



# NAFEMS

## MAGAZIN

Zeitschrift für numerische Simulationsmethoden und angrenzende Gebiete

FEM – CFD – MKS – VR / VIS – PROZESS – PDM

### Fachbeiträge:

#### Simulation Data Management (SDM)

Simulationsdatenmanagement (SDM) in komplexen Entwicklungsumgebungen

B. Fachbach, M. Rosenberger (Virtual Vehicle)

Prozessmanagement zur Generierung und Optimierung von Fahrzeugmodellen für die Crash-Simulation

H. Müllerschön (DYNAmore GmbH)

Management und interdisziplinäre Integration von CAE-Daten

J. Boy, M. Grau, T. Trautmann (PROSTEP AG)

#### Computational Fluid Dynamics (CFD)

Steuerzeitenoptimierung von Axialkolbenpumpen durch CFD

M. Heinz (TECOSIM GmbH)

#### CFD / Multidisziplinäre Analysen

CFD-gestützte Regelung des Zementprozesses

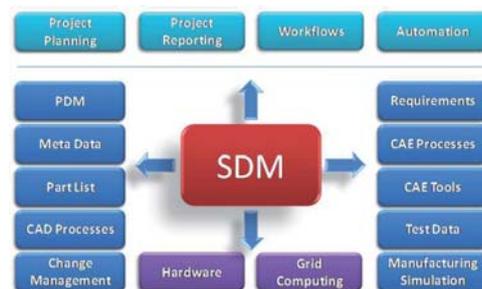
M. Schumacher, M. Weng (aixprocess PartG);

U. Küssel, D. Abel (RWTH Aachen)

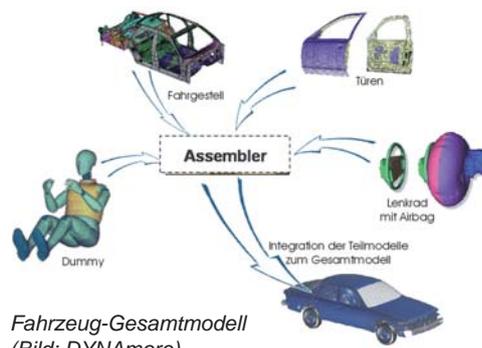
Alle bisherigen Ausgaben kostenlos

zum Herunterladen unter:

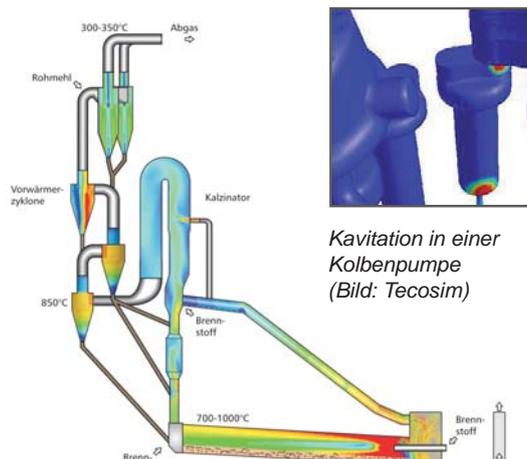
<http://www.nafems.org/magazin>



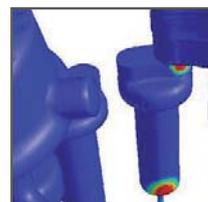
SDM Integration (Bild: Virtual Vehicle)



Fahrzeug-Gesamtmodell (Bild: DYNAmore)



Prozessschema der Zementproduktion (Bild: aixprocess PartG)



Kavitation in einer Kolbenpumpe (Bild: Tecosim)

Trainingskurs:	• Basic 2 FEM: Praxisorientierte Grundlagen für FEM-Berechnungen	05. - 06. Mai 2010
Seminar:	• Verbindungstechnische Aspekte bei FE-Berechnungen	28. - 29. April 2010



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

Sehr geehrte Leserin,  
sehr geehrter Leser,

NAFEMS ist eine internationale, von Software- und Hardwareanbietern unabhängige Institution zur Förderung der sicheren und zuverlässigen Anwendung von Simulationsmethoden. Um diese Förderung geht es, wenn die regionalen Untergliederungen von NAFEMS Grundkurse und Seminare zu aktuellen Themen veranstalten. Zu den Seminaren werden jeweils Beiträge erbeten, die aus der Forschung, von industriellen Anwendern und von Anbietern der Softwaresysteme kommen können. Damit werden die drei wesentlichen Beteiligten an der numerischen Simulation zu einem fruchtbaren Austausch von Ideen und Erfahrungen zusammengebracht. Auch über die regionalen Grenzen hinaus ist dieser Austausch wirksam; so hatte ich selbst das Vergnügen, an dem vom NAFEMS Nordic veranstalteten Seminar über „Simulating Composite Materials and Structures“ am 2.-3. Februar 2010 in Esbjerg, Dänemark, teilnehmen zu können. Fachleute aus den skandinavischen Ländern sowie aus Deutschland und Großbritannien haben ihre Erkenntnisse und Erfahrung in Bezug auf die Simulation des Verhaltens von Faserverbunden ausgetauscht. Die interessanten und wegweisenden Beiträge waren für alle Teilnehmer ein Gewinn.

Interessenten aus dem deutschsprachigen Raum bietet NAFEMS regelmäßig die Grundkurse FEM Basic 1 und 2 an, in denen praxisorientierte Grundlagen der Strukturmechanik, Festigkeitslehre und der Methode der Finiten Elemente vermittelt werden. Diese Grundkurse richten sich vor allem an Ingenieure und Konstrukteure, die ihre Kenntnisse aus der Studienzeit im Hinblick auf die Anwendung bei FE-Analysen auffrischen und festigen möchten. Ausgewählte Beispiele aus der Industrie tragen zur effizienten Erreichung der Kursziele bei.

Für dieses Frühjahr ist wieder ein deutschsprachiges Seminar geplant. Es steht unter dem Thema „Verbindungstechnische Aspekte bei Finite-Elemente-Berechnungen – Simulation von Schweiß-, Klebe-, Niet- und Schraubverbindungen“. Dazu werden viele innovative und aufschlussreiche Fachbeiträge erwartet. Interessenten empfehle ich eine rechtzeitige Anmeldung.

Das vorliegende Heft 15 des NAFEMS Online-Magazin enthält fünf Seminarbeiträge aus dem vergangenen Jahr. Die Themenauswahl macht die Spannweite der Anwendung deutlich. Drei Beiträgen behandeln Untersuchungen zur Simulation des Data Management und deren Integration in die Produktentwicklung, und in je einem Beitrag werden komplexe Strömungen in Kolbenpumpen sowie die CFD-gestützte Regelung des Zementprozesses als Beispiel einer multidisziplinären Simulation dargestellt. Ich wünsche Ihnen beim Lesen viele neue Erkenntnisse und Anregungen für eine sachgerechte Modellierung und einen erfolgreichen Einsatz der numerischen Simulation zur Lösung Ihrer Probleme.

Mit freundlichen Grüßen

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



*Prof. Dr.-Ing. Klaus Rohwer*

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



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



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



[www.simulia.com/de](http://www.simulia.com/de)



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



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



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



Leading MBS Technology  
for Technology Leaders

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

## 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), (TU Berlin / Femcos mbH), D  
 R. L. Dreisbach (The Boeing Company), USA  
 D. Ellis, Idac Ltd., UK  
 G. Miccoli, Imamoter, I  
 S. Morrison, Lusas Ltd., UK  
 P. Newton, GBE, UK  
 M.-C. Oghly, Flowmaster, F  
 A. Ptchelintsev, Nokia, FI  
 A. Puri, Selex Sensors & Airborne Systems, UK  
 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  
 Dr.-Ing. Y. Deger (Hochschule Rapperswil)  
 Dr.-Ing. A. Gill (Ansys Germany GmbH)  
 Dr.-Ing. R. Helfrich (Intes GmbH)  
 Dipl.-Ing. G. Müller (Siemens AG)  
 Dr.-Ing. G. Müller (CADFEM GmbH)  
 Dipl.-Ing. Felix A. Muggli (Sulzer Innotec)  
 Dipl.-Ing. F. J. H. Peeters (Abaqus Europe BV)  
 Dipl.-Ing. A. Pfaff (MSC Software GmbH)  
 Prof. Dr.-Ing. K. Rohwer (DLR)  
 Dr. A. Svobodnik (Harman/Becker Automotive Systems)  
 Prof. Dr.-Ing. habil. M. Zehn (TU Berlin / Femcos mbH)

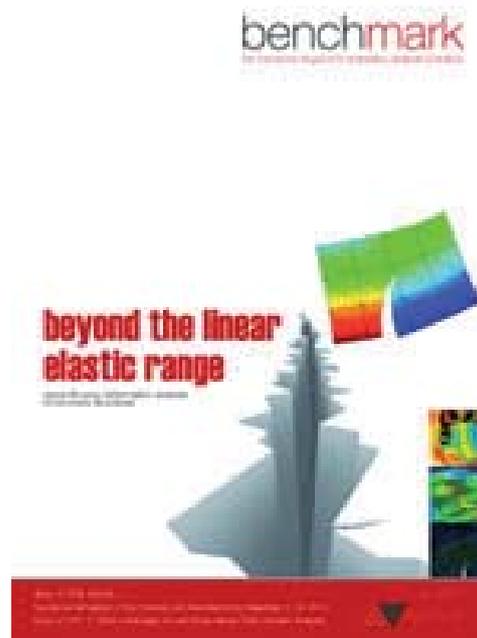
## Mitglied bei NAFEMS?

NAFEMS hat weltweit über **900 Mitgliedsunternehmen und -Institutionen**.

### 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 900 Organisationen weltweit

**Werden auch Sie Mitglied !**



### Die Zeitschrift „Benchmark“

Benchmark, das internationale NAFEMS Magazin, behandelte in der Januar-Ausgabe unter anderem folgende Themen:

- Discontinuous deformation analysis of concrete structures
- Numerical simulation in the process and manufacturing industries
- What a manager should know about Finite Element Analysis
- Icons of CFD

Die nächste Ausgabe erscheint im April 2010.

**Jetzt abonnieren – für Mitglieder natürlich frei!**

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

**Impressum**

**Editor-in-Chief**

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

**Redaktioneller Beirat**

Dr. Yasar Deger (HSR, CH)  
Dr. Alfred Svobodnik (Harman/Becker  
Automotive Systems, A)  
Prof. Dr. Manfred Zehn (TU Berlin /  
Femcos mbH, D)

**Redaktion**

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

**Gestaltung / Layout / Anzeigen**

Werbos GbR  
Osterham 23, D-83233 Bernau  
Tel. +49 (0) 80 51 - 96 74 - 3 22  
Fax +49 (0) 80 51 - 96 74 - 3 37  
Mobil +49 (0) 176 - 217 984 01  
e-mail: info@werbos.de  
www.werbos.de

**Bezugspreis / Aboservice**

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

**Anzeigenpreise**

Preisliste vom 01.01.2010

**Verteilung / Bezug**

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

**Copyright © 2010, Werbos GbR.**

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

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

Vorwort des Editor-in-Chief..... 2  
**Sponsoren**..... 3  
 Über NAFEMS / Mitgliedschaft..... 4  
 Impressum / Inhalt..... 5  
 Veranstaltungskalender ..... 6  
 NAFEMS DACH Aktuell: Überblick: Seminare und Kurse / Literatur.... 7 - 9  
 NAFEMS Invitation 2 Tender ..... 10 - 11  
 Neuigkeiten..... 12 - 17  
**Stellenanzeigen** ..... 18 - 25

**FACHBEITRÄGE**

**Fokus Simulation Data Management (SDM)**

**Herausforderungen bei der Implementierung von  
Simulationsdatenmanagement (SDM) in komplexen  
Entwicklungsumgebungen**..... 26 - 38  
 B. Fachbach, M. Rosenberger (Virtual Vehicle)

**Prozessmanagement zur Generierung und Optimierung  
von Fahrzeugmodellen für die Crash-Simulation**..... 39 - 45  
 H. Müllerschön (DYNAmore GmbH)

**Management und interdisziplinäre Integration von  
CAE-Daten**..... 46 - 58  
 J. Boy, M. Grau, T. Trautmann (PROSTEP AG)

**Fokus Computational Fluid Dynamics (CFD)**

**Steuerzeitenoptimierung von Axialkolbenpumpen  
durch CFD** ..... 59 - 65  
 M. Heinz (TECOSIM GmbH)

**Fokus CFD / Multidisziplinäre Analysen**

**CFD-gestützte Regelung des Zementprozesses** ..... 66 - 76  
 M. Schumacher, M. Weng (aixprocess PartG);  
 U. Küssel, D. Abel (RWTH Aachen)

**Rückmeldeformular** ..... 77

**Bitte beachten Sie die Schaltungen unserer Anzeigenkunden:**

**Stellenanzeigen**

Simpack AG..... 18 - 23  
 EMITEC Gesellschaft für Emissionstechnologie mbH..... 24  
 ESI Engineering System International GmbH ..... 25

**Werbeanzeigen**

Fraunhofer Institut SCAI ..... 12  
 IBM Deutschland GmbH..... 13  
 NAFEMS..... 14

<b>Automotive CAE Grand Challenge</b>	30.-31.03.	Hanau, D	<a href="http://www.carhs.de">www.carhs.de</a>	Carhs
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Introduction to Composite FE Analysis</b>	13.04. (4 Wo)	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>Hannover Messe</b>	19.-24.04.	Hannover	<a href="http://www.hannovermesse.de">www.hannovermesse.de</a>	Messe Hannover
<b>PERMAS Users' Conference</b>	22.-23.04	Stuttgart, D	<a href="http://www.intes.de">www.intes.de</a>	Intes
<b>NAFEMS Seminar: Simulation von Verbindungen in Strukturen</b>	28.-29.04.	Wiesbaden, D	<a href="http://www.nafems.org">www.nafems.org</a>	NAFEMS
<b>ProSTEP iViP Symposium 2010: Smarter Solutions for New Products</b>	28.-29.04.	Berlin, D	<a href="http://www.prostep.org">www.prostep.org</a>	ProSTEP iViP
<b>NAFEMS Trainingskurs FEM Basic 2: Praxisorientierte Grundlagen für FEM-Analysen</b>	05.-06.05.	Wiesbaden, D	<a href="http://www.nafems.org">www.nafems.org</a>	NAFEMS
<b>Konferenz: Neuere Entwicklungen in der Blechumformung</b>	04.-05.05.	Fellbach, D	<a href="http://www.uni-stuttgart.de/ifu">www.uni-stuttgart.de/ifu</a>	IFU Stuttgart
<b>Konferenz: Hydroumformung von Blechen, Rohren und Profilen</b>	06.05.	Fellbach, D	<a href="http://www.uni-stuttgart.de/ifu">www.uni-stuttgart.de/ifu</a>	IFU Stuttgart
<b>3. Grazer Symposium: Virtuelles Fahrzeug</b>	06.-07.05.	Graz, A	<a href="http://www.gsvf.at">www.gsvf.at</a>	Virtual Vehicle
<b>IBM Power Systems und Storage Symposium</b>	10.-12.05.	Wiesbaden, D	<a href="http://www.ibm.com/de/de/">http://www.ibm.com/de/de/</a>	IBM
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Dynamic FE Analysis</b>	11.05. (7 Wo)	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>ESI Global Users Conference &amp; Exhibition on Simulation-Based Design</b>	19.-20.05.	Freising, D	<a href="http://www.esi-group.com">www.esi-group.com</a>	ESI
<b>SafetyExpo</b>	19.-20.05.	Aschaffenburg, D	<a href="http://www.safetyweek.de">www.safetyweek.de</a>	Carhs
<b>ISC International Supercomputing Conference</b>	31.05.-03.06	Hamburg, D	<a href="http://www.supercomp.de">www.supercomp.de</a>	ISC
<b>NAFEMS UK Conference 2010: Engineering Simulation: Contributing to Business Success</b>	08.-09.06.	Oxford, UK	<a href="http://www.nafems.org/events">www.nafems.org/events</a>	NAFEMS
<b>International Conference on Advanced Methods for Industrial Engineering</b>	22.-23.06.	Bonn, D	<a href="http://www.multiphysics.fraunhofer.de">www.multiphysics.fraunhofer.de</a>	Fraunhofer SCAI
<b>SIMPACK Academy FEM-MBS Interfacing</b>	05.-06.07.	Andechs, D	<a href="http://www.simpack.com/simpack_academy.html">www.simpack.com/simpack_academy.html</a>	SIMPACK AG
<b>NAFEMS e-Learning Kurs: Non-Linear Analysis</b>	13.07. (4 Wo)	Internet	<a href="http://www.nafems.org/e-learning">www.nafems.org/e-learning</a>	NAFEMS
<b>NAFEMS 2010 Virtual Conference: 2020 Vision (hosted by NAFEMS NA)</b>	08.-09.09	Internet	<a href="http://www.nafems.org/virtual">www.nafems.org/virtual</a>	NAFEMS
<b>SIMPACK Academy MBS Numerics</b>	14.-16.09.	Andechs, D	<a href="http://www.simpack.com/simpack_academy.html">www.simpack.com/simpack_academy.html</a>	SIMPACK AG
<b>Deutsche SIMULIA-Konferenz</b>	20.-21.09.	Heidelberg, D	<a href="http://www.simulia.com/de">www.simulia.com/de</a>	Dassault Systemes Simulia GmbH
<b>SIMPACK Academy Wind Turbine and Drivetrain</b>	05.-07.10.	Gross Schwansee, D	<a href="http://www.simpack.com/simpack_academy.html">www.simpack.com/simpack_academy.html</a>	SIMPACK AG
<b>LS-DYNA Anwenderforum</b>	12.-13.10.	Bamberg, D	<a href="http://www.dynamore.de">www.dynamore.de</a>	DYNAMore
<b>NAFEMS NORDIC Conference 2010</b>	26.-27.10.*	Göteborg, S	<a href="http://www.nafems.org">www.nafems.org</a> (*preliminary dates)	NAFEMS
<b>ANSYS Conference &amp; 28. CADFEM Users' Meeting</b>	03.-05.11.	Aachen, D	<a href="http://www.usersmeeting.com">www.usersmeeting.com</a>	ANSYS / CADFEM
<b>simvec</b>	16.-17.11.	Baden-Baden, D	<a href="http://www.vdi-wissensforum.de">www.vdi-wissensforum.de</a>	VDI
<b>NAFEMS Trainingskurs: CFD Basic: Practical CFD Analysis (in English)</b>	24.-25.11.	Wiesbaden, D	<a href="http://www.nafems.org">www.nafems.org</a>	NAFEMS

## Die nächsten NAFEMS Trainingskurse

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

**Basic 2: Praxisorientierte Grundlagen für FEM-Analysen**

**05. - 06. Mai 2010**

Referent: Dr.-Ing. Yasar Deger (HSR - Hochschule für Technik Rapperswil)

[Inhalte und Infos auf Seite 8](#)

## Das nächste NAFEMS Seminar

**Verbindungstechnische Aspekte bei Finite-Elemente-Berechnungen – Simulation von Schweiß-, Klebe-, Niet- und Schraubverbindungen**

**28. - 29. April 2010**

[Agenda und Infos auf Seite 9](#)

## Schreiben Sie ein Buch - Invitation 2 Tender

- Obtaining Parameters for Common Geotechnical Constitutive Models
- How to Undertake Fluid Structure Interaction
- How to Model Composite Materials
- Why Do Validation
- Essential Fluid Dynamics for CFD - Training Course Proposal
- Designers guide to CFD
- How to Analyse and Process CFD Output
- How to Perform Dynamic FE Analysis
- Determination and Use of Material Properties for FE

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

## Literatur

NAFEMS bietet mit über 200 Publikationen eine umfangreiche Auswahl an Fachliteratur im Berechnungsumfeld an. Die zur Zeit häufig bestellten Publikationen sind zum Beispiel:

- International Journal of CFD Case Studies Vol 8
- Why Do Electromagnetic Finite Element Analysis?
- What is V&V
- NAFEMS North American 2008 Regional Summit:  
NAFEMS 2020 Vision of Engineering Analysis and Simulation
- Quality Management in Engineering Simulation - A Primer for NAFEMS QSS
- BENCHmark Magazin

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

## e-Library

NAFEMS bietet für Mitglieder Literatur - zunächst im Versuch - zum Download an. Folgende Publikationen sind zurzeit erhältlich:

- How To Understand CFD Jargon
- A Roadmap of NAFEMS documents
- State of the Art Review - Weld Simulation Using Finite Element Methods
- Procedural Benchmarks for Common Fabrication Details in Plate and Shell Structures
- Advanced Finite Element Contact Benchmarks
- An Introduction to Modelling Buckling and Collapse - Second Edition

[www.nafems.org/publications/e-library](http://www.nafems.org/publications/e-library)

## NAFEMS Trainingskurs

# Basiswissen für die Anwendung von FEM-Berechnungen für Ingenieure / Konstrukteure

## Basic 2 FEM: Praxisorientierte Grundlagen für FEM-Berechnungen

5. - 6. Mai 2010 in Wiesbaden

Der Kurs vermittelt praxisorientiert und programmunabhängig die notwendigen Grundlagen für den erfolgreichen und effizienten Einsatz der Finite-Element-Methode. Er erklärt die Arbeitsweise auf leicht verständliche Art und beschreibt die Voraussetzungen und Vorgehensschritte anhand zahlreicher, einfach gehaltener, anwendungsspezifischer Beispiele.

Die Teilnehmer können als Vorschlag ein konkretes aktuelles Problem, das mit FE-Analyse zu lösen wäre, mitbringen und zur Diskussion stellen. Der Kurs wird in einer Workshop-Atmosphäre durchgeführt, wodurch eine aktive Mitwirkung gefördert werden soll.

### Kursinhalte

- Einleitung / Übersicht
- „Kräfte-Management“ / Zusammenspiel von Struktur, Belastung, Lagerung und Material
- Modellbildung als ingenieurmäßiger Prozess und als Grundhandlung bei einer FE-Analyse / Möglichkeiten und Grenzen der Vereinfachung
- Lineare und nichtlineare Problemstellungen
- Wie funktioniert FEM?
- Typische Finite-Elemente (1D, 2D und 3D) zur diskreten Beschreibung deformierbarer Körper
- Berücksichtigung von Symmetrien bei der Modellierung / Elemente mit rotationssymmetrischem Spannungszustand
- Modellierung von Materialverhalten / Evaluation von Versagenskriterien
- Dynamische FE-Berechnungen / modale Analyse / Dämpfung / dynamischer Lastfaktor / Betriebsschwingungen als Lastfall
- Thermische / thermo-mechanische Untersuchungen
- Beispiele für nichtlineare FE-Simulationen
- Voraussetzungen für effiziente FE-Modelle und zuverlässige Ergebnisse
- Optimale FE-Modelle dank gezielter Nutzung der Möglichkeiten von CAD-Software
- Tipps und Tricks für problemgerechte FE-Vernetzung
- Qualitätssicherung bei FE Analysen / Ursachen möglicher Fehler bei der FE-Modellierung / Ansätze zu deren Erkennung und Behebung / Möglichkeiten zur Überprüfung der Ergebnisse
- Fallbeispiele / Workshop / Diskussion

### Kursreferent



Dr. sc. techn. ETH/SIA Yasar Deger  
HSR, Abt. Maschinentechnik, Inst. für Anlagen- und Sicherheitstechnik – SITEC

Herr Deger hat langjährige, breitgefächerte Erfahrung in der Praxis der Methode der Finiten Elemente und in der Angewandten Mechanik. Zugleich ist er als Dozent für Technische Mechanik und Methode der Finiten Elemente an der HSR, Hochschule für Technik Rapperswil, in der Schweiz tätig und erteilt ausserdem seit 1992 Weiterbildungskurse / Workshops für Konstrukteure und Ingenieure in der Industrie. Sein Buch „Die Methode der Finiten Elemente“ erschien kürzlich beim Expert Verlag, Renningen, in der 5. Auflage und ist Teil der Kursunterlagen.

[www.nafems.org/events/nafems/2010/Basic2DACHMay2010/](http://www.nafems.org/events/nafems/2010/Basic2DACHMay2010/)

**Bitte fordern Sie nähere Informationen - insbesondere auch für Inhouse-Kurse - unter Verwendung des Rückmeldeformulars auf der vorletzten Seite an.**

## NAFEMS Seminar

# Verbindungstechnische Aspekte bei Finite-Elemente-Berechnungen – Simulation von Schweiß-, Klebe-, Niet- und Schraubverbindungen

28. - 29. April 2010 in Wiesbaden

**Vortragsprogramm:**  
28. April, 13.35 - 18.10 Uhr

Begrüßung / Einführungsvortrag

Anforderungen an Auslegungsvorfahren für schadenstolerante, strukturelle Verbindungen vor dem Hintergrund einer nietlosen Fertigung im Flugzeugbau  
T. Kruse  
(Airbus Operations GmbH)

Parametrisierte FEM Berechnung genieteter oder geschraubter, hinterlüfteter Fassadenkonstruktionen  
H. Herrmann (Beuth Hochschule für Technik Berlin); N.N. (Eternit AG)

Ermittlung des zeitlichen Verlaufs von Schraubenbeanspruchungen eines Schienenfahrzeuggelenks  
T. Weyh, M. Speckert  
(Fraunhofer ITWM)

Einfache Modellierung komplexer Bauteilverbindungen mit Booleschen Operationen auf der Finite Elemente Ebene  
M. Lautsch  
(Lautsch Finite Elemente GmbH)

Simulation und Optimierung von Bauteilverbindungen  
R. Helfrich, I. Pflieger  
(INTES GmbH)

FE-Verbindungstechniken in Baugruppen – vom Schweißpunkt bis zur Klebung  
U. Barthold (CADFEM GmbH)

Simulation von Verbindungen mit Abaqus von SIMULIA  
R. Twickler (Dassault Systemes Simulia GmbH)

**Vortragsprogramm:**  
29. April, 08.30 - 15.30 Uhr

Simulation von Schweißpunkten und Stanznieten in der Karosserieentwicklung auf Basis lokaler Beanspruchungen und der strukturabhängigen Vernetzung  
F. Rupprecht, G. Kepplinger, M. Hofer (Magna-Steyr Fahrzeugtechnik AG & Co KG)

Versagensmodellierung von Punktschweiß-, Stanzniet-, Laserschweißverbindungen in der Crashsimulation  
S. Sommer (Fraunhofer IWM)

Virtuelle Versagensprognose von widerstandspunktgeschweißten Stahlblechverbindungen  
D. Pieronek (Forschungsgesellschaft Kraftfahrzeugbau mbH); A. Marx (Dortmunder Oberflächen-Centrum GmbH); R. P. Röttger (ThyssenKrupp Steel Europe AG)

Modellierung von Schweiß und Klebeverbindungen für Crashberechnung mit LS-DYNA  
A. Haufe, G. Pietsch, T. Graf (DYNAmore GmbH); M. Feucht (Daimler AG)

Kohäsivzonenmodell für die Finite Elemente Simulation von strukturellen Klebverbindungen: Modellierung, Parameteridentifikation und Validierung  
P. Jousset (Sika Technology AG); M. Rachik (Université de Technologie de Compiègne)

Seminar-Sponsor



Ein erweiterter Ansatz zur Simulation von prozessbedingten Verformungen an CFRP Bauteilen mittels Cohesive Elements  
C. Brauner, C. Hoffmeister, A. Herrmann  
(Faserinstitut Bremen e.V.)

Simulation des selbsttätigen Losdrehverhaltens von Schraubverbindungen  
D. Koch, C. Friedrich  
(Universität Siegen)

Automatisierte Auswertung und Beurteilung großer genieteter Blechstrukturen  
P. Cachot, R. Pfrommer  
(Helbling Technik AG)

Automatisierte Auswertung und Bewertung von hochfesten Schraubverbindungen mittels FE-Globalmodellen  
S. Kinscherf (Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH)

Modellierungs- und Bewertungsmethoden für hochbeanspruchte Bolzen- und Schraubverbindungen mit modernsten Analysewerkzeugen  
T. Johné (Sulzer Pumps Ltd.)

**Fachliche Koordination dieses Seminars**  
Frans Peeters (SIMULIA Europe)  
Mitglied des deutschen NAFEMS Steering Committees

[www.nafems.org/events/nafems/2010/JOINTS201018/](http://www.nafems.org/events/nafems/2010/JOINTS201018/)

# invitation<sup>2</sup>TENDER



## How to Model Composite Materials

The NAFEMS Computational Structural Mechanics Working Group (CSM-WG) wishes to commission a new document with the suggested title "How to model composite materials". The booklet will form part of the existing "How to..." series of documents.

The book should focus on the methodologies employed in this area of simulation and existing needs, for example, materials testing, and future trends, including, for instance, probabilistic considerations and uncertainty. It is expected that the methodologies will be illustrated by examples of the use of, and problems solved, using the identified technology. It is also expected that the document will describe how, and why, the methodologies can integrate with FEA tools.

### Intended Readership

The document should be applicable to all those who are carrying out engineering analysis and wish to learn about this area of simulation technology. The document should also be applicable to Project Managers overseeing the use of these analyses.

The target readership of this document is design engineers who are using a finite element simulation to analyse composite structures and components. It should be assumed that these design engineers are not familiar with finite element theory and this document should, amongst other topics, provide them with a non-mathematical introduction to those aspects of theory that are necessary to run these programs correctly. (Reference should be made to other NAFEMS documentation, where possible, for the mathematical details.)

### Book outline

(It should be noted that the outline given below is that suggested by the CSM-WG but prospective authors may suggest changes based on their own experience.)

- Applications of composites and specific analysis requirements
- Constitutive laws and micro/macro mechanics
- Failure models & failure analysis (static & dynamics [impact & crash])

- Fatigue life, damage predictions
- Material properties – summaries of values
- Test specifications / proposals
- Material model calibration
- Uncertainty qualification and quantification (related to manufacture)
- Uncertainty modelling (related to testing)
- Verification & validation
- Examples

Typical "How to ..." documents are 60 – 100 pages long and the cost of preparing the document is expected to be in the low thousands of pounds .

### Closing date

**April 21, 2010**

E-mail proposals to: [csmwg@nafems.org](mailto:csmwg@nafems.org). Further details are available from NAFEMS office or by contacting the Chairman of the CSM-WG [csmwg@nafems.org](mailto:csmwg@nafems.org)

### Refereeing

NAFEMS will appoint a review panel who will be responsible for refereeing the document.

### Review

The Committee will receive comments at their meetings from the review panel and monitor progress of the document.

### Approval

The Chairman of the Committee will be responsible for final acceptance of the document.

### Final Submission

The final document must be supplied as a Microsoft Word document formatted in accordance with the instructions provided by NAFEMS.

### Layout

For consistency of presentation and style the document must be formatted in accordance with the instructions provided.

### Selection

The proposals will be reviewed by the Working Group.

# invitation<sup>2</sup>TENDER



## Determination and Use of Material Properties for FE Purpose

The Computational Structural Mechanics Working Group (CSMWG) wishes to commission a new document with the suggested title "Determination and use of material properties". The booklet will be a companion volume to the existing NAFEMS publications "An introduction to the use of material models in FE".

The purpose of the booklet is to explain to FE users where they can obtain the material properties necessary for the use of the material models described in the existing introductory guide.

### Intended Readership

The intended readership consists of FE users, engineers, scientists and their managers. The aim is to allow them to make an informed decision on how to obtain the parameter values they need. It is assumed that the readership are familiar with the material models that they are interested in and that they have access to "An introduction to the use of material models in FE" to assist them with their choice of material model.

### Booklet outline

For each of the material models mentioned in "An introduction to the use of material models in FE", the booklet should describe experimental methods used to determine the required material properties, including how to obtain the parameters from the experimental data with reference to any appropriate documents issued by ISO/BS/other standards organisations. The processing of the data should be illustrated with examples. The material properties should include, but need not be limited to, the following list:

- Elastic properties: Young's modulus, Poisson's ratio, bulk modulus, what to do in the anisotropic case
- Basic properties: density, thermal expansion coefficient
- Plastic properties: yield, including consideration of yield surface choice and hardening, and parameters for the Drucker-Prager and Mohr-Coulomb models
- Properties of composites: those not covered elsewhere, including details of anisotropic be-

haviour (moduli and strength properties), shear strength and inter-laminar shear strength, and moisture coefficients.

- Hyperelasticity and rubbers, including the most commonly-used models as listed in the introductory document (Mooney-Rivlin, Neo-Hookean, Yeoh, Ogden, Arruda-Boyce and Van der Waals)
- Soils, including cap hardening
- Creep properties, including power law and hyperbolic-sine law

Each property should include consideration of as wide a range of materials as possible since different methods will be required for different materials. Any other commonly-used materials can be included at the author's discretion, particularly those included in the booklet but not listed above. Possibilities include fracture and damage properties, damping characteristics, and moisture diffusion properties.

The guide should also include a list of suppliers of relevant experimental equipment, a list of suppliers of material parameter measurement services, and a list of existing sources of publicly available measurement data and parameter values. These lists should enable users of the booklet to identify a way to obtain the data that they need.

The booklet does not need to repeat the derivations and explanations of the material models presented in the introductory booklet. It can be assumed that readers already have access to this booklet.

It is anticipated that the length of this publication will be 60 – 100 pages in length and the associated cost of preparing the document is expected to be in the low thousands of pounds.

### Closing date

**June 15, 2010**

E-mail proposals to: [csmwg@nafems.org](mailto:csmwg@nafems.org). Further details are available from NAFEMS office or by contacting the Chairman of the CSM-WG [csmwg@nafems.org](mailto:csmwg@nafems.org).

## ALTAIR ENGINEERING

**HyperWorks Optimierungslösungen für Team Invictus**

Altair Engineering gab bekannt, dass das Team Invictus, bestehend aus einer engagierte Gruppe von Ingenieuren und professionellen Seglern, die Simulationstools der HyperWorks Suite für den Entwurf eines neuen Rennkatamarans nutzt. Das in Bristol ansässige und von Airbus gesponserte Team, nutzt die flexiblen Modellierungs- und Optimierungstechnologien aus HyperWorks, um Entwicklungszeiten zu verkürzen und das Gewicht des Katamarans zu reduzieren. Das Team plant das Boot in diesem Jahr beim New Yorker Yacht Club für die internationale C-class Catamaran Challenge (I4C), einem Rennen, das seit über 40 Jahren nicht mehr von Briten gewonnen wurde, anzumelden.

**Volvo 3P Cab Engineering fügt Materialmodell in RADIOSS ein**

Altair Engineering gab bekannt, dass Volvo 3P Cab Engineering, mit Sitz in Lyon, Frankreich, ein neues, komplexes Materialmodell in seine RADIOSS Modelle eingefügt hat, um das Verhalten von Bauteilen aus Gusseisen mit Kugelgraphit in Crash Simulationen besser vorhersagen zu können. Volvo 3P ist ein Geschäftsbereich der AB Volvo Gruppe für Produktplanung, Einkauf, weltweite Fahrzeugentwicklung, weltweites Engineering und Produktbereich Management und liefert Lösungen für den weltweiten Lastwagenbereich der Volvo Gruppe. Eine der grundlegenden Herausforderungen von Volvo 3P ist die Beurteilung der Fahrzeugsicherheit unter verschiedenen Crashbedingungen. Zur Unterstützung und Verbesserung der Fahrzeugsicherheit werden intensive Simulationsphasen durchgeführt.

**Moldex3D HyperWorks Enabled Community zugänglich**

Altair Engineering gab bekannt, dass die Softwarelösung Moldex3D von CoreTech System Co Ltd., einem Entwickler von professionellen CAE Lösungen für die Kunststoffspritzgussindustrie, Teil der HyperWorks Enabled Community (HWEC) wurde. Die HyperWorks Anwender können nun die neueste Version von Moldex3D von der HWEC Webseite unter [www.hyperworkscommunity.com](http://www.hyperworkscommunity.com) herunterladen und Moldex3D ohne zusätzliche Kosten über ihr bestehendes HyperWorks Software Lizenzsystem nutzen. Bis heute sind der HyperWorks Enabled Community bereits 295 Firmen beigetreten.

**HPC mit PBS Works von Altair**

Altair Engineering gab die Verfügbarkeit von PBS Works 10.2 bekannt. Diese neueste Version baut auf der bewährten Skalierbarkeit und Ausfallsicherheit von PBS Professional für die Workload-Planung auf, stellt eine webbasierte Version von PBS Catalyst - einem intelligenten Jobmanagement Portal - zur Verfügung und bietet neue Charts und erhöhte Skalierbarkeit bei PBS Analytics zur Visualisierung komplexer HPC Workloads und zur Unterstützung von datenbasierter Entscheidungsfindung bei der Verwaltung von Software-Anwendungslizenzen.

**Neue Methodik in der Fahrwerkentwicklung**

Altair Engineering gab bekannt, dass Altair ProductDesign mit Summitech Engineering, einem Tochterunternehmen der Tempo Gruppe, zusammengearbeitet hat, um eine effiziente Methode für die Erstellung korrelierender Mehrkörpersimulationsmodelle von Personenkraftwagen zu entwickeln, ohne dass Informationen seitens des OEMs benötigt werden. Das kombinierte Verfahren aus Computersimulation und physikalischen Tests wurde in Altairs weltweitem Hauptsitz in Troy, Michigan, und in Summitechs Detroit Technical Center in Canton, Michigan, durchgeführt.

Werbeanzeige



www.multiphysics.fraunhofer.de

**1<sup>ST</sup> CONFERENCE ON  
MULTIPHYSICS SIMULATION**

**ADVANCED METHODS  
FOR INDUSTRIAL ENGINEERING**

Deadline for Abstracts: January 31, 2010

**JUNE 22 | 23, 2010  
BONN, GERMANY**



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

## ANSYS

**Volkswagen unterzeichnet Rahmenvertrag mit ANSYS**

ANSYS hat bekanntgegeben, dass die Volkswagen AG, einer der weltweit größten Automobilkonzerne, einen Rahmenvertrag mit ANSYS unterzeichnet hat und beabsichtigt, die Nutzung der aktuell umfassendsten Software zur technischen Simulation auszuweiten. Die strategische Entscheidung zum verstärkten Einsatz der ANSYS Software ist sowohl in der großen Bandbreite an einsetzbaren Applikationen als auch in der innovativen ANSYS Workbench Plattform begründet, mit der eine substantielle Prozessbeschleunigung möglich wird. In den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen von Volkswagen werden ANSYS-Programme zur Strukturmechanik, Strömungsdynamik und Expliziten Analyse eingesetzt um u. a. Untersuchungen zur Innenklimatisierung, zu Scheinwerfern und zu innenmotorischen Vorgängen durchzuführen.

„Simulation Driven Product Development kommt in nahezu allen Industriebereichen zum Einsatz, um die Produktentwicklung und damit die Markteinführung zu beschleunigen“, sagt Dr. Albrecht Gill, Regional Sales Director bei ANSYS Germany. „Bloße Erfahrung und Prototypenbau reichen in der heutigen dynamischen Umgebung nicht mehr aus. Zukunftsorientierte Firmen verstärken den Einsatz von Simulationstechnologie, um ihre Entwicklungskosten zu reduzieren und ein höheres Vertrauen in ihre Entwürfe zu bekommen.“

„Der Automobilmarkt ist hart umkämpft und technologische Fortschritte werden in einem immer höheren Tempo in moderne Fahrzeuge eingebaut. Um an der Spitze zu bleiben gibt es keinen anderen Weg als den Einsatz von Simulationswerkzeugen, um Produktentwicklung und Innovation voranzutreiben. Unsere Entscheidung für die Simulationssoftware von ANSYS basiert auf der Tiefe und der Breite der Lösung, die wir für unsere Analysen benötigen“, bestätigt Dr. Ralph Sundermeier, Leiter der Abteilung für CAE-Me-

thoden bei der Volkswagen AG. „Das ANSYS Workbench-Konzept überzeugt, weil wir damit auf einfache Weise gekoppelte Simulationen durchführen können und so den gesamten Physikbereich mit hoher Genauigkeit abdecken können.“

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

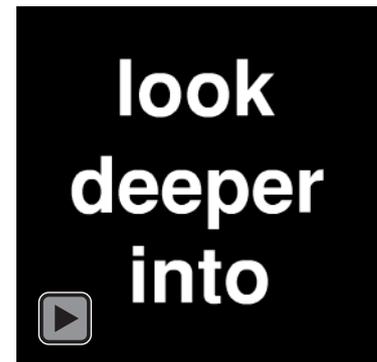
## AUTODESK

**Autodesk Algor Simulation Produktfamilie**

Autodesk erweitert sein Digital Prototyping Portfolio um die besonders leistungsfähige FEM-Simulations- und Berechnungssoftware Algor. Mit Autodesk Algor können komplexe Konstruktionen unter mechanischen und thermischen Belastungen sowie unter realistischen Lasten und Randbedingungen berechnet werden. Dazu zählen leistungsfähige Simulationsfunktionen wie Mechanical-Event-Simulation (MES), Strömungssimulation und Multi-Physics. Konstrukteure und Ingenieure können mit Autodesk Algor wichtige Entscheidungen über die Konstruktion eines Produkts sehr früh im Entwicklungsprozess treffen. Auf diese Weise werden mögliche Probleme frühzeitig erkannt, was Kosten einspart und die Produktentwicklung beschleunigt. Umfangreiche Tools für die Finite-Element-Modellierung und integrierte Materialbibliotheken unterstützen Ingenieure dabei, FEM-Modelle schnell und einfach aus CAD-Daten zu gewinnen. Somit können bereits in der Entwurfsphase erste Ideen analysiert und entsprechend optimiert werden. Die Lösung unterstützt den direkten, assoziativen Datenaustausch mit einer Vielzahl von CAD-Programmen. Die CAE-Software von Algor wurde Anfang 2009 von Autodesk übernommen.

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

Werbeanzeige



## CADFEM

**Simulation, neuester Stand**

Die CADFEM GmbH und ANSYS Germany präsentieren vom 19. – 24. April 2010 in Hannover den aktuellen Stand der Simulationstechnologie mit ANSYS Workbench und komplexeren Tools. Von der Strukturmechanik über die Strömungsmechanik, Elektromagnetik, Mechatronik und andere gekoppelte Anwendungen bis hin zu Spezialanwendungen für Faserverbundwerkstoffe oder die Optimierung des Wärmehaushaltes elektronischer Komponenten: CADFEM und ANSYS Germany stellen in der „Digital Factory“ in Halle 17, an Stand F50 die ganze Bandbreite vor, die die numerische Simulation aktuell zu bieten hat. Im Mittelpunkt steht das Programmpaket ANSYS, das Produktentwicklern innerhalb der komfortablen Simulationsumgebung ANSYS Workbench Top-Lösungen für das gesamte Spektrum bereitstellt.

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

## CD-ADAPCO

**Neue Version STAR-CCM+**

CD-adapco gibt die neue Version STAR-CCM+ V5 bekannt.

**Neue Versionen für die Motorensimulation**

CD-adapco gibt die neuen Versionen STAR-CD V4.12 und es-ice V2.16 bekannt.

[www.cd-adapco.com](http://www.cd-adapco.com)



Creating Awareness | Delivering Education | Stimulating Standards



**NAFEMS** is the International Association for the Engineering Analysis Community: an independent, not-for-profit, international membership association, owned by its members. The scope of its activities encompasses all simulation technology, including Finite Element Analysis and Computational Fluid Dynamics. As new application areas and techniques constantly evolve, NAFEMS becomes involved to create awareness and deliver appropriate education and training.

**NAFEMS** publications and benchmarks are widely regarded within the engineering analysis community as the most authoritative source of information available. The areas covered by NAFEMS are expanding year by year with the growth in membership, and people increasingly view NAFEMS as a one-stop shop for all aspects of information on engineering analysis.

For engineering analysts, NAFEMS offers an excellent platform for continuous professional development.

**Get Involved.  
Join NAFEMS Today.**

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

## COMSOL

### Beta-Version von COMSOL Multiphysics 4.0

Mit dem neu entwickelten COMSOL Desktop wurde der Design-Workflow auf höchste Produktivität getrimmt. Der neue Model Builder mit einmaligen graphischen Programmierungsmöglichkeiten unterstützt den Anwender von der Erzeugung des Modells bis hin zu den Simulationsergebnissen; dabei hat der Anwender stets die vollständige Kontrolle und komplette Übersicht über den gesamten Prozess. Der Austausch mit CAD-Anwendungen wurde sowohl mit dem neuen LiveLink für Pro/ENGINEER als auch mit der verbesserten Parasolid-Unterstützung für den Im- und Export von Geometrien erweitert. Neue, leistungsstarke Löser sowie die eingebaute Clusterunterstützung für Hochleistungsrechnen (HPC) ermöglichen es dem Anwender, größere Modelle mit höherer Geschwindigkeit zu berechnen.

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

## ESI GROUP

### INFUCOMP-Projekt

ESI Group hat den Arbeitsbeginn des europäischen Forschungskonsortiums INFUCOMP am 1. Oktober 2010 bekannt gegeben. An dem vier Jahre laufenden, von ESI ins Leben gerufenen Projekt, sind vierzehn Partner aus acht Ländern beteiligt, es hat einen Umfang von fünf Millionen Euro. Hauptziel ist die Entwicklung von Harzinjektionsverfahren (Liquid Composites Molding – LCM) für die Luft- und Raumfahrtbranche.

### ESI kündigt VA One V2009.0 an

ESI Group hat die Freigabe und sofortige Verfügbarkeit der neuesten Version von VA One 2009 angekündigt. VA One ist eine Komplettlösung für die Simulation von Geräuschen und Vibrationen über den gesamten Frequenzbereich und kombiniert nahtlos Finite-Elemente-, Randelemente- und statistische Energieanalyse (SEA) in einem einzigen Modell. Diese neue Version verbessert speziell die Funktionalität für die

Modellerstellung von Schäumen und Fasern in VA One maßgeblich.

### Visual-Environment 5.5

ESI Group hat die Freigabe und sofortige Verfügbarkeit der neuesten Version 5.5 von Visual-Environment bekannt gegeben, einer integrierten Software-Suite kollaborativer Simulationslösungen. Visual-Environment bietet einen flexiblen und offenen Rahmen für die Ingenieursarbeit, in den auf einfache Weise Anwendungen und Schnittstellen für unterschiedliche Simulationsbereiche implementiert werden können. Durch die Veröffentlichung von jährlich zwei neuen Versionen können ESI-Kunden von einer ständig weiterentwickelten und an die Bedürfnisse verschiedener Branchen angepassten Plattform profitieren. Die jetzt freigegebene Version bietet, insbesondere für die Anforderungen der Automobilindustrie, bemerkenswerte neue Funktionen. Dazu gehören ein schneller Model Checker, ein Barriere-Positioning-Tool und ein Model-Compare-Tool. Letzteres – enthalten in Visual-Crash PAM und Visual-Crash DYNA, speziellen Umgebungen für die Crash-Simulation – ist ein schnelles und intuitives Werkzeug für den Vergleich zweier ähnlicher Modelle und für die Identifizierung von Abweichungen auf der Basis unterschiedlicher Kriterien (ID, Name, Fläche, Volumen, Masse und Eigenschaften). Die Unterschiede können visualisiert und von einem Modell auf das andere übertragen werden. Dies führt zu einem immensen Zeit- und Effizienzgewinn, da Ingenieure nicht mehr manuell nach den entsprechenden Daten suchen müssen. Die Produktivitätssteigerung durch die Nutzung des Model-Compare-Tools wird auf den Faktor zehn bis zwanzig geschätzt.

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

## FRAUNHOFER SCAI

### Broschüre: Grid- und Cloud-Computing in Unternehmen

„Approaching the Cloud: Better Business Using Grid Solutions“ lautet der Titel einer neu erschienen

Broschüre im Projekt BEinGRID, dem größten von der Europäischen Kommission geförderten Informationstechnik-Projekt. Die Publikation bietet einen Überblick über erfolgreiche Anwendungen des Grid- und Cloud-Computing in den Branchen Produktion, Medien, Finanzen, Einzelhandel, Umwelt, Telekommunikation, Tourismus, Landwirtschaft und Gesundheit. Die beschriebenen Fallbeispiele sind dazu gedacht, Vorbehalte von Firmen gegenüber den neuen Technologien des Verteilten Rechnens zu überwinden. Dies gelingt durch einen Nachweis des wirtschaftlichen Nutzens sowie der Optimierungs- und Einsparungspotenziale. Im Effekt möchte BEinGRID damit einen Beitrag dazu leisten, neue Technologien schneller in die praktische Anwendung zu überführen. Das Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI beschreibt in der Broschüre, wie Grid Computing den Entwurf neuer Schiffe erheblich beschleunigen und so die Wettbewerbsfähigkeit der Werften steigern kann. Die vom Fraunhofer SCAI im Rahmen des Projekts produzierte Broschüre hat 92 Seiten und ist kostenlos als PDF-Datei erhältlich: <http://www.beingrid.eu/casestudies.html>

[www.scai.fraunhofer.de](http://www.scai.fraunhofer.de)

## IBM

### IBM an der Spitze

IDC hat bekanntgegeben, dass IBM an der Spitze des weltweiten Servermarkts im vierten Quartal 2009 stand - mit einem Marktanteil von 35,4 Prozent nach Umsatz (Factory Revenue) und vor HP mit 30,5 Prozent. IBM war auch an der Spitze des weltweiten Servermarkts für das Gesamtjahr 2009 mit 32,9 Prozent Marktanteil nach Umsatz, vor HP mit 29,9 Prozent.

### IBM stellt neues Scale-Out-Speichersystem SONAS vor

IBM hat ein neues Scale-Out-Speichersystem angekündigt, das eine virtuelle Speicherumgebung von Daten quer über Server- und Speichersysteme schaffen kann.

Es ermöglicht somit Zugang zu Milliarden von Dateien, gleichgültig, wo diese sich befinden. Das neue IBM Scale Out Network Attached Storage (SONAS)-System adressiert die Anforderungen von Kunden, sehr große Datenmengen zu verwalten, wie sie in neuen Geschäftsmodellen und Services immer häufiger üblich sind. Das System kann ebenso die Kosten bei traditionellen Anwendungen und Services reduzieren.

#### Neue IBM x86-Server

IBM hat neue System-x-Server angekündigt, die erweiterte Arbeitsspeicherkapazitäten und verbesserte Energieeffizienz bieten. Dadurch können Kunden Virtualisierungsmöglichkeiten besser ausschöpfen und anspruchsvollere Workloads bewältigen. IBM hat die Reihe von x86-Servern mit zwei Sockeln komplett erneuert. Die neue Servergeneration liefert fünfzig Prozent mehr Cores als ihre Vorgänger und kann die Leistungsfähigkeit um bis zu 40 bis 60 Prozent steigern. Dies ermöglicht es Kunden, in einigen Szenarien bis zu 20 Server auf einem einzigen System zu konsolidieren.

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

## LMS

#### DLR und ONERA setzen auf LMS

Für 2010/2011 planen ONERA und DLR neue gemeinsame Projekte im Bereich der Stand-schwingungsversuche. Als Partner entschieden sie sich für LMS. Die Entscheidung für neue Systeme fiel auf die GVT-Lösung LMS Test.Lab, die mit jeweils 384 Kanälen zu einem Gesamtsystem mit 768 Kanälen kombiniert werden können. Die Lösung erfüllt bereits sämtliche Anforderungen im Bereich Standschwingungsversuche und lässt sich so konfigurieren, dass individuelle Verfahren und Prozesse von DLR und ONERA berücksichtigt werden können.

#### Akustiksimulation:

#### LMS Virtual.Lab Acoustics Rev 9

LMS bringt die neueste Version seiner führenden Softwarelösung für Akustiksimulationen auf den Markt:

LMS Virtual.Lab Acoustics Rev 9. Die neue Version von LMS Virtual.Lab Acoustics bietet zahlreiche innovative Lösungen und leistungsstarke Solver für komplexe Aufgaben im Akustikbereich. Die Solverleistung und das Processing wurden erheblich erweitert und verbessert. Die Lösung wurde wesentlich weiterentwickelt und umfasst Raytracing für Akustikaufgaben in hohen Frequenzbereichen sowie die Randelementmethode (Boundary Element Method, BEM) im Zeitbereich, ein neues zeitbasiertes Verfahren zur Lösung akustischer Probleme.

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

## MSC.SOFTWARE

#### Neue Version Patran 2010

MSC.Software gab die Markteinführung von Patran 2010 bekannt. In der neuesten Version des Pre- und Postprozessors wurde die Leistung erhöht und die Produktivität verbessert. Zugleich wurde die Bedienbarkeit wesentlich Benutzerfreundlicher und der Solver-Support erweitert. Patran 2010 basiert nun auf einer 64-Bit-Plattform, die Windows und Linux unterstützt und mit deren Hilfe Berechner erheblich größere Modelle aufrufen, erstellen und ändern können. Modelle, die bisher aufgrund ihrer Größe oder der begrenzten Speicherkapazität nicht bearbeitet werden konnten, werden mit Patran 2010 auf 64-Bit-Basis nun zur Alltagsroutine. Kunden erzielten beim Import und der Verknüpfung großer Modelle eine um ca. 15 % höhere Geschwindigkeit und zeichneten eine um ein Vielfaches höhere Leistungsfähigkeit bei Modellen, die zuvor die Grenzen des 32-Bit-Systems überstiegen.

#### Neue Version von MD Adams für Mehrkörpersimulation

MSC.Software kündigte eine neue Version von MD Adams an, die ab sofort zum Download bereitsteht. Die in diese Version integrierten Erweiterungen verbessern die Leistung für Modellentwicklung und Analyse erheblich. Die neue Version kann noch umfangreichere

und realistischere multidisziplinäre Analysen mechanischer Systeme durchführen. Adams simuliert und animiert das Bewegungsverhalten von 3-dimensionalen mechanischen Systemen realitätsgetreu und führt kinematische und kinetische Analysen von Mehrkörpersystemen durch. Die Software bindet dabei elastische Komponenten (flexible Körper) ein und berücksichtigt Reibung sowie komplexe Kontaktzustände. Die Simulationsergebnisse beinhalten u.a. Kräfte, Positionen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen aller Systemkomponenten.

#### AgustaWestland entscheidet sich für MSC.Software

MSC.Software gab bekannt, dass sich AgustaWestland nach zweijähriger Evaluierung für die CAE-Analysertools und Simulationsmanagementtechnologien von MSC.Software entschieden hat. AgustaWestland ist ein Unternehmen der Finmeccanica-Gruppe und zählt zu den weltweit führenden Herstellern von Hubschraubern. MSC.Software soll dem Unternehmen helfen, das ASaP-Projekt („Advanced Simulation and Process Management“) weiterzuentwickeln. ASaP ist eine mehrjährige Initiative, die durch Simulations- und Prozessmanagement die Lieferung leistungsstarker Produkte vorantreiben sowie Zuverlässigkeit und Qualität erhöhen soll. Eckpfeiler des Projekts ist das so genannte „Helicopter Portal“, ein Portal für Prozessmanagement, Simulation und virtuelle Produktvalidierung. Unter Einsatz von modernsten Simulationstechnologien, Ingenieurwissen und bewährten Verfahren von AgustaWestland ermöglicht ASaP multidisziplinäre Simulationen in einem standardisierten virtuellen Entwicklungs- und Testsystem. Das fertige System wird der Hauptbestandteil der erweiterten PLM-Umgebung von AgustaWestland sein, die CAE- und testbasierte Ingenieursaufgaben standortübergreifend unter Wahrung geistigen Eigentums vereint und Simulationen automatisiert.

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

**PTC****PTC befördert Marc Diouane zum Europa- und Asien-Chef**

PTC ernannt Marc Diouane zum Senior Divisional Vice President Europe and Asia/Pacific. Neben dem Europa-Geschäft steuert der Franzose nun für PTC auch die Märkte in Asien und im Südpazifik. In dieser Position berichtet er weiterhin an den weltweiten Vertriebschef, Executive Vice President Worldwide Sales Paul Cunningham. Marc Diouane ist seit 1994 bei PTC und bekleidete während dieser Zeit verschiedene Schlüsselpositionen. Vor der aktuellen Ernennung zum Senior Divisional Vice President Europe and Asia/Pacific war Diouane seit 2005 als Vice-President Europe Sales & Services für PTC tätig. Nachdem er zunächst die Niederlassungen in Japan und Italien geleitet hatte, war Diouane zwischen 2004 und 2005 als Sales Director für Frankreich und Benelux zuständig. Zuvor arbeitete er in der PTC-Firmenzentrale in den USA im Bereich Business Development.

**GE Healthcare steigt auf die Windchill-Plattform um**

GE Healthcare, die Medizintechnik-Sparte der General Electric Company, hat sich zum Ziel gesetzt, neue Wege in der Medizintechnik zu beschreiten. Da dies einen neuen methodischen Ansatz für die Entwicklung medizinischer Produkte erfordert, hat das Unternehmen auch für die die Produktentwicklung stützenden IT-Systeme eine Ablösung beschlossen. Um seine Ziele für die Produktentwicklung schneller und effizienter zu erreichen, führt GE Healthcare stattdessen nun Windchill, die PLM-Plattform von PTC zur Verwaltung der Produktentwicklungsdaten und zur globalen Kollaboration, ein sowie die weiteren PTC-Lösungen Pro/ENGINEER für CAD/CAM/CAE und Arbortext für die Bereitstellung von Produktinformationen.

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

**SIEMENS PLM SOFTWARE****Detroit Auto Show 2010**

Siemens PLM Software gab bekannt: 90 Prozent der Fahrzeuge, die führende Hersteller auf der North American International Auto Show (NAIAS) in Detroit ausstellen, wurden mit Hilfe seiner Technologie entwickelt. Entwicklung und Produktionstechnik dieser Fahrzeuge wurden mit Anwendungen von Siemens PLM Software geplant, ausgewertet und koordiniert. Siemens PLM Software bedient die geschäftskritischen Bedürfnisse von Original Equipment Manufacturers (OEM) nach verwalteter Zusammenarbeit über komplexe Entwicklungsprozesse und die erweiterte Zulieferkette hinweg. Zugleich hat Siemens PLM Software die Grenzen zwischen Konstruktionsfunktionen aufgehoben, bietet Zugang zu Informationen in Echtzeit und führt Analysen und Simulationen durch. Dadurch sind zweistellige Zuwachsraten bei der Effizienz möglich.

**NX Design Freedom for Dummies**

Die deutschsprachige Siemens Sonderausgabe des Fachbuchs „Design Freedom for Dummies“ unterstützt die Leser, neue Produkte mit NX schneller zu entwickeln und in einem einheitlichem System die flexible freie Modellierung kombiniert mit leistungsstarker Parametrik zu nutzen. Fordern Sie jetzt Ihr persönliches Exemplar an – kostenlos.

**News jetzt auch bei Twitter**

Siemens PLM Software Deutschland stellt ab sofort aktuelle News rund um das Unternehmen auch über Twitter zur Verfügung: [http://twitter.com/SiemensPLM\\_DE](http://twitter.com/SiemensPLM_DE)

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

**SIMPACK****Simulation der Dynamik von Windkraftanlagen mit SIMPACK und FLEX5**

FLEX5 ist ein numerischer Code für die Berechnung der aerodynamischen Schwingungsanregung von Windkraftanlagen. Er wurde in den frühen 90iger Jahren entwickelt. Der Code basiert auf der Blade Element Momentum Theorie (BEM), mit welcher die an den Rotorblättern angreifenden aerodynamischen Kräfte im 3D- Windfeld berechnet werden können. Die FLEX5 Modellstruktur der Windkraftanlage ist dabei jedoch auf 28 Freiheitsgrade beschränkt. SIMPACK ermöglicht dem Anwender auf sehr einfache Weise beliebige mechanische Systeme zu modellieren und Analysen im Zeit- und Frequenzbereich durchzuführen. Entsprechend der Aufgabenstellung kann das Modell mit einer nahezu beliebigen Anzahl von Freiheitsgraden aufgebaut werden. Die Firma Suzlon Energy GmbH hat jetzt den aerodynamischen Teil des Code FLEX5 Codes in SIMPACK als User-Routine implementiert. Somit entfällt die Beschränkung auf ein Simulationsmodell der Windturbine mit nur 28 Freiheitsgraden. So bietet sich nun die Möglichkeit, den Antriebsstrang einschließlich der Regelung im Simulationsmodell detailliert abzubilden. In Kombination mit dem aeroelastischen Code FLEX5 kann der Anwender einen noch besseren Einblick in das dynamische Verhalten der Bauteilgruppen und Strukturen erhalten. Zudem können beliebige Lastfälle simuliert werden, um die Belastung einzelner Baugruppen untersuchen zu können. Mehr zu diesem Thema unter [www.simpack.com](http://www.simpack.com), Bereich „Industrial Sectors/Wind/SIMPACK News articles“.

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

Bitte senden Sie uns Ihre Press Releases: [magazin@nafems.de](mailto:magazin@nafems.de).

Die hier veröffentlichten Texte wurden nicht redaktionell redigiert und weitgehend unverändert von den jeweiligen Firmen übernommen.



Die SIMPACK AG ist ein international tätiges und stark expandierendes Unternehmen im Bereich Mehrkörperdynamik. Für unsere Kunden aus der Fahrzeugtechnik, Windenergie und dem allgemeinen Maschinenbau entwickeln und vermarkten wir die weltweit führende Mehrkörper-Simulationssoftware SIMPACK. Mit SIMPACK wird das Bewegungsverhalten und die Belastung von mechanischen und mechatronischen Systemen simuliert ([www.simpack.com](http://www.simpack.com)). SIMPACK wird weltweit von Premiumherstellern aus der Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie eingesetzt.

Zum weiteren Ausbau unseres technologischen Vorsprungs suchen wir einen

## Projekt- und Supportingenieur (m/w) mit Universitäts- oder vergleichbarem Abschluss

### Allgemein:

Die Stelle wird als Vollzeitstelle (40h / Woche) angeboten und ist ab sofort zu besetzen.

### Tätigkeiten:

- Konzeption, Erstellung und Dokumentation von SIMPACK Simulationsmodellen und Analyseprozessen in den Bereichen Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie
- Durchführung von anspruchsvollen Simulationsprojekten im Auftrag unserer Kunden, v.a. im Bereich Automobil- und Nutzfahrzeuge, aber auch im allgemeinen Maschinenbau, Windenergie und Antriebstechnik
- Qualifizierter technischer Support unserer Kunden, Durchführung von Anwendertrainings

### Qualifikationen:

- Abgeschlossenes Hochschulstudium im Bereich Maschinen- /Fahrzeugbau oder Mechatronik oder Techno-Mathematik
- Freude an Modellierung und Simulation im Bereich der Technischen Mechanik
- Idealerweise Kenntnisse im Bereich Kraftfahrzeugfahrzeugdynamik, Motormechanik und / oder Maschinendynamik
- Idealerweise Kenntnisse in der Anwendung von Software zur Mehrkörpersimulation (SIMPACK, ADAMS, VL-Motion), FE-Programmen (z.B. ABAQUS, ANSYS, NASTRAN), CAD Programmen (CATIA) und Matlab / Simulink
- Idealerweise Programmierkenntnisse (Vorzugsweise Fortran, C / C++) und/oder Kenntnisse in Scriptsprachen (z.B. QT Script)
- Gute bis sehr gute Kenntnisse in Englisch

## Projekt- und Supportingenieur (m/w)



- Deutsch auf Muttersprachenniveau
- Offenes und präzises Kommunikationsverhalten

### Das bieten wir:

- Kundenorientiertes Arbeiten
- Ein technologisch spannendes und abwechslungsreiches Betätigungsfeld
- Gute Atmosphäre, angenehmes und leistungsorientiertes Klima
- Herausfordernde Projekte im Auftrag unserer innovativen Kunden im deutschsprachigen Raum sowie europä- und weltweit
- Sorgfältige Einarbeitung und Vorbereitung auf Ihre Aufgaben
- Hohe Eigenverantwortung in einem dynamischen Unternehmen
- Leistungsgerechtes Gehalt

Wenn dieses Profil auf Sie zutrifft, senden Sie bitte Ihre Bewerbungsunterlagen in elektronischer Form an Herrn Marcus Schittenhelm: [marcus.schittenhelm@simpack.de](mailto:marcus.schittenhelm@simpack.de)  
Wir freuen uns darauf, Sie kennen zu lernen.



Leading MBS Technology  
for Technology Leaders

**SIMPACK AG**

Friedrichshafener Strasse 1  
D-82205 Gilching

Tel.: +49 (0)8105 77266-0

Fax: +49 (0)8105 77266-11

info@simpack.de

www.simpack.com

Die SIMPACK AG ist ein international tätiges und stark expandierendes Unternehmen im Bereich Mehrkörperdynamik. Für unsere Kunden aus der Fahrzeugtechnik, Windenergie und dem allgemeinen Maschinenbau entwickeln und vermarkten wir die weltweit führende Mehrkörper-Simulationssoftware SIMPACK. Mit SIMPACK wird das Bewegungsverhalten und die Belastung von mechanischen und mechatronischen Systemen simuliert ([www.simpack.com](http://www.simpack.com)). Wir sind Markt- und Technologieführer im Bereich Schienenfahrzeuge, SIMPACK wird weltweit von den meisten großen Schienenfahrzeugherstellern als Standardwerkzeug eingesetzt.

Zum weiteren Ausbau unseres technologischen Vorsprungs suchen wir einen

## Projekt- und Supportingenieur (m/w)

mit Universitäts- oder vergleichbarem Abschluss, gerne auch promoviert

### Allgemein:

Die Stelle wird als Vollzeitstelle (40h / Woche) angeboten und ist ab sofort zu besetzen.

### Tätigkeiten:

- Konzeption und Dokumentation von Simulationsmethoden und Modellierungshilfen im Bereich Schienenfahrzeuge
- Durchführung von anspruchsvollen Simulationsprojekten im Auftrag unserer Kunden, v.a. im Bereich Schienenfahrzeuge, aber auch im allgemeinen Maschinenbau, Windenergie und Antriebstechnik
- Qualifizierter technischer Support unserer Kunden, Durchführung von Anwenderschulungen

### Qualifikationen:

- Abgeschlossenes Hochschulstudium oder Promotion im Bereich Maschinenbau, mit signifikantem Hintergrund im Bereich Schienenfahrzeuge
- Nachgewiesene Kenntnisse im Bereich Schienenfahrzeugdynamik
- Freude an Modellierung und Simulation im Bereich der Technischen Mechanik, idealerweise auch Kenntnisse im Bereich elektrische Maschinen und Antriebe
- Kenntnisse in der Anwendung von Software zur Mehrkörpersimulation
- Idealerweise Grundkenntnisse in Programmierung
- Gute Kenntnisse in Englisch
- Deutsch auf Muttersprachenniveau
- Offenes und präzises Kommunikationsverhalten

### *Projekt- und Supportingenieur (m/w)*



#### Das bieten wir:

- Kundenorientiertes Arbeiten an vorderster Front beim Weltmarkt- und Technologieführer der Schienenfahrzeugsimulation
- Ein technologisch spannendes und abwechslungsreiches Betätigungsfeld
- Gute Atmosphäre, angenehmes und leistungsorientiertes Klima
- Herausfordernde Projekte im Auftrag unserer innovativen Kunden im deutschsprachigen Raum sowie europä- und weltweit
- Sorgfältige Einarbeitung und Vorbereitung auf Ihre Aufgaben
- Hohe Eigenverantwortung in einem dynamischen Unternehmen
- Leistungsgerechtes Gehalt

Wenn dieses Profil auf Sie zutrifft, senden Sie bitte Ihre Bewerbungsunterlagen in elektronischer Form an Herrn Dr. Weidemann: [christoph.weidemann@simpack.de](mailto:christoph.weidemann@simpack.de)  
Wir freuen uns darauf, Sie kennen zu lernen.



Leading MBS Technology  
for Technology Leaders

**SIMPACK AG**

Friedrichshafener Strasse 1  
D-82205 Gilching

Tel.: +49 (0)8105 77266-0

Fax: +49 (0)8105 77266-11

info@simpack.de

www.simpack.com

Die SIMPACK AG ist ein international tätiges und stark expandierendes Unternehmen im Bereich Mehrkörperdynamik. Für unsere Kunden aus der Fahrzeugtechnik, Windenergie und dem allgemeinen Maschinenbau entwickeln und vermarkten wir die weltweit führende Mehrkörper-Simulationssoftware SIMPACK. Mit SIMPACK wird das Bewegungsverhalten und die Belastung von mechanischen und mechatronischen Systemen simuliert (www.simpack.com). SIMPACK wird weltweit von Premiumherstellern aus der Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie eingesetzt.

Zum weiteren Ausbau unseres technologischen Vorsprungs suchen wir einen

## Projekt-, Support- und Entwicklungsingenieur (m/w) mit Universitäts- oder vergleichbarem Abschluss

Allgemein:

Die Stelle wird als Vollzeitstelle (40h / Woche) angeboten und ist ab sofort zu besetzen.

Tätigkeiten:

- Konzeption, Erstellung und Dokumentation von SIMPACK Simulationsmodellen, und Analyseprozessen in den Bereichen Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie
- Konzeption, Erstellung und Dokumentation von anwendungsspezifischem SIMPACK MKS Programmcode
- Durchführung von anspruchsvollen Simulationsprojekten im Auftrag unserer Kunden, v.a. im Bereich Automobil- und Nutzfahrzeuge, aber auch im allgemeinen Maschinenbau, Windenergie und Antriebstechnik
- Qualifizierter technischer Support unserer Kunden, Durchführung von Anwendertrainings

Qualifikationen:

- Abgeschlossenes Hochschulstudium im Bereich Maschinen- / Fahrzeugbau oder Mechatronik oder Techno-Mathematik, idealerweise mit Berufserfahrung im entsprechenden Technologieumfeld
- Idealerweise Kenntnisse im Bereich elektrische Maschinen, Antriebe und Regelungstechnik
- Idealerweise Kenntnisse im Bereich Kraftfahrzeugfahrzeugdynamik
- Fundierte Kenntnisse in der Anwendung von Matlab / Simulink
- Idealerweise Kenntnisse in der Anwendung von Dymola
- Kenntnisse in der Anwendung und Theorie von Software zur Mehrkörpersimulation (SIMPACK, ADAMS, VL-Motion)
- Fundierte Kenntnisse in der Programmierung in Fortran, C oder C++ und Scriptsprachen

## Projekt-, Support- und Entwicklungsingenieur (m/w)



- Idealerweise Kenntnisse in der Anwendung und Funktion von Echtzeit-Systemen, wie z.B. dSPACE oder xpc-Target
- Gute bis sehr gute Kenntnisse in Englisch
- Deutsch auf Muttersprachenniveau
- Offenes und präzises Kommunikationsverhalten

### Das bieten wir:

- Kundenorientiertes Arbeiten
- Ein technologisch spannendes und abwechslungsreiches Betätigungsfeld
- Gute Atmosphäre, angenehmes und leistungsorientiertes Klima
- Herausfordernde Projekte im Auftrag unserer innovativen Kunden im deutschsprachigen Raum sowie europa- und weltweit
- Sorgfältige Einarbeitung und Vorbereitung auf Ihre Aufgaben
- Hohe Eigenverantwortung in einem dynamischen Unternehmen
- Leistungsgerechtes Gehalt

Wenn dieses Profil auf Sie zutrifft, senden Sie bitte Ihre Bewerbungsunterlagen in elektronischer Form an Herrn Marcus Schittenhelm: [marcus.schittenhelm@simpack.de](mailto:marcus.schittenhelm@simpack.de)  
Wir freuen uns darauf, Sie kennen zu lernen.

## Stellenausschreibung



# Mobilität ↔ Wohlstand ↔ Umwelt



Die EMITEC Gesellschaft für Emissionstechnologie mbH wurde 1986 gegründet. Sie ist Weltmarktführer auf dem Sektor Metallträger für Fahrzeug-Abgas-Katalysatoren und metallische Diesel-Ruß-Partikelfilter.

Ca. 800 Mitarbeiter/-innen werden in Lohmar und Eisenach (Deutschland), im Werk Fountain Inn in South Carolina (USA) und im neuen Produktionsstandort in Pune (Indien) beschäftigt. Entwicklungszentren befinden sich in Lohmar und Eisenach. Darüber hinaus ist Emitec in Korea, Vietnam, China und Japan vertreten.

Die wichtigsten Absatzmärkte sind Europa, Nordamerika und Asien. Zu den Kunden zählen alle namhaften Fahrzeughersteller der Welt.

Zur Verstärkung unserer Abteilung Technische Entwicklung (TE / CAE) suchen wir zum nächstmöglichen Zeitpunkt eine/-n

## **Berechnungsingenieur (w/m) Diplom-Ingenieur FH/TH/TU**

### **Ihre Hauptaufgaben:**

- Komplexe Simulationen an Komponenten der Abgasnachbehandlungstechnik

### **Ihr Profil:**

- Abgeschlossenes Studium des Ingenieurwesens oder vergleichbar
- Erfahrungen im Bereich Struktur-, Thermal- und Schwingungsanalysen sowie Umformsimulationen wünschenswert
- Sehr gute Kenntnisse in Abaqus
  - Abaqus/CAE, Abaqus/Standard, Abaqus/Explicit
  - Manipulation von Abaqus-Inputdecks
  - Programmierung im Abaqus-Umfeld (Fortran, C++, insbesondere Python)
- Vorteilhaft, aber nicht zwingend erforderlich, wären außerdem folgende Kenntnisse:
  - andere FE- oder Multiphysicsprogramme (ANSYS, COMSOL MP, o.ä.)
  - Strömungssimulation / CFD: Fluent, CFX, StarCD

### **Wir bieten:**

- Interessante und anspruchsvolle Aufgabenstellungen im nationalen und internationalen Umfeld
- Angenehme Arbeitsatmosphäre in einem aufgeschlossenen und vielseitigen Team

### **Kontakt:**

EMITEC Gesellschaft für Emissionstechnologie mbH

Personalabteilung

Herrn Theissen

Hauptstr. 128

53797 Lohmar

Tel. 02246/109-391 oder einfach e-mail: [bewerbungen@emitec.com](mailto:bewerbungen@emitec.com)

**Engineering System International GmbH** ist Teil einer erfolgreichen, international agierenden Firmengruppe, die sich auf die Entwicklung und Vermarktung von Programmen zur numerischen Simulation spezialisiert hat. Mit unseren Finite-Elemente Programmen **PAM-CRASH**, **PAM-STAMP** und **SYSWELD** haben wir weltweit die marktführende Position eingenommen. Zu unseren Kunden in Deutschland zählen wir namhafte Unternehmen der Automobil- bzw. Zulieferindustrie sowie des Werkzeugbaus.

Zum nächstmöglichen Zeitpunkt suchen wir

### **Berechnungsingenieure (innen)**

zur Verstärkung unserer Teams in der **Crash- und Insassensicherheits-**, der **Tiefzieh-** und der **Schweißsimulation**.

Neben einem mit gutem Erfolg abgeschlossenen ingenieurwissenschaftlichen Hochschulstudium erwarten wir:

- Gute Kenntnisse im Bereich der Finite-Elemente-Methode
- Berufs- und Projekterfahrung
- Teamfähigkeit, Flexibilität und hohes Engagement
- Gute Deutsch- und Englischkenntnisse in Wort und Schrift
- Kontakt- und Kommunikationsfähigkeit
- Programmierkenntnisse (Perl, Shell-Skript, Visual Basic) sind wünschenswert
- Mehrjährige Erfahrung mit einigen der folgenden Programme ist von Vorteil: **PAM-CRASH**, **PAM-STAMP**, **SYSWELD**, Ansa, Hyperworks, Medina, LS-Dyna, Abaqus oder Radioss

#### **Wir bieten**

- Anspruchsvolle und abwechslungsreiche Tätigkeiten für interessante Top-Unternehmen
- Kollegiales Arbeitsklima
- Sicherheit und volle Unterstützung eines modernen, etablierten Ingenieurdienstleistungsunternehmens mit Weiterbildungs- und Entwicklungsmöglichkeiten

Interessiert? Dann senden Sie uns bitte Ihre Bewerbungsunterlagen in englischer Sprache unter Angabe Ihres möglichen Eintrittstermins sowie Ihrer Gehaltsvorstellung zu.



Engineering System International GmbH  
Barbara Feger  
Mergenthalerallee 15-21  
65760 Eschborn

oder online an Frau Feger unter [jobs@esigmbh.de](mailto:jobs@esigmbh.de).

Besuchen Sie unsere Website [www.esigmbh.de](http://www.esigmbh.de).

# Herausforderungen bei der Implementierung von Simulationsdatenmanagement (SDM) in komplexen Entwicklungsumgebungen

Dr. Bernd Fachbach, Manfred Rosenberger (Virtual Vehicle)

Die Bedeutung der Verfügbarkeit und Durchgängigkeit von Daten und Informationen hat in den letzten Jahren parallel zur wachsenden Verwendung virtueller Entwicklungsmethoden deutlich zugenommen. Um ein komplexes Fahrzeug in kurzer Zeit und effizient entwickeln zu können, werden nicht nur die entsprechenden Methoden benötigt. Der rasche Zugriff auf die relevanten Daten sowie die Vermeidung von System- und Prozessbrüchen über den gesamten Entwicklungsprozess müssen eine qualitativ hochwertige Entwicklung unterstützen.

Datenmanagement ist etwa in den Bereichen der Konstruktion oder auch des physikalischen Testings heute bereits etabliert. Es ist eine große Anzahl an Engineering Systemen in jedem Unternehmen entstanden und vorhanden.

Simulationsdatenmanagement (SDM) soll die Datenversorgung für den virtuellen Entwicklungsprozess garantieren und die Lücken zwischen verschiedenen Systemen nachvollziehbar schließen. Die Unterstützung der Entscheidungs- und Freigabeprozesse steht dabei im Fokus.

Die Implementierung von Simulationsdatenmanagement ist eine besondere Herausforderung, da dies normalerweise in einer bereits existierenden Systemlandschaft erfolgen muss und dabei Prozesse, Organisation, Systeme sowie benötigte Schnittstellen tangiert werden. Dabei spielt die Akzeptanz der Anwenderinnen und Anwender eine wichtige Rolle (Change Management).

## 1 Einleitung

Seit einigen Jahren zeichnet sich ein eindeutiger Trend in Richtung virtuelle Entwicklung ab:

- In der frühen Konzeptphase soll bereits eine Absicherung erfolgen, um eine kurze Entwicklungszeit zu erzielen. Mangels verfügbarer physischer Prototypen sind dafür umfangreiche virtuelle Methoden erforderlich.
- Die Anzahl der Anwendungen der numerischen Simulation für die virtuelle Absicherung hat drastisch zugenommen. Die Entwicklung neuer Simulationsmethoden (z.B. Co-Simulation) ermöglicht komplexere Systembetrachtungen und Analysen.
- Die Anzahl der externen und internen Anforderungen an ein Produkt hat ebenfalls zugenommen. Das Erreichen der Entwicklungsziele erfordert oft eine hohe Anzahl an Berechnungen mit vielen Parametervariationen. Nur dadurch kann eine Funktion unter unterschiedlichen Bedingungen abgesichert werden (z.B. Fußgängerschutz, Active Safety).
- Nicht zuletzt hat die steigende Performance von Hard- und Software dazu beigetragen, dass in immer kürzerer Zeit ein Vielfaches an numerischen Simulationen durchgeführt werden kann.

Komplexe Produkte erfordern ein sorgfältiges Tracking der Entwicklung und des Entwicklungsfortschrittes. Der Status muss ebenso jederzeit bekannt sein wie seine Historie sowie die zugrunde liegenden Annahmen und Informationen. Im Umfeld der virtuellen Absicherung spielen nicht nur die Produktdaten (CAD etc.) eine Rolle, sondern auch die Informationen über Anforderungen, Versionen, verwendete Methoden (CAE) und deren Konfiguration (z.B. Co-Simulation). Zudem sind die Art der Lastfälle sowie Angaben über die Verlässlichkeit der Methoden relevant. Zwischen diesen Informationen gilt es eine Beziehung herzustellen, um die Nachvollziehbarkeit von Ergebnissen zu ermöglichen [1].

Bei der Entwicklung eines Produktes arbeiten unterschiedliche Disziplinen, Domänen, Standorte oder Unternehmen zusammen. Die Organisation der Entwicklung unterliegt heute einer starken Veränderung.

Daraus resultiert ein hoher Bedarf an wesentlicher Systemunterstützung für die Organisation und Strukturierung von Daten und Informationen. Es ist die Kommunikation und eine gemeinsame Datenbasis zu gewährleisten.

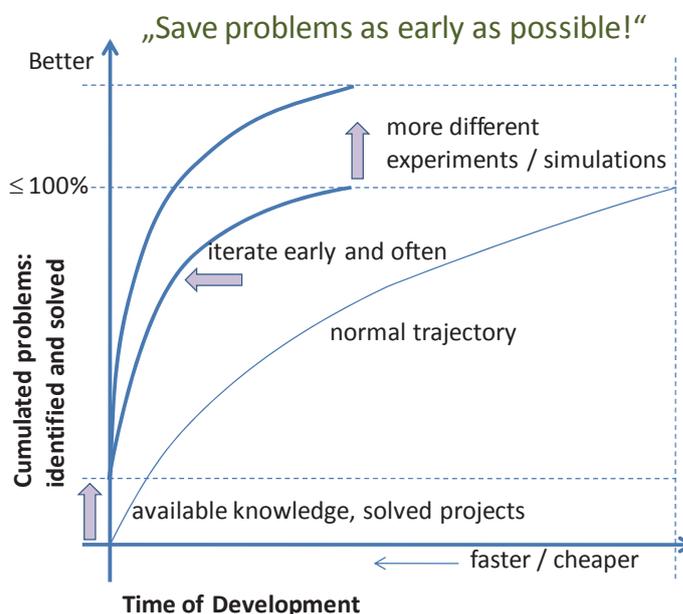
Aktuelle Technologien wie der steigende Anteil an Mechatronik erfordern integrative Entwicklungsansätze. Hier müssen auch die in den Informationen, Strukturierungen und Methoden sehr unterschiedlichen Domänen aus Mechanik, Elektronik und Embedded Software zusammengeführt werden können, um eine vollständige Systemabbildung und Funktionsüberprüfung zu ermöglichen. Unterschiedliche Abstraktionsgrade müssen parallel gehalten und in Beziehung gebracht werden.

Zur Steigerung der Effizienz in der Produktentwicklung gilt es, die Basis für einen höheren Automatisierungsgrad in den CAE-Prozessen zu schaffen. Gerade das Thema der Ableitung und Generierung von CAE-Modellen aus den Konstruktionsdaten ist nach wie vor ein zeitaufwändiger und fehleranfälliger Prozess. Qualitätssicherung ist daher eine weitere wichtige Anforderung, ebenso die bestmögliche Nutzung bereits gemachter Erfahrungen. Erfahrungswissen muss zugänglich gemacht werden. Data Mining ist hier das Schlagwort: Durch vergleichende Auswertung und Erkennen von Analogien aus anderen Projekten können etwa bei Zielkonflikten rascher Lösungen gefunden werden.

Aus dieser Entwicklung heraus hat das Simulationsdatenmanagement (SDM) in den letzten 5 bis 8 Jahren wesentlich an Bedeutung gewonnen:

## 2 Anforderungen an Simulationsdatenmanagement

Frontloading der Funktionsabsicherung hat – in Abhängigkeit der Verfügbarkeit der erforderlichen Methoden und Modelle – die Durchführung einer hohen Anzahl von numerischen Simulationen in einer kurzen zeitlichen Periode möglichst am Anfang des Entwicklungsprozesses zur Folge. SDM muss hier die Verfügbarkeit von Daten und Informationen für die CAE-Prozesse sicherstellen und die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse und Entscheidungen ermöglichen (technische und organisatorische Aspekte). Im Unterschied zum CAD-orientierten Produktdatenmanagement (PDM) ist beim SDM die Historie von Daten von großer Wichtigkeit.



Source: Thomke (2003) „Experimentation Matters: Unlocking the Potential of New Technologies for Innovation“

Abb. 1: Intention und Nutzen von Frontloading [2]

Es gilt einen erhöhten Simulationsbedarf in kürzerer Zeit zu managen. Die Art des Managements der Daten und Informationen orientiert sich dabei an den Anwendern und ihren Abläufen und Bedürfnissen im Rahmen ihrer Entwicklungstätigkeit. Die Bandbreite variiert dabei von Anforderungen der CAE-Ingenieure bis hin zu denen des Projektmanagements. Es ist dabei wesentlich, die unterschiedlichen Rollen spezifisch etwa durch Sichtenbildung zu versorgen.

Je nach Rolle im Produktentwicklungsprozess ergeben sich Fragestellungen, für deren Beantwortung das CAE-Datenmanagement andere Anforderungen erfüllen muss. Die Antworten ergeben sich aus einer schlüssigen und durchgängigen Verknüpfung in der Entstehungsgeschichte der einzelnen Datensätze: Jeder Datensatz ist Teil

eines Prozesses oder Ablaufes, in dem er bearbeitet und modifiziert wird. Das Datenmanagement muss es dem Anwender ermöglichen, die erforderlichen Verknüpfungen effizient manuell oder automatisiert zu definieren.

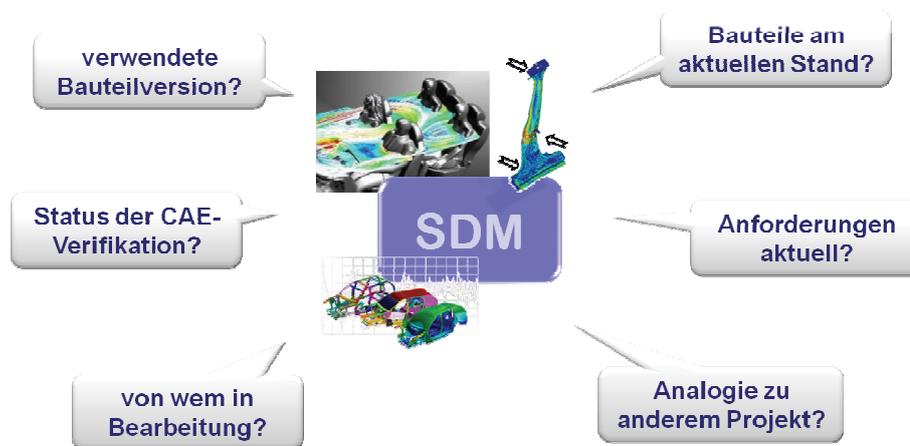


Abb. 2: erwartete Antworten aus dem CAE-Datenmanagement (Auszug)  
(Quelle: Virtual Vehicle)

Simulationsdatenmanagement soll über das reine Verwalten von Daten hinaus mehrere Aspekte ermöglichen:

- Basis für die Automation: gut strukturierte und versionierte Datensätze sind neben den entsprechenden standardisierten Abläufen die Voraussetzung für eine stabile Automation;
- Kollaboration: Strukturierung und Versionierung sowie die Definition von Rollen und Rechten ermöglichen das simultane Arbeiten mehrerer Personen, Disziplinen, Domänen oder auch Standorte an einem Projekt;
- "Gläsernes" Transparentes digitales Fahrzeug: eine hohe Transparenz in den einzelnen Datensätzen, Informationen, Anforderungen, Funktionen und Status eines Projektes bewirkt eine effiziente Vorgangsweise in der Entwicklung und eine entsprechende Entwicklungsqualität durch nachvollziehbare Entscheidungen;
- Abbildung von Abläufen und Prozessen: die Vielzahl an oft sehr individuellen Vorgehensweisen im Bereich CAE werden abgebildet, homogenisiert, und damit auch teilweise standardisiert;

In den einzelnen Phasen des Produktentwicklungsprozesses variiert:

- die Verfügbarkeit von Daten und Informationen,
- die verfügbare Zeit für Modellaufbau und die Durchführung numerischer Simulation,
- der Detaillierungsgrad und Abstraktionslevel der Berechnungsmodelle und
- teilweise auch die Berechnungstools.

Unter der Durchgängigkeit der Methoden wird im Bereich Datenmanagement die Anforderung verstanden, *unabhängig* von der Entwicklungsphase im selben System arbeiten zu können. Dieses System muss daher flexibel genug bezüglich Anbindung von CAE-Tools sein. Es muss auch die Zusammengehörigkeit von Modellen für unterschiedliche Disziplinen und mit unterschiedlichem Abstraktionslevel abbilden und mit einem entsprechenden Versionsmanagement versehen können.

Die Tendenz, in der virtuellen Absicherung zur Erreichung einer höheren Prognosegüte Wechselwirkungen und gegenseitige Einflüsse unterschiedlicher Disziplinen zu berücksichtigen, erfordert, dass CAE-Datenmanagement Simulationsbereiche aneinander heranzuführt, die vorher keine Verbindung hatten. So ist beispielsweise für eine Crashsimulation im Bereich Struktur der Zugriff auf die Ergebnisse einer Tiefziehsimulation für Blechbauteile erforderlich, um die Vorschädigung und das Umformverhalten berücksichtigen zu können. Ähnliche Anforderungen gibt es im Bereich Mechatronik, wo etwa Embedded Software auf ECUs, Sensorik/Aktuatorik und mechanische Komponenten in einer gemeinsamen Simulation berücksichtigt werden müssen. Hier müssen unterschiedliche Produktstrukturen in Zusammenhang gebracht werden.

### 3 Herausforderungen einer CAE-Entwicklungsumgebung

SDM spielt eine wichtige Rolle in der CAE-Entwicklungsumgebung. Die Aufgabe ist die Unterstützung der am CAE-Entwicklungsprozess beteiligten Personen durch eine Systemumgebung, die eine effiziente Bearbeitung der Simulations- und Analyseaufgaben und der Funktionsauslegung ermöglicht.

Der Definition des "Big Pictures" mit den entsprechenden Erwartungen kommt dabei eine große Bedeutung zu. Zugleich hat sich aber in vielen Unternehmen gezeigt, dass es nahezu nicht umsetzbar ist, wenn von Beginn an die Gesamtlösung angestrebt wird. Dafür sind einerseits zu viele Prozesse, organisatorische Strukturen oder disziplinspezifische Methoden betroffen. Mehrere große, gescheiterte Projekte in der Industrie dokumentieren diesen vergeblichen Weg.

Es gilt daher, in kleinen Schritten mit der Umsetzung und Implementierung zu beginnen ("think big, start small"). Eine schrittweise Umsetzung und ein konkreter Nutzen für die einzelnen Entwicklungsabteilungen sind die Schlüssel in der Vorgehensweise, Denn die Usability und die Akzeptanz der Anwenderinnen und Anwender sind letztendlich das zentrale Element, welches über eine erfolgreiche Verwendung entscheidet.

#### 3.1 Integrationstiefe

Simulationsdatenmanagement betrifft CAE Daten, Prozesse und Methoden, und unter Umständen auch Ressourcen. Diese Elemente sind in hohem Maße Bestandteile komplexer Datenflüsse und Gesamtprozesse. SDM kann daher nicht als isoliertes System betrachtet werden – es spielt vielmehr die Rolle eines zentralen Bindegliedes für eine Vielzahl an Prozessen und Systemen. Hoher Nutzen und Versagen des Systems liegen hier nah bei einander. Die enge Anbindung an andere Datenmanagementsysteme und alle Entscheidungsprozesse sowie die große Bandbreite unterschiedlichster Tools im Bereich CAE stellen die elementare Herausforderung bei der Implementierung dar.

Die Einführung von SDM birgt ein Konfliktpotential durch die Implementierung neuer Methoden, Prozesse und Arbeitsweisen mitten in ein Umfeld aus meist historisch gewachsenen Arbeitsabläufen, organisatorischen Strukturen und Systemen. Es ist daher nachvollziehbar, dass dafür eine ausreichende und kritische Analyse der Ist-Situation erforderlich ist, ein organisatorisches Change Management ist essentieller Bestandteil einer SDM-Einführung.

SDM ermöglicht eine deutlich engere Kollaboration zwischen Disziplinen, Domänen und Standorten. Daher müssen jedenfalls die organisatorischen Randbedingungen für die neue Zusammenarbeit hinterfragt und Rollenbilder angepasst oder geschaffen werden.

Die systematische Vorgangsweise mittels SDM erfordert eine Systematisierung der betroffenen Entwicklungsprozesse selbst, teilweise auch eine Standardisierung.

Wenn SDM bei der Implementierung als ein reines Add-On behandelt wird, ist das Vorhaben höchstwahrscheinlich zum Scheitern verurteilt.

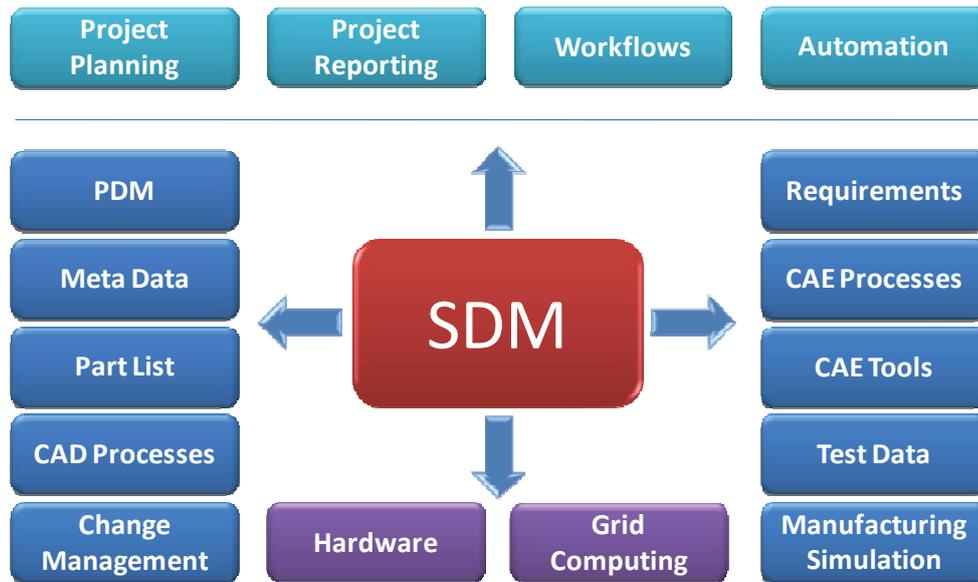


Abb. 3: SDM Integration in komplexe System- und Prozesslandschaft (Überblick)  
(Quelle: Virtual Vehicle)

### 3.2 Simulationsdatenmanagement als Bindeglied zwischen CAD und CAE

Eine wesentliche Aufgabe von SDM ist die Verbindung zwischen den Bereichen CAD und CAE. Diese Lücke muss in der Weise geschlossen werden, dass Simulationsergebnisse und die aufgrund der funktionalen Eigenschaften getroffenen Entscheidungen in einem Projekt jederzeit und aus jeder Sicht nachvollzogen werden können. Diese Sichten können folgende sein:

- Konstruktion,
- Anforderungen,
- Verifizierung und Absicherung,
- Projektmanagement sowie
- Entscheidungsträger

Die Prozesse der Konstruktion und der Berechnung unterscheiden sich wesentlich:

- Der CAD-Prozess fokussiert auf das Bauteil und die entsprechende Organisation der Daten sowie die Kommunikation darüber. Die verantwortliche Person für eine Komponente muss sich die Freigaben aller weiteren entwickelnden Bereiche holen, welche die Anforderungen an das Bauteil überprüfen. Jeder neue Zustand eines Bauteils wird versioniert und nach einem genauen Ablauf freigegeben. Die Lage ist exakt in der Produktstruktur bzw. in der Stückliste (Bill of Material / BOM) definiert. Es existieren Repräsentationen aller physischen (z.B. Blechteil) und nur teilweise der nicht physischen (z.B. Software) Komponenten.
- CAE-Modelle besitzen entweder geometrische oder abstrakte Abbildungen – in Abhängigkeit der verwendeten Methoden. Diese bilden die Bill-of-Analysis (BOA), die sich daher von der BOM unterscheidet: Es ist nicht jeder einzelne physische Teil abgebildet, dafür sind weitere für die Absicherung notwendige Komponenten enthalten. Es existieren unter Umständen mathematische Abstraktionen von Bereichen eines Fahrzeuges, die keinem definierten Bereich in der Produktstruktur entsprechen.

Abb. 4 zeigt typische Unterschiede am Beispiel für eine CAD- und eine CAE-Struktur bei einem Crash-Modell

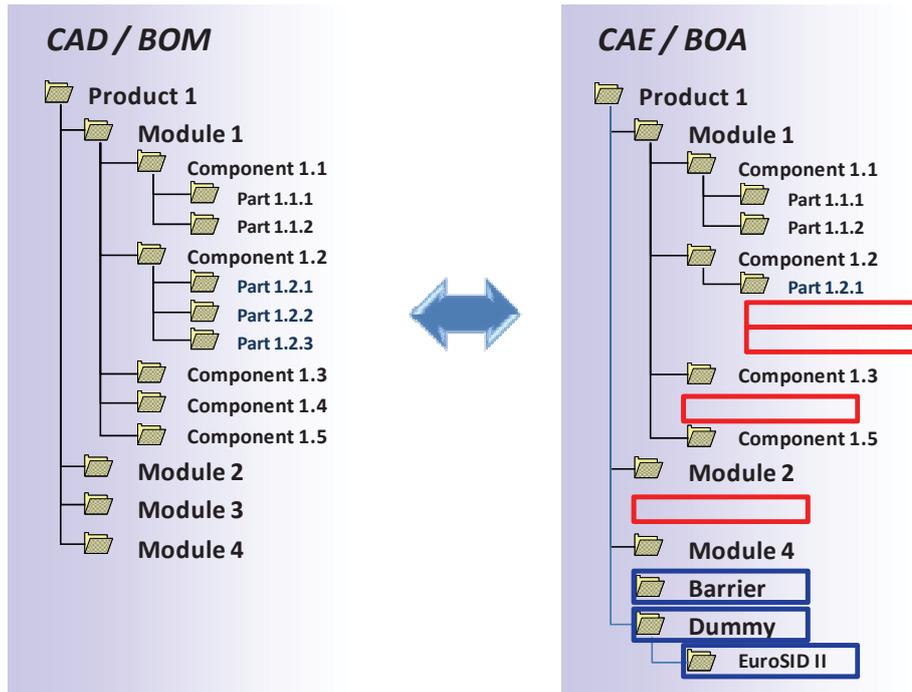


Abb. 4: Unterschiede zwischen CAD- und CAE-Struktur desselben Produktes (Beispiel)  
(Quelle: Virtual Vehicle)

Eine Automatisierung beim Modell-Update etwa erfordert ein Mapping dieser Strukturen: Ein physisches Bauteil auf der CAD-Seite muss mit seiner Repräsentation im CAE-Modell (z.B. eine Abstraktion oder Gruppierung) in Beziehung gebracht werden, um eine Methodik für regelbasierte Modifizierung anwenden zu können.

### 3.3 Verbindung von SDM und PDM

Es herrschen noch immer unterschiedliche Ansichten in der Automobilindustrie, ob nun die CAE-Daten in einem erweiterten Produktdatenmanagement-System verwaltet werden sollen oder ob SDM eine anzubindende, aber prinzipiell eigenständige Lösung sein soll.

Eine Entscheidung wird hier immer individuell sein und vom Ergebnis einer detaillierten Analyse der Umgebung abhängen, also z.B. der dazugehörigen Prozesse, Systeme und Methoden bzw. Tools.

Die Abläufe und Schnittstellen, die am häufigsten zur Anwendung kommen, sollten die Lösung bestimmen. Innerhalb der virtuellen Absicherung werden der Modellaufbau, die Modell-Updates sowie die Ergebnisanalyse die häufigsten Abläufe sein. In diesem Fall wird die enge Anbindung zwischen SDM und CAE-Tools die größte Rolle spielen. Sie hat unmittelbaren Einfluss auf den Bedarf an Systemunterstützung und die Akzeptanz durch die User.

Für CAE-Ingenieure entsteht der größte Benefit durch die Integration der SDM-Funktionalität in die CAE-Tools (z.B. Preprozessoren). Das spricht für eine Etablierung von SDM als eigenständiges System, welches dann innerhalb der CAE-Tools quasi als Funktion zur Verfügung gestellt wird. Die CAE-Tools müssen diese Art der Integration jedoch zulassen.

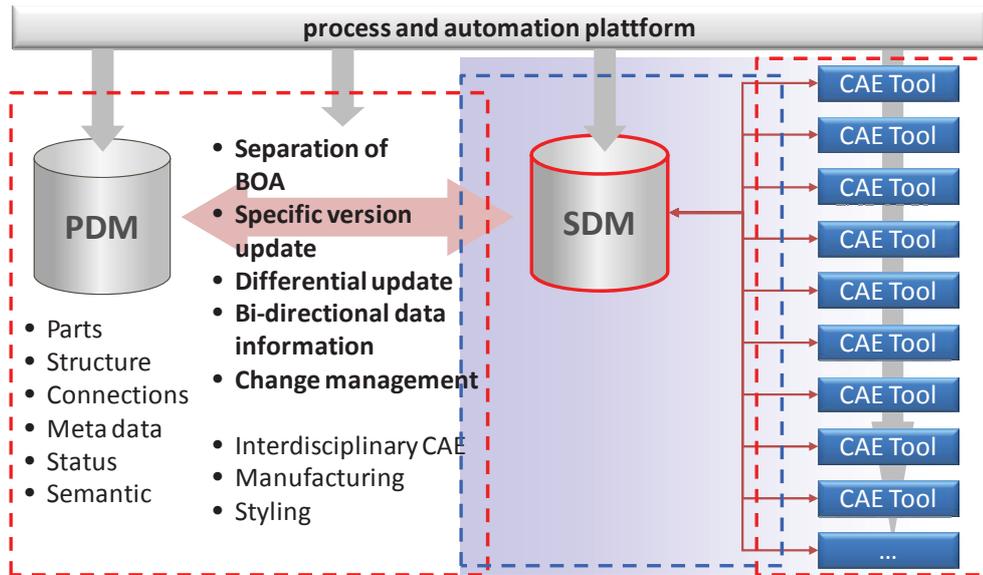


Abb. 5: Integration der SDM Funktionalität in die CAE-Tools (Quelle: Virtual Vehicle)

Stellen PDM und SDM zwei getrennte Systeme dar, dann besteht der Bedarf einer Referenzierung der CAD-Daten und ihrer Versionen im SDM-System. Dies kann entweder durch Verlinken oder durch Kopieren erfolgen:

- Ein Kopieren verursacht einerseits eine Verdoppelung des Speicherbedarfes. Andererseits entsteht dadurch auch nur eine "Einweg-Beziehung", wenn sich die Originaldaten nach dem Kopierprozess ändern dürfen. Der Vorteil liegt in der Zugriffszeit.
- Ein Verlinken erfordert einen sauberen Prozess für die regelmäßige Freigabe der CAD-Versionen und Varianten, da hier sonst bei der Übergabe auf sich verändernde Daten referenziert wird. Für eine definierte Statuserhebung (etwa bei Meilensteinen) im Projekt dürfen ausschließlich nachvollziehbar dokumentierte Datenstände ("gefrorene" Stände) verwendet werden.

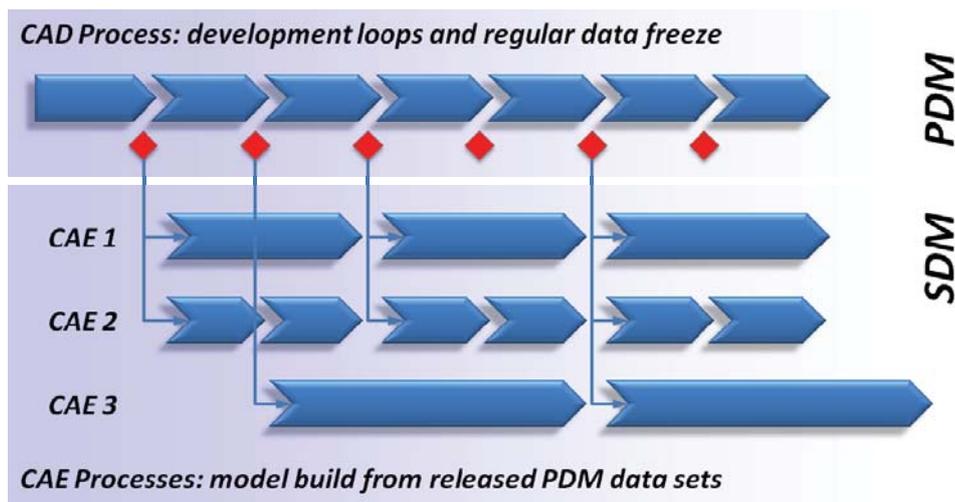


Abb. 6: Modellaufbau und Update auf der Basis von freigegebenen CAD-Geometrien (Quelle: Virtual Vehicle)

Der Datenaustausch erfolgt zu Synchronisationspunkten. Die Anzahl der Synchronisationspunkte hängt von der Automatisierung des Modellaufbaus und des Updates ab. Diese Anzahl unterscheidet sich dabei während einer Entwicklungsphase typischerweise auch für die einzelnen Berechnungsdisziplinen.

Für frühe Auslegungsphasen muss auch der Aspekt berücksichtigt werden, dass hier oft noch keine CAD-Modelle zur Verfügung stehen. Es wird daher allein mit CAE-Modellen und deren Modifikation (Machbarkeitsstudie) aufgrund von Ähnlichkeiten gearbeitet. Der System- bzw. Datenprozess muss dies dennoch zulassen.

### 3.4 Vielfalt an Methoden und Tools

Da natürliche bzw. physikalische Vorgänge im Allgemeinen schwer virtuell nachgebildet werden können, existiert heute eine Vielzahl an numerischen Methoden, mit denen spezifische funktionale Aspekte simuliert werden. Die Methoden und Tools werden laufend verbessert und haben unterschiedliche Stärken und Schwachpunkte.

Daher wird heute in der virtuellen Entwicklung meist das jeweils beste Werkzeug für eine bestimmte Anwendung eingesetzt und auch bei entsprechenden Anforderungen, Verbesserungen oder Veränderungen ausgetauscht.

Zusätzlich ist es erforderlich, Methoden zu kombinieren, um ein System umfassend beurteilen zu können.

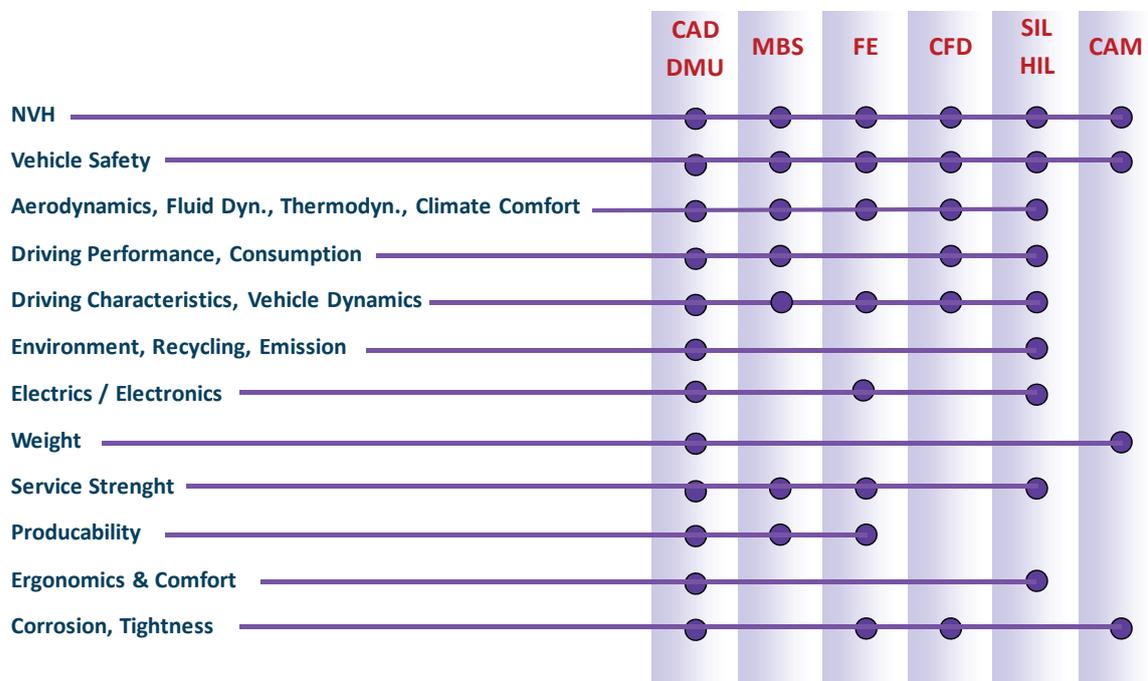


Abb. 7: Methodenmatrix – Überblick der Kombinationen für unterschiedliche Disziplinen (Quelle: Virtual Vehicle)

Für den Bereich Mechatronik etwa müssen Methoden und Modelle aus den Bereichen Mechanik, Elektrik/Elektronik und Software gekoppelt werden. Dies ist nicht nur eine Frage der benötigten Koppelungsalgorithmen, sondern auch der geeigneten Modelle und der diesbezüglichen Metadaten, welche die Koppelungstauglichkeit beschreiben. Darüber hinaus ist die Konfiguration der Koppelung und der verwendeten Modell- und Solver-Versionen eine wichtige Information für die spätere Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse.

In der numerischen Optimierung gilt es die in den einzelnen Schritten berechneten Varianten pro Disziplin zu verwalten, um sie im Sinne einer Effizienz bei Bedarf wieder verwenden zu können. Die dabei erfolgte Parametervariation in den einzelnen Modellen (Design Variable) muss ebenfalls dokumentiert werden. Die Variationen in der Optimierung erfolgen außerdem oft nur auf der CAE-Seite und ohne vorhandene Referenzierungsbasis etwa auf der CAD-Seite.

Monolithische Systeme, die sowohl das Datenmanagement als auch die Simulationenmethoden beinhalten oder auch unterschiedliche Solver-Methoden in einem Tool vereinen, haben sich erfahrungsgemäß nicht durchgesetzt. Der Vorteil liegt darin, dass hier das Schnittstellenthema weitgehend vom Anwender ferngehalten werden

kann. Die Flexibilität und die hohen Qualitätsanforderungen für eine ausreichende Prognosegüte sind hier jedoch nicht ausreichend gegeben.

Obwohl viele Software-Vendoren eine Offenheit und Flexibilität bei der Einbindung von Third-Party-Tools versprechen, ist die Realisierung meist nur bei entsprechenden Partnerschaften möglich, da dafür beide Seiten von zwei zu integrierenden Systemen mitspielen müssen.

Ein standardisiertes CAx-Austauschformat könnte hier eine wesentliche Erleichterung bringen. Es gab und gibt dazu auch unterschiedliche Bestrebungen (STEP...), eine Umsetzung ist aktuell jedoch nicht in Sicht. Selbst wenn ein Standard zur Verfügung stünde, ist die Frage der Aktualität offen, da die Entwicklung auf dem Gebiet CAE sehr rasch vorangeht.

## 4 Herausforderungen beim SDM-Implementierungsprozess

### 4.1 Akzeptanz der Anwenderinnen und Anwender

CAE-Prozesse und numerische Analysen sind oft sehr individuell und beruhen auf Erfahrung. Die meisten Tools erfordern spezielles Wissen über die Handhabung und Anpassungsmöglichkeiten der Methode. Der Datenaustausch und die Art der Dokumentation hängen oft von den benutzenden Personen ab. Diese sind daran gewöhnt und kennen deren Vorteile und Schwächen.

Die kritische Analyse und Hinterfragung historisch gewachsener CAE Workflows und Prozesse sowie die Kompromissfindung zwischen systemgetriebener Funktionalität und Anforderungen und Wünschen der User nimmt dabei mindestens 50% des Gesamtaufwandes für die Implementierung in Anspruch.

Die Benutzer büßen einen Teil ihrer Flexibilität an spezifischen Problemstellungen zu arbeiten ein. Dies verursacht im Allgemeinen Ängste und Widerstand. Hier ist Argumentation und Überzeugungsarbeit erforderlich. Für die neuen Abläufe müssen Kompromisse gefunden werden. Bei der unternehmensspezifischen Gestaltung der gebräuchlichsten Aufgabenstellungen und Funktionen im Simulationsdatenmanagement ist der Fokus generell auf eine intuitive und logische Darstellung zu legen.

SDM hat Berührungspunkte mit sehr vielen Prozessschritten, Methoden und Systemen in der Entwicklung und beeinflusst diese in hohem Ausmaß. Es erfordert die Einführung neuer Methoden für die einzelnen Aufgaben, für die Kommunikation zwischen den an der CAE-Entwicklung beteiligten Personen und für die Zusammenarbeit (sowohl innerhalb eines Unternehmens als auch über seine Grenzen hinweg). Es sollte daher keine reine Management-Entscheidung ohne Einbindung der Arbeitsebene sein. Das Risiko mangelnder Effizienz aufgrund zu geringer Nutzung wäre hier hoch. Eine reine Intention der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter führt hingegen gerne zu sehr hohen spezifischen und kurzfristigen Anforderungen, die Wunschliste ist rasch nicht enden wollend.

Der Managementbedarf für Datenmanagement ist primär auf Projektmanagement fokussiert und dient dem Überblick im Projekt bzw. dem Entwicklungsfortschritt. Die anfallenden Aufwände für die Befüllung liegen jedoch auf der Arbeitsebene. Für die Anwenderinnen und Anwender entsteht der Benefit erst unter anderem aus folgenden Punkten:

- der Arbeitserleichterung durch Teilautomatisierung,
- einem Arbeiten in einem Cockpit / Framework,
- der Überwindung von Schnittstellen und
- der Transparenz von Daten, Informationen, Ergebnissen und Historie;

Es erfordert eine ausgewogene Balance aus den Aspekten der Anwenderinnen und Anwender und des Managements, um einen breiten Nutzen zu erzielen. Dies ist daher die wichtigste Voraussetzung für eine stabile und effiziente Entwicklungsumgebung.

Da ein zentrales CAE-Datenmanagement die einzelnen Disziplinen teilweise deutlich enger zusammenrücken lässt und überlappende Bereiche entstehen, ist auch eine entsprechende Definition dieser übergreifenden Zusammenarbeit erforderlich. Besonders im Bereich von Modellaufbau und Updating entsteht ein stärkeres Ineinandergreifen in den Abläufen. Es gilt auch Kompromisse zu finden, durch teilweise gemeinsame Vorgangsweisen oder Definitionen Effizienz zu schaffen. Es müssen Rollen und Rechte überarbeitet oder auch neu definiert werden. Dadurch entsteht unter Umständen eine Separation von Aufwand und Nutzen im Vergleich zu den gewohnten Abläufen: Auf einer Seite kann ein Mehraufwand entstehen, der auf mehreren anderen Seiten einen

deutlichen Benefit bringt. Die Gesamteffizienz steht hier der Effizienz Einzelner gegenüber. Dies erfordert nicht nur das Verständnis der Betroffenen, sondern auch klare Arbeitsaufträge und Verantwortlichkeiten, die Motivation ist entscheidend.

## 4.2 Aspekte der Implementierung

Bei der Implementierung eines SDM-Systems in eine komplexe Systemumgebung ist ein kompetentes Team erforderlich, welches sowohl IT- und Systemerfahrung als auch ausreichend Entwicklungserfahrung besitzt. Eine rein IT-getriebene Lösung hat dagegen eine hohe Wahrscheinlichkeit zu Scheitern. Das SDM-Team sollte möglichst konsistent über die gesamte Implementierungsphase bestehen. Eine wichtige Rolle des Teams ist die der Moderation und auch Mediation: Es gilt innerhalb der unterschiedlichsten Interessen einen Kompromiss zu finden und zu überzeugen.

Es hat sich als sehr zweckdienlich erwiesen, rechtzeitig anhand von mehr oder weniger einfachen Demonstratoren die zukünftige Arbeitsweise zu zeigen und zu diskutieren. Der Benefit für die Einzelnen kann damit rascher visualisiert und nachgewiesen oder auch Fehler in der System- und Prozessarchitektur ermittelt werden.

## 4.3 Zusammenarbeit / Kollaboration

Die Verwendung von Simulationsdatenmanagement im gesamten CAE-Entwicklungsprozess erfordert eine deutliche Harmonisierung in den Vorgängen und Abläufen aller beteiligten Disziplinen. Der Anteil der gemeinsam benutzten Daten und Informationen steigt an – Verantwortlichkeiten (Rollen und Rechte) müssen neu organisiert oder definiert werden.

Die gemeinsame Benutzung von Modellen und Analysen bedingt unter Umständen, dass die erforderliche Qualität eines Modells höher ist als dies eine einzelne Disziplin benötigen würde.

Aber nicht nur CAE-Ingenieure arbeiten enger zusammen, auch CAE- und CAD-Ingenieure. Ein gutes gemeinsames Verständnis für die jeweils anderen Aufgaben ist erforderlich. Dies erfolgt in der Vorbereitungsphase der Implementierung sowie in der laufenden Schulung. Damit kann sichergestellt werden, dass die Definition von gemeinsamen Anforderungen, Abläufen und Konfigurationen effizient und ausgewogen durchgeführt werden kann.

Die Qualität dieser Definitionen – in Verbindung mit einem ausgewogenen Konzept für die zwingend vorgeschriebene und/oder optionale Dokumentation (z.B. Attribute, Keywords) – beeinflusst direkt und maßgebend das anwenderfreundliche Erscheinungsbild und damit die Akzeptanz.

## 5 Ausblick aktuelle und zukünftige Entwicklungen im Bereich SDM

Neben den Aspekten des Change Managements bei der Einführung von SDM sowie der notwendigen systemtechnischen Integration gilt es auch Herausforderungen zu beachten, für die Lösungsansätze erst in der Entwicklung sind oder die erst in der Zukunft relevant werden. Im Folgenden soll dazu ein kleiner Ausblick gegeben werden.

### 5.1 Verknüpfung von unterschiedlichen Strukturen (Structure Mapping)

Produkte lassen sich aus unterschiedlichen Sichten strukturieren:

- Unternehmenssicht / Sprache,
- Geometrisch / Funktional / Produktion,
- Nach Plattformstrategie,
- Mechanik / Elektrik-Elektronik / Software,
- ...

In der Entwicklung eines Produktes müssen alle angeführten Strukturen bzw. Sichten zusammenfinden, um die Vollständigkeit und den Status eines Gesamtsystems beurteilen zu können. Der Aufbau der erforderlichen Beziehung erfolgt durch Mapping der Strukturen – also durch Zuordnung von Elementen.

Um eine hohe Flexibilität bei sich dynamisch verändernden Strukturen zu erhalten, bieten sich Ansätze Semantischer Netze an. Damit können Informationen (teil-)automatisiert mittels regelbasierten Verknüpfungen kombiniert werden. Auf diese Weise ist es auch möglich, in Unternehmen mit weitverstreuten Entwicklungsstandorten/Partnern unterschiedliche Landessprachen zu verwenden.

## 5.2 Austausch zwischen verschiedenen SDM-Systemen

Die heutige Produktentwicklung ist sehr heterogen. Die Entwicklungsleistung ist auf mehrere Partner und Standorte verteilt. Informationen und Daten werden gemeinsam genutzt, obwohl sie in unterschiedlichen Systemen generiert und verwaltet werden.

OEMs sind in der Lage, ihre diesbezügliche System-Strategie selbst zu entscheiden. So lässt sich eine solche Entwicklungsumgebung entsprechend an die eigenen Entwicklungsprozesse anpassen.

Ein Entwicklungsdienstleister oder Zulieferer wird oft dazu gezwungen, seine Ergebnisse im System des OEM zur Verfügung zu stellen oder überhaupt die Systeme des jeweiligen OEMs zu verwenden. Wenn er nun für mehrere OEMs arbeitet, muss er entweder alle Systeme selbst im Haus haben oder ohne eigene Systeme arbeiten. Dies hat entweder hohe Kosten und Schulungsaufwände oder mangelnde Möglichkeit zum eigenen Kompetenzaufbau zur Folge. Die Effizienz in der Entwicklungstätigkeit leidet ebenfalls darunter.

Hier gilt es Wege zu finden, um Daten und Informationen aus unterschiedlichen Abläufen und Prozessen zwischen unterschiedlichen SDM-Systemen automatisiert auszutauschen. Ein Lösungsansatz ist die Einigung zwischen Partnern auf Referenzprozesse und –datenmodelle [4]

Ein anderer Ansatz sind definierte Schnittstellen in den jeweiligen Systemen. Diese Systeme sind jedoch mehr oder weniger unterschiedlich strukturiert und organisiert. Darüber hinaus stehen SDM-Vendoren im direkten Wettbewerb. Aus diesem Grund erfüllen die meisten der errichteten Schnittstellen nicht die Anforderungen in Bezug auf Integrationstiefe und Qualität. Auch hier könnten Standards für die Datenstruktur, Abläufe und den Austausch eine wesentliche Verbesserung bringen.

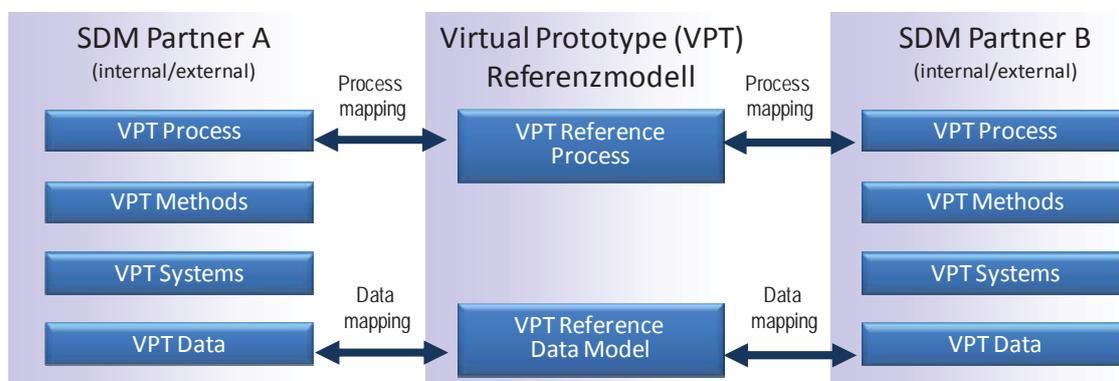


Abb. 8: Austausch zwischen SDM-Systemen über ein Referenzmodell (Virtual Prototype / VPT) [4]

## 5.3 Anforderungsmanagement

Simulationsdatenmanagement bietet umfangreiche Möglichkeiten für Integration, Automation und Prozessoptimierung. Das Ziel ist es letztlich, auf der Basis von CAE-Methoden, Entwicklungsabläufen, technischen Anforderungen, Knowhow und Erfahrung der Anwenderinnen und Anwender effiziente Entscheidungsmechanismen zu erhalten.

Anforderungsmanagement sollte daher speziell in der virtuellen Absicherung den zentralen Aspekt der Zusammenführung der Disziplinen, Methoden und Lastfälle übernehmen [5].

Die Ingenieure der Zukunft haben die Herausforderung hochintegrativ und holistisch denken und handeln zu müssen. Ein Beispiel dafür ist der multidisziplinäre Entwurf und seine Optimierung. Hier ist eine umfangreiche Unterstützung durch Anforderungsmanagement notwendig, um diese Erwartungen erfüllen zu können.

Diese Unterstützung wird durch die Organisation, durch kollektives Wissen und Knowhow sowie durch Engineering Systeme zur Verfügung gestellt. Product Lifecycle Management (PLM) hat diesen Anspruch diese Aspekte zu integrieren.

SDM muss hier eine große Lücke füllen. Da jede Form der funktionalen Absicherung auf technischen Anforderungen beruht, ist es naheliegend, hier eine enge Verbindung herzustellen:

- Ein Ergebnis oder ein Status bezieht sich auf bestimmten Anforderungen und Zielwerten, gegen die berichtet wird.
- Eine Änderung einer Anforderung hat Auswirkungen auf Zielwerte und ggf. in den erforderlichen Absicherungen und sollte im SDM sichtbar sein.

Die spätere Zusammenführung von SDM und Anforderungs- bzw. Zielsystem ist rechtzeitig zu berücksichtigen, dies bleibt eine große Aufgabe, die in pragmatischen Schritten bewältigt werden muss.

Analog ist auch die Zusammenführung der gesamten Absicherung – also Simulation und Testing – mit dem Anforderungsmanagement eine logische Entwicklung.

## 6 Zusammenfassung und Resümee

Komplexe Produkte wie Fahrzeuge (Auto, Zug, Flugzeug) erfordern ein hohes Maß an Zusammenarbeit und Transparenz von Produktinformationen. Simulationsdatenmanagement muss dabei systemtechnisch und methodisch die Lücke im Entwicklungsdatenfluss füllen. Die Herausforderung bei der SDM-Implementierung ist nicht die Datenhaltung an sich, sondern die dabei zu berücksichtigende existierende heterogene und mehr oder weniger historisch gewachsene Entwicklungsumgebung (Systeme, Prozesse, Methoden, Tools). SDM kann nicht als alleinstehendes System betrachtet werden.

Die Analyse der bestehenden Systemumgebung sowie der Einflüsse auf etablierte und geprüfte Prozesse ist unumgänglich. Probleme, die in der Konzeptionierungsphase nicht gelöst werden konnten, kommen spätestens während der Implementierung hoch und können das Gesamtprojekt empfindlich verzögern. Eine Einführung in kleinen Schritten mit klarem Nutzen erscheint notwendig.

Im Sinne eines Change Managements ist ein gemeinsames Ziel und ein Nutzen für alle Betroffenen notwendig, um eine erfolgreiche Einführung zu ermöglichen.

Die Akzeptanz der benutzenden Personen ist eine der wichtigsten Zielsetzungen bei der Implementierung von SDM. Etwa 50% des Aufwandes werden für Analyse, Definitionen, Kompromissfindung und Überzeugungsarbeit benötigt. Das rasche Aufsetzen von Demonstratoren (ohne funktionale Systemanbindung im Hintergrund) kann helfen, ein gemeinsames Verständnis zu erzeugen und zu überprüfen. Zugleich ermöglicht es den Anwenderinnen und Anwendern einen Eindruck von der neuen Entwicklungsumgebung und den damit entstehenden Abläufen zu erhalten.

Es erfordert ein erfahrenes, überzeugtes und konsistentes Team, welches in der Lage ist, ausgewogene Kompromisse zwischen den verschiedenen Anforderungen der involvierten Personen und den betroffenen Methoden zu finden. Dies ist primär keine technologische Aufgabe, sondern erfordert Kompetenz im Bereich Moderation und Mediation. Unterschiedliche Disziplinen rücken in den Bereichen Zusammenarbeit, Kommunikation und gemeinsame benutzte Methoden und Modelle näher zusammen. Die Voraussetzung dafür ist ein ausreichendes gemeinsames Verständnis der Anforderungen des jeweils anderen und der Wirkketten.

Eine klare übergeordnete Vision hilft die zukünftigen Anforderungen ("think big") im Auge zu behalten, um für spätere Erweiterungen vorzusorgen und zugleich mit kleineren Schritten beginnen zu können ("start small")

## 7 Acknowledgments

Die Autoren danken dem „COMET K2 Forschungsförderungs-Programm“ des Österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), des Österreichischen Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFI), der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG), des Landes Steiermark sowie der Steirischen Wirtschaftsförderung (SFG) für die finanzielle Unterstützung. Ebenfalls danken wir der Technischen Universität Graz für die umfassende Kooperation und Unterstützung.

## 8 References

- [1] NAFEMS / autosim: "Current & Future Technologies in Automotive Engineering Simulation", ISBN 978-1-874376-41-5, 2008
- [2] Thomke, St.: "Experimentation Matters: Unlocking the Potential of New Technologies for Innovation", ISBN 1-57851-750 8, 2003
- [3] Rosenberger, M.: "Semantic Structure Mapping in the Earlier Phases of the Product Lifecycle", Proceeding PLM09, 2009
- [4] M. Hofer, J. Panzer, B. Wiermeier et. al.: „Ein Vergleich zwischen VPT-Referenzmodell und SimPDM“, in ProduktDaten Journal Nr. 1 07/2006 S.35-37; ProStep iViP, ISSN 1436-0403
- [5] Maletz, M.: "Integrated requirements modeling: A contribution towards the integration of requirements into a holistic product lifecycle management strategy", ISBN-10: 393943292X, 2008

## 9 Autor

Dr. Bernd Fachbach, Leitung Multidisziplinäre Integration  
Kompetenzzentrum Das Virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft mbH Graz  
Schwerpunkt Methodenentwicklung Virtuelle Fahrzeugentwicklung

# Prozessmanagement zur Generierung und Optimierung von Fahrzeugmodellen für die Crash-Simulation

Dr. Heiner Müllerschön (DYNAmore GmbH)

Crash-Simulations-Daten für ein Gesamtfahrzeugmodell basieren auf einer großen Anzahl an einzelnen Komponenten. Jede dieser Komponenten erfährt im Zuge des Entwicklungsprozesses Veränderungen, die verwaltet und dokumentiert werden müssen. Aufgrund der Vielzahl an Variantenuntersuchungen während der Fahrzeugentwicklung gewinnt das Modelldatenmanagement für den gesamten Simulationsprozess immer mehr an Bedeutung. Durch die wachsenden Detaillierungsgrade der einzelnen Bauteilmodelle steigt die Gesamtmodellkomplexität bei der Crash-Simulation signifikant an und der Wunsch und der Bedarf an unterstützenden Softwareprodukten zum Datenmanagement steigen ständig. Insbesondere für die effiziente und zuverlässige Generierung von Gesamtfahrzeugmodellen aus Teil- oder Komponentenmodellen besteht ein hoher Bedarf.

Inhalt dieser Veröffentlichung ist die Beschreibung von Prozessen und die Vorstellung von Softwarewerkzeugen zur effizienten und zuverlässigen Generierung von Gesamtfahrzeugmodellen für Crash-Simulationen. Der Fokus liegt hauptsächlich auf dem Management der Crash-Modelldaten während des gesamten Entwicklungsprozesses, insbesondere auf dem Management der Include-Dateien, welche die einzelnen Komponenten des Gesamtmodells abbilden. Die Automatisierung dieser Prozesse erlaubt eine einfache Integration und Durchführung von Optimierungs- und DOE-Studien oder Robustheitsanalysen.

## 1 Einleitung

Simulations-Daten-Management (SDM) ist heutzutage ein sehr populäres Thema bei der rechnergestützte Entwicklung (CAE). Vor ca. fünf Jahren bestand ein Fahrzeug-Gesamtmodell aus nur einer großen Eingabedatei. Heute sind diese Modelle modular aufgebaut. Die komplette Eingabedatei für den Finite-Elemente-Solver wird basierend auf den unterschiedlichen Include-Dateien, welche die Modell-Komponenten wie Airbags, Türen, Dummies usw. enthalten, assembliert. Anspruchsvolle Herausforderungen für ein SDM-System stellen u.a. die Verwaltung dieser Include-Dateien in einer Mehrbenutzerumgebung und das automatisierte, simultane Aufsetzen der zu untersuchenden Lastfallsimulationen dar. Für Crash-Simulationen lässt sich das Simulations-Daten-Management in drei Bereiche unterteilen:

1. Verknüpfung CAD-CAE, d.h. Batchverarbeitung zur Vernetzung/Diskretisierung der Bauteilgeometrien (Pre-SDM)
2. Lastfallzusammenstellung und Eingabe(Include)-Datei-Management
3. Management der Simulationsergebnisse (Post-SDM)

In dieser Veröffentlichung fokussieren wir uns auf die Prozessautomatisierung der Modellzusammenstellung und die Lastfallgenerierung bei Crash-Simulationen, da nach [1] hier der größte Bedarf hinsichtlich einer Automatisierung liegt. Abbildung 1 zeigt vereinfacht das Assemblieren eines Gesamtfahrzeuges für eine Crash-Simulation.

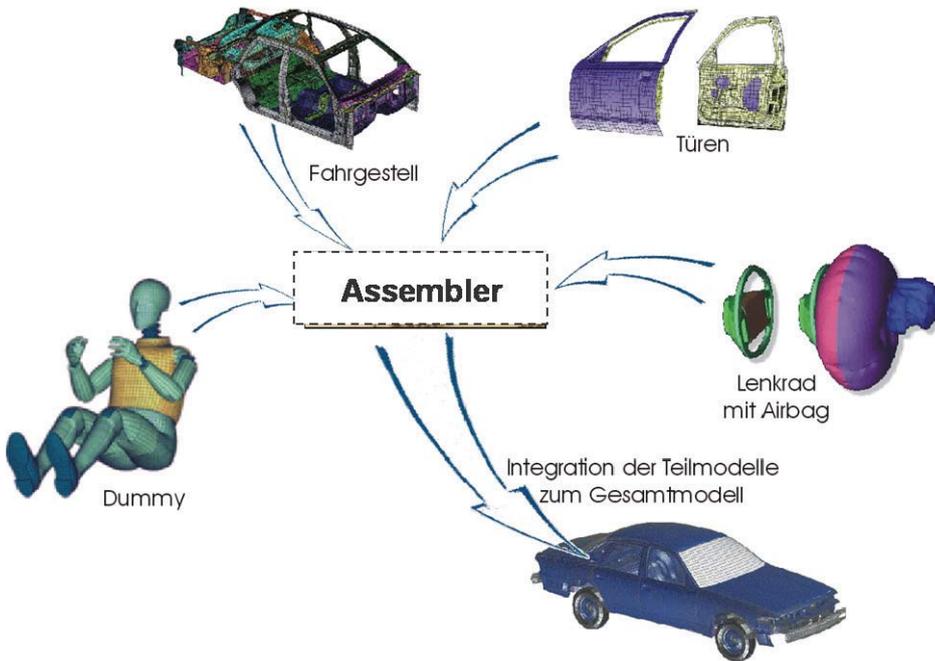


Abb. 1: Vereinfachtes Assemblieren eines Gesamtfahrzeugmodells basierend auf einer Auswahl an Include-Dateien

## 2 Include-Datei-Management und Lastfallzusammenstellung

In einer Mehr-Benutzer-Umgebung ist die Verwaltung von Simulationsergebnissen keine einfache Aufgabe. Berechnungsingenieure erzeugen während ihrer täglichen Arbeit viele Varianten der zu untersuchenden Bauteile bzw. Bauteilgruppen, wobei beispielsweise die Materialparameter variiert werden oder kleinere Geometrieadjustments durchgeführt werden. Diese modifizierten Komponenten sind mit anderen Projektarbeitern disziplin- bzw. abteilungsübergreifend auszutauschen, da in einigen Fällen dieselben Komponenten von verschiedenen Bearbeitern untersucht werden müssen. Beispielsweise beeinflusst eine Änderung des Armaturenbrettes durch einen Ingenieur der Innenraum-Simulationsgruppe das Simulationsmodell der Front-Crash-Gruppe maßgeblich. Um diesen Austauschprozess zu organisieren und zu automatisieren, bedarf es einer geeigneten Softwarelösung.

### 2.1 Ziele und Anforderungen

Die CAE-Abteilung eines Automobilherstellers ist gewöhnlich untergliedert in einzelne Crash-Disziplinen, welche durch verschiedene Ingenieursgruppen repräsentiert werden. Beispielsweise arbeiten Teams an der Struktur-Crash-Simulation, an der Insassensicherheitsanalyse bei Front-, Seiten- und Heckaufprall, an der Fußgängersicherheit und an der Aufprallanalyse für Innenraumbauteile. Jedes Team hat dabei andere Basis-Anforderungen an das Simulations-Daten-Management. Die wesentlichen Anforderungen werden im Folgenden aufgeführt:

- *Visualisierung der Modellkomponenten (Include-Dateien) und Ihrer Eigenschaften.* Der Berechnungsingenieur braucht einen Überblick über alle vorhandenen Bauteilmodelle des Gesamtfahrzeugmodells, um schnell und zuverlässig relevante Detailinformationen abrufen zu können.
- *Automatisiertes, simultanes Assemblieren des Gesamtmodells basierend auf der Auswahl der Submodelle für verschiedene Lastfälle.*
- *Verifikation der Include-Dateien entsprechend den Anforderungen des Finite-Elemente-Solvers* (z.B. Elementqualität, Einhaltung der zugewiesenen Knoten und Elementnummernbereiche).
- *Bereitstellung lokaler Kopien der Include-Dateien*, damit der Benutzer lokale Werkzeuge benutzen kann. Demzufolge ist eine Synchronisation der lokalen und globalen Daten notwendig. Im Gegensatz zu den

lokalen Daten sind globale Daten entsprechend dem Rollen- und Rechtemanagement von anderen Nutzern zugänglich.

- *Bereitstellung einer anpassbaren Mehrbenutzer- und einer multi-disziplinären Umgebung.* Den unterschiedlichen Anforderungen, welche sich aus den disziplinabhängigen Arbeitsabläufen ergeben, ist Rechnung zu tragen.
- *Ermöglichen einer Versionskontrolle der Include-Dateien und einer Verwaltung der zugehörigen Lastfälle.* Die Darstellung einer Eltern/Kind-Konfiguration der Bauteilvarianten sollte möglich sein, um den Variantenvergleich zu erleichtern.
- *Standardisierte und automatisierte Dokumentation von Modifikationen.* Dies beinhaltet z.B. auch die Einführung neuer Einheitensysteme.
- *Integration von CAT-Disziplinen, um die Aktivitäten mit den experimentellen Abteilungen zu koordinieren.*
- *Überwachen des Projektstatus.* Zu jeder Zeit sollte dem Projektleiter das Ausleiten eines aktuellen Projektstatusberichtes möglich sein, um schnell und korrekt berichten zu können bzw. rechtzeitig Probleme erkennen zu können.
- *Benutzung eines offenen und flexiblen Systems,* damit eine Einbindung von externen Anwendungen erfolgen kann. I.d.R. bevorzugen die einzelnen Abteilungen unterschiedliche Pre- und Postprozessoren bzw. teamspezifische Hilfsprogramme.
- *Unterstützung von parametrischen Include-Dateien,* um möglichst einfach eine Parameter-Variation durchzuführen (z.B. Integrierte Optimierung des Bauteils oder DOE-Studien).

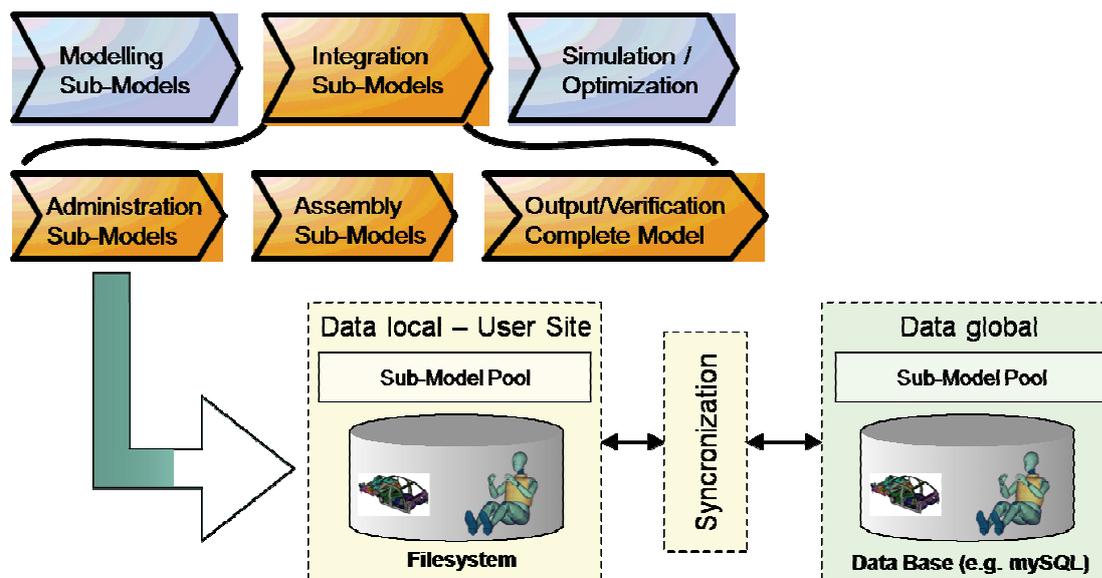


Abb. 2: Include-Dateien eines FE-Submodells können im lokalen Benutzerdateisystem gespeichert, geändert und getestet werden. Ein Synchronisationsprozess garantiert die globale Konsistenz innerhalb einer Mehrbenutzerumgebung.

## 2.2 Softwarelösung

In Zusammenarbeit mit der AUDI AG wurde während der letzten Jahre das Softwaresystem "CAx-LoadCase Composer" (CAx-LoCo) entwickelt. Die Software berücksichtigt die in Abschnitt 2.1 aufgeführten Anforderungen. Mittels einer Server-Client-Architektur wurde eine zentrale Datenhaltung realisiert. Typischerweise arbeiten die Benutzer mit lokalen Kopien der Projektdaten. Nachdem die Bearbeitung bzw. Optimierung einer Variante eines Submodells abgeschlossen ist, erfolgt die Synchronisation mit dem globalen Include-Pool, damit andere Benutzer auf dem aktuellen Modellstand aufbauen können, vgl. Abb. 2. Darüber hinaus wird die zeitliche Entwicklung zu Dokumentationszwecken aufgezeichnet.

Dies erlaubt z.B. eine Baumdarstellung der Versionsgeschichte eines Bauteils, um die Varianten im Entwicklungsprozess besser vergleichen zu können. Abbildung 3 zeigt beispielsweise die Entwicklung der Bauteilmasse basierend auf einer hierarchisch aufgebauten Variantenuntersuchung. Zudem wurde eine Zoom-Funktion in die grafische Oberfläche (GUI) implementiert, welche den Benutzern den Grad an dargestellten Detailinformationen steuern lässt.

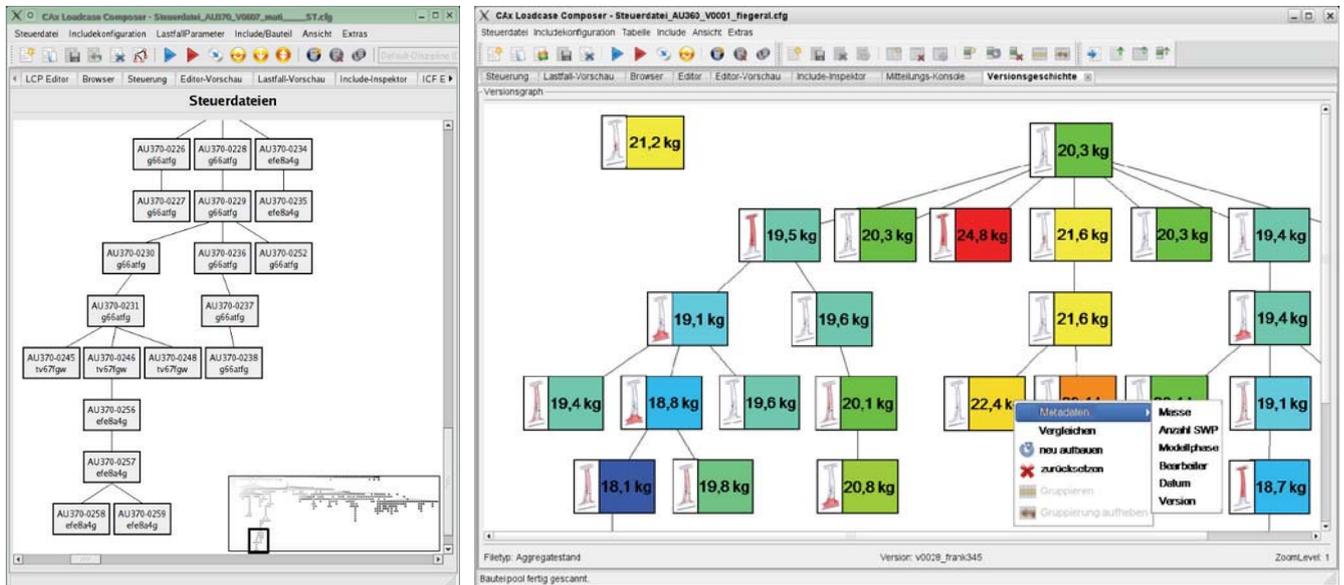


Abb. 3: Zoombare Baumdarstellung der Versionsgeschichte eines Bauteils mit Massenvergleich [1].

### 3 Integrierte Optimierung und DOE-Studien

Eine der wichtigsten Eigenschaften des Programmsystems CAX-LoCo stellt die parametrische Struktur der Include-Dateien dar. Dies erlaubt eine integrale Handhabung der Design-Variablen eines Submodells, um z.B. die Airbageinstellungen oder die Sitz/Dummy-Transformationen über das Programmsystem steuern zu können. Darüber hinaus kann der Nutzer schnell und leicht DOE-Studien bzw. Optimierungs-/Robustheitsanalysen aufsetzen. Hierzu sind im Programmsystem sehr leistungsfähige Optimierungsalgorithmen integriert, die durch das kommerzielle Programmsystem LS-OPT bereitgestellt werden, vgl. Stander et al. [3].

Zur Visualisierung und Auswertung der Ergebnisse aus den Optimierungs- und Robustheitsstudien wurde das Softwareprogramm D-SPEX entwickelt [4]. Der Fokus dieser Software liegt auf der interaktiven Visualisierung der Metamodelle aus den Designstudien, um den Ingenieur bei Analyse der Modellparametersensitivität zu unterstützen, bzw. zum Verständnis der spezifischen Modellantworten beizutragen, vgl. Abbildung 4. Es verfügt auch über Funktionen zur statistischen Auswertung, z.B. für Zeitreihen. Neben der Bestimmung der statistischen Mittelwerte, Standardabweichungen und Korrelationen ist auch eine Varianzanalyse möglich (ANOVA). In einer der nächsten Ausbaustufen des Programmsystems ist eine vollständige Integration der D-SPEX-Funktionalität geplant.

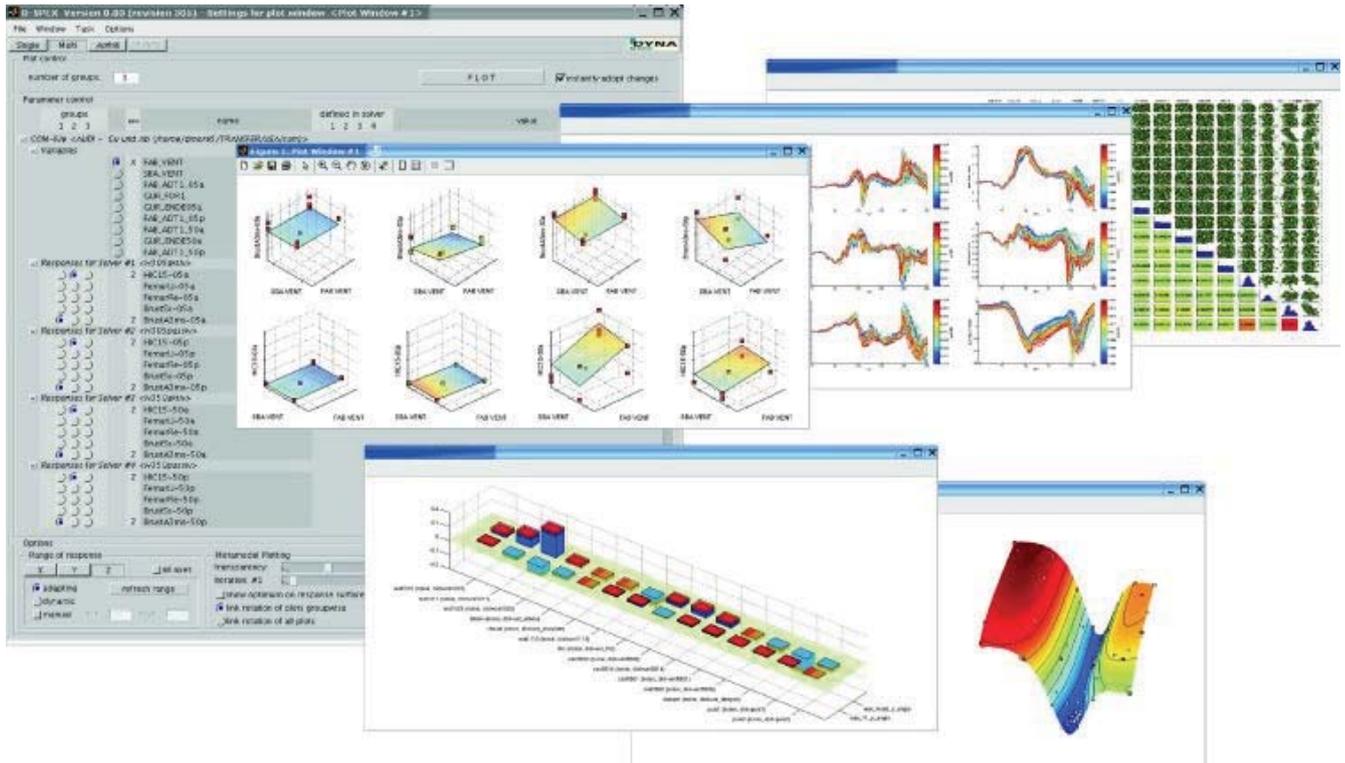


Abb. 4: Integrierte DOE-Studien und Optimierung basierend auf Metamodellen (z.B. Radial-Basis-Funktionen (RBF) und Neuronalen Netzen).

Das Haupthindernis bei der Durchführung einer Bauteiloptimierung oder einer DOE-Studie stellt in dem täglichen Arbeitsablauf der relative große Zeitaufwand zum Aufsetzen des Prozesses dar, da eine Vielzahl an Eingabeparametern definiert werden müssen. Mit CAX-LoCo gelingt es, eine signifikante Verkürzung dieser bisher sehr zeitintensiven Arbeitsabläufe zu erreichen. Dadurch wird es praktisch schnell, einfach und zuverlässig möglich – basierend auf jedem Entwicklungsstand des Modells – neue Designstudien durchzuführen. Ein publiziertes Beispiel einer Multi-Lastfall-Optimierung ist in [2] zu finden. Das Aufsetzen einer Optimierung oder DOE-Studie mit beispielsweise 10 Lastfällen mit jeweils 100 Simulationen kann annähernd auf Knopfdruck und mit sehr wenig Aufwand durchgeführt wird.

## 4 Software Architektur

### 4.1 Kundenanforderungen

Kundenanforderungen sind sehr vielfältig, da der Arbeitsablauf zum Generieren der Eingabedaten für Crash-Simulationen sehr unterschiedlich ist. Dies ist nicht nur auf die verschiedenen Solver zurückzuführen sondern auch auf die unterschiedlichen Modellierungsstrategien. Vielfach werden auch Methoden angewendet, die einen Wettbewerbsvorsprung des Kunden gegenüber seinen Mitbewerbern darstellen und deshalb zu schützen sind. Dies gilt z.B. für die Modellierung der Verbundelemente, da dies noch Gegenstand der aktuellen Forschung ist. Der vollständige Einsatz einer Standardsoftware ist dadurch ausgeschlossen. Nichtsdestotrotz ist aus der Sicht eines Softwareanbieters der Wunsch nach einer flexiblen Softwareplattform vorhanden, welche als Basis für die verschiedenen Kundensysteme dienen soll. Ziel ist eine einfache und flexible Anpassung des Basissystems an die Anforderungen der verschiedenen Automobilhersteller (OEMs).

Dieser Ansatz ist auch aus Sicht der Automobilzulieferer vorteilhaft, die gleichzeitig die Anforderungen verschiedener Automobilhersteller erfüllen müssen. Diese Anforderungen resultieren in dem Wunsch nach einer flexiblen und konfigurierbaren Software Architektur, um die Vielzahl an bereits existierende Softwareprodukten integrieren und anpassen zu können.

Von dem Standpunkt des Ingenieurdienstleisters im Umfeld der Crash-Simulation, ist diese integrale Softwarelösung ebenfalls sehr interessant, da er das komplette Datenmanagement firmenintern in einer autonomen CAx-LoCo-Installation handhaben kann. Bei Bedarf kann mit dem Kunden eine Synchronisation der jeweiligen Include-Daten erfolgen, um die Konsistenz der Projektdaten zu gewährleisten. Hierbei wird durch Programmsystem gewährleistet, dass unabhängig vom Datenbanksystem des Kunden die Synchronisation erfolgen kann.

## 4.2 Serviceorientierte Architektur

Service orientierte Architekturen (SOA) sind vorteilhaft, wenn die gleichzeitige Nutzung unterschiedlicher Systeme notwendig ist [5]. Eine der wichtigsten Anforderungen an das Programmsystem stellt die nahtlose Integration unterschiedlichster, spezialisierter Systeme dar, welche die einzelnen Schritte zur Erstellung eines Gesamtfahrzeugmodells unterstützen. CAx-LoCo nutzt das SOA-Architekturparadigma, in dem es die Funktionalitäten der einzelnen Subsysteme kapselt und die heterogenen Softwarekomponenten einheitlich zugänglich macht. Die Zusammenstellung der einzelnen Services zu einem neuen Service führt zu einem zuverlässigeren Modellierungsprozess, welcher für den Nutzer einfach zu bedienen ist. Erwähnenswert ist hier der Einsatz des Softwaresystems PROZMAN, welche die unterschiedlichen Prozessknoten im Erstellungsprozess des Gesamtmodells steuern kann. Dies ist sehr hilfreich, wenn in einem Prozessknoten selbst ein komplexer Prozess darstellt wird.

## 4.3 Nutzung bereits existierender Technologien

Innerhalb der in Abschnitt 2 erläuterten Prozesskette zur Erstellung des Gesamtfahrzeugmodells werden Module von mehreren Softwareanbietern genutzt. Speziell Pre-Prozessoren erlauben bereits ein Datenmanagement mit Versionsverwaltung für die einzelnen Komponenten. Pre-Prozessoren wie „ANSA Data Manager“ [9], „Midas“ von T-Systems [8] oder der „Hyperworks Process Manager“ [7] bieten vielfältige Möglichkeiten, Informationen aus der CAD-Geometrie oder von anderen PLM-Systemen und anderen Datenquellen zugänglich zu machen. Die Herausforderung liegt darin, ein übergeordnetes, konsistentes Objekt- und Datenmodell aufzustellen, das alle relevanten Informationen der Subsysteme nutzt. Solche Master-Daten-Management-Systeme (MDM) sind verfügbar und basieren i.d.R. auch auf dem SOA-Paradigma [6].

## 4.4 Benutzerfreundlichkeit

Die Bedeutung der Benutzerfreundlichkeit als Anforderung an eine Softwarelösung nimmt stetig zu. Auch in technisch orientierten CAE-Entwicklungsabteilungen gewinnt die Anwenderfreundlichkeit an Bedeutung, da die Anzahl der durch den CAE-Experten zu beherrschenden Systeme stetig steigt. Da heutzutage für nahezu alle Softwareprodukte eine grafische Oberfläche verfügbar ist, sind Studien über die Benutzerfreundlichkeit notwendig, um zu prüfen, ob die Benutzeroberfläche den Nutzer ein schnelles und effizientes Arbeiten ermöglicht.

Sowohl für CAx-LoCo als auch für D-SPEX stellt die Benutzerfreundlichkeit einen entscheidenden Faktor bei der Softwareentwicklung dar. Abbildung 5 zeigt ein Beispiel-Layout der Benutzeroberfläche. Dem Nutzer wird eine individuelle Anordnung der GUI-Elemente ermöglicht. So sind zusammengehörige Eingabefelder in Reitern gruppiert, welche wiederum in Form und Größe frei im Hauptfenster arrangiert werden können. Elemente, die nicht unmittelbar für den Arbeitsprozess benötigt werden, können temporär ausgeblendet werden. Jeder Nutzer kann die unterschiedlichen Fensteranordnungen laden und abspeichern, um für jeden Workflow eine optimale Softwareunterstützung zu erhalten.

Das Programmsystem kann, ausgehend von einer Vielzahl von CAE-Teilmodellen, eine oder mehrere vollständige Simulationseingabedateien für die Crash-Simulation erzeugen. Dieser Prozess kann schrittweise mit Nutzerinteraktion aufgebaut und ausgeführt werden oder vollautomatisch durchlaufen werden. Durch die Möglichkeit der durchgängigen Parametrisierung der Include-Dateien ist es sehr einfach möglich, eine Optimierung oder DOE-Studie über die gesamte Prozesskette durchzuführen.

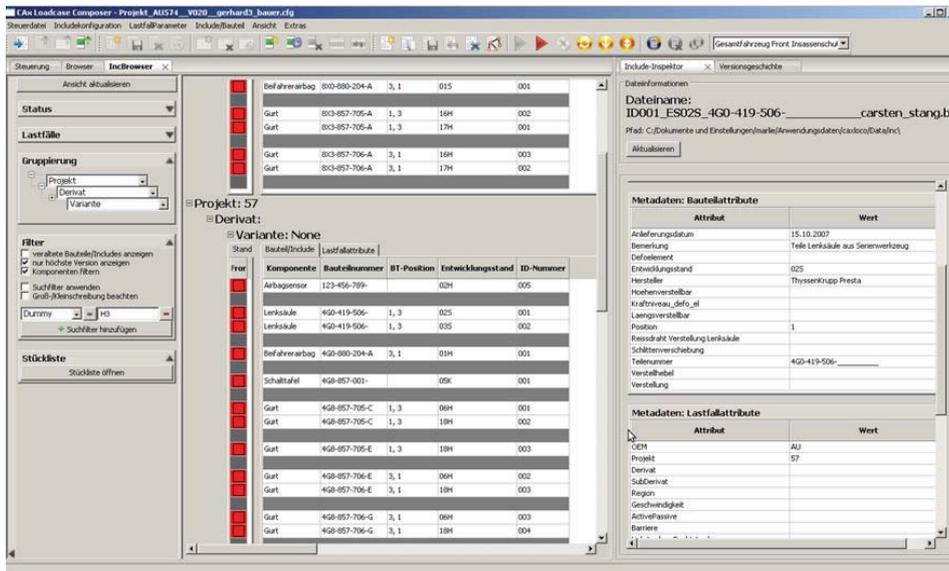


Abb. 5: Benutzeroberfläche des CAX-Load Case Composers (CAX-LoCo)

## 5 Literatur

- [1] Mlekusch B., Dornberg C., Streicher F., "CAE-Prozessintegration und Optimierung", Vortragsband - 7. LS-DYNA Anwenderforum 2008, Bamberg, Germany.
- [2] Müllerschön H., van den Hove M., Mlekusch B., "Optimization Strategies for Highly Non-Linear FE-Applications such as Crashworthiness", Proceedings ECCM-2006, Lisboa, Portugal.
- [3] Stander, N., Roux, W., Goel, T., Eggleston, T., Craig, K., LS-OPT User's Manual, Version 3.3, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, 2008.
- [4] Introduction to D-SPEX, Version 0.3, DYNAMore GmbH, Stuttgart, 2008.
- [5] Reussner, R., Hasselbring, W.: "Handbuch der Softwarearchitektur", DPunkt, 2009.
- [6] Liebhart, D.: „SOA goes real“, Hanser, 2007.
- [7] Alscher, C; Eick, M.: "Automated Assembly of LS-DYNA Models", 6. LS-DYNA Anwenderforum 2007, Frankenthal, Germany.
- [8] Westhäußer, M.: "CAE Process Support by Midas and Medina", 4<sup>th</sup> European LS-DYNA user conference, 2003.
- [9] Makropoulou, I. "Template driven LS-DYNA Model Build-up with ANSA Task-Manager", 6. LS-DYNA Anwenderforum 2007, Frankenthal, Germany.

## 6 Autor

Dr. Heiner Müllerschön  
 Leiter Prozess Integration und Optimierung  
 DYNAMore GmbH, Stuttgart  
 hm@dynamore.de

# Management und interdisziplinäre Integration von CAE Daten

Jochen Boy, Matthias Grau, Timo Trautmann (PROSTEP AG)

**Der Aufwand zur Verwaltung von Simulationsdaten steigt mit der Menge und der Komplexität der Informationen, die im CAE Kontext verändert werden. Die Anwendung fortgeschrittener Datenmanagementsysteme ist heutzutage jedoch weitgehend auf die konstruktive Produktentwicklung beschränkt, wo eine relativ homogene Systemlandschaft mit großen Überschneidungen beim Informationsinhalt vorherrscht, auch wenn die Daten verteilt gespeichert sind.**

**Eine Integration über verschiedene Bereiche hinweg, wie zum Beispiel Konstruktion und Simulation, wo diese Überschneidung eher gering ausfällt, stellt ein bisher nicht betrachtetes Komplexitätsniveau dar. Dies wird zusätzlich erschwert durch die Tatsache, dass im Bereich der Simulation wenig oder kein Produktdatenmanagement (PDM) eingesetzt wird, und die Vielfalt der Berechnungswerkzeuge sehr groß ist. Zudem gibt es keinen allgemeinen Weg, wie CAE Informationen zwischen diesen Anwendungen ausgetauscht werden können.**

**Dieser Bericht gibt einen Überblick über die wesentlichen Herausforderungen bei der Handhabung und Integration von CAE Daten, und beschreibt eine Lösung, die existierende Prozesse und Werkzeuge verwendet um eine umfassende und integrierte Datenlandschaft aufzubauen.**

## 1 Ausgangssituation

Unter Datenverwaltung wird in den meisten Fällen die Fähigkeit verstanden, Daten zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort und im richtigen Format zu Verfügung zu stellen. In heutigen Anwendungsszenarien stellt sich Information in der Regel als verteilt über verschiedene Organisationseinheiten und Softwaresysteme dar, von denen jede ihren eigenen Blick auf die Daten hat. Die zwei Haupteigenschaften, die solch ein Szenario beschreiben, sind Standort des Systems und Bedeutung der Daten.

Heutzutage beschränkt sich die Integration der verschiedenen Software-Systeme im Bereich der technischen Produktdefinition noch weitgehend auf die konstruktive Produktentwicklung, und bedient sich der grundlegenden Unterscheidung zwischen Metadaten, die einen Kontext beschreiben wie etwa Identität, Platzierung im Raum oder einer Struktur, und Nutzdaten (2D/3D Geometrie, Attribute). Eine Integration existiert sowohl auf Ebene der Metadaten (was es PDM-Systemen an verschiedenen Standorten ermöglicht, Informationen auszutauschen) als auch der Nutzdaten, wo – zum überwiegenden Teil – die Geometrie als native Daten ausgetauscht und nach Bedarf in andere Formate konvertiert wird.

Dies ist möglich, da:

- Metadaten zwar zwischen verschiedenen PDM-Systemen ausgetauscht werden, jedoch stets im Bereich der Entwicklung bleiben – daher bleibt die Bedeutung der Information weitgehend erhalten.
- es nur eine wesentliche Klasse von Anwendungsprogrammen gibt: Das CAD-System – selbst verschiedene Arten und Versionen von CAD-Systemen haben eine große Übereinstimmung der Informationsinhalte, so dass die Bedeutung der enthaltenen Information wiederum weitgehend unverändert bleibt.

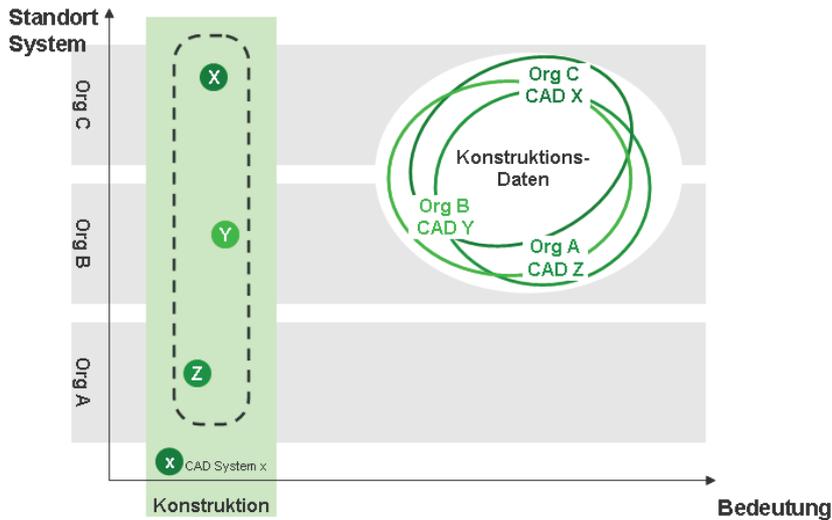


Abb. 1: Datenintegration über verschiedene Standorte

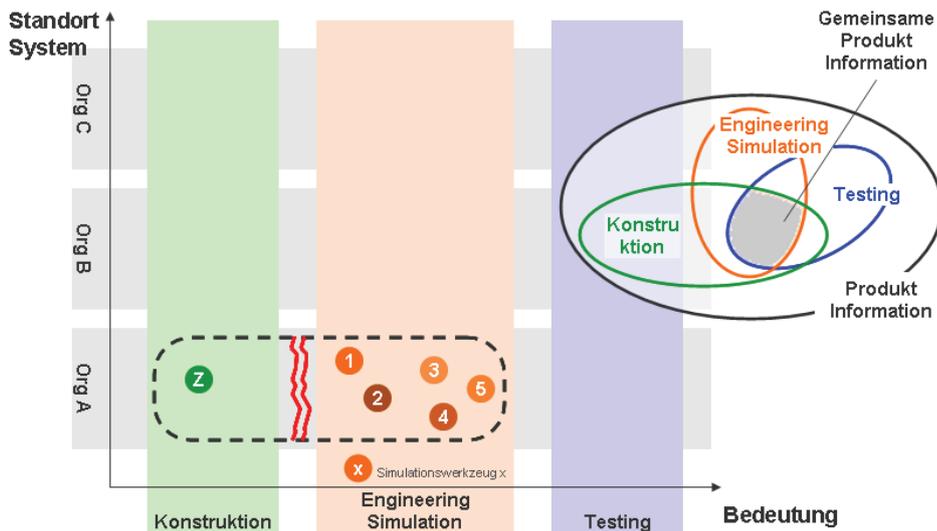


Abb. 2: Bereichsintegration und semantische Brüche

Die Tatsache, dass die Bedeutung der Daten für alle beteiligten Systeme scheinbar dieselbe ist, ist gleichermaßen als Erleichterung wie als Einschränkung zu sehen. Da es keinen semantischen Bruch gibt, beschränkt sich das Übersetzen der Informationen in der Regel auf die Konvertierung von Dateiformaten oder die Bewegung zwischen verschiedenen Ablagesystemen, während der Inhalt erhalten bleibt. Daher eröffnet die Integration von Entwicklung und Simulation ein völlig neues Komplexitätsniveau, das den Bau entsprechender Brücken und die Definition gemeinsamer Referenzpunkte zum Verwalten der Daten notwendig macht.

Die Produktentwicklung – speziell im Bereich der Automobil- und Luftfahrtindustrie – steht heute vor der Herausforderung zunehmender Komplexität der Produkte bei zugleich immer kürzer werdenden Entwicklungszyklen. Dadurch werden digitale Simulation und Berechnung eines Produktes während der Produktdefinitionsphase immer wichtiger und kommen bereits in frühen Entwicklungsstadien zum Einsatz, oft parallel zur eigentlichen Konstruktion. Dies wird unterstützt durch den anhaltenden Anstieg der Computerrechenleistung bei gleichzeitig fallenden Hardwarekosten, so dass zunehmend nicht mehr die Erzeugung, sondern die Handhabung der Daten den effektiven Einsatz von CAE begrenzt.

## 2 Die Herausforderungen im CAE Datenmanagement

Der CAE-Bereich ist wahrscheinlich der Bereich mit den meisten Bezügen in andere Bereiche. Grund dafür ist seine Aufgabe, Produkte und Szenarien unter Anwendung von Analysemethoden so real wie möglich zu simulieren. Zur sinnvollen Untersuchung von Produkteigenschaften und -verhalten ist es erforderlich, alle relevanten Informationen zur Verfügung zu haben, um der Realität so nahe wie notwendig zu kommen. Eine besonders enge Verknüpfung besteht dabei naturgemäß mit der Konstruktion auf Grund der iterativen Prozesse zwischen CAD und CAE während der Produktentwicklung.

Ergebnisse aus den Simulationsprozessen lösen oft Aktivitäten in der Konstruktion aus – sei es die Freigabe eines Entwurfs oder notwendige Änderungen aufgrund einer festgestellten Schwachstelle. In jedem Fall stellen die Konstruktionsdaten mit Geometrie, Verbindungstechnik, Baugruppen usw. die Basis für die Berechnungsaktivitäten dar, deren Ergebnisse zurückgemeldet werden und so wiederum einen Einfluss auf die Konstruktion haben. Inzwischen geht die Berechnung sogar der Konstruktion im Rahmen einer Auslegung immer öfter voraus, um die Randbedingungen für die Produktentwicklung festzulegen.

Während sich heutige Einsatzszenarien von Simulationsdatenmanagement typischerweise auf das Post-Processing beziehen, d.h. das Verwalten der Berechnungsergebnisse und daraus erstellter Reports, liegt die große Herausforderung in der Pre-Processing Phase, wenn die Daten aus verschiedenen Quellen gesammelt und für die anstehende Berechnung organisiert werden müssen. Außerdem erfordern Designänderungen sowie die Untersuchung von Alternativen ein konsistentes Management der Eingangs- und Ergebnisdaten sowie des Verbleibs (wo, wann, was, ...) der durchgeführten Aktivitäten. Dies führt zu Fragestellungen über Versionierung und Änderungen, die im Bereich CAE bislang nicht zufriedenstellend gelöst sind. Sobald die Bezüge von Simulationsdaten in andere Bereiche hinein formal verfügbar sind, wären die Berechnungsingenieure in der Lage, direkt den Links zu den entsprechenden Konstruktionsdaten zu folgen, und die Konstrukteure könnten im Gegenzug die Berechnungsergebnisse aufrufen, an denen sie interessiert sind – ohne das Risiko auftretender Inkonsistenzen.

### 2.1 Schaffen einer gemeinsamen Referenzbasis für CAE-Daten

Anders als die Konstruktion ist der CAE-Bereich durch eine große Zahl von proprietären Werkzeugen gekennzeichnet, die sich von kommerziellen Lösungen bis zu hausinternen Eigenentwicklungen erstrecken. Diesem Umstand ist hauptsächlich die Vielzahl der Simulationsdisziplinen, von denen jede die eigenen spezialisierten Methoden anwendet, geschuldet. Auslegungen und Nachweise im Flugzeugbau beispielsweise werden durch Methoden aus den Bereichen globale und lokale statische Festigkeit, Dauer- und Reservefestigkeit, Analyse von Verbundmaterialien, thermische Analysen, etc. abgedeckt. Diese Situation ist grundsätzlich vergleichbar mit der Automobilindustrie, wo Simulationswerkzeuge für die Untersuchung der globalen (body-in-white) Steifigkeit, der Festigkeit der Komponenten in den verschiedenen Betriebsregimen, von Aufprall und Insassenschutz, NVH, Fahrzeugumströmung, Fahrgastraumklima, etc. im Einsatz sind.

Daraus folgt eine Vielfalt nativer Datenformate mit der selben Größenordnung wie die Zahl der eingesetzten Simulationswerkzeuge, was eine sehr hohe Redundanz der so gehaltenen Informationen zur Folge hat. Dieselbe Information ist dadurch oft in mehreren Dateien verschiedener Formate gespeichert. Die Tatsache, dass viele dieser proprietären Formate binäre Formate sind, auf die nur mit Werkzeugen des selben Herstellers zugegriffen werden kann, schränkt den Anwender noch weiter in seinen Möglichkeiten ein, jeweils das „best tool in class“ für seine Berechnungen zu nutzen.

Ferner können zentrale Datenbanken für Materialien oder Standardkomponenten nicht referenziert werden. Stattdessen werden die Daten an verschiedenen Stellen repliziert. Es ist kaum möglich, Daten für verschiedene Werkzeuge gemeinsam zu nutzen, und wenn, erfordert dies fehleranfällige händische oder speziell angepasste Lösungen.

Der Ansatz um diese Situation zu verbessern ist die Integration der verschiedenen Formate durch die Schaffung einer werkzeugunabhängigen CAE-Datenhaltung mit einem Paar von Pre- und Postprozessoren für jedes einzu- verbindende Werkzeug zur Datenversorgung, Ansteuerung und Ergebnisausleitung. Dieser Ansatz wird „Simulations-Tool-Integration“ genannt – die Nutzdaten werden in einer zentralen bereichsübergreifenden Datenbank abgelegt und so an zentraler Stelle verwaltet.

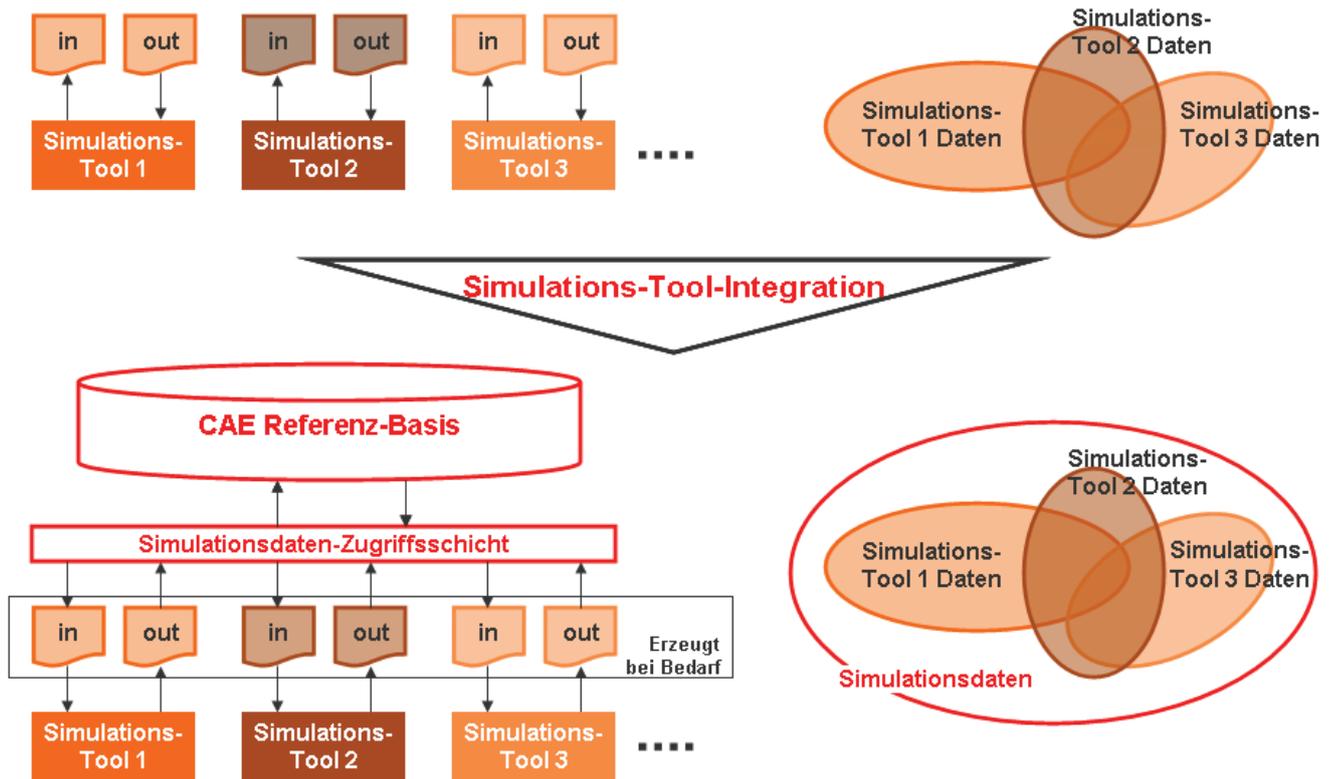


Abb. 3: Eine gemeinsame Basis für Simulationsdaten

## 2.2 Schaffen eines Produkt-Kontexts für CAE-Daten

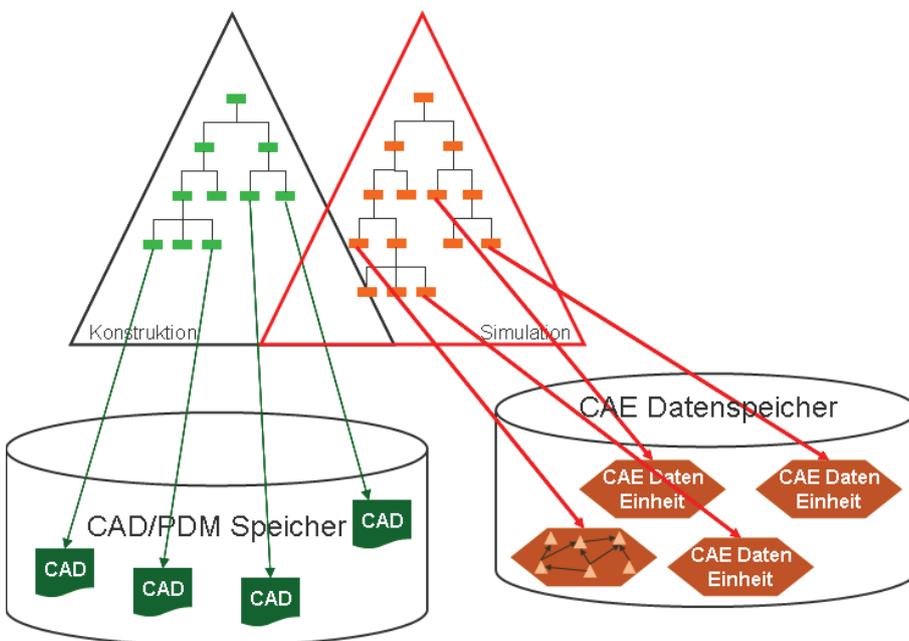


Abb. 4: CAE Produktdatenmanagement

Simulationsdaten werden heute typischerweise in Dateien gehalten. Diese Dateien werden in strukturierten Dateisystemen verwaltet, ohne die Möglichkeit zum zusätzlichen Halten von administrativen Informationen (Metadaten, Prozessdaten, ...), die Antworten auf Fragen wie "Wer hat was wann und warum getan?" und "Welche Abhängigkeiten gibt es für diese Information?" geben können. Dieses Wissen ist in den Köpfen der Projektmitarbeiter, verschlüsselt in kryptischen Dateinamen oder abgelegt in händisch gepflegten Tabellen. Auch wenn ein Dateisystem prinzipiell eine gewisse Strukturierung ermöglicht, so ist die Möglichkeit der Assoziierung von Prozess- oder regelbasierter Information praktisch unmöglich. An ein Versions-, Änderungs- und Konfigurationsmanagement ist nicht zu denken.

Diese Art und Weise des Datenmanagements wird noch weiter verkompliziert dadurch, dass sich die Strukturierung wie auch die Granularität der (proprietären) Dateien primär an den Anforderungen der zugehörigen Simulationstools orientiert, und damit in der Regel nicht produktorientiert ist.

Eine mögliche Lösung besteht darin, der gemeinsamen CAE-Datenbasis eine produktorientierte Struktur zu geben. Die Simulationssicht auf ein Produkt ist typischerweise eine funktionale, da der Kontext von Simulation der Nachweis von Funktionen und Verhalten ist. Die Organisation der Simulationsdaten nach dieser Maßgabe führt dazu, dass Daten über die Simulation einer bestimmten Komponente (Teil, Baugruppe, ganzes System) in einer „CAE-Daten-Einheit“ zusammengefasst und damit dieser Komponente zugeordnet werden können. Solche Einheiten können dann durch ein Produktdatenmanagementsystem verwaltet werden. Damit wird für die Simulation eine spezielle Sicht – die Simulationssicht – analog der Konstruktionssicht auf das Fahrzeug eingeführt. Die „CAE-Daten-Einheiten“ spielen in dieser Sicht die Rolle der CAD-Modelle aus der Konstruktionssicht – sie beinhalten die Anwendungsdaten.

### 2.3 Beziehungen von CAE-Daten mit anderen Bereichen handhaben

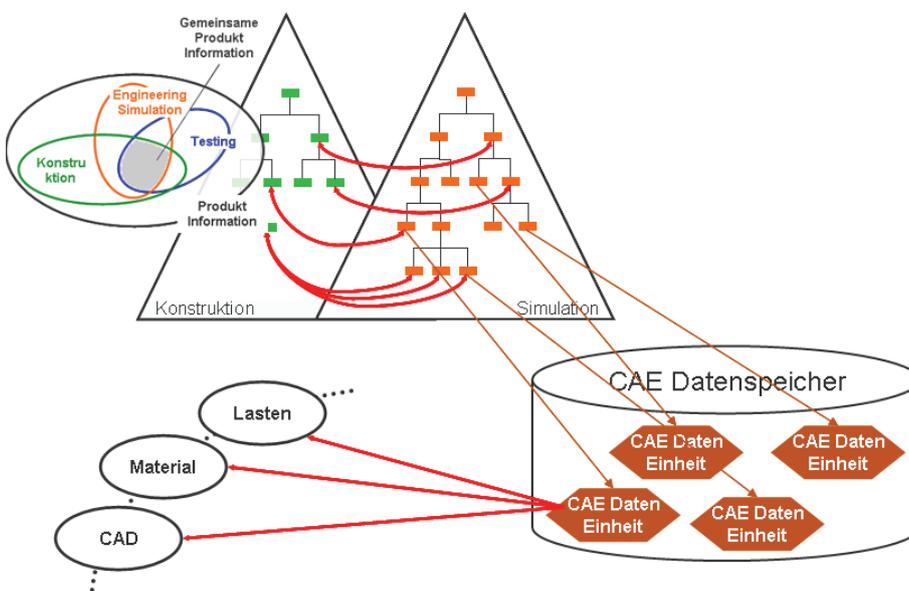


Abb. 5: Verknüpfung von CAE-Daten mit anderen Bereichen

Simulationsdaten haben von Natur aus eine enge Verknüpfung mit der Konstruktion, da die Simulation und Berechnung zum Ziel hat, Produktentwürfe zu verifizieren. In vielen Fällen liefert die Simulation auch den Startpunkt für eine Produktentwicklung, zum Beispiel indem sie die ersten Bedingungen liefert, die das Produkt später erfüllen muss. Während der Produktentwicklung sind Konstruktion und Berechnung durch interaktive Prozessschleifen miteinander verflochten: Änderungen auf einer Seite bedingen Änderungen auf der anderen. Dies trifft auch für Informationen aus anderen Bereichen zu, wie zum Beispiel Materialdaten.

Beziehungen, die diese Abhängigkeiten als Spuren von Prozessen über Bereichsgrenzen hinweg oder als Referenzen zum Ursprung bestimmter Informationen beschreiben, würden es erlauben die Entwicklungshistorie unabhängig davon zu verfolgen, wo eine bestimmte Aktivität durchgeführt wurde und es erlauben, Fragen der Art „Was war die Auswirkung dieser Designänderung auf das Verhalten des Produkts?“ oder „Warum wurde dieses

Material geändert?“ zu beantworten. Heutzutage können diese Beziehungen nirgendwo gespeichert und verwaltet werden.

Das Organisieren und Verwalten der CAE-Informationen in einer Simulations-Sicht liefert den bislang fehlenden Ansatzpunkt für solche Referenzen. Dadurch können die Bereiche Simulation und Konstruktion auf Metadaten-Ebene miteinander integriert werden. Außerdem macht es die produktorientierte Strukturierung des CAE-Datenspeichers möglich, Simulationsdaten in den Kontext anderer Bereiche zu setzen, zum Beispiel um die Konstruktionsabsicht zu beschreiben oder die Aktivität, die ausgeführt wurde, um diese Daten zu erzeugen.

## 2.4 CAE-Daten während des Produkt-Lebenszyklus verwalten

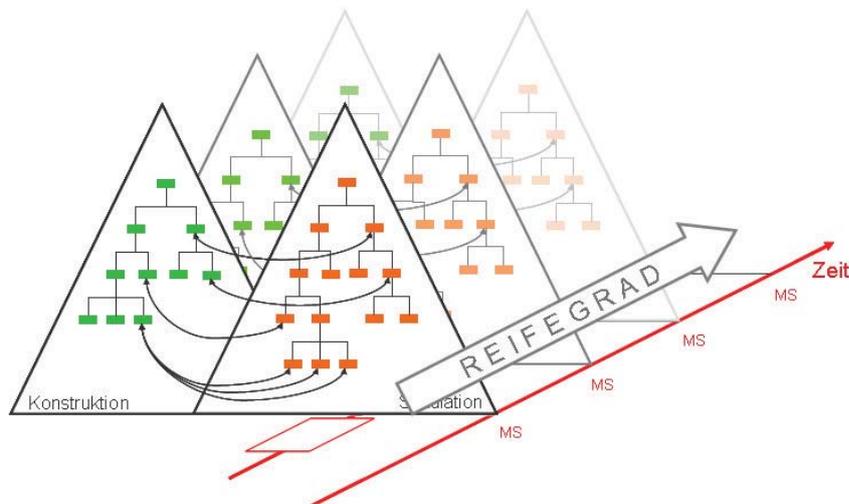


Abb. 6: CAE Product Lifecycle Management

Produktentwicklung erfolgt über die Zeit hinweg. Verschiedene Bereiche müssen die Daten gleichzeitig in verschiedenen Sichten ändern. Das Fehlen von Product Lifecycle Management versetzt Simulationsprozesse oft in die Rolle von Nebentätigkeiten zu den Konstruktionsvorgängen. Anders wäre der Gesamtentwicklungsprozess nicht handhabbar. Das offensichtliche Ziel ist ein paralleler Prozess für Konstruktion und Simulation, der auf einer gemeinsamen und konsistenten Datenbasis aufsetzt.

Das Verwalten des Lebenszyklus von Produktdaten sowohl in einer Konstruktions- als auch einer Simulations-sicht erlaubt echte Simultanität. Sobald ein PDM für CAE-Daten verfügbar ist, können diese über die Zeit hinweg verwaltet werden. Die Informationen werden zu wohl definierten Meilensteinen abgeglichen. Zu diesen Zeitpunkten werden Snapshots des aktuellen Datenstandes erstellt, gesichert, und zur späteren Referenzierung aufgehoben. Zu bestimmten Meilensteinen („Konstruktionsfreigabe“, „Start of Production“, „Inbetriebnahme“, ...) kann dieser Snapshot auch (langzeit-) archiviert werden. Dazwischen agiert jeder Bereich unabhängig. Ein Rollback zum letzten gesicherten Stand ist jederzeit möglich, und die seither gemachten Änderungen können in jedem Bereich identifiziert werden.

## 3 Fahrplan für die Umsetzung einer CAE-Datenmanagementlösung

Die beschriebenen Szenarien geben einen Ausblick darauf, wie das Management von Simulationsdaten aussehen kann, um den aktuellen Anforderungen heutiger Engineeringprozesse gerecht zu werden. Dabei ist klar, dass es auf Grund der spezifischen Anforderungen in den verschiedenen Industrien und Unternehmen keine Standardlösung geben kann, und eine zu schaffende Lösung auf der Grundlage der hier beschriebenen Ansätze nicht ohne weiteres existierende Prozesse ersetzen kann. Diese müssen vielmehr in einer Übergangsphase in die neue Lösung überführt werden.

Die Einführung eines modernen CAE Datenmanagements setzt beim Unternehmen eine mittelfristige und eine langfristige Planung mit genau definierten Anforderungen und Zielen voraus. Dieses schrittweise Vorgehen er-

laubt es, die dringendsten Aspekte schnell möglichst zu lösen ohne sie von der langfristigen Zielsetzung abzukoppeln.

Auf dem Weg dahin gilt es eine Anzahl von Fragen anzugehen, die in engem Zusammenhang mit den oben identifizierten Herausforderungen stehen, und die in vier grundsätzlichen Schritten zusammengefasst werden können:

- **Simulations-Tool-Integration:** CAE-Informationen referenzierbar machen
- **Management von Simulationsdaten:** Schaffen eines Produktkontextes für CAE-Daten
- **Interdisziplinäre Integration:** Handhaben und Halten von Beziehungen zwischen CAE und anderen Bereichen
- **PLM für CAE-Daten:** Engineering-Daten über den Produkt-Lebenszyklus verwalten

Diese Schritte können nacheinander umgesetzt werden. Je nach aktuellen Anforderungen kann eine Teilmenge des Gesamtszenarios bereits eine mittelfristig anwendbare Lösung darstellen. Der Schlüssel zu einer umfassenden Lösung für das Management von Simulationsdaten ist ganz eindeutig die Schaffung einer CAE-Referenzbasis, die die Abhängigkeit von der großen Zahl proprietärer Datenformate relativiert wenn nicht aufhebt und damit eine Trennung von Simulationswerkzeugen und -daten erlaubt. Zur Umsetzung kommen off-the-shelf – Daten(bank)managementsysteme, unterstützt durch moderne EAI-Technologien und entsprechende Entwicklungsmethodiken, zum Einsatz.

## 4 Komponenten einer Lösung

### 4.1 Integration der Simulationswerkzeuge

Simulationsprozesse haben die grundsätzliche Anforderung, Informationen zwischen verschiedenen Werkzeugen und Beteiligten zu kommunizieren – sowohl im Bereich der Simulation als auch bereichsübergreifend. Das ist heute oft ein mühsames und fehlerträchtiges Unterfangen unter Einsatz von manuellen und speziellen bilateralen Datenaustauschverfahren für die Übersetzung zwischen proprietären Formaten. Die Technologie für die gemeinsame Nutzung von auch komplexen Anwendungsdaten ist verfügbar und bereit für den Einsatz. Gepaart mit modernen Entwicklungsverfahren ist es damit möglich, Software unabhängig von IT-Plattformen zu machen, und Daten unabhängig von Werkzeugen.

Praktische Erfahrungen andererseits zeigen, dass spezifische Szenarien spezifische Anforderungen haben. Oft deckt sich der Anwendungsbereich eines Standarddatenaustauschprotokolls nicht mit diesen Anforderungen bzw. ist nicht umfangreich genug um ihnen gerecht zu werden. Das schränkt die Flexibilität ein und beschränkt damit eine mögliche Lösung, was nicht zu einer weiten Akzeptanz und Anwendbarkeit von derartigen Standards beiträgt. Das führte in der Vergangenheit oft zu Entscheidungen die Investition in die Entwicklung anbieterunabhängiger Lösungen nicht zu tätigen.

Der **Simulation Integration Framework** – Integrationsansatz für die Simulationswerkzeuge führt zur Entwicklung einer gemeinsam nutzbaren Referenzbasis für CAE-Daten die unabhängig von den einzelnen Simulationswerkzeugen ist, und damit als einheitliche und redundanzfreie Datenquelle für alle beteiligten Simulationsmethoden dient. Der Ansatz nutzt existierende Standard-Datenaustauschprotokolle als Basis für die Konfiguration eines Simulationsdatenmodells das exakt diese Anforderungen zugeschnitten ist – jedoch ohne dabei eine proprietäre Lösung darzustellen. Ergebnis ist ein vollständig attributierter Datenspeicher, der als CAE-Referenzbasis dient und der

- redundanzfrei ist, konsistente und einheitliche Datenquelle für alle Simulationsprozesse
- einen zentral steuer- und administrierbaren Datenzugriff erlaubt
- die Entkopplung von Werkzeugen und Daten/Datenspeicherung gewährleistet,
- Durchgängigkeit und Referenzierbarkeit zwischen verschiedenen Arten von Simulationsmethoden erlaubt (z.B. Multi-Physics).

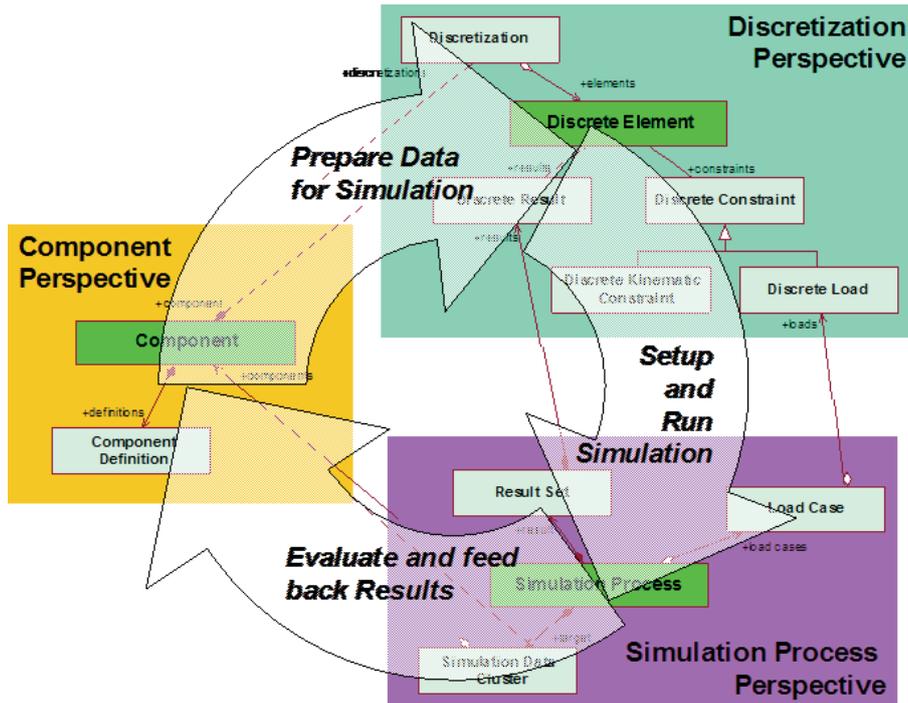


Abb. 7: Simulation Integration Framework für die CAE-Referenzbasis

## 4.2 Management von Simulationsdaten

### 4.2.1 Der Einsatz eines dedizierten Simulationsdatenmanagement-Systems

Einer der am nächsten liegenden Schritte zur Einführung eines standardisierten Datenmanagements für die Simulation ist die Einführung und Verwaltung eines Produktkontextes für dateibasierte Simulationsdaten. Mit anderen Worten, die heute in Form von proprietären Dateiformaten vorliegenden Simulationsdaten werden der Organisation durch ein **Produktdatenmanagement (PDM)-System** unterworfen das in der Lage ist, Informationen über Produktkomponenten (wie z.B. Dokumente oder Geometriemodelle) in einer simulationsspezifischen hierarchischen Struktur zu verwalten. Ein solches Werkzeug wird, wenn es speziell auf die Belange der Simulation und Berechnung zugeschnitten ist, auch Simulationsdatenmanagement (SDM) genannt.

Eine Empfehlung für die Integration von Simulationsdaten in eine PDM-Umgebung unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen von Analyse und Berechnung wurde in der Arbeitsgruppe „SimPDM“ des ProSTEP iViP Vereins entwickelt, und wurde gemeinsam von ProSTEP iViP and VDA veröffentlicht [2].

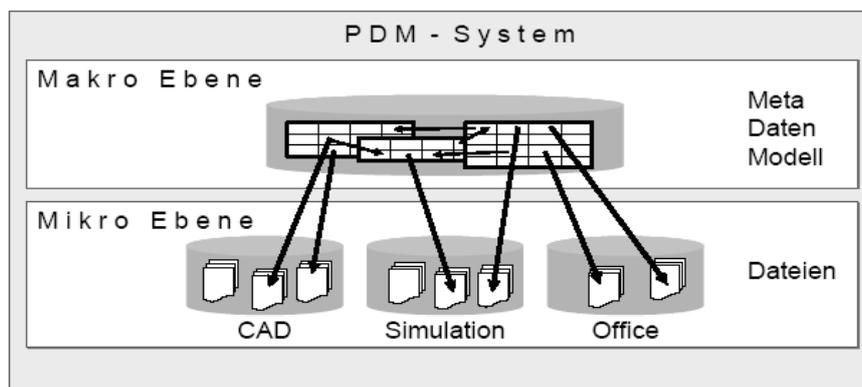


Abb. 8: Grundlegender Aufbau eines PDM-Systems

Die grundsätzliche Architektur eines Datenmanagementsystems besteht aus zwei Ebenen. Informationen über die Simulationsdaten(-dateien) für administrative Zwecke werden auf der Metadaten-Ebene gehalten, während 3D CAD-Modelle, Spezifikationen, Inputdecks, Lasten, Randbedingungen, Berechnungsergebnisse und andere Detailinformationen auf der Anwendungsdatenebene gespeichert werden.

Daten auf der Metadaten-Ebene stellen Referenzen auf die Anwendungsdaten dar und beinhalten u.a. Informationen über deren Typ, Identität, Freigabe- und Änderungsstatus. Diese administrativen Attribute und Verknüpfungen werden im SDM-System gehandhabt, was den größten Vorteil im Vergleich zu einer dateibasierten Datenverwaltung darstellt.

Die von der SimPDM Arbeitsgruppe erarbeitete Empfehlung enthält Referenzprozesse für drei wesentliche Berechnungsdisziplinen: Finite Elemente Methode (FEM), Mehrkörpersysteme (MKS) und Computational Fluid Dynamics (CFD). Sie definiert außerdem ein Datenmodell um Simulationsdaten zu verwalten und die entsprechenden Metadaten über den Berechnungsprozess hinweg auszutauschen, inklusive der Kommunikation mit Datenverwaltungssystemen anderer Bereiche. Dieser Ansatz kann als die Anwendung des bewährten Produktdatenmanagement-Ansatzes auf die speziellen Bedürfnisse der Simulation und Berechnung gesehen werden.

#### 4.2.2 Versorgung der CAE-Welt mit nichtgeometrischen Zusatzinformationen

Zusätzlich zu Geometrieinformation (CAD) werden in Simulationsprozessen weitere Informationen benötigt. Dazu gehören verwendete Materialien, Lasten, Randbedingungen sowie abgeleitete Attribute, wie z.B. Schwerpunkt und Trägheitsmoment. Diese Daten müssen vom Berechner heute manuell zusammengetragen werden, was dazu führt dass der Aufwand für die Datensammlung etwa die Hälfte des gesamten für eine Berechnung benötigten Zeitaufwands ausmacht.

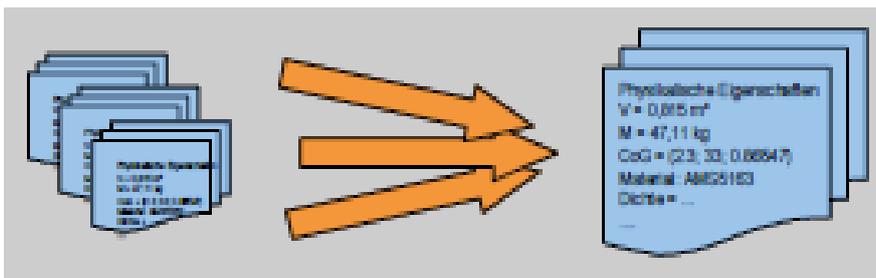


Abb. 9: Versorgung der CAE-Welt mit Zusatzinformationen

Einige dieser Attribute sind bereits in den CAD-Modellen abgelegt, aber nur in den jeweiligen CAD-Systemen zugreifbar. Um den Prozess der Datensammlung für eine Berechnung optimal zu unterstützen, sollten diese über eine zentrale Ablagemöglichkeit verwaltet und zugänglich gemacht werden. Je früher diese Daten zur Verfügung stehen, umso größer ist der erzielte Nutzen für die Folgeprozesse

Die Grundidee hinter diesem Ansatz ist die Vermeidung von Mehrfachabfragen derselben Daten, wodurch sich für den Berechner eine deutliche Verbesserung beim Datenzugriff ergibt. Der erste Schritt in diese Richtung ist eine Aufstellung aller Attribute, die für die verschiedenen Disziplinen der Berechnung als Eingangsgrößen erforderlich sind. Eine mögliche Lösung ist es, alle diese Informationen als Metadaten in einem dedizierten SDM-System zu verwalten.

### 4.3 Interdisziplinäre Integration

#### 4.3.1 Verwalten von Beziehungen zwischen CAD und CAE

Für die Überbrückung der Verschiedenartigkeit zwischen CAD- und CAE-Daten und deren Strukturierung bietet sich mit einem technologisch aktuellen Middleware-Ansatz ein nachgewiesenermaßen effizienter Weg an. Die dabei zum Einsatz kommenden Mechanismen ermöglichen es, Beziehungen zwischen Daten und Szenarien, die in verschiedenen Systemen gehalten werden zu handhaben.

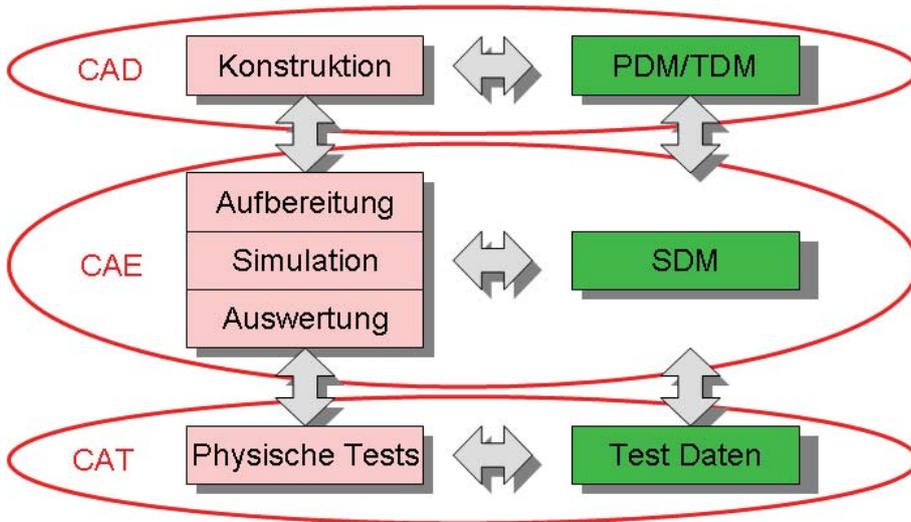


Abb. 10: Cross-domain integration for CAE data

Eine derartige Lösung erlaubt es, Informationen zwischen verschiedenen Systemen, wie z.B. CAX-Repositories, Materialdatenbanken, usw., nachvollziehbar zu verknüpfen. Dazu werden die vorliegenden Metadaten in diesen Bereichen als Referenzinformation genutzt, beispielsweise die Materialnummer eines Eintrages im PDM-System zur Beschreibung einer Referenz in eine Materialdatenbank. Entsprechendes gilt auch für die Integration der Simulation in andere Disziplinen, wie etwa physikalischen Tests. Die gesammelten Daten und in einer bestimmten Berechnung ermittelten Ergebnisse können mit einem Testlauf des gleichen Szenarios verknüpft werden um so die Ergebnisse zu vergleichen und bestätigen.

Aktuelle **Integrationsplattformen** bieten Konnektoren zu den gängigen xDM-Systemen an, so dass die Anwender mit den etablierten CAE-Werkzeugen weiterarbeiten können. Der Zugriff auf die datenverwaltenden Systeme im Hintergrund und das Sammeln der zugehörigen Informationen wird von den Middleware-Komponenten übernommen.

#### 4.3.2 Bereitstellung von Konstruktionsdaten für die Berechnung

Bevor mit einer Berechnung begonnen werden kann, müssen zunächst alle nötigen Ausgangsdaten zusammengetragen und in die erforderliche Form gebracht werden. Dies beinhaltet in erster Linie detaillierte CAD-Daten, aber auch Grobmodelle, Schnitte oder Abtastdaten. In der frühen Entwicklungsphase überwiegen Grobmodelle, Daten aus Vorgängerprojekten und andere Näherungen. Je weiter der Entwicklungsprozess voranschreitet, umso mehr werden diese durch aktuelle detaillierte CAD-Modelle ersetzt.

Während die Grobmodelle meist im erforderlichen Format verfügbar sind, müssen die detaillierten CAD-Daten in der Regel erst aufbereitet werden. Dieses schließt Vereinfachung der Geometrie und Formatkonvertierungen mit ein. Sinnvoll ist es, die in diesem Zusammenhang durchgeführten Schritte als Teil des Prozesses zu speichern mit dem Ziel der Dokumentation und ggf. der automatischen Wiederholbarkeit. Heute im Einsatz befindliche Produktdaten-Verwaltungswerkzeuge sind in der Regel weder in der Lage, die sich aus dem Aufbereitungsprozess ergebenden Beziehungen abzubilden, noch, Informationen über den Prozess selbst ("Engineering Intent") zu speichern.

Einen weiteren wichtigen Aspekt stellt die Berücksichtigung des Status von CAD Daten dar. Diese bezieht sich nicht allein auf die Sicherstellung der Verwendung freigegebener Daten, sondern erlaubt weiterhin ein ggf. frühes Bereitstellen von noch nicht freigegebenen Daten. Dadurch kann schon früher im Entwicklungsprozess eine höhere Genauigkeit der Berechnungen erreicht werden, und die Beurteilung von Designalternativen wird erleichtert. Diese Daten bedürfen einer entsprechenden Markierung zur Gewährleistung späterer Updates. Dadurch ergibt sich zwar initial für den Konstrukteur ein höherer Aufwand, jedoch erhöht sich die Menge der zur Verfügung stehenden Referenzdaten signifikant, wodurch deutlich verlässlichere Berechnungsergebnisse ermöglicht werden. Dies hat wiederum positive Auswirkungen auf den Entwicklungsprozess.

#### 4.3.3 Verwaltung und Bereitstellung der Berechnungsergebnisse

Die primären Berechnungsergebnisse liegen in der Regel in nativen Formaten vor. Bei den Ergebnissen ist dabei zu unterscheiden zwischen dem detaillierten Output eines Berechnungssystems, das ein entsprechend tiefes

Spezialwissen zur Interpretation benötigt, sowie daraus abgeleiteter Reports, welche die Ergebnisse in übersichtlicher und gut interpretierbarer Form präsentieren.

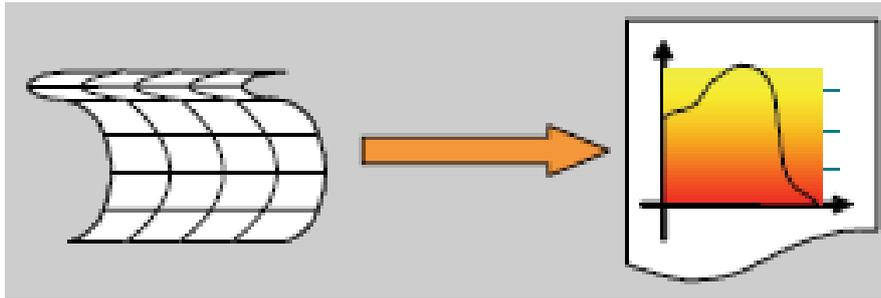


Abb. 11: Verwaltung und Bereitstellung der Berechnungsergebnisse

Mindestens diese Reports sollen am Ende eines Berechnungsschrittes an zentraler Stelle zur Verfügung stehen, so dass die Konstrukteure der berechneten Teile und andere Berechtigte darauf Zugriff haben. Auf diese Art wird der Kreislauf zwischen Konstruktion und Berechnung geschlossen, was letztendlich die Synchronisation zwischen Konstruktion und Berechnung überhaupt erst sinnvoll möglich macht.

Unabhängig vom System ist außerdem zu betrachten, in welcher Struktur die Ergebnisse abgelegt werden. Es soll auf jeden Fall möglich sein, von einem berechneten Teil aus auf die Berechnungsergebnisse zuzugreifen, in welchen das Teil berücksichtigt wurde. Daraus ergibt sich in der Regel eine n:m-Beziehung zwischen Ausgangsdaten und Ergebnissen, da ein Bauteil üblicher Weise in mehreren Berechnung verwendet wird, und umgekehrt verschiedene Simulationen für ein und dasselbe Teile gerechnet werden. Zudem sind Berechnungsmodelle oft aus Umfängen aufgebaut, für die es in der konstruktionsseitigen Produktstruktur keine entsprechenden Baugruppen gibt.

Daraus ergeben sich Anforderungen, nicht-triviale Beziehungen zwischen CAD und CAE (siehe 4.3.1), zu handhaben, und einen tool-unabhängigen, redundanzfreien Ansatz zum Simulationsdatenmanagement (siehe 4.2.1) umzusetzen. Dies ist eng verknüpft mit der Versorgung der Simulation und Berechnung mit Konstruktionsdaten einerseits (siehe 4.3.2) und nicht-geometrischen Informationen andererseits (siehe 4.2.2). Es zeigt sich als sinnvoll, diese drei Bereiche gemeinsam zu betrachten und eine einheitliche, im Idealfall integrierte, Lösung für die Handhabung von Ausgangsdaten und Ergebnissen anzustreben.

#### 4.4 Engineering-Daten über den Produkt-Lebenszyklus verwalten

##### 4.4.1 Dokumentieren von CAD Bezugsdatenständen für die Simulation

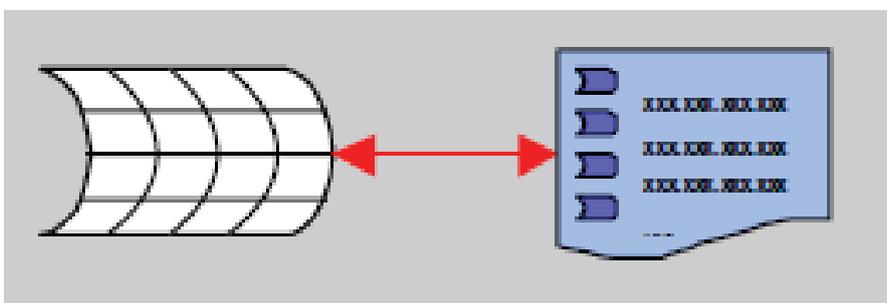


Abb. 12: Dokumentieren von CAD Bezugsdatenständen für die Simulation

Der CAE-Prozess läuft parallel zur frühen Konstruktion bis zur Fertigung. Da sich eine dieser Zeitraum über eine längere Zeitdauer erstreckt heißt das, dass sich während dieser Zeit die Ausgangsdaten beispielsweise auf der Konstruktionsseite verändern und neue Konstruktionsstände vorliegen.

Um später eine Aussage bezüglich der Gültigkeit der Berechnungsergebnisse für einen bestimmten Entwicklungsstand treffen zu können, ist es unerlässlich, den Datenbestand auf den jede einzelne Berechnung aufge-

der verwendeten Ausgangsdaten später eindeutig identifizieren zu können, und dient darüber hinaus als Basis für das Verfolgen von Änderungen.

Eine grundlegende Voraussetzung für die Akzeptanz eines solchen Bezugsstandes ist, dass seine Erzeugung für den Anwender keinen nennenswerten Mehraufwand bedeutet. Diese sollte daher soweit als möglich automatisiert werden, zum Beispiel in dem sich Bezugsdatenstände auf "Knopfdruck" aus einem erzeugenden System exportieren lassen. Sofern das System zur Basisbereitstellung auch weitere, steuernde Aufgaben übernimmt ließe sich die Dokumentation des Bezugsdatenstandes unter Umständen direkt in die entsprechenden Methoden integrieren.

#### 4.4.2 Änderungsdienst für die CAD Datenbasis

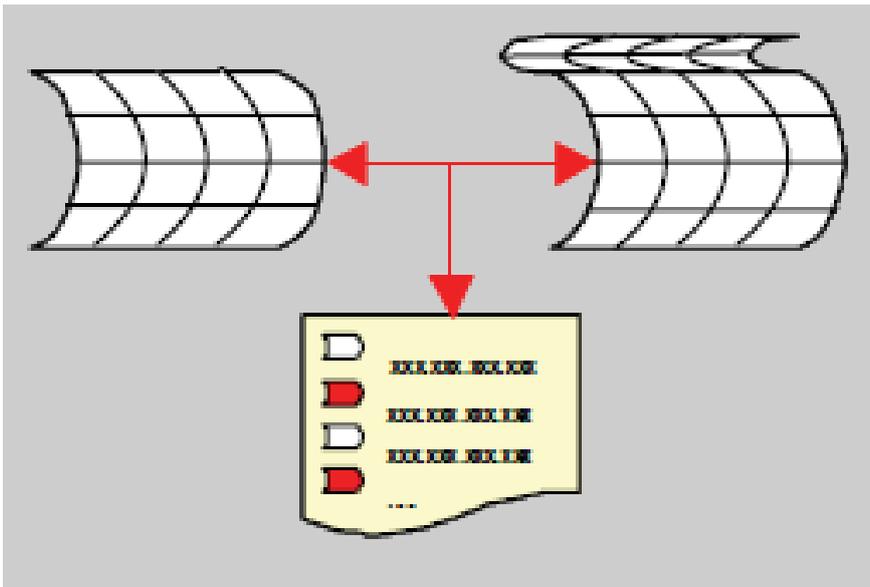


Abb. 13: Änderungsdienst für die CAD Datenbasis

Im Rahmen der Berechnung ergeben sich in der Regel Änderungen an den Ausgangsdaten, um während des CAE Prozesses identifizierte Optimierungen zu integrieren. Abstimmungen mit dem Konstrukteur der betroffenen Teile erfolgt heute meistens per Telefon oder Email. Für einen späteren Abgleich der CAE-seitigen Datenbasis mit dem dann aktuellen CAD-Datenbestand ist es daher erforderlich, die auf CAE-Seite durchgeführten Änderungen an den Modellen zu dokumentieren.

Ziel des Änderungsdienstes ist es, auf Grundlage des Bezugsstandes mitzuprotokollieren, welche Informationen durch den Berechnungsprozess verändert wurden, ohne dabei eine Aussage auf inhaltlicher Ebene zu treffen. Dies wird durch einen Deltaabgleich zwischen CAD- und CAE-Daten gewährleistet (siehe 4.4.3). Eine der grundlegenden zu klärenden Fragen ist dabei die Zuordnung zwischen Berechnungsmodell und den Basisdaten. Da sich Aufbau und Struktur der Informationen auf der Berechnungsseite zum Teil grundlegend von Aufbau und Struktur der Ausgangsdaten (z.B. der CAD-Baugruppenstruktur) unterscheiden, sind entsprechende Methoden erforderlich, mit deren Hilfe bei Änderungen auf der Berechnungsseite auf die betroffenen Ausgangsdaten geschlossen werden kann (siehe 4.3.1).

Ergebnis ist eine Liste der geänderten Daten – ähnlich der Dokumentation des Bezugsdatenstandes, und sich darauf beziehend – in der alle von Änderungen durch die Berechnung betroffen Daten referenziert sind. Die Erzeugung und Wartung des Änderungsstandes sollte – gleich dem Bezugsstand – so weit als möglich automatisiert ablaufen.

#### 4.4.3 Deltaabgleich zwischen Berechnungsergebnissen und Bezugsdaten

Die Synchronisation der Berechnungsergebnisse mit den Bezugsdaten liefert den notwendigen Feedback der Simulationsprozesse an die Konstruktionsseite und schließt die Iterations-Schleife zwischen Konstruktion und Berechnung. Ein Deltaabgleich wird in diesem Zusammenhang immer dann durchgeführt, wenn der Datenbestand auf der Berechnungsseite mit dem Bezugsdatenbestand abgeglichen werden muss. Ziel ist es, alle Daten zu identifizieren, die entweder durch den Modifikationsdienst als geändert markiert wurden, oder für die auf Konstruktionsseite neue Bearbeitungsstände vorliegen. Dies geschieht im ersten Schritt auf der Teile-Ebene

ohne eine inhaltliche Betrachtung der Änderungen woraus sich zunächst der Umfang des Delta-Abgleiches ergibt

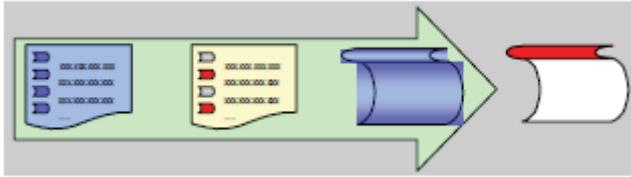


Abb. 14: Deltaabgleich zwischen Berechnungsergebnissen und Bezugsdaten

Um auch hier eine weitest mögliche Automatisierung zu erreichen, sollte der Deltaabgleich ebenfalls "auf Knopfdruck" durchführbar sein. Dazu sollte diese Funktionalität im gleichen System eingebettet sein, das auch den Bezugsdatenstand dokumentiert. Dieses sollte das gleiche System sein, das auch die Basisbereitstellung der Ausgangsdaten realisiert. Informationen über neue Bearbeitungsstände der CAD-Modelle sollten aus den entsprechenden datenhaltenden Systemen in der Konstruktion abgefragt werden.

Für den Ort des inhaltlichen Abgleichs des Bezugsstands aus der Konstruktion mit den Berechnungsergebnissen, gibt es zwei Möglichkeiten: die Berechnungswelt oder die Konstruktionsseite. Bei einer Durchführung in der Berechnungswelt müssten zunächst alle zu vergleichenden CAD-Modelle konvertiert werden, was insbesondere bei einer größeren Anzahl von Modellen einen entsprechenden Aufwand bedeutet. Es empfiehlt sich daher, den inhaltlichen Abgleich auf der Konstruktionsseite durchzuführen. Dazu ist nur eine Konvertierung nötig um die Informationen der Berechnungswelt auf der Konstruktionsseite verfügbar zu machen – da dies in der Regel im Rahmen der Rückmeldung der Simulationsergebnisse sowieso passiert, ist dieser Ansatz sehr effizient.

## 5 Referenzen

- [1] Grau, M.: "State of the Art Review in CAE Data Management", NAFEMS, 2007
- [2] ProSTEP iViP Association: "Integration of Simulation and Computation in a PDM Environment (PSI 4, V2.0)", ProSTEP iViP Association, 2008

# Steuerzeitenoptimierung von Axialkolbenpumpen durch CFD

Matthias Heinz (TECOSIM GmbH)

**Axialkolbenpumpen bieten viele Vorteile, wie beispielsweise hohe Leistungsdichten und einfache Regelbarkeit. Auf der anderen Seite neigen sie zu Kavitation, mit der Gefahr der Beschädigung – die zum Ausfall führen kann – und erhöhter Geräuschbildung durch Druckpulsationen. Die numerische Strömungssimulation (Computational Fluid Dynamics = CFD) bietet die Möglichkeit, die transienten Prozesse innerhalb dieser Pumpen zu verstehen und Optimierungsmöglichkeiten aufzuzeigen.**

**Im Folgenden wird ein Prozess beschrieben, mit dem das vollständige transiente Verhalten von Axialkolbenpumpen simuliert wird. Es wurde ein Prozess entwickelt, durch den es möglich ist, Steuerzeitenoptimierungen durchzuführen, die zu geringerer Kavitationsneigung und reduzierten Druckpulsationen führen.**

**Hiermit konnte aufgezeigt werden, dass mit CFD ein enormer Nutzen in der Entwicklung von hydrostatischen Komponenten, wie Pumpen, Motoren oder Getrieben, erzielt werden kann. Insbesondere bei Anwendungen, bei denen Kavitation und Geräusch zu minimieren sind, hat sich dieser Ansatz bewährt. Darüber hinaus bietet sich diese Vorgehensweise z.B. bei der Untersuchung von Schadensfällen an, bei denen Druckpulsationen die Ursache sind.**

## 1 Einleitung

Axialkolbenpumpen finden vielfältigen Einsatz in Land- und Baumaschinen, in Flugzeugen und im stationären Betrieb. Sie zeichnen sich durch eine hohe Leistungsdichte und einfache Regelbarkeit aus. Durch einen stetig wachsenden Anspruch an die Leistung in Bezug auf Druckerhöhung und Volumenstrom, verlagert sich das Einsatzgebiet von Kolbenpumpen immer mehr in den Grenzbereich. Dadurch wird die Notwendigkeit einer präzisen Auslegung immer entscheidender.

Durch hohe Druckdifferenzen wächst die Gefahr von erhöhten Geräuschemissionen durch Druckschwankungen (sogenannten „Pressure Ripple“) und die Neigung zu Kavitation im Niederdruckbereich. Um diesen Effekten entgegenzuwirken ist es notwendig, die lokalen Vorgänge innerhalb der Pumpe zu verstehen. Da Messungen durch die Kombination von hohen Drehzahlen und Drücken schwierig sind, bietet sich die Methode der numerischen Strömungssimulationen an, um Vorgänge in Kolbenpumpen abzubilden und so die transienten Druckverläufe zu ermitteln.

## 2 Funktionsweise

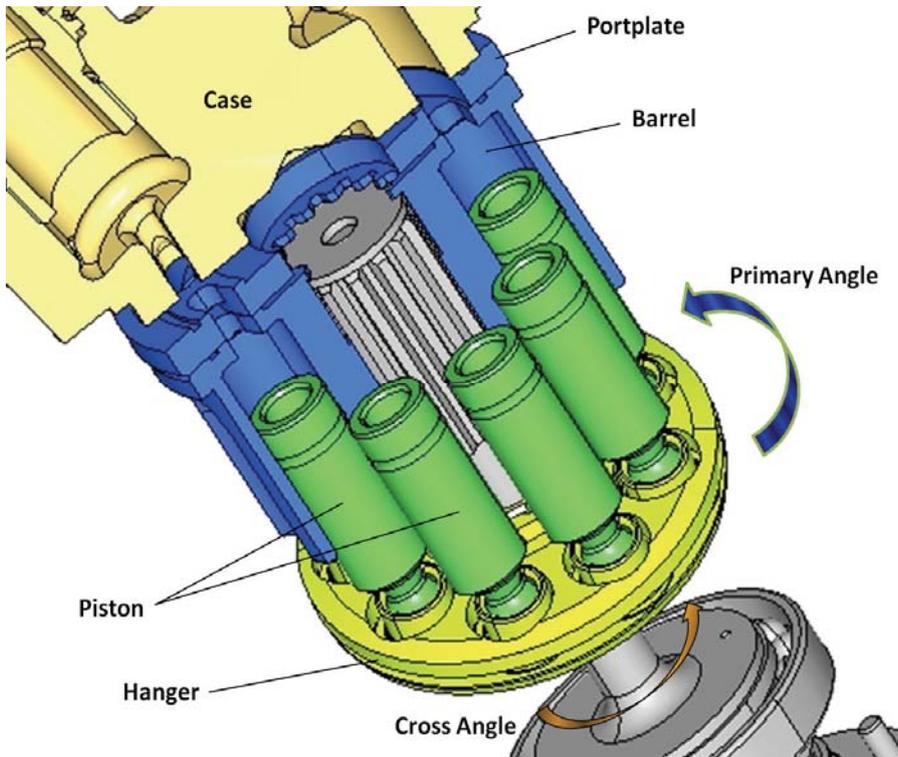


Abb. 1: Aufbau einer Axialkolbenpumpe

Eine Axialkolbenpumpe besteht aus einem Gehäuse mit Zu- und Abläufen, in dem ein Steuerspiegel angebracht ist, der u.a. die Funktion erfüllt, die Kompression und Dekompression zwischen Nieder- und Hochdruckseite zu regeln. An diesem Steuerspiegel stützt sich die Kolben-trommel ab, in dem eine bestimmte Anzahl (meistens neun) Kolben verschiebbar gelagert sind. Die dazugehörigen Kolben sind auf einer schwenkbaren Scheibe angebracht, die sich zusammen mit der Kolbentrommel dreht (Abb.1). Wird die Schwenkscheibe in eine schräge Position gebracht und das System in Drehung versetzt, so erfahren die Kolben eine sinusförmige Bewegung, durch die auf der Niederdruckseite durch die Steuerscheibe die Hydraulikflüssigkeit angesogen und auf der Hochdruckseite wieder ausgepresst wird. Durch die Schrägstellung der Scheibe wird der Hub der Kolben und damit der zu fördernde Volumenstrom geregelt

## 3 Simulationsprozess

### 3.1 Kolbenbewegung

Die Drücke auf der Hoch- und Niederdruckseite unterscheiden sich zum Teil um bis zu 300 bar. Deshalb ist es notwendig auch im lastfreien Betrieb die Hydraulikflüssigkeit im Übergang von der Hoch- zur Niederdruckseite zu dekomprimieren und umgekehrt. Dabei wird die Schwenkscheibe über den so-genannten „Cross Angle“ so angestellt, so dass immer ein Druckausgleich gewährleistet ist. Diesem Anstellwinkel ist der sogenannte „Primary Angle“ überlagert, der die Volumenstromförderung bestimmt (Abb. 2).

Es ist nun notwendig, die vollständige Bewegung der Kolben als eine Kombination der translatorischen Verschiebung, bestehend aus der Überlagerung zweier Sinusschwingungen und der rotatorischen Bewegung, vorgegeben durch die Drehzahl, zu beschreiben. In der Simulation wurde die rotatorische Bewegung der Kolben durch einen „Sliding-Mesh“-Ansatz und die translatorischen Bewegungen durch eine „Rigid-Body-Motion“ realisiert. Durch die Superposition beider Bewegungen lassen sich damit die Kolbenbewegungen vollständig beschreiben (Abb. 3).

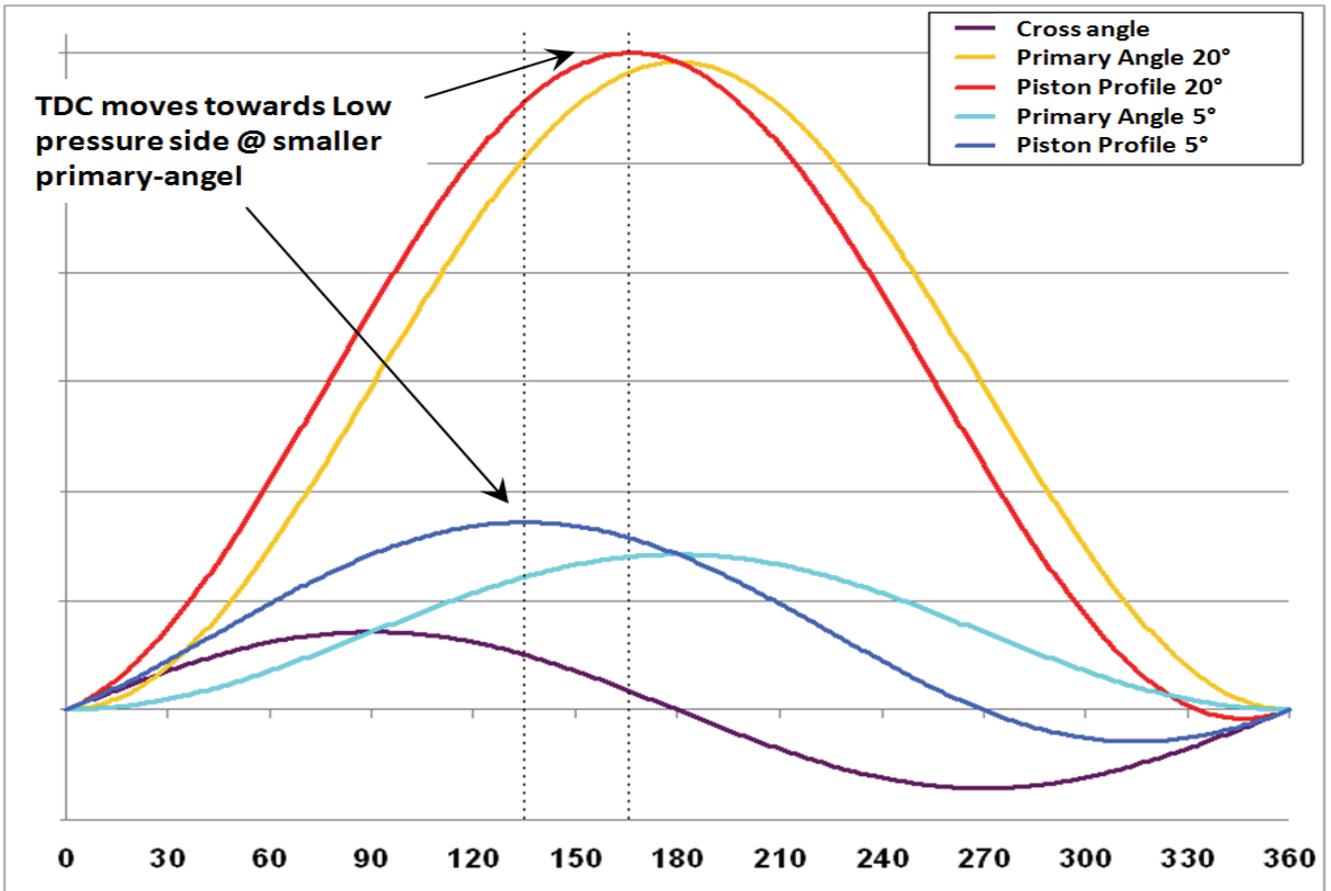


Abb. 2: Kolbenprofile durch Primary und Cross Angle

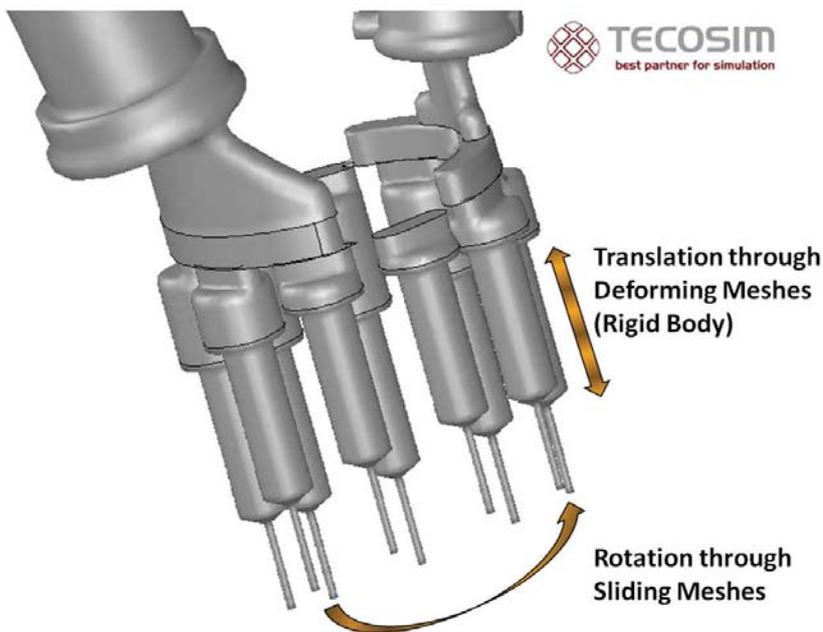


Abb. 3: Berechnungsgitter mit Bewegungsdefinition

### 3.2 Fluideigenschaften

Oft wird davon ausgegangen, dass es sich bei Flüssigkeiten um inkompressible Medien handelt, d.h., die Kompressibilität ist vernachlässigbar gering. Bei derartig großen Druckdifferenzen, wie sie in der Kolbenpumpe auftreten, ist diese Vereinfachung nicht mehr vertretbar. Insbesondere in den Kompressions- und Dekompressionsphasen ist ein Flüssigkeitsvolumen in einer Kammer eingeschlossen und erfährt eine Druck- durch eine Volumenänderung. Um diesen Effekt abzubilden, ist eine genaue Beschreibung der Dichte als Funktion des Druckes unerlässlich. Die variable Dichte ist, wie die variable Schallgeschwindigkeit, des Fluids über eine „User-Defined-Function“ realisiert (Abb. 4).

$$K = K_{ref} + C \cdot dp$$

$$\rho = \rho_{ref} \cdot \left(1 - \frac{dp}{K}\right)^{-1}$$

$$a = \left(1 - \frac{dp}{K}\right) \cdot \sqrt{\frac{K}{\rho_{ref}}}$$

```

0 1.0 2.0
1 Density and speed of sound
2 For use with pressure-based
3 or cavitation models only.
4 Note that for density func
5 absolute pressure and refe
6 *****
7 #include "udf.h"
8
9
10 #define BMODULUS 1.2842e9
11 #define rho_ref 816.0
12 #define p_ref 101325
13
14 DEFINE_PROPERTY(superfluid
15 {
16     real rho;
17     real p, dp;
18     real p_operating;
19     real bmod;
20
21     p_operating = RP_Get_I
22
23     p = C_P(c,t) + p_oper
24     dp = p-p_ref;
25     bmod=BMODULUS + 40.0

```

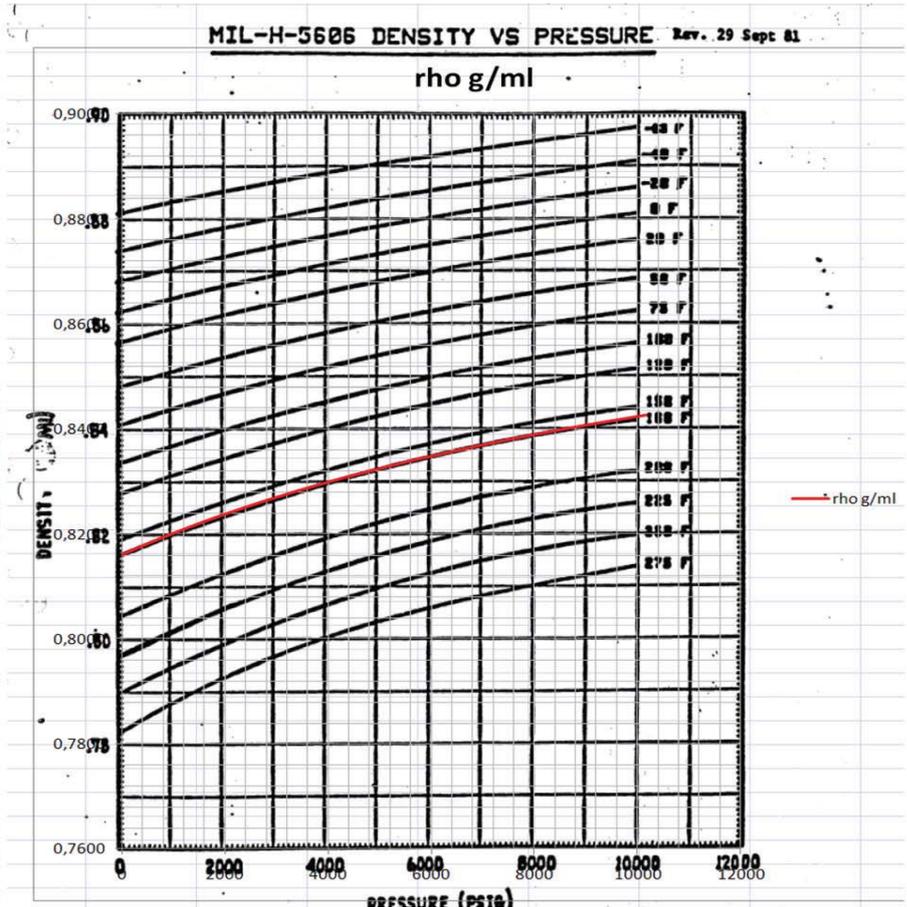


Abb. 4: Dichte als Funktion des Druckes

### 3.3 Kavitation

In Bereichen niedrigen Druckes kann es zu Kavitationseffekten kommen, d.h. lokal wird der Dampfdruck des in der Flüssigkeit gelösten Gases unterschritten und letzteres gas aus der Lösung aus. Zum einen reduziert dieses Gas die mögliche Ölfördermenge, zum anderen werden bei der Implosion der Gasblasen große Kräfte frei, die zu einer Schädigung des Materials und damit eines Versagens der Pumpe führen können. Andererseits wirkt das frei werdende Gas dämpfend auf die Druckpulsationen. Deshalb ist es nicht nur notwendig, die Kavitation mit zu berücksichtigen, um Aussagen über eine eventuelle Gefährdung der Pumpe zu erhalten, sondern auch um eine realitätsnahe Abbildung der transienten Druckverteilungen zu ermöglichen.

In diesen Untersuchungen wurde das standardmäßig im Löser implementierte Kavitationsmodell eingesetzt, wobei alle Parameter, mit Ausnahme des Dampfdruckes, der genau angegeben werden konnte, aus den Voreinstellungen übernommen wurden (Abb. 5). Es wäre möglich, die Parameter über eine Validierung mit Messergebnissen anzupassen. Da jedoch eine qualitative Aussage über die Kavitationsbildung im Vordergrund stand, um über Variantenvergleiche die Steuerspiegelkonfiguration zu optimieren, wurde auf eine Validierung des Kavitationsmodells verzichtet.

## 4 Simulationsergebnisse

### 4.1 Initialkonfiguration

Zu Beginn wurden verschiedene Einflussparameter untersucht, um eine möglichst effiziente Durchführung der Simulationen zu gewährleisten und eine maximale Genauigkeit und Aussagefähigkeit bei minimalem Berechnungsaufwand zu erreichen. Zu variierende Parameter waren unter anderem die zeitliche Auflösung der Kolbenprofile, die Zeitschrittweite und die notwendige Anzahl von Zeitschritten / Umdrehungen bis zum eingeschwungenen Zustand. Ziel dieser Voruntersuchungen war, eine Konfiguration zu erhalten, die spätestens über Nacht für einen Berechnungslauf belastbare Ergebnisse erzielt.

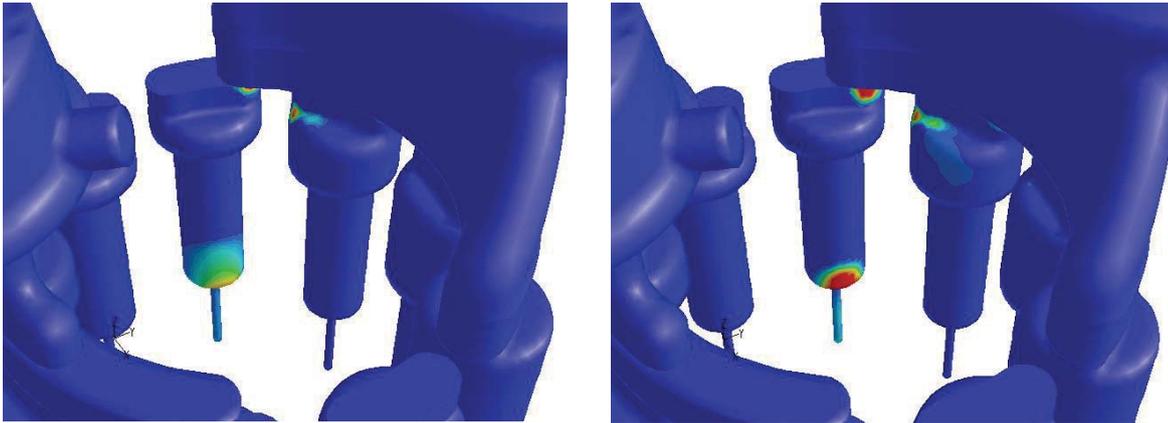


Abb. 5: Kavitation in der Kolbenpumpe

Als Ergebnisse liegen die transienten Verläufe der Geschwindigkeiten, Drücke und Gasverteilungen - an jedem Punkt und zu jedem Zeitpunkt - innerhalb der Pumpe vor. Eine Aufgabe besteht nun darin, diese Ergebnisse zu interpretieren und auf Optimierungspotenzial zu untersuchen. Durch den dämpfenden Effekt der Kavitation ist die Interpretation verschiedener Steuerzeiten auf die Kavitationsneigung über die ausgasende Menge eher schwierig. Es hat sich gezeigt, dass Berechnungen ohne Modellierung der Kavitation eher für eine Optimierung geeignet sind (Abb. 6). Hierdurch stellen sich zwar unphysikalisch tiefe Drücke ein, diese sind jedoch sehr gut geeignet, Kavitationsbildungsneigung präzise aufzuzeigen. Je tiefer die minimalen Drücke sind, desto höher ist die Gefahr von Kavitation.

#### Full Stroke: Two Different Opening Times

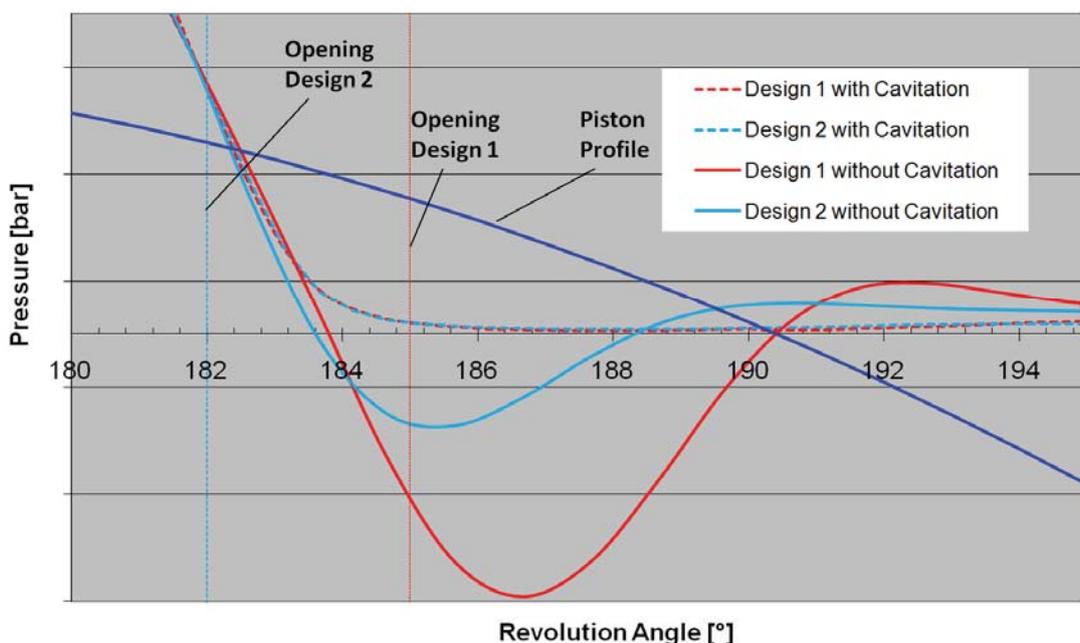


Abb. 6: Vergleich der Ergebnisse mit und ohne Kavitation für zwei verschiedene Designs

Insbesondere die zeitlichen Druckänderungen innerhalb der Kolbenkammern trugen zum Verständnis der Vorgänge in der Pumpe bei. Die Berechnungen der initialen Konfiguration mit Kavitation zeigten zwar in der Dekompressionsphase und dem Übergang zum Niederdruckbereich zunächst einen unauffälligen Verlauf. Die genauere Betrachtung ergab jedoch, dass bereits vor Öffnung zum Niederdruckbereich ein sehr tiefes Druckniveau erreicht wurde. Die Vermutung, dass durch eine Überdekompression die Kavitationsbildung innerhalb der Kolbenkammer bereits vor Öffnung erzeugt wurde, konnte durch Berechnungen ohne Kavitationsmodell bestätigt werden.

## 4.2 Optimierung

Durch die Überdekompression innerhalb der Kolbenkammer lag es nahe, die Steuerzeiten so zu verändern, dass eine frühere Öffnung im Niederdruckbereich realisiert wurde. Hierzu war die Steuerplattenniere auf der Niederdruckseite zu vergrößern. Eine zu späte Öffnung verursacht eine Überdekompression. Eine zu frühe Öffnung lässt Öl mit zu hohem Druck auf der Niederdruckseite entweichen. Hohe Geschwindigkeiten, unterstützt durch Trägheitseffekte, lassen lokal tiefe Drücke entstehen, die eine Kavitationsbildung begünstigen. Die Aufgabe bestand nun darin, die Änderung der Steuerplatte so auszuführen, dass ein optimales Ergebnis erreicht wird. Um den Aufwand so gering wie möglich zu halten, wurde darauf verzichtet, im CAD-Tool die Geometrie zu verändern und ein neues Berechnungsgitter für jede Variante zu erzeugen. Vielmehr wurde die Funktionalität des „Deforming-Mesh“ zur Optimierung genutzt. Hierbei wurde eine vordefinierte Drehung der Pumpe gerechnet, dann die Öffnungsniere der Niederdruckseite um einen festen Betrag (ein Grad Drehwinkel) vergrößert, ein weiterer Zyklus gerechnet, wieder vergrößert usw. Durch diese Vorgehensweise war es möglich – automatisch über Nacht – mehrere Varianten zu berechnen und die optimale Konfiguration zu bestimmen (Abb. 7).

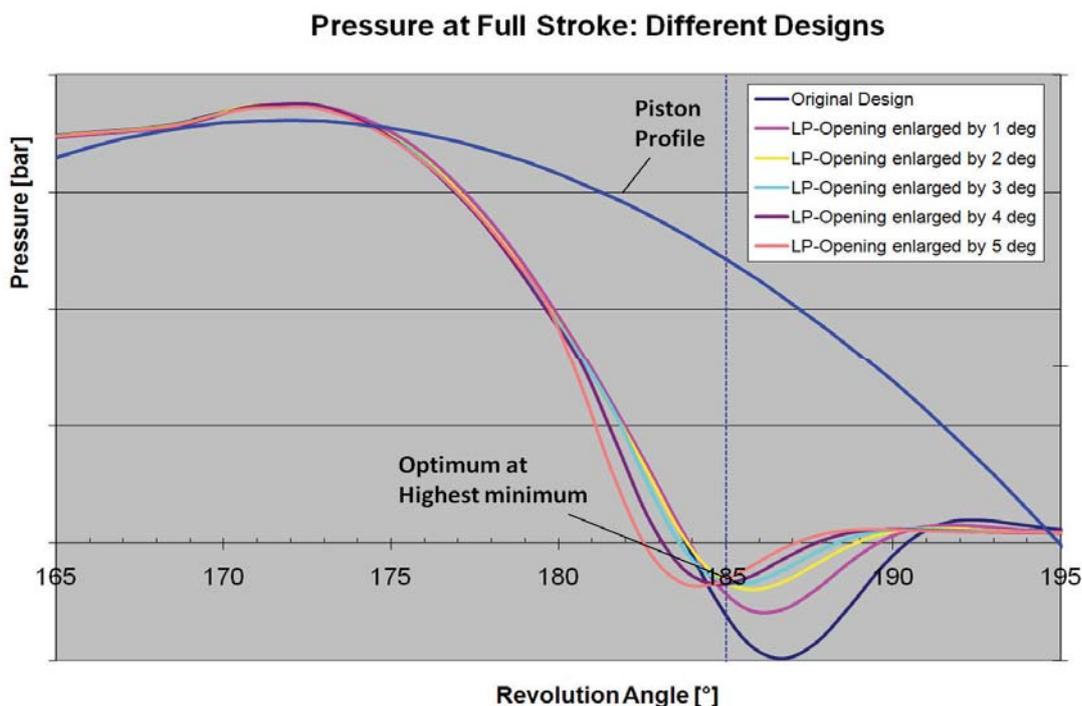


Abb. 7: Ermittlung des „Best Design“ durch Optimierung

## 5 Fazit

Die numerische Simulation ist hervorragend geeignet, Vorgänge in Axialkolbenpumpen abzubilden und Verständnis hierfür zu entwickeln. Auf relativ einfachem Wege sind so gezielte Optimierungen z.B. der Steuerzeitenkonfigurationen möglich. Eine Vielzahl von verschiedenen Varianten können in kurzer Zeit durchgeführt werden.

Hierzu ist es jedoch notwendig, die Vorgänge in der Pumpe sehr genau abzubilden. Die Kolbenbewegungen sind exakt darzustellen, die Kompressibilität des Mediums ist mit zu berücksichtigen und besondere Aufmerksamkeit in Bezug auf numerische Parameter, wie der Zeitschrittweite, ist geboten.

## 6 Ausblick

Es wurden Grundlagen geschaffen, um Axialkolbenpumpen zu simulieren und in Bezug auf Kavitation die Steuerzeiten zu optimieren. Hierdurch ergeben sich bereits sehr gute Möglichkeiten, das Verständnis für die Vorgänge innerhalb der Pumpe zu erhöhen und die Leistungsfähigkeit zu verbessern. Diese Anwendung bietet jedoch noch bedeutend mehr Potenzial. So ist es möglich, dass das Versagen von Pumpen auf transiente Belastungen der Bauteile aufgrund der Druckpulsationen zurückzuführen ist. Um solche Hypothesen zu untersuchen, ist eine transiente Kopplung von Strömungssimulationen mit strukturmechanischen Untersuchungen notwendig.

Weitere Effekte sollten mit berücksichtigt werden, um eine noch genauere Abbildung der Vorgänge innerhalb der Pumpe zu erreichen. So ist nicht immer von einer zwangsgeführten Bewegung der Kolben auszugehen. Die Kolben haben die Möglichkeit, sich relativ zur Schrägscheibe auf der sie befestigt sind, zu bewegen. Auch wenn sich diese Bewegungen nur im zehntel Millimeterbereich abspielen, haben sie doch einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Druckpulsationen und dementsprechend auch auf die Kavitation.

Um diese Effekte zu berücksichtigen, ist es möglich, die Bewegung nicht als Profil vorzugeben, sondern mittels eindimensionaler Ansätze zu berechnen und gekoppelt mit der 3D-Berechnung die Genauigkeit der Simulationen zu erhöhen. Um Druckpulsationen im System, die durch die Pumpe verursacht werden und zu akustischen Schwingungen führen, genügend genau abzubilden, ist es notwendig, die Berechnung nicht nur auf die Pumpe zu beschränken, sondern einen Teil des Systems mit Anschlussleitungen bis zu definierten Unstetigkeiten zu berücksichtigen.

Es erschließt sich ein weites Feld von Anwendungen in hydrostatischen Bauteilen, Komponenten und Systemen, die durch numerische Simulationen erschlossen werden können. Hier sind bereits große Fortschritte zu verzeichnen. In der nahen Zukunft wird dabei sicherlich ein entscheidender Beitrag zum Verständnis von dynamischen Effekten in hydrostatischen Bauteilen geleistet und so der Optimierung Wege aufgezeigt.

## CFD-gestützte Regelung des Zementprozesses

Matthias Schumacher, Martin Weng (aixprocess PartG)

Uwe Küssel, Dirk Abel (RWTH Aachen, Institut für Regelungstechnik)

Zement wird aus natürlichen Rohmaterialien hergestellt, die zu Pulver gemahlen zunächst in einer Drehofen-Anlage zu Klinker gebrannt und anschließend mit weiteren Zusatzstoffen zu Zementen vermahlen werden (siehe Abb. 1). Die hauptsächlich Kalziumoxid ( $\text{CaO}$ ), Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) und in geringen Mengen Oxide des Aluminiums und des Eisens enthaltenen Rohmaterialien werden größtenteils in Steinbrüchen gewonnenen. Insbesondere Kalkstein mit hohem Kalziumcarbonatgehalt ( $\text{CaCO}_3$ ) liefert die benötigten chemischen Verbindungen.

Ein typisches Schema des Zementprozesses, in dem Gas und Feststoff im Gegenstrom geführt werden, ist in Abb. 1 dargestellt. Das Kalziumcarbonat-haltige Rohmehl (Brenngut) wird in einer Ofenanlage zu Zementklinker gebrannt (Abbildung 2). Nach seiner Erwärmung in einem Vorwärmer, der aus einem Satz von Wärmetauscher-Zyklonen besteht, erfolgt die so genannte Entsäuerung, bei der das  $\text{CO}_2$  aus dem Kalziumcarbonat  $\text{CaCO}_3$  ausgetrieben und dieses in Kalziumoxid  $\text{CaO}$  umgewandelt wird. Dieser Kalzination genannte Vorgang kann je nach maschineller Ausrüstung einer Anlage im Wärmetauscher und vorderen Teil des Drehofens erfolgen (verteilte Kalzination) oder konzentriert in einem eigenen Reaktor (konzentrierte Kalzination).

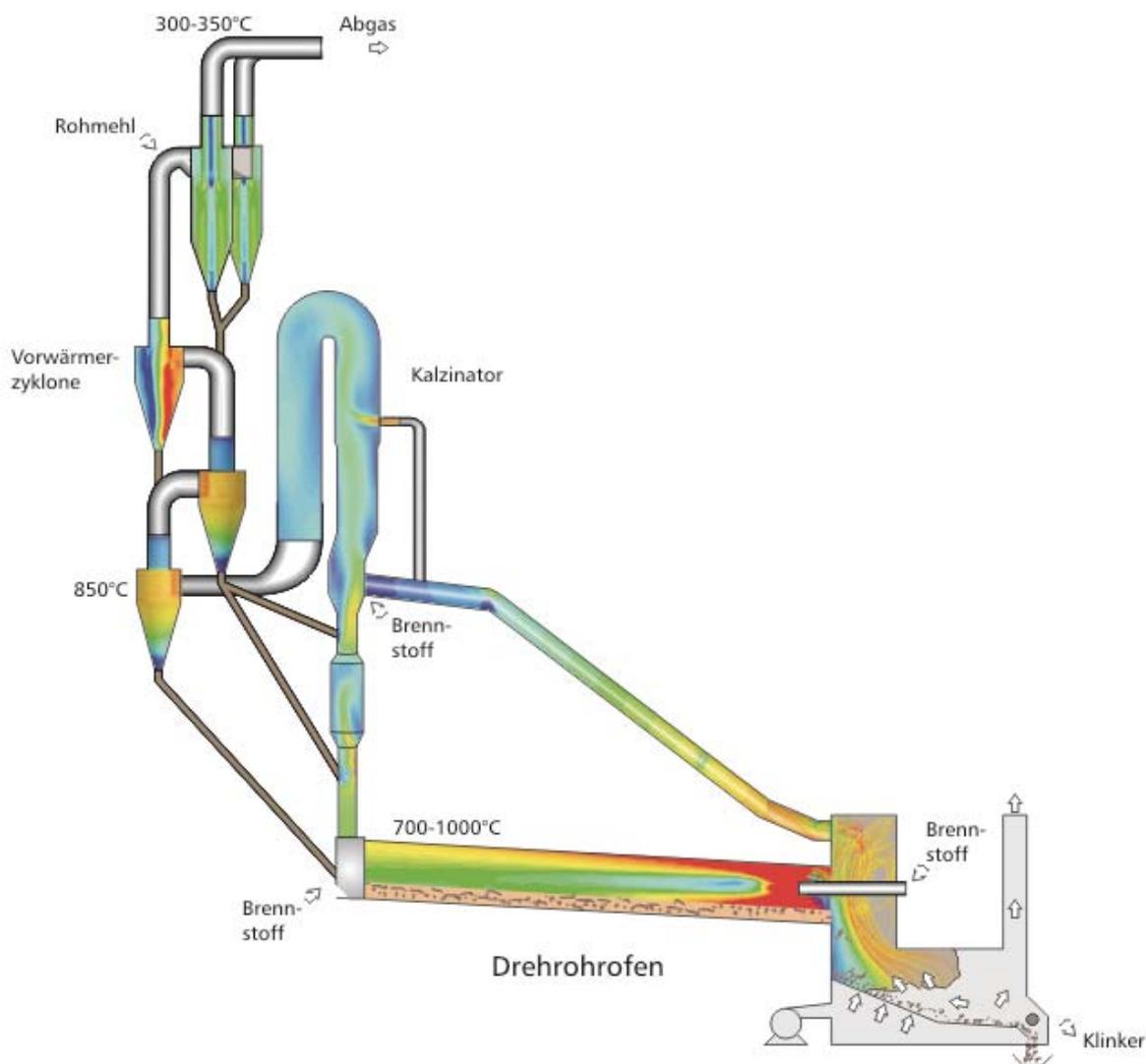


Abb. 1: Prozessschema der Zementproduktion

Anschließend wird das Brenngut im Drehofen bei einer Materialtemperatur von etwa 1450 °C und einer Flammentemperatur von ca. 2200 °C bis zum Sintern erhitzt, wobei es unter den genannten Bedingungen eine definierte Zeit verweilen muss. Aus den Ausgangsstoffen bilden sich dabei Verbindungen, die so genannten Klinkerphasen. Diese Kalziumsilikate und Kalziumaluminat geben dem Zement seine charakteristischen Eigenschaften bei der hydraulischen Erhärtung. Nebenbestandteil des Zementklinkers ist das freie CaO (ungebundenes CaO, auch Freikalk genannt). Zur Realisierung der erforderlichen Verweilzeiten erreichen die Drehrohre typischerweise eine Länge von 60-100 m bei einem inneren Durchmesser von etwa 5 m.

Die Klinkerphasen und der Freikalk-Gehalt kennzeichnen die Produktqualität des Zementklinkers. Sie bilden sich innerhalb eines Korridors auf dem vorgenannten Temperatur-Niveau. Dies macht die Zementherstellung neben der aluminiumerzeugenden Industrie zu den energieintensivsten Produktionsprozessen. Insbesondere Schwankungen in der Brennguttemperatur führen zu Qualitätsschwankungen in der Klinkerzusammensetzung und somit in der Produktqualität.

Zur Erzeugung der hohen Prozesstemperaturen wurden in der Vergangenheit in erster Linie fossile Brennstoffe eingesetzt. Zur Erzeugung einer Tonne Klinker werden ca. 0,17 Tonnen Braunkohlenstaub benötigt. Bei einer jährlichen Gesamtproduktion von knapp 30 Mio. Tonnen Zementklinker in der Bundesrepublik Deutschland entspricht das einem Verbrauch von ca. 5 Mio. Tonnen Braunkohlenstaub und einer aus der Verbrennung herrührenden Kohlendioxidemission von rund 10 Mio. Tonnen im Jahr.

Aus ökologischen und ökonomischen Gründen werden heutzutage in der Zementindustrie in verstärktem Maße Sekundärbrennstoffe (nicht stofflich verwertbare Kunststoff-, Papier- und Textilfraktionen, Altreifen, Tiermehl, etc.) eingesetzt. Das schont natürliche Ressourcen, senkt die stark gestiegenen Brennstoffkosten und reduziert den CO<sub>2</sub>-Ausstoß. In Verbindung mit dem Einsatz von Sekundärbrennstoffen gestaltet sich die Prozessführung erheblich komplexer, da die Ersatzbrennstoffe im Gegensatz zu natürlichen Energieträgern wesentlich höhere Schwankungen, u. a. im Heizwert und den Nebenkomponenten wie Na, K und Cl, und ein stark unterschiedliches Ausbrandverhalten aufweisen. So beträgt beispielsweise die Standardabweichung des Heizwertes von Regelbrennstoffen ca. 50 kcal/kg und die von Sekundärbrennstoffen ca. 2000 kcal/kg. Die Eigenschaften der Sekundärbrennstoffe verschärfen die unerwünschten Einflüsse auf die Klinkerqualität, führen zu Veränderungen des Temperaturprofils, Senkung der Flammentemperatur, veränderter Wärmefreisetzung und damit instabilem Verlauf des Klinkerbrennprozesses, was die Nutzung einer Anlage an den auslegungsgemäß zulässigen Prozessgrenzen praktisch unmöglich macht.

Die messtechnische Erfassung von internen thermodynamischen Zustandsgrößen ist im Zementprozess aufgrund der hohen Prozesstemperaturen und der hohen Staubbelastung nur sehr begrenzt möglich. Derzeit wird u.a. aus der Brenntemperatur auf die entstehende Produktqualität geschlossen, deren Analyse messtechnisch bedingt erst sehr spät und diskontinuierlich vorliegt (ca. 30 min Verweilzeit des Feststoffs im Ofen plus Dauer der Laboranalyse). Das fehlen geeigneter zuverlässiger Messgrößen führt dazu, dass eine Automatisierung des Zementprozess nicht möglich ist und dieses Verfahren überwiegend manuell geregelt werden muss.

Das Problem der fehlenden Messwerte kann durch den gezielten Einsatz von Strömungs-Simulationen (CFD) umgangen werden. Durch die Kombination von hochaufgelöster Strömungsberechnung mit physikalischen und chemischen Modellen kann das CFD-Modell interne Zustandsgrößen aus dem komplexen Prozess auf Basis der gemessenen Randwerte vorausberechnen und die nicht vorhandenen Daten bereitstellen. Dies bildet die Basis für einen modellprädiktiven Regler (MPR).

In der Praxis vergleicht ein Beobachter regelmäßig die wenigen vorhandenen Messwerte mit dem parallel unter den gleichen Randbedingungen laufenden Modell. Im Falle einer Abweichung zwischen Modell und Messwert werden unsichere Eingangsgrößen (wie z.B. der Heizwert des Sekundärbrennstoffs) so lange angepasst bis die Vergleichsgrößen übereinstimmen. In diesem Zustand werden dann die für eine Regelung notwendigen Zustandsgrößen aus dem Modell ausgelesen und an den Regler übergeben, um den Regelkreis zu schließen (s. Abb. 2).

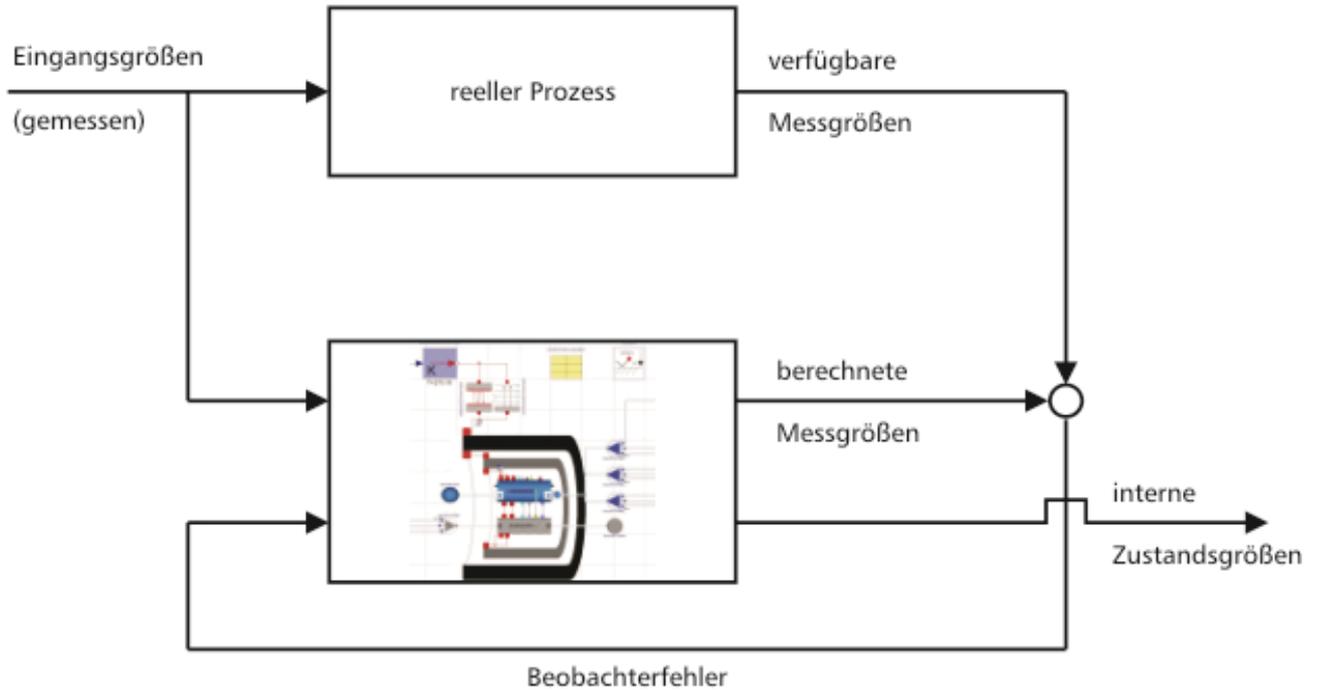


Abb. 2: Prinzip des modellbasierten Beobachters

Die Komplexität und die hohe örtliche Auflösung der CFD-Modelle führen zu langen Rechenzeiten, so dass diese Modelle nicht in ein Regelsystem eingebunden werden können. Daher ist es notwendig, das 3D-CFD-Modell auf ein echtzeitfähiges, vereinfachtes Modell des Prozesses zu reduzieren, das in den MPR eingebunden werden kann. Durch Anpassung bestimmter Parameter des reduzierten Modells an die CFD-Daten werden Prozessspezifika der betrachteten Anlage berücksichtigt.



Abb. 3: Methodik zur Entwicklung des modellbasierten Reglers

Obwohl das Konzept des MPR in der chemischen Industrie dem Stand der Technik entspricht, wurden derartige Regelkonzepte bisher nur sehr selten für hochkomplexe Prozesse wie den Zementprozess eingesetzt. Aus diesem Grund ist der erste wesentliche Schritte der MPR-Entwicklung, die Reduzierbarkeit des CFD-Modells auf ein deutlich einfacheres und damit auch sehr viel schnelleres Modell bei ausreichender Genauigkeit der Ergebnisse nachzuweisen. In diesem Beitrag wird zunächst die Entwicklung eines detaillierten CFD-Modells für den Gegenstromprozess im Drehrohrofen erläutert. Anschließend wird die Methodik der Modellreduktion erläutert. Durch einen Vergleich der CFD-Ergebnisse mit den Daten aus dem reduzierten Modell wird die Anwendbarkeit des reduzierten Modells für ein Automatisierungskonzept demonstriert.

## 1 CFD-Modellierung

Numerische Strömungssimulation ist ein anerkanntes Werkzeug zur Beschreibung der homogenen und heterogenen Verbrennungsprozesse in einem Drehrohrofen [1-3], wobei letztere auf die Verbrennung von Kohle limitiert sind. In kommerziell erhältlichen CFD-Paketen ist weder die Modellierung des Festbetts noch die theoretische Beschreibung der chemischen Reaktionen implementiert. Zusätzlich ist die Verbrennung von Sekundärbrennstoffen (SBS) wie häuslicher oder gewerbliche Abfallstoffe oder Tiermehl nicht durchgehend modelltechnisch erfasst. In der vorliegenden Arbeit wurde daher der CFD-Code ANSYS Fluent um Modelle zur Beschreibung der SBS-Verbrennung und der Dynamik des partikulären Betts unter Berücksichtigung der Kopplung mit der Gasphase erweitert. Am Rahmen des vorliegenden Beitrags soll kein detaillierter Einblick in die Modelle

gegeben werden, sondern die generelle Methodik und die Anbindung der Modelle an die CFD-Simulationen erläutert werden.

### 1.1 Geometrie

Aufgrund der Drehbewegung des Rohres ordnet sich das Bett seitlich im Drehrohr an. (Abb. 4). Lokale Betthöhe  $h_L$  die Position  $\beta$  und mittlere Verweilzeit der Feststoffpartikel im Drehrohr werden durch den inneren Durchmesser und die Drehzahl  $n$  des Rohres sowie den Feststoffmassenstrom und die axiale Steigung des Ofens bestimmt [4]. Das bedeutet, dass ein Teil der kreisrunden Querschnittsfläche des Ofens dauerhaft durch das im Gegenstrom laufende Festbett belegt ist.

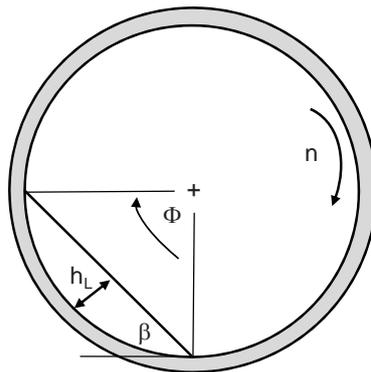


Abb. 4: Lage des Klinkerbetts im Drehrohrofens

Deshalb bietet es sich an, das gesamte Berechnungsgebiet in zwei Unterbereiche zu unterteilen; den Gasraum und das Klinkerbett, das am Boden des Drehrohres liegt. Das 3-dimensionale Berechnungsgebiet des Gasraums im Drehrohr wird mittels eines langen Rohres abgebildet, das durch die Ausmauerung an Ofenaußenwand und durch die Oberfläche des asymmetrisch angeordneten Klinkerbetts begrenzt wird. Auf einer Seite des Rohres ragt der Feststoffbrenner in den Ofen hinein (Abb. 5).

Die Erhaltungsgleichungen für Gasraum und Klinkerbett werden gleichzeitig gelöst, wobei der Austausch von Masse, Stoffart und Energie über die Bettoberfläche zugelassen wird.

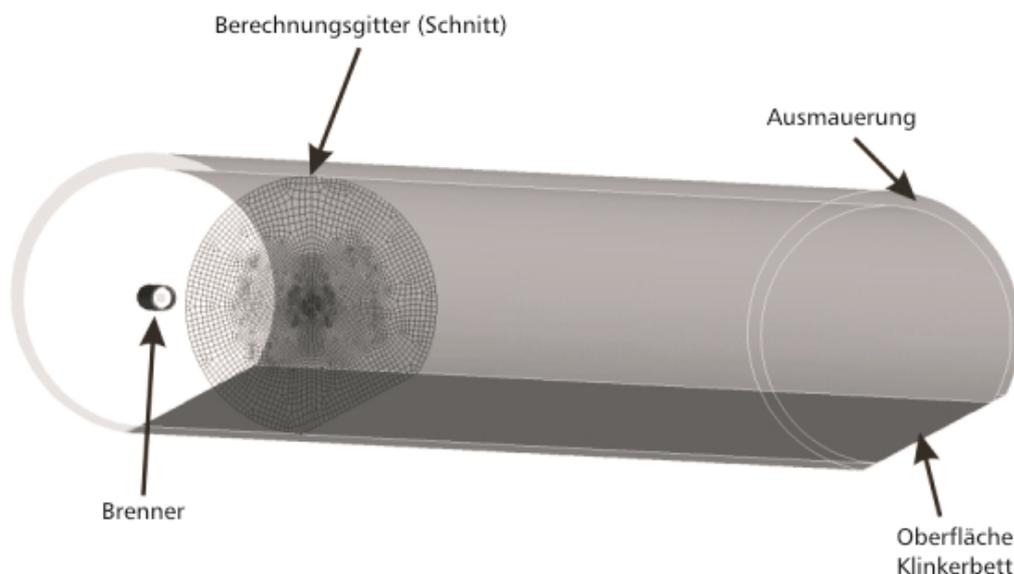


Abb. 5: Berechnungsgebiet des Gasraums im Drehrohr

## 1.2 Modelle der Gasphase

Die stationären Erhaltungsgleichungen der Gasphase werden unter Berücksichtigung eines 2-Gleichungs-Turbulenzmodells (realizable  $k$ - $\epsilon$ -Modell) gelöst. Der Transport der drei Hauptkomponenten  $O_2$ ,  $CO_2$  und  $H_2O$  sowie der Minoritätskomponenten  $CO$ ,  $SO_2$  und der Flüchtigen der partikulären Brennstoffe wird ebenfalls explizit berechnet, während sich die inerte Komponente ( $N_2$ ) aus einer Summenbetrachtung ergibt. Bei der Berechnung der Energiebilanz werden die Phänomene Leitung, Konvektion und Strahlung (P-1-Modell) berücksichtigt, wobei die Strahlung die dominierende Rolle in Drehrohröfen spielt. Die Wärmestrahlungs-Absorption der Gasphase wird hauptsächlich durch die Verbrennungsprodukte ( $CO_2$  und  $H_2O$ ) beeinflusst. Daher kommt zur Berechnung des lokalen Absorptionskoeffizienten das „wsggm-cell-based-model“ zur Anwendung. Eine signifikante Wärmemenge wird über die Außenwände an die Umgebung abgegeben. Dieses wird durch Wärmeleitung in der Ausmauerung und durch den konvektiven bzw. den strahlungsgetriebenen Wärmestrom auf der Auenseite des Drehrohrofens berücksichtigt.

## 1.3 Verbrennungsmodell

Das Prinzip des Abbrandes der Sekundärbrennstoffe ist analog der Kohleverbrennung dreistufig mit den Phasen Aufheizung, Pyrolyse und Koksabbrand (s.

Abb. 6). Der Austrieb der Flüchtigen aus dem Feststoff (Pyrolyse) wird über entsprechende kinetische Modelle realisiert.

Im Unterschied zur Kohleverbrennung sind bei den genannten Brennstoffen mehrere (bis zu 4) nicht immer spezifizierte Pyrolysegase mit eigener Kinetik identifiziert worden, deren Pyrolyse parallel abläuft. Die Kinetik der Ausgasung ist in den implementierten Modellen hinterlegt [5-9]. Die Anteile der verschiedenen Gase im Brennstoff können dem betrachteten Brennstoff entsprechend angepasst werden.

Typischerweise sind SBS heterogen in Bezug auf die Morphologie der Partikel. Dazu weichen SBS-Partikel häufig deutlich von der Kugelform ab (Fluff, Reifenschnitzel). Die Größe nicht-kugelförmiger Partikel wird über die Ausdehnung der Partikel in allen drei Richtungen in einen äquivalenten Partikeldurchmesser umgerechnet. Die Korngrößenverteilung wird durch Aufgabe separater Partikelklassen mit jeweils konstantem Durchmesser abgebildet. Die Abweichung von der idealen Kugelform (wichtig für Fluff oder Altreifen) wird über einen angepassten Widerstandsbeiwert berücksichtigt, der von der jeweiligen Form der Partikelklasse abhängig ist und daher für jede Partikelklasse separat berechnet wird [10].

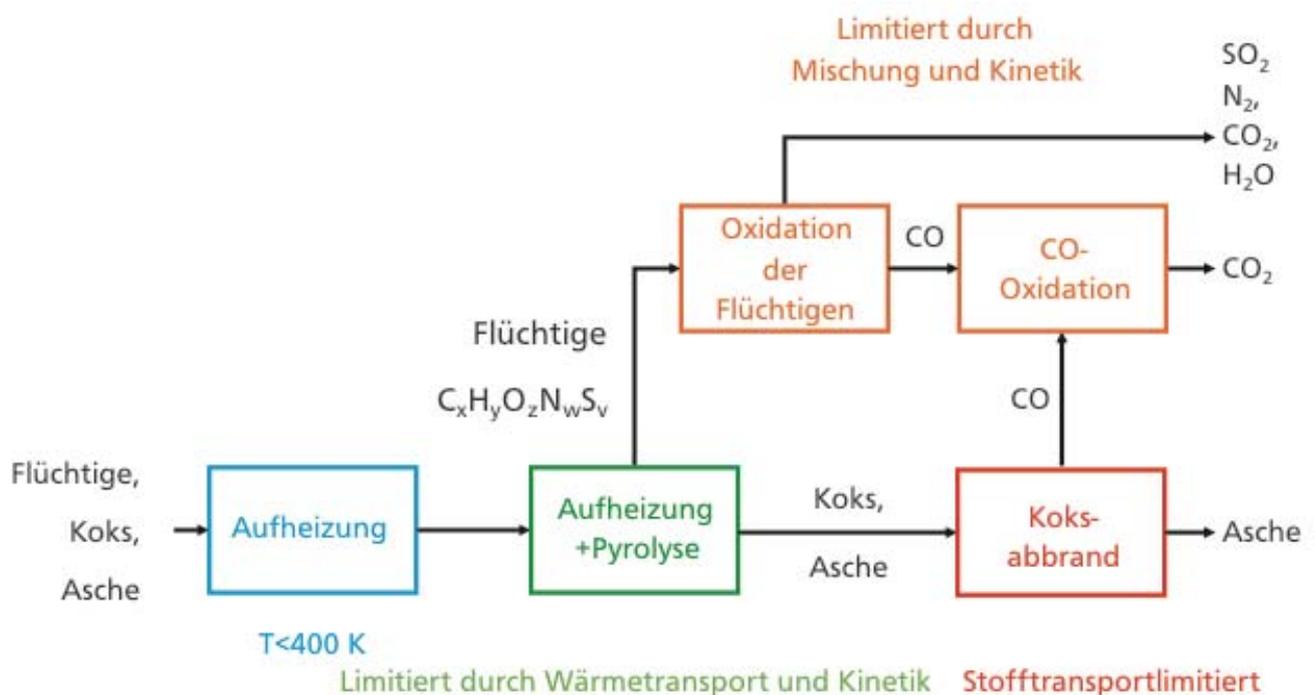


Abb. 6: Prinzip der Verbrennung der Sekundärbrennstoffe

Aufgrund der inneren Heterogenität der SBS-Partikel ist es notwendig, von der Vorstellung einer homogenen Partikeltemperatur abzuweichen, wie sie im Standard-Partikelmodell von ANSYS-Fluent vorausgesetzt wird. Wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit des festen Brennstoffs kann davon ausgegangen werden, dass nur ein gewisser Prozentsatz der Partikelmasse als heiße Schale um einen kalten Kern in der Wärmebilanz zu berücksichtigen ist. In der Energiebilanz eines SBS-Partikels wird gegebenenfalls auch die Abweichung von der Kugelform durch die Verwendung modifizierter Wärmeübergangsgesetze für den konvektiven Wärmeübergang und den Anteil der Strahlung mit berücksichtigt [11].

Eine Besonderheit bei der Altreifen-Verbrennung (aber auch bei anderen kunststoffhaltigen Brennstoffen) stellt die Tatsache dar, dass die Reifenschnitzel mit einer Anfangsgröße von mehreren 10 Millimetern nach vollständiger Evaporation der Flüchtigen in Partikel der Größenordnung 10 Mikrometer zerfallen [12].

Der Grund dafür ist, dass nach der Verflüchtigung das Gerüst aus klebrigen langkettigen Ölen und Teeren verschwunden ist. Dieser Mechanismus ist für den Stoff- und Wärmeübergang beim Koksabbrand von Bedeutung und erklärt in realen Anlagen zu beobachtenden vollständigen Ausbrand der verhältnismäßig großen Reifenstücke. Dieser Partikelzerfall ist ebenfalls in der Modellierung der Sekundärbrennstoffe berücksichtigt.

Chemische und thermische Eigenschaften der Brennstoffe werden durch Eingabe einer Kurz- und Elementaranalyse bzw. des Heizwertes der Brennstoffe in der Modellierung berücksichtigt. Die Einbindung der exakten chemischen Zusammensetzung der Sekundärbrennstoffe ermöglicht neben einer möglichst realitätsnahen Abbildung des Sauerstoffbedarfs, der bei SBS in der Regel höher liegt als bei Primärbrennstoffen, auch eine qualitative Aussage über das Emissionsverhalten dieser Brennstoffe.

#### 1.4 Klinkerbett-Modell

Die Rotation des Rohres führt zu einer Bewegung des Klinkerbettes, die letztendlich für eine annähernd ideale Durchmischung des Bettes führt [13]. In industriellen Drehrohröfen spielt die axiale Vermischung des Klinkerbettes nur eine untergeordnete Rolle, sodass die Transportvorgänge im Klinkerbett vereinfacht durch eine Profenströmung angenähert werden können [14].

Die thermische Kopplung zwischen Gas und Klinkerphase wird durch die implizite Berechnung eines Temperaturprofils auf der Oberfläche des Festbettes erreicht. Dieses Temperaturprofil wird regelmäßig neu berechnet. Hierfür werden die Erhaltungsgleichungen für Masse, Stoffart und Energie im Klinkerbett mittels mathematischer Untermodelle unter Berücksichtigung der chemischen Reaktionen und deren Reaktionswärme gelöst.

Auf Basis von Literaturdaten wurden nur die Kinetiken der 5 Hauptreaktionen der Klinkerbildung implementiert:

1.  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
2.  $\text{CaO} + 2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{S}$
3.  $\text{CaO} + \text{C}_2\text{S} \rightarrow \text{C}_3\text{S}$
4.  $3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_3\text{A}$
5.  $4\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_4\text{AF}$

$\text{CO}_2$ , das während der Kalzination frei gesetzt wird (Reaktion 1) unterliegt keiner Stofftransportlimitierung im partikulären Bett und wird deshalb am Ort seiner Entstehung an die Gasphase übergeben. Dies geschieht durch Einbindung von Quelltermen für Masse und die Spezies in den an die Bettoberfläche angrenzenden Zellen.

Im vorliegenden Modell werden die Modelle im Gasraum und Klinkerbett separat berechnet, wobei jedem Iterationsschritt der Gasphase eine Neuberechnung des Klinkerbettes folgt, bis die Konvergenz erreicht ist. Schlussendlich stehen Informationen über die lokale Zusammensetzung und die Temperatur im Klinkerbett auf Basis der thermischen Bedingungen im Ofen zur Verfügung. Damit kann mit Hilfe des CFD-Modells ein Zusammenhang zwischen Produktqualität und Betriebsbedingungen des Prozesses hergestellt werden.

## 2 Modellreduktion

Das komplexe CFD-Modell, das viele physikalische und chemische Phänomene abbildet, erfordert ein verhältnismäßig feines Berechnungsgitter. Demzufolge ist auch der Zeitaufwand für die Berechnung eines stationären Zustandes hoch. Da die Berechnung eines einzelnen Betriebspunktes einige Tage in Anspruch nimmt, ist ein solches Modell nicht für einen modellbasierten Beobachter verwendbar, der den Prozess in Echtzeit regelt. Daher muss das hochaufgelöste Modell soweit vereinfacht werden, dass die Schätzung der internen Zustandsgrö-

ßen bei hinreichender Genauigkeit in Echtzeit erfolgen kann. Ziel ist es, das Modell auf die wesentlichen fluidodynamischen, physikalischen und chemischen Phänomene zu reduzieren, wobei diese weiterhin vollständig parametrisiert beschreiben werden können.

Durch Aufteilung des gesamten Reaktionsraumes in eine festgelegte Anzahl von Scheiben kann das System mittels 1D-Methodik beschrieben werden (s. Abb. 7). Dabei gilt die Annahme, dass innerhalb jeder Scheibe homogene Verhältnisse für die Temperatur- und Konzentrationsverteilung herrschen.

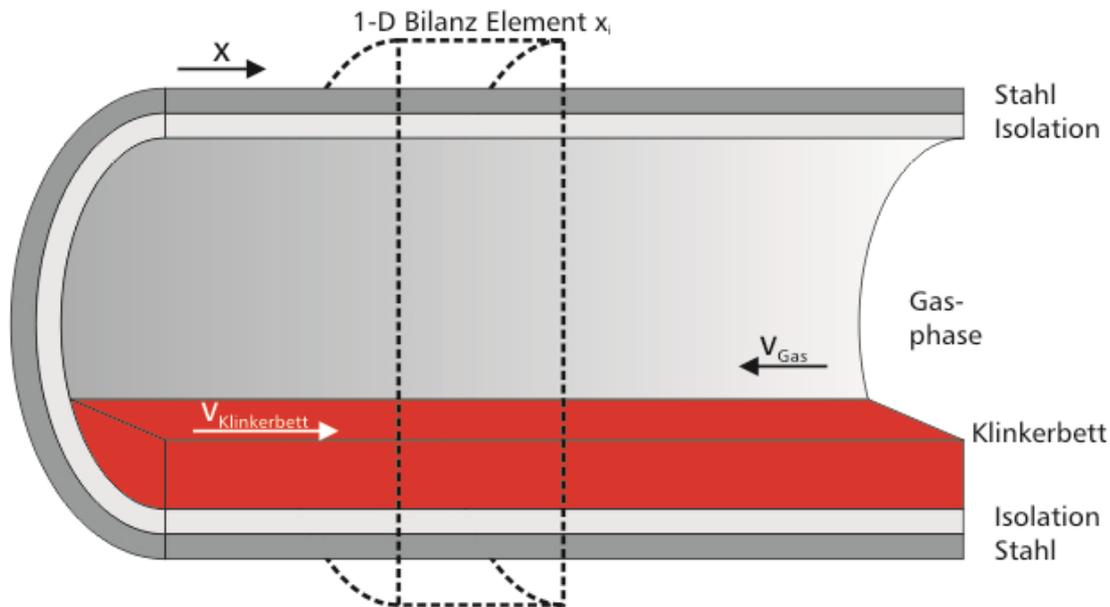


Abb. 7: 1D-Bilanz-Element des Ofens

Zum Aufbau und zur Lösung des 1D-Modells wird das kommerzielle Software-Paket Dymola verwendet (Abb. 8). Das allgemeine "pipe model" für den Gasraum wurde um ein Modell erweitert, das auf Basis der Randbedingungen und lokaler Verhältnisse die vom Klinkerbett belegte Fläche dynamisch berechnet.

Weitere Modelle zur Beschreibung des Wärmetransports (Konvektion und Strahlung) sind in das Gesamtmodell integriert worden. Die Gasphase wurde mit einem chemischen Reaktionsmodell ausgestattet, das die Oxidationsreaktionen der Flüchtigen auf Basis eines allgemeinen Arrhenius-Ansatzes beschreibt.

$$k = BT^n \exp \frac{E_a}{RT}$$

Der Vorfaktor  $B$ , die Aktivierungsenergie  $E_a$  und der Temperaturexponent  $n$  sind freie Parameter, die genutzt werden, um das ideale 1D-Modell an die Ergebnisse des CFD-Modells heran zu führen. Die so entstehenden Pseudo-Reaktionskinetiken berücksichtigen neben der Temperaturabhängigkeit auch den Einfluss der lokalen Strömungs- und Vermischungsverhältnisse, die sich für das spezifische Anlagen-Set-Up ergeben. Letzteres kann eine Verschaltung von ideal durchmischten Rührkesselreaktoren nicht ohne weiteres modelliert werden.

Die Erhaltungsgleichungen für die Gasphase in Verbindung mit einer dynamischen Impulsbilanz sind in [15] beschrieben. Mit Hilfe einer Finite-Volumen-Methode können Massen- und Energiebilanzen dynamisch gelöst werden.

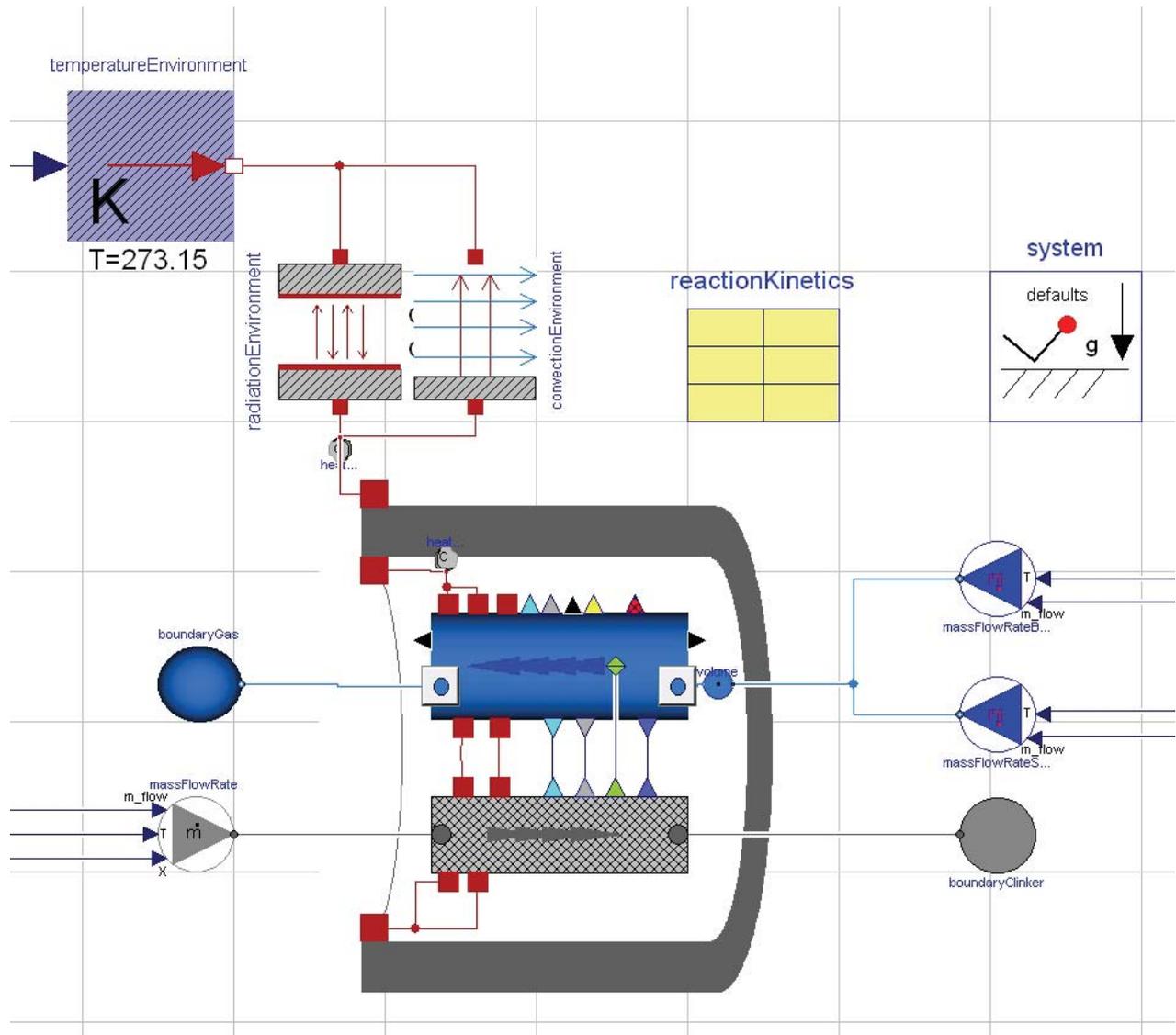
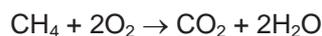


Abb. 8: Dymola Modell des Drehrohres

### 3 Erste Ergebnisse

Da der Zementherstellungsprozess und damit auch das CFD-Modell sehr aufgrund der vielen mit der Strömung gekoppelten Vorgänge sehr komplex sind, ist der Nachweis der Reduzierbarkeit des CFD-Modells auf eine echtzeitfähiges 1D-Modell ein wesentlicher Meilenstein auf dem Weg zu einem zuverlässigen MPR-System.

Zur Vereinfachung des Modellsystems wurde Erdgas als erster "einfacher" Brennstoff verwendet. Der Vorteil ist hier, dass zunächst nur homogene Gasphasenreaktionen auftreten. Die Verbrennung von Erdgas (Methan) folgt folgender Stöchiometrie:



Die geometrischen Parameter sowie die Randbedingungen wie z.B. Luft- und Brennstoffmassenströme und -temperaturen wurden in beiden Modellen (CFD und Dymola) exakt gleich eingestellt. Nach Abschluss der CFD-Simulationen werden die oben genannten freien Parameter der chemischen Reaktionen im 1D-Modell ( $B$ ,  $n$ ,  $E_a$ ) an die CFD-Ergebnisse mit Hilfe der Fehlerquadratmethode angepasst. Hierfür werden die Daten aus mehreren Zellen des 3-dimensionalen CFD-Gitters zusammengefasst und in 1D-Scheiben gemittelt. Die Mittelung erfolgt unter Einbindung von Gewichtungsfunktionen, die das anisotrope Strömungsfeld in Brennernähe berücksichtigen.

Nach Abschluss der Parameteranpassung wird das 1D-Modell dynamisch gelöst bis der stationäre Zustand bei gleich bleibenden Randbedingungen erreicht ist. Ein Vergleich dieser Daten aus dem Dymola Modell mit den Daten aus den CFD-Simulationen zeigt die Qualität der Vereinfachten Modellierung.

In Abb. 9 sind die Verläufe von Temperatur und molarer Dichte der Edukte ( $\text{CH}_4$  und  $\text{O}_2$ ) entlang des Ofens im Vergleich dargestellt.

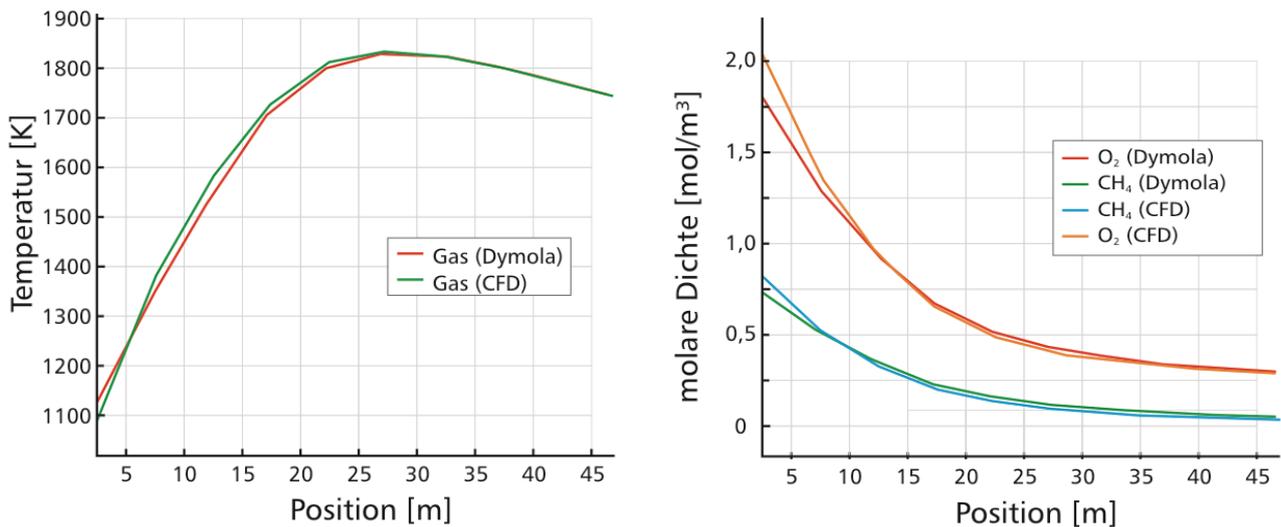


Abb. 9: Verläufe der mittleren Temperatur (links) und der  $\text{O}_2$  und  $\text{CH}_4$ -Konzentrationen (rechts) in der Gasphase entlang des Ofens

Die Kurven aus den beiden Modellen zeigen sehr ähnliche Verläufe. Der Fehler  $\epsilon$  liegt für die Gasphase bei weniger als 2%.

Die wesentlich bedeutenderen Werte für den Vergleich sind die Temperaturen und Konzentrationen im Klinkerbett, da diese von Wärmeübertragungsmechanismen zwischen Gas und Feststoff sowie den dort stattfindenden Reaktionen kontrolliert werden. Da die Auflösung des 1D-Modells deutlich geringer als im 3D-CFD-Modell ausfällt, ist hier mit einer gewissen Abweichung zu rechnen. Die geringere Genauigkeit des 1D-Modells ist der Preis für die Modellbeschleunigung. Trotzdem ist es wichtig, dass das 1D-Modell die internen Zustandsgrößen hinreichend genau vorhersagt, sodass dieses Modell in einem MPR-System zum Einsatz kommen kann. Die Verläufe der Temperatur und der molaren  $\text{CaCO}_3$ -Dichte sind in dargestellt.

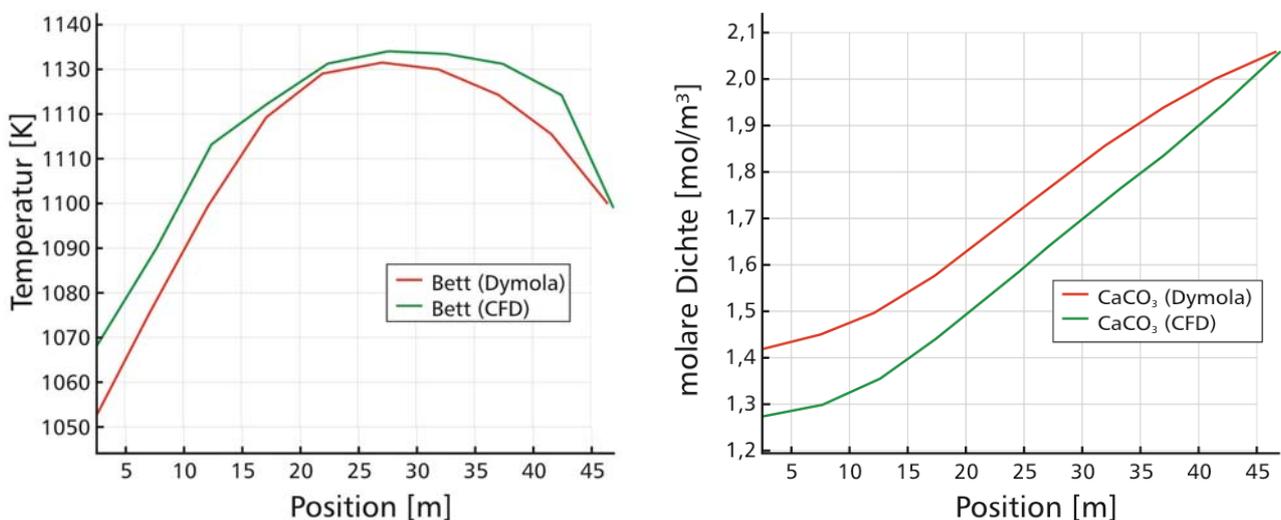


Abb. 10: Verläufe der Festbetttemperatur (links) und der  $\text{CaCO}_3$ -Konzentration entlang des Ofens

Obwohl die Skalierung hier feiner gewählt wurde, liegen die Abweichungen des Dymola-Modells vom CFD-Modell für die Temperatur bei unter 7% und für die Konzentration bei weniger als 6,6%.

Neben den hier dargestellten Werten wurden auch weitere interne Größen aus den beiden Modellen miteinander verglichen. Auch für diese Werte lagen die Abweichungen in der gleichen Größenordnung wie für die dargestellten Größen. Zusätzlich wurde die Plausibilität des 1D-Modells anhand von Betriebspunktverschiebungen (z.B. Variation der Brennstoffmenge) unter Beibehaltung der Parameter der Pseudo-Reaktionen überprüft. Damit ist das hier diskutierte Modell auch in der Lage, Abweichungen vom Anpassungspunkt vorherzusagen. Dieser Vergleich zeigt, dass auch das sehr komplexe Modell des Drehrohrofens erfolgreich reduziert werden kann.

Der wesentliche Vorteil der 1D-Modellierung liegt in der Berechnungsgeschwindigkeit. Während für die CFD-Simulationen mehrere Tage veranschlagt werden müssen, liefert das 1D-Modell bereits nach wenigen Sekunden die Ergebnisse der Simulation. Häufig werden datengetriebene Modelle (neuronale Netze) eingesetzt, um Größen in einem MPR zu schätzen. Diese Modelle sind nur auf ein vorher trainiertes Betriebsfenster anwendbar. Im Gegensatz dazu sorgt die physikalisch motivierte Modellierung des hier vorgestellten reduzierten Modells dafür, dass ein solches Modell auch außerhalb des vorgegebenen Datenfensters extrapolieren kann.

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Verwendung von Sekundärbrennstoffen und die daraus resultierenden Schwankungen in der Produktqualität erfordern die Entwicklung und Anwendung eines für die Zementindustrie geeigneten Automatisierungskonzeptes. Im Hinblick auf die spezifischen Anforderungen und Schwierigkeiten des Zementprozesses bildet die Anwendung eines modellprädiktiven Regelsystems eine interessante Alternative. Hierbei werden die für eine Regelung notwendigen Regelgrößen, die im Prozess nicht messbar sind, mit Hilfe von Modellen geschätzt und damit dem Regler zugänglich gemacht.

Die Methodik der Modellentwicklung wurde in diesem Beitrag am Beispiel des Drehrohrofens erläutert. Das hier entwickelte CFD-Modell des Drehrohrofens berücksichtigt neben der Fluidodynamik auch die chemischen Vorgänge der homogenen und heterogenen Verbrennungsprozesse (inklusive Sekundärbrennstoffen) in der Gasphase sowie die Dynamik und Chemie des Klinkerbetts. Obwohl die CFD-Simulationen sehr detaillierte Informationen und Daten aus dem Prozess liefern, kann ein CFD-Modell nicht für einen Regler verwendet werden, da die Rechenzeiten für einen echtzeitfähigen Betrieb viel zu lang sind.

Daher wurde ausgehend von den CFD-Ergebnissen erfolgreich ein reduziertes 1D-Modell entwickelt, das die Zustände im Ofen bei hinreichender Genauigkeit (Fehler <7%) erheblich schneller vorhersagen kann als das CFD-Modell. Aufgrund der physikalischen Motivation kann das vollständig parametrisierte reduzierte Modell auch Betriebszustände außerhalb eines vorher bekannten Bereichs schätzen.

Durch einen Vergleich der CFD-Simulationen eines mit Erdgas befeuerten Ofens mit den Ergebnissen des 1D-Modells konnte nachgewiesen werden, dass die Vereinfachung des hoch komplexen CFD-Modells prinzipiell möglich ist. Gleichzeitig wurden die Rechenzeiten von ursprünglich einigen Tagen um mehrere Größenordnungen auf unter 20s reduziert. Dies macht das vorgestellte Modell für einen MPR anwendbar.

Ausgehend von diesen Ergebnissen, wird derzeit daran gearbeitet das 1D-Modell soweit zu verbessern, dass die Abweichung zwischen CFD-Modell und reduziertem Modell noch weiter reduziert werden können. Weiterhin wird das reduzierte Modell um ein vereinfachtes Modell eines Partikelbrenners erweitert, um den Abbrand von Sekundärbrennstoffen darstellen zu können.

Zusätzlich wird das derzeit nichtlineare 1D-Modell linearisiert, sodass ein Beobachter für die nicht messbaren Zustandsgrößen entwickelt werden kann. Im Anschluss wird mit Hilfe des linearisierten Modells ein modellprädiktiver Regler ausgelegt, der in der Lage ist, den Zementprozess zu regeln.

#### 5 Danksagung

Die hier vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektes MoProOpt durchgeführt. Für die finanzielle Unterstützung und die Betreuung durch den Projektträger Karlsruhe sei an dieser Stelle gedankt.

## 6 References

- [1] Marias, F.: "A model of a rotary kiln incinerator including processes occurring within the solid and the gaseous phases", *Computers and Chemical Engineering* 27, 2003, 813-825
- [2] Georgallis M., Nowak P., Salcudean M., Gartshore, I.S.: "Modelling the rotary lime kiln", *The Canadian Journal of chemical engineering, industrial practice, applied chemistry* 83(2), 2005, 212-223
- [3] Mastorakos, E., Massias, A., Tsakiroglu, C.D., Goussis, D.A.: "CFD predictions for cement kiln including flame modeling, heat transfer and clinker chemistry", *Applied mathematical modeling: environmental, social and engineering systems*, 23(1), 1999, 55-76
- [4] Kramers, H., Croockewitt, P.: "The passage of granular solids through the inclined rotary kilns", *Chemical Engineering Science*, 1(6), 1952
- [5] Encinar, M., González J.F.: "Pyrolysis of synthetic polymers and plastic wastes", *Fuel Processing Technology* 89, 2008, 678 – 686
- [6] Yang, J., Tanguy, P.A., Roy, C.: "Heat transfer, mass transfer and kinetic study of the vacuum pyrolysis of a large used tire particle", *Chemical Engineering Science* 50 (22), 1995, 1909-1922
- [7] Mui, E.L.K., Ko, D.C.K., McKay, G.: "Production of active carbons from waste tyres – a review", *Carbon* 42, 2004, 2789-2805
- [8] Ayllon, M., Gea, G., Murillo, M.B., Sanchez, J.L., Arauzo, J.: "Kinetic study of meat and bone meal pyrolysis: an evaluation and comparison of different possible kinetic models", *Journal of Analytical Applied Pyrolysis* 74, 2005, 445-453
- [9] Skodras, G., Grammelis, P., Basinas, P., Kaldis, S., Kakaras, E., Sakellariopoulos, G.P.: "A kinetic study on the devolatilisation of animal derived byproducts", *Fuel Processing Technology* 88, 2007, 787 –794
- [10] A.Haider, O.Levenspiel, Drag Coefficient and Terminal Velocity of Spherical and Nonspherical Particles, *Powder Technology*, 58:63-70, 1989.
- [11] D.Baehr, K.Stephan, Wärme- und Stoffübertragung, Springer Verlag, 2006
- [12] Schmidhals, H.: Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 2001
- [13] Boateng A.A., Barr, P.V.: "A thermal model for the rotary kiln including heat transfer within the bed", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 39, 1996, 2131
- [14] Sheritt, R.G., Chaouki, J., Mehrotra, A., Behie, L.: "Axial dispersion in the three-dimensional mixing of particles in a rotating drum reactor", *Chemical Engineering Science* 58(29), 401-415
- [15] Elmqvist, H., Tummescheit, H., Otter, M.: „Object-oriented modeling of thermo-fluid systems“, *Modelica Association*, 2003

Bitte per Post oder Fax senden:

Tel.: +49 (0) 80 51 - 96 59 3 49

Fax: +49 (0) 80 51 - 96 74 3 37

e-mail: [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de)

Adresse für Fensterkuvert



**NAFEMS GmbH**  
Osterham 23

**D-83233 Bernau am Chiemsee**  
Germany

## Rückantwort: NAFEMS Magazin, Ausgabe (1/2010)

Bitte senden Sie mir nähere Informationen zu folgenden Themen:

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> NAFEMS Mitgliedschaft      | <input type="checkbox"/> NAFEMS World Congress 2011        |
| <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: \_\_\_\_\_

# NAFEMS

## MAGAZIN

---

NAFEMS Deutschland, Österreich, Schweiz GmbH  
Osterham 23  
D-83233 Bernau am Chiemsee, Germany

Tel. +49 (0) 80 51 – 96 59 3 49  
Fax +49 (0) 80 51 – 96 74 3 37  
e-mail: [info@nafems.de](mailto:info@nafems.de)

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