl

Abstracts

bis 25. November 2005 an karin.wolff@fe-design.de

Informationen und Anmeldung

FE-DESIGN GmbH | Haid-und-Neu-Straße 7
D-76131 Karlsruhe | Tel. +49 (0)721 96467-0
Fax +49 (0)721 96467-290 | www.fe-design.de

Weltmesse für Werkzeug- und Formenbau,
Design und Produktentwicklung

30. Nov. - 03. Dez. 2005

Messegelände **Frankfurt / Main**

Hallen 5.0, 6.0, 6.1, 8.0, 9.0

www.euromold.com

EUROMOLD

“Vom Design über den Prototyp bis zur Serie”

Jetzt Messebesuch planen!

Neue Bereiche / Neue Hallen

Medizintechnik, Halle 5.0
Werkstoffe, Halle 5.0
Flugzeugbau, Halle 6.1
Virtuelle Technologie, Halle 6.1
Simulation, Halle 6.1
Bionik, Halle 6.1

EuroMold 2005:

1.552 Aussteller aus 44 Ländern!

Veranstalter: DEMAT GmbH, Postfach 110 611, D-60041 Frankfurt/Main, Germany, Tel. + 49-(0) 69 - 274 003-0, Fax: + 49-(0) 69 - 274 003-40, E-mail: euromold@demat.com

CμFD: Simulation in der Mikrofluidik

F. Schönfeld

Institut für Mikrotechnik Mainz GmbH (IMM),
Carl-Zeiss-Str. 18-20, 55129 Mainz, Germany, schoenfeld@imm-mainz.de

Computational-Fluid-Dynamics (CFD) Simulationen sind ein unverzichtbares Glied in der Entwicklungskette von Mikrosystemen am Institut für Mikrotechnik Mainz (IMM). Im vorliegenden Übersichtsbeitrag wird die Anwendbarkeit verschiedener CFD-Methoden im Rahmen der Mikrofluidik anhand einiger ausgewählter Beispiele näher betrachtet. Bezogen auf die Modellierung von Mikromischern werden zwei in gewisser Weise komplementäre Ansätze vorgestellt, welche es erlauben, die in vielen Simulationen dominierende ‚Numerische Diffusion‘ zu eliminieren. Im Zusammenhang mit Emulsionsbildung helfen CFD-Analysen, Tropfenentstehungsmechanismen zu identifizieren und Vorhersagen über zu erwartende Tropfengrößen zu machen. Anhand eines einfachen Beispiels, der kapillaren Befüllung zwischen planparallelen Platten, lässt sich jedoch auch weiterer Entwicklungsbedarf kommerzieller CFD-Solver im Zusammenhang mit der Simulation freier Oberflächen aufzeigen.

1 Einleitung

Nach über einem Jahrzehnt zunächst grundlagenorientierter, dann zunehmend anwendungsbezogener Forschung hat sich die Mikrofluidik inzwischen als integraler Bestandteil in verschiedensten Bereichen wie z.B. der Chemischen Prozesstechnik, Pharmazie, Life-Science und bei der Entwicklung sogenannter Lab-on-a-Chip Systeme etabliert. Um dem Marktpotenzial in diesen Anwendungsbereichen gerecht zu werden, bedarf es zuverlässiger und gleichzeitig effektiver Simulationsansätze zur Realisierung kosteneffizienter Entwicklungen und Optimierungen anhand virtueller (numerischer) Experimente. Die drei wesentlichen Vorteile von μ -Strömungen sind:

Laminarität, verbunden mit hochgradig regelmäßigen und reproduzierbaren Strömungsmustern,
Großer Wärme- bzw. Stofftransport aufgrund kleiner inhärenter Längenskalen,
Großes Oberflächen zu Volumen Verhältnis.

Darüber hinaus ergeben sich alternative Pumpmechanismen durch Ausnutzung elektrokinetischer oder Kapillareffekte sowie einer großen Anzahl weiterer subtilerer Effekte auf der μ -Skala. Bezüglich der Vielfalt mikrofluidischer Phänomene sei z.B. auf [1,2,3] und weiterführende Literatur verwiesen. Im vorliegenden Beitrag sollen anhand von einigen repräsentativen Fallbeispielen verschiedene, auf kommerziellen CFD-Solvern basierende Simulationsmethoden vorgestellt werden, sowie Lösungsansätze von typischerweise auftretenden Problemen und der zu erwartende Benefit diskutiert werden.

2 Anwendbarkeit kommerzieller Solver

Bis auf wenige Ausnahmen beruhen alle heutzutage gebräuchlichen CFD-Solver auf der Lösung der Navier-Stokes Gleichungen in diskretisierter Form. Dem liegen die Annahmen der Kontinuumshypothese und des lokalen thermischen Gleichgewichts zugrunde. Die diesbezügliche für Gase charakteristische Kennzahl ist die Knudsenzahl, welche das Verhältnis zwischen der mittleren freien Weglänge (λ) und der typischen Modellabmessung angibt. Für typische Abmessungen mikrofluidischer Systeme ($10\mu\text{m} - 1\text{mm}$) und Luft unter Standardbedingungen ergeben sich Knudsenzahlen kleiner 10^{-3} , d.h. der Einsatz Kontinuumsmechanik basierter Simulationsansätze ist gerechtfertigt. Für Flüssigkeiten kann z.B. die Dichte-Dichte-Korrelationslänge anstelle der mittleren freien Weglänge als systeminhärente Längenskala gewählt werden [3,4]. Auch hier sind die oben erwähnten Annahmen in aller Regel gerechtfertigt.

Als konkrete Beispiele sollen im Folgenden die Simulation von mikrofluidischen Mischvorgängen, Emulsionsbildung und kapillarer Befüllung näher diskutiert werden.

3 Simulation von μ -Vermischung

Mikromischer sind Schlüsselemente in vielen verfahrenstechnischen und Lab-on-a-Chip Anwendungen. Während im Makroskopischen auf turbulente Durchmischung zurückgegriffen werden kann, steht diese Möglichkeit bei Mikromischern nicht zur Verfügung. Trotz der kleinen Diffusionslängen liegen die Mischzeiten beim rein diffusiven Mischen typischerweise im Bereich von mehreren Sekunden was der Mehrzahl der chemischen oder biochemischen Anwendungen nicht gerecht wird. Durch geschickte Ausnutzung von z.B. Multilamination oder chaotischer Konvektion lassen sich hingegen Mischzeiten im Millisekundenbereich realisieren [4,5].

Bei der simulativen Vorhersage entsprechender Mischvorgänge muss der Einfluss von Diskretisierungsfehlern, der so genannten Numerischen Diffusion (ND), genauestens berücksichtigt werden [6]. Die im Folgenden exemplarisch vorgestellten Simulationenmethoden: Berechnung von Grenzschichtlamellen-Trajektorien und Lösung der Diffusionsgleichung im mitbewegten Koordinatensystem umgehen das Problem der ND auf verschiedene Weise. Im ersten Fall werden Stromlinien anhand des mit CFD bestimmten Geschwindigkeitsfeldes berechnet. Die Startpunkte werden dabei nur auf der ‚Grenzlinie‘ zweier (oder mehrerer) Lamellen gelegt. Die integrierten Stromlinien geben über die im Strömungsverlauf anwachsende ‚Grenzfläche‘ beider zu mischenden Fluide Auskunft, wodurch sich die zu erwartende Durchmischung näherungsweise bestimmen lässt. Für den in Abb. 1a gezeigten Mäanderkanal belegen CFD-Simulationen die Entstehung eines zusätzlichen Wirbelpaares für Deanzahlen ($De=Re \cdot (d/R)^{1/2}$, Re : Reynoldszahl, d : hydrodyn. Durchmesser, R : mittlerer Krümmungsradius) oberhalb $De=140$. Simulationsresultate für $De=200$ sind in Abb.1 wiedergegeben. In der Tat zeigen experimentell ermittelte Mischzeiten in einem entsprechenden Mäanderkanal einen deutlichen Wechsel im Mischverhalten in exzellenter Übereinstimmung mit den numerischen Vorhersagen [7].

Während sich mittels Grenzschicht-Trajektorien qualitative Aussagen zur Mischgüte bei komplexen Strömungsmustern erzielen lassen, können regelmäßige Lamellenanordnungen durch Lösung der Konvektions-Diffusionsgleichung im mitbewegten Bezugssystem

$$\frac{\partial c}{\partial t} + ((u - \bar{u})_i \cdot \nabla_i) c = D \nabla^2 c \quad (1)$$

quantitativ beschrieben werden (c : normierte Tracerkonzentration; D : Diffusionskonstante; u : Geschwindigkeiten). Entsprechend regelmäßige Lamellenkonfigurationen verschiedener am IMM entwickelter Mikromischer sind in Abb.2 gezeigt. Unter Vernachlässigung der in Glg.1 auftretenden Relativgeschwindigkeiten erhält man eine reine Diffusionsgleichung,

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{D}{L^2(t)} \frac{\partial^2 c}{\partial s^2} \quad (2)$$

wobei s die zu den Lamellen senkrechte entdimensionalisierte Raumkoordinate und $L(t)$ die jetzt zeitabhängige Kanalbreite beschreibt [8,9]. Letztere wird eingeführt, um Fokussierungseffekte (vgl. Abb. 1) zu berücksichtigen. Das gesuchte Konzentrationsfeld lässt sich als trigonometrische Reihe darstellen, wobei sich die Koeffizienten durch Einsetzen in Glg. 2, und aus den Rand- bzw. Stetigkeitsbedingungen ergeben [8]. Der hier beschriebene Ansatz wurde auf einen für hochviskose Fluide ausgelegten Split&Recombine-Mischer (vgl. Abb. 3 und Abb. 2 unten, rechts) angewendet [10]. Der Vergleich des berechneten Mischresiduums

$$R = 2 \int_{-1/2}^{1/2} \left| c(s) - \frac{1}{2} \right| ds \quad (3)$$

mit experimentellen Ergebnissen (durch Bildanalyse photometrisch gewonnener Daten) ist in Abb. 4 dargestellt. Das normierte Mischresiduum ist 1 für vollkommen ungemischte Lamellen und strebt gegen 0 mit fortschreitender Durchmischung, d.h. mit zunehmender Anzahl durchlaufener Mischstufen. Der Mischverlauf insgesamt, insbesondere der Punkt vollständiger Mischung, wird im Rahmen des eindimensionalen Diffusionsmodells gut wiedergegeben während eine explizite Simulation mittels CFD aufgrund der ND fälschlicherweise in einer weitaus besseren Mischgüte resultieren würde. Darüber hinaus ist die benötigte Rechenzeit im Falle des 1-D Modells wenige CPUs und damit um Größenordnungen kleiner als für explizite CFD-Rechnungen.

4 Nichtmischbare und Mehrphasen-Systeme

Wie exemplarisch in Abb. 5 gezeigt lassen sich interdigitale Mikromischer auch zur Erzeugung homogener Emulsionen einsetzen. In Abhängigkeit des Verhältnisses der angelegten Flussraten lassen sich zwei unterschiedliche Tropfenentstehungsprozesse beobachten. Im Falle gleicher Flussraten von Silikonöl und gefärbtem Wasser entstehen (Wasser-)Tropfen vornehmlich durch Zerfall eines zylindrischen Jets, während bei einem Flussratenverhältnis von 4:1 Tropfenentstehung am Einlass beobachtet wird. Ziel entsprechender Simulationen ist es, die beobachteten Szenarien zu beschreiben, um so Vorhersagen über zu erwartende Tröpfchengrößenverteilungen zu ermöglichen [12,13]. Im Rahmen Finiter-Volumen basierter CFD-Solver wird ein Zweiphasensystem in der Regel durch eine zusätzliche Volumenanteilsfunktion f beschrieben, welche für jede Zelle des (nicht mitgeführten) Rechengitters den Volumenanteil einer Phase angibt. Zellen mit $f=1$ ($f=0$) enthalten entsprechend ausschließlich Phase 1 (2), während die Zellen mit $0 < f < 1$ die ‚Phasengrenzfläche‘ markieren. Die zeitliche Entwicklung genügt der Konvektionsgleichung

$$\frac{\partial f}{\partial t} + u_i \frac{\partial f}{\partial x_i} = 0. \quad (4)$$

Verschiedene CFD-Codes unterscheiden sich in der Art der Grenzflächenrekonstruktion. Die unten gezeigten Resultate sind mit CFX4 (ANSYS) berechnet worden, die Grenzfläche ist hier jeweils durch die Isofläche der Volumenanteilsfunktion ($f=0.5$) dargestellt. Details bzgl. des gewählten Simulationsansatzes bzw. zur Implementation finden sich in [14,15,16]. Simulationsergebnisse für zwei unterschiedliche Szenarien sind in Abb. 6 wiedergegeben. Die linke Seite zeigt eine Momentaufnahme der simulierten Tropfenentstehung für den experimentell gemessenen Kontaktwinkel Silikonöl/Wasser/Glas von 40°. Bei der auf der rechten Seite dargestellten Simulation wurde ein hypothetischer Kontaktwinkel von 90° angenommen. Beide Simulationen wurden mit einem Flussratenverhältnis von 1:1 durchgeführt. Im ersten Fall wird die wässrige Phase zunächst vollständig von Ober- und Unterseite verdrängt. Der näherungsweise zylindrische Jet zerfällt anschließend, wobei die entstehenden Tropfen Ober- und Unterseite wieder berühren. Für einen Kontaktwinkel von 90° entstehen Wasserlamellen mit annähernd rechteckigem Querschnitt, welche aufgrund des Viskositätsunterschieds fokussiert werden. Die nach dem Lamellenzerfall entstehenden Wassersegmente unterscheiden sich in ihrer Größe, vor allem aber in ihrer Form von den zuvor beschriebenen Wassertröpfchen. Experimentelle Daten und Simulationsdaten für einen Gesamtfluss von 600ml/h sind in untenstehender Tabelle zusammengefasst und zeigen hervorragende Übereinstimmung.

Flussratenverhältnis	Lamellenbreite [µm]	Zerfallswellenlänge [µm]	Tropfendurchm. [µm]
	Exp. Simul.	Exp. Simul.	Exp. Simul.
1:1	100	470	236
	100	513	236
1:4	-	817	190
	-	812	220

Tabelle 1: Vergleich von experimentellen Daten und Simulationsergebnissen zur Tropfenentstehung bei einer Gesamtflussrate (Silikonöl + Wasser) von 600ml/h.

Durch den Vergleich der Zerfallswellenlängen (Simulation und Experiment) mit dem Radius des Wasserjets lässt sich die Rayleigh-Plateau-Instabilität (s. z.B. [17]) als treibende Kraft für die Tröpfchenentstehung identifizieren, d.h. die von den umgebenden Wänden herrührenden Scherraten haben keinen wesentlichen Effekt auf die Tröpfchengrößenverteilung.

5 Freie Oberflächen und dynamische Kontaktwinkel

Phänomene in Verbindung mit freien Oberflächen, wie z.B. Benetzung, Verdunstung oder Kondensation, sind allgegenwärtige Alltagserscheinungen - spielen vor allem aber auch auf der µ-Skala eine wichtige Rolle. Während im obigen Beispiel der Emulsionsbildung die detaillierte Dynamik der 3-Phasenkontaklinie (3PKL) von untergeordneter Bedeutung war, ist dies in vielen Anwendungen nicht der Fall. Im Gegenteil, die mikroskopischen fluiddynamischen Vorgänge nahe der 3-PKL sind von grundsätzlicher Bedeutung und haben eine unmittelbare Rückwirkung auf makroskopische Phänomene, wie z.B. Kontaktwinkelhysterese oder dynamische, d.h. geschwindigkeitsabhängige Kontaktwinkel. In unmittelbarer Nähe der 3-PKL ist die Standardkontinuumsnäherung nicht mehr zulässig, was sich in einer Singularität in der viskosen Spannung bzw.

in einer divergierenden Reibungskraft an der Festkörperoberfläche ausdrückt [18]. Diese Divergenz lässt sich z.B. durch Einführung einer endlichen Schlupflänge im Bereich der 3-PKL beheben [19,20] – eine Strategie, welche zwar im Rahmen von analytischen Entwicklungen für Stokes-Strömungen in vereinfachten Geometrien erfolgreich ist, welche sich aber nicht unmittelbar auf entsprechende CFD-Simulationen übertragen lässt. Die typischen Ausdehnungen entsprechender Schlupfbereiche liegen unterhalb 100nm, während Geometrieabmessungen typischer mikrofluidischer Systeme in der Regel im Milli- bis Zentimeterbereich liegen. Im Folgenden soll das oben umrissene Problem anhand eines einfachen Beispiels, der kapillaren Befüllungen eines Plattenspalts, näher erläutert werden. Das in Anlehnung an [21] untersuchte Modell ist in Abb. 7 skizziert. Die Befüllungsdynamik ist im Rahmen eines 1-D Ansatzes durch

$$\frac{d}{dt} \{ \dot{h} \rho(h) \} = \frac{2\sigma \cos \theta_d}{d} - \frac{12\dot{h}}{d^2} \eta(h) - hg \{ \rho_l - \rho_g \} + p_0 - k_m \frac{\rho \dot{h}^2}{2} \quad (3)$$

gegeben [22], wobei σ , θ_d , d , p_0 Oberflächenspannung, dynamischen Kontaktwinkel, Plattenabstand und Gegen- druck bezeichnen. Dichte und dynamische Viskosität der Gas- (g) und Flüssigphase (l) sind in ρ , η als Funktion der mittleren Meniskushöhe $h(t)$ zusammengefasst:

$\rho(h) = \rho_l h + \rho_g (L - h)$, $\eta(h) = \eta_l h + \eta_g (L - h)$. L bezeichnet die Gesamthöhe der Platten. Der letzte Term der rechten Seite beschreibt die vergrößerte Reibung aufgrund des Übergangs des Geschwindigkeitsprofils von parabolisch hin zu einer räumlich konstanten Geschwindigkeit am Meniskus. CFD-Ergebnisse (Berechnungen mit CFX4, gestrichelte Kurven) und Resultate des 1-D Modells mit statischem und dynamischem Kontaktwinkel [23] sind in Abb. 8 zusammengefasst. Auffallend ist die eklatante Gitterabhängigkeit der CFD-Resultate. Auf einem groben numerischen Berechnungsgitter werden die Meniskusoszillationen ähnlich wie im Falle eines statischen Kontaktwinkels wiedergegeben, während sich die Ergebnisse auf feineren Rechengittern scheinbar dem 1-D-Resultat im Falle eines dynamischen Kontaktwinkels annähern. Eine Konvergenz der CFD-Daten hin zu einer gitterunabhängigen Kurve ist jedoch nicht erkennbar und strenggenommen auch nicht zu erwarten, da die eingangs angesprochene Singularität an der 3-PKL zunehmend besser ‚aufgelöst‘ wird. Ein Lösungsansatz besteht darin, ähnlich dem Vorgehen im Rahmen der analytischen Entwicklungen, einen (makroskopischen) Schlupfbereich an der 3-PKL einzuführen und die dadurch vernachlässigte Reibung mittels lokaler Volumenkräfte zu kompensieren. Entsprechende Simulationsergebnisse sind vielversprechend, die so berechneten Kurven fallen unter geeigneter Wahl der entsprechenden Parameter mit den 1D-Resultaten zusammen (Abweichungen kleiner 1%) und zeigen eine enorme Gitterunabhängigkeit [22]. Da sich somit zuverlässige Resultate auf groben Rechengittern erzielen lassen reduziert sich der Berechnungsaufwand um Größenordnungen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel des vorliegenden Artikels war es, die Anwendbarkeit von Standard-CFD-Ansätzen im Rahmen der Mikrofluidik anhand einiger ausgewählter Beispiele zu beleuchten. Bezüglich der μ -Vermischung wurden zwei, in gewisser Weise komplementäre Ansätze vorgestellt, welche es erlauben die in vielen Simulationen dominierende ND zu eliminieren. Während, sich die Methode der Grenzschicht-Trajektorien vor allem für von chaotischer Konvektion dominierte Anwendungsfälle eignet und hierfür qualitative Aussagen zur Mischgüte erlaubt, lassen sich durch die Lösung der Konvektions-Diffusions-Gleichung in einem mitbewegten Bezugssystem mittels Spektralmethoden auch quantitative Aussagen für regelmäßige Lamellenanordnungen erzielen. In Bezug auf Emulsionsbildung konnte gezeigt werden, dass sich Tropfenentstehung und experimentelle Tropfenrößen mit Standardansätzen beschreiben lassen. Der abschließend diskutierte Fall der kapillaren Befüllung zwischen planparallelen Platten zeigt jedoch Grenzen der bisher in kommerziellen CFD-Solvern implementierten Methoden. Eine Verallgemeinerung der skizzierten Problemlösung auf komplexere Geometrien wird derzeit untersucht.

Größte Anforderungen bzgl. Genauigkeit und Effizienz numerischer Verfahren stellen Probleme, welche sowohl die Berechnung von freien Oberflächen, als auch von konvektivem und diffusivem Massentransport beinhalten. Da im ersten Anwendungsfall die Zeitschrittweite mit der minimalen Ausdehnung der Gitterzellen durch die zellbasierte Courantzahl gekoppelt ist, ist hier ein relativ grobes Gitter zur effizienten Berechnung notwendig. Demgegenüber ist eine feine Gitterauflösung zur genauen Beschreibung der Konzentrationsfelder, d.h. zur Reduktion der ND, erforderlich. Eine entsprechende mikrofluidische Anwendung findet sich bei der Herstellung von μ - und Nano-Pulvern durch Ausfällung aus übersättigten Lösungen. Die Realisierung gewünschter Morphologien bedingt eine möglichst schnelle Durchmischung. Da Standard-Mikromischer aufgrund des auftretenden Foulings nicht eingesetzt werden können, bietet sich die Einbettung der zu mischenden Fluide in

ein weiteres nicht-mischbares Fluid an (s. z.B. [24-27]). Entsprechende Simulationsresultate zusammen mit der Aufnahme eines realen Tropfens sind in Abb. 9 gezeigt.

Abschließend lässt sich feststellen, dass ein Großteil der mikrofluidischen Anwendungen bzw. Systeme mit den derzeit zur Verfügung stehenden Simulationswerkzeugen modelliert werden kann. Mittels eines numerischen ‚Virtual Prototyping‘ lassen sich verfahrenstechnische Anwendungen sowie Lab-on-a-Chip-Systeme effizient optimieren und entsprechende Entwicklungszeiten verkürzen. Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht vor allem bei der realistischen und effizienten Modellierung verschiedener Phänomene an freien Oberflächen, wie z.B. dynamischen Kontaktwinkeln, Kontaktwinkelhysteresen, oder Phasenübergängen, um nur einige zu nennen.

Danksagung

Wir danken der DFG-Forschergruppe FOR 516/1 für die Unterstützung bei Teilen der vorgestellten Arbeiten.

Literatur

- [1] T.M. Squires, S. Quake, Microfluidics: Fluid Physics at the Nanoliter Scale, Reviews in Modern Physics, to appear (2005).
- [2] M. Gad-el-Hak, The Fluid Mechanics of Microdevices – The Freeman Scholar Lecture, J. Fluid Eng. 121 (1999) 5:33.
- [3] Karniadakis, G. E., Beskok, A.; Micro Flows - Fundamentals and Simulation, Springer-Verlag, New York, (2002)
- [4] Hessel, V., Hardt S. and Löwe, H.; Chemical Micro Process Engineering: Fundamentals, Modelling and Reactions, Wiley-VCH, (2004).
- [5] Hardt, S., Drese, K.S., Hessel V. and Schönfeld, F.; Passive micro mixers for applications in the micro reactor and μ TAS field, J. Microfluidics Nanofluidics (2005) im Druck.
- [6] Der durch die Diskretisierung der konvektiven Terme verursachte Fehler führt zu zusätzlichen Diffusionstermen. Bei UPWIND-Diskretisierung der Konvektions-Diffusionsgleichung ist die resultierende numerische Diffusionskonstante linear in der lokalen Geschwindigkeit und Zellgröße und kann leicht physikalische Diffusion dominieren.
- [7] Jiang, F., Drese, K.S., Hardt, S., Küpper M. and Schönfeld, F.; Helical flows and chaotic mixing in curved microchannels, AIChE J 50 (2004), 9, 2297-2305.
- [8] Hardt, S., Pennemann H., Schönfeld, F., Theoretical and Experimental Characterization of a Low-Reynolds-Number Split-and-Recombine Mixer, Microfluidics Nanofluidics (2005)
- [9] Drese, K.S., Optimization of interdigital micromixers via analytical modeling- exemplified with the SuperFocus mixer, Chem. Eng. J., 101 (2004) 403-407.
- [10] Schönfeld, F., Hessel, V., Hofmann C., An Optimised Split-and-Recombine Micro Mixer with Uniform ‚Chaotic‘ Mixing, Lab. Chip., 4 (2004), 65-69.
- [11] IMM: The Catalogue – Process Technology of Tomorrow III, 2004 (www.imm-mainz.de)
- [12] Hardt, S., Schönfeld, F., Weise, F., Hofmann, C., Ehrfeld, W.; Simulation of droplet formation in micromixers, in Proceedings of the "International Conference on Modeling and Simulations of Microsystems", (19 - 21 March 2001); Hilton Head Island, SC.
- [13] Hardt, S., Schönfeld, F.; Simulation of hydrodynamics in multi-phase microreactors, in Proceedings of the "5th World Congress on Computational Mechanics, WCCM", p. <http://wccm.tuwien.ac.at>; (7-12 July 2002); Vienna, Austria.
- [14] Hirt, C. W. and Nichols, B. D.; Volume of fluid (VOF) method for dynamics of free boundaries, J. Comput. Phys. 39, (1981) 201-221.
- [15] Brackbill, J. U., Kothe, D. B. and Zemach, C.; A continuum method for modelling surface tension, J. Comput. Phys. 100, (1992) 335-354.
- [16] CFX4 Solver Documentation "Surface sharpening in free surface flows", CFX/ANSYS.
- [17] Eggers, J., Nonlinear dynamics and breakup of free-surface flows, Rev. Mod. Phys., 69, (1997) 865-930.
- [18] Huh, C. and Scriven, L.E.; Hydrodynamic model of steady movement of a solid/liquid/fluid contact line, J. Colloid Interface Sci., 35, (1971) 85-101.
- [19] Hocking, L.M.; A moving fluid interface. Part 2. The removal of the force singularity by a slip flow J. Fluid Mech., 79, (1977) 209-214.
- [20] Huh, C. and Mason, S.G.; The steady movement of a liquid meniscus in a capillary tube, J. Colloid Interface Sci., 81, (1977) 401-419.
- [21] Quinte, A., Halstenberg, S., Eggert, H., Peters, R.-P. and Schön, C., Mikrosystemtechnische Realisierung von medizinischen Teststreifen, Proceedings 8. Workshop "Methoden und Werkzeuge zum Entwurf von Mikrosystemen", Berlin, Dec 2-3, (1999), 13-22.

- [22] Schönfeld, F., Hardt, S., In Vorbereitung
- [23] Bracke, M., de Voeght, F. and Joos, P.; The kinetics of wetting: the dynamic contact angle, Progr. Colloid Polym. Sci. 79, (1989) 142-149.
- [24] Donnet, M., Jongen, N., Lemaître, J., Bowen, P. and Hofmann, H.; Better control of nucleation and phase purity using a new segmented flow tubular reactor; Model system : Precipitation of calcium oxalate, 14th International Symposium on Industrial Crystallization, Cambridge, UK, 1999, IChemE (1999), 1-13.
- [25] Jongen, N., Lemaître, J., Bowen, P. and Hofmann, H.; Oxalate precipitation using a new tubular plug flow reactor, Proc. 5th World Congress of Chemical Engineering, San Diego, 1996, AIChE (1996), 2109-2111.
- [26] Schenk, R., Donnet, M., Hessel, V., Hofmann, C., Jongen, N., Löwe, H.; Suitability of Various Types of Micromixers for the Forced Precipitation of Calcium Carbonate, Proc. of 5th Int. Conf. on Microrreaction Technology, Strasbourg, (2001) 489- 498.
- [27] Werner, B., Donnet, M., Hessel, V., Hofmann, C., Jongen, N., Löwe, H., Schenk, R. and Ziogas, A.; Specially Suited Micromixers for Process Involving Strong Fouling, IMRET 6 : 6th International Conference on Microreaction Technology : Conference Proceedings, AIChE Spring Meeting, March 10-14, 2002, New Orleans, LA. - New York: AIChE, (2002) 168-183.
- [28] Schönfeld, F., and Rensink, D., Simulation of Droplet Generation by Mixing Nozzles, Chem. Eng. Technol. 26 (2003), 5, 585-591.

Abbildungen

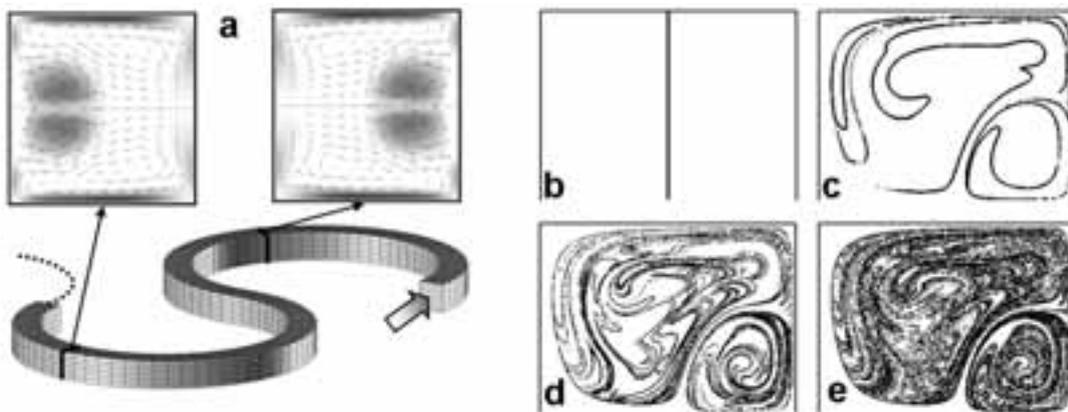


Abbildung 1: a: Segment eines Mäandermischers mit berechneten Sekundärströmungsmustern für $De=200$; b-e: Dynamik der anfänglich vertikalen Lamellengrenze nach dem Durchlauf von 1, 2 und 3 in a abgebildeten Segmenten [7].

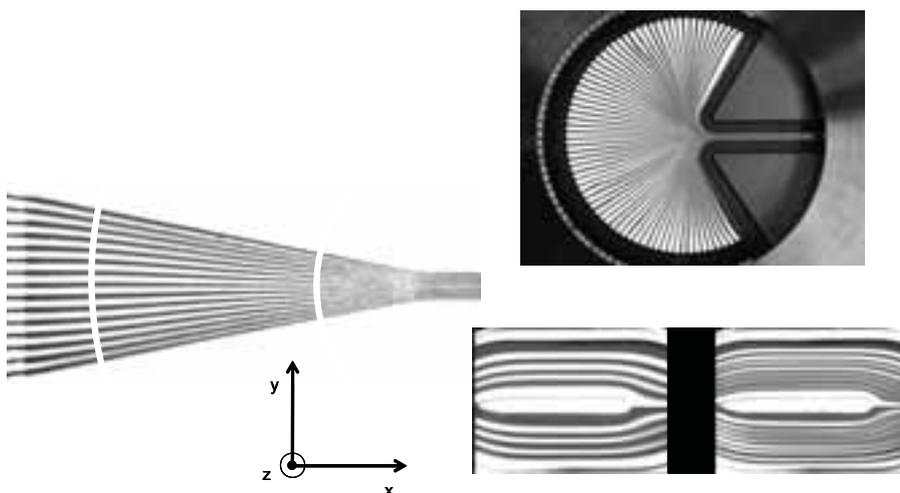


Abbildung 2: Interdigitaler Multilaminationsfluss zweier Fluide (grau, weiß) in verschiedenen am IMM gefertigten Mikromischern (siehe auch [11])

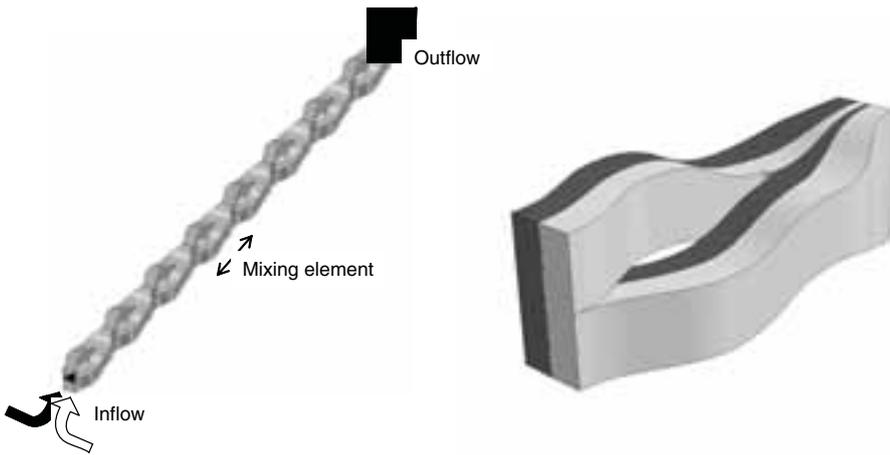


Abbildung 3: Links: Geometrie des Caterpillar-Mischers mit insgesamt 8 Mischstufen. Rechts: einzelne Mischstufe, eingefärbt gemäß der mit CFD-berechneten Fluidverteilung.

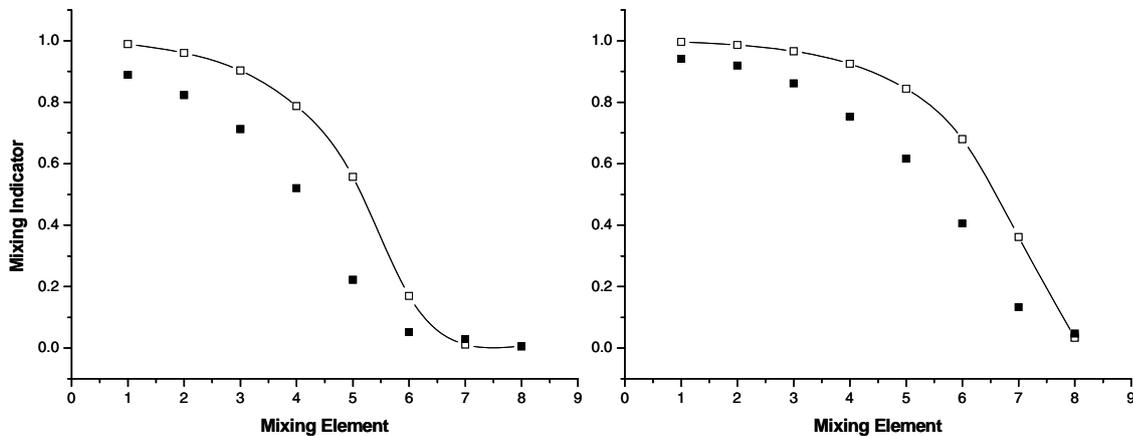


Abbildung 4: Mischverlauf im Caterpillar-Mischer für zwei Glycerin-Wasser-Lösungen als Funktion der durchlaufenen Mischstufen. Die Gesamtflussrate beträgt 200 ml/h (links) und 1600 ml/h (rechts). Die schwarzen Symbole geben experimentelle Daten wieder und weiße Symbole stellen die numerisch berechneten Mischresiduen dar.

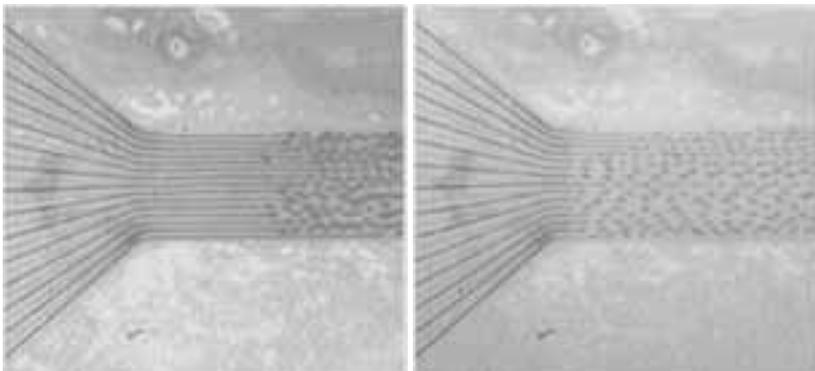


Abbildung 5: Erzeugung von Wassertröpfchen in Silikonöl für Flussratenverhältnisse Wasser zu Silikonöl von 1:1 (links) und 1:4 (rechts).

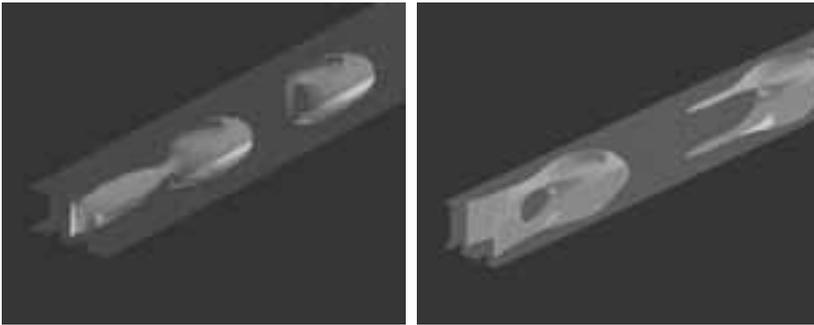


Abbildung 6: Simulationsergebnisse zur Formation von Wassertröpfchen in Silikonöl. Die rechte Seite zeigt einen Momentaufnahme der Tropfenentstehung für den experimentell bestimmten Kontaktwinkel von 40° , bei der rechten Simulation wurde ein hypothetischer Kontaktwinkel von 90° angenommen [13].

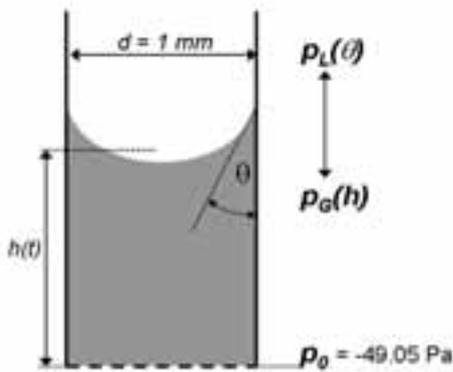


Abbildung 7: Schematische Abbildung zum untersuchten Testfall: Kapillare Befüllung zwischen planparallelen Platten. $h(t)$: mittlere Meniskushöhe, θ : Kontaktwinkel; p_L , p_G und p_0 stehen für Laplace-, hydrostatischen Flüssigkeits- und Gegendruck.

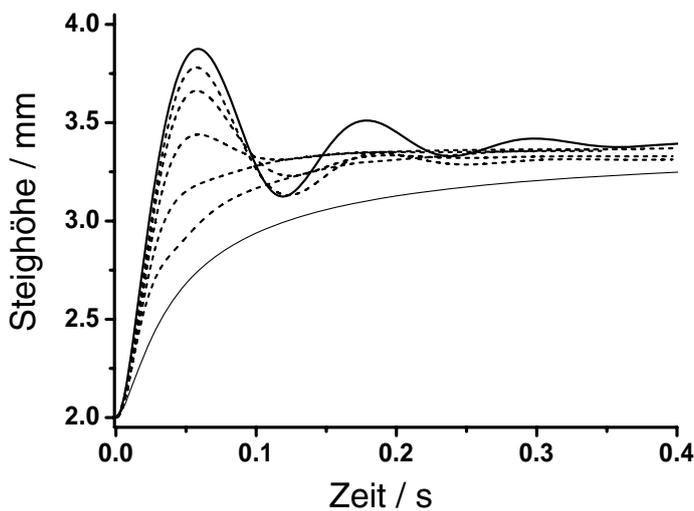


Abbildung 8: Meniskusdynamik für kapillare Befüllung zwischen planparallelen Platten. Die Lösungen des 1-D-Modells für einen statischen und dynamischen Kontaktwinkel sind mit durchgezogenen Linien dargestellt, im ersteren Fall fett, im letzteren dünn. Die gestrichelten Kurven geben CFD-Resultate (CFX4, ANSYS) auf Rechengittern von insgesamt 250, 1000, 4000, 16000, und 64000 Zellen. Die modellierte Geometrie umfasst die Hälfte des in Abb. 7 skizzierten Plattenspaltes mit einem Plattenabstand von 1 mm und einer Gesamthöhe von 5 mm. Der angenommene statische Kontaktwinkel von 55° entspricht einer Gleichgewichtssteighöhe von 3.39 mm.

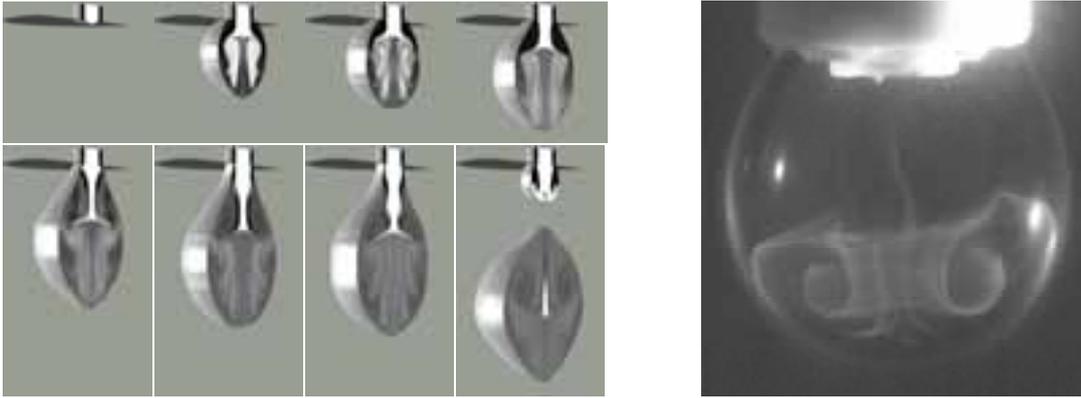


Abbildung 9: Links: Simulation der Tropfenentstehung an einer Mischdüse unter Annahme einer mittleren Einlassgeschwindigkeit von 10 cm/s. Die Grauskala entspricht der berechneten Durchmischung, welche jedoch wesentlich durch ND verfälscht ist [28]. Rechts: Tropfenaufnahme im realen System. Die Ausfällung beginnt im unteren Tropfenabschnitt und ist als heller Schleier zu erkennen [27].

Gekoppelte Strömungs- und Strahlungsberechnung mit MpCCI

Uwe Janoske*, Marco G. Lanfrit**, Carsten Dehning***, Ralph Habig****

*University of Cooperative Education, D-74821 Mosbach, Germany

**FLUENT Deutschland GmbH, D-64295 Darmstadt, Germany

***SCAI Fraunhofer, D-53754 St. Augustin, Germany

****ThermoAnalytics Europe, D-89160 Dornstadt, Germany

Die Wärmeübertragung ist durch die drei Komponenten – Wärmeleitung, konvektiver Wärmeübergang, Strahlung - charakterisiert. Alle drei Anteile werden in kommerziellen CFD-Codes als auch in speziellen Codes für Wärmeberechnungen, z. B. RadTherm berücksichtigt.

Durch die Berechnung des dreidimensionalen Strömungs- und Temperaturfeldes mit Hilfe von CFD-Codes können detaillierte Aussagen zum konvektiven Wärmeübergang gemacht werden. Im Gegensatz dazu werden in den Strahlungs-Codes Strömungsvorgänge mit Hilfe eines 1D-Strömungsmodelles beschrieben, so dass man auf empirische Gleichungen zur Beschreibung des konvektiven Wärmeübergangs angewiesen ist.

Die Nachteile bei der Beschreibung des konvektiven Wärmeübergangs werden durch die schnellen Rechenzeiten bei der Berücksichtigung von Strahlungseinflüssen aufgehoben, so dass die Strahlungs-Codes in diesem Bereich Vorteile besitzen.

Deshalb liegt es nahe, die Vorteile beider Codes durch eine gekoppelte Berechnung zu vereinen. Als Kopplungswerkzeug wird das Programm MpCCI vom Fraunhofer Institut SCAI in St. Augustin eingesetzt.

Am Beispiel der Wärmeübertragung bei der Umströmung einer Abgasanlage werden die Einflüsse unterschiedlicher Betriebsbedingungen dargestellt.

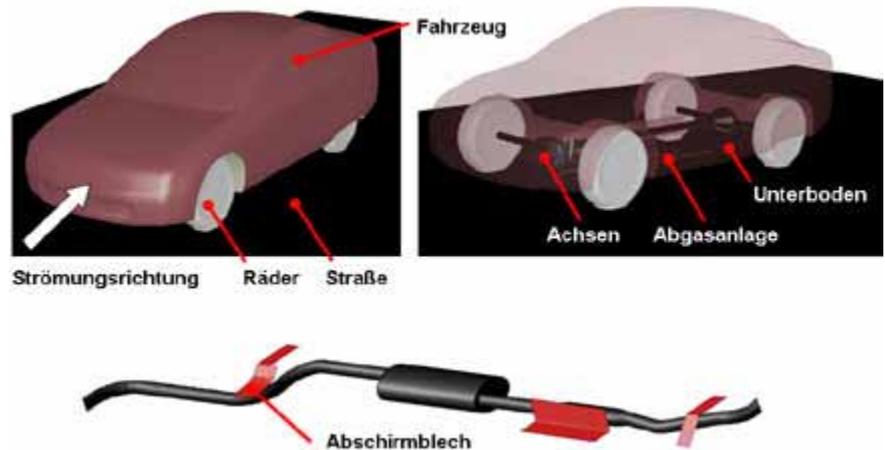


Abb. 1: Darstellung des Fahrzeugmodell mit den Flächen, die in der gekoppelten Rechnung berücksichtigt werden.

Einführung und Motivation

Die Wärmeübertragung ist durch die drei Komponenten – Wärmeleitung, konvektiver Wärmeübergang, Strahlung - charakterisiert. Alle drei Anteile werden in kommerziellen CFD-Codes als auch in speziellen Codes für Wärmeberechnungen, z.B. RadTherm berücksichtigt. Vorteile der Codes für Wärmeberechnungen sind die kurzen Rechenzeiten, die durch die Diskretisierung der dreidimensionalen Berechnungsgeometrie mit einem Oberflächengitter verknüpft sind. Dadurch sind umfangreiche Parametervariationen, Auslegungsrechnungen sowie die Simulation instationärer Prozesse [3] kostengünstig durchführbar. Die Berücksichtigung von Strömungseinflüssen kann durch ein eindimensionales Strömungsmodell berücksichtigt werden. Die konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten werden durch empirische Gleichungen für die aus dem 1D-Modell erhaltenen Fluidgeschwindigkeiten in der Rechnung berücksichtigt.

Im Gegensatz dazu sind CFD-Codes in der Lage diese Wärmeübergangskoeffizienten in der Rechnung explizit zu erfassen. Diese Erhöhung der Genauigkeit wird durch erheblich höhere Rechenzeiten erkauft, da im Gegensatz zu der Modellierung mit speziellen Wärmeberechnungscodes, ein dreidimensionales Berechnungsgitter mit entsprechend feiner Diskretisierung erforderlich ist. Deshalb liegt es nahe, die Vorteile beider Codes durch eine gekoppelte Berechnung zu vereinen. Die Kopplung kann dabei durch Programmschnittstellen, die auf Eigenentwicklungen basieren [1-2] bzw. durch kommerzielle Kopplungswerkzeuge erfolgen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde MpCCI Version 3.0.3 bzw. 3.0.4 vom Fraunhofer Institut SCAI [4, 8-11] in St. Augustin zur Kopplung des CFD-Codes Fluent [6] mit dem Wärmeberechnungsprogramm RadTherm [7] eingesetzt.

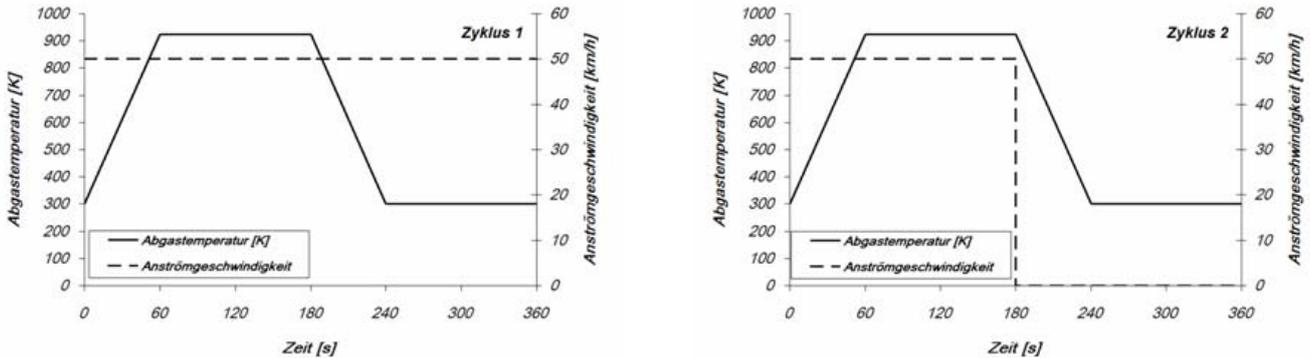


Abb. 2: Fahrzyklen, d.h. Geschwindigkeits- und Temperaturverläufe als Funktion der Zeit

Rechenmodell

Das verwendete Berechnungsgebiet für die Berechnung der gekoppelten Strömungs- und Strahlungsberechnung ist in Abb. 1 dargestellt. Die Außenkontur des Fahrzeugs ist auf der linken Seite zu sehen, während der Unterboden, Achsen und Abgasanlage auf der rechten Seite dargestellt werden. Weiterhin ist die Abgasanlage mit den verwendeten Abschirmblechen dargestellt. Die in Abb. 1 benannten Flächen werden bei der Kopplung zwischen RadTherm und Fluent berücksichtigt. Folgende Vereinfachungen wurden zur Durchführung der Rechnungen getroffen:

- Die Position des Fahrzeugs gegenüber der Straße bleibt unverändert, d. h. es wird keine Relativbewegung zwischen Straße und Fahrzeug berücksichtigt.
- Kompressible, turbulente Strömungsverhältnisse, die mit Hilfe eines k-e-Turbulenzmodells modelliert werden.
- Die Strömung in der Abgasanlage wird mit Hilfe des 1D-Rohrleitungsmodells in RadTherm modelliert.
- Betrachtung stationärer und instationärer Strömungsverhältnisse.
- Die Kopplung mit Hilfe von MpCCI erfolgt durch Übergabe der Wandtemperatur T_w von RadTherm an Fluent bzw. durch Übergabe der Filmtemperaturen T_c und des Wärmeübergangskoeffizienten (stationäre Rechnungen) bzw. des Wärmeflusses (instationäre Rechnungen) von Fluent an RadTherm.

- Aufgrund fehlender motorischer Daten wird kein Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf Last und Drehzahl, d.h. auf Abgastemperatur und Abgasmassenstrom, betrachtet.

Variiert wurde neben der Abgastemperatur am Eintritt in die Abgasanlage, der Abgasmassenstrom sowie die Anströmgeschwindigkeit des Fahrzeugs. Im Fall transienter Rechnungen wurden zwei unterschiedliche Zyklen der Fahrzeuggeschwindigkeit bzw. der Abgastemperatur verwendet, die in Abb. 2 dargestellt sind. Der Abgasmassenstrom wurde konstant gehalten (16 kg/h).

Numerische Ergebnisse

Abb. 3 zeigt die Temperaturverteilung der Abgasanlage sowie des Unterbodens bei den angegebenen Werten. Die höchsten Bauteiltemperaturen treten erwartungsgemäß in strömungsberuhigten Gebieten (Ende des Sammlers der Abgasanlage) auf.

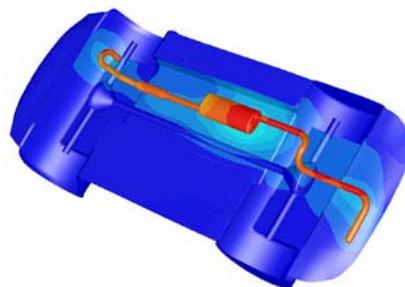


Abb. 3: Temperaturverteilung am Unterboden (Massenstrom Abgas 16 kg/h, Eintrittstemperatur Abgas 923 K, Anströmgeschwindigkeit 50 km/h)

lage) bzw. in Bereichen mit kleinen Bauteilabständen (Ende der Abgasanlage) auf.

In Abb. 4 sind die Flächen gleicher Temperatur ($T=310$ K) dargestellt. Durch die Modellierung der Strömung in der Abgasanlage mit einem 1D-Modell, ist am Ende des Fahr-

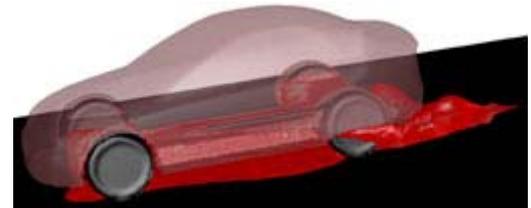


Abb. 4: Flächen gleicher Temperaturen (310 K) (Massenstrom Abgas 16 kg/h, Eintrittstemperatur Abgas 923 K, Anströmgeschwindigkeit 50 km/h)

zeugs keine Abgaswolke zu erkennen. Für eine detaillierte Beschreibung der Temperaturen am Ende des Fahrzeugs müsste die Modellierung innerhalb der Abgasanlage ebenfalls mit Fluent erfolgen.

Abb. 5 gibt die maximalen Bauteiltemperaturen als Funktion der Anströmgeschwindigkeit des Fahrzeugs an. Dabei stellt man bei Zunahme der Anströmgeschwindigkeiten eine Reduktion der Bauteiltemperaturen fest. In den Rechnungen wurden allerdings der Abgasmassenstrom sowie die Abgastemperatur konstant gehalten. Eine Berücksichtigung der Abgastemperaturen für die vorliegenden Fahrgeschwindigkeiten konnte aufgrund fehlender motorischer Daten nicht durchgeführt werden.

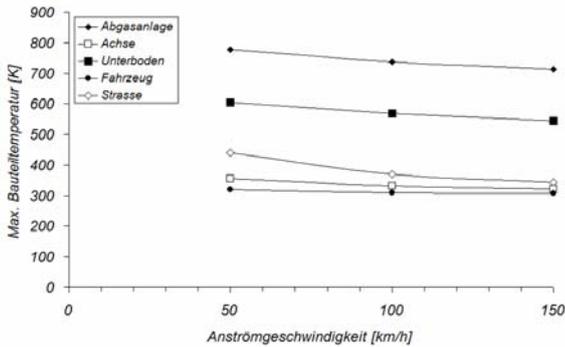


Abb. 5: Maximale Bauteil-Temperaturen als Funktion der Anströmgeschwindigkeit des PKW (Abgasmassenstrom 16 kg/h, Abgastemperatur am Eintritt in Abgasanlage 923 K).

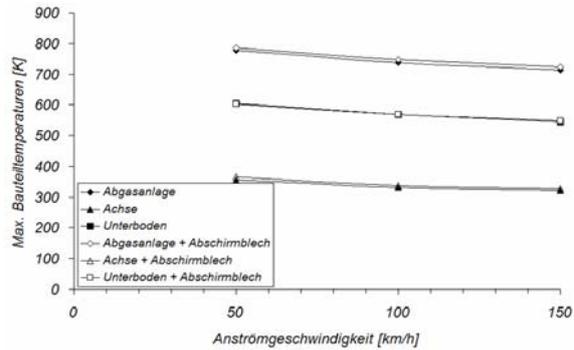


Abb. 7: Einfluss des Abschirmblechs auf die maximalen Bauteiltemperaturen als Funktion der Anströmgeschwindigkeit (Abgasmassenstrom 16 kg/h, Abgastemperatur am Eintritt in Abgasanlage 923 K).

Abb. 6 zeigt die Temperaturen verschiedener Bauteile als Funktion der Zeit sowohl für Zyklus 1 und 2. Dabei zeigt sich das langsamere Abkühlverhalten bei Zyklus 2, da die Anströmgeschwindigkeit des Fahrzeugs nach der ersten Hälfte des Zyklus auf null gesetzt wird. In den ersten 180 s sind die Temperaturen aufgrund der gleichen Temperatur- und Geschwindigkeitsführung gleich.

Abb. 7 zeigt die maximalen Temperaturen verschiedener Bauteile jeweils mit und ohne Wärmeabschirmbleche. Dabei zeigt sich keine Änderung der Maximaltemperatur, die bei den jeweiligen Anströmgeschwindigkeiten konstant bleibt. Durch die Abschirmbleche wurde lediglich die örtliche Verteilung der Temperaturen geändert.

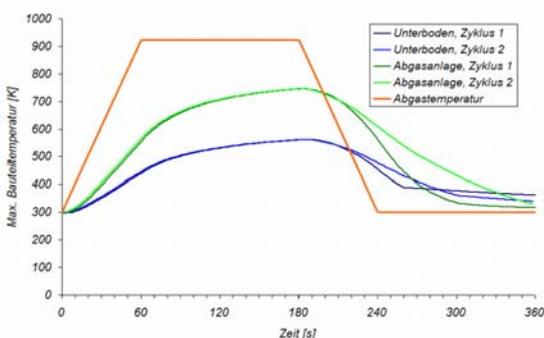


Abb. 6: Maximale Bauteil-Temperaturen als Funktion der Zeit für Zyklus 1 und 2 (Abgasmassenstrom 16 kg/h).

Zusammenfassung und Ausblick

Die Kopplung zwischen dem CFD-Code Fluent und dem Wärmeberechnungsprogramm RadTherm wurde mit Hilfe von MpCCI anhand der Umströmung einer Abgasanlage untersucht. In weiteren Untersuchungen wird das Modell hinsichtlich der Durchströmung der Abgasanlage (Modellierung der Strömung mit Hilfe von Fluent) sowie der Berücksichtigung der Relativbewegung zwischen Straße und Fahrzeug erweitert.

Literatur

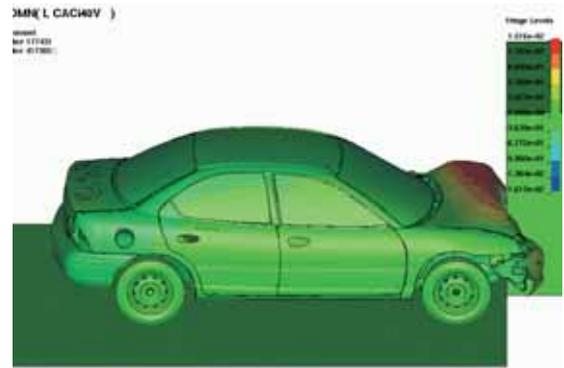
[1] Edward Bendell, Investigation of a Coupled CFD and Thermal Modelling Methodology for Prediction of Vehicle Underbody Temperatures, Proceedings 1st European Users Meeting – Automotive Applications, September 2004, Neu-Ulm, Germany.
 [2] Hannes Steinkilberg, 3D Thermal Calculations of an Exhaust system Hot End, Proceedings 1st European Users Meeting – Automotive Applications, September 2004, Neu-Ulm, Germany.
 [3] Wilko Jansen, Vehicle disc brake cooling factor analysis,

Proceedings 1st European Users Meeting – Automotive Applications, September 2004, Neu-Ulm, Germany.

[4] Carsten Dehning, Coupling RadTherm to different CFD-solvers by using MpCCI, Proceedings 1st European Users Meeting – Automotive Applications, September 2004, Neu-Ulm, Germany.
 [5] Klaus Langeheinecke, Peter Jany, Eugen Sapper, Thermodynamik für Ingenieure, Vieweg-Verlag, Braunschweig, 1993.
 [6] N.N., Fluent 6 Manual, Fluent, Inc.
 [7] N.N., RadTherm 7.1.1 Manual, ThermoAnalytics, Inc.
 [8] N.N., MpCCI 3.0 Manual, Fraunhofer SCAI
 [9] Uwe Janoske, Carsten Dehning, Ralph Habig, Marco G. Lanfrit, Boundary data exchange between CFD and radiation, in: Proceedings 6th MpCCI User Forum 2005, St. Augustin, Germany.
 [10] U. Janoske, C. Dehning, R. Habig, M. Lanfrit, Gekoppelte Strömungs- und Strahlungsberechnung mit MpCCI, in: Proceedings zu 2. NAFEMS CFD-Seminar, 25.-26. April 2005, Wiesbaden.
 [11] U. Janoske, C. Dehning, R. Habig, M. Lanfrit, Coupling of Fluent and RadTherm with MpCCI, in: Proceedings zu European Automotive CFD Conference 2005, 29.-30. Juni 2005, Frankfurt.

Femzip – Reduktion von Datenmengen in der Crash-Simulation

Clemens-August Thole
 Abteilungsleiter Numerische Software
 Schloss Birlinghoven, 53754 Sankt Augustin
 Tel: 02241-14-2739, Fax: 02241-14-2102
 E-Mail: Clemens-August.Thole@scai.fraunhofer.de



Moderne Crashsimulationen erzeugen sehr große Datenmengen. Um diese Daten effektiv nutzen, übertragen und archivieren zu können, müssen sie auf eine sinnvolle Größe komprimiert werden.

In der Automobilindustrie kommt Simulationssoftware heute täglich zum Einsatz. Mit dem verstärkten Einsatz von Crashsimulationen gewährleisten die Fahrzeughersteller ein hohes Sicherheitsniveau bei gleichzeitig verkürzten Entwicklungszeiten. Mit Programmen wie LS-Dyna und Pamcrash erzeugen die Mitarbeiter in den Simulationsabteilungen riesige Datenmengen, deren Handhabung und Übertragung zu einem gravierenden Problem geworden sind. Um diese Daten effektiv nutzen zu können, müssen sie auf eine sinnvolle Größe komprimiert werden.

Auf den ersten Blick erscheint dieses Vorhaben unkompliziert und nicht neu, denn Allzweck-Kompressionsprogramme wie Winzip sind gängig und weit verbreitet. Für die Kompression von Simulationsergebnissen sind diese Standardprogramme jedoch nicht geeignet, da sie diese großen Datenmengen nur un-

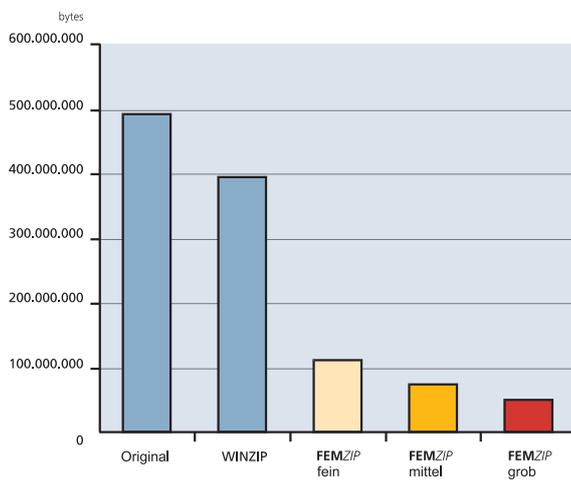
merklich reduzieren. Das Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen (SCAI) hat aus dieser Erkenntnis heraus das Softwarewerkzeug Femzip entwickelt – speziell für die Kompression von Daten aus der Crashsimulation. Denn eine einzige Crashsimulation kann mehrere Gigabyte Datenspeicherplatz belegen. Durch den Einsatz der Crashsimulation für alle Fahrzeugvarianten fallen so in der Simulationsabteilung eines Fahrzeugherstellers pro Jahr Datenmengen in der Größenordnung von etwa 100 Terabyte an. Geeignete Datenkompressionsverfahren helfen, die Kosten für die Datenübertragung, Speicherung und Archivierung zu reduzieren.

Kompressionsverfahren kamen bislang besonders bei Bild- und Videodateien zum Einsatz. Die bei Kompressionen angewandten Vorgehensweisen lassen sich auch auf Daten aus Crashsimulationen übertragen.

wie dies durch Gleitkommaformate als 32-bit oder 64-bit Werte unterstützt wird. Femzip ist so programmiert, dass nach der Dekompression der Daten, die vom Nutzer gewünschte Genauigkeit eingehalten wird. Im zweiten Schritt wird das Simulationsergebnis in jedem Zeitschritt approximiert. Dabei nutzt die Kompressionssoftware Interpolationsverfahren zwischen verschiedenen Zeitschritten und auch zwischen benachbarten Gitterpunkten. Dadurch ist es möglich, Ergebnisgrößen an einem Gitterpunkt genau vorherzusagen. Im dritten und letzten Schritt kodiert das Programm die Differenz aus den approximierten Werten und der berechneten Lösung. Die Kodierung der Zahlendifferenz erfolgt mit adaptiver Wortlänge und unter Berücksichtigung gleichartiger Zahlenfolgen, die nur einmal gespeichert werden.

Die Kompression mit Femzip ist nicht verlustfrei. Aus diesem Grund sind die erzielten Kompressionsraten abhängig von der vorgegebenen Genauigkeit. Den Praxistest bei der DaimlerChrysler AG hat Femzip bestanden. In der höchsten Genauigkeitsstufe wurde die Größe der Ergebnisdatei einer Simulation mit dem Fahrzeugmodell Neon von 500 Megabyte auf 100 Megabyte reduziert. Die Rechenzeit, die der Computer zum Berechnen der Kompression benötigt, liegt bei einem handelsüblichen PC mit einem 2 GHz-Prozessor bei 110 Sekunden für die Komprimierung und 70 Sekunden für die Dekomprimierung.

Im ersten Schritt hat der Anwender die Möglichkeit, für Femzip sowohl absolute als auch relative Genauigkeitsanforderungen vorzugeben. Nicht alle berechneten Größen müssen so genau dargestellt werden,



Bitte per Post oder Fax senden:

Tel.: +49 (0)8092-83550

Fax: +49 (0)8092-83551

e-mail: info@nafems.de

Adresse für Fensterkuvert



NAFEMS Kontakt DACH & Nordic
Schillerstr. 6

D-85567 Grafing
Germany

Rückantwort: NAFEMS Magazin 2/2005

Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Mitgliedschaft | <input type="checkbox"/> NAFEMS World Congress (2007 in USA) |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Magazin „Benchmark“ | <input type="checkbox"/> Registered Analyst Zertifizierung |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Seminare | <input type="checkbox"/> EU-Projekte |
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Trainingskurse | <input type="checkbox"/> Internationale Arbeitsgruppen |

Bitte nehmen Sie mich in Ihren Verteiler auf.

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

Ich möchte folgendes zum NAFEMS Magazin anregen:

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

Absender

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____

Bitte senden Sie das NAFEMS Magazin auch an:

Firma: _____

Abt.: _____

Titel, Vor-/Nachname: _____

Straße: _____

PLZ-Ort: _____

Tel.: _____

Fax: _____

e-mail: _____