



# Fraunhofer

ITWM

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR TECHNO- UND WIRTSCHAFTSMATHEMATIK ITWM



**JAHRESBERICHT**  
**2016/17**

## Titelbild

Seit Beginn des Jahres 2017 gehört das Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung zum Fraunhofer ITWM; untergebracht sind seine Labore und Büros im linken Flügel des Fraunhofer-Zentrums.

**JAHRESBERICHT**  
**2016/17**



## INHALTSVERZEICHNIS

6	Vorwort	76	Vorträge
8	Institutprofil	81	Lehrtätigkeiten
9	Branchen – für wen arbeiten wir?	81	Publikationen
10	Kunden und Kooperationspartner	86	Graduierungsarbeiten
12	Kuratorium/Vernetzung und Kooperationen	87	Messe- und Konferenzteilnahmen
13	Leistungszentrum »Simulations- und Software- basierte Innovation« eingerichtet	88	Ehrungen und Preise
14	Fraunhofer-Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics FCC	88	Eigene Veranstaltungen
15	Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick	89	Gäste
16	Rückblick	90	Mitarbeit in Gremien, Herausgebertätigkeit
20	Transportvorgänge	93	Impressum
26	Strömungs- und Materialsimulation		
34	Bildverarbeitung		
40	Systemanalyse, Prognose und Regelung		
44	Optimierung		
52	Finanzmathematik		
56	Mathematische Methoden in Dynamik und Festigkeit		
64	Competence Center High Performance Computing		
72	Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung		



---

# DAS FRAUNHOFER ITWM



**OPTIMIERUNG**



**STRÖMUNGS- UND MATERIALSIMULATION**



**MATHEMATISCHE METHODEN IN DYNAMIK UND FESTIGKEIT**



**SYSTEMANALYSE, PROGNOSE UND REGELUNG**



**TRANSPORTVORGÄNGE**



**BILDVERARBEITUNG**



**COMPETENCE CENTER HIGH PERFORMANCE COMPUTING**



**FINANZMATHEMATIK**



**MATERIALCHARAKTERISIERUNG UND -PRÜFUNG**





Das ITWM hat im Jahr 2016 seine Erträge um 8 % gesteigert und der Anteil der Wirtschaftserträge am Betriebshaushalt erreichte ein Allzeithoch von 52,3 %. Ein wesentlicher Anteil der Industrierträge entfiel dabei auf Folgeprojekte mit Bestandskunden, zusätzlich wurden viele Neukunden aus ganz unterschiedlichen Branchen gewonnen. Dies zeigt deutlich die Leistungsfähigkeit, Wirtschaftsrelevanz und Aktualität der Forschungsthemen des Instituts. Profitiert haben wir natürlich auch von den stabilen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in Deutschland. Die Ertragsprognosen für 2017 sind optimistisch, die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter hoch motiviert für neue Herausforderungen und wir erwarten einen erneuten Wachstumsschub im kommenden Jahr. Mehr Aufträge, Ausbau der Geschäftsfelder und neue Herausforderungen in der Forschung bedingen Personalaufbau. 2016 wurden insgesamt 17 neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am ITWM eingestellt. Dabei ist besonders erfreulich, dass der Frauenanteil bei den Neueinstellungen auf 41 % gesteigert werden konnte.

Ein besonderes Highlight war im vergangenen Jahr die Eröffnung des Leistungszentrums »Simulations- und Software-basierte Innovation« durch unseren Präsidenten Prof. Dr. Reimund Neugebauer. Das Leistungszentrum bündelt in drei anwendungsbezogenen Schwerpunktthemen die intensive Zusammenarbeit der Fraunhofer-Einrichtungen in Kaiserslautern mit den beiden Hochschulen, der Science Alliance und der regionalen Wirtschaft. Das ITWM hat im vergangenen Jahr sein Forschungs- und Technologieportfolio durch Eingliederung einer neuen Abteilung signifikant erweitert. 2016 haben sich das Freiburger Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, das Fraunhofer ITWM sowie das Land Rheinland-Pfalz in intensiven Abstimmungsgesprächen auf eine Integration der in Kaiserslautern angesiedelten IPM-Abteilung Materialcharakterisierung und -prüfung in das Fraunhofer ITWM verständigt. Unter dem Dach des IPM hat diese Abteilung in den letzten zehn Jahren die Terahertz-Technologie zur Industriereife entwickelt. Die Abteilung ist unter der Leitung von Prof. Georg von Freymann personell, wissenschaftlich und wirtschaftlich hervorragend aufgestellt. Der rheinland-pfälzische Wissenschaftsminister Prof. Dr. Konrad Wolf hat die

Eingliederung der Abteilung MC als Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung in das ITWM ausdrücklich begrüßt: »Dieser Schritt ist ein weiterer Baustein für eine nachhaltige Entwicklung des Technologiestandorts Kaiserslautern und die Stärkung der Fraunhofer-Aktivitäten in Rheinland-Pfalz. Die nun noch engere Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure vor Ort bietet zusätzliche Chancen auf weitere Innovationen«.

Für zwei Personen, die das ITWM sehr stark mitgeprägt und auf Kurs gehalten haben, war 2016 ein Abschiedsjahr: Unsere Verwaltungsleiterin Dr. Marion Schulz-Reese ist in den wohlverdienten Ruhestand gegangen und unser Altinstitutsleiter Professor Helmut Neunzert hat sich an den Chiemsee in seine alte Heimat Bayern zurückgezogen. Auf den ihnen zu Ehren ausgerichteten Abschiedsveranstaltungen wurden ihre Verdienste für das ITWM sowie den Standort Kaiserslautern gewürdigt; viele Wegbegleiter und Gäste haben zu kurzweiligen Feiern mit zahlreichen Anekdoten, Bildern, Filmen und Musik beigetragen. In der Verwaltungsleitung hat das ITWM nach dem Ausscheiden von Marion Schulz-Reese mit Holger Westing und Markus Pfeffer eine Doppelspitze etabliert, die sich seit einem Jahr sehr gut bewährt. Wesentliche Aktivitäten im Kaiserslauterer Felix-Klein-Zentrum für Mathematik, die bisher durch Helmut Neunzert stark geprägt waren, wurden unter der Federführung unseres Abteilungsleiters Karl-Heinz Küfer in der Felix-Klein-Akademie gebündelt. Die Akademie dient der gezielten Förderung exzellenter Mathematikstudierender und Nachwuchswissenschaftler auf der Basis eines nachhaltig angelegten Förder-, Vernetzungs- und Qualifikationskonzepts.

Eine große Ehre für die Forschungsgruppe »Strahlentherapie« der Abteilung Optimierung war 2016 der Preis des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft in der Kategorie Verbundforschung. Ausgezeichnet wurden ihre Projekte zur Erarbeitung eines neuartigen Konzeptes zur Strahlentherapie, die zusammen mit Wissenschaftlern des DKFZ, der Unikliniken Heidelberg und München sowie des Massachusetts General Hospital im Forschungsverband der Harvard Medical School erarbeitet wurden.

Das in unserem Competence Center High Performance Computing entwickelte Programmiermodell GPI (Global Address Space Programming Interface) wurde für den Innovation Radar-Preis der Europäischen Kommission in der Kategorie »Excellent Science« nominiert. In einem hart umkämpften Wettbewerb mit 40 anderen digitalen Innovatoren Europas hat es GPI in die Runde der vier Finalisten geschafft. Nach dem Fraunhofer-Preis 2013 ist dies nun eine weitere internationale Anerkennung für GPI als eine Schlüssel-Innovation für die Entwicklung paralleler Software.

In einer Vielzahl von Projekten wurden zusammen mit Partnern aus der Industrie technologische Innovationen auf der Basis unserer Kernkompetenzen in der mathematischen Modellierung, der Simulation und der Optimierung vorangetrieben. So gelang es im Umfeld der chemischen Produktionsplanung neben einer starken Ausweitung der Projekte zur Verbesserung der Prozessplanungsmethodik mit der BASF in einem Projekt mit dem Schweizer Chemiekonzern Lonza für eine relevante Produktionsanlage mehr als 10 % Energiekosten durch Nutzung multikriterieller Optimierung einzusparen.

Unsere Technologie zur Simulation von Kabeln und Schläuchen (IPS Cable Simulation) wurde wesentlich weiterentwickelt. Mit den Neuentwicklungen zur Dynamiksimulation und Betriebsfestigkeit ist es nun erstmals möglich, Kabel und Schläuche auch hinsichtlich ihrer Beanspruchung im Betrieb simulationsbasiert zu bewerten. Ferner wurde eine auf die Bedatung der Simulationsmodelle abgestimmte Messtechnik entwickelt (Messmaschine MeSOMICS), gebaut, zum Patent angemeldet und bereits an Partner aus der Automobilindustrie verkauft.

Ein weiteres aktuelles Themenfeld ist die Nutzung von additiven Fertigungstechniken zur komplett computergestützten Entwicklung und Optimierung poröser Mikrostrukturen und deren anschließender realer Fertigung. Mit der 3D-Nanodruckkompetenz konnten hier bereits erste mikrostrukturierte Filterstrukturen entwickelt und gefertigt werden.

Mit unseren Softwareprodukten FPM für Strömungs- und Kontinuumsdynamik und FIDYST für Fadendynamik werden inzwischen neben Anwendungsprojekten auch signifikante Lizenz-einnahmen erzielt. Für die strömungsdynamische Prozessauslegung konnte im Bereich der optimalen Auslegung von Schmelzeverteiltern erfolgreich ein Alleinstellungsmerkmal etabliert werden.

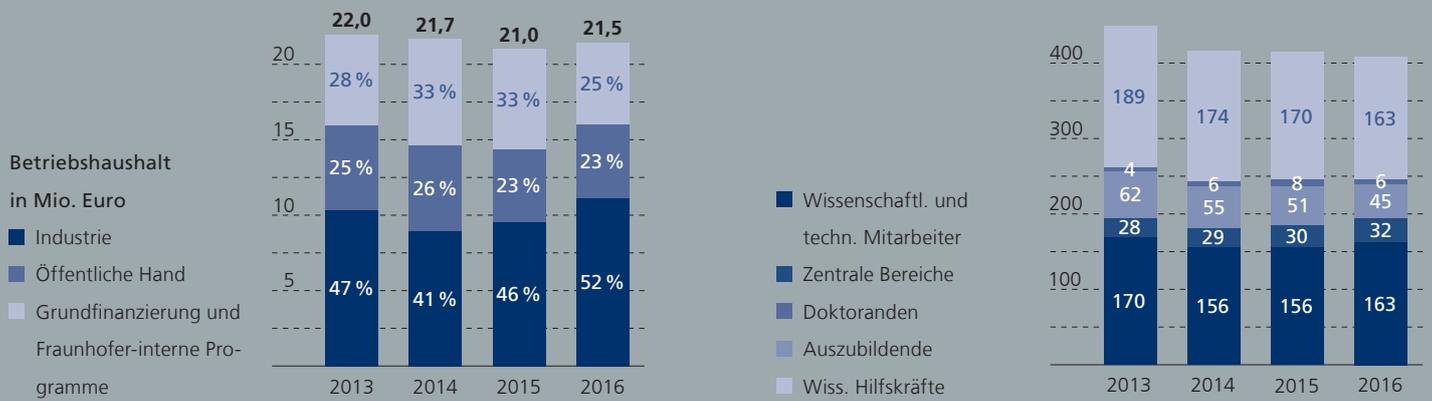
Im Rahmen der Kooperation mit der am ITWM angesiedelten »Produktinformationsstelle Altersvorsorge« PIA wurde 2016 jeder in Deutschland vertriebene Basis- und Riesterrenten-Tarif mit seinen spezifischen Eigenschaften für vier verschiedene Laufzeiten modelliert, simuliert und basierend auf den Simulationsergebnissen klassifiziert.

Die Rückmeldungen unserer Kunden zeichnen sich insgesamt durch ein hohes Niveau an Zufriedenheit aus. Das folgende Zitat aus einem offiziellen Blog der SAP dokumentiert dies beispielhaft: »After almost 2 years of collaboration, we are convinced that partnering with the ITWM was the best thing SAP could do to streamline the development process of SAP S/4HANA for advanced variant configuration.«

Mein Dank gilt unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie unseren Doktorandinnen und Doktoranden, die auch 2016 wieder mit hoher Identifikation und Autonomie in einem Klima gegenseitiger Achtung und Anerkennung ihre Kompetenzen in eine Vielzahl von Projekten erfolgreich eingebracht und damit den nachhaltigen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Erfolg des ITWM ermöglichen. Unseren Auftraggebern und Projektpartnern danken wir für das uns entgegengebrachte Vertrauen und freuen uns darauf, mit Ihnen zusammen im Jahr 2017 neue Aufgaben und Herausforderungen anzugehen.



Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters  
Institutsleiter



## INSTITUTSPROFIL

Computersimulationen sind ein unverzichtbares Werkzeug bei der Gestaltung und Optimierung von Produkten und Produktionsprozessen, Dienstleistungen, Kommunikations- und Arbeitsprozessen. Reale Modelle werden durch virtuelle Modelle ersetzt. Der Mathematik kommt bei der Gestaltung dieser virtuellen Welt eine entscheidende Rolle zu. Mathematische Modelle liegen horizontal in einer Landschaft von vertikal angeordneten Wissenschaftsdisziplinen und technologischen Anwendungen. Dieser Querschnittscharakter der Mathematik macht sie zu einer »generischen Technologie«; als Grundlage für den Brückenschlag in die Simulationswelt wird sie zur Schlüsseltechnologie für Computersimulationen, die in nahezu allen Bereichen des Wirtschaftslebens Einzug gehalten haben. Auch zunehmend kleine und mittelständische Unternehmen nutzen die Simulation zur Kostenreduzierung. Gerade diese Unternehmen unterstützt das Fraunhofer ITWM mit Beratung und Rechenleistung. Sie profitieren am Markt durch den Einsatz von Simulation als Ausweis für Innovation und Qualitätssicherung ihrer Produkte.

Natürlich arbeiten wir auch mit großen Firmen zusammen, vor allem im Fahrzeugbereich, im Maschinenbau, der Textilindustrie, der Mikroelektronik, der Computerindustrie und im Finanzbereich. Integrale Bausteine unserer FuE-Projekte sind Beratung und Umsetzung, Unterstützung bei der Anwendung von Hochleistungsrechnertechnologie und Bereitstellung maßgeschneiderter Software-Lösungen.

Neben der Umsetzung mathematischer Methoden und Technologie in Anwendungsprojekten und ihre Weiterentwicklung in Forschungsprojekten bildet auch die enge Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Mathematik der TU Kaiserslautern einen Schwerpunkt des Fraunhofer ITWM. Grundpfeiler sind die klassischen Disziplinen der angewandten Mathematik, wie Numerik, Optimierung, Stochastik und Statistik sowie Differentialgleichungen.

Die Kernkompetenzen des ITWM sind

- Verarbeitung der aus Experimenten und Beobachtungen gewonnenen Daten
- Aufsetzung der mathematischen Modelle
- Umsetzung der mathematischen Problemlösungen in numerische Algorithmen
- Zusammenfassung von Daten, Modellen und Algorithmen in Simulationsprogrammen
- Optimierung von Lösungen in Interaktion mit der Simulation
- Visualisierung der Simulationsläufe in Bildern und Grafiken

Das ITWM ist Mitglied des Fraunhofer-Verbands »IuK-Technologie« sowie Gast im Verbund »Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS«; die gute Vernetzung innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft dokumentiert aber auch die Beteiligung an zahlreichen Allianzen: »Automobilproduktion«, »Batterien«, »Big Data«, »Cloud Computing«, »Leichtbau«, »Numerische Simulation von Produkten, Prozessen«, »Textil«, »Verkehr« und »Vision«.



## BRANCHEN – FÜR WEN ARBEITEN WIR?

Dank der umfassenden Methodenkompetenz unserer Abteilungen und des breiten Spektrums ihrer Anwendungsfelder befinden sich unsere Kunden in zahlreichen Branchen. Mit den Kernkompetenzen in den Bereichen

- Modellierung und Simulation
- Optimierung und Entscheidungsunterstützung
- Datenanalyse und Visualisierung

adressiert das Fraunhofer ITWM Firmen und Organisationen in den Branchen

- Verfahrenstechnik/Maschinen- und Anlagenbau
- Fahrzeugindustrie und Zulieferer
- Medizin und Medizintechnik
- Energie- und Rohstoffwirtschaft
- Technische Textilien
- Informationstechnologie
- Finanzwirtschaft

Durch die langjährige Zusammenarbeit mit unseren Stammkunden hat sich eine erhebliche Domänenkompetenz in Teilbereichen einzelner Branchen herausgebildet; zu nennen sind hier insbesondere Fahrzeugindustrie, Verfahrenstechnik sowie Energiewirtschaft. Für alle Branchen gilt: Die Modellierungs- und Simulationskompetenz des Fraunhofer ITWM generiert echte Wettbewerbsvorteile am Markt.

## KUNDEN UND KOOPERATIONSPARTNER AUSWAHL 2016

- AbbVie Deutschland GmbH & Co. KG, Ludwigshafen
- ACC Technologies, Turku (FIN)
- Alois Kober GmbH, Kötz
- Altair Engineering Software Co., Ltd., Troy (USA)
- ante holz GmbH, Bromskirchen-Somplar
- AUDI AG, Ingolstadt
- BASF SE, Ludwigshafen
- Bayer CropScience AG, Monheim
- Biffar GmbH & Co. KG, Edenkoben
- BJS Ceramics GmbH, Gersthofen
- BMW AG, München
- BorgWarner Turbo Systems GmbH, Kirchheimbolanden
- BPW Bergische Achsen KG, Wiehl
- Brückner Group GmbH, Siegsdorf
- BSN Medical GmbH, Emmerich
- Continental Automotive Systems AG & Co. OHG, Frankfurt
- DAF Trucks N. V., Eindhoven (NL)
- Daimler AG, Stuttgart
- Dassault Systemes, Waltham (USA)
- delta h Ingenieurgesellschaft mbH, Witten
- Dilo Machines GmbH, Eberbach
- Eagle Burgmann GmbH, Wolfratshausen
- ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG, Mulfingen
- ESI Group, Paris (F)
- Hochschulen: Darmstadt, Kaiserslautern, Mainz, Berlin, Lübeck, Birkenfeld
- FLSmidth, Kopenhagen (DK)
- Ford-Werke GmbH, Köln
- Freudenberg Filtration Technologies SE & Co. KG, Kaiserslautern, Weinheim
- Gebr. Pfeiffer SE, Kaiserslautern
- GEF Ingenieur AG, Leimen
- General Dynamics European Land Systems-Germany GmbH, Kaiserslautern
- GKN Driveline Technology Centre, Lohmar
- GKV Spitzenverband, Berlin
- Goldbeck Solar GmbH, Hirschberg
- Goodyear S.A., Colmar-Berg (L)
- GRS mbH, Köln
- Hexagon Metrology GmbH, Wetzlar
- Hilite Germany GmbH, Nürtingen
- Hubert Stüken GmbH & Co. KG, Rinteln
- Human Solutions GmbH, Kaiserslautern
- Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH, Duisburg
- IBS FILTRAN GmbH, Morsbach-Lichtenberg
- Imilia Interactive Mobile Applications GmbH, Berlin
- Institut für Textil- und Verfahrenstechnik (ITV), Denkendorf
- Institut für Textiltechnik (ITA), Aachen
- IsoDev GmbH, Wegscheid
- John Deere GmbH & Co. KG, Mannheim, Kaiserslautern
- Johns Manville Europe GmbH, Bobingen
- Just Vacuum GmbH, Landstuhl
- Kreisverwaltung Mainz-Bingen, Ingelheim am Rhein
- Kronion GmbH, Landau
- KSB AG, Frankenthal
- KTM-Sportmotorcycle AG, Mattighofen (A)

- Lenzing, AG Lenzing (A)
- Liebherr, Kirchdorf, Colmar (F)
- Lonza AG, Basel
- MAGMA Gießereitechnologie GmbH, Aachen
- MAN Truck & Bus Deutschland GmbH, München
- Marathon Oil, Houston (USA)
- Math2Market GmbH, Kaiserslautern
- Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme, Magdeburg
- mfd Diagnostics GmbH, Wendelsheim, Luckenwalde
- Netze BW GmbH, Stuttgart
- Nissan, Kanagawa (J)
- NOGRID GmbH, Mainz
- Odenwald Faserplattenwerk GmbH, Amorbach
- OPTIRISK, London (GB)
- Paul Wild GmbH, Kirschweiler
- Plastic Omnium, Brüssel (B)
- Porsche AG, Weissach, Stuttgart
- proALPHA Software AG, Weilerbach
- Procter & Gamble, Schwalbach, Euskirchen, Cincinnati (USA)
- Produktinformationsstelle Altersvorsorge, Kaiserslautern
- Progress Rail Inspection & Information Systems, Bad Dürkheim
- PSA Peugeot Citroën, Velizy-Villacoublay Cedex (F)
- PSI AG, Aschaffenburg, Berlin
- Repsol, Houston (USA)
- Robert Bosch GmbH, Stuttgart
- SAP Deutschland SE & Co. KG, Walldorf
- Scania CV AB, Södertälje (S)
- Schleifring und Apparatebau GmbH, Fürstenfeldbruck
- Schmitz Cargobull AG, Altenberge
- Schott AG, Mainz
- Seismic Imaging Processing SIP , Aberdeen (GB)
- Sharp Reflections, Stavanger (N), Kaiserslautern
- Siemens AG, Frankfurt, Erlangen, München
- Statoil ASA, Stavanger (N), Trondheim (N), Oslo (N)
- Stryker GmbH & Co KG, Freiburg
- Stadtwerke Kaiserslautern SWK, Kaiserslautern
- Technische Werke Ludwigshafen, Ludwigshafen
- ThinkparQ GmbH, Kaiserslautern
- Toyota Motor Europe NV/SA, Zaventem (B), Brüssel (B)
- TRW Automotive GmbH, Alfdorf
- UFI Filters spa, Porto Mantovano (I)
- Uhde Inventa-Fischer GmbH, Berlin
- Umicore AG & Co. KG, Hanau
- Uniper Anlagen Service, Gelsenkirchen
- Universitäten: Berlin, Bordeaux (F), Chemnitz, Dortmund, Freiberg, Kaiserslautern, Karlsruhe, Mainz, Nancy (F), Paris I-Fontainebleau (F), Ulm, Saarbrücken, Münster, Bremen, Heidelberg, Freiburg, Aachen, Saarbrücken, Kassel
- Varian Medical Systems International AG, Cham
- Venios AG, Frankfurt
- Voith Hydro GmbH, Heidenheim
- Volkswagen AG, Wolfsburg
- Volvo CE, Konz, Göteborg (S)
- Woltz, Wertheim
- Xella Fermacell, Calbe/Saale

August Altherr, JOHN DEERE European Technology Innovation Center

Prof. Dr. Nicole Bäuerle, Karlsruher Institut für Technologie

Dr.-Ing. Erwin Flender, MAGMA Gießereitechnologie GmbH

Dr. Werner Groh, Johns Manville Europe GmbH

Johannes Heger, HegerGuss GmbH

Dr. Wilhelm Krüger, Blue Order AG (Vorsitzender)

Prof. Dr. Volker Mehrmann, Technische Universität Berlin

Dr. Hannes Möller, Daimler AG

Barbara Ofstad, Siemens AG

MR Richard Ortseifer, Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung des Landes Rheinland-Pfalz

RD Ingo Ruhmann, Bundesministerium für Bildung und Forschung

Prof. Dr. Helmut J. Schmidt, Präsident der TU Kaiserslautern

Dr. Mattias Schmidt, Procter & Gamble Service GmbH

Prof. Dr. Wolfgang Wahlster, DFKI GmbH

Dr. Carola Zimmermann, Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur des Landes Rheinland-Pfalz

Das ITWM ist eingebunden in ein Netz nationaler und internationaler Kooperationen und Mitglied mehrerer Zusammenschlüsse innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft:

- Fraunhofer-Verbund »IuK-Technologie«
- Fraunhofer-Verbund »Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS« (Gaststatus)
- Fraunhofer-Allianzen »Automobilproduktion«, »Batterien«, »Big Data«, »Cloud Computing«, »Leichtbau«, »Numerische Simulation von Produkten, Prozessen«, »Textil«, »Verkehr« und »Vision«
- Fraunhofer-Innovationscluster »Digitale Nutzfahrzeug-technologie«
- Leistungszentrum »Simulations- und Software-basierte Innovation«

#### Weitere Kooperationen

- **Center for Mathematical and Computational Modeling (CM)<sup>2</sup>** am Fachbereich Mathematik der TU Kaiserslautern hat seinen Fokus auf mathematischen Anwendungen in den Ingenieurwissenschaften.
- **Felix-Klein-Zentrum für Mathematik FKZM**  
Das FKZM ist eine institutionelle Verbindung zwischen Fachbereich Mathematik der TU Kaiserslautern und Fraunhofer ITWM mit Schwerpunkt auf der Nachwuchsförderung, u. a. in Form von Modellierungswochen für Schulen, Stipendien und einem Mentorenprogramm für Mathematik-Studierende.
- **Science Alliance Kaiserslautern**  
Zusammenschluss von Studien- und Forschungseinrichtungen sowie Firmen in der Region Kaiserslautern



## LEISTUNGSZENTRUM »SIMULATIONS- UND SOFTWARE-BASIERTE INNOVATION« EINGERICHTET

Mit Leistungszentren verfolgt die Fraunhofer-Gesellschaft das Ziel der nachhaltigen Standortentwicklung. Das Fraunhofer-Konzept setzt dabei auf bestehende Kooperationen mit relevanten Akteuren aus der Wissenschaft und auf die regionale Vernetzung in die Wirtschaft. Somit werden alle Dimensionen einbezogen: Forschung und Lehre, Nachwuchsförderung, übergreifende Infrastrukturen, Innovation und Transfer in KMU sowie Großunternehmen. Das Konzept versteht sich als Instrument der innovations- und verwertungsorientierten Exzellenzsicherung in Schlüsselthemen für ausgewählte Regionen. In Kaiserslautern ist der intensive Austausch der Fraunhofer-Institute mit den beiden Hochschulen und die gute Kooperation mit der Wirtschaft seit Januar 2016 in einem Leistungszentrum institutionalisiert: Der Name »Simulations- und Software-basierte Innovation« ist Ausdruck wissenschaftlicher Stärken, die der Standort Kaiserslautern in den vergangenen beiden Jahrzehnten herausgebildet hat. Feierlich eingeweiht wurde es im März, mit vielen Vertretern aus Politik, Wissenschaft und Wirtschaft.

Unterteilt ist das Leistungszentrum in FuE-Labs und Anwenderzentren, die sich in ihren Schwerpunkten und ihrer Industrieorientierung unterscheiden. Die Forschungs- und Entwicklungs-Labs sind methodisch orientiert. Sie entwickeln Konzepte und Algorithmen in den unterschiedlichsten Bereichen mit den verschiedensten Schwerpunkten. Diese wiederum sind die Basistechnologien, die dann für die drei Anwenderzentren bereitstehen. Die Zentren spiegeln die starken Standortaktivitäten im Bereich Simulation:

- Zum einen die »Digitale Nutzfahrzeugtechnologie«, aufbauend auf dem Fraunhofer-Innovationscluster »Digitale Nutzfahrzeugtechnologie« und der Commercial Vehicle Alliance.
- Im Anwendungszentrum »MSO-basierte Verfahrenstechnik« werden auf Grundlage physikalischer bzw. datenbasierter Modellierung verfahrenstechnische Prozesse und Produkte simuliert und mit mathematischen Optimierungsverfahren kombiniert.
- Die »Smart Ecosystems« schließlich widmen sich neuen Methoden und Techniken des Software Engineerings in konkreten Anwendungsszenarien; Schwerpunkte bilden die Bereiche Medizin und Green Energy Grids.

In den ersten beiden Jahren erhält das Leistungszentrum vom Land Rheinland-Pfalz eine Anschubfinanzierung in Höhe von fünf Millionen Euro. Die Industriepartner – darunter BASF, Daimler, John Deere, Liebherr, Procter & Gamble, Robert Bosch, Schmitz Cargobull und Volvo Construction Equipment – beteiligen sich in dieser Zeit mit ebenfalls fünf Millionen Euro, die Fraunhofer-Institute mit einer Million Euro.

**1** Bei der feierlichen Einweihung im Fraunhofer-Zentrum (v.l.n.r):

*Dr. Mattias Schmidt (Procter & Gamble), Dr. Christoph Großmann (BASF), der Sprecher des Zentrums Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters (Fraunhofer ITWM), Prof. Dr. Arnd Poetzsch-Heffter (TU Kaiserslautern), Prof. Dr. Peter Liggesmeyer (Fraunhofer IESE) und Fraunhofer-Präsident Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer*





## FRAUNHOFER-CHALMERS RESEARCH CENTRE FOR INDUSTRIAL MATHEMATICS FCC

Einer der wichtigsten internationalen Partner des Fraunhofer ITWM ist das 2001 von der Fraunhofer-Gesellschaft und der Chalmers-Universität in Göteborg gegründete »Fraunhofer-Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics«, kurz FCC. Es hat eine ähnliche Mission wie das Fraunhofer ITWM und arbeitet vor allem mit unseren Abteilungen Mathematische Methoden in Dynamik und Festigkeit, Optimierung sowie Systemanalyse, Prognose und Regelung zusammen. Im Jahr 2015 wurden die wissenschaftliche und ökonomische Entwicklung sowie die künftige Strategie des FCC durch ein internationales Komitee evaluiert. Die erfolgreiche Bewertung zeigt, dass sich das Institut zu einer exzellenten Forschungseinrichtung entwickelt hat und sich als schwedisches Zentrum für Industriemathematik etablieren konnte. Zum Portfolio gehören Vertragsforschung, Service, Algorithmen und Software basierend auf modernen mathematischen Methoden im Bereich der Modellierung, Simulation und Optimierung (MSO), die in industrielle Innovationen für Produkte und Produktionssysteme fließen. Anwendungsgebiete sind Maschinenbau, Life Science, Papier- und Verpackungsindustrie, Elektronik sowie Informations- und Kommunikationstechnologien.

Das Fraunhofer-Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics gliedert sich in drei Abteilungen:

- »Geometrie und Bewegungsplanung« arbeitet eng mit dem Chalmers Wingquist Laboratory zusammen und entwickelt Simulationen für die automatische Pfadplanung, Dichtungen, flexible Materialien (beispielsweise Kabel und Schläuche) und bewegte Menschmodelle. Letztere sind vor allem für die ergonomische Ausgestaltung von Montageabläufen von Bedeutung.
- »Computational Engineering und Design« arbeitet an innovativen numerischen Methoden, schnellen Algorithmen und Engineering-Tools zur Unterstützung der virtuellen Produkt- und Prozessentwicklung. Die Anwendungen umfassen Fluidodynamik, Strukturmechanik und Elektromagnetik.
- »System- und Datenanalyse« bietet Kompetenz in Dynamischen Systemen, Vorhersage und Steuerung, Bild- und Videoanalyse, mathematische Statistik und Quality Engineering, sowohl in technischen als auch in biologischen und biomedizinischen Anwendungen.

Das FCC hat derzeit 45 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, der Haushalt betrug 2016 gut fünf Millionen Euro.

## DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT AUF EINEN BLICK

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

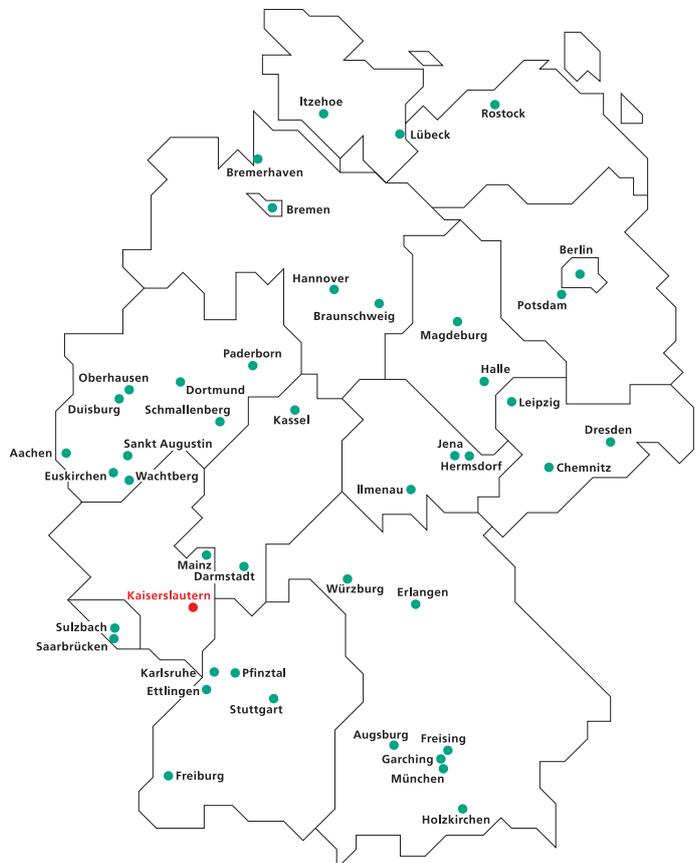
Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 69 Institute und Forschungseinrichtungen. 24.500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2,1 Milliarden Euro. Davon fallen über 1,9 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Mehr als 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787 – 1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.





## ABSCHIEDSFEIER FÜR VERWALTUNGSLEITERIN DR. MARION SCHULZ-REESE

**1** »Can't stop me now« – mit viel Herzlichkeit und einem Hauch Melancholie verabschiedete sich die Verwaltungsleiterin von ihrem Institut.

Dr. Marion Schulz-Reese, die langjährige Verwaltungsleiterin des Fraunhofer ITWM beendete Mitte 2016 ihr Arbeitsleben und wurde offiziell verabschiedet – von Wegbegleitern und vielen Gästen, die Anekdoten, Bilder, Filme und Musik beisteuerten. Sie sorgten für eine sehr kurzweilige Feier unter dem Motto »Abschiede sind Tore in neue Welten«.

An wichtige Stationen ihres Berufslebens erinnerte sich Marion Schulz-Reese gemeinsam mit dem Institutsgründer Professor Helmut Neunzert und weiteren beruflichen Mitstreitern. Dazu zählt auch die jetzige rheinland-pfälzische Finanzministerin Doris Ahnen, die das ITWM schon lange Jahre begleitet; erst als Staatssekretärin, danach als Bildungs- und Wissenschaftsministerin. Sie zeichnete Wege erfolgreicher Frauenförderung in Rheinland-Pfalz und natürlich auch erfolgreicher Frauen, die sich über die Jahre in verschiedenen Funktionen wiedertrafen – zum Beispiel als Ministerin und als Verwaltungsleiterin.

Dr. Dietmar Albrecht, heute Leiter Personalentwicklungsstrategie bei Volkswagen, lernte Ende der achtziger Jahre die Technomathematik und ihre Vermittlung kennen und schätzen; er sandte eine herzliche Videobotschaft aus Peking und erinnerte an die Anfänge der angewandten Mathematik in Kaiserslautern. Wichtig war ihm vor allem der Bereich Wissensvermittlung, als deren Epizentrum er Marion Schulz-Reese bezeichnete. Aus Indien meldete sich Professor Subbiah Sundar, einer der Alumni-Botschafter Kaiserslauterns, mit seiner gesungenen Hommage »Marion means success«. Weitere Wegbegleiter waren Prof. Vincenzo Capasso, mit dem 1988 der erste Workshop European Consortium for Mathematics in Industry organisiert wurde – damit war die Technomathematik europäisch – und Dr. Winfried Eschmann, am Fachbereich Mathematik der TU Kaiserslautern einer der Mitentwickler der mathematischen Modellierungswochen für Schüler und Lehrer. Professor Jens Struckmeier erinnerte an die Anfänge des ITWM als Landesinstitut in den Jahren 1995 bis 2000; in dieser Zeit stellte das Institut bereits seine Leistungsfähigkeit unter Beweis und wurde schließlich in die Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen.

Für diese bedankte sich die Direktorin der Hauptabteilung Personal, Elisabeth Ewen, und hatte eine kleine Überraschung dabei: den Fraunhofer-Taler. Mit dieser Auszeichnung ehrt die Fraunhofer-Gesellschaft verdiente Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Einen sehr emotionalen Schlusspunkt setzen die Kinder der Kita Klammer@ffchen, die sich singend von ihrer Mentorin verabschiedeten. Dass die Kita am Fraunhofer-Zentrum gebaut wurde, ist zu großen Teilen der Hartnäckigkeit von Marion Schulz-Reese geschuldet, die Stadt, Land und Fraunhofer-Gesellschaft von der Sinnhaftigkeit der arbeitsplatznahen Kinderbetreuung überzeugte.



## FESTKOLLOQUIUM FÜR INSTITUTSGRÜNDER PROFESSOR HELMUT NEUNZERT

Anlässlich des achzigsten Geburtstages von Institutsgründer Helmut Neunzert lud das Fraunhofer ITWM Ende September zu einer Festveranstaltung ins Fraunhofer-Zentrum. Gekommen sind neben Freunden und Kollegen auch viele der über vierzig Doktoranden, die Helmut Neunzert im Laufe seines Berufslebens betreute. Zu ihnen zählt auch Prof. Jens Struckmeier, der in seinen »Erzählungen von glücklichen Menschen« Neunzerts Werdegang anhand einer Dreiteilung skizzierte: Die glücklichen Jahre vor der Technomathematik – die Mathematische Modellierung an der TU Kaiserslautern – das neue Jahrtausend. In die letzte Phase fallen so bedeutende Ereignisse wie die Aufnahme in die Fraunhofer-Gesellschaft, die Mathematik-Initiative des Landes, die Gründung des Felix-Klein-Zentrums für Mathematik und viele Ehrungen, wie die Verleihung der Fraunhofer-Medaille und des Verdienstordens des Landes Rheinland-Pfalz.

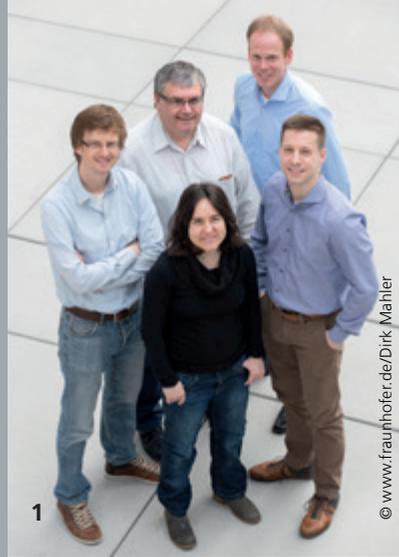
Sein Motto für die kommenden Jahre sei das Cicero-Zitat »Vor nichts muss sich das Alter eher hüten, als sich der Lässigkeit und Untätigkeit zu ergeben«, so Helmut Neunzert und verspricht, dem ITWM ein ferner, aber aufmerksamer Beobachter zu bleiben.

**1** *Der »Chor der Neunzert-Doktoranden« sang das Lieblingslied von Helmut und Renate Neunzert: »Die Gedanken sind frei«.*

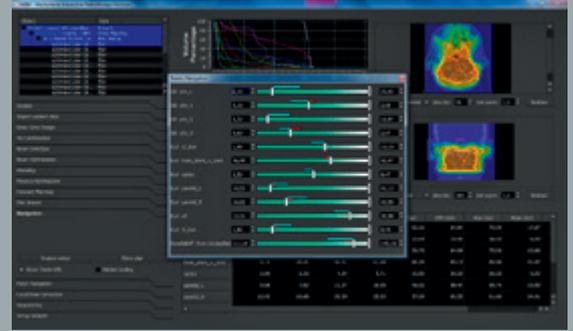
**2** *Verfahrenstechniker aus Wissenschaft und Wirtschaft vereinte der Workshop Ende September.*

## INTERNATIONALER WORKSHOP: MATHEMATISCHE METHODEN IN DER VERFAHRENSTECHNIK

Ganz im Sinne der Fraunhofer-Strategie zur Exzellenzförderung durch Bündelung vorhandener Expertise in Wissenschaft, angewandter Forschung und Industrie organisierte das Leistungszentrum »Simulations- und Software-basierte Innovation« am Fraunhofer ITWM einen internationalen Workshop. Gegenstand der zweitägigen Veranstaltung Mitte September, an der etwa 100 eingeladene Vortragende und Gäste aus Universitäten und der Industrie teilnahmen, waren mathematische Methoden in der Verfahrenstechnik. Modellierung, Simulation und Optimierung sind bei der Auslegung und Steuerung von Produktionsprozessen Schlüsseltechnologien zur Erhöhung der Produktivität und zur flexibleren Anpassung an die Erfordernisse globaler Märkte. Die methodischen Schwerpunkte des Workshops lagen entsprechend in den Gebieten »Prozessoptimierung« und »Prozesssimulation«, anwendungsorientierte Schwerpunkte waren »Granulare Strömung«, »Filtration« sowie »Fasern und Vliesstoffe«. Fazit der Teilnehmer: Der Workshop ist eine ausgezeichnete Gelegenheit für den Austausch zwischen Mathematikern, Ingenieuren und Naturwissenschaftlern auf dem Gebiet der Verfahrenstechnik und sollte in zweijährigem Rhythmus mit wechselnden Themenschwerpunkten weitergeführt werden.



1



2

## PREIS DES STIFTERVERBANDES FÜR »STRAHLEN-THERAPIE NACH MASS«

### 1 Die Preisträger:

*Philipp Süß, Karl-Heinz Küfer, Katrin Teichert, Alexander Scherrer und Michael Bortz*

2 Screenshot der Benutzeroberfläche: Mit den am ITWM entwickelten Techniken lassen sich alle Aspekte eines Therapieplans direkt beeinflussen.

Der Stifterverband zeichnet alle zwei Jahre wissenschaftlich exzellente Verbundprojekte der angewandten Forschung aus, die Fraunhofer-Institute gemeinsam mit der Wirtschaft und/oder anderen Forschungsorganisationen bearbeiten. Preisträger 2016 war das Fraunhofer ITWM im Verbund mit Deutschem Krebsforschungszentrum, Uniklinikum Heidelberg und Harvard Medical School/Mass General Hospital. Die Forscher der Arbeitsgruppe »Medizinische Strahlentherapieplanung« der Abteilung Optimierung entwickelten in enger Kooperation mit ihren interdisziplinären Partnern aus der medizinischen Anwendung eine Software zur effizienteren Ausgestaltung von Strahlentherapieplänen für Tumorpatienten.

Die interaktive und leicht zu bedienende Software verkürzt die Dauer der Strahlentherapieplanung deutlich, erleichtert das Finden einer guten Balance zwischen Therapiechance und eventuellen Nebenwirkungen und trägt letztlich zu verbesserten Heilungschancen bei. Die Jury betonte außerdem die breite Einsetzbarkeit des Verfahrens zur Behandlung der Volkskrankheit Krebs sowie den internationalen Marktbezug.

Das Ziel der Therapie ist es, Tumorzellen abzutöten, gesundes Gewebe aber zu schonen. Bisher hat der Mediziner seine Wünsche geäußert, der Strahlenphysiker überführte diese in einen Therapieplan. War der Arzt nicht zufrieden, arbeitete der Physiker nach. Man näherte sich dem Optimum an. Das Neue des mathematischen Ansatzes ist, dass man von Anfang an eine Lösungsvielfalt berechnet, aus der der Arzt eine für den Patienten bestmögliche auswählen kann. Um den Prozess zu verbessern, betrachteten die ITWM-Forscher Karl-Heinz Küfer, Michael Bortz, Alexander Scherrer, Philipp Süß und Katrin Teichert die Therapieplanung als mehrkriterielle Optimierungsaufgabe. Dabei muss ein ausgewogener Kompromiss zwischen etwa zehn bis fünfzehn teilweise gegenläufiger Planungsziele gefunden werden. Hierfür ist die Paretolösung ein besseres Konzept als die bisherige Versuche-und-Verwerfe-Strategie. Die Tumorkontrolle funktioniert durch die neue Planungssystematik besser, da der Tumor mit einer höheren Dosis bestrahlt werden kann; damit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass er dauerhaft vernichtet wird.

Bis Ende 2015 hatte das Unternehmen RaySearch Laboratories weltweit einige Hunderte Systeme verkauft. Mit der zusätzlichen Lizenzierung in 2016 durch den Weltmarktführer Varian Medical Systems wird die Technologie an über 20 000 Therapieplanungsplätzen weltweit verfügbar sein.



## INTEGRATION DES ZENTRUMS FÜR MATERIAL-CHARAKTERISIERUNG UND -PRÜFUNG

Messtechnik und Mathematik vernetzen sich seit Anfang 2017 noch enger im Fraunhofer ITWM, denn das Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung wechselte vom Freiburger Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik zum Kaiserslauterer Mathematik-Institut. Räumlich waren die Physiker schon länger vor Ort, denn bereits 2015 bezogen sie einen Anbau des Fraunhofer-Zentrums. Nun gehören die gut zwanzig Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auch organisatorisch zum Fraunhofer ITWM. Der Anbau verfügt über eine Gesamtnutzfläche von 1400 Quadratmetern; untergebracht sind dort Hochfrequenz-Messtechanlagen, Spektroskopiesysteme, Metall- und Elektronikwerkstatt, Chemielabor sowie eine Roboterarbeitsplatz.

**1** *Der Gebäudeteil des Zentrums für Materialcharakterisierung und -prüfung*

2005 begann die Projektgruppe »TeraTec« des Fraunhofer IPM in Partnerschaft mit der Technischen Universität Kaiserslautern, Terahertz-Wellen für die industrielle Anwendung nutzbar zu machen. 2010 entstand das Anwendungszentrum »TeraTec«, das Kunden aus der Industrie die Vorteile der Terahertz-Messtechnik unter einem Dach zugänglich macht. Die erfolgreiche Arbeit auf dem Gebiet der industriellen Terahertz-Messtechnik war Grundlage für die Entwicklung zum heutigen Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung. Unter dem Dach des Freiburger Fraunhofer IPM hat die Abteilung Materialcharakterisierung und -prüfung in den letzten zehn Jahren die Terahertz-Technologie zur Industriereife entwickelt. Insbesondere wurde mit der berührungslosen Schichtdickenmessung ein Anwendungsfeld erschlossen, dessen Erfolg zu wesentlichen Teilen auf der physikalischen Modellierung und der parallelen numerischen Auswertung der Messdaten beruht.

Die geschickte Kombination präziser Messung und leistungsfähiger Auswertalgorithmen ermöglichte den Durchbruch der Technologie. In der Materialprüfung lassen sich Defekte in Keramiken, Kunststoffen oder auch faserverstärkten Verbundwerkstoffen zerstörungsfrei aufspüren. Besonders Interesse gilt der Schichtdickenmessung, zum Beispiel in Lackierprozessen. Die Terahertz- und Millimeterwellen-Messtechnik sind insbesondere dann eine Alternative zu Ultraschallmessungen, wenn kein mechanischer Kontakt möglich oder gewünscht ist, aber auch zu Röntgenmessungen, wenn ionisierende Strahlen ein Problem darstellen.

Das Land Rheinland-Pfalz, die Fraunhofer-Gesellschaft und das Fraunhofer IPM unterstützen den Integrationsprozess in den nächsten drei Jahren durch ein Förderprojekt in Höhe von 1,6 Millionen Euro.



# TRANSPORTVORGÄNGE



---

Mit gitterfreien numerischen Methoden lassen sich viele industrielle Prozesse simulieren, vor allem aus dem Bereich der Strömungsmechanik. Ein besonders effizienter gitterfreier Solver ist die in der Abteilung entwickelte Finite Pointset Method, die kontinuierlich erweitert wurde. Dargestellt eine ausgewählte Anwendung (Simulation der Wasserdurchfahrt eines Fahrzeugs) mit einem unserer Hauptkooperationspartner.

DR. DIETMAR HIETEL  
DR. RAIMUND WEGENER  
ABTEILUNGSLEITER



Die Kernkompetenzen der Abteilung liegen in der mathematischen Modellierung komplexer industrieller Problemstellungen und der Entwicklung effizienter Algorithmen zur deren numerischer Simulation. Die konkreten Aufgabenstellungen sind im technisch-naturwissenschaftlichen Kontext (Strömungsdynamik, Strukturmechanik, Strahlungstransport, Optik etc.) angesiedelt und führen in der Modellierung auf partielle Differentialgleichungen, die meist als Transportgleichungen zu charakterisieren sind. Aus Sicht der industriellen Kunden geht es typischerweise um die Auslegung von Produktionsprozessen und die Optimierung von Produkten. Das Angebotsspektrum umfasst Kooperationsprojekte mit den ingenieurwissenschaftlich ausgerichteten FuE-Abteilungen der Partnerfirmen, Studien mit Auslegungs- und Optimierungsvorschlägen sowie verstärkt Softwarelösungen vom Baustein bis zum kompletten Tool. Das Jahr 2016 verlief für die Abteilung wirtschaftlich und wissenschaftlich sehr erfolgreich. In Verbindung mit der Einführung einer Doppelspitze in der Abteilungsleitung konnten die Gruppenstrukturen deutlich gestärkt und fokussiert werden. Die nachfolgenden Seiten geben einen Einblick in die methodischen Entwicklungen in den vier Gruppen, die in unterschiedlichen Anwendungen zum Einsatz kommen. Das Branchenspektrum reicht dabei vom Maschinen- und Anlagenbau, der Automobil- und Zuliefererindustrie, der Verfahrenstechnik, den Technischen Textilien, der Medizintechnik bis hin zum Energiesektor. Das Problemspektrum erstreckt sich von der Strömungsdynamik über Fluid-Struktur-Interaktion, Faserdynamik, Thermodynamik bis hin zu Energienetzen.

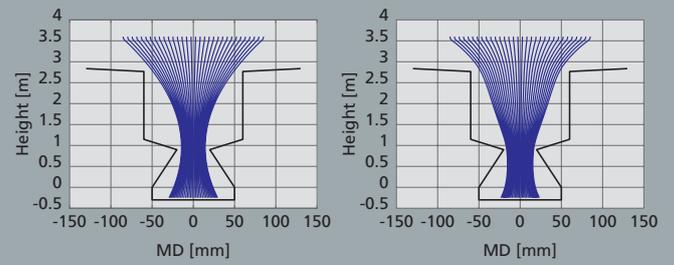
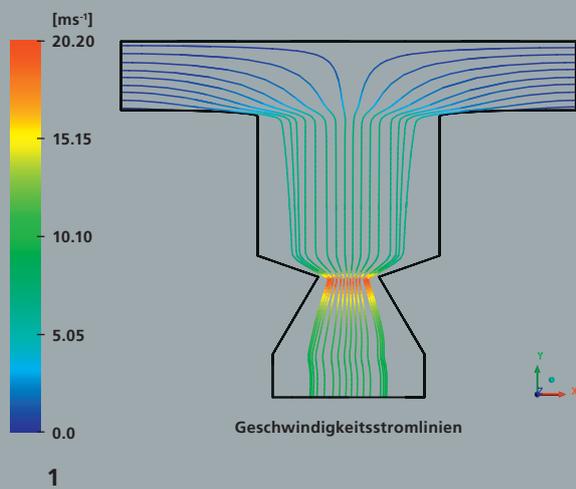
## SCHWERPUNKTE

- Flexible Strukturen
- Gitterfreie Methoden
- Strömungsdynamische Prozessauslegung
- Energienetze und Modellreduktion

### Kontakt

dietmar.hietel@itwm.fraunhofer.de  
raimund.wegener@itwm.fraunhofer.de  
www.itwm.fraunhofer.de/tv





## MODELLIERUNG UND SIMULATION VISKOELASTISCHER SPINNPROZESSE

1 *Aerodynamisches Geschwindigkeitsfeld eines Spinnprozesses; die Stromlinien sind mit der Feldstärke koloriert.*

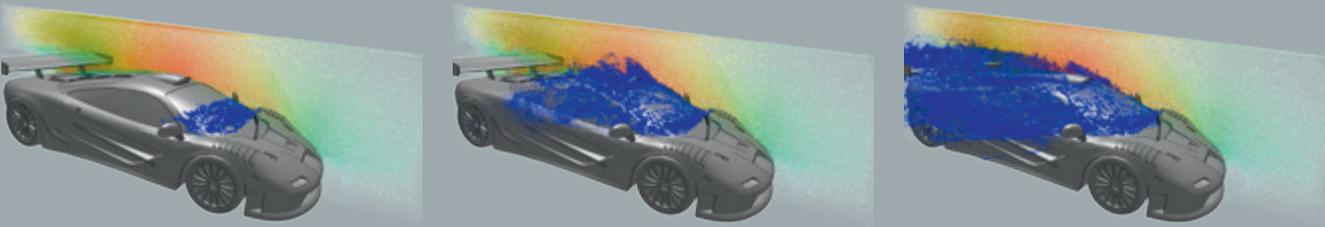
2 *Faserdynamik mit viskosem (links) und viskoelastischem (rechts) Materialmodell*

In Spinnprozessen entstehen nach dem Austritt der Schmelze aus dem Spinnpaket an jeder Spinndüse heiße Flüssigkeitsstrahlen, die aerodynamisch oder mechanisch verzogen werden. Durch die Abkühlung bilden sich verfestigte biegeelastische Fasern. Prozesssimulationen und darauf aufbauende Prozessauslegungen erfordern eine geeignete Materialmodellierung, die den vollen Bereich vom viskosen Verhalten an der Düse bis hin zum elastischen Verhalten der entstehenden Faser abdeckt.

In den letzten Jahren hat das Fraunhofer ITWM ein neues viskoelastisches Materialgesetz für Cosserat-Rod-Modelle entwickelt und damit einen großen Fortschritt in der realistischen Simulation von Spinnprozessen erzielt. Cosserat-Rod-Modelle basieren auf der eindimensionalen Bilanzierung von Masse, Impuls, Drehimpuls und Energie entlang der Faserkurve. Klassische Simulationen mit viskosen Materialmodellen liefern eine nicht korrekte Dynamik der abgekühlten Fasern, da diese keine Biegefähigkeit ausprägen können. Das neue viskoelastische Modell hingegen überwindet diese Problematik und liefert im gesamten Prozessverlauf realistische Ergebnisse. Im Grenzfall hoher Temperaturen zeigt das Modell wie gewünscht viskoses Materialverhalten und für tiefe Temperaturen biegeelastisches Verhalten.

An einem einfachen zweidimensionalen Beispiel erkennt man die Bedeutung der viskoelastischen Materialmodellierung: Ein Faserbündel verlässt das Spinnpaket, so dass die Fasern durch die von beiden Seiten angeblasene Luft gekühlt und verstreckt werden. Sie durchlaufen nachgelagert eine Geometrierengung, in der die Luftströmung beschleunigt und damit die Verstreckung verstärkt wird. Die Abbildungen zur Faserdynamik zeigen Simulationen mit jeweils viskosem bzw. viskoelastischem Materialgesetz. Im Falle des viskosen Materialverhaltens können die Fasern fälschlich bereits nach kurzer Lauflänge aufgrund der Abkühlung ihre Krümmung nicht mehr ändern. Das viskoelastische Modell hingegen erfasst auch Biegungen der abgekühlten Fasern und erlaubt damit die Simulation der tatsächlichen Gesamtdynamik.

Das Fraunhofer ITWM setzt das neue Modell in Kopplung mit einer Modellbibliothek zur Strömungs-Interaktion höchst erfolgreich ein, um systematisch die Auslegung neuer Anlagen zur Herstellung von Fasern zu unterstützen und bestehende Prozesse weiter zu optimieren.



1

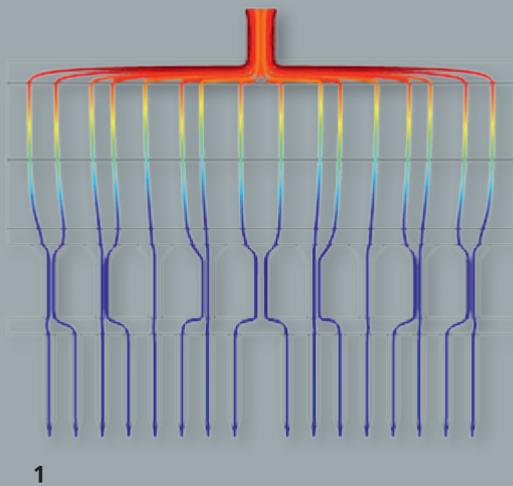
## GITTERFREIE SIMULATION IN DER STRÖMUNGS- UND KONTINUUMSMECHANIK

Gitterfreie numerische Methoden werden mit wachsender Intensität für die Simulation industrieller Prozesse und Vorgänge angewendet, insbesondere für strömungsmechanische oder kontinuumsmechanische Aufgabenstellungen. Die Abteilung Transportvorgänge entwickelt mit der Finite Pointset Method (FPM) seit dem Jahr 2000 eine eigene originäre gitterfreie Simulationsmethode und -software. FPM basiert auf einer nichtvernetzten Wolke numerischer Punkte, die das Kontinuum abbilden und sich mit der Materialgeschwindigkeit bewegen (Lagrange-Methode). Dadurch erlaubt FPM eine sehr einfache und natürliche Modellierung von Vorgängen mit freien Oberflächen, Phasengrenzen und bewegten Teilen der Geometrie.

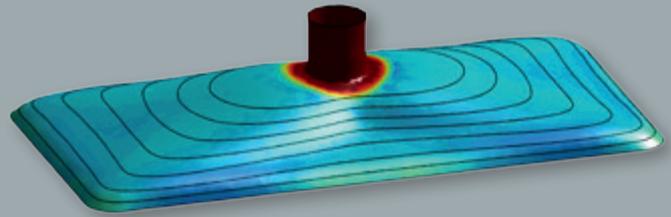
Seit 2002 ist der Fokus hauptsächlich auf die Entwicklung einer impliziten FPM-Variante gerichtet, mit der inkompressible oder schwach kompressible Vorgänge (kleine Machzahlen) numerisch abgebildet werden können. Seit 2014 arbeitet das ITWM zusammen mit dem Fraunhofer SCAI im Fraunhofer-internen WISA-Projekt MESHFREE an der Einbindung des algebraischen Multigrid-Verfahrens (SAMG) in die FPM-Software. SAMG wird dabei speziell an den gitterfreien Charakter von FPM angepasst. Mit der gekoppelten Variante FPM-SAMG können die aus der impliziten Formulierung entstehenden großen, schwach besetzten Gleichungssysteme wesentlich schneller und robuster gelöst werden. Einige industrielle Anwendungen sind durch diese Kopplung überhaupt erst machbar geworden.

Mit dem gekoppelten Ansatz wurden 2016 bereits erfolgreich Industrieprojekte durchgeführt. In der dargestellten Anwendung wurde neben der Kopplung mit SAMG auch eine Kopplung von zwei FPM-Simulationen umgesetzt. Dabei berechnet die eine Simulation die Luftströmung um ein Fahrzeug, während die andere Simulation den Ablauf von Regen- bzw. Sprühwasser modelliert. Beide Simulationen tauschen miteinander Informationen aus. Die Sprühwassersimulation benötigt Daten aus der Luftphase, hauptsächlich Geschwindigkeit und Druck, die Luftsimulation benötigt Input über die aktuelle Lage, Größe und Anzahl der Sprühwassertropfen. Beide Berechnungen benutzen wiederum das eingebundene SAMG-Verfahren. Klassische gitterbasierte Simulationsmethoden können solche Vorgänge nur schwer abbilden. Die MESHFREE-basierte Numerik eröffnet somit völlig neue Horizonte im Design-Prozess von Fahrzeugen oder Bauteilen.

**1** *Interaktion von Luft- und Gischtrömung um ein Fahrzeug zu verschiedenen Simulationszeiten*



1



2

## ANALYSE UND OPTIMIERUNG VON POLYMER-SPINNPAKETEN

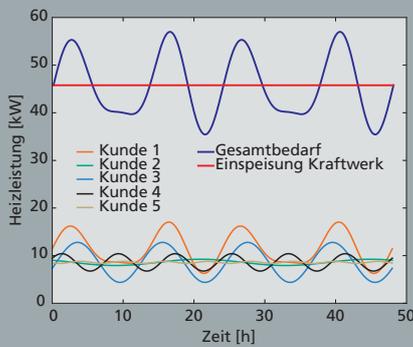
**1** Bahnen der Polymerpartikel durch ein typisches Spinnpaket

**2** Optimierte Verteilerkavität zwischen Einströmrohr und Filter

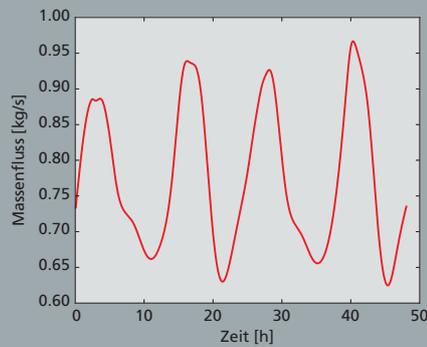
Spinnpakete kommen bei der Produktion synthetischer Fasern aus Polymerschmelze zum Einsatz. Typischerweise wird das Polymer unter Druck im Spinnpaket verteilt, durchläuft mehrere Lagen von Filtern und wird in der Spinnplatte durch feine Kapillaren gepresst und so zu Fasern versponnen. Abhängig von den Prozessparametern, dem verwendeten Polymer und Anforderungen an das fertige Produkt kommt es in realen Prozessen zu unterschiedlichsten Problemen: Zu lange Verweilzeiten unter Temperaturbelastung oder hohe Scherraten können zu Degradation des Polymers führen. Hohe Druckabfälle sind ungünstig für die Prozessführung und reduzieren den möglichen Durchsatz.

Das ITWM nutzt Strömungssimulationen in Kombination mit selbstentwickelten Analysewerkzeugen, um Schwachstellen im Design der Spinnpakete zu identifizieren. Für die Strömungssimulation kommt dabei ANSYS Fluent als Standardwerkzeug zum Einsatz. Die nichtnewtonsche Polymerrheologie wird über Modelle für die scher- und temperaturabhängige Viskosität beschrieben. Ein Schlüsselaspekt liegt in der Interpretation der Simulationsergebnisse. Dazu wird eine repräsentative Anzahl von Bewegungsbahnen der Polymerpartikel durch das gesamte Paket verfolgt. Relevante Größen wie Verweilzeit, Druck, Temperatur oder Scherrate werden entlang dieser Bahnen ausgewertet. Dies geschieht sowohl für das Gesamtpaket als auch für die einzelnen Komponenten, so dass schlussendlich jedes identifizierte Problem auf die verursachende Komponente zurückgeführt werden kann. Hohe Verweilzeiten, die zur Degradation des Polymers führen können, treten beispielsweise häufig in der Verteilerkavität, die am Übergang zwischen dem Einströmrohr und den Filtern liegt, auf. Mit den am ITWM entwickelten Geometrieoptimierungs-Methoden können solche Kavitäten strömungsoptimal und frei von schädlichen Totzonen ausgelegt werden. Hohe Druckabfälle treten hingegen eher in feinen Zuleitungskanälen, wie sie in Bikomponenten-Spinnpaketen notwendig sind, auf. Hier ermöglicht die simulationsgestützte Analyse eine gezielte Designverbesserung. Damit entfallen teure Trial-and-Error-Versuche und Fehlkonstruktionen werden vermieden.

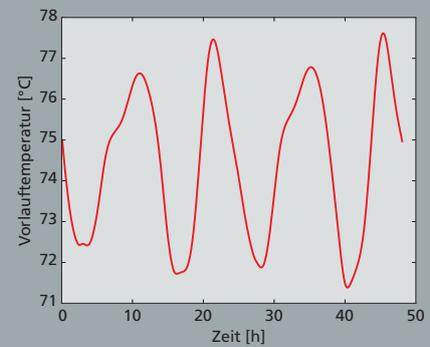
Das ITWM hat in den vergangenen Jahren eine breite Kompetenz auf diesem Gebiet aufgebaut. Diese umfasst sowohl die Analyse und Optimierung bestehender Designs als auch die Unterstützung bei der Auslegung neuer Pakete. Neben Ein- und Bikomponenten-Paketen können auch andere polymerführende Systeme, wie beispielsweise Polymerfilteranlagen, betrachtet werden. Die Auswertung umfasst sowohl die Detektion der typischen Fehlerquellen als auch eine gezielte Suche nach anwendungsspezifischen Problemen. Zur Optimierung stehen generische Werkzeuge bereit, die zu maßgeschneiderten Lösungen erweitert werden können.



1



2



3

## DYNAMISCHE NETZSIMULATION ZUR EFFIZIENZ- STEIGERUNG IN DER FERNWÄRMEERZEUGUNG

Fernwärmenetze dienen im Wesentlichen der Versorgung mit Wärme und Warmwasser. Die Betreiber von Fernheizkraftwerken (FHKW) erwirtschaften einen Gutteil ihres Erlöses auch durch den Verkauf von Strom, der durch Kraft-Wärme-Kopplung parallel zur Wärmeerzeugung anfällt. Die Einbeziehung und dynamische Regelung des Fernwärmenetzes als Energiespeicher kann dabei helfen, Turbinen effizient zu betreiben und vorhandene Speicherkessel optimal einzusetzen. Die Optimierung der Betriebsabläufe des FHKWs setzt voraus, dass alle seine Komponenten so genau wie möglich mathematisch abgebildet werden. Für das Fernwärmenetz bedeutet dies, dass man nicht nur statische Zustände, sondern seine gesamte zeitliche Dynamik berücksichtigen muss.

Gegenwärtige Software zur Betriebsunterstützung von FHKWs beschäftigt sich entweder mit dem optimalen Einsatz der lokalen Betriebsmittel des FHKWs, wobei das Fernwärmenetz nur als strukturlose Senke behandelt wird, oder es werden fein ortsaufgelöste hydrothermische Modelle des Leitungsnetzes betrachtet, um die Versorgung aller Kunden zu garantieren, ohne die Simulation jedoch in eine Gesamtoptimierung mit schwankenden Betriebsbedingungen einzubinden. Ziel des Projekts, das vom BMWi gefördert und gemeinsam mit der GEF Ingenieur AG und den Technischen Werken Ludwigshafen (TWL) durchgeführt wird, ist die Integration des dynamischen Netzmodells in die Betriebsoptimierung. Bereits die dynamische Simulation des Fernwärmenetzes ist für die Netzbetreiber von großem messbarem Nutzen. So kann beispielsweise die am Kraftwerk bereitgestellte Vorlauftemperatur und der in das Netz gepumpte Massenfluss in Abhängigkeit vom zeitlich variierenden Wärmebedarf der Verbraucher so geregelt werden, dass die vom Kraftwerk bereitgestellte Leistung konstant ist und trotzdem Verbrauchsspitzen sicher bedient werden können. Das Zuschalten von Gasturbinen zur zusätzlichen teuren Wärmeproduktion wird so minimiert bzw. gänzlich vermieden.

Für eine umfassende Betriebsoptimierung besitzt das benutzte Fernwärmenetzmodell bei weitem zu viele Freiheitsgrade. Es muss deutlich komprimiert werden, ohne wesentliche Einbußen bei der Vorhersage von Drücken und Temperaturen zu erzeugen. Genutzt werden dabei mathematische Methoden der parametrischen Modellreduktion. Die zu lösenden Optimierungsprobleme zeichnen sich dadurch aus, dass die Randbedingungen aus Prognosen für stochastisch fluktuierende Verbräuche und Preise stammen. Zur Verbesserung der Prognosemodelle werden Simulationen für historische Zeitreihen durchgeführt. Um den Mehrwert des neuen Ansatzes für die Branche darzustellen, wird ein Software-Assistent entwickelt und damit Potenzialanalysen für das FHKW der TWL durchgeführt.

*Deckung eines periodisch variierenden Verbrauchs über konstante Einspeisuleistung durch kombinierte Regelung von Massenfluss und Vorlauftemperatur:*

**1** *Variierender Verbrauch der Kunden und konstante Einspeisuleistung*

**2** *Regelung des Massenflusses*

**3** *Regelung der Vorlauftemperatur*



# STRÖMUNGS- UND MATERIALSIMULATION



Gerät zur dynamisch-mechanischen Thermo-Analyse (DMTA) für die präzise inhouse Charakterisierung von Materialparametern, die für die Mikrostruktursimulation von porösen Medien und Verbundwerkstoffen benötigt werden. Mithilfe der Stickstoffkühlung und des Hygromators können Messungen in einem großen Temperatur- und Feuchtebereich durchgeführt werden. Schließlich dient das Gerät zur Validierung von Simulationsergebnissen.



---

Die Abteilung entwickelt Multiskalenmethoden und Softwaretools für die Produktentwicklung und deren Prozessauslegung. Typisch ist die simulationstechnische Beherrschung der wechselseitigen Beeinflussung von Fertigungsverfahren und -restriktionen mit multifunktionalen lokalen Materialeigenschaften bei dynamischen Beanspruchungen kompletter Bauteile. Die Alleinstellung liegt in Entwicklung, Bereitstellung und spezifischer Anwendung von industriell tauglichen Multiskalen- und Multiphysics-Methoden und firmenspezifischen Softwarelösungen. Die Abteilung unterteilt sich in zwei größere Kompetenzbereiche: »Computergestütztes Materialdesign und Mikrostruktursimulation« ermöglicht die numerische Simulation und Optimierung funktionaler Eigenschaften von porösen Materialien und Verbundwerkstoffen. Intensiv nachgefragt sind unsere hocheffizienten mikromechanischen Methoden zur Materialauslegung faserverstärkter Verbundwerkstoffe und technischer Textilien. Die »simulationsgestützte Auslegung komplexer Strömungsprozesse« befasst sich unter anderem mit den dazugehörigen Herstellungsprozessen wie Mischen, Dispergieren, Einspritzen, Filtrieren, Beschichten und Separieren. Schwerpunkte der industriellen Anwendung sind Filtrations- und Separationsprozesse sowie die Produktauslegung von Filteranlagen oder anderer verfahrenstechnischer Apparate. Die Anwendungsprojekte im Bereich Elektrochemie befassen sich mit verschiedensten Aspekten sowohl bei der Materialauslegung von Batterie- oder Brennstoffzellen wie auch mit deren Herstellung, z. B. dem Befüllen von Batteriezellen.

## **SCHWERPUNKTE**

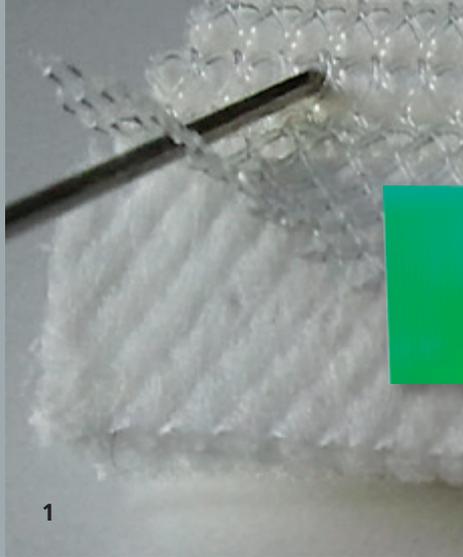
- Computergestütztes Materialdesign und Mikrostruktursimulation
- Simulationsgestützte Auslegung komplexer Strömungsprozesse
- Technische Textilien und Vliesstoffe
- Leichtbau und Dämmstoffe
- Filtration und Separation
- Elektrochemie und Batterien

---

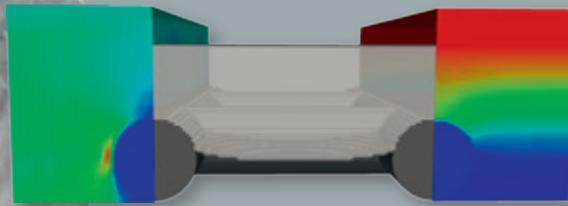
### **Kontakt**

[konrad.steiner@itwm.fraunhofer.de](mailto:konrad.steiner@itwm.fraunhofer.de)  
[www.itwm.fraunhofer.de/sms](http://www.itwm.fraunhofer.de/sms)

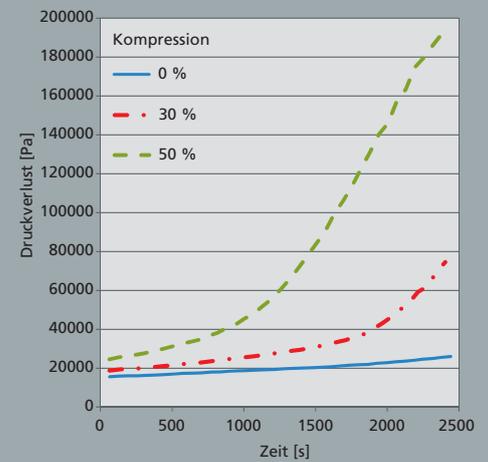




1



2



3

## MODELLIERUNG UND SIMULATION ZUR OPTIMIERUNG VON MEHRLAGIGEN FILTERMEDIEN

1 *Abdrücke des Stützgewebes im Filtermaterial im Zuge der Faltenlegung*

2 *Simulierte Verdichtung des Filtermaterials und der damit verbundenen Auswirkungen; links: Strömungsgeschwindigkeit, Mitte: Form des Filtervlieses, rechts: Druckverteilung der Strömung*

3 *Zeitliche Entwicklung des Druckverlusts infolge der Beladung für unterschiedlich ausgeprägte Kompressionen des Filtermaterials*

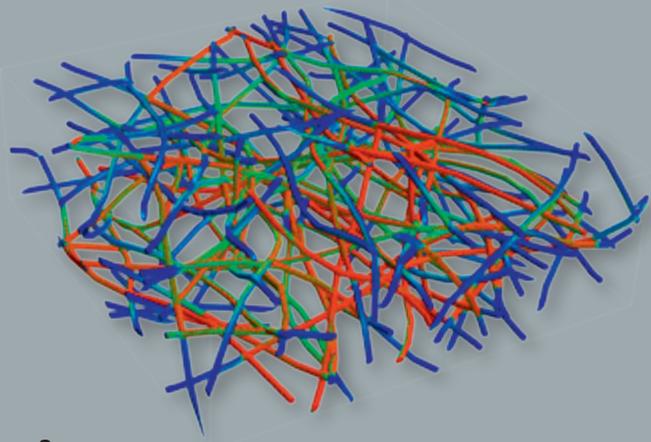
In vielen Filtrationsanwendungen hat sich gezeigt, dass spezialisierte Simulationssoftware die Entwickler von Filtermedien und -elementen bei der Produktinnovation und -optimierung unterstützt. Für die Aussagekraft der Simulationsergebnisse sind hier speziell Materialparameter wie Faservolumenanteil (Porosität), Strömungswiderstand (Permeabilität) und strukturmechanische Eigenschaften entscheidend für eine möglichst zuverlässige rechnergestützte Vorhersage.

Die Entwicklung von Filtermaterialien, welche eine hohe Schmutzaufnahmekapazität und Filtereffizienz bei gleichzeitig möglichst geringem Druckverlust bieten, ist eine große Herausforderung und entsprechend selten können homogene Filtermaterialien alle diese Ansprüche erfüllen. In vielen Fällen bestehen Filtermedien aus mehreren Lagen, wobei die Filtervliese mit Stützgeweben kombiniert werden, um auch bei hohen Volumenströmen die erforderliche mechanische Stabilität zu besitzen. Bei der Verarbeitung der einzelnen Lagen zu einem Medium (z. B. beim Plissieren) kommt es zu einer Kompression des mehrlagigen Aufbaus, und das Stützgewebe wird in die weicherer Vliesstoffschichten gedrückt. Dies führt lokal zu teilweise erheblichen Materialverdichtungen, die sich auf den Strömungswiderstand und die Filtrationseigenschaften auswirken. Rein empirische Herangehensweisen bei der Identifizierung geeigneter Materialkombinationen, optimaler Lagendicken und des geeigneten Fertigungsprozesses auf das Produkt sind mit erheblichem Aufwand verbunden.

Im Projekt »Virtuelle Werkbank zur Optimierung von Filtermedien« (ViWOFiM) werden Modelle und Algorithmen entwickelt, die die Entwicklung für solche Filtermaterialien erheblich beschleunigen können. Grundlage hierfür ist die Kopplung der Softwarepakete FeelMath und FiltEST, die in der Abteilung entwickelt werden. Unter Verwendung bekannter mechanischer Eigenschaften der Ausgangsmaterialien und Vorgabe eines Kompressionsgrades für den gesamten Lagenaufbau berechnet FeelMath die lokalen Deformationen in den einzelnen Komponenten. Die so gewonnenen lokalen Materialverdichtungen werden mithilfe geeigneter Modelle in eine Permeabilitätsverteilung des komprimierten Lagenaufbaus übersetzt. Das Strömungsmodul der Software FiltEST verwendet dies, um die Geschwindigkeits- und Druckverteilung zu berechnen und einen effektiven Strömungswiderstand abzuleiten. In ähnlicher Weise lassen sich die lokalen Filtrationseigenschaften in Abhängigkeit der lokalen Materialverdichtung bestimmen. Eine anschließende Filtrationssimulation liefert zusätzlich die effektive Filtereffizienz des komprimierten mehrlagigen Mediums.



1



2

## MIKROMECHANISCHE SIMULATION DER RESILIENZ VON VLIESTOFFEN

Vliesstoffe sind ein wichtiger Bestandteil in diversen Produkten mit verschiedenen Anwendungsgebieten, z. B. Hygieneprodukte, Dämmstoffe oder Filter. In der Regel werden sie auf einer Reihe großer Anlagen hergestellt; daher gestalteten sich experimentelle Designstudien zur Optimierung dieser Vliesstoffstrukturen aufwändig. Es gibt sehr viele Designparameter, wie z. B. Fasern, Flächengewicht oder Vliesverfestigungstyp, welche die Vliesstoffeigenschaften beeinflussen. Zum Austausch eines einzelnen Parameters, beispielsweise des Fasermaterials, muss der vollständige Produktionsprozess vom Faserspinnen über die Faserablage bis hin zur Vliesverfestigung umgestellt werden. Im Anschluss an die Produktion eines solchen Prototyps wird eine aufwändige experimentelle Charakterisierung der Vliesstoffeigenschaften benötigt. Aufgrund dieser kostenintensiven Produktion und Charakterisierung sind detaillierte Studien mit mehreren Designparametern unwirtschaftlich.

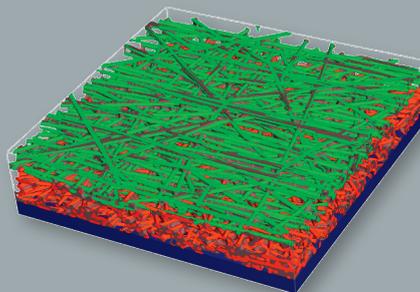
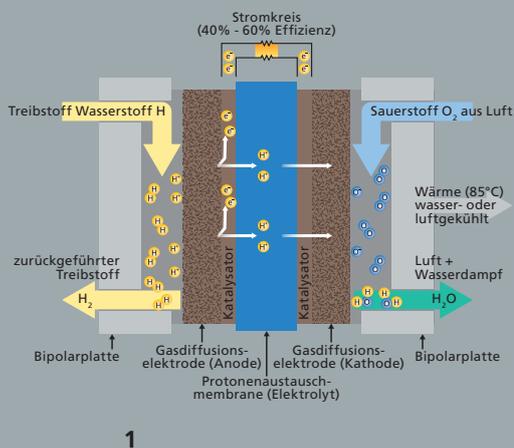
Daher werden am Fraunhofer ITWM in Kooperation mit der Procter & Gamble Service GmbH mikromechanische Simulationsmodelle entwickelt. Mithilfe dieser Modelle können die effektiven Vliesstoffeigenschaften numerisch für verschiedenste Designparameter vorhergesagt werden. Zum virtuellen Austausch einzelner Parameter werden in diesem Ansatz lediglich die entsprechenden Eingangsgrößen im Modell angepasst.

Der Fokus der numerischen Vorhersagen liegt hierbei vor allem auf dem zeitabhängigen Verhalten der Vliesstoffe. Die dynamischen Eigenschaften können durch numerische Nachbildung von zyklischen Messungen bestimmt werden. Dabei wird eine gute Übereinstimmung von Simulation und Messungen erzielt. Im Gegensatz zu Experimenten verlängert sich die benötigte Simulationszeit für das Verhalten bei niedrigen Frequenzen nicht. Somit sind durch die numerischen Modelle schnelle Vorhersagen für das Langzeitverhalten (Monate bis Jahre) und die entsprechende Resilienz von Vliesstoffen möglich. Sehr viele Varianten können innerhalb weniger Stunden simuliert und studiert werden. Ein weiterer Vorteil des mikromechanischen Ansatzes besteht darin, dass nicht nur effektive (makroskopische) Vliesstoffeigenschaften berechnet werden, sondern auch lokale Größen wie Spannungsverteilungen in Binder und Fasern bestimmt werden. Somit trägt die Simulation zum besseren Verständnis von Vliesstoffeigenschaften bei.

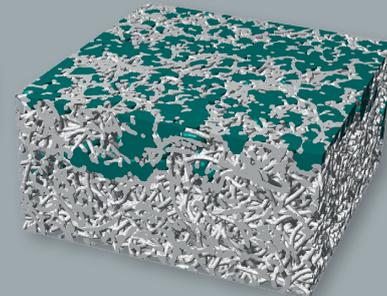
Zukünftige Entwicklungen beschäftigen sich mit der Erweiterung der Modelle in Richtung der Simulation des Herstellungsprozesses. Dies ermöglicht eine vollständige digitalisierte Auslegung von Vliesstoffen vom Herstellungsprozess bis hin zur Optimierung der Funktionalität.

**1** *Im Computer generiertes Mikrostrukturmodell eines Vliesstoffes mit einer typischen anisotropen Faserorientierungsverteilung*

**2** *Berechnete lokale Spannungen in den Fasern (rot: hohe Spannung, blau: niedrige Spannung), wenn der Vliesstoff zusammengedrückt wird. Diese Spannungen beeinflussen wesentlich die Vliesstoffeigenschaften.*



2



3

## OPTIMIERUNG DER GASDIFFUSIONSSCHICHT ZUM EINSATZ IN PEM-BRENNSTOFFZELLEN

1 *Schematischer Aufbau einer PEM-Brennstoffzelle*

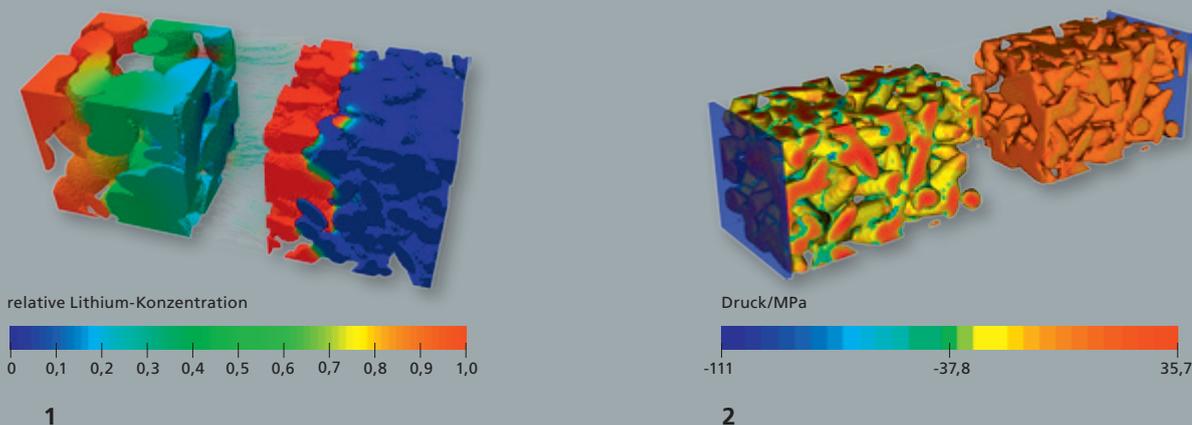
2 *Modell einer Gasdiffusionsschicht mit mikroporöser Schicht*

3 *Porosimetrie – Simulation des Eindringens von Wasser in die Gasdiffusionsschicht*

Wasserstoff als alternativer Energieträger wird bei zunehmend dezentraler Energieversorgung und schwindenden Ölreserven in Zukunft eine immer größere Rolle spielen. Die im Wasserstoff gespeicherte Energie kann mithilfe von Brennstoffzellen in nutzbare elektrische Energie umgewandelt werden. Vereinfacht gesprochen funktioniert eine solche Zelle wie folgt: Der zur Anode geführte molekulare Wasserstoff spaltet sich unter Abgabe von zwei Elektronen in  $H^+$ -Ionen auf. Während die Elektronen über einen externen Stromkreislauf zur Energiegewinnung genutzt werden, diffundieren die  $H^+$ -Protonen durch eine elektrolytische Membran zur Kathode. Dort reagieren die Protonen und die rücklaufenden Elektronen mit dem Sauerstoff der Luft zu Wasser.

Um die optimale Zufuhr von Sauerstoff zur Kathode und gleichzeitig den Abtransport des entstehenden Wassers zu garantieren, befindet sich zwischen Kathode und Luftzufuhrkanal eine sogenannte Gasdiffusionsschicht. Diese besteht in der Regel aus Karbonfaser-Vliesstoffen und einer mikroporösen Schicht aus Ruß. Durch Hydrophobisieren dieser Schicht wird für den Wasserabtransport gesorgt. Innerhalb des vom BMBF geförderten Forschungsverbundes OPTIGAA 2 arbeitet das Fraunhofer ITWM daran, Gasverteilerschichten mithilfe der Software GeoDict zu modellieren und Materialeigenschaften wie Strömungswiderstand und Diffusionswiderstand zu berechnen. Insbesondere werden hierbei die Materialeigenschaften bei unterschiedlichen Wassersättigungen der Diffusionsschicht, wie sie auch im Betrieb der Brennstoffzelle vorkommen, untersucht. Mithilfe der Porenmorphologiemethode können diese sättigungsabhängigen Materialkenngrößen auf einfache und effiziente Weise bestimmt werden.

Ziel des Forschungsverbunds ist es, das rechnergestützte Design von Brennstoffzellen zu ermöglichen. Dazu werden gemeinsam mit den Verbundpartnern Methoden erarbeitet, die einen Skalenübergang zwischen Feinstruktur, Brennstoffzelle und Brennstoffzellenstack erlauben. So können die am ITWM errechneten Materialparameter der verschiedenen Gasdiffusionsschichten in CFD-Simulationen der Brennstoffzelle benutzt werden. Insgesamt kann somit der Einfluss eines unterschiedlichen Komponentendesigns auf die gesamte Zelle untersucht und die entsprechende Komponente dementsprechend optimiert werden.



## ELEKTROCHEMISCHE SIMULATION VON LI-IONEN-BATTERIEN: VOLUMENÄNDERUNG UND PHASENSEPARATION

Der verstärkte Ausbau der Elektromobilität erfordert eine Verbesserung der Kernkomponente eines Elektrofahrzeugs: der Lithium-Ionen-Batterie als Energiespeicher. Aufgrund ihrer hohen Kosten muss ihre Lebensdauer deutlich erhöht werden. Das Verständnis der limitierenden Degradationsmechanismen ist daher für die Industrie unbedingt notwendig. Ein wesentlicher Degradationseffekt resultiert aus der Volumenänderung einiger Anodenmaterialien während der Interkalation von Lithium-Ionen: So ändert z. B. Silizium, das durch seine hohe gravimetrische Kapazität als sehr vielversprechendes neues Anodenmaterial gilt, sein Volumen um 300 Prozent. Die entstehenden mechanischen Spannungen können zu Rissen innerhalb der Elektrode und so zum Kapazitätsverlust führen.

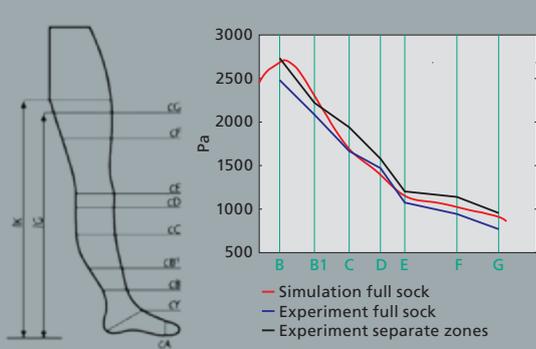
Um diese Einflüsse besser bewerten zu können, wurden im AiF-Projekt ALIB (Ausdehnung von Li-Ionen-Batteriezellen) die bestehenden elektrochemischen Simulationsmodelle, wie sie in unserer Software BEST (Battery and Electrochemistry Simulation Tool) implementiert wurden, derart erweitert, dass auch mechanische Effekte wie die Volumenänderung beachtet werden. Grundsätzlich berechnet BEST den Ionen- und Ladungstransport in der Batterie, um prädiktive Aussagen über das Batterieverhalten machen zu können. Hierzu kann die 3D-Mikrostruktur der Elektroden berücksichtigt werden, die sich z. B. aus der Rekonstruktion bildgebender Verfahren ergibt. In Zusammenarbeit mit unseren Kooperationspartnern am Helmholtz-Institut Ulm wurde die ursprüngliche Modellierung dahingehend erweitert, dass nun auch die von der Lithium-Konzentration abhängige Volumenänderung sowie der Aufbau mechanischer Spannungen beschrieben werden können. Zusätzlich wird der durch inhomogene mechanische Spannungen bedingte Einfluss auf den Ionen- und Ladungstransport und die Interkalationsreaktion berücksichtigt. Die numerische Lösung erfolgt über eine Kopplung unseres Batterielösers BEST mit unserem Mechaniklöser FeelMath, der die mechanischen Gleichungen hocheffizient über eine Fourier-Methode berechnet.

Für bestimmte Ladezustände zeigen manche Elektrodenmaterialien darüber hinaus ein Phasenseparationsverhalten in eine Li-reiche und eine Li-arme Phase. Es wird erwartet, dass dies mechanische Degradation noch einmal verstärken kann. Durch Hinzufügen eines Phasenfeldmodells ist es gelungen, die Effekte von Elektrochemie, Mechanik und Phasenseparation inklusive der Wechselwirkung mit dem Elektrolyten unter Berücksichtigung der Elektrodenmikrostruktur numerisch zu beschreiben. Auf diese Weise lässt sich nicht nur das durch die Mechanik beeinflusste Batterieverhalten vorhersagen, sondern auch das Risiko mechanischer Degradation abschätzen.

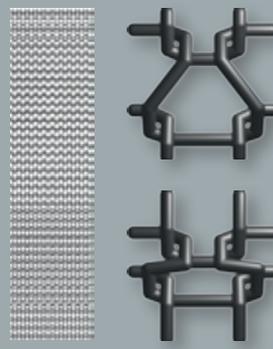
**1** *Simulierte Konzentrationsverteilung im Elektrodenmaterial: Während sich die Ionen in der linken Elektrode durch reine Diffusion bewegen, zeigt die Elektrode rechts deutlich das Phasenseparationsverhalten in eine klar getrennte Li-reiche (rot) und eine Li-arme (blau) Phase.*

**2** *Simulierte Druckverteilung in der Elektrodenmatrix aufgrund der inhomogenen Lithium-Ionen-Verteilung*

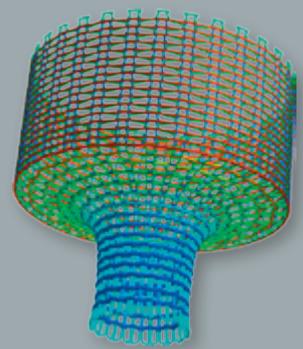
**BEST**



Input (Beinabmessung (Länge, Umfang), Druckprofil)



Designoptimierung im entspannten Strumpf



Rücktransformation in die Maschinensteuerungsparameter

1

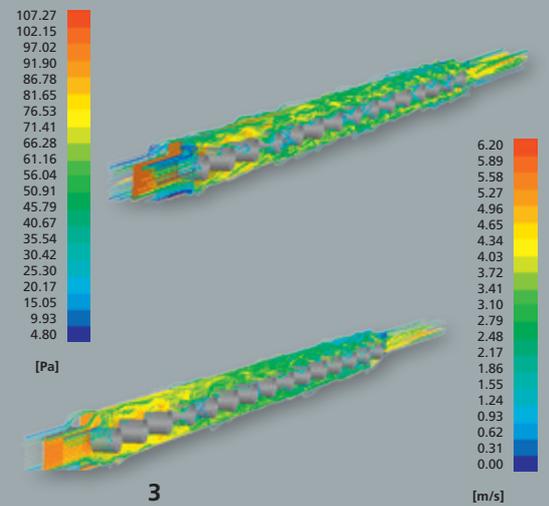
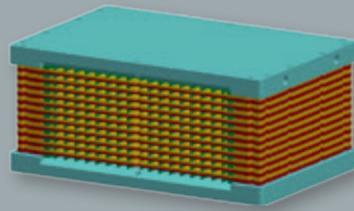
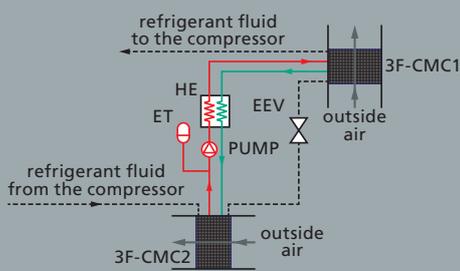
## MODELLIERUNG, SIMULATION UND OPTIMIERUNG VON GESTRICKTEN KOMPRESSIONSTRÜMPFEN

### 1 Patientenspezifische Optimierung der Strickmaschinenparameter für Kompressionsstrümpfe

Die Firma BSN medical fertigt Produkte aus unterschiedlichen Gestriken, unter anderem rundgestrickte Kompressionsstrümpfe. Ein besonderes Kennzeichen dieser ist, dass sie bei gleicher Grundkonstruktion in verschiedensten Ausführungen entwickelt und hergestellt werden. Beispielsweise können Kompressionsstrümpfe mit unterschiedlichen Kompressionsklassen aus demselben Material hergestellt werden. Wichtiges Konstruktionsmerkmal aller Kompressionsstrümpfe ist, dass neben dem Garn zur Maschenbildung noch ein weiteres Garn beigelegt wird; erst aus dem Zusammenwirken der beiden Materialien entstehen die endgültigen Eigenschaften.

BSN medical hat das Ziel, den heute stark erfahrungsgesteuerten Entwicklungsprozess zu standardisieren und automatisieren. Beispielsweise soll ein bestimmter Kompressionsstrumpf aus einem neuen Material virtuell ausgelegt werden können, sodass bei dem neuen Produkt die ursprünglichen Kompressionseigenschaften beibehalten werden. Des Weiteren könnten Maschinenparameter bestimmt werden, um die Kompression an definierten Stellen bei unverändertem Material gezielt zu modifizieren. Letztendlich soll auch die Möglichkeit geschaffen werden, patientenspezifische Strümpfe am Rechner auszulegen. Am ITWM werden dazu spezielle Algorithmen in dem eigenen Berechnungstool TexMath umgesetzt. Bei der numerischen Umsetzung wird als Werkzeug die Finite-Element-Methode mit nichtlinearen Truss-Elementen gewählt, die für die Kontaktprobleme um eine zusätzliche interne Variable – das Gleiten von Fäden an Kontaktknoten – erweitert ist. Die Reibungskraft wird mit dem Euler-Eutzelwein-Gesetz modelliert und die nichtlinearen Probleme werden für die elastische Verformung und das Gleiten unter der Reibkraft in zwei separaten Newtonverfahren gelöst. Mit diesem Berechnungsprogramm wird am ITWM der Strickvorgang eines Kompressionsstrumpfes anhand verschiedener Faden- und Maschinenparameter simuliert und visuell dargestellt. Die daraus resultierenden virtuellen Strümpfe werden in einer weiteren Simulation wieder belastet, um Kraft-Dehnungskurven zu erhalten. Diese zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit experimentellen Ergebnissen. Weiterhin wird der virtuell gestrickte Strumpf einem virtuellen Bein angezogen. Dies geschieht anhand von sieben Abmessungen entlang der Beinachse. Somit lassen sich vorab die Eigenschaften des Strumpfes anhand des erzeugten Druckprofils bewerten.

Das Projektziel ist das Erreichen eines vorgegebenen Spannungsprofils bei einem verformten Gestrick. Dabei werden bei vorgegebenen Garneigenschaften optimale Maschinenparameter gesucht, um in allen Beinachsen die Abweichung der Spannung im Strumpf vom Ziel-Spannungsprofil zu minimieren.



## XERIC: INNOVATIVES KLIMA-KONTROLLSYSTEM FÜR ELEKTROFAHRZEUGE

Das innerhalb des EU-Programms Horizon 2020 ins Leben gerufene Projekt XERIC hat das Ziel, eine neue Klimaanlage zu entwickeln, die in batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen deutlich energieeffizienter arbeitet als herkömmliche Klimasysteme. Die Klimaanlage soll den Insassen unter allen möglichen Wetterbedingungen komfortable Innenraumbedingungen bieten. Herzstück des Systems sind innovative Membrankontaktoren (3-Fluid-Combined-Membrane-Contacts, kurz 3F-CMCs), die gleichzeitig von Luft, einer wässrigen Trockenmittellösung (um die Luft zu entfeuchten) und einem Kühlmittel (um die Trockenmitteltemperatur zu kontrollieren und die Luft teilweise zu kühlen) durchströmt werden. Sensible und latente Wärmeaustauschvorgänge zwischen Luft und Trockenmittel finden durch eine hydrophobe Membran statt, die nur für Wasserdampf, aber nicht für Flüssigkeiten durchlässig ist. Um die möglichen Energieeinsparungen von 35 bis 40 Prozent erreichen zu können, arbeiten alle Projektpartner bei der Entwicklung eng zusammen.

Die Aufgaben des Fraunhofer ITWM innerhalb des Projektes liegen in der mathematischen Modellierung und Computersimulation für eine verbesserte und robuste Auslegung des Systems. Die Simulationsergebnisse werden in unterschiedlichen Stadien der Entwicklung genutzt und haben zum Ziel, die Entwicklung und die Leistungsfähigkeit des 3F-CMC zu optimieren. Da im Betrieb der Klimaanlage hohe Drücke auftreten und außerdem starke Temperaturgefälle entstehen, wird dafür zunächst ein passendes Gehäuse entwickelt, welches dem Druck und den Temperaturschwankungen standhalten kann und nicht unnötig schwer und groß ist. Die mechanische Stabilität des Gehäuses wurde in zahlreichen Studien untersucht. Außerdem sind die Membranen, die Luft und Trockenmittel trennen, sehr dünn, weshalb Abstandhalter im Luftkanal erforderlich sind, um ein Durchbiegen zu vermeiden. Der Abstandhalter erzeugt jedoch wiederum höhere Druckverluste im Luftkanal und muss daher ebenfalls im Hinblick auf den Strömungswiderstand optimiert werden. Da große Konzentrationsgradienten die Leistungsfähigkeit des 3F-CMC senken, wurden 3D-Simulationen des Wärme- und Massetransports ausgeführt, um die Dampfkondensationsdynamik besser verstehen zu können. Letztendlich wird auch die Frostbildung modelliert werden, damit das neue Airconditioning-System für eine breite Palette von Temperaturen und Luftfeuchtigkeit eingesetzt werden kann.

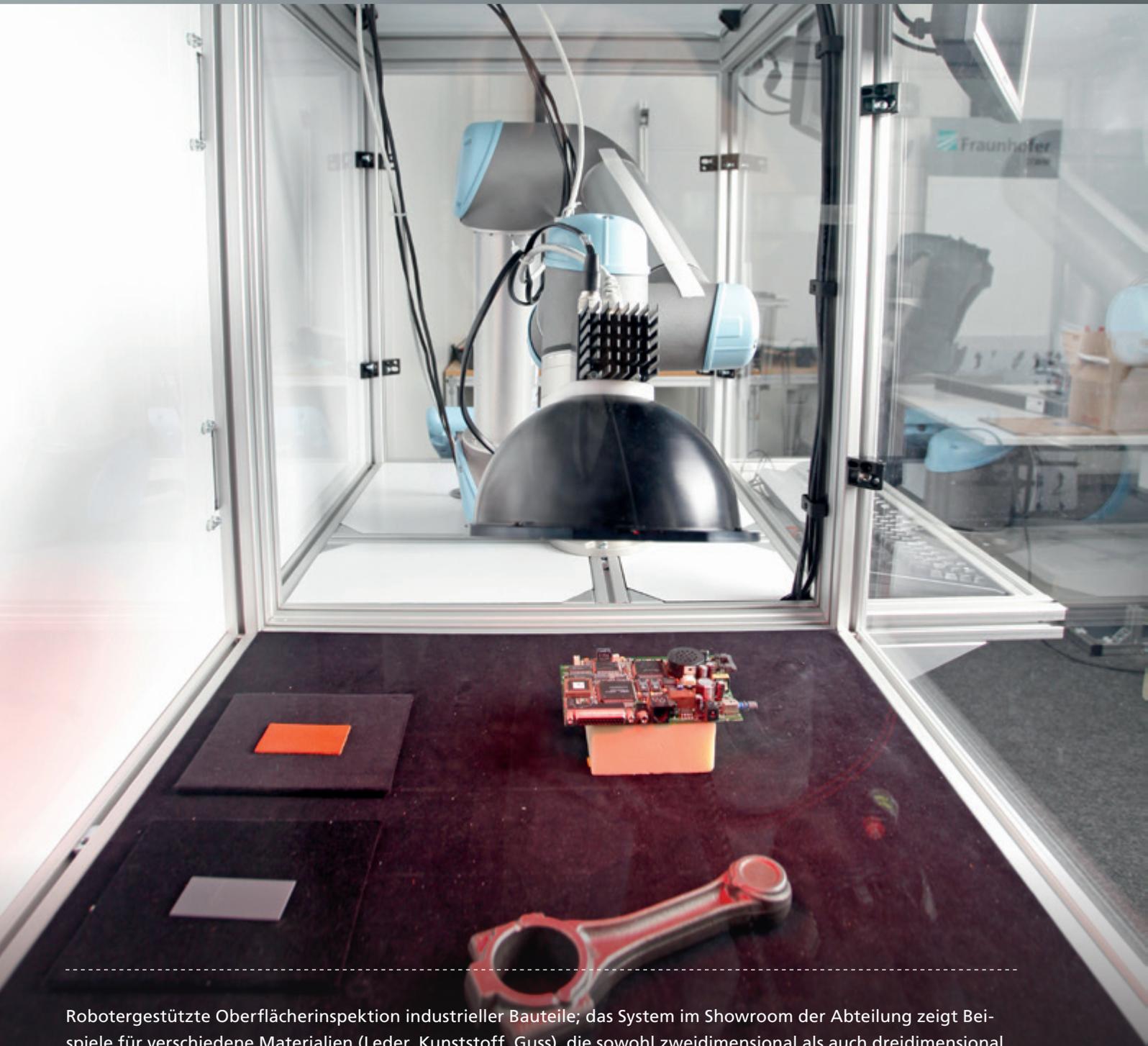
**1** Konstruktion eines Air Conditioning-Systems mit zwei 3F-CMC

**2** CAD-Design eines 3F-CMC Prototypen

**3** Luftdruck- und Geschwindigkeitsverteilung für eine untersuchte Abstandshaltergeometrie



# BILDVERARBEITUNG



Roboter-gestützte Oberflä-cherinspektion industrieller Bauteile; das System im Showroom der Abteilung zeigt Beispiele für verschiedene Materialien (Leder, Kunststoff, Guss), die sowohl zweidimensional als auch dreidimensional geprüft werden können.



---

Bildverarbeitung ist heutzutage ein wichtiger Bestandteil der industriellen Produktion geworden. Seit einigen Jahren werden Prüfsysteme direkt bei der Planung einer Fertigungsstraße berücksichtigt statt nachträglich installiert zu werden. Vor allem die Oberflächeninspektion, d. h. die Prüfung des optischen Erscheinungsbildes eines Produktes, ist eine der wichtigsten Qualitätssicherungsmaßnahmen geworden. Fehler können dabei funktioneller oder ästhetischer Art sein. Insbesondere für ästhetische »Fehler« ist es schwierig, subjektives Empfinden in mathematischen Modellen abzubilden. Die Abteilung entwickelt mathematische Modelle und Bildanalysealgorithmen und setzt diese in industrietaugliche Software, vorwiegend in der Produktion, um. Die Anwendungsgebiete umfassen anspruchsvolle Oberflächenprüfungen und Analyse von Mikrostrukturen. Die Mikro- und Nanostruktur moderner Werkstoffe bestimmt maßgeblich deren makroskopische Materialeigenschaften. Das Fraunhofer ITWM entwickelt Algorithmen zur Charakterisierung und stochastischen Modellierung solcher Werkstoffe. Die Analyse der räumlichen Geometrie und der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen in Werkstoffen ermöglicht dann die Optimierung der Materialeigenschaften durch virtuelles Materialdesign.

Zusammengefasst realisiert die Abteilung in enger Zusammenarbeit mit Partnern aus Industrie und Forschung maßgeschneiderte Lösungen auf dem Gebiet der Bild- und Signalverarbeitung.

## SCHWERPUNKTE

- Qualitätssicherung und -optimierung
- Oberflächen- und Materialcharakterisierung
- Bildverstehen und Szenenanalyse

---

### Kontakt

markus.rauhut@itwm.fraunhofer.de  
www.itwm.fraunhofer.de/bv





## DECKENPLATTENINSPEKTION – MODELLBASIERTES LERNEN IN DER OBERFLÄCHENKONTROLLE

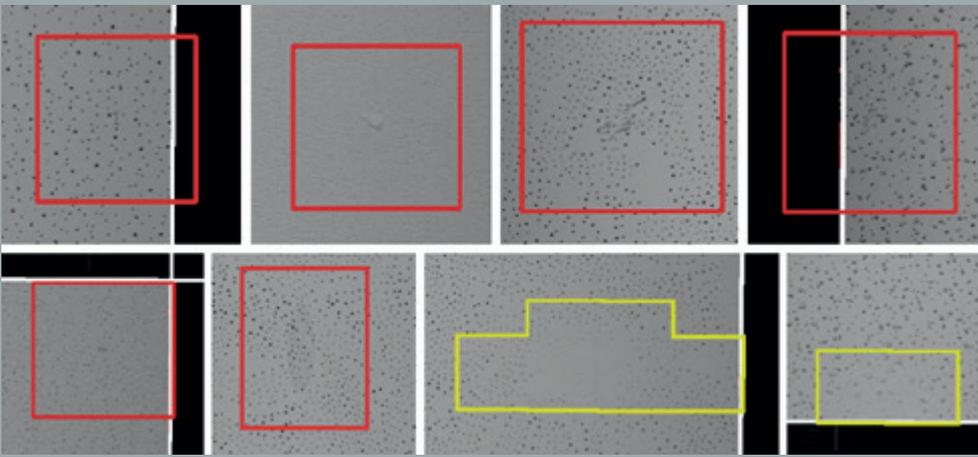
### 1 Inspektionssystem »MASC Stex 2«

Industrielle Bildverarbeitung wird zur Qualitätskontrolle in vielen Produktionsumgebungen eingesetzt. Man versucht dabei zunächst möglichst optimale Bildaufnahmebedingungen zu schaffen. Mittels Algorithmen der Bildverarbeitung wird dann das Bild verschiedenen mathematisch transformiert, um potenzielle Fehlerregionen zu finden und damit das Produkt zu klassifizieren. Das Finden der Fehlerregionen besteht in der Regel aus einer Kombination klassischer Bildverarbeitungsverfahren, wie etwa Glättung durch verschiedene Filter, Segmentieren, Kantendetektion, morphologische Operationen etc. Mit Erstarben des Machine Learnings in den letzten Jahren, speziell dem Bereich Deep Learning, wächst der Wunsch, diesen anpassungsintensiven Teil der industriellen Bildverarbeitung – die händische Parametrisierung großer Algorithmenketten – zu automatisieren. Die Oberflächeninspektion von Mineralfaserplatten eignet sich, um aufzuzeigen, an welchen Stellen diese Automatisierung in der Abteilung Bildverarbeitung betrieben wird und wo ihre Grenzen liegen.

Bei der Oberflächeninspektion von Mineralfaserplatten geht es darum, Fehler in verschiedenen Musterungen zu finden. Wie für viele Fertigungsprodukte typisch, ist die Anwendung eines vollständig automatischen Machine-Learning-Verfahrens zur Fehlerdetektion nicht möglich, da Fehler sehr selten auftreten und das händische Markieren teuer und aufwändig wäre. Demzufolge ist in guten Produktionen der Ausschuss gering. Daher kann davon ausgegangen werden, dass der Großteil der produzierten Platten als »gut« einzustufen ist. Anstatt also alle Fehlerklassen zu lernen und repräsentieren zu müssen, werden hier im Gegenteil die »guten« Produkte gelernt. Man verwendet dafür die Ein-Klassen-Klassifikation oder das sogenannte PU (positive and unlabelled data-) Learning. Muss also ein neues Design oder Muster angelernt werden, benutzt man eine möglichst große Stichprobe der aktuellen Produktion dieses Designs und nimmt an, dass diese im Durchschnitt repräsentativ ist. Anhand dieser Stichproben von 20 bis 200 Platten wird dann der Ein-Klassen-Klassifikator trainiert.

Essenziell ist nun das Einbringen von Vorwissen in sinnvolle Features – anders ausgedrückt: das Modellieren der Charakteristika. Bei den Deckenplatten werden – wegen ihrer sehr unterschiedlichen Ausprägungen – zwei Eigenschaften unterschieden und algorithmisch behandelt:

Die erste Eigenschaft ist die Nadelung mit ihrer typischen Form, Struktur und Beschaffenheit. Die Nadelung einer Deckenplatte ist kontrastreich sowie sehr gut und schnell zu segmentieren. Als Basis für die Feature-Berechnung werden daher nicht Pixel oder generische Regionen gewählt, sondern die segmentierten Nadelstiche. Da die Nadelstiche gestanzt werden, also mechanisch aufgebracht, sollten sie im Gutfall geometrisch ähnlich sein, im Schlechtfall/Fehlerfall



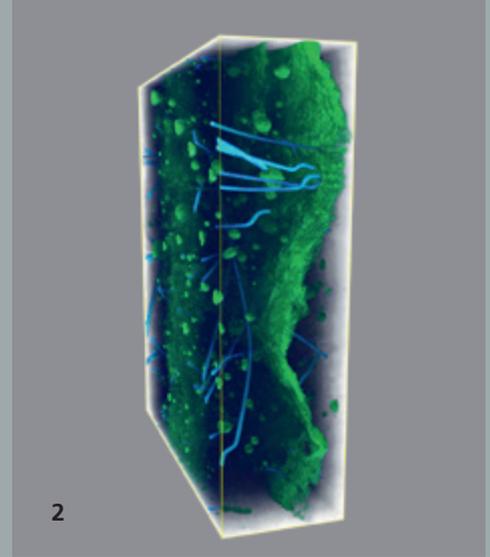
## 2 Beispiele für Oberflächen- und Designfehler bei der Produktion von Deckenplatten

geometrisch auffällig. Es werden entsprechende Features berechnet, u. a. Fläche, Rundheit, Achsenverhältnis sowie mittlerer Grauwert.

Die zweite Eigenschaft ist das großflächige Aussehen der Platte, also der Farbauftrag, die strukturelle Homogenität, die Existenz oder das Fehlen der Nadelung, ihre Verteilung usw. Hier werden entsprechend nicht lokale Punkte oder segmentierte Regionen als Feature-Basis benutzt, sondern es wird die gesamte Platte in einander überlappende Fenster repräsentativer, aber fester Größe aufgeteilt. Für jedes dieser Fenster berechnet die Software als Features Histogramme, die u.a. die Grauwertverteilung und das Verhältnis von Nadelung und Hintergrund enthalten.

Für die beiden Klassen wird anhand der Trainingsdaten dann je ein Ein-Klassen-Klassifikator trainiert. Zu diesem Zweck erfolgt die Repräsentation der Daten mithilfe sogenannter k-Means-Clusterzentren. Da es auch im Normal- oder Gutfall verschiedene Featureausprägungen gibt, wird eine Überrepräsentation der Daten gewählt, d. h. die Anzahl der vorgegebenen Clusterzentren ist eher zu hoch. Im Anschluss werden Cluster mit wenigen Repräsentanten gelöscht, also sogenanntes Pruning betrieben. Damit vermeidet man einerseits das sogenannte Overfitting, andererseits wird beachtet, dass es sich nicht ausschließlich um Repräsentanten der Normal- oder Gutteile handelt, sondern auch Schlechteile in der zufälligen Stichprobe vorhanden sein können.

Die tatsächliche Klassifikation im Testfall erfolgt durch die Berechnung der Nearest-Neighbor-Distanz. Da es sich um unterschiedliche Feature-Typen handelt, werden verschiedene Distanzfunktionen benutzt. Für die geometrischen Features der Nadelung eignet sich die euklidische Distanz, für Histogramm-Abstände ist die Mahalanobis-Distanz am geeignetsten. Die Schärfe des Prüfsystems wird durch Schwellwerte für die beschriebenen Distanzen eingestellt und kann so während der Produktion angepasst werden. Zu den Oberflächen- und Designfehlern, die mit dem vorgestelltem Verfahren robust in der Produktion gefunden werden, gehören beispielsweise Verfärbungen, Farbkleckse und Abweichungen im Muster.



## BILDANALYSE VON STAHLFASERN IN BETON

**1** *Herausgeschnittener Rissbereich aus einem Balken nach Prüfung (3-Punkt Biegeversuch)*

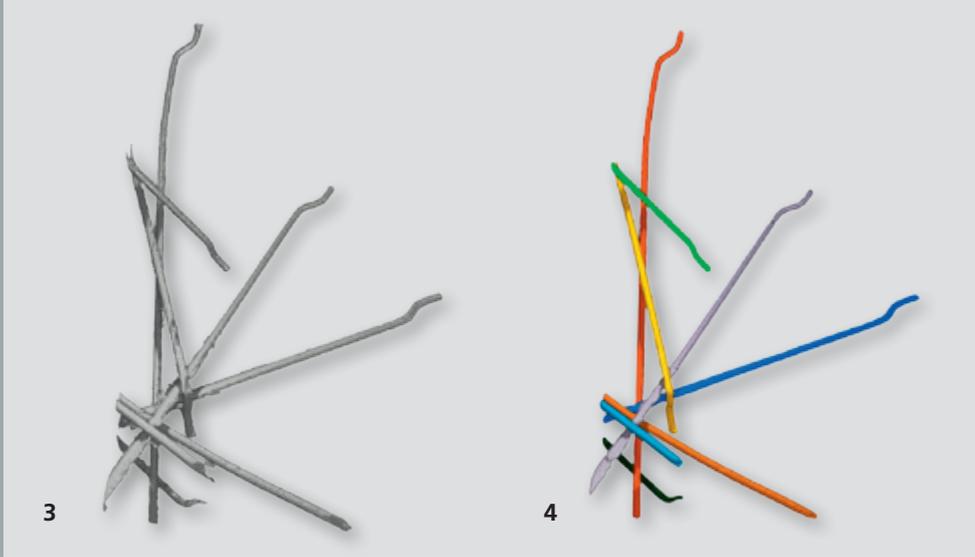
**2** *Volumenrendering der rekonstruierten tomografischen Aufnahme*

Stahlfaserbeton ist ein Verbundwerkstoff aus Beton und Stahlfasern, welche im flüssigen Zustand beigemischt werden. Je nach Form und Dosierung der Fasern ändern sich die Eigenschaften des ausgehärteten Materials. Dieses kann Kräfte besser aufnehmen und wirkt bei einer Rissbildung dem möglichen Bruch stabilisierend entgegen. In enger Zusammenarbeit mit Bauingenieuren der TU Kaiserslautern forschen Wissenschaftler der Abteilung Bildverarbeitung daran, die Auswirkungen der Beimischung von Stahlfasern besser zu verstehen. Dabei ist vor allem interessant, wie sich der Beton verhält, nachdem sich ein Riss gebildet hat und welche Rolle dabei die beigefügten Fasern spielen. Vereinfacht ausgedrückt wird das Nachrissverhalten des Stahlfaserbetons von den rissquerenden Fasern bestimmt. Infolgedessen ist für die Analyse eine gemeinsame Betrachtung von Fasern und Riss erforderlich.

Bisherige Verfahren zur Analyse der Faserorientierung und -menge haben den Nachteil, dass zur Untersuchung des Rissbereiches die Probe aufgebrochen oder zersägt wird. Eine ungestörte Analyse der rissquerenden Fasern ist somit nicht möglich. Die Analyse des Materials mithilfe von 3D-Volumenbildern, aufgenommen mit einem Computertomographen (CT), bietet hingegen die Möglichkeit, den Rissbereich zerstörungsfrei zu untersuchen. Dies unterbindet gleichzeitig mögliche Verfälschungen durch nachträgliches Ausziehen der Fasern beim Aufbrechen.

Eine besondere Herausforderung bei der Auswertung der 3D-Bilder von Stahlfaserbeton ergibt sich aus der Größe der zu untersuchenden Proben. Die Probengröße ist durch die mittels moderner  $\mu$ CT-Technik aufnehmbaren Maße begrenzt und erlaubt in einigen Fällen keine klare Trennung der einander berührenden Fasern. Da jedoch Einzelfasern für die weitere Auswertung benötigt werden, wurde am Fraunhofer ITWM ein Algorithmus entwickelt, welcher Ansammlungen einander berührender Fasern, sogenannte Faserigel, in einzelne Fasern separiert. Dies ermöglicht beispielsweise das Extrahieren der rissquerenden Fasern, die zur Kraftübertragung beitragen. Weiterführend können für die Analyse wichtige Parameter wie Faserlänge, Orientierung und auch Einbindelängen entlang des Risses bestimmt werden.

Der Algorithmus zur Detektion von Faserclustern und deren Separierung wurde entwickelt mit ToolIP (Tool for Image Processing), einer Software für die Erstellung von Lösungen zur Bildverarbeitung und -analyse. Um zunächst alle Ansammlungen von Fasern zu ermitteln, geht man folgendermaßen vor: Für jedes Objekt im 3D-Bild wird die Distanz zwischen den beiden entferntesten Punkten berechnet, wobei Entfernungen hier nur im Inneren des Objektes berechnet werden. Der Algorithmus nimmt als vereinfachende Modellannahme an, dass eine Einzelfaser die Form eines Zylinders besitzt, dessen Länge die berechnete Distanz ist.



Dieses Vorgehen erlaubt eine Volumenabschätzung, welche mit dem berechneten Volumen des Objektes im Bild verglichen wird. Im Falle einer Ansammlung von Fasern ist ein signifikanter Unterschied zu dem des vorhandenen Zylindermodells gegeben und das Objekt wird als Fasercluster klassifiziert. Stimmen die Volumina dagegen annähernd überein, so klassifiziert der Algorithmus das Objekt als Einzelfaser. Sollte das zu untersuchende 3D-Bild starke Rauschartefakte aufweisen, muss der Anwender Grenzfälle manuell untersuchen.

Die Vereinzelung der Ansammlungen läuft danach wie folgt ab: Zunächst reduziert der Algorithmus das Oberflächenrauschen, indem die Fasern selbst hervorgehoben werden. Dazu wird an jeder Position der Oberfläche entschieden, ob diese röhrenartig ist. Anschließend wird die Position der Faserachse abgeschätzt, indem Punkte mit größtem Abstand zur Faseroberfläche bestimmt werden. Entlang der zuvor gefundenen Achsen setzt der Algorithmus Faserstücke zusammen, indem er die restlichen Punkte der Faser der nächstgelegenen Achse zuordnet. Dabei kann es aufgrund verbliebener Rauscheffekte zu einer Übersegmentierung (Faser besteht aus mehreren Stücken) kommen und es können sogar Teilstücke fehlen. Um entstandene Lücken wieder zu schließen, vergrößert der Algorithmus alle gefundenen Stücke innerhalb der Oberfläche der Ausgangsfasern. Anschließend setzt der Anwender, unter Zuhilfenahme eines interaktiven Tools, die wenigen Teilstücke zu unterschiedlichen Einzelfasern zusammen.

Die oben beschriebene Methode unterstützt Materialwissenschaftler, indem sie Teile der Auswertung von Stahlfaserbeton automatisiert und dadurch die Analyse des Materials erleichtert. Für die Arbeit mit dem vorgestellten Tool werden keine Bildverarbeitungskenntnisse auf Seiten der Materialwissenschaftler vorausgesetzt.

**3** *Beispiel für einen Fasercluster: Mehrere Einzelfasern berühren sich in einer beliebigen räumlichen Anordnung.*

**4** *Beispiel für einen segmentierten Fasercluster: Einzelne Fasern werden als unterschiedliche Objekte erkannt und ermöglichen somit eine individuelle Auswertung.*



# SYSTEMANALYSE, PROGNOSE UND REGELUNG



Im Labor der Abteilung werden Anlagen- und Maschinenmodelle mit Reglern in einer echtzeitfähigen Hardware-in-the-Loop-Simulation gekoppelt. Hierzu können Regelungsalgorithmen auf den abteilungseigenen Steuereinheiten implementiert oder die originalen Kundensysteme eingebunden werden. Die umfangreich ausgestattete HIL-Plattform ermöglicht eine Datenerfassung und -generierung vieler verschiedener Signaltypen sowie vielfältige Fehler-simulationen.



---

Die Komplexität im dynamischen Verhalten vieler technischer oder biologischer Systeme resultiert oftmals aus einer Vernetzung unterschiedlicher Teilsysteme und Strukturen, die jeweils mit spezifischen Sensor- und Aktorkonfigurationen ausgestattet sind. Im Hinblick auf die Informationsgewinnung aus Messungen des System- bzw. Strukturverhaltens ist in vielen Fällen von störungsüberlagerten Sensorinformationen auszugehen. Überdies liegen in der Regel nur unvollständige System- und Strukturbeschreibungen vor. Typische von der Abteilung Systemanalyse, Prognose und Regelung bearbeitete Fragestellungen sind die Identifikation dynamischer Systeme und deren Parameter sowie die Bereitstellung von echtzeit-tauglichen Simulationsmodellen. Diese sind die Grundlage zur Entwicklung von Prognose-Systemen zum Systemmonitoring, Reglern oder zur Validierung des Verhaltens von Steuereinheiten mit »Hardware-in-the-Loop-Ansätzen«. Für die Lösung der Aufgaben greift die Abteilung auf ihre Kernkompetenzen in den Bereichen System- und Kontrolltheorie – mit Spezialkompetenzen zur Modellreduktion (symbolisch, numerisch, parametrisch) differential algebraischer geschalteter Systeme – sequentielle Monte-Carlo-Ansätze (Partikelfiltermethoden) zur Simulation und Zustandsschätzung von stochastischen Prozessen zurück. Darüber hinaus kommen Methoden des Maschinellen Lernens wie Deep Learning, probabilistische graphische Modelle sowie Clustering-Algorithmen in hochdimensionalen Datenräumen zum Einsatz.

## **SCHWERPUNKTE**

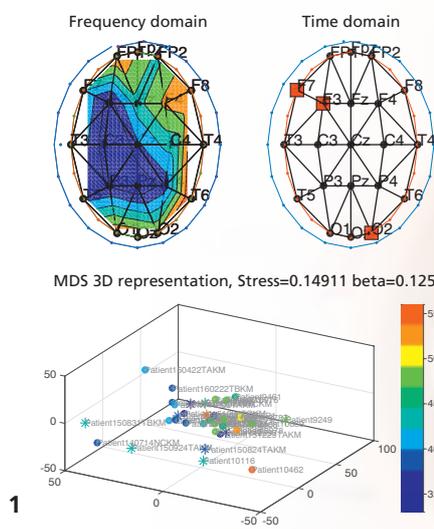
- Anlagen- und Maschinenregelung
- Energieerzeugung und -verteilung
- Biosignalverarbeitung
- Maschinelles Lernen in Medizin und Technik
- Softwaretools zum Prozess- und Innovationsmanagement

---

### **Kontakt**

andreas.wirsen@itwm.fraunhofer.de  
www.itwm.fraunhofer.de/sys





## DIAGNOSEUNTERSTÜTZUNGSSYSTEM FÜR DEN REIFEPROZESS VON GEHIRNEN FRÜHGEBORENER

1 EEG Analysetool: Analysen im Frequenz- und Zeitbereich (oben)

Positionierung des Frühgeborenen bzgl. der Ähnlichkeit der Befunde und des Alters zu Patienten aus der Datenbank des Krankenhausinformationssystems (unten)

Die neonatologische Intensivtherapie zielt darauf ab, die unreifen Organfunktionen von extrem Frühgeborenen derart zu unterstützen, dass die Entwicklung sich bestenfalls so vollzieht, als habe sie im Mutterleib stattgefunden. Vor allem soll eine normale Entwicklung des Gehirns, insbesondere des cerebralen Cortex, ermöglicht werden. Bedrohungen dieses Entwicklungsprozesses entstehen insbesondere bei akuten Beeinträchtigungen der Sauerstoffversorgung des Gehirns. Hier sind Überwachungssysteme im Einsatz, die eine Einschränkung der Sauerstoffversorgung des gesamten Organismus detektieren können. Die jeweilige Relevanz eines einzelnen solchen Ereignisses für die cortikale Sauerstoffversorgung ist allerdings in vielen Fällen unklar. Während des cortikalen Reifungsprozesses vernetzen sich die Nervenzellen. Dieser Prozess kann einerseits durch schädigende Einflüsse, wie z. B. Sauerstoffunterversorgung, gestört werden. Andererseits ist es denkbar, dass die übliche cortikale Entwicklung allein durch den Ablauf unter unphysiologischen Bedingungen außerhalb des Mutterleibes verändert wird. Anhand der elektrischen Entäußerungen der cortikalen Nervenzellen, die mittels des EEG abgeleitet werden, können cortikale Reifungsprozesse abgelesen werden.

Im Teilvorhaben »Diagnoseunterstützungssystem für Gesundheitszustand und Reifeprozess von Gehirnen Frühgeborener« des BMWi-Projekts Tenecor entwickelt das ITWM eine Analysesoftware als integralen Bestandteil eines multifunktionalen Monitoringsystems für Frühgeborene. Dieses System soll in der Endversion durch die synergetische Auswertung von fünf Signalquellen (NADH, EEG, aEEG, DC-EEG, Impedanz) mit Methoden des Maschinellen Lernens den Medizinern Bewertungen des Gesundheitszustandes und Reifeprozesses des frühkindlichen Gehirns erleichtern.

Aktuell werden durch die Diagnosesoftware neonatale EEGs aus zwölf Kanälen im Frequenzbereich zeitabhängig zerlegt, die Energien in definierten Frequenzbändern für jeden Kanal einzeln bestimmt und in eine Ordinalskala einsortiert. Anschließend werden die paarweisen Abhängigkeiten zwischen Energien in den unterschiedlichen Kanälen und Frequenzbändern mittels Mutual Information bestimmt. Diese werden dann für die Generierung eines probabilistischen Netzes für jeden Patienten genutzt. Die Distanzen zwischen den Netzen werden in einen dreidimensionalen euklidischen Raum eingebettet und die Punkte in diesem Raum geclustert. Erste Tests mit EEGs von Frühgeborenen haben gezeigt, dass die Clusterzentren mit Pathologien korrelieren, d. h. Frühgeborene mit ähnlichen Pathologien liegen auch im euklidischen Raum nah beieinander. Außerdem wurden Korrelationen zwischen den Distanzen und dem postmenstruellen Alter der Frühgeborenen ohne schwerwiegende Pathologien detektiert.



## REGELKONZEPTE FÜR ENERGIENETZE DER ZUKUNFT

Im Fokus der Energiewende stehen gegenwärtig vor allem Stromerzeugung, Transportnetze und Elektromobilität. Im Hinblick auf eine CO<sub>2</sub>-neutrale Energieversorgung muss der Blick aber weiter gefasst werden, denn der Energiekreislauf umfasst Erzeugung, Umwandlung, Transport, Speicherung und Verbrauch in Strom-, Gas- und Wärmenetzen. Unabhängig vom Energiemedium gibt es eine Reihe wiederkehrender mathematischer und informationstechnischer Grundprobleme bei der Modellierung, Simulation und Steuerung bzw. Regelung hierarchischer Energienetze mit stochastischer Erzeugung und Verbrauch. Zur Lösung dieser Probleme sollen im vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekt MathEnergy nun gebündelte mathematische Methoden entwickelt, in einer Softwarebibliothek zusammengeführt und bei mehreren Demonstratoren aus den Bereichen Gas und Strom sowie deren Kopplung angewendet werden. Das Projekt ist in die Segmente Gesamtnetzmodellierung, Modellordnungsreduktion, Szenarienanalyse, Zustandsschätzung und Regelung, Gesamtintegration und Demonstratoren unterteilt.

Im Projekt werden von der Abteilung Systemanalyse, Prognose und Regelung insbesondere netzübergreifende, modellbasierte Monitoring- und Regelungskonzepte für Planung und Betrieb des elektrischen Transport- und Verteilnetzes erarbeitet.

Ausgangspunkt für die modellbasierte optimale Regelung der Einspeisung und Entnahme von Strom oder Gas ist die Ermittlung der aktuellen Systemzustände des zugrundeliegenden mathematischen Modells basierend auf Messdaten. Unter Berücksichtigung der Beobachtbarkeit des verwendeten Modells einerseits sowie einer Fehleranalyse zur Einspeiseprognose erneuerbarer Erzeuger im Stromnetz andererseits werden zunächst Methoden zur optimalen Positionierung zusätzlicher Sensoren für die dynamische Zustandsschätzung entwickelt. Hierbei sind technische (Abtastraten, Signallaufzeiten, Fehler etc.) und ökonomische Randbedingungen zu berücksichtigen. Zur dynamischen Zustandsschätzung werden die Realisierungen einerseits von Kalman-Filter-Varianten und andererseits von in der Abteilung weiterentwickelten Partikelfilter-Methoden analysiert. Letztere können zur Zustandsschätzung bei Systemen mit stochastischem Verhalten, mit physikalischen Restriktionen und zeitlich ungleich verteilten Messungen eingesetzt werden. Die entwickelten echtzeitauglichen Tools zur Zustandsschätzung und die Methoden zur Szenarienanalyse werden dann in einen Reglerbaustein zur Netzebenen-übergreifenden Koordination mittels modellprädiktiver Regelung eingesetzt. Hierzu sollen hierarchische oder verteilte MPC-Ansätze mit reduzierten dynamischen Modellen zum Einsatz kommen, bei denen die verschiedenen Regler miteinander durch Datenaustausch kommunizieren.

### 1 *Unterstation mit Leitungen und Transformatoren*



# OPTIMIERUNG



Produktionsanlage für Farbedelsteine in der Abteilung »Optimierung«; sie fertigt Farbedelsteine in einem hochindividuellen Prozess, beachtet auch bei maximalem Produktionsvolumen ästhetische Grundsätze und arbeitet mit absoluten Genauigkeiten von 10–15 Mikrometern. Der Aufbau ist modular und skalierbar.



---

Zentrale Aufgabe der Abteilung Optimierung ist die Entwicklung individueller Lösungen für Planungs- und Entscheidungsprobleme in Logistik, Ingenieur- und Lebenswissenschaften in enger Kooperation mit Partnern aus Forschung und Industrie. Methodisch ist die Arbeit durch ein Zusammenspiel von Datenanalyse, Simulation, Optimierung und Entscheidungsunterstützung geprägt. Unter Simulation wird dabei die Bildung mathematischer Modelle unter Einbeziehung von Design-Parametern, Restriktionen und zu optimierenden Qualitätsmaßen und Kosten verstanden. Die Entwicklung und Implementierung von anwendungs- und kundenspezifischen Optimierungsmethoden zur Berechnung bestmöglicher Lösungen für das Design von Prozessen und Produkten sind Kernkompetenzen der Abteilung. Alleinstellungsmerkmal ist die Integration von Simulations- und Optimierungsalgorithmen unter spezieller Berücksichtigung mehrkriterieller Ansätze sowie die Entwicklung und Implementierung interaktiver Entscheidungsunterstützungswerkzeuge. Insgesamt wird Optimierung weniger als mathematische Aufgabenstellung verstanden, sondern vielmehr als kontinuierlicher Prozess, welchen die Abteilung durch die Entwicklung adäquater Werkzeuge unterstützt. Die Zusammenarbeit mit Industriekunden aus unterschiedlichen Branchen reicht von einfachen Beratungsprojekten zur Strukturierung von Entscheidungsprozessen, über die Entwicklung von kundenindividuellen Softwarelösungen für Optimierung komplexer Prozesse bis zur Kreation von Alleinstellungsmerkmalen in Kooperation mit den Auftraggebern.

## **SCHWERPUNKTE**

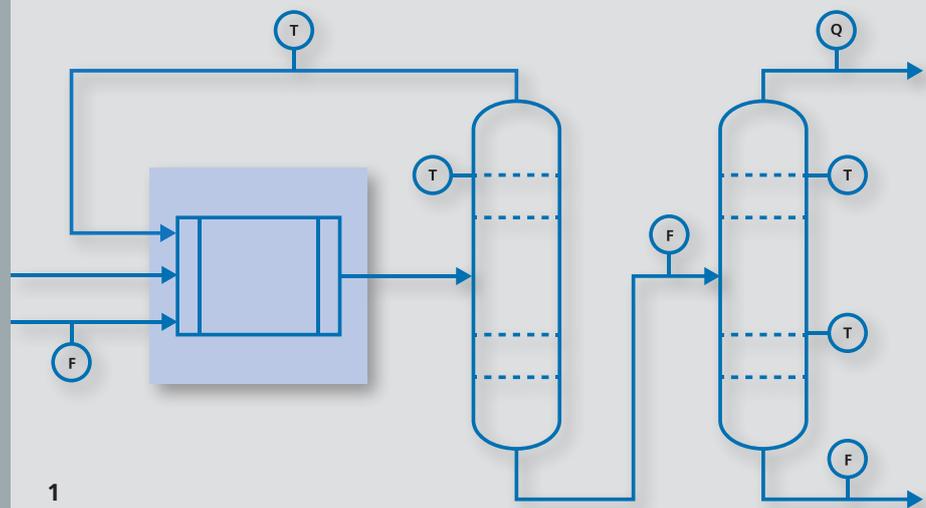
- Medizinische Therapieplanung
- Anordnungs- und Zerlegeprobleme
- Produktionsplanung und ressourceneffiziente Produktion
- Verfahrens- und Prozesstechnik
- Model Learning und Smart Data
- Supply Chain Netzwerke

---

### **Kontakt**

[karl-heinz.kuefer@itwm.fraunhofer.de](mailto:karl-heinz.kuefer@itwm.fraunhofer.de)  
[www.itwm.fraunhofer.de/opt](http://www.itwm.fraunhofer.de/opt)



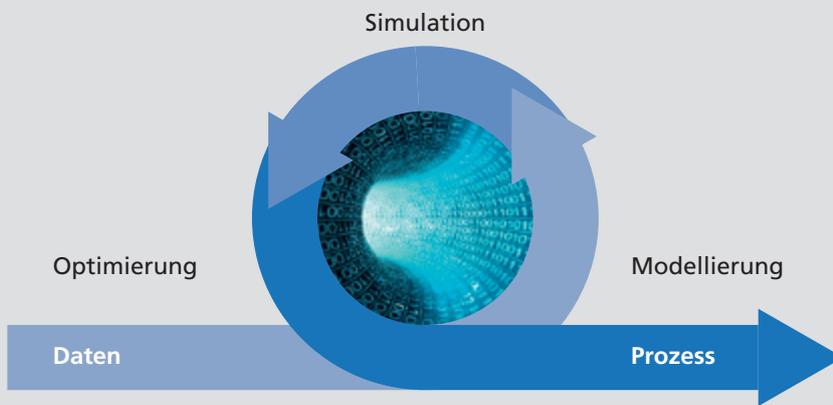


## GREYBOX-MODELLE ZUR OPTIMIERUNG VON GESAMTVERFAHREN

1 Schema eines Fließbilds mit einer Reaktionseinheit zur Stoffumwandlung und zwei Destillationskolonnen zur Aufreinigung; die Kreise symbolisieren Messstellen (T: Temperaturmessung, F: Strommessung, Q: Messung der Kühlleistung)

Die Virtualisierung chemischer Produktionsanlagen in einem Modell und die sich daran anschließende modellbasierte Optimierung sind wichtige Schritte zu Innovation sowie Effizienz- und Qualitätssteigerung. Der Erfolg dieses Vorgehens hängt entscheidend von der Zuverlässigkeit der vorhandenen Modelle ab. In einem bilateralen Kooperationsprojekt entwickelt das ITWM mit der BASF SE Methoden zur hybriden Modellierung, in der physikalisch-chemisches Wissen (»white«) mit datengetriebenen Ansätzen (»black«) in einem Gesamtmodell integriert werden. Diese Methoden werden in einem BASF-eigenen Fließbildsimulator eingesetzt, so dass sie den Prozessingenieuren dort für ihre tägliche Arbeit zur Verfügung stehen.

Ein typischer chemischer Produktionsprozess enthält einen chemischen Reaktor zur Stoffumwandlung. Die Edukte des Reaktors werden einer Aufreinigung zugeführt, die beispielsweise destillativ erfolgen kann. Soll dieser Prozess in einem Fließbildsimulator modelliert werden, sind einerseits Kenntnisse über die chemischen Reaktionen nötig, andererseits muss die Thermodynamik der Auftrennung bekannt sein. In der industriellen Praxis typisch ist die Situation unvollständig bekannter Stöchiometrien und Reaktionskonstanten, wohingegen die destillativen Prozesse eher bekannt sind. Neben diesem physikalischen White-Box-Wissen liegen historische Prozessdaten von verschiedenen Messstellen vor. Die Aufgabe des Projekts besteht darin, Informationen aus den Prozessdaten zu generieren, mit denen die Lücken des physikalischen Modells geschlossen werden können. Dazu wird in einem ersten Schritt der Reaktor durch ein vereinfachtes Short-Cut-Modell ersetzt, das – zusammen mit dem Modell der Aufreinigung – alle vorhandenen physikalischen Gleichungen enthält. Mit diesem Modell werden Ausgleichsrechnungen durchgeführt, mit denen die Vorhersagen des Modells für die Größen, die an der echten Anlage gemessen werden, möglichst gut angepasst werden. Eine Ausgleichsrechnung besteht hier in der Minimierung einer Fehlerquadratsumme, wobei die quadrierten Differenzen zwischen Modellvorhersagen und Messstellen möglichst klein sein sollen. Jeder Term ist mit der inversen Varianz der Messstelle gewichtet. Da Varianzen oft nur vage bekannt sind und die Anpassungen an verschiedene Messgrößen miteinander im Konflikt stehen, enthält dieser Schritt nicht nur eine, sondern einen Satz von Ausgleichsrechnungen, die automatisiert mit optionaler Nutzerinteraktion durchlaufen. Ergebnis dieses Schritts sind verlässliche Softsensordaten an den Ein- und Ausgängen des Reaktors. Der zweite Schritt besteht aus der Modellidentifikation für den ungenügend modellierten Apparat – hier der Reaktor – auf Grundlage der Softsensordaten. Dafür stehen verschiedenste Verfahren zur Verfügung, beispielsweise Regressionsverfahren mit vordefinierten Funktionen, aber auch künstliche neuronale Netze mit Backpropagation-Training. Mit statistischen Methoden sind quantitative Aussagen über Konfidenzintervalle und Vorhersagefehler möglich. Darüber hinaus erlauben diese, Parameter, die nur unzuverlässig geschätzt werden



können, zu trennen von solchen, die mit hoher Genauigkeit identifizierbar sind. Im dritten Schritt wird das datengetriebene Modell aus Schritt zwei in das Fließbild eingefügt und so ein Gesamtmodell für den Prozess generiert. Dieser Schritt ist aus verschiedenen Gründen nicht trivial: Nicht nur die Lösbarkeit des Gesamtsystems muss sichergestellt sein, sondern auch die Extrapolierbarkeit für eine Gesamtprozessoptimierung. Diese wird mit Optimierungsverfahren durchgeführt, die nicht nur der mehrkriteriellen Natur des Problems Rechnung tragen, sondern auch mit Unsicherheiten umgehen können. Hierzu gehören die robuste und die stochastische Optimierung.

Die im Allgemeinen kontinuierliche Unsicherheitsmenge von Modellparametern wird durch eine diskrete Auswahl von Szenarien beschrieben. Die Auswahl der Szenarien geschieht so, dass die Unsicherheitsmenge möglichst repräsentativ abgedeckt wird; dazu stehen Strategien der statistischen Versuchsplanung ebenso zur Verfügung wie randomisierte Verfahren. Die Auswirkung dieser Szenarien auf die Zielfunktion wird berechnet und mittels Sensitivitätsmaßen quantifiziert. Die robuste Optimierung zielt auf eine bestmögliche Gestaltung des schlechtmöglichen Szenarios. Diese Optimierungsstrategie wird mehrkriteriell durchgeführt, unter Einbeziehung konkurrierender Ziele. Darüber hinaus können die oben erwähnten Sensitivitätsmaße als Zielfunktion definiert werden, die ihrerseits – zusätzlich zu den bereits vorhandenen Zielen – minimiert (für möglichst wenig Sensitivität auf die Unsicherheiten) oder maximiert (für eine möglichst große Sensitivität, wie sie beispielsweise für die Versuchsplanung von Interesse ist) werden soll. Auf diese Weise ist es möglich, die Kosten für ein mehr oder weniger sensitives Prozessdesign im Verhältnis zu den übrigen betriebsrelevanten Zielen zu untersuchen. Die Praxiserfahrung zeigt, dass oft schon verhältnismäßig kleine Anpassungen im Prozessdesign ausreichen, um einen erheblichen Gewinn an Robustheit zu erlangen. Für den Fall, dass nach dieser Erstellung des Greybox-Modells die Unsicherheiten in den Modellvorhersagen dennoch zu groß sind, wurde eine modellbasierte mehrkriterielle Versuchsplanung entwickelt, womit einerseits der Informationsgewinn aus Experimenten maximiert wird, andererseits andere betriebsrelevante Ziele bestmöglich erfüllt werden. Ein wesentlicher nächster Schritt besteht im Finetuning der datenbasierten Methoden, so dass Randbedingungen wie Erhaltungsgleichungen leichter integrierbar sind. Dies betrifft beispielsweise die Topologie der hier eingesetzten künstlichen neuronalen Netze. Ferner ist von Interesse, inwieweit die White-Box-Umgebung dafür sorgt, dass die Konfidenzintervalle, die aus der datengetriebenen Modellidentifikation resultieren, verkleinert werden. Dies ist insbesondere für die Gesamtprozessoptimierung unter unsicheren Modellparametern wichtig.

**2** *Aus Daten lernen: Typischer Workflow mit Modellierung, Simulation, Optimierung, in den Daten für realitätsnahe Modelle einfließen*



Termin zusammenstellen		Optimale Terminkombination wählen					
Datum	Uhrzeit	OP-Raum	Chirurgen Endo	Assistenten Endo	Pfleger	Reinigungskräfte	Kommentar
Di., 14.03.2017	17:30	OP-Raum 3-(14.0)	Chirurg Endo 3-(1)	Assistent Endo 1, Assi	Krankenträger 1-	Reinigung 1, Rein	
Mi., 15.03.2017	08:00	OP-Raum 3-(15.0)	Chirurg Endo 3-(1)	Assistent Endo 1, Assi	Krankenträger 1-	Reinigung 1, Rein	
Mi., 15.03.2017	17:30	OP-Raum 3-(15.0)	Chirurg Endo 3	Assistent Endo 1	Krankenträger 1-	Reinigung 1	
Do., 16.03.2017	08:00	OP-Raum 3-(16.0)	Chirurg Endo 2	Assistent Endo 1, Assi	Krankenträger 1-	Reinigung 1, Rein	
Do., 16.03.2017	17:30	OP-Raum 3-(16.0)	Chirurg Endo 3-(1)	Assistent Endo 1, Assi	Krankenträger 1-	Reinigung 1, Rein	

1

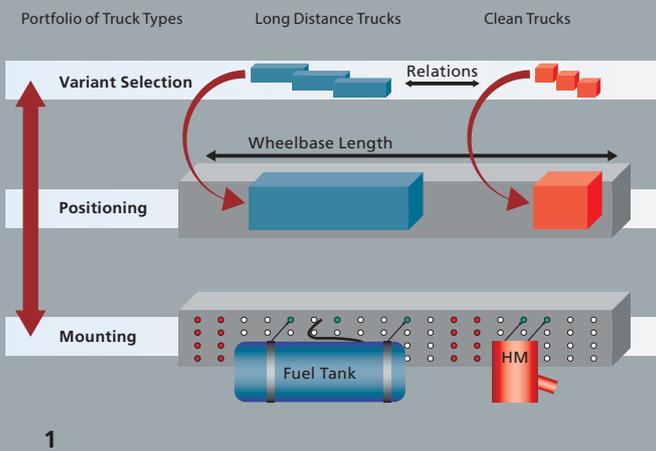
## INTERAKTIVE OP-PLANUNGSASSISTENZ

1 *Optimierte Terminvorschläge mit der Möglichkeit zur Nachjustierung*

Moderne Operationssäle sind wegen immer teurerer technischer Geräte heute zentraler, oft sogar der größte Faktor in der Kostenzusammensetzung operativer Eingriffe. Um ein Krankenhaus oder eine Belegklinik mit eigener OP-Ausstattung wirtschaftlich betreiben zu können, strebt man deshalb eine möglichst hohe Auslastung der OP-Räume an; aus diesem Blickwinkel würde man den Plan am liebsten mit den anstehenden OPs so auffüllen, dass diese den ganzen Tag über ohne Unterbrechung aufeinanderfolgen.

Andererseits treten bei der OP-Planung Bedingungen und Abhängigkeiten auf, welche die Planung erheblich verkomplizieren: Eingriffe benötigen Spezialgerät, das nicht in allen OP-Sälen oder nur in begrenzter Stückzahl verfügbar ist; Chirurgen, Pflegepersonal und die Patienten selbst sind wegen anderer Termine, Urlaub oder Schichtplanung unterschiedlich verfügbar, medizinische Gründe können die Tageszeit der OP einschränken, und nach der OP muss auch Bettenplatz für den Patienten vorhanden sein. Eine besondere Herausforderung liegt darüber hinaus in der Schwankung der OP-Dauer: Auch wenn eine Blinddarm-Operation normalerweise in 10 Minuten erledigt ist, kann sie bei unverhofft auftretenden Komplikationen deutlich mehr Zeit in Anspruch nehmen. Bei einer Planung auf Basis von einfachen Mittelwerten können so erhebliche Wartezeiten entstehen, schlimmstenfalls müssen OPs sogar auf den nächsten Tag verschoben werden.

In einem vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung geförderten Projekt mit der Berliner Softwarefirma Imilia GmbH, die mit Timerbee eine Terminverwaltungssoftware für das Gesundheitswesen im Portfolio hat, entwickelt die Abteilung Optimierung eine interaktive Assistenzkomponente für die OP-Planung. Sowohl in der langfristigen Planung, also bei der Vergabe einzelner Termine an die Patienten, als auch bei der Feinplanung des nächsten Tages werden dem OP-Planner intelligente Planungsvorschläge unterbreitet, die sämtliche oben beschriebenen Abhängigkeiten berücksichtigen und zudem das Verspätungsrisiko durch optimierte Reihenfolgen und geschickte Aufteilung riskanter OPs auf verschiedene OP-Säle minimieren. Eine seitens OP-Planner an die Software gestellte Terminanfrage wird direkt an die im ITWM entwickelte Planungskomponente übertragen, die daraus unter Zuhilfenahme der von Timerbee bereitgestellten Stammdaten ein mathematisches Modell des Planungsproblems erstellt. Mittels Constraint Programming wird dessen Lösungsraum exploriert und daraus eine überschaubare Anzahl optimierter und strukturell verschiedener Vorschläge ausgewählt, die dann dem Nutzer zur Auswahl und interaktiven Anpassung präsentiert werden. Schnelle Datenverbindungen und eine effiziente Implementierung der Constraint-Suche sorgen für eine flüssige Interaktion ohne merkliche Verzögerungen in der Software.



## VOLVO GTT CHASSISPACK: KOMPLEXITÄTSREDUZIERUNG BEIM LKW-CHASSIS-DESIGN

Volvo Group Trucks Technology (GTT) bietet jedem Kunden seinen Wunsch-Lastkraftwagen an, den sich der Käufer selbst aus zahlreichen Lkw-Design-Features (Varianten) zusammenstellen kann. Alle möglichen Produktkonfigurationen sind potenziell wählbar, es sei denn, es liegt ein dokumentierter Grund vor, der Variantenkombinationen explizit verbietet. Dies ermöglicht es Volvo GTT, Lastkraftwagen für unterschiedliche Kundenbedürfnisse anzubieten, erfordert jedoch die Verwaltung einer sehr großen Anzahl potenzieller Lkw-Konfigurationen.

Dazu werden Variantenkombinationen, die nicht erlaubt sind, explizit mit sogenannten Restriktionen in einer Wissensdatenbank dokumentiert. Da dieses implizite Wissen nicht direkt aus den Daten ablesbar ist, sind Design-Aufgaben häufig hochgradig komplex. Werden zum Beispiel neue Lkw-Bauteile eingeführt, müssen die Ingenieure dafür sorgen, dass alle unzulässigen Lkw-Spezifikationen dokumentiert sind. Dies erfordert viele Absprachen und Meetings zwischen Ingenieuren der involvierten Abteilungen. In der langjährigen Zusammenarbeit zwischen Volvo GTT und der Abteilung Optimierung des Fraunhofer ITWM wurden viele Fallstudien durchgeführt, die eine Reihe von Algorithmen und Software-Tools zur Unterstützung der Ingenieure hervorgebracht haben. In der aktuellen Projektphase werden einige der Algorithmen als Webservices bereitgestellt, die in zahlreichen von Ingenieuren routinemäßig eingesetzten Volvo-Tools integriert werden sollen.

Das Ergebnis einer solchen Fallstudie ist beispielsweise ein Algorithmus, der aus dem explizit dokumentierten Wissen implizite Regeln ableitet. Dieser Algorithmus ist die Grundlage der Software »ChassisPack Hole Explorer«, die die Ingenieure bei ihrer Analyse, welche Montagelöcher auf dem Chassis durch welche Bauteile blockiert sind, nutzen können. In einer konkreten Fallstudie konnte die Software helfen, Erdungspunkte für neue elektrische Einheiten zu finden, die auf allen Lkw-Layouts verwendet werden können. Weitere Fallstudien haben zu einem Tool namens »ChassisPack Analyzer« geführt, das für What-If-Studien genutzt wird – beispielsweise für die Suche nach einer reduzierten Variantenwahl, die sich der Pareto-Front von Lkw-Layouts annähert. Das Anbringen von Bauteilen (engl. Packaging) im Bereich des Chassis wird hier als ein 1.5D-Packungsproblem modelliert, das einen Constraint-Programming-Solver verwendet, um Positionen für Lkw-Bauteile zu erzeugen und das Kraftstoffvolumen zu maximieren, indem der größtmögliche Tank bestimmt wird.

1 Parametrierung des Lkw-Chassis auf den verschiedenen Leveln

2 Analyse des Lkw-Layouts mithilfe des Chassis-Pack Analyzers



## TRIDeff: SIMULATION TRIBOLOGISCHER EIGENSCHAFTEN VON VERBUNDWERKSTOFFEN

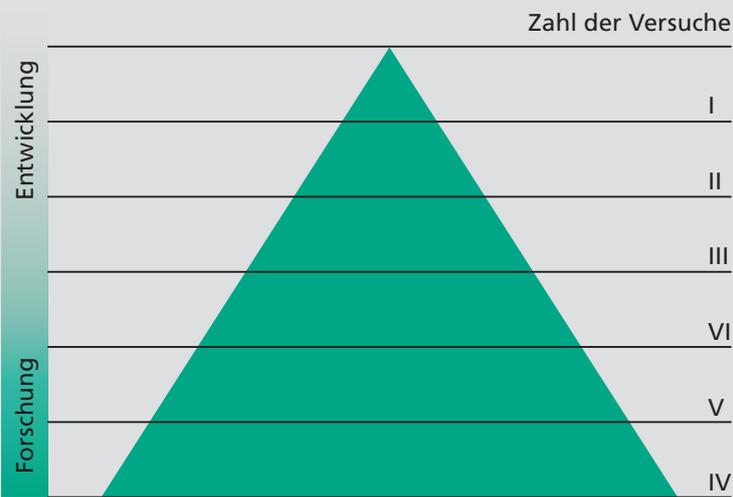
**1** *Getriebebauteile: Die an den Reibflächen erzeugte Wärme, zusammen mit stark temperaturabhängigen Eigenschaften von dünnen tribologisch aktiven Filmen auf diesen Flächen, führt zu einem komplexen Zusammenspiel von Belastungskollektiven und Materialeigenschaften, das mit rein experimentellen Methoden kaum zu analysieren ist.*

Die Energiewende sowie die stetig steigenden Rohstoffpreise führen dazu, dass Energie- und Rohstoffeffizienz ein immer größeres Gewicht bei den Kriterien für eine nachhaltige Forschung und Entwicklung in der Industrie einnehmen. Dies gilt insbesondere für Bauteile, die durch Reibung beansprucht werden. Beispielsweise entsteht in einem typischen Pkw der Energieverlust zu 35 Prozent durch Reibung. Der wissenschaftliche Zweig, der sich mit solchen Systemen auseinandersetzt, wird Tribologie genannt.

Tribologische Eigenschaften sind generell Systemeigenschaften, da Belastungskollektive und Wärmehaushalt von entscheidender Bedeutung sind. Generell gibt es daher eine Vielzahl von Parametern, die das Verhalten tribologischer Systeme beeinflussen. Das macht es in der Material- und Bauteilentwicklung umso schwieriger, von einer tribologischen Labor-Prüfung mit einer Standard-Bauteilgeometrie auf das tatsächliche Verhalten in realen tribologischen Systemen zu schließen.

In der Praxis wird heutzutage anhand von einfachen Prüfanordnungen wie Pin-on-Disc oder Block-on-Ring eine Materialauswahl oder -vorauswahl getroffen und im weiteren Verlauf der Entwicklung die Prüfanordnung in sechs Kategorien bis zum Feld immer praxisnäher gestaltet. Im gleichen Zuge wird die Materialauswahl weiter eingegrenzt und somit die Anzahl der notwendigen Experimente Kategorie für Kategorie reduziert.

Im DFG-Projekt TriDeff, welches in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Verbundwerkstoffe an der TU Kaiserslautern bearbeitet wird, entwickelt das ITWM neue Optimierungs-Methoden zur zielgerichteten und damit schnelleren Materialvorauswahl von reibmindernden Verbundwerkstoffen, die in dünnen Schichten auf Bauteiloberflächen aufgetragen werden. Die zu untersuchende Materialklasse basiert auf einem polymeren Matrixmaterial (PEEK), das als dünne Schicht auf Bauteiloberflächen aufgebracht wird. In solche Matrixmaterialien werden Fasern (z. B. Kohle- oder Glasfasern) sowie Mikro- und Nanopartikel dispergiert. Da diese Einschlüsse sehr klein sind, hat das Gesamtmaterial nach außen hin homogene Eigenschaften, die jedoch stark abhängen von deren Verteilung und Ausrichtung im Film und damit auch vom Beschichtungsprozess. Zunächst wird deshalb eine Modellbeschreibung der Eigenschaften der neuen Verbundwerkstoffe konstruiert, um diese dann schneller zu charakterisieren und deren Verhalten unter tribologischer Belastung aus ihrer Zusammensetzung vorherzusagen. Das Hauptaugenmerk liegt zunächst auf den mechanischen (Festigkeit), thermischen (Wärmeleitfähigkeit und -ausdehnung) sowie tribologischen Eigenschaften.



Die hohe Flexibilität in Zusammensetzung und Eigenschaften von Verbundwerkstoffen ermöglicht in vielen Fällen eine gezielte Optimierung von Materialeigenschaften für spezifische Anwendungsszenarien. Das Heben dieser Optimierungspotenziale ist aufgrund dieser großen Flexibilität mit rein experimentellen Methoden aber kaum zu leisten. Das gilt umso mehr, je komplizierter die Eingangsmaterialien selbst sind. So weist der in diesem Projekt als Basismaterial verwendete Kunststoff (PEEK) stark temperaturabhängige Eigenschaften auf, sodass der Temperaturhaushalt im Gesamtsystem – als eine wichtige Systemeigenschaft – sehr genau beschrieben werden muss.

Ein wesentliches Ziel der laufenden Entwicklungen am ITWM in TriDeff ist es, die Auswahl der Zusammensetzung des Verbundmaterials durch Anwendung der mathematischen Theorie der Homogenisierung zu »virtualisieren«, indem aus der Zusammensetzung und einfachen Eigenschaften der Einzelmaterialien, die zu einem Verbund aggregiert werden, das komplexere Verhalten möglicher Varianten des Verbundmaterials vorhergesagt und anwendungsspezifisch optimiert wird. Das übergeordnete wissenschaftliche Ziel ist die Beschreibung von Korrelationsparametern zwischen unterschiedlichen Kategorien tribologischer Prüfungen unter besonderer Berücksichtigung des Wärmehaushalts. Konkret soll der Zusammenhang zwischen Kategorie VI und V (Abb. 2) vollständig beschrieben werden. Daraus wird dann ein FE-Modell als eine Art digitaler Demonstrator für Kategorie V entwickelt und im Experiment an der TU Kaiserslautern validiert.

**2** *Reduktion der möglichen Varianten eines Tribosystems nach Kategorien der tribologischen Prüfung: In Kategorie I werden Feldversuche in realen Systemen durchgeführt, z. B. Langzeitstudien in der Automobilindustrie. In Kategorien II, III und IV (Prüfstand mit Komplettsystem, Baugruppe, Bauteil) werden Anforderungen an die zu prüfenden Teile systematisch an Kategorie I herangeführt. Die eigentliche Materialentwicklung erfolgt in Kategorien IV, V und VI im Labor mit nachgestellten Bauteiloberflächen oder einfachsten Probekörpern.*



# FINANZMATHEMATIK

## Entwicklung effizienzsteigernder Software-Entwicklungen der Abteilung

- **ALM in #Pfadgenerator**
  - Eingesetzt in der Finanzmarktmodellierung bei Versicherungen
  - Pfadgenerator für PIA-Basismodell
  - Simulation individueller Sicherungsvermögen, Fonds, etc.
- **Commodity Risk Manager**
  - Eingesetzt im Risikomanagement der Energiewirtschaft
  - Bewertung aller üblichen Risiken mit unterschiedlichen Modellen
  - Cross-Commodity-Mehrfaktormodelle mit Kalibrierung
- **Auffälligkeitsdetektion**
  - Eingesetzt im Controlling von Unternehmen und öffentlichen Institutionen
  - Detektion von Auffälligkeiten in Abrechnungsdaten
- **Structured Products Pricer**
  - Eingesetzt zur effizienten Bewertung großer Portfolien
  - Bewertung strukturierter Zinsprodukte



### Abteilung »Finanzmathematik« am Fraunhofer ITWM Software-Entwicklungen der Abteilung

- **ALM in #Pfadgenerator**
  - Eingesetzt in der Finanzmarktmodellierung bei Versicherungen
  - Pfadgenerator für PIA-Basismodell
  - Simulation individueller Sicherungsvermögen, Fonds, etc.
- **Commodity Risk Manager**
  - Eingesetzt im Risikomanagement der Energiewirtschaft
  - Bewertung aller üblichen Risiken mit unterschiedlichen Modellen
  - Cross-Commodity-Mehrfaktormodelle mit Kalibrierung
- **Auffälligkeitsdetektion**
  - Eingesetzt im Controlling von Unternehmen und öffentlichen Institutionen
  - Detektion von Auffälligkeiten in Abrechnungsdaten
- **Structured Products Pricer**
  - Eingesetzt zur effizienten Bewertung großer Portfolien
  - Bewertung strukturierter Zinsprodukte

© Fraunhofer ITWM

Fraunhofer  
ITWM

Im Laufe des Jahres wurden in der Abteilung »Finanzmathematik« mehrere Software-Entwicklungen bis zur Produktreife gebracht. Es stehen nun in allen Schwerpunkten Produkte zur Verfügung, um das Profil der Abteilung weiter zu schärfen und neue Projektpartner zu gewinnen.



---

Die Abteilung Finanzmathematik blickt auf ein erfolgreiches Jahr zurück. Der Ende 2015 vollzogene Wechsel in der Abteilungsleitung hat sich bewährt und es wurden vier neue Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eingestellt, um alle Forschungs- und Industrieprojekte bewältigen zu können. Im Auftrag der Produktinformationsstelle Altersvorsorge PIA wurden Basis- und Riester-Rententariife mit ihren spezifischen Eigenschaften für vier verschiedene Laufzeiten modelliert, simuliert und auf den Simulationsergebnissen basierend klassifiziert. Diese Klassifizierung ist seit Januar 2017 Voraussetzung für den Vertrieb eines geförderten Altersvorsorgeproduktes. Durch eine konzentrierte Leistung konnten alle beantragten Tarife klassifiziert werden. Darüber hinaus ist mit der Entwicklung einer Software zum modernen Risikomanagement der Einstieg in die Energiewirtschaft gelungen. Für einen mittelständischen deutschen Energieversorger entwickelte die Abteilung eine prozessfeste Softwarelösung zur Bewertung aller in der Branche typischen Risikoarten, wobei selbstentwickelte Mehrfaktormodelle für Strom, Gas und CO<sub>2</sub> zum Einsatz gekommen sind. Weiterhin konnte im Bereich Gesundheitswesen die Schadenshochrechnung bei Arzt-Abrechnungsbetrug weiter etabliert werden. Mithilfe spezieller Verfahren wird basierend auf einer Stichprobe an befragten Patienten eine statistisch belastbare Hochrechnung des Betrugsschadens ermittelt. Die Methode ist bereits in mehreren Gerichtsprozessen zum Einsatz gekommen.

## **SCHWERPUNKTE**

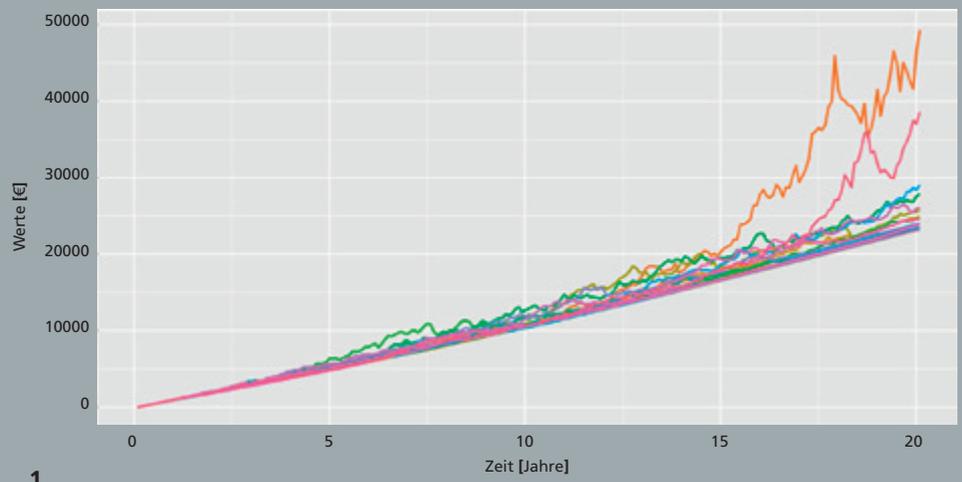
- Mathematik für die Finanzwirtschaft: Marktmodellierung, Bewertung, Asset-Liability Management, Chance-Risiko Klassifizierung etc.
- Mathematik für die Energiewirtschaft: Risikomanagement, Modellentwicklung etc.
- Data Science für das Controlling: Schadenshochrechnung, Auffälligkeitsdetektion, Rating etc.
- Entwicklung individueller Softwarelösungen in oben genannten Bereichen

---

### **Kontakt**

[andreas.wagner@itwm.fraunhofer.de](mailto:andreas.wagner@itwm.fraunhofer.de)  
[www.itwm.fraunhofer.de/fm](http://www.itwm.fraunhofer.de/fm)





## KLASSIFIZIERUNG PRIVATER ALTERSVORSORGE-PRODUKTE

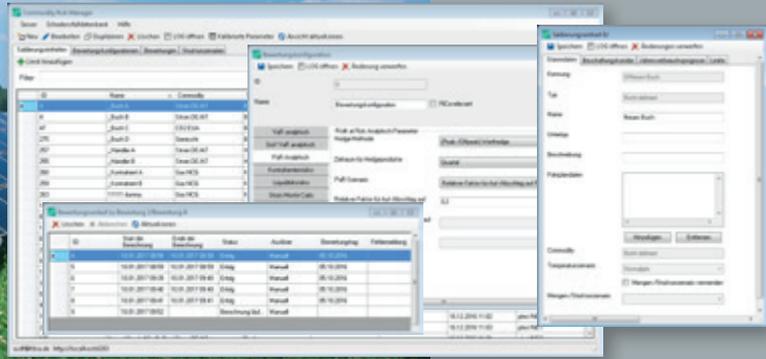
### 1 Vermögensverläufe eines 20-jährigen Vertrages unter verschiedenen Szenarien

Seit 2002 wird in Deutschland die private Altersvorsorge durch staatliche Zulagen gefördert, sei es in Form der Riester-Rente oder einer Basisrente (Rürup-Rente). Nach dem Altersvorsorge-Verbesserungsgesetz braucht jedes geförderte Altersvorsorgeprodukt seit Anfang 2017 ein Produktinformationsblatt, das insbesondere eine Chance-Risiko-Klasse ausweist.

Die Aufgabe, diese Chance-Risiko-Klassen festzulegen, wurde durch das Bundesministerium der Finanzen (BMF) der Produktinformationsstelle Altersvorsorge gGmbH (PIA) auf dem Wege der Beleihung übertragen. Die PIA erfüllt Verwaltungsaufgaben und andere durch das BMF übertragene Pflichten und beauftragte die Abteilung Finanzmathematik im Jahr 2016 mit der Klassifizierung von etwa 600 Altersvorsorgeprodukten.

Für die Klassifizierung werden auf Basis eines Marktmodells für die Zins- und Aktienpreisentwicklung 10 000 mögliche Marktszenarien für die gesamte Laufzeit der Produkte erzeugt. Jedes dieser Szenarien ergibt ein Ablaufvermögen nach Ende der Ansparphase. Die Verteilung dieser Ablaufvermögen wiederum bestimmt die Einteilung in eine von fünf Chance-Risiko-Klassen. Die Simulation berücksichtigt dabei einerseits die gewählte Vertragsform (klassische Lebensversicherung, Banksparplan, Fondssparplan, statische und dynamische Hybridvarianten mit verschiedenen Anlageformen), die Anlageentscheidungen des Managements (Umschichtungen zwischen unterschiedlich riskanten Anlagen) sowie die einbehaltenen Kosten. Ebenso werden komplexe Absicherungsstrategien und Optionen einbezogen. Nach dem Gesetz werden diese Szenarien für Musterkunden mit einem Zeithorizont von 12, 20, 30 und 40 Jahren erzeugt, die monatlich 100 € einzahlen.

Kern des Marktmodells ist ein Hull-White-Zinsmodell mit zwei stochastischen Faktoren. Dieses Modell kann aktuelle Phänomene der Zinsentwicklung adäquat abbilden, z. B. negative Zinsen und Dekorrelation von lang- und kurzfristigen Zinsen. Der Aktienmarkt wird durch einen weiteren stochastischen Faktor in einem Black-Scholes-Modell modelliert, wobei die simulierte Zinsrate einfließt. Um die Simulationszeit in einem vertretbaren Rahmen zu halten, werden die Szenarien für einen monatlichen Rhythmus generiert, der auch der Beitragszahlungsfrequenz entspricht. Dies erforderte auch die Entwicklung approximativer Handelsstrategien, um z. B. eine Absicherung durch tägliches Umschichten passend zu simulieren. Im Produktinformationsblatt ist eine am ITWM ermittelte Chance-Risiko-Klasse ausgewiesen. Aktuell wurden bereits mehr als 600 Altersvorsorgeprodukte klassifiziert. In der Zukunft werden die ermittelten Chance-Risiko-Klassen auf Basis aktueller Marktdaten jährlich überprüft.



1

## RISIKOCONTROLLING FÜR DIE ENERGIEWIRTSCHAFT

Energieunternehmen sind einer Vielzahl von Risiken ausgesetzt und deren Kontrolle und Steuerung ist ein elementarer Bestandteil der Unternehmensführung. Je nach Risiko erfolgen Bewertung und Reporting automatisiert oder es sind händische Vorarbeiten nötig.

### 1 Bewertung energiewirtschaftlicher Risiken

Häufig findet das Risikomanagement noch auf Basis komplexer und unübersichtlicher Implementierungen in den üblichen Tabellenkalkulationsprogrammen statt. Daneben bietet der Markt für Risikocontrolling-Software standardisierte Lösungen, die jedoch meist eine Umstellung des gesamten Handels- und Portfoliomanagement-Systems auf die Software des Anbieters erfordern. Diese Produkte haben einen sehr hohen Integrationsaufwand und können die spezifischen Anforderungen eines Energieunternehmens mit individuellem Profil meist nur ungenau erfüllen. Für einen mittelständischen deutschen Energieversorger entwickelte die Abteilung Finanzmathematik daher eine individuelle Risikocontrolling-Software, die aufgrund ihrer Architektur mit wenig Integrationsaufwand auskommt und keine Auswirkungen auf die bestandsführenden Systeme (Portfoliomanagement, Handel) hat. Die Software kann auch komplexe (evtl. unternehmensspezifische) Risiken bewerten und ist bei Modellwahl und Kalibrierung nicht an die Restriktionen handelsüblicher Tabellenkalkulationen gebunden. An dieser Stelle profitiert die Software von der jahrelangen Erfahrung in finanzmathematischer Modellierung in der Abteilung. Je nach Risikoart sind die Standardansätze häufig unzureichend oder basieren auf Heuristiken. Unser Anspruch war es, realistische und verständliche Modelle zu entwickeln, die die entscheidenden Risikofaktoren abbilden und vom Risikomanager und weiteren Beteiligten im Unternehmen verstanden werden.

Die Software kann alle üblichen Risiken bewerten: Marktpreisänderungsrisiken, Liquiditätsrisiken, Händlerisiken, Kontrahentenrisiken (Wiederverwertung, Zahlungsausfall), Temperaturbedingte Risiken sowie Mengen- und Strukturrisiken. Für die Bewertung der Marktpreisänderungsrisiken sind je nach Commodity (Strom, Kohle, Gas, CO<sub>2</sub>) individuelle Modelle implementiert, wobei auch die Korrelation zwischen den Rohstoffen abgebildet werden kann. Die Kalibrierung der Modellparameter erfolgt automatisiert an den täglich aktualisierten Marktdaten. Je nach Risiko stellt die Software verschiedene Methoden zur Verfügung. Neben der Berechnung der klassischen Kennzahlen Portfoliowert, Value-at-Risk und Profit-at-Risk können auch Hedge-Vorgaben überprüft werden. In allen Methoden sind Szenario-basierte Auswertungen möglich, um auch externe Simulationsrechnungen (z. B. Verbrauchsprognosen) einbinden zu können. Erlaubt die gewählte Risikomethode keine geschlossene Lösung, wird die Bewertung basierend auf Monte-Carlo-Simulationen berechnet.



# MATHEMATISCHE METHODEN IN DYNAMIK UND FESTIGKEIT



Interaktiver Simulator RODOS® mit montierter PKW-Kabine. Das verwendete Simulationsszenario basiert auf 3D-Laserscanner-Messdaten, aufgezeichnet mit REDAR. Mit diesem Aufbau werden Assistenz- und Automatisierungslösungen für PKW entwickelt und erprobt. Die Testfahrer erleben eine hoch immersive virtuelle Umgebung und können darin auch riskante Manöver durchführen. Verglichen mit Feldtests ist die Reproduzierbarkeit im Simulator hervorragend.



---

Die Abteilung beschäftigt sich mit der Modellierung und Simulation von Nutzungsvariabilität, Betriebsfestigkeit, Energieverbrauch und Emission von Fahrzeugen. Für diese Attribute ergibt sich die Schwierigkeit, dass höchst unterschiedliche zeitlich variable Vorgänge simuliert und zur Bewertung geeignet akkumuliert werden müssen. Hierfür muss man nicht nur das Fahrzeug selbst, sondern auch seine ‚Randbedingungen‘ oder seine ‚Wechselwirkung mit dem Rest der Welt‘ abbilden. Im Einzelnen braucht man zusätzlich zu den CAE-Fahrzeugmodellen auch gute Modelle für das Straßennetz, die Topographie, die Straßenbeschaffenheit, Verkehr, Reifen und Fahrerverhalten. Unter dem Aspekt der Absicherung betrifft diese Herausforderung in besonderem Maße auch die Ableitung und Qualifikation geeigneter (virtueller und physikalischer) Erprobungskonzepte, die der Variabilität der Beanspruchungen, Verbräuche und Emissionen im realen Betrieb gerecht werden. Seit 2007 widmet sich die Abteilung dieser Problematik systematisch im Fraunhofer-Innovationscluster »FUMI – Fahrzeug-Umwelt-Mensch Interaktion«, der nun seit 2016 in das Fraunhofer-Leistungszentrum »Simulations- und Software-basierte Innovation« integriert ist.

Darüber hinaus entwickeln wir neue Simulationsmethoden und Software zur produktionstechnischen Absicherung von Fahrzeugen. Hier arbeiten wir seit langem mit dem Fraunhofer-Chalmers Centre FCC an der Entwicklung von Software zur interaktiven Simulation von Kabeln und Schläuchen (IPS Cable Simulation) sowie zur ergonomischen Analyse dynamischer menschlicher Bewegungen.

## **SCHWERPUNKTE**

- Modellierung und Simulation der Nutzungsvariabilität in der Fahrzeugentwicklung (VMC®/U-Sim)
- Simulation der Fahrzeug-Umwelt-Mensch Interaktion
  - Reifen- und Gesamtfahrzeugsimulation (CDTire)
  - Interaktive Simulation/Simulator RODOS®
- Simulation von Kabeln und Schläuchen (IPS Cable Simulation)
- Simulation dynamischer menschlicher Bewegung: MAVO-Projekt »Ergo-dynamic Moving Manikin with Cognitive Control«

---

### **Kontakt**

klaus.dressler@itwm.fraunhofer.de  
www.itwm.fraunhofer.de/mdf





## MODELLIERUNG DER NUTZUNGSVARIABILITÄT VON FAHRZEUGEN MIT VMC®

**1** *Automatisch generierter Routenverlauf einer Pendlerstrecke: In rot sind die direkten Verbindungslinien des Start- und Endpunkts sowie ein Zwischenpunkt einer Pendlerstrecke dargestellt; in blau der durch VMC® berechnete tatsächliche Routenverlauf.*

In der Abteilung wird seit mehreren Jahren intensiv an der Berücksichtigung von georeferenzierten Daten zur Modellierung der Nutzungsvariabilität und Herleitung von Beanspruchungsverteilungen geforscht. Daraus hat sich das umfangreiche Softwarepaket »Virtual Measurement Campaign« (VMC®) entwickelt, welches einen wichtigen Beitrag zur Auslegung und Auswertung von Messkampagnen leistet. Zusätzlich zur Erfassung und Auswertung von Messdaten erhalten die Hersteller vertiefende Erkenntnisse über die Fahrzeugnutzung. Diese werden benötigt, um die Messdaten auf das gesamte Fahrzeugleben für verschiedene Kundengruppen hochzurechnen. Das folgende Projektbeispiel gibt dazu einen Einblick in die Zusammenarbeit mit Volkswagen Nutzfahrzeuge, in der die Methoden erfolgreich eingesetzt wurden.

Mithilfe des Softwaremoduls VMC® GeoStatistics wird eine Messkampagne in einer gewünschten Zielregion detailliert geplant. Dabei werden insbesondere zuvor als relevant eingestufte topographische Faktoren wie Straßentyp, Steigungs- oder Kurvigkeitswerte berücksichtigt. Ziel ist es, einen möglichst umfassenden Ausschnitt der Zielregion mit all ihren charakteristischen Gegebenheiten zu erfassen und auf die Routenführung der Messkampagne abzubilden. Die detailliert geplante Messkampagne erfasst somit alle relevanten topographischen Faktoren und beinhaltet alle relevanten Fahrzustände in einer statistisch ausreichenden Breite. Parallel dazu wird die Fahrzeugnutzung thematisiert. Abhängig vom Fahrzeugtyp sind verschiedene Branchen und Einsatzgebiete mit ihren Fahrprofilen relevant, etwa Verteiler- und Paketdienste oder Handwerker. Dieser fährt von seinem Betrieb aus zu verschiedenen Kunden und muss zusätzlich bei Bedarf notwendige Verbrauchsmaterialien einkaufen. Die Darstellung der täglich gefahrenen Strecken innerhalb des Einsatzgebiets des Fahrzeugs besitzt somit einen sternförmigen Charakter. Dem gegenüber liefert ein Verteiler- und Paketdienst seine Waren eher auf einem Rundkurs aus und hat im Gegensatz zum Handwerker mehr Zwischenstopps pro Tour. Um repräsentative Streckenverläufe der verschiedenen Kundengruppen automatisch zu generieren, werden Gebietsinformationen und konkrete Einzelziele benötigt, welche der VMC®-Datenbank entnommen werden. Pro Kundengruppe werden mehrere tausend Routen generiert, wobei die Ergebnisse mit allgemein zugänglichen Statistiken, etwa Entfernungen bei Pendlern, sowie mit spezifischen Messdaten abgeglichen werden. Anhand des digitalen Kartenmaterials können anschließend die Zusammensetzung nach Streckentypen und die topographischen Gegebenheiten der befahrenen Straßen bestimmt werden. Mit diesen Parametern erfolgt die Hochrechnung der Messdaten auf zu erwartende Beanspruchungsverteilungen. Insbesondere werden Sensitivitätsstudien und Vergleiche zwischen unterschiedlichen Kundengruppen ermöglicht, die beispielsweise zur maßgeschneiderten Konfiguration eines Fahrzeugs eingesetzt werden können.



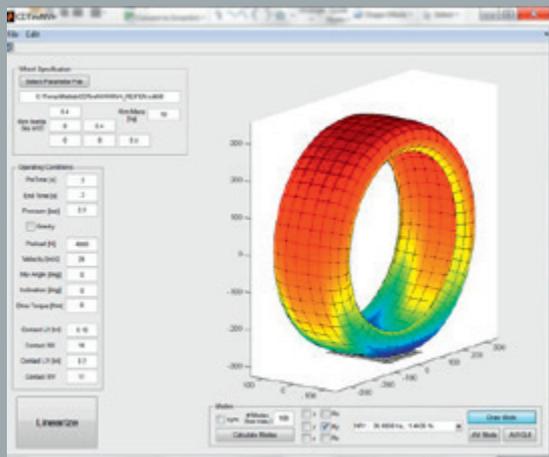
## INTERAKTIVE FAHR- UND BETRIEBSSIMULATION MIT RODOS®

Bei der simulationsbasierten Erprobung neuer Fahrzeugkonzepte müssen in sehr frühen Projektphasen alle relevanten Einflüsse auf das Fahrzeugmodell richtig abgebildet werden. Dabei stellt die Umgebung sowie die Mensch-Fahrzeug-Interaktion eine besondere Herausforderung dar. Mit der rasant zunehmenden Komplexität von Fahrzeugen, die den Fahrer bei einer Vielzahl von Entscheidungen nicht mehr nur unterstützen, sondern in wachsendem Maße sogar das eigentliche Fahren teilweise oder auch ganz übernehmen, ergeben sich auch neue Anforderungen an die Simulationskette im Entwicklungsprozess. Die Zahl und Art der Wechselwirkungen zwischen Fahrzeug, Umwelt und Mensch (Fahrer), die in der Fahrzeugentwicklung berücksichtigt werden müssen, hat in der jüngeren Vergangenheit stark zugenommen.

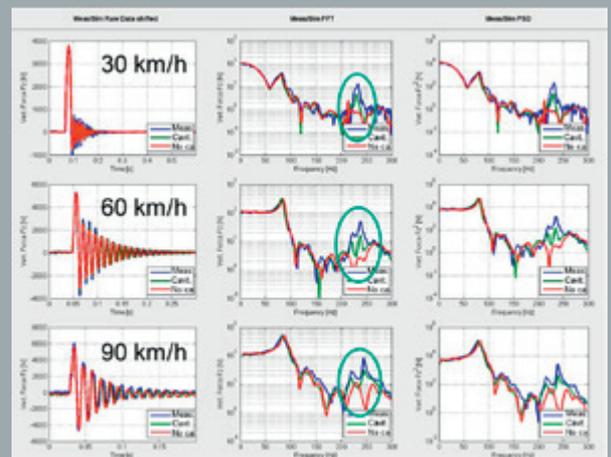
Traditionell lag der Fokus in der Simulation im Wesentlichen auf einer korrekten Abbildung der physikalischen Eigenschaften des Fahrzeuges unter Berücksichtigung einiger weniger Teilaspekte der Umwelt (z. B. der Straßenoberfläche) und des Fahrers (z. B. als Bahnregler). Auch für die zu berücksichtigende Kopplung dieser Eingangsgrößen führten weniger komplexe Ansätze bislang in der Regel zu aussagekräftigen Ergebnissen. Mit zunehmender Intelligenz des Fahrzeuges und der damit einhergehenden aktiveren Rolle des Fahrzeuges ist eine relativ einfache Modellierung des Fahrerverhaltens nicht mehr ausreichend. Die Reaktionen und Empfindungen des Menschen sind nunmehr auch unmittelbar und sehr stark von den ‚Entscheidungen‘ des Fahrzeuges selbst abhängig. Das subjektive Gefühl des Fahrens resultiert nicht mehr nur aus den physikalischen Eigenschaften des Fahrzeuges, sondern zusätzlich auch aus dessen ‚intelligenten‘ Verhalten (aktiver Eingriff in den Prozess des Fahrens) sowie zusätzlich dem (teilweise autonomen) Verhalten anderer Fahrzeuge. Weiterhin steigt der notwendige Detaillierungsgrad der Umwelt, da die verbauten Sensoren einen hohen Komplexitätsgrad der Umgebung erfassen und beispielsweise eine Beschreibung der Straßenoberfläche als Eingangsgröße in das Modell bei weitem nicht mehr ausreichend ist. Insbesondere der Mensch, dessen Immersionserlebnis stark von visuellen und vestibulären Eindrücken geprägt ist, reagiert signifikant auf unterschiedliche Komplexitäts- und Realitätsgrade der dargestellten Umgebung. Dazu wurde am ITWM eine neue Werkzeugkette entwickelt, die mit einer hochgenauen laserbasierten 3D-Erfassung (REDAR) der Umgebung beginnt und letztendlich den Fahrer mittels eines roboterbasierten Fahrsimulators (RODOS®) mit einem außerordentlich hohen Immersionsgrad in die Simulationsumgebung integriert. Die Fahrzeugsimulation selbst nutzt neben der Fahrerinteraktion auch die Umgebungsdaten als Input, z. B. über einen eigens entwickelten Terrainserver für die Reifenmodelle. Die Umgebungs-darstellung auf Punktwolkenbasis ist trotz der immensen Datenmengen aufgrund neuer ‚out of core‘-Ansätze echtzeitfähig.

**1** *Simulationsszenario auf Basis gemessener 3D-Punktwolken (Trippstadter Straße in Kaiserslautern)*

**2** *Baggersimulation in einem punktwolkenbasierten Szenario*



1



2

## EINFLUSS DER FÜLLGASDYNAMIK AUF BETRIEBS-ZUSTÄNDE DES REIFENS

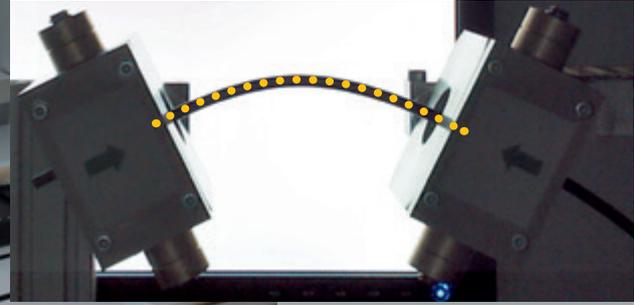
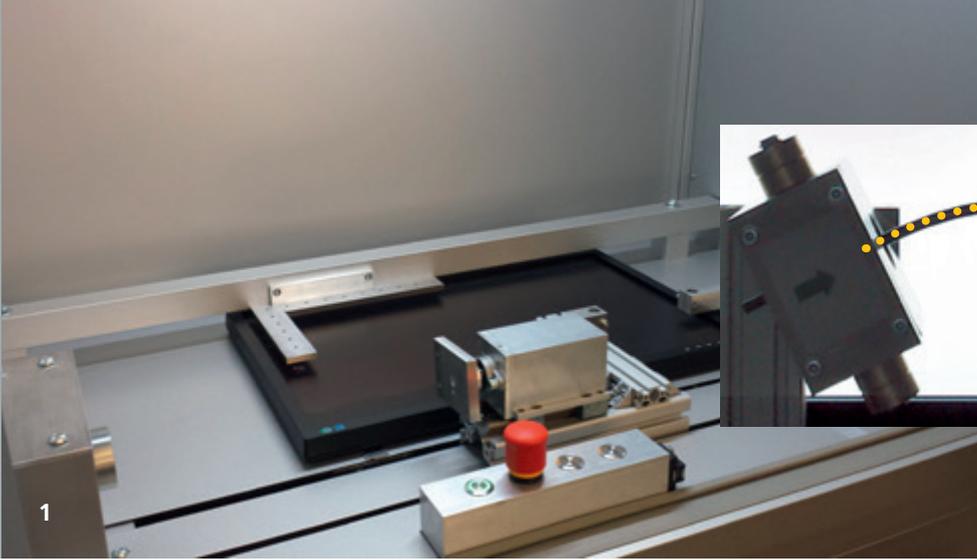
1 *CDTire/NVH: Linearisierung des rollenden Reifens*

2 *Vergleich vertikaler Radnabenkräfte bei Schwellenüberfahrt: Messung (blau) gegen Simulation mit (grün) und ohne (rot) Dynamik des Füllgases*

Am ITWM wird das Reifenmodell CDTire/3D als Teil der Reifenfamilie CDTire weiterentwickelt. Bei diesem Modell sind die Seitenwände und der Gürtel des Reifens über Schalenmodellierung dargestellt. Der reale Reifen besteht aus unterschiedlichen Lagen wie Innerliner, Karkasse, Stahlgürtellagen, Bandage und Laufstreifen, wobei diese Komponenten meist aus fadenverstärkten Gummischichten mit eindeutiger Fadenrichtung bestehen. All diese funktionalen Einzellagen finden eine separate Repräsentation im Reifenmodell, so dass auch deren Struktureigenschaften separat und örtlich lokal parametrisiert werden können. Die Rechenzeiten von CDTire/3D liegen derzeit im Bereich gängiger, in der Mehrkörperdynamik verwendeter Reifenmodelle und somit um Größenordnungen unter denen von FEM-Modellen.

CDTire/3D modelliert den Reifen von Wulstkern zu Wulstkern, also insbesondere inklusive der Seitenwand. Damit kann der Fülldruck physikalisch korrekt auf die innere Lage (Innerliner) des Reifens appliziert werden. Für viele Anwendungen ist es ausreichend, den Druck des Füllgases als zeitlich vorgegeben zu modellieren. Mit dieser Modellvorstellung können schon fortgeschrittene Fragestellungen wie der plötzliche totale Druckverlust auf sicherheitsrelevante Auslegungen von Steuerungskomponenten des Fahrzeugs virtuell getestet werden. Allerdings gibt es auch Fragestellungen, bei der die Interaktion des Füllgases mit der Innenlage des Reifens dynamisch zu modellieren ist. Ein solches Beispiel ist die Erweiterung des Frequenzbereichs in NVH-Anwendungen (Noise-Vibration-Harshness) auf und über 250 Hz. Für typische Pkw-Reifen liegt nämlich die erste Resonanzfrequenz der Füllgas-Schwingung bei etwa 230 Hz. In diesem Frequenzbereich koppelt die Dynamik des Füllgases mit der Reifenstruktur und produziert signifikante Peaks im Spektrum der resultierenden Reifenkraft auf die Felge.

Um diesen Anwendungen gerecht zu werden, hat CDTire/3D jetzt optional die Möglichkeit, die Dynamik des Füllgases durch eine isentrope kompressible Euler-Gleichung mit zeitlich veränderlichen Reifenquerschnitten zu beschreiben. Dabei breiten sich Druckstörungen, wie zum Beispiel durch plötzliche Querschnittsänderungen bei Schwellenüberfahrten induziert, ungefähr mit Schallgeschwindigkeit in beide Umfangsrichtungen aus. Interessant wird es jetzt, wenn der Reifen dreht. Wird jetzt das ebenfalls drehende Füllgas zu Druckänderungen gezwungen, breiten sich die beiden Druckstörungen im drehenden Füllgas zwar immer noch ungefähr mit Schallgeschwindigkeit aus, jedoch wird ein raumfester Beobachter (wie eine Kraftmessung) jetzt zwei verschiedene Frequenzen registrieren. Dieser rollgeschwindigkeitsabhängige Split des sog. Cavity-Modes ist auch messtechnisch nachweisbar.



## ERMITTLUNG VON MODELLPARAMETERN FÜR IPS CABLE SIMULATION MIT MESOMICS

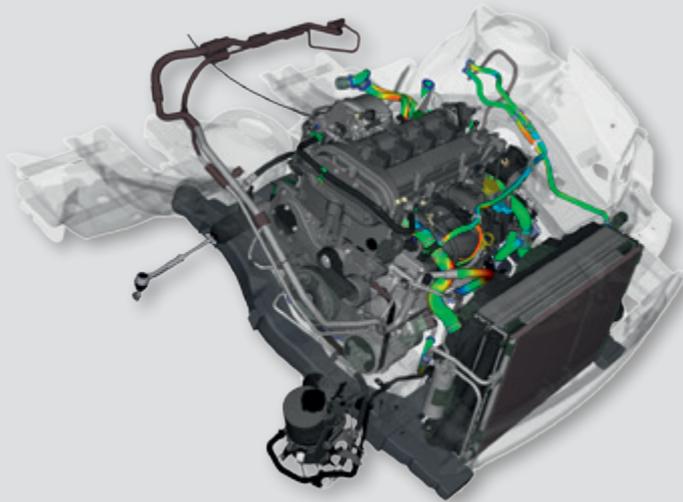
Bei der numerischen Simulation von realen Systemen oder Bauteilen kommt es im Allgemeinen auf zwei Dinge an. Einerseits ist ein gutes mathematisches Modell des Systems zwingend erforderlich, um verwertbare Simulationsergebnisse zu erhalten. Andererseits muss das Modell mit den richtigen Parametern gefüttert werden, die auch den realen Gegebenheiten entsprechen. Oft ist das Bestimmen dieser Parameter schwierig, muss für jede neue Situation individuell durchgeführt werden und ist somit sehr zeit- und kostenintensiv.

Genauso verhält es sich auch für die von FCC und ITWM entwickelte Software IPS Cable Simulation, welche eine interaktive und gleichzeitig exakte Simulation hochflexibler Bauteile wie Kabel und Schläuche für Montage- und Betriebssimulation ermöglicht. Um die physikalischen Effekte bei der Verformung von Kabeln und Schläuchen korrekt vorhersagen zu können, ist es notwendig, die mechanischen Bauteileigenschaften als Modellparameter zu ermitteln. Hierfür wurde im vergangenen Jahr eine hoch automatisierte Messmaschine (MeSOMICS) entwickelt, konstruiert, aufgebaut und zum Patent angemeldet. MeSOMICS steht für »Measurement System for the Optically Monitored Identification of Cable Stiffnesses«. Es handelt sich dabei um ein Messsystem zur Identifikation von Kabelsteifigkeiten, welches neben klassischen Messgrößen wie Kräften und Momenten auch eine optische Auswertung der Biegelinie beinhaltet und damit die Messung überwacht.

Die Messmaschine ist speziell auf eine unkomplizierte Handhabung und automatische Datenauswertung hin optimiert. So ist das Einsetzen der Proben schnell und einfach möglich, die anschließende Messung läuft vollautomatisch ab und die gesuchten Modellparameter für IPS Cable Simulation werden umgehend aus den aufgenommenen Daten abgeleitet. Darüber hinaus zeichnet sich die neu entwickelte Biegeprüfung unter anderem durch einen großen Gültigkeitsbereich und das Einstellen praxisrelevanter kleinster Krümmungsradien aus. Dies ist mit Standardversuchen wie dem 3-Punkt-Biegeversuch nicht zulässig. Mithilfe einer innovativen, ein nichtlineares Strukturmodell zugrunde legenden Auswertung werden aus den aufgenommenen Daten die Steifigkeiten des Prüflings identifiziert. In diese Auswertung fließen sämtliche aufgenommenen Größen – Kräfte, Momente, Verschiebungen und die genannten optischen Aufnahmen – ein und ermöglichen so ein sehr robustes algorithmisches Vorgehen. Darüber hinaus wird die gemessene Biegesteifigkeit unmittelbar durch eine theoretisch ermittelte Lösung der Biegelinie verifiziert. Schlussendlich liefert MeSOMICS einen vollständigen Satz an Steifigkeiten für die numerische Simulation in IPS Cable Simulation.

**1** *Probenkammer von MeSOMICS*

**2** *Optische Überwachung der Biegeprüfung mit theoretisch ermittelter Biegelinie*



1

## DYNAMISCHE SIMULATION VON KABELN UND SCHLÄUCHEN

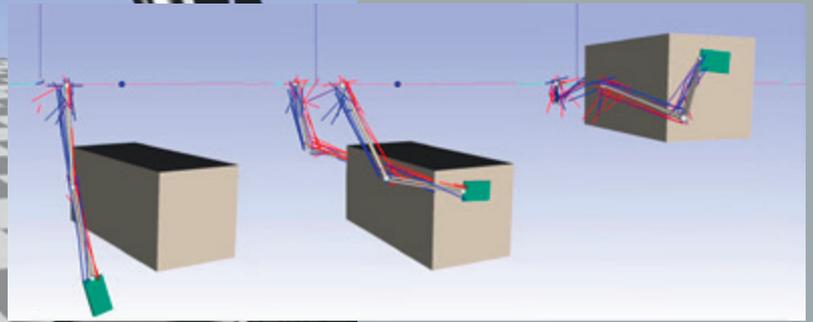
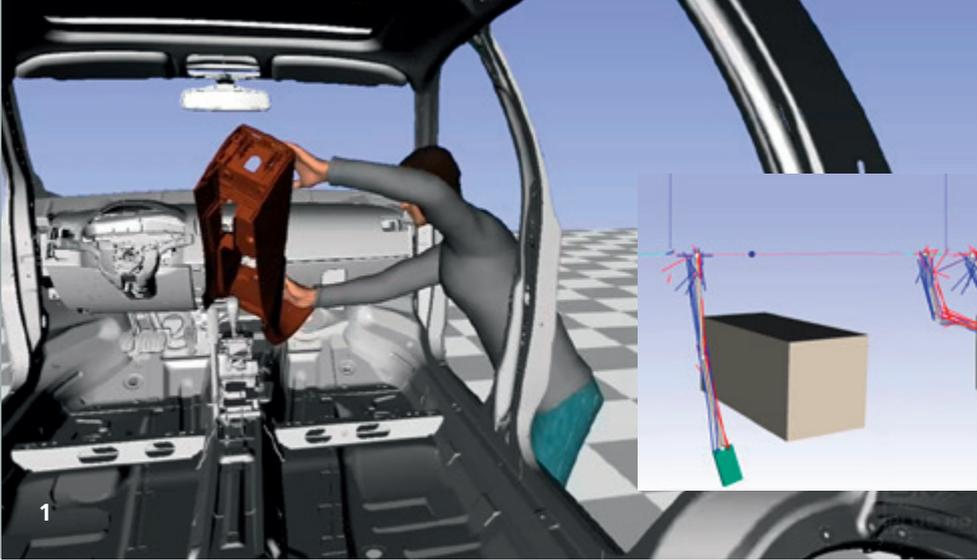
### 1 *Komplexer Kabelbaum im Motorraum*

Die numerische Simulation ist aus modernen Produktionsprozessen in der Fahrzeugindustrie nicht mehr wegzudenken. Schon sehr früh in der Prozesskette – idealerweise vor der Fertigung von Prototypen – werden Simulationen zur digitalen Absicherung von bestimmten Komponenten eingesetzt. Eine besondere Herausforderung stellt die Simulation von hochflexiblen Bauteilen wie Kabeln und Schläuchen dar, welche keinen schädlichen Belastungen ausgesetzt sein dürfen. Für quasi-statische Fälle, d. h. für Situationen mit langsamen Bewegungen, ist bereits seit einigen Jahren die vom FCC in Göteborg und dem ITWM entwickelte Software »IPS Cable Simulation« im industriellen Einsatz, deren Vertrieb durch das ITWM-Spin-off fleXstructures GmbH erfolgt. Diese Software ermöglicht eine interaktive und gleichzeitig hochgenaue Montagesimulation.

Treten jedoch schnelle Bewegungen mit hohen Frequenzen auf, so müssen Trägheitseffekte berücksichtigt werden und die dynamische Simulation von Kabeln und Schläuchen ist unumgänglich. Um auch für diese rechnerisch aufwändigere Simulation schnelle und genaue Lösungen zu gewährleisten, wird das Kabel als geometrisch exakter Cosserat-Balken formuliert. Dieses Modell liefert in Verbindung mit modernen Ansätzen aus der diskreten Differentialgeometrie auch bei sehr wenigen Freiheitsgraden – und damit kurzen Rechenzeiten – robuste und realistische Ergebnisse.

Aktuell wird die dynamische Kabelsimulation in IPS Cable Simulation integriert. Somit können erfahrene Nutzer wie gewohnt flexible Kabel und Schläuche generieren, digital verlegen und verschiedene Varianten komfortabel vergleichen. Gegenüber quasi-statischen Simulationen müssen lediglich folgende zusätzliche Informationen definiert werden: die dynamische Anregung und die Dämpfungseigenschaften des Bauteils.

Ein ganz wesentliches Hilfsmittel zur Bewertung von Einbausituationen sind akkumulierte Schädigungswerte, welche im Nachgang der Simulation in der Beanspruchungsanalyse berechnet werden. In diesem Zusammenhang unterscheiden wir zwei Fälle. Einerseits können schon jetzt vergleichende Lastdatenanalysen (LDA) durchgeführt werden. Dabei werden Pseudo-Schädigungswerte auf der Kabeloberfläche berechnet, welche nicht die absolute Lebensdauer ausdrücken, es aber erlauben, verschiedene Konfigurationen bzgl. Schädigung zu vergleichen. Andererseits besteht auch großes Interesse an absoluten Lebensdauervorhersagen. Zu deren Berechnung ist die algorithmische Vorgehensweise ähnlich der vergleichenden LDA, jedoch werden bauteilspezifische Wöhlerkurven benötigt, welche die Anzahl zulässiger Schwingspiele bei bestimmten Amplituden angeben. Die Bewertung dieses Prozesses ist Gegenstand der aktuellen Forschung.



## DIGITALE MENSCHMODELLIERUNG ZUR AUSLEGUNG ERGONOMISCHER ARBEITSPLÄTZE

Ziel des MAVO-Projektes »Ergo-dynamic Moving Manikin with Cognitive Control« (EMMA-CC) ist die Entwicklung eines Werkzeuges zur ergonomischen Bewertung dynamischer menschlicher Bewegungen mittels validierter Simulation. Dies ermöglicht in Zukunft die komfortable Konzeption gesunder und sicherer Arbeitsplätze in der Produktentwicklung und Produktionsplanung. Das am FCC entwickelte digitale Menschmodell IPS IMMA liefert hierfür die Basis und wird durch Kernkompetenzen der im MAVO-Projekt beteiligten Fraunhofer-Institute unter Federführung des ITWM substantziell erweitert. Methodische Schwerpunkte der Projektarbeiten in EMMA-CC sind Biomechanik und Optimalsteuerung (ITWM), biomechanische 3D-Muskelmodellierung und Validierung (IPA), hybride Parallelisierung der Simulationssoftware (IGD), Arbeitsplatzergonomie (IAO) und kognitive Steuerungsmodelle (IPK).

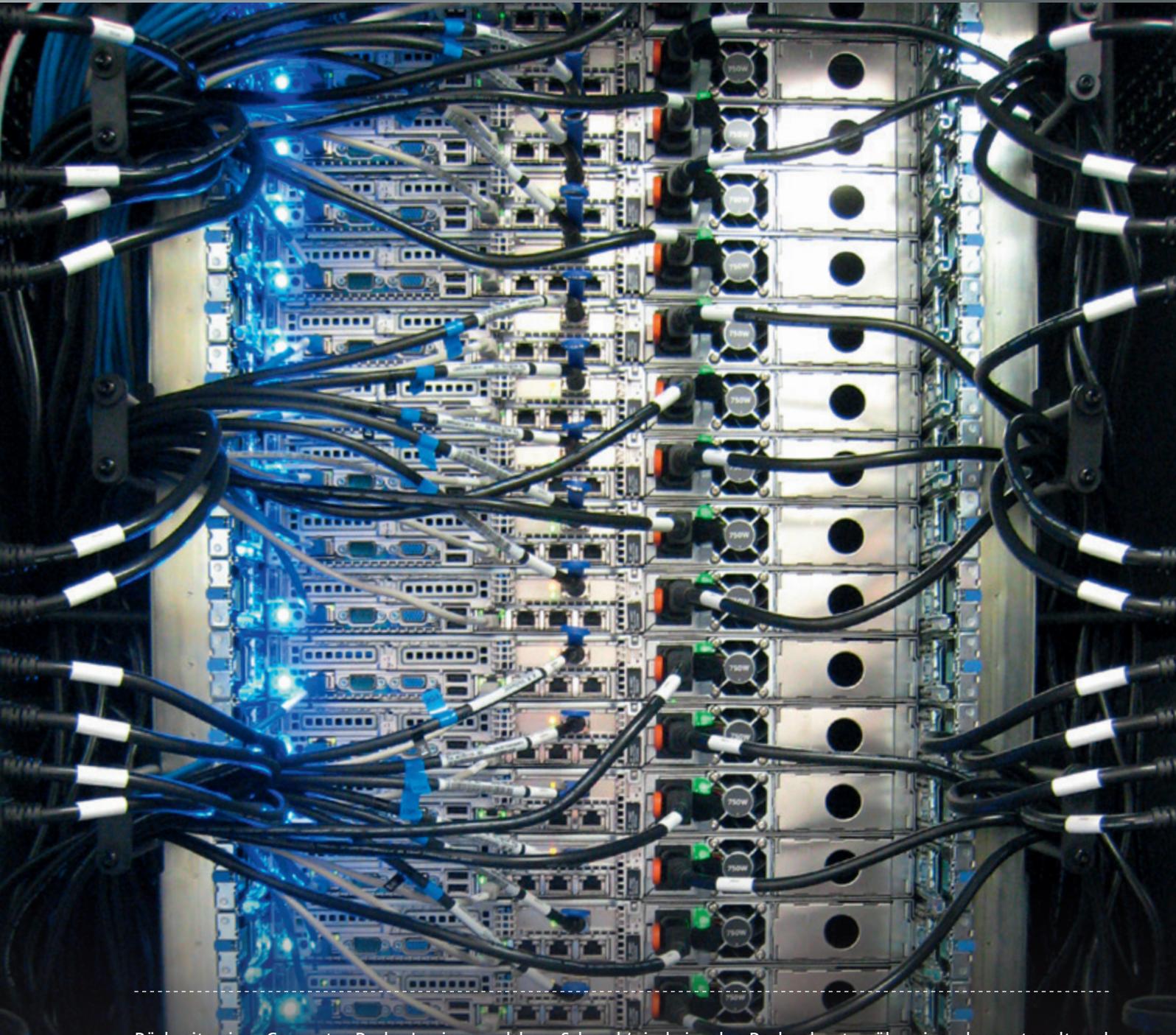
ITWM und FCC arbeiten im Teilprojekt Biomechanik und Optimalsteuerung eng zusammen, mit dem Ziel, aus möglichst generischen Aufgabenstellungen und Arbeitsanweisungen (z. B. montiere ein Anbauteil) die benötigten realitätsnahen Bewegungen des digitalen Menschmodells zu generieren. Mithilfe eines solchen Modells lassen sich bereits in einer frühen Phase der Konstruktion, in welcher noch keine physischen Prototypen vorliegen, Aussagen über Montierbarkeit und Erreichbarkeit sowie über die physische Beanspruchung des interagierenden Menschen machen. Hierzu modellieren wir den Menschen als biomechanisches Mehrkörpersystem, wobei Muskeln als Aktuatoren verwendet werden. Mit diesem dynamischen System und der gestellten Arbeitsanweisung wird ein Optimalsteuerungsproblem gelöst. Durch Minimierung einer bestimmten Bewertungsfunktion gelingt es, menschenähnliche Bewegungen zu erzeugen. Dieser neue Ansatz ermöglicht es außerdem, quantitative Aussagen über physische Belastungen wie benötigte Muskelkräfte oder Gelenkbelastungen zu machen. Dies liefert wichtige Indikatoren für eine gezieltere Ergonomiebewertung. Mit dem in EMMA-CC entwickelten Modell wird es möglich sein, Ergonomierichtlinien für dynamische Bewegungsvorgänge neu und besser festzulegen. Dies schafft die Basis für eine ergodynamisch optimierte Montageplanung oder eine personalisierte ergonomische Arbeitsplatzgestaltung. Mittels effizienter Numerik auf moderner Computerhardware wird das Modell echtzeitnah simulierbar und damit auch produktiv für Optimierungsaufgaben einsetzbar sein. Seine Praxistauglichkeit wird mittels Validierung der biomechanischen Modellkomponenten am Fraunhofer IPA und in einem am Fraunhofer IPK aufgebauten Virtual-Reality-Demonstrator unter Beweis gestellt.

**1** *In IPS IMMA simulierter Einbau der Mittelkonsole*

**2** *Hochheben einer Kiste durch ein digitales Menschmodell, angetrieben durch Muskeln*



## COMPETENCE CENTER HIGH PERFORMANCE COMPUTING



---

Rückseite eines Computer-Racks: In einem solchen ‚Schrank‘ sind einzelne Rechenknoten übereinander gestapelt und durch schnelle Netzwerke wie z.B. Infiniband miteinander verbunden. Durch die enge Packung sowie die Verbindung mehrerer solcher Racks zu einem Großrechner, können Rechenzentren heute die Rechenleistung zur Verfügung stellen, die für zukunftsweisende HPC Anwendungen wie Deep Learning oder jegliche Art von Simulation erforderlich sind.



---

Hoch- und Höchstleistungsrechnen – High Performance Computing (HPC) – ist für die Wettbewerbsfähigkeit von Wissenschaft und Wirtschaft unerlässlich. Ohne detaillierte Simulationen sind moderne Grundlagenforschung in der Energieforschung, den Material- und Lebenswissenschaften oder auch der Klimaforschung undenkbar. Das gilt auch für Schlüsselbereiche der deutschen Wirtschaft. Deep Learning und Methoden des maschinellen Lernens werden unsere Gesellschaft deutlich verändern.

Die Europäische Union hat HPC zu einem für Europa strategisch wichtigen Thema erklärt und erhebliche Investitionen in Gang gesetzt. Dabei ist die Konvergenz von HPC und Big Data ein wesentliches Element. Die Abteilung konnte sich in diesem Umfeld durch Beteiligung an zentralen EU-Projekten einbringen und das Programmiermodell GPI wurde für den EU Innovation Radar Prize nominiert. Das Ecosystem um die myPowergrid-Technologie zum Management verteilter Energiespeichersysteme konnte 2016 deutlich ausgeweitet werden und der Schwerpunkt Deep Learning konnte sich international mit algorithmischen Ideen und tiefgehender Analyse etablieren.

## **SCHWERPUNKTE**

- HPC-Systemsoftware und -Anwendungen
- Deep Learning und Big Data
- IKT und Erneuerbare Energien
- Parallele Dateisysteme – BeeGFS und BeeOND
- Simulation und Datenanalyse in der Seismik

---

### **Kontakt**

franz-josef.pfreundt@itwm.fraunhofer.de  
www.itwm.fraunhofer.de/hpc





1

© www.spaceandmatter.nl



2

## GREENPOWERGRID UND GRID-FRIENDS

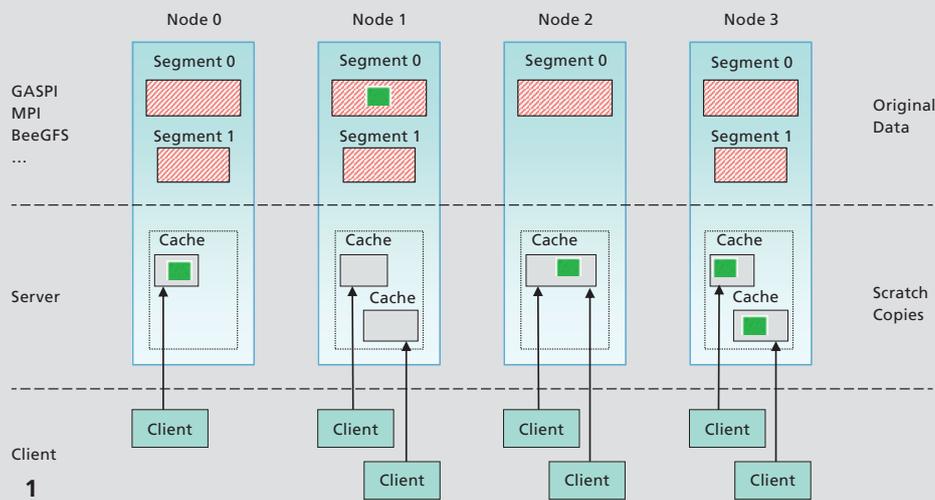
**1** *Schoonschip Community in Amsterdam Noord*

**2** *Realisierter »Peak-Shaver« zur Lastreduktion von Industrieverbrauchern mit registrierender Lastgangmessung; der Speicher hat eine Leistung von 60 kW und eine Kapazität von 60 kWh.*

Die Gruppe »Green by IT« widmet sich mit der Entwicklung intelligenter IT-Systeme und innovativer Algorithmen dem Übergang von schwankender Produktion aus EE-Anlagen in eine verlässliche, kostengünstige und zukunftsgerichtete Energieversorgung. 2016 fiel der Startschuss für zwei neue Forschungsprojekte: GreenPowerGrid und Grid-Friends, mit einer Laufzeit von jeweils drei Jahren. GreenPowerGrid, gefördert durch das Land Rheinland-Pfalz und den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung EFRE, verfolgt in Kooperation mit den Stadtwerken Speyer das Ziel einer regionalen Grünstromversorgung. Die myPowerGrid-Technologie wird hier als Grundlage für die Entwicklung eines dezentralen PV-Speicher-Kraftwerks verwendet. Ziel ist es, mehr als 100 PV-Speichersysteme im Stadtgebiet von Speyer zu realisieren und damit die Stromkunden direkt vor Ort mit verlässlicher regenerativer Energie zu beliefern. Im Projekt konnten bereits ein Messkonzept und ein neuartiges Abrechnungs-/Bilanzierungssystem entwickelt werden. Eine in sekundlicher Auflösung gerechnete Simulation der Energieversorgung von 250 Haushalten über ein ganzes Jahr führte zu einer positiven lokalen Eigenversorgungsquote durch das PV-Speicherkraftwerk und nach einer ersten Betrachtung auch zu einem positiven neuen Geschäftsmodell für die Stadtwerke.

Im vom ERA-Net Smart Grids Plus und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekt Grid-Friends entwickelt und bewertet ein Konsortium aus deutsch-niederländischen Partnern Koordinierungsmechanismen zwischen einzelnen Energieverbrauchern und -erzeugern. Das ITWM entwickelt in Grid-Friends eine ganzheitliche Energiemanagementplattform für Microgrids und Energiecommunitys. Neben der Steuerung der Stromspeicher implementiert es hier auch eine Sektorenkopplung, d. h. auch Wärmespeicher in Kombination mit Wärmepumpen und Ladestationen für Elektrofahrzeuge werden flexibel entsprechend der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien gesteuert werden können. Die entwickelte Energiemanagementplattform wird in einem Demonstrator mit 35 auf einem Kanal in Amsterdam schwimmenden Wohngebäuden sowie in einem Wohnquartier in Köln-Widdersdorf zum Einsatz kommen. Die beiden Demonstratoren verfolgen unterschiedliche Zielsetzungen: maximale Autarkie in Amsterdam bzw. maximale Kosteneffizienz in Köln-Widdersdorf.

Neben den beiden Forschungsprojekten konnte ein namhafter Netzbetreiber für ein Beratungs- und Demonstrationsprojekt gewonnen werden: Das ITWM realisierte die Projektierung, Installation und die anschließende Betriebsführung von zwei leistungsstarken Batteriespeichersystemen zur Lastreduktion in Industriebetrieben mit registrierender Leistungsmessung. Die optimierte Steuerung der Speicher basiert auf dem lokalen Energiemanagementsystem der myPowerGrid-Technologie.



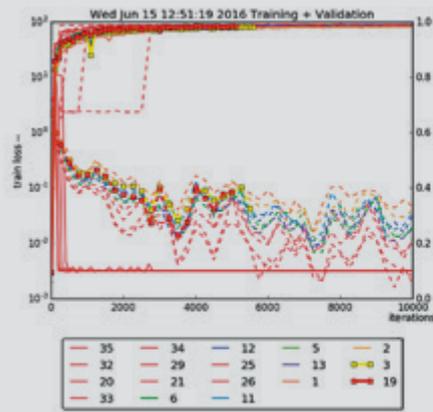
## HIGH PERFORMANCE COMPUTING FÜR EUROPA

Das CC HPC engagiert sich seit einigen Jahren in Projekten innerhalb der europäischen Förderprogramme. Zurzeit sind wir an Projekten in den Bereichen HPC und Transport beteiligt; zwei davon werden im Folgenden vorgestellt.

Das am Fraunhofer ITWM entwickelte Kommunikationsmodell GPI (Global Address Space Programming Interface), eine Schlüsseltechnologie in der HPC, ist Teil des EU-Projekts INTERWinE, welches sich mit der Kompatibilität von auf dem HPC-Markt verfügbaren Kommunikationsmodellen beschäftigt. Mithilfe von Kommunikationsmodellen werden Daten zwischen Rechenknoten und Rechenkernen kommuniziert. Dies ist wichtig für parallele Programme, die die Rechenleistung großer Computercluster effizient nutzen. GPI erlaubt eine asynchrone, multi-threaded Kommunikation unter Vermeidung von Zwischenkopien der Daten. Dadurch kann die Rechenzeit optimal überlappt werden mit der Zeit, die für die Kommunikation der benötigten Daten notwendig ist. Interoperabilität zwischen GPI und anderen Kommunikationsmodellen erlaubt Anwendern, bereits entwickelten Code mit GPI-basiertem Code zu mischen und die Vorteile von GPI zu nutzen. Das Fraunhofer ITWM entwickelt ein Werkzeug, mit dem man Anwendungen, die task-basierende Programmiermodelle benutzen – welche oftmals nur auf einem Knoten laufen – nun auf vielen Knoten skalieren kann.

Die verteilte Laufzeitumgebung GPI-Space bildet die Basis der IT-Infrastruktur im EU-Projekt SafeClouds. Ziel von SafeClouds ist die deutliche Verbesserung des Luftverkehrsmanagements. In den kommenden Jahren wird der Luftverkehr weiter wachsen; um die Sicherheitsstandards kostenneutral zu verbessern, müssen Daten ausgetauscht und intelligente Algorithmen angewendet werden. Nur so können zeitnah Risikofaktoren aus den massiven Datenmengen identifiziert und Maßnahmen eingeleitet werden. Die am Fraunhofer ITWM entwickelte Langzeitumgebung GPI-Space bildet die Grundlage für den Datenaustausch. Die Komponenten von GPI-Space ermöglichen eine Aufteilung zwischen der algorithmischen Expertise und der Parallelisierung der Programme für einen effizienten Ablauf auf Computerclustern. Die GPI-Space-Laufzeitumgebung ist dafür verantwortlich, das Programm über die zur Verfügung stehenden Ressourcen (auch über geographisch verteilte Systeme) zu verteilen und auszuführen. Der Arbeitsfluss wird mithilfe der Laufzeitumgebung definiert und dynamisch und nebenläufig mithilfe von GPI ausgeführt. Für das CC HPC ist das SafeClouds-Projekt spannend, da die Software GPI-Space in einem völlig neuen Anwendungsgebiet eingesetzt werden kann als dem traditionellen Anwendungsfall, der Seismik.

### 1 Directory Cache Client-Server-Architektur



Experiment base lr	momentum	History
35	0.009	1.0
32	0.006	1.0
20	0.003	0.9
33	0.007	1.0
34	0.008	1.0
29	0.003	1.0
21	0.004	0.9
6	0.007	0.7
12	0.004	0.8
25	0.008	0.9
26	0.009	0.9
11	0.003	0.8
5	0.006	0.7
13	0.005	0.8
1	0.002	0.7
7	0.003	0.7
3	0.004	0.7

Job started: 596 seconds ago (2016-06-15 12:41:24)  
 Job status: running  
 Progress: 16 of 36 packages done (44.44%)  
 Number of workers: 2  
 Average time per package: 66411 msec  
 Estimated finish (average): In 664 seconds (2016-06-15 13:02:25)  
 Maximum time per package: 96453 msec

1

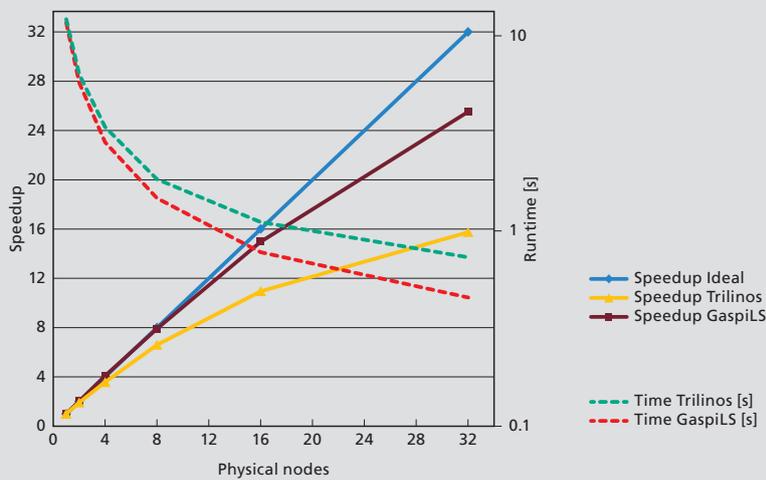
## SKALIERBARES DEEP LEARNING AUF BASIS VON HPC-TECHNOLOGIE

1 DLPS-System zur automatischen Meta-Parameter-Optimierung von tiefen neuronalen Netzen in der Cloud

Im Bereich des Maschinellen Lernens wurden in den letzten Jahren auf vielen Anwendungsgebieten große Fortschritte gemacht. Von der Spracherkennung über die automatische Bildanalyse bis hin zum autonom fahrenden Autos oder Go-spielenden Rechnern auf Weltmeisterniveau: fast immer stehen hinter den Erfolgsmeldungen sogenannte Deep-Learning-Algorithmen. Diese Familie von Lernverfahren verwendet teils sehr große und komplexe künstliche neuronale Netze zur Modellierung der Lernprobleme. Das Training solcher Netze bedarf nicht nur sehr großer Datenmengen, sondern auch enormer Rechenleistungen. Mathematisch betrachtet entspricht der Trainingsvorgang einem nicht konvexen und nicht-linearen Optimierungsproblem im hoch-dimensionalen Raum. Diese schwierige Problemstellung führt dazu, dass die Berechnung praxisrelevanter Modelle mit den gängigen Optimierungsmethoden Tage bis Wochen an Rechenzeit in Anspruch nehmen kann.

Die bisher in der Literatur erreichten Beschleunigungen des Trainingsvorgangs durch Parallelisierung sind aufgrund der sequenziellen Natur der etablierten Optimierungsverfahren eher bescheiden. Das CC HPC konnte durch die vorhandenen Erfahrungen im High Performance Computing und durch Verwendung eigener HPC-Tools wie GPI, GPI-Space und BeeGFS die Entwicklung neuer Algorithmen auf diesem Gebiet vorantreiben und so erste skalierbare Lösungen vorstellen: CaffeGPI wurde auf Basis der weitverbreiteten Open Source Software Caffe entwickelt und erlaubt ein über mehrere Rechenknoten verteiltes Training von Deep Learning-Modellen auf HPC-Clustern. CaffeGPI erreicht mit einem neuen Optimierungsalgorithmus und durch die Verwendung unserer GPI-Bibliothek eine deutlich bessere Skalierbarkeit als andere verteilte Ansätze.

Das auf GPI-Space basierende »Deep Learning in the Cloud-System (DLPS)« erlaubt eine automatische und redundante Optimierung der Meta-Parameter eines Deep-Learning-Modells. Die Anpassung dieser Parameter an eine konkrete Problemstellung ist in der Regel ein zeitraubender und rechenintensiver Prozess. Mit DLPS kann dieser automatisiert und kostengünstig in die Cloud ausgelagert werden.



1

## GaspILS – SKALIERBARE LINEARE LÖSER

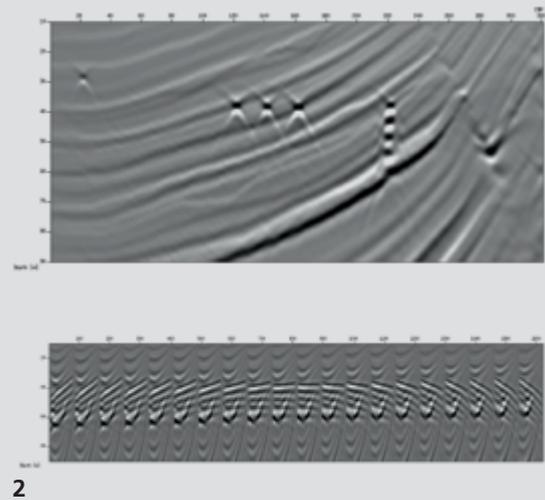
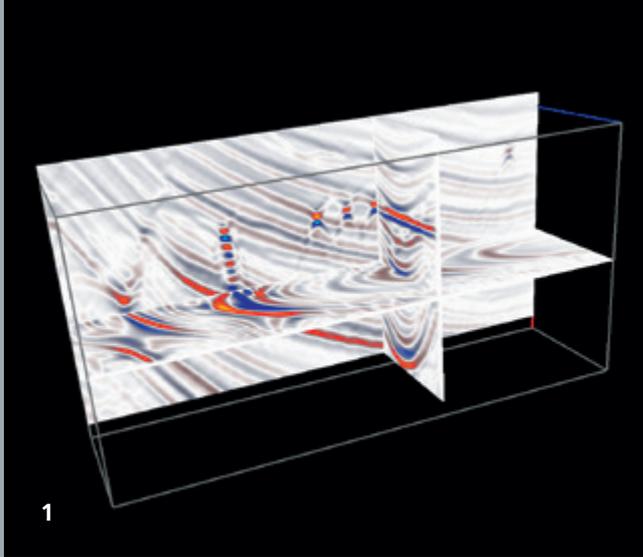
Simulationen sind neben Theorie und Experiment die dritte Säule des Erkenntnisgewinns innerhalb vieler Forschungszweige. Computermodelle schaffen ein virtuelles Abbild der Natur. Meistens basieren die Simulationen hierbei auf der Diskretisierung von Differentialgleichungen. Letztendlich entsteht ein großes Gleichungssystem, das gelöst werden muss; dafür benutzt man iterative Löser. Die Lösung dieser Gleichungssysteme ist extrem rechenintensiv und der Aufwand wird mit steigendem Detaillierungsgrad immer größer; damit auch der Hunger nach immer mehr Rechenleistung.

Hardwareseitig wird die Steigerung der Rechenleistung nicht mehr durch eine Erhöhung der Taktfrequenz erreicht, sondern durch die Erhöhung der Parallelität auf den Recheneinheiten. Dies geschieht zum einen durch eine Erhöhung der Anzahl der Fließkommazahlen, die gleichzeitig in einer Rechenoperation abgearbeitet werden, und zum anderen durch die Erhöhung der Anzahl der Rechenkerne. Darüber hinaus werden noch mehrere Rechner mit einem Netzwerk zu einer großen Einheit verbunden. Auf modernen Systemen haben wir bis zu 20 Kerne pro Recheneinheit. Das heißt, dass die im HPC-Umfeld üblicherweise verbauten Systeme mit zwei Sockeln schon bis zu 40 Kerne pro Rechenknoten zur Verfügung stellen. Noch extremer wird es bei den sogenannten Beschleuniger-Architekturen, die auf einer einzelnen Karte schon bis zu 72 Kerne beherbergen.

Will man nun die erhöhte Parallelität auf modernen Rechnern für die Simulationen ausnutzen, bedarf es Software mit guten Skalierungseigenschaften. Skalierbarkeit ist ein Maß für den zusätzlichen Nutzen, der durch den Einsatz zusätzlicher Ressourcen generiert wird. Gut skalierbare Software nutzt die zur Verfügung gestellten Ressourcen also zu 100 Prozent aus. Dies muss das Ziel für eine effiziente Nutzung sein.

GaspILS ist eine numerische Löserbibliothek für iterative Verfahren, die von vornherein auf gute Skalierbarkeit getrimmt wurde. Sie basiert auf dem Programmiermodell GPI-2 und implementiert ein asynchrones, von den Abhängigkeiten zwischen den Daten getriebenes Ausführungsmodell mit optimalem Overlap von Kommunikation und Berechnung und vermeidet globale Synchronisierungspunkte so gut wie möglich. Dies sind die Grundprinzipien für eine gute Skalierbarkeit. Das objektorientierte Design von GaspILS definiert abstrakte Interfaces für Matrizen, Vektoren, iterative Löser und Vorkonditionierer und erlaubt damit eine einfache Erweiterbarkeit. Von Haus aus stellt GaspILS verschiedene Löser wie (P)CG, BiPCGStab und GMRES zur Verfügung. Als Vorkonditionierer sind Jacobi, ILU(0) und ILUM(0) implementiert. GaspILS wird unter der Open-Source-Lizenz GPLv3 vertrieben werden. Zurzeit ist es Basis zweier Industrieprojekte.

1 *Vergleich der Skalierbarkeit und Laufzeit von Trilinos und GaspILS, gemessen anhand der Lösung eines Gleichungssystems zur Reservoir Simulation mittels des CG Verfahrens. (Intel Haswell, 256 GB RAM, zwei Sockel pro Knoten, sechs Threads pro Sockel)*



## STÖRKÖRPERDETEKTION AUS SEISMISCHEN DATEN

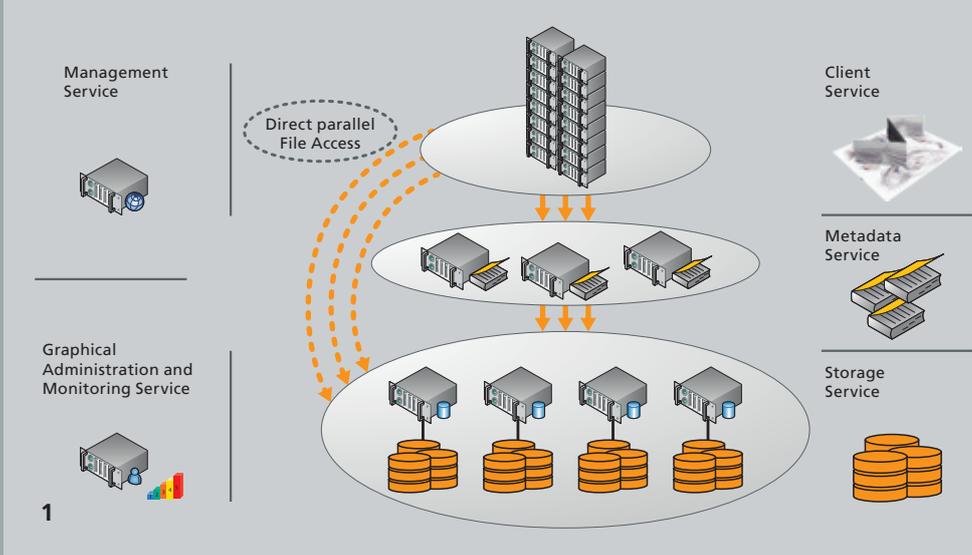
**1** Positionen von Diffraktoren im Untergrund als Resultat der GRT-Migration; ausgeklappt dargestellt sind GRT-Zwischenergebnisse, in denen sich Diffraktionen von Reflektionen durch ihr linienhaftes Aussehen abheben.

**2** Positionen von Diffraktoren im Untergrund als Resultat der GRT-Migration (oben); in den GRT-Zwischenergebnissen heben sich Diffraktionen von Reflektionen durch ihr linienhaftes Aussehen ab (unten).

Reflektionsseismische Exploration skaliert über einen großen Bereich abgestrahlter akustischer Wellenlängen und erlaubt nicht nur im für die Öl- und Gasexploration relevanten Frequenzbereich um 50 Hz und für Tiefenlagen der Reservoirs von einigen Tausend Metern Aussagen über Struktur, Stratigraphie und Gesteinsparameter, sondern auch das detaillierte, hochauflösende Erkunden des flacheren Untergrundes.

In einem vom BMWi geförderten Projekt bringt das CC HPC seine langjährige Kompetenz in der Entwicklung von Verfahren zur Analyse seismischer Daten ein und erarbeitet zusammen mit dem Fraunhofer IWES eine Verfahrenskette zum Auffinden von Gesteinskörpern der Größenordnung ab einem Meter Durchmesser im Untergrund bis maximal 100 m Tiefe. Energieunternehmen haben ein großes Interesse daran, in der Planungsphase von Offshore-Windparks derartige Störkörper zu erkennen und die exakte Positionierung der Windmasten gegebenenfalls anzupassen. Flachgründig in den Meeresgrund eingebettete Gesteinskörper können durch bathymetrische Untersuchungen und sehr hochauflösende Sonarsysteme leicht erkannt werden. Für die Untersuchung im Tiefenbereich 10–80 m unterhalb des Meeresgrundes müssen tiefer eindringende seismische Verfahren verwendet werden. Die Idee dabei ist, auf die bei Planungen von Offshore-Windparks in Hinblick auf Fragestellungen zur Standsicherheit ohnehin erhobenen seismischen Akquisitionsmessungen zurückzugreifen. Bei Frequenzen von ca. 300 Hz und daraus resultierenden Wellenlängen von 5 m müssen Gesteinskörper oben genannter Dimension anhand ihrer Diffraktionsantwort im seismischen Datensatz erkannt werden.

Zur Separation der Diffraktionen von den im Vergleich dazu sehr viel Amplituden-stärkeren Reflektionen entwickelt das CC HPC einen aus Multi-Fokussing-Techniken und unserer GRT-Prestack-Tiefenmigration bestehenden Zwei-Schritt-Prozess. In beiden Schritten werden die Reflektionen zugunsten der Diffraktionen abgeschwächt, sodass sich ein auf die diffraktierenden Objekte beschränktes Untergrundabbild ergibt, das zum Erkennen der räumlichen Zusammenhänge verstärkt in das konventionelle strukturelle Migrationsergebnis eingefügt wird. Die Interpretation der Ergebnisse erlaubt Aussagen zur Vorkommenshäufigkeit der Gesteinsbrocken sowie auch zur Lage einzelner Objekte.



## BeeGFS – HOCHVERFÜGBARES PARALLELES DATEI-SYSTEM MIT MAXIMALER PERFORMANCE

Mit der stetig zunehmenden Leistungsfähigkeit moderner Prozessoren und Netzwerktechnologien ergeben sich neue Möglichkeiten, um immer größere Problemstellungen zu bearbeiten und zunehmend realistischere und detailliertere Simulationsergebnisse zu erhalten. Dies erfordert allerdings auch die Arbeit mit sehr großen Datensätzen, oftmals bereits im Terabyte-Bereich. Um diese riesigen Datenmengen zu bewältigen und optimale Performance bei der Berechnung zu gewährleisten, arbeitet das CC HPC seit einigen Jahren am parallelen Dateisystem BeeGFS. Hierbei werden die einzelnen Dateien scheibchenweise, in sogenannten Chunks, auf mehrere Server verteilt und können dadurch parallel eingelesen bzw. geschrieben werden. Dieses Verfahren ermöglicht es, Datensätze mit einem Vielfachen der herkömmlichen Geschwindigkeit zu verarbeiten. Von Anfang an waren Skalierbarkeit, maximale Performance, Flexibilität sowie einfache Bedienbarkeit die Eckpfeiler bei der Entwicklung und sind heute die Eigenschaften, die es für eine immer breiter und globaler werdende Nutzerbasis so attraktiv machen.

Im vergangenen Jahr wurde BeeGFS noch um Hochverfügbarkeitsmechanismen erweitert. Kunden haben nun die Möglichkeit, mit der Software ein ausfallsicheres globales Dateisystem zu erstellen. Dazu ist weder weitere Software von Drittherstellern noch spezielle, auf Hochverfügbarkeit ausgelegte Hardware nötig. Weiterhin bietet BeeGFS mit dem Tool BeeOND die Möglichkeit, ein paralleles Dateisystem auf einem definierten Satz Hardware mit einem Knopfdruck zu erstellen. Somit kann BeeOND im Bedarfsfall auch als dynamisches paralleles Dateisystem direkt auf den Rechenknoten eingesetzt werden. Temporäre Berechnungsdaten können somit direkt verarbeitet werden, ohne das globale Speichersystem über ein Netzwerk kontaktieren zu müssen.

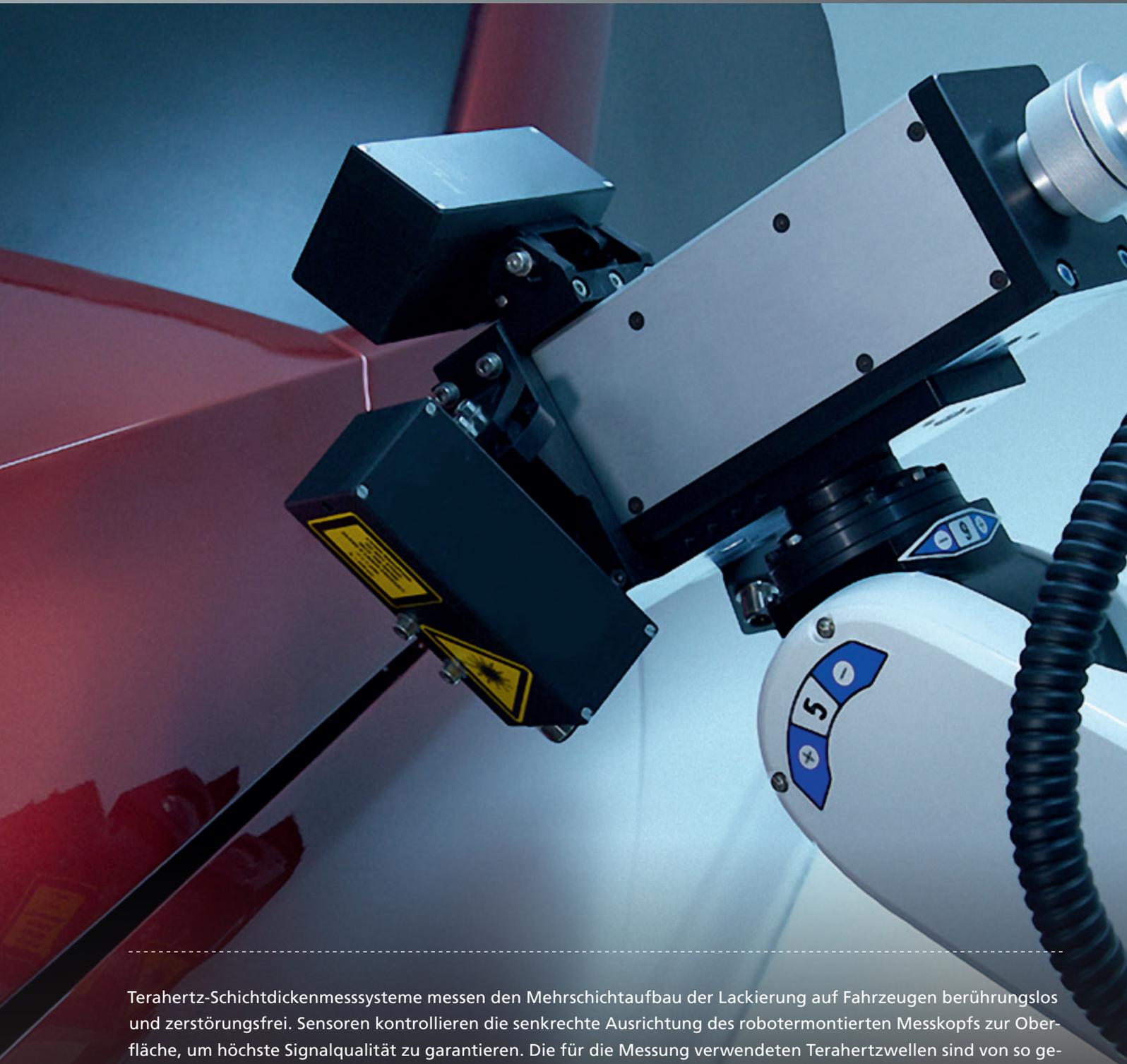
BeeGFS kann kostenlos von [www.beegfs.com](http://www.beegfs.com) bezogen werden. Da die Software mittlerweile unter einer Open-Source-Lizenz vertrieben wird, können von der Webseite auch die Quelldateien bezogen werden. Ein Spin-Off des Fraunhofer ITWM, ThinkparQ, bietet seit 2014 weltweit kommerziellen Support für BeeGFS an, während das CC HPC sich auf die Weiterentwicklung der Software fokussiert. Das Entwicklerteam bringt sein umfangreiches Wissen auch erfolgreich in mehreren von der EU geförderten Projekte ein, an denen das CC HPC beteiligt ist. In Kooperation mit den Projektpartnern werden neue Verfahren und Computerarchitekturen entwickelt, mit speziellem Augenmerk auf Exascale Computing. Bei einer so hohen Leistungsfähigkeit der Recheneinheiten muss weiterhin sichergestellt sein, dass zu verarbeitende Daten schnell genug bereitgestellt werden können. Dieser Umstand macht BeeGFS zu einem wichtigen Bestandteil dieser Projekte.

**1** *Übersicht über die Architektur von BeeGFS: Getrennte Dienste für Metadaten und Nutzdaten erlauben eine getrennte Skalierbarkeit beider Funktionen.*





## ZENTRUM FÜR MATERIALCHARAK- TERISIERUNG UND -PRÜFUNG



---

Terahertz-Schichtdickenmesssysteme messen den Mehrschichtaufbau der Lackierung auf Fahrzeugen berührungslos und zerstörungsfrei. Sensoren kontrollieren die senkrechte Ausrichtung des robotermontierten Messkopfs zur Oberfläche, um höchste Signalqualität zu garantieren. Die für die Messung verwendeten Terahertzwellen sind von so geringer Energie, dass sie gesundheitlich unbedenklich sind und der Einsatz der Geräte ohne Strahlenschutzmaßnahmen erfolgen kann. Die Mess- und Auswertedauer pro Messpunkt liegt bei etwa einer Sekunde.



---

Das Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung ist seit Januar 2017 die neunte Abteilung des Fraunhofer ITWM am Fraunhofer-Zentrum in Kaiserslautern, aber bereits seit einigen Jahren präsent unter der Flagge des Fraunhofer IPM. Im Zentrum der Arbeiten steht die zerstörungsfreie und berührungslose Prüfung von Materialien mittels elektromagnetischer Wellen. International führend ist die Abteilung auf dem Gebiet der Charakterisierung von Mehrschichtsystemen, wie sie z. B. in der Automobilindustrie und der Luftfahrtindustrie eingesetzt werden. Hierfür wird der Terahertz-Spektralbereich des elektromagnetischen Spektrums genutzt, da die meisten zu prüfenden Materialien für diesem Spektralbereich transparent sind. Weitere Anwendungsfelder sind die Prüfung von Glas- und Naturfaserverbundwerkstoffen auf interne Defekte und die Überwachung der Rohrwanddicken in der Produktion von Kunststoffrohren. Das Angebot des Zentrums deckt dabei das komplette Spektrum von der Beratung für die beste messtechnische Lösung bis zum Spezialanlagenbau für den Einsatz an der Produktionslinie aus einer Hand ab. Ausgefeilte Algorithmen bewerten dabei die aufgenommenen Messdaten und gibt klare Entscheidungskriterien an die Hand, ob ein zu prüfendes Bauteil den Qualitätsstandards entspricht oder als Fehlteil zu klassifizieren ist. Die enge Zusammenarbeit mit der Abteilung Bildverarbeitung und dem Competence Center for High Performance Computing erlaubt die rasche Umsetzung anspruchsvollster Lösungsansätze.

## **SCHWERPUNKTE**

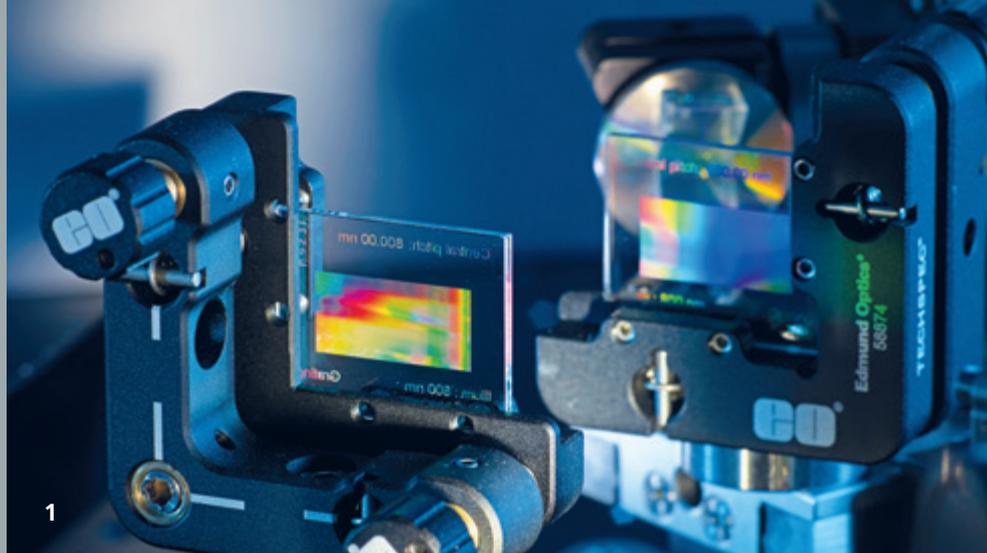
- Zerstörungsfreie und berührungslose Schichtdickenmessung von Mikrometer bis Zentimeter
- Defekterkennung in Verbundwerkstoffen
- Wanddickenmessung bei der Kunststoffrohrfertigung
- Terahertz-Spektroskopie für die Materialidentifikation
- Spezialgeräteentwicklung und -bau

---

### **Kontakt**

[georg.von.frey mann@itwm.fraunhofer.de](mailto:georg.von.frey mann@itwm.fraunhofer.de)  
[www.itwm.fraunhofer.de/mc](http://www.itwm.fraunhofer.de/mc)





## OPTISCHE TERAHERTZ-MESSTECHNIK

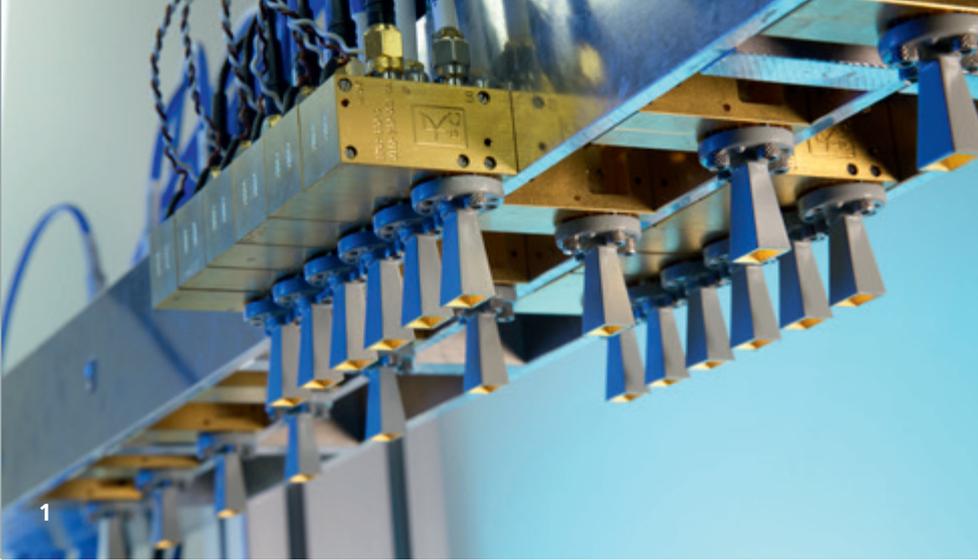
**1** *Aufbau zur Kompensation der Dispersion optischer Fasern, die zur Übertragung kurzer Laserimpulse genutzt werden.*

Die Gruppe entwirft und baut hauptsächlich schlüsselfertige Terahertz-Zeitbereichssysteme zur Erzeugung, Detektion sowie Analyse breitbandiger Terahertz-Strahlung. Das Einsatzspektrum reicht von robotermontierten Schichtdicken-Messsystemen über hochauflösende Spektroskopie bis zur Messtechnik für die ultraschnelle Elektronik, bei der extrem schnelle elektro-optische Wandler und ultraschnelle Optik kombiniert werden. Als relativ neuer Ast der Gruppe hat sich die optische Kohärenztomographie (OCT) zur Erweiterung des Schichtdickenspektrums auch unterhalb von 10  $\mu\text{m}$  Schichtdicke entwickelt.

Die Terahertz-Technologie etabliert sich derzeit als berührungslose Methode zur Schichtdickenmessung, beispielsweise von Autolack-Schichtsystemen. Denn im Gegensatz zu anderen zerstörungsfreien Analysemethoden kann man mittels Terahertz-Wellen, die im Spektrum zwischen Infrarotlicht und Mikrowellen liegen, selbst komplexe Mehrschichtsysteme exakt analysieren. Dies gelingt, da Terahertz-Wellen an jeder einzelnen Grenzfläche reflektiert werden, an der sich der Brechungsindex ändert. Anhand der Laufzeitunterschiede der reflektierten Teilwellen lassen sich die Schichtdicken von Mehrschichtsystemen exakt bestimmen – berührungslos und zerstörungsfrei – und dies nahezu unabhängig vom vorliegenden Substrat. Dies kann aktuell als einziges Messverfahren nur die Terahertz-Messtechnik.

Die auf der Zeitbereichsspektroskopie basierenden Messsysteme decken dabei den industrie-relevanten Dickenbereich von Einzel- und Mehrschichtsystemen von 10–500  $\mu\text{m}$  ab. Dies hat das Fraunhofer ITWM in Zusammenarbeit mit verschiedenen industriellen Partnern, u. a. aus dem Automotive-Bereich, bereits eindrucksvoll gezeigt. Sehr vielversprechend ist auch die Verwendbarkeit der Technologie zur Vermessung weicher, strukturierter Schichten wie zum Beispiel Häute aus PVC-Kunststoff, die im Innenraum von Fahrzeugen eingesetzt werden. Die Schichtdickenauswertung der detektierten Terahertz-Signale basiert auf einem komplexen Auswertalgorithmus, der implementiert auf handelsüblichen Grafikkarten in der Lage ist, etwa die Dickenverteilung eines 4-Schichtsystems unterhalb von einer Sekunde zuverlässig zu bestimmen. Und dies mit Genauigkeiten von bis zu  $\pm 1 \mu\text{m}$ .

In Kooperation mit der Abteilung High Performance Computing am Fraunhofer ITWM wird der Schichtdickenauswertalgorithmus zurzeit weiterentwickelt. Ziel ist es, die Robustheit sowie die Effizienz weiter zu steigern, um entweder eine beschleunigte Auswertung zu erhalten oder eine Reduktion der Hardware zu ermöglichen. Damit kommt man Anfragen aus der Industrie weiter entgegen.



## ELEKTRONISCHE TERAHERTZ-MESSTECHNIK

Ein weiterer Themenschwerpunkt des Zentrums für Materialcharakterisierung und -prüfung stellt die elektronische Terahertz-Messtechnik dar. Hier wird insbesondere der untere Terahertz-Spektralbereich zwischen 0,1 THz und 1 THz adressiert. In diesem Teilbereich des Spektrums ermöglicht die gute Eindringtiefe der Messsignale in dielektrische Materialien, wie zum Beispiel Keramik, Textilien, Kunststoffe oder Glasfaserverbundwerkstoffe, nicht nur akkurate Dickenmessungen an Mehrschichtsystemen mit Gesamtdicken bis zu einigen Dezimetern – angrenzend an unsere Schichtdickenmesssysteme auf Basis der optischen Terahertz-Technologie, sondern eignet sich auch zur bildgebenden Terahertz-Prüfung.

Komplementär zur Ultraschall- oder Röntgenprüfung ermöglicht die Terahertz-Technologie die bildgebende Inspektion dielektrischer Materialien auf innere Fehlstellen oder charakteristische Merkmale. Die berührungslose Terahertz-Prüfung liefert typischerweise auch bei weichen Materialien und Kunststoffverbänden bereits sehr kontrastreiche Aufnahmen. Ähnlich wie bei Ultraschallverfahren lassen sich tomographieähnliche Tiefenschnittbilder erzeugen. Dabei sind Terahertz-Wellen im Gegensatz zur Röntgenstrahlung nicht ionisierend und erfordern keine Strahlenschutzmaßnahmen.

Bildgebende Terahertz-Systeme, die ein Messobjekt Pixel für Pixel mittels einer einzelnen Sensoreinheit abrastern, haben sich für Voruntersuchungen und Stichprobenmessungen bereits bestens bewährt. Das Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung hat darüber hinaus auch das Portfolio für schnelle, industrietaugliche Terahertz-Prüfsysteme inzwischen deutlich erweitert: Es reicht von handgeführten Einzelpunktsensoren über schnelle Scanner-Systeme bis hin zu Inline-fähigen Sensornetzwerken für großflächige Prüfungen in der Qualitätskontrolle.

Ein besonders relevantes Anwendungsbeispiel ist die Inspektion von Radarkuppeln von Flugzeugen, sowohl im Feld als auch in der Produktion. Derartige Radarkuppeln befinden sich üblicherweise an der vorderen Spitze des Flugzeugs und bestehen aus komplexen Glasfaserverbundstrukturen mit eingebrachten funktionalen Materialien, wie zum Beispiel Schaumstoffen oder Kevlar. Neben der strukturellen Integrität der Kuppel gilt es auch einen möglichst störungsfreien Betrieb der Radartechnik zu gewährleisten. Die bildgebende Terahertz-Prüfung ermöglicht es, diese Aspekte bereits in der Produktion zu adressieren und Defekte rechtzeitig in der Fertigung zu detektieren sowie Optimierungspotenziale aufzuzeigen. Im Feldeinsatz hingegen ermöglicht die Terahertz-Bildgebung von außen nicht sichtbare Schäden, beispielsweise durch Einschläge, zu erkennen und kann somit zur Überprüfung der Funktionstüchtigkeit herangezogen werden.

**1** *Neue Konzepte wie das MIMO-Verfahren (multiple input – multiple output) werden zur schnelleren und preisgünstigeren Bildgebung erprobt; hier ein MIMO-Radar-System mit 12 Sendern und 12 Empfängern bei 75–110 GHz.*

Andrä, Heiko; Fink, Andreas; Glatt, Erik; Kabel, Matthias; Linden, Sven; Schneider, Matti; Staub, Sarah; Wiegmann, Andreas  
**Simulation of Elastic Deformations with Damage Effects for External and Pore Pressure**  
 8th International Conference on Porous Media, Mai, Cincinnati (USA)

Andrä, Heiko; Fink, Andreas; Kabel, Matthias; Staub, Sarah  
**Pore-scale simulation of damage effects for porous rocks under external and pore pressure**  
 Data-driven modeling and numerical simulation of microstructured materials (GAMM AG DATA), Kick-Off Workshop, September, Stuttgart

Andrä, Heiko; Kabel, Matthias; Schneider, Matti; Steiner, Konrad  
**Microstructure Simulation for the Determination of Nonlinear Material Parameters of Composites for Crash Simulation**  
 Automotive CAE Grand Challenge, Hanau, April

Arne, Walter; Hietel, Dietmar  
**Modellierung, Simulation und Optimierung von Spinnprozessen**  
 Vliesstofftage, Hof, November

Arne, Walter; Marheineke, Nicole; Wegener, Raimund  
**Viscoelastic law for Cosserat rod models with application in rotational spinning processes**  
 ECMI, Santiago de Compostela (E), Juni

Balzer, M.; Burger, M.; Däuwel, T.; Ekevid, T.; Steidel, S.; Weber, D.  
**Coupling DEM Particles to MBS Wheel Loader via Co-Simulation**  
 Kaiserslautern, März

Bartsch, Valeria  
**Programming Models for Exascale Supercomputers – A Slow Transition or Complete Disruption?**  
 ISC'16, Bof 11.; Frankfurt, Juni

Biedinger, C.; Feth, S.  
**Usage Modeling of Commuters on Basis of Geographical Data for Vehicle Engineering**  
 Kaiserslautern, April

Biedinger, C.; Weyh, T.; Opalinski, A.; Wagner, M.  
**Simulation of customer-specific vehicle usage**  
 Kaiserslautern, März

Biedinger, C.; Weyh, T.; Speckert, M.  
**Simulation der kundenspezifischen Fahrzeugnutzung**  
 München, November

Bortz, Michael  
**Calculating and navigating pareto sets: A versatile approach to support decisions in chemical engineering and beyond**  
 Mathematical Methods in Process Engineering, International Workshop, Kaiserslautern, September

Bortz, Michael  
**Kosten und Nutzen balancieren: Entscheidungsunterstützung angefangen vom Handykauf bis hin zur Strahlentherapie**  
 Physikalisches-Kolloquium WS/2017, Dortmund, November

Bortz, Michael; Schwientek, Jan; Burger, Jakob; Blagov, Sergej; Böttcher, Roger; Asprien, Norbert; Hasse, Hans  
**What ist he cost of a robust process design?**  
 Jahrestagung der ProcessNet-Fachgemeinschaft "Prozess-, Apparate- und Anlagentechnik", Karlsruhe, November

Brand, A.; Bäcker, M.  
**Simulation des Reifenabriebs zur Bewertung von Nachlaufkackonzepten**  
 Kaiserslautern, März

Calabrese, F.; Bäcker, M.; A., G.  
**Thermo-mechanical Tire Model to Predict Temperature Creation-Propagation and Rolling Resistance**  
 Sterrebeek/Brussels (B), April

Calabrese, F.; Bäcker, M.; Gallrein, A.  
**Advanced structural MBD tire modelling for complex vehicle simulation scenarios**  
 Hannover, Februar

Dalheimer, Mathias  
**Wie man ein Blackout verursacht**  
 Security Tagung, Centrum für Informatik und Informationstechnik, TU Braunschweig, Juni

Dobrovolskij, Dascha  
**Simulation of Ultrasonic Materials Evaluation Experiments in Complex Media**  
 19th World Conference on Non-Destructive Testing, München, Juni

Dobrovolskij, Dascha  
**Simulation of Ultrasonic Wave Propagation in Polycrystalline Material**  
 French German Workshop, Kaiserslautern, November

Dörlich, V.; Linn, J.; Diebels, S.  
**Investigation of Finite Deformations of Multi-Component Cables**  
 Châtenay-Malabry (F), April

DreBler, K.  
**Fraunhofer ITWM - related products and technologies**  
 Göteborg (S), Juni

DreBler, K.  
**Simulationsqualität, Sensitivität und optimale Modellkomplexität**  
 Hamburg, Mai

DreBler, K.; Calabrese, F.; Bäcker, M.; Gallrein, A.  
**Transient structural tire simulation for complex vehicle simulation scenarios**  
 Hanau, April

DreBler, K.; Speckert, M.  
**Lastendatenanalyse und Beanspruchungsstatistik für variable Betriebslasten**  
 München, November

Easwaran, Prakash  
**Representative domain size study on simulated 3D fiber systems**  
 FILTECH Conference, Köln, Oktober

Easwaran, Prakash  
**Stochastic modeling of 3D fiber systems incorporating interaction**  
 The 19th European Conference on Mathematics for Industry, Santiago de Compostela (E), Juni

Eisenräger, Almut  
**Finite Pointset Method**  
 British Applied Mathematics Colloquium (BAMC), Oxford (GB), April

Erlwein-Sayer, Christina  
**Investment and trading strategies for equities within a regime switching model**  
 APMOD, Brno (CZ), Juni

Erlwein-Sayer, Christina  
**Methods for calculating the extent of financial losses due to healthcare fraud**  
 EHFCN Open House, Lissabon (P), Juni

Ettrich, Norman  
**ACE – RTM at extreme scale**  
 2016 Seam Workshop, Houston TX (USA), September

Fassbender, Achim; Orlik, Julia; Pietsch, Kathrin; Rief, Stefan; Shamanskiy, Alexander  
**Simulation of Elastic Properties of Spacer Fabrics and the Effective Permeability at different Compression Rates**  
 The 7th World Conference in 3D Fabrics and Their Applications, Roubaix (F), September

Finhold, Elisabeth; Borgwardt, Steffen; De Loera, Jesús A.  
**The diameters of transportation polytopes satisfy the Hirsch Conjecture**  
 SIAM Workshop on Network Science, Boston (USA), Juli

Fütterling, Valentin  
**Cluster-based Photo-realistic Real Time Rendering**  
 IRTG General Meeting, Kaiserslautern, Juni und IRTG General Meeting, Berkeley (USA), Oktober

Fütterling, Valentin  
**Parallel Spatial Splits in Bounding Volume Hierarchies**  
 Eurographics Symposium on Parallel Graphics and Visualization in Groningen (NL), Juni

Fütterling, Valentin  
**Photo-realistic image synthesis with Path Tracing – An optimization problem?**  
 Supercomputing Seminar, TU Kaiserslautern, Juli

Fütterling, Valentin  
**Towards Cluster-based Real Time Photo-realistic Rendering**  
 Invited Talk, Computer Research Division Berkeley Lab (USA), Sept.

Gallrein, A.; Bäcker, M.; Calabrese, F.  
**Advanced tire modeling from multi body dynamics to linearization of the rotating tire**  
Coventry (GB), Juni

Gilberg, Dominik  
**On segregation in dry granular material flows in mixing processes**  
Talk at Young Researchers Symposium, Kaiserslautern, April

Gramsch, Simone  
**Virtual Nonwoven Production Processes**  
Mathematical Methods in Process Engineering, Kaiserslautern, September

Grün, Sarah  
**Estimating Discrete Dividends by No-Arbitrage**  
Second Quantitative Finance Symposium „Quattro Pole++“, Trier, April und 9th European Summer School in Financial Mathematics Pushkin, St. Petersburg (RUS), September

Grünwald, Daniel  
**ACE – Reverse Time Migration at Extreme Scale**  
78th EAGE Conference & Exhibition, Dedicated - Towards Exascale Geophysical Applications, Wien (A), Mai

Grünwald, Daniel  
**GASPI: Bringing FDTD Simulations to Extreme Scale**  
Platform for advanced scientific computing conference, Minisymposium – Asynchronous Dataflow Driven Programming With GASPI, Lausanne (CH), Mai

Grünwald, Daniel; Machado, Rui  
**Tutorial: Efficient Parallel Programming with GASPI**  
HLRS, Stuttgart, Juni

Halfmann, T.  
**Prediction of tire performance for vehicle usage in the field**  
Sterrebeek/Brussels (B), April

Halfmann, T.; Steidel, S.; Gallrein, A.; Dreßler, K.; Pasalkar, V.  
**Extrapolation of rolling resistance for truck tires from specific load cases to vehicle usage in the field**  
Kaiserslautern, März

Haziza, Frédéric; Holik, Lukas; Meyer, Roland; Wolff, Sebastian  
**Pointer Race Freedom**  
POPL, St. Petersburg, Florida, (USA), Januar

Hietel, Dietmar  
**Mathematik ist Technologie**  
Kassel, November

Hietel, Dietmar  
**Simulationsbasierte Analyse der Inhomogenitäten in Vliesstoff-Filtermedien: Stochastisches Potenzial und seine Nutzung**  
13. Symposium Textile Filter, Chemnitz, März

Hietel, Dietmar; Antonov, Sergey; Gramsch, Simone; Gebhardt, Rainer; Reichel, Sven  
**Virtual generation of global nonwoven structures: Analysis, potential and chance for tailor-made products**  
Man-made Fibers Congress, Dornbirn (A), September

Hietel, Dietmar; Woltz, Sebastian  
**AKZESS – Aerodynamic Contactless Fiberizing from Melted Glass Strings**  
3rd International Glass Fiber Symposium, Aachen, Oktober

Hoffmann, Anna  
**Novel approach for simulation and optimization of distillation-based flowsheets using fixed-point iterations for stage-to-stage calculations**  
Mathematical Methods in Process Engineering, International Workshop, Kaiserslautern, September

Hoffmann, Tobias; Andrä, Heiko; Fink, Andreas; Kabel, Matthias; Schneider, Matti; Staub, Sarah; Steiner, Konrad  
**Material CAE: Mikrostruktur-simulation der nichtlinearen mechanischen Parameter von Verbundwerkstoffen**  
NAFEMS-Seminar „Simulation von Composites – Bereit für die Industrie 4.0“, ZAL, Hamburg, Oktober

Hofmann, Tobias  
**Numerical simulation of phase separation in lithium ion batteries**  
Talk at Young Researchers Symposium, Kaiserslautern, April

Hofmann, Tobias; Andrä, Heiko; Fink, Andreas; Kabel, Matthias; Schneider, Matti; Staub, Sarah; Steiner, Konrad  
**Microstructure simulation of nonlinear mechanical parameters of composites**  
NAFEMS, Hamburg, November

Hofmann, Tobias; Andrä, Heiko; Müller, Ralf  
**Linear elasticity in phase-separating lithium ion batteries**  
EMMC, Brüssel (B), September

Iliev, Oleg  
**Microstructure Simulation and Big Data**  
Felix Klein Conference „Mathematical Methods in Big Data“, Kaiserslautern, September

Iliev, Oleg; Despande, Raturaj; Antonyuk, Sergiy  
**Analysis Of Filter Cake Formation Using Computational Fluid Dynamics - Discrete Element Method (CFD-DEM) Simulation**  
Plenary talk at International Conference on Advances in Scientific Computing, Chennai (IND), November

Iliev, O.; Efendiev, Y.; Latz, A.; Maday, Y.; Taralova, V.; Taralov, M.; Zausch, J.; Zhang, S.  
**On some mathematical challenges in studying multiscale electrochemical processes in Li-ion battery**  
Invited presentation, Research seminar of Mitsubishi Electric Research Laboratories, Boston (USA), Mai

Iliev, O.; Feinauer, J.; Hein, S.; Latz, A.; Maday, Y.; Ohlberger, M.; Rave, S.; Schmidt, S.; Schmidt, V.; Zausch, J.; Westhoff, D.; Zhang, S.  
**MOR approaches for simulation of electrochemical processes in porous electrodes of Li-ion batteries**  
KOMSO Workshop on Model Reduction, Renningen, November

Iliev, Oleg; Iliev, Dimitar; Kabel, Matthias; Kirsch, Ralf; Staub, Sarah  
**Kopplung von CDF und Elastizitätslösern zur Simulation strömungsinduzierten Verformung von Filtermedien**  
NAFEMS DACH Regionalkonferenz, Bamberg, April

Iliev, Oleg; Iliev, Dimitar; Kirsch, R.  
**Numerical simulation of fluid flow and poroelastic deformation in round pleat cartridges**  
Filtech, Köln, Oktober

Iliev, Oleg; Iliev, Dimitar; Kirsch, R.  
**On solving of poroelasticity problems related to simulation of filtration processes**  
Invited talk at Large Scale Scientific Computing, Sozopol (PL), Juni

Iliev, Oleg; Kabel, Matthias; Kirsch, Ralf; Staub, Sarah  
**CAE for filter elements: From CFD to coupled simulations**  
Internat. Workshop “Mathematical Methods in Process Engineering“, Kaiserslautern, September

Iliev, Oleg; Kirsch, Ralf; Osterroth, Sebastian  
**Combined depth and cake filtration coupled to flow simulation**  
Filtech, Köln, Oktober

Iliev, Oleg; Mohring, Jan; Milk, Rene; Ohlberger, Mario; Klein, Oliver; Bastian, Peter  
**Toward Exascale Computations of Uncertainty Quantification for Porous Media Flow Using Multilevel Monte Carlo**  
Plenary talk, III. International Conference «Supercomputer Technologies in Mathematical Modelling», Moscow (RUS), Juni und Invited talk at Annual Meeting of Bulgarian section of SIAM, Dezember

Iliev, O.; Prill, T.; Nessler, K.; Lakdawala, Z.; Printsypar, G.; Andrä, H.; Kabel, M.; Enzmann, Frieder; Wiegmann, A.; Schwarz, J.-O.  
**On Digital Rock Physics extended with Chemistry**  
Invited presentation, Research seminar of Schlumberger-Doll Research Center, Boston (USA), Mai und Plenary talk, Digital Core Workshop, Qingdao (CHN), August

Iliev, O.; Prill, T.; Nessler, K.; Dick, V.; Klein, P.; Lakdawala, Z.; Printsypar, G.; Vutov, Y.  
**Pore scale simulation of reactive flows on 3D CT images**  
Kick-off meeting of the German Chapter of InterPore, Erlangen, März

- Iliev, O.; Prill, T.; Nessler, K.; Lakdawala, Z.; Printsypar, G.; Vutov, Y. **On pore scale simulation of reactive flows on 3D CT images of membranes and rocks** Annual meeting of InterPore, Cincinnati (USA), Mai
- Iliev, O.; Prill, T.; Nessler, K.; Lakdawala, Z.; Printsypar, G. **Pore scale simulation of reactive flow** Workshop on Math. Methods in Process Engineering, Kaiserslautern, September und GeoDict User Meeting, Kaiserslautern, Oktober
- Iliev, Oleg; Prill, Torben; Nessler, Katherine; Lakdawala, Zahra; Printsypar, Galina; Enzmann, Frieder **Pore scale modeling of reactive flows for applications in purification and adsorption of pollutants** Filtech, Köln, Oktober
- Iliev, O.; Zemitis, A.; Nagapetyan, T.; Shklyar, I.; Steiner, K.; Johann, C.; Schuch, H.; Rösch, U. **Numerical simulation as a powerful tool to understand and improve FFF** Invited talk at 18th International Symposium on Field- and Flow-Based Separations, Dresden, Mai
- Jami, Neil **A model and polynomial algorithm for purchasing and repositing returnable containers** 7th IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics, Bremen, Februar
- Kabel, Matthias **Composite voxels for nonlinear mechanical problems** MPIE, Düsseldorf, Juli
- Kabel, Matthias **Recent developments of FFT-based homogenization** Seminar für Numerische Mathematik und Mechanik, Universität Duisburg-Essen, Januar
- Kabel, Matthias; Kirsch, Ralf; Staub, Sarah **Towards the simulation of manufacturing effects on multi-layered filter media** FILTECH, Köln, Oktober
- Keuper, Janis **Distributed training of deep neural networks: theoretical and practical limits of parallel scalability.** MLHPC Workshop at Supercomputing Conference 16, Salt Lake City, Utah, (USA), November
- Keuper, Janis **Seminar: Introduction to Deep Learning** Birlinghoven, Dezember
- Keuper, Janis **Skalierbare Datenanalyse mit IPython** Data2Day Conference, Karlsruhe, Oktober
- Kleer, M.; Bitsch, G.; Dreßler, K.; Pena Vina, E.; Rothmann, T. **Ein neues Konzept zur Erprobung und Absicherung von Gesamtfahrzeugfunktionen** Baden-Baden, November
- Kleer, M.; Dreßler, K. **Robot Based Driving and Operation Simulator (RODOS) – Excavator development** Eskilstuna (S), September
- Kleer, M.; Gizatullin, A.; Pena Vina, E.; Dreßler, K. **New Environment Generation Techniques for Interactive Driving Simulation** Wiesbaden, April
- Kleer, M. and Dreßler, K. **New Environment Generation Techniques for Vehicle and Machine Development** Stuttgart, April
- Kleer, M. and Dreßler, K. **Upgrading machine development and proving processes with interactive simulations** Sindelfingen, September
- Klein, Matthias **Das Fraunhofer ITWM als attraktiver Arbeitgeber** E-world energy & water, Essen, Februar
- Köbler, Jonathan; Schneider, Matti; Andrä, Heiko **An efficient multiscale method for computing the effective viscoelastic response of short fiber reinforced thermoplastics** 2016 EMI International Conference, Metz (F), Oktober
- Korn, Ralf **Aspekte der Chancen-Risiko-Klassifizierung** Qx-Club, Wiesbaden, Januar
- Korn, Ralf **Das Effektivkostenkonzept** Assekuranzforum, Neu-Isenburg, April
- Korn, Ralf **Das Risikobeurteilungsverfahren des EI-QFM** Tag des EI-QFM, Kaiserslautern, Oktober
- Korn, Ralf **Risiko** Nacht, die Wissen schafft, Kaiserslautern, April
- Korn, Ralf **Stochastik und Statistik für Sekundarstufe II** Lehrerfortbildung (Philologenverband), Neustadt, Februar
- Krüger, Jens **High Performance Tools for Big Data** Big Data Networking Day, Brüssel (B), Januar
- Krüger, Jens **Smart Data for Smart Energy** Fraunhofer IAO, Stuttgart
- Krüger, Jens **Technologies for High Performance Data Analytics** Fraunhofer IAO, Stuttgart und ComplexWorld, EASA Köln, September
- Kuhnert, Jörg **Finite Pointset Method (FPM) in selected industrial applications** USACM Conference on Isogeometric Analysis and Meshfree Methods, La Jolla (USA), Oktober
- Kuhnert, Jörg **Meshfree numerical simulation in the industrial context: true problems that might arise if a scientific tool goes to the market** International Conference on Advances in Scientific Computing, Chennai (IND), November
- Kuhnert, Jörg **True meshfree simulation in the industrial context** Volkswagen AG, CFD-Seminar, Wolfsburg, Januar
- Küstners, Ferdinand **Beobachtbarkeit des Schaltsignals bei geschalteten ODEs und DAEs** 10. Elgersburg Workshop, Elgersburg, Februar
- Küstners, Ferdinand; Trenn, Stephan; Wirsen, Andreas **Constant-input observability of DAEs** GAMM/DMV Jahrestagung, Braunschweig, März
- Küstners, Ferdinand; Trenn, Stephan; Wirsen, Andreas **Gemeinsame Beobachtbarkeit von Zustand und Schaltsignal bei homogenen geschalteten DAEs** GAMM-Fachausschuss „Dynamics and Control“, Anif (A), September
- Küstners, Ferdinand; Wirsen, Andreas **Constant-input observability of DAEs with application to power networks** Young Researchers Symposium, Kaiserslautern, April
- Lamann, J.; Weyh, T. **Einsatz der Mehrkörpersimulation in der Entwicklung von Sattelauflegern / Trailerfahrzeugen** Kaiserslautern, März
- Leichner, A.; Andrä, H.; Simeon, B. **Numerical Solution of Contact Problems in Fibrous Microstructures using the Level Set Method on Voxel Discretizations** GAMM-DMV Joint Meeting, Braunschweig, März
- Leithäuser, Christian; Feßler, Robert; Pinnau, René **Optimal Shape Design for Polymer Spin Packs** ECMI, Santiago de Compostela (E), Juni
- Leoff, Elisabeth **Regime-Switching Models and Filterbased Volatility** 12th German Probability and Statistics Days, Bochum, März

Lietzow, Bernd  
**An Introduction to BeeGFS**  
Des données au BigData: exploitez le stockage distribué, Gif-sur-Yvette (F), Dezember

Linden, Sven; Becker, Jürgen; Liping, Cheng; Wiegmann, Andreas  
**Estimation of Effective Cake Filtration Simulation Parameters from Resolved Filtration Simulations**  
Annual meeting of InterPore, Cincinnati (USA), Mai

Linn, J.  
**Discrete kinematics of Cosserat rods based on the difference geometry of framed curves**  
Montréal, Québec (CDN), Mai

Linn, J.  
**The Fraunhofer research project EMMA-CC: »Ergo-dynamic Moving MANikin with Cognitive Control«**  
Heidelberg, Oktober

Linn, J.; Roller, M.; Sadiku, V.; Schneider, F.; Loris, C.; Hoefft, F.  
**Cable dynamics simulation & comparative fatigue analysis**  
Göteborg (S), Juni

Maag, Volker  
**Designing hybrid energy systems for buildings**  
5th International Conference on Engineering Optimization, Igassu Falls (BR), Juni

Merten, Dirk  
**A Parallelization Strategy for the 5D Data Mapping Problem in Angle Migration**  
78th EAGE Conference & Exhibition, Dedicated - Towards Exascale Geophysical Applications, Wien (A), Mai

Mohrbacher, Christian  
**BeeGFS**  
Rice University Oil&Gas HPC Workshop

Mohring, Jan  
**RoMI – Root Cause Analysis of Measurement Issues**  
Symposium Integriertes 3D-Messdatenmanagement, Landau, Juni

Musolino, Paolo; Orlik, Julia  
**Homogenization of Coulomb-contact in domains with cracks via the periodic unfolding method**  
Minisymposium "Asymptotic analysis: homogenization and thin structures", 14th IMSE, Padova (I), Juli

Neunzert, Helmut  
**SURPRISES: Problems and theories I had not expected to be so beneficial for industrial mathematics**  
21th International Conference Mathematical Modelling and Analysis (MMA2016), Tartu (EST), Juni

Neunzert, Helmut; Iliev, Oleg  
**What is industrial mathematics and why should we do it?**  
Plenary talk, International Conference on Advances in Mathematics, Chennai (IND), November

Orlik, Julia; Musolino, Paolo  
**General rescaling of basic inequalities and co-normal derivatives in second order elliptic PDEs in periodic domains**  
4th Workshop of the GAMM Activity Group on Analysis of Partial Differential Equations, TU Dortmund, September

Orlik, Julia; Neusius, David  
**Simulation and Optimization of Textile Membrane via Homogenization and Beam Approximation**  
Multiscale Modeling of Fibrous and Textile Materials, Colloquium 569, 5 April – 7 April, Chateaufort (F)

Orlik, Julia; Shiryayev, Vladimir  
**Simulation and optimization of textile membrane via homogenization and beam Approximations**  
Workshop Multi-Scale and Multi-Physics Testing of High-Performance Materials, TU Berlin, Februar

Osterroth, S.; Iliev, O.; Pinnau, R.  
**A combined sensitivity analysis and model reduction workflow for the simulation of cake filtration**  
Young Researchers Symposium, Kaiserslautern, April

Pfreundt, Franz-Josef  
**BeeGFS**  
15th HLRS/hww Workshop on Scalable Global Parallel File Systems, HLRS, Stuttgart, April

Pfreundt, Franz-Josef  
**Deep Learning - a Performance and Data Challenge**  
Advanced Analytics Infrastructure Dialog München, Dezember

Pfreundt, Franz-Josef  
**Next Step: Big Data im Kontext der künstlichen Intelligenz**  
Big Data Strategiedialog, Bonn, April

Pfreundt, Franz-Josef  
**Programming large memory machines**  
Hewlett Packard Enterprise, Kalifornien (USA), Oktober

Prill, Torben; Iliev, Oleg; Nessler, Katherine; Lakdawala, Zahra  
**Scale Simulation of Reactive Transport in Technical and Natural Porous Media**  
InterPore, First German National Chapter Meeting, Leipzig, November

Prill, T.; Zausch, J.; Latz, A.; Becker-Steinberger, K.  
**Simulation of Ion-Transport in Deforming Porous Battery Electrodes**  
ModVal 13, Lausanne (CH), März

Prill, T.; Iliev, O.; Nessler, K.; Lakdawala, Z.; Printsypar, G.; Enzmann, F.  
**Pore-Scale Modeling of Reactive Flows for Applications in Water Purification and Absorption of Pollutants in Soil**  
XXI International Conference Computational Methods in Water Resources, Toronto (CDN), Juni

Prill, T.; Iliev, O.; Nessler, K.; Lakdawala, Z.; Printsypar, G.; Enzmann, F.; Kersten, M.  
**Pore-Scale Simulation of Reactive Flows**  
French-German Workshop "Mathematische Bildverarbeitung / Traitement d'image mathématique"

Rahn, Mirko  
**GPI-Space – how it works as auto-parallelization framework**  
Hewlett Packard Enterprise, Kalifornien (USA), Oktober

Rau, S.; Niedziela, D.; Neusius, D., Zausch, J.; Schmidt, S.  
**Granular flow in Food Industries: Simulation of Silo Discharge and pneumatic transport**  
KoMSO Challenge Workshop: Mathematical Modelling, Simulation and Optimization in Food Industries, Trier, März

Rau, S.; Niedziela, D.; Steiner, K.; de Vita, S.; Richter, M.; Lutsche, M.; Schmidt, M.; Stoltz, C.  
**Virtual characterization of dense granular flow through a vertically rotating feeding experiment**  
Partec, Nürnberg, April

Rau, S.; Niedziela, D.; Zausch, J.; Neusius, D.; Gilberg, D.; Schmidt, S.  
**Granular flow simulations with continuum models**  
Mathem. Methods in Process Engineering, Kaiserslautern, September

Rauhut, Markus  
**POD as a Tool Evaluating the Quality of Optical NDT Approaches**  
19th World Conference on Non-Destructive Testing, München, Juni

Rief Stefan, Aibibu Dilibaier, Kocaman Türkay, Cherif Chokri  
**Experimental and numerical study of high density filter textiles to determine permeability and retention properties under tensile stress.**  
FILTECH, Köln, Oktober

Roller, M.; Linn, J.  
**Discrete geometric modeling of slender flexible structures for interactive assembly simulation in automotive industry**  
Santiago de Compostela (E), Juni

Rösch, Ronald  
**Blick über den Tellerrand der klassischen Oberflächeninspektion**  
Fraunhofer IOSB Karlsruhe, Dezember

Rösch, Ronald  
**Fehlerdetektion in texturierten Oberflächen im praktischen Einsatz**  
9. Fraunhofer Vision Technologietag, Fürth, Oktober

Sayer, Tilman  
**Beating Markowitz with Sentiment and Downside Risk Control**  
AI, Machine Learning & Sentiment Analysis Applied to Finance, London (GB), Juli

Sayer, Tilman  
**Data Analytics and Sentiment Analysis as Sources of Business Intelligence**  
Data Analytics and Sentiment Analysis as Sources of Business Intelligence, London (GB), April

Schladitz, Katja  
**3D Bildanalyse der Mikrostruktur komplexer Materialien**  
9. Fraunhofer Vision Technologietag, Fürth, Oktober

Schladitz, Katja  
**3D image analysis and stochastic geometry models for materials structures**  
International Workshop on Characterization of Material Properties based on X-ray Tomography, Panagyurishte (BG), April

Schladitz, Katja  
**Characterization of biological structures by the intrinsic volumes**  
Analysis of image data for diagnostics, Prag (CZ), Oktober

Schladitz, Katja  
**Micro-structural analysis of leather based on 3D image data**  
6. Freiburger Kollagensymposium, Freiberg, September

Schladitz, Katja  
**Natural and man-made multi-scale materials structures**  
From Nano to Macrostructures and Characterisation of Soft Materials, Strömstad (S), August

Schneider, F.; Burger, M.; Linn, J.  
**Efficient and robust co-simulation of geometrically exact Cosserat rod model and multi-body system**  
Santiago de Compostela (E), Juni

Schneider, Matti  
**Generating fiber-filled volume elements with high fiber volume fraction and prescribed fourth order fiber orientation tensor**

GAMM AG DATA Kick-Off Workshop, Stuttgart, September

Schneider, Matti  
**Numerical homogenization of the viscosity of a fiber suspension**  
Seminar-Serie des GRK 2078 CoDi-CoFRP, KIT, Karlsruhe, Januar

Schneider, Matti; Kabel, Matthias; Andrä, Heiko  
**Thermal fiber orientation tensors - a novel approach for characterizing the local fiber orientation in paper and paperboard**  
Progress in Paper Physics Seminar, Darmstadt, August

Schneider, Matti; Merkert, Dennis; Kabel, Matthias  
**FFT-based homogenization for microstructures discretized by linear hexahedral elements**  
2016 EMI International Conference, Metz (F), Oktober

Schröder, Simon  
**Visualization of Meshfree Simulations with STRING 3**  
11. SPRING User Conference, Pretoria (ZA), September

Schwientek, Jan  
**Using data in process engineering: Mode building, sensitivity analysis and optimization**  
Mathematical Methods in Process Engineering, International Workshop, Kaiserslautern, September

Siedow, N.; Mohring, J.; Linn, D.; Brüggemann, T.; Heidenbluth, M.  
**Dynamische Netzsimulation zur Effizienzsteigerung und Emissionsreduzierung in der Fernwärmeversorgung**  
UMSICHT: Zur Sache! Strom-Wärme-Kopplung neu denken; Oberhausen, Dezember

Slater, A.; Rief, S.; Steiner, K.  
**Automotive filtration – fibrillation makes the difference**  
55th Dornbirn man-made fibres Congress, Dornbirn (A), September

Speckert, M.; Dreßler, K.  
**Statistische Lastendatenanalyse unter Verwendung von Faktormodellen**  
München, November

Speckert, M.; Dreßler, K.; Lübke, M.; Halfmann, T.  
**Automatisierte und um GEO-Daten angereicherte Auswertung von Messdaten zur Herleitung von Beanspruchungsverteilungen**  
Steyr (A), Oktober

Staub, S.; Andrä, H.; Fink, A.; Kabel, M.; Sliseris, J.; Steiner, K.  
**Stochastic Fiber Network Models for Paper: Generation, Deformation, Permeability**  
Interpore 8th International Conference on Porous Media, Cincinnati (USA), Mai

Staub, S.; Andrä, H.; Kabel, M.  
**Rate-Dependent Deformation Simulation of Nonwovens**  
Euromech 569, Multiscale modeling of fibrous and textile materials, Paris (F), April

Staub, Sarah; Andrä, Heiko; Kabel Matthias; Steiner, Konrad  
**Structure Generation and Nonlinear Deformation Simulation of Thin Nonwoven Structures at the Micro-Scale**  
Interpore 8th International Conference on Porous Media, Cincinnati (USA), Mai

Staub, Sarah; Andrä, Heiko; Kabel, Matthias  
**Modeling and Nonlinear Deformation Simulation of Thin Nonwoven Textiles**  
GeoDict User Meeting, Kaiserslautern, Oktober

Stephani, Henrike  
**Typischer Aufbau und Beispiele für Algorithmen von Oberflächeninspektionssystemen**  
Fraunhofer IOSB Karlsruhe, Dezember

Wächtler, Timo  
**A Finite Pointset Model For Reactive Mixing**  
USACM Conference on Isogeometric Analysis and Meshfree Methods, La Jolla (USA), Oktober

Wagner, Andreas  
**Integrated Electricity Price Model**  
Energy Finance Italia II, Padua (I), Dezember

Weis, M.; Kleer, M.; von Holst, C.; Gizatullin, A.  
**Interactive Tractor Driving Simulation**  
Kaiserslautern, März

Wirsen, Andreas  
**Matlab Toolbox: Controller Design for Active Vibration Damping**  
Seminar on Modeling, Simulation and Optimization in Automotive and Vehicle Industry, Fraunhofer Chalmers Centre, Göteborg (S), Dezember

Zausch, Jochen  
**Coupled thermal-electrochemical simulation of Li-ion batteries on micro and cell scale**  
Warwick University, Coventry (UK), Juni

Zausch, Jochen  
**Das Verbundprojekt "TopBat": Temperaturoptimierte Batteriemodule mit instrumentierten Zellen**  
Fraunhofer Symposium Netzwerk, München, Februar

Zausch, Jochen; Prill, Torben; Latz, Arnulf  
**Modeling of lithium ion batteries on micro and cell scale with emphasis on thermal coupling and spatial fluctuations**  
ISE 67th Annual Meeting, Den Haag (NL), August

Zémerli, C.  
**A simulation framework for optimising wiring harness while accommodating the needs of manufacturing constraints and assembly**  
Bad Nauheim, Februar

## LEHRTÄTIGKEITEN

Andrä, Heiko  
**Festigkeitslehre**  
 DHBW CAS Heilbronn, Wintersemester 2015/16

Andrä, Heiko  
**Höhere Mathematik**  
 DHBW CAS Heilbronn, Wintersemester 2015/16

Andrä, Heiko  
**Kontaktmechanik**  
 TU Kaiserslautern, Wintersemester 2016/2017

Bitsch, Gerd  
**Professur für Mechatronik, Robotik und CAE-Simulation**  
 Hochschule Kaiserslautern, Fachbereich Angewandte Ingenieurwissenschaften

Burger, Michael  
**Dynamics of Mechanical Multi-body Systems**  
 TU Kaiserslautern, Wintersemester 2015/2016

Burger, Michael  
**Numerik für Bauingenieure**  
 Hochschule Kaiserslautern, Wintersemester 2015/2016

Burger, Michael  
**Optimal Control of ODEs and DAEs**  
 TU Kaiserslautern, Sommersemester 2016

Dreßler, Klaus  
**Durability Load Data Analysis**  
 TU Kaiserslautern, Sommersemester 2016

Iliev, Oleg  
**PhD Seminar »Technomathematik«**  
 TU Kaiserslautern, Fachbereich Mathematik

Kabel, Matthias  
**Digital Material Characterization of Composites**  
 Universität Stuttgart, Oktober 2016

Kleer, Michael  
**Robotik 1**  
 Hochschule Kaiserslautern, 2015 – 2017

Korn, Ralf  
**Professur für Stochastische Steuerung und Finanzmathematik**  
 TU Kaiserslautern, Fachbereich Mathematik

Küfer, Karl-Heinz  
**Probability and Algorithms**  
 TU Kaiserslautern, Wintersemester 2016/17

Küfer, Karl-Heinz  
**Theory of Scheduling Problems**  
 TU Kaiserslautern, Sommersemester 2016

Prätzel-Wolters, Dieter  
**Professur für Technomathematik**  
 TU Kaiserslautern, Fachbereich Mathematik

Steidel, Stefan  
**Mathematik für Bauingenieure**  
 Hochschule Kaiserslautern, Wintersemester 2015/2016

## PUBLIKATIONEN

**Vollständige bibliografische Angaben finden Sie unter: [publica.fraunhofer.de/institute/itwm/2016](http://publica.fraunhofer.de/institute/itwm/2016)**

Ackermann, H.; Berenbrink, P.; Fischer, S.; Hoefer, M.:  
**Concurrent imitation dynamics in congestion games**  
 In: Distributed computing 29 (2016), Nr.2, S.105-125

Alumur, S.A.; Nickel, S.; Saldanha-Gama, F.; Seçer, Y.:  
**Multi-period hub network design problems with modular capacities**  
 In: Annals of operations research 246 (2016), Nr.1, S.289-312

Asprion, Norbert; Böttcher, Roger; Pack, R.; Bortz, Michael; Schwientek, Jan; Höller, Johannes:  
**Greybox-Modelle – Neue Möglichkeiten für die Optimierung von Gesamtverfahren**  
 In: Chemie-Ingenieur-Technik 88 (2016), Nr.9, S.1312

Bäcker, M.; Gallrein, A.; Calabrese, F.; Mansvelders, R.:  
**Simulation of a sudden tire inflation pressure loss in a full vehicle context as a validation scenario for CAE based ESC development**  
 SAE Technical Paper, 2016-01-0447)

Bäcker, M.; Gallrein, A.; Roller, M.:  
**Noise, vibration, harshness model of a rotating tyre**  
 In: Vehicle system dynamics 54 (2016), Nr.4, S.474-491

Balzer, M.; Burger, M.; Däuwel, T.; Ekevid, T.; Steidel, S.; Weber, D.:  
**Coupling DEM particles to MBS wheel loader via co-simulation**  
 In: Proceedings of the 4th Commercial Vehicle Technology Symposium (CVT 2016), 2016, S.479-490

Bare, Z.; Orlik, Julia; Panasenko, G.:  
**Non homogeneous Dirichlet conditions for an elastic beam: An asymptotic analysis**  
 In: Applicable Analysis 95 (2016), Nr.12, S.2625-2636

Bastian, Peter; Engwer, C.; Fahlke, J.; Geveler, M.; Göddeke, D.; Iliev, O.; Ippisch, O.; Milk, R.; Mohring, Jan; Müthing, S.; Ohlberger, M.; Ribbrock, D.; Turek, S.:  
**Hardware-based efficiency advances in the EXA-DUNE project**  
 In: Proceedings of the SPPEXA Symposium 2016, S.3-23

Bastian, Peter; Engwer, Christian; Fahlke, Jorrit; Geveler, Markus; Iliev, Oleg; et.al.:  
**Advances concerning multiscale methods and uncertainty quantification in EXA-DUNE**  
 In: Proceedings of the SPPEXA Symposium 2016, S.25-43

Belyaev, Alexander:  
**Generation of interior points and polyhedral representations of cones in RN cut by M planes sharing a common point**  
 In: Mathematical methods of operations research 83 (2016), Nr.1, S.71-85

Biedinger, C.; Feth, S.:  
**Usage modeling of computers on basis of geographical data for vehicle engineering**  
 In: Proceedings of the Young Researchers Symposium 2016, S.33-38

Biedinger, C.; Weyh, T.; Opalinski, A.; Wagner, M.:  
**Simulation of customer-specific vehicle usage**  
 In: Proceedings of the 4th Commercial Vehicle Technology Symposium (CVT 2016), S.523-532

Bischoff, Martin; Bamberger, Joachim; Fleuren, Tino; Plociennik, Kai; Leitner, Johannes:  
**Weather sensitivity analyses in layout planning**  
 In: European Commission: 32nd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, EU PVSEC 2016, S.1793-1795

Bischoff, M.; Klug, A.; Küfer, K.-H.; Plociennik, K.; Schüle, I.:  
**Optimized pattern design for photovoltaic power stations**  
 In: Selected Papers of the Annual International Conference of the German Operations Research Society (GOR), 2016, S.451-456

- Bock, A.; Korn, Ralf: **Improving convergence of binomial schemes and the edge-worth expansion**  
In: Risks 4 (2016), Nr.2, Art. 15, 22 S.
- Borgwardt, S.; Finhold, E.; Hemmecke, R.; Loera, J. A. de: **Quadratic diameter bounds for dual network flow polyhedra**  
In: Mathematical programming. Series A 159 (2016), Nr.1, S.237-251
- Borgwardt, S.; Loera, J. A. de; Finhold, E.: **Edges versus circuits: A hierarchy of diameters in polyhedra**  
In: Advances in geometry 16 (2016), Nr.4, S.511-530
- Borsche, R.; Kall, J.; Klar, A.; Pham, T.N.H.: **Kinetic and related macroscopic models for chemotaxis on networks**  
In: Mathematical models & methods in applied sciences 26 (2016), Nr.6, S.1219-1242
- Borsche, R.; Klar, A.; Meurer, A.; Tse, O.: **Mean field models for interacting ellipsoidal particles**  
In: Computers and mathematics with applications 72 (2016), Nr.3, S.704-719
- Bortz, Michael; Burger, Jakob; Forte, Ester; Harbou, Erik von; Aspiron, Norbert; Hasse, Hans: **A pareto-based approach to optimal design of experiments**  
In: Chemie-Ingenieur-Technik 88 (2016), Nr.9, S.1377-1378
- Böser, P.; Mordashova, Y.; Maassland, M.; Trommer, I.; Lorenz, H.; Hafner, M.; Seemann, D.; Mueller, B.K.; Popp, A.: **Quantification of Hepcidin-related iron accumulation in the rat liver**  
In: Toxicologic Pathology 44 (2016), Nr.2, S.259-266
- Brand, A.; Bäcker, M.: **Simulation des Reifenabriebs zur Bewertung von Nachlaufkackskonzepten**  
In: Proceedings of the 4th Commercial Vehicle Technology Symposium (CVT 2016), S.458-469
- Burger, M.; Schneider, F.; Steidel, S.: **Coupled simulation in vehicle engineering**  
In: Proceedings in applied mathematics and mechanics. PAMM 16 (2016), Nr.1, S.493-494
- Carrigan, S.; Kornadt, O.; Shklyar, I.; Andrä, H.: **Kombination von Thermografieaufnahmen mit numerischen Strömungssimulationen zur Bestimmung des Volumensstroms durch Leckagen**  
In: Bauphysik 38 (2016), Nr.4, S.222-230
- Carrillo, J.A.; Klar, A.; Roth, A.: **Single to double mill small noise transition via semi-lagrangian finite volume methods**  
In: Communications in math. sciences 14 (2016), Nr.4, S.1111-1136
- Deshpande, R.; Iliev, O.; Antonyuk, S.: **Analysis of filter cake formation using computational fluid dynamics - discrete element method (CFD-DEM) simulation**  
In: Proceedings of the Filtech Exhibitions Germany 2016
- Desmettre, S.; Korn, R.; Varela, J.; Wehn, N.: **Nested MC-based risk measurement of complex portfolios: Acceleration and energy efficiency**  
In: Risks 4 (2016), Nr.4, Art. 36
- Dörlich, V.; Linn, J.; Scheffer, T.; Diebels, S.: **Towards viscoplastic constitutive models for cosserat rods**  
In: Archive of Mechanical Engineering 63 (2016), Nr.2, S.215-230
- Easwaran, P.; Lehmann, M.J.; Wirjadi, O.; Prill, T.; Didas, S.; Redenbach, C.: **Automatic fiber thickness measurement in scanning electron microscopy images validated using synthetic data**  
In: Chemical Engineering and Technology 39 (2016), Nr.3, S.395-402
- Erdmann-Pham, D.; Gibali, A.; Küfer, K.-H.; Süss, P.: **Singular Value Homogenization: A simple preconditioning technique for linearly constrained optimization and its potential applications in medical therapy**  
In: Journal of Mathematics in Industry 6 (2016), Art. 1, 11 S.
- Erlwein-Sayer, C.; Grimm, S.; Ruckdeschel, P.; Sass, J.; Sayer, T.: **Portfolio strategies and estimation in a hidden Markov model using state dependent, state independent or no correlation**  
In: Social Science Research Network: SSRN. eLibrary (2016), S.1-39
- Fassbender, A.; Orlik, J.; Pietsch, K.; Rief, S.; Shamanskiy, A.: **Simulation of elastic properties of spacer fabrics and its effective permeability at different compression states**  
In: Proceedings of the 7th World Conference in 3D Fabrics and their Applications, 2016, S.223-232
- Fayed, H.; Sheikh, N.; Iliev, O.: **On laminar flow of non-newtonian fluids in porous media**  
In: Transport in porous media: TIPM 111 (2016), Nr.1, S.253-264
- Feßler, R.; Hietel, D.; Leithäuser, C.: **Simulation-based analysis and optimization of polymer spin packs**  
In: Chemical fibers international 66 (2016), Nr.3, S.137-138
- Forte, E.; Burger, J.; Langenbach, K.; Bortz, M.; Hasse, H.: **Multi-criteria optimization of equations-of-state models using water and PCP-SAFT as an example**  
In: Chemie-Ingenieur-Technik 88 (2016), Nr.9, S.1285
- Fütterling, V.; Lojewski, C.; Pfreundt, F.-J.; Ebert, A.: **Parallel spatial splits in bounding volume hierarchies**  
In: Gobbetti, E.; Proceedings of the EUROGRAPHICS-Symposium on Parallel Graphics and Visualization 2016, S.21-30
- Gilberg, D.: **On segregation in dry granular material flows in mixing processes**  
In: Proceedings of the Young Researchers Symposium, Kaiserslautern 2016, S.54-58
- Gimmler, A.; Korn, R.; Vargas, C. de; Audic, S.; Stoeck, T.: **The Tara Oceans voyage reveals global diversity and distribution patterns of marine planktonic ciliates**  
In: Scientific Reports 6 (2016), Art. 33555, 5 S.
- Gramsch, S.; Klar, A.; Leugering, G.; Marheineke, N.; Nessler, C.; Strohmeyer, C.; Wegener, R.: **Aerodynamic web forming: Process simulation and material properties**  
In: Journal of Mathematics in Industry 6 (2016), Art. 13, 6 S.
- Griso, G.; Migunova, A.; Orlik, J.: **Homogenization via unfolding in periodic layer with contact**  
In: Asymptotic analysis 99 (2016), Nr.1-2, S.23-52
- Groß, T.; Trenn, S.; Wirsén, A.: **Solvability and stability of a power system DAE model**  
In: Systems and Control Letters 97 (2016), S.12-17
- Groß, Tjorben Benjamin: **DAE-Modellierung und mathematische Stabilitätsanalyse von Energieversorgungsnetzen**  
Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2016, VII, 143 S. (Dissertation)
- Halfmann, T.; Steidel, S.; Gallrein, A.; Dreßler, K.; Pasalkar, V.: **Extrapolation of rolling resistance for truck tires from specific load cases to vehicle usage in the field**  
In: Proceedings of the 4th Commercial Vehicle Technology Symposium (CVT 2016), S.470-478
- Hammer, N.; Jamitzky, F.; Satzger, H.; Allalen, M.; Block, A.; Karmakar, A.; Brehm, M.; Huber, H.; Kühn, M.; Machado, R.; Grünwald, D. et. al.: **Extreme scale-out SuperMUC phase 2 - lessons learned**  
In: Joubert, G.R.: Parallel computing: On the road to exascale IOS Press, 2016, S.827-836
- Hietel, Dietmar; Woltz, Sebastian: **AKZESS - Aerodynamic contactless fiberizing from melted glass strings**  
In: Proceedings of the 3rd International Glass Fiber Symposium 2016, S.44-47

- Hoffmann, A.; Bortz, M.; Burger, J.; Hasse, H.; Küfer, K.-H.: **A new scheme for process simulation by optimization: Distillation as an example**  
In: 26th European Symposium on Computer Aided Process Engineering 2016, S.205-210
- Hofmann, T.; Müller, R.; Andrä, H.; Zausch, J.: **Numerical simulation of phase separation in cathode materials of lithium ion batteries**  
In: International Journal of Solids and Structures 100-101 (2016), S.456-469
- Hofmann, T.; Müller, R.; Andrä, H.; Zausch, J.: **Numerical simulation of phase separation in cathode materials of lithium ion batteries**  
Fraunhofer ITWM, 2016, 48 S. (Berichte des Fraunhofer ITWM, 248)
- Hölzing, Astrid; Zabler, Simon; Schladitz, Katja; Wirjadi, Oliver: **Qualität und Stabilität von CFK-Teilen prüfen**  
In: Plastverarbeiter (2016), Nr. 2, S.82-85
- Iliev, D.; Iliev, O.; Kirsch, R.: **Numerical simulation of the fluid flow and poroelastic deformation in round pleated filter cartridges**  
In: Proceedings of the Filtech Exhibitions 2016
- Iliev, O.; Kirsch, R.; Osterroth, S.: **Combined depth and cake filtration coupled to flow simulation**  
In: Proceedings of the Filtech Exhibitions 2016
- Iliev, Oleg; Kolesov, A.E.; Vabishchevich, P.N.: **Numerical solution of plate poroelasticity problems**  
In: Transport in porous media: TIPM 115 (2016), Nr.3, S.563-580
- Ireka, I.; Niedziela, D.; Tröltzsch, J.: **Parameter estimation for the modelling and simulation of expanding polyurethane foams**  
In: Proceedings of the Young Researchers Symposium, Kaiserslautern 2016, S.81-86
- Jami, N.; Schröder, M.; Küfer, K.-H.: **A model and polynomial algorithm for purchasing and repositioning containers**  
In: IFAC-PapersOnLine 49 (2016), Nr.2, S.48-53
- Jami, N.; Schröder, M.; Küfer, K.-H.: **Online and offline container purchasing and repositioning problem**  
In: Proceedings of the 7th International Conference Computational logistics 2016, S.159-174
- Jami, Neil; Schröder, Michael: **Tactical and operational models for the management of a warehouse**  
In: Proceedings of the 4th International Conference LDIC 2016, S.655-665
- Jamitzky, F.; Bröchle, H.; Kühn, M.; Ortman, F.: **Fourth Extreme Scale Workshop at the Leibniz Supercomputing Centre**  
In: inSiDE 14 (2016), Nr.2, S.21-24
- Kabel, M.; Fliegner, S.; Schneider, M.: **Mixed boundary conditions for FFT-based homogenization at finite strains**  
In: Computational mechanics 57 (2016), Nr.2, S.193-210
- Kabel, M.; Ospald, F.; Schneider, M.: **A model order reduction method for computational homogenization at finite strains on regular grids using hyperelastic laminates to approximate interfaces**  
In: Computer methods in applied mechanics and engineering 309 (2016), S.476-496
- Kabel, M.; Kirsch, R.; Staub, S.: **Towards the simulation of manufacturing effects on multi-layered filter media**  
In: Proceedings of the Filtech Exhibition 2016
- Keuper, J.; Preundt, F.-J.: **Distributed training of deep neural networks: Theoretical and practical limits of parallel scalability**  
In: 2nd Workshop on Machine Learning in HPC Environments, MLHPC 2016, S.19-26
- Kleer, M.; Bitsch, G.; Pena Vina, E.; Rothmann, T.; Dreßler, K.: **Ein neues Konzept zur Erprobung und Absicherung von Gesamtfahrzeugfunktionen**  
In: 18. Kongress SIMVEC - Simulation und Erprobung in der Fahrzeugentwicklung 2016, S.703-711 (VDI-Berichte 2279)
- Klein, Peter; Wright, Louise: **Modelling at Nanoscales for All.**  
In: BENCHmark. The international magazine for engineering designers & analysts (2016), S. 56-57
- Korn, R.; Andelfinger, V.: **Der Kunde – Chance und Risiko im Beratungsgespräch**  
In: Zeitschrift für Versicherungswesen: ZfV (2016), Nr.17, S.538-540
- Kramer, S.C.; Hagemann, J.; Künneke, L.; Lebert, J.: **Parallel statistical multiresolution estimation for image reconstruction**  
In: SIAM journal on scientific computing 38 (2016), Nr.5, S.C533-C559
- Krieg, H.; Nowak, D.; Bortz, M.; Knapp, A.; Geil, C.; Roelawski, H.; Böhle, M.: **Entscheidungsunterstützung für Planung und Betrieb von Trinkwasserversorgungsanlagen**  
In: GWF. Wasser, Abwasser 157 (2016), Nr.7-8, S.746-756
- Krieg, H.; Nowak, D.; Schroeder, R.; Bortz, M.; Knapp, A.; Roelawski, H.; Böhle, M.: **Von der Forschung in die Praxis: Wie können Wasserversorger Energie sparen?**  
In: GWF. Wasser, Abwasser 157 (2016), Nr.7-8, S.722-726
- Krishnamurthy, V.; Leoff, E.; Sass, J.: **Filterbased stochastic volatility in continuous-time hidden Markov models**  
In: Econometrics and Statistics 2016) 5 S.
- Küstners, F.; Trenn, S.: **Duality of switched DAEs**  
In: Mathematics of control, signals, and systems 28 (2016), Nr.3, 35 S.
- Lamann, J.; Weyh, Thorsten: **Einsatz der Mehrkörpersimulation in der Entwicklung von Sattelaufliegern / Trailerfahrzeugen**  
In: Proceedings of the 4th Commercial Vehicle Technology Symposium (CVT 2016), S.395-404
- Leichner, A.; Andrä, H.; Simeon, B.: **Numerical solution of contact problems using level set methods on voxel discretizations**  
In: Proceedings in applied mathematics and mechanics. PAMM 16 (2016), Nr.1, S.541-542
- Leithäuser, C.; Pinnau, R.; Feßler, R.: **Approximate controllability of linearized shape-dependent operators for flow problems**  
In: Control, optimisation and calculus of variations
- Leoff, J.; Ackermann, H.; Küfer, K.-H.: **Time-hierarchical scheduling: A worst case analysis of a hierarchical approach integrating planning and scheduling in an online problem**  
In: Journal of scheduling 19 (2016), Nr.3, S.215-225
- Linn, J.: **Discrete kinematics of Cosserat rods based on the difference geometry of framed curves.**  
In: Proceedings of the 4th Joint International Conference on Multi-body System Dynamics, 2016, 21 S.
- Lochegnies, D.; Bechet, F.; Siedow, N.: **Simulation models provide solutions to manufacturers**  
In: Glass international 39 (2016), Nr.4, S.64-65
- Maasland, M.; Rauhut, M.; Rösch, R.; Stephani, H.: **Inspektion von Leder**  
In: Fraunhofer-Allianz Vision: Leitfaden zur Inspektion und Charakterisierung von Oberflächen mit Bildverarbeitung 2016, S.78-81
- Maasland, M.; Rösch, R.; Stephani, H.: **Werkzeuge zur professionellen Entwicklung von Bildverarbeitungsalgorithmen**  
In: Fraunhofer-Allianz Vision: Leitfaden zur Inspektion und Charakterisierung von Oberflächen mit Bildverarbeitung 2016, S.51-54

- Maasland, M.:  
**Prüfung von Dehnzellen**  
In: Fraunhofer-Allianz Vision: Leitfaden zur Inspektion und Charakterisierung von Oberflächen mit Bildverarbeitung 2016, S.82-84
- Marheineke, N.; Liljegren-Sailer, B.; Lorenz, M.; Wegener, R.:  
**Asymptotics and numerics for the upper-convected Maxwell model describing transient curved viscoelastic jets**  
In: Mathematical models & methods in applied sciences 26 (2016)
- Markidis, S.; Peng, I. B.; Larsson Träff, J.; Rougier, A.; Bartsch, V.; Machado, R.; Rahn, M.; Hart, A.; Holmes, D.; Bull, M.; Laure, E.:  
**The EPIGRAM Project: Preparing parallel programming models for exascale**  
In: Proceedings of the ISC High Performance 2016 international workshops ExaComm, E-MuCoCoS, HPC-IODC, IXPUG, IWOPH, P3MA, VHPC, WOPSSS, Springer International Publishing, 2016, S.56-68
- Montag, M.J.; Stephani, H.:  
**Hyperspectral unmixing from incomplete and noisy data**  
In: Journal of imaging 2 (2016), Nr.1, Art. 7, 15 S.
- Neunzert, Helmut  
**Mathematics in Industry**  
In: König, W. (ed.) Mathematics and Society, EMS-Publishing House, 2016, DOI 10.4171/164, S.167-183
- Neusius, D.; Schmidt, S.; Klar, A.:  
**Interpolated cut cell method for simulating behavior of granular materials**  
In: Proceedings of the Young Researchers Symposium, 2016, S.107-112
- Neusius, David:  
**Advanced interpolation cut-cell method for numerically solving continuum granular flow equations**  
Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2016, XI, 126 S. (Dissertation)
- Nowak, Dimitri; Küfer, Karl-Heinz:  
**Solving uniform coverage problem with a modified Remez-algorithm**  
In: Computational Optimization and Applications 65 (2016), Nr.2, S.477-491
- Oden, L.; Klenk, B.; Fröning, H.:  
**Analyzing GPU-controlled communication with dynamic parallelism in terms of performance and energy**  
In: Parallel computing 57 (2016), S.125-134
- Orlik, J.; Panasenko, G.; Shiryayev, V.:  
**Optimization of textile-like materials via homogenization and beam approximations**  
In: Multiscale modeling & simulation 14 (2016), Nr.2, S.637-667
- Osterroth, S.; Preston, C.; Mar-kicevic, B.; Iliev, O.; Hurwitz, M.:  
**The permeability prediction of beds of poly-disperse spheres with applicability to the cake filtration**  
In: Separation and purification technology 165 (2016), S.114-122
- Osterroth, S.; Iliev, O.; Pinnau, R.:  
**A combined sensitivity analysis and model reduction workflow for the simulation of cake filtration**  
In: Proceedings of the Young Researchers Symposium, Kaiserslautern 2016, S.115-120
- Pfeffer, M.:  
**Leistungsmessung in der außer-universitären Forschung: Performance Measurement mit der Balanced Scorecard in Non-Profit-Organisationen**  
Wiesbaden: Springer Gabler, 2016, XX, 371 S. (Dissertation)
- Prill, T.; Iliev, O.; Nessler, K.; Lakdawala, Z.:  
**Pore-scale modeling of reactive flows with applications in purification and absorption of pollutants**  
In: Proceedings of the Filtech Exhibition Germany 2016
- Rajala, T.; Redenbach, C.; Särkkä, A.; Sormani, M.:  
**Variational Bayes approach for classification of points in superpositions of point processes**  
In: Spatial statistics 15 (2016), S.85-99
- Rajala, T.A.; Särkkä, A.; Redenbach, C.; Sormani, M.:  
**Estimating geometric anisotropy in spatial point patterns**  
In: Spatial statistics 15 (2016), S.100-114
- Rau, S.; Niedziela, D.; Schmidt, S.; Steiner, K.:  
**Charakterisierung, Auslegung und Optimierung granularer Strömungsprozesse**  
In: Schüttgut (2016), Nr.2, S.76-80
- Rauhut, M.; Stephani, H.:  
**Konzeption und Aufbau eines Online-Oberflächeninspektionssystems**  
In: Fraunhofer-Allianz Vision: Leitfaden zur Inspektion und Charakterisierung von Oberflächen mit Bildverarbeitung 2016, S.13-18
- Rauhut, M.:  
**Prüfung von Turbinenteilen für Flugzeuge**  
In: Fraunhofer-Allianz Vision: Leitfaden zur Inspektion und Charakterisierung von Oberflächen mit Bildverarbeitung 2016, S.85-88
- Redenbach, C.; Ohser, J.; Moghiseh, A.:  
**Second-order characteristics of the edge system of random tessellations and the PPI value of foams**  
In: Methodology and computing in applied probability 18 (2016), Nr.1, S.59-79
- Rieder, H.; Dillhofer, A.; Spies, M.; Dugan, S.:  
**Ultrasonic imaging and sizing of stress corrosion cracks in welded austenitic components using the synthetic aperture focusing technique**  
In: Rivista italiana della saldatura 68 (2016), Nr.3, S.349-358
- Rief, S.; Aibibu, D.; Kocaman, T.; Cherif, C.:  
**Experimental and numerical study of high density filter textiles to determine permeability and retention properties under tensile stress**  
In: Proceedings of the Filtech Exhibitions Germany 2016
- Roller, M.; Betsch, P.; Gallrein, A.; Linn, J.:  
**An enhanced tire model for dynamic simulation based on geometrically exact shells**  
In: Archive of Mechanical Engineering 63 (2016), Nr.2, S.277-295
- Roller, M.; Linn, J.:  
**Discrete geometric modeling of slender flexible structures for interactive assembly simulation in automotive industry**  
In: Quintela, P.: ECMI 2016, 19th European Conference on Mathematics for Industry. Book of Abstracts S.356
- Roller, Michael:  
**Dynamische Reifensimulation mit geometrisch exakten Schalen: Von der Schale zum Reifen**  
Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2016, VII, 155 S. (Dissertation)
- Rosnes, Eirik; Helmling, Michael:  
**Constructing valid convex hull inequalities for single parity-check codes over prime fields**  
In: Proceedings of the IEEE International Symposium on Information Theory, ISIT 2016, S.1939-1943
- Rotaru, T.:  
**Best Practice Guide for Writing GASPI - MPI Interoperable Programs**  
Edinburgh, 2016, 19 S.
- Sayer, T.; Okur, Y.; Yilmaz, B.; Inkaya, B.:  
**Computation of the Delta of European Options Under Stochastic Volatility Models**  
In: Social Science Research Network: SSRN. eLibrary (2016)
- Sayer, T.; Yu, X.; Mitra, G.; Arbex-Valle, C.:  
**An impact measure for news: Its use in (daily) trading strategies**  
In: Mitra, G.: Handbook of sentiment analysis in finance Uxbridge: Albury Books, 2016, S.288-309
- Scherrer, A.; Jakobsson, S.; Belyarev, A.; Hoffmann, A.; Bortz, M.; reit, X.-R.; Küfer, K.-H.:  
**A hybrid optimization method for focused ultrasound plan computation**

- Kaiserslautern: Fraunhofer ITWM, 2016, 28 S. (Berichte des Fraunhofer ITWM, 249)
- Schneider, F.:  
**Efficient and robust co-simulation of geometrically exact Cosserat rod model and multi-body system**  
In: 19th European Conference on Mathematics for Industry. Book of Abstracts: S.444
- Schneider, Fabio:  
**A differential-algebraic coupling approach for force-displacement co-simulation of flexible multibody systems with kinematic coupling**  
Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2016, XI, 112 S. (Dissertation)
- Schneider, M.; Ospald, F.; Kabel, M.:  
**Computational homogenization of elasticity on a staggered grid**  
In: International journal for numerical methods in engineering 105 (2016), Nr.9, S.693-720
- Schneider, M.; Kabel, M.; Andrä, H.; Hauptmann, M.; Majschak, J.-P.; Penter, L.; Hardtmann, A.; Ihlenfeldt, S.; Westerteiger, R.; Glatt, E.; Wiegmann, A.:  
**Thermal fiber orientation tensors for digital paper physics**  
In: International Journal of Solids and Structures 100-101 (2016), S.234-244
- Schneider, Matti:  
**On the effective viscosity of a periodic suspension - analysis of primal and dual formulations for Newtonian and non-Newtonian solvents**  
In: Mathematical Methods in the Applied Sciences 39 (2016), Nr.12, S.3309-3327
- Schröder, S.; Michel, I.; Biedert, T.; Gräfe, M.; Seidel, T.; König, C.:  
**STRING 3: An advanced ground-water visualization tool**  
In: Geophysical Research Abstracts. Online journal 18 (2016), Paper EGU2016-4552
- Schulenberg, L.; Lienhard, J.; Niedziela, D.; Shklyar, I.; Steiner, K.; Lauterbach, B.:  
**Development of a crash simulation method for long-fiber-reinforced thermoplastic (LFT) components based on fiber orientation from mold-filling simulation**  
In: VDI-Wissensforum: Plastics in automotive engineering 2016, S.131-158
- Schwerdfeger, S.; Walter, Rico:  
**A fast and effective subset sum based improvement procedure for workload balancing on identical parallel machines**  
In: Computers & operations research 73 (2016), S.84-91
- Shahzad, F.; Kreutzer, M.; Zeiser, T.; Machado, R.; Pieper, A.; Hager, G.; Wellein, G.:  
**Building and utilizing fault tolerance support tools for the GASPI applications**  
In: International Journal of High Performance Computing Applications 2016
- Shi, Meixia; Printsypar, Galina; Duong, Phuoc H.H.; Calo, Victor M.; Iliev, Oleg; Nunes, Suzana P.:  
**3D morphology design for forward osmosis**  
In: Journal of membrane science 516 (2016), S.172-184
- Sliseris, J.; Andrä, H.; Kabel, M.; Wirjadi, O.; Dix, B.; Plinke, B.:  
**Estimation of fiber orientation and fiber bundles of MDF**  
In: Materials and structures 49 (2016), Nr.10, S.4003-4012
- Speckert, M.; Dreßler, K.; Lübke, M.; Halfmann, T.:  
**Automatisierte und um GEO-Daten angereicherte Auswertung von Messdaten zur Herleitung von Beanspruchungsverteilungen**  
In: 43. Tagung des DVM-Arbeitskreises Betriebsfestigkeit, 2016, S.165-180 (DVM-Bericht 143)
- Spies, Martin; Rieder, Hans; Rauhaut, Markus; Kreier, Peter:  
**Surface, near-surface and volume inspection of cast components using complementary NDT approaches**  
In: Proceedings of the 19th World Conference on Non-Destructive Testing, WCNDT 2016
- Staub, S.; Andrä, H.; Kabel, M.:  
**Fast FFT based solver for rate-dependent deformations of composites and nonwovens**  
In: International Journal of Solids and Structures (2016)
- Steidel, S.; Halfmann, T.; Bäcker, M.; Gallrein, A.:  
**Prediction of rolling resistance and tread wear of tires in realistic commercial vehicle application scenarios**  
SAE Technical Paper, 2016-01-8027)
- Stöbener, K.; Klein, P.; Horsch, M.; Küfer, K.; Hasse, H.:  
**Parametrization of two-center Lennard-Jones plus point-quadropole force field models by multicriteria optimization**  
In: Fluid phase equilibria 411 (2016), S.33-42
- Taralova, V.; Iliev, O.; Efendiev, Y.:  
**Derivation and numerical validation of a homogenized isothermal Li-ion battery model**  
In: Journal of engineering mathematics 101 (2016), Nr.1, S.1-27
- Tiwari, S.; Klar, A.; Hardt, S.:  
**Numerical simulation of wetting phenomena by a meshfree particle method**  
In: Journal of computational and applied mathematics 292 (2016), S.469-485
- Tröltzsch, J.; Ireka, I.; Niedziela, D.; Steiner, K.; Schäfer, K.; Helbig, F.; Kroll, L.:  
**Computational analysis of polyurethane foam expansion process in fiber reinforced sandwich structures**  
In: Proceedings of the 2. International Conference Euro Hybrid - Materials and Structures 2016, S.151-156
- Vabishchevich, P.N.; Zakharov, P.E.:  
**Alternating triangular schemes for convection-diffusion problems**  
In: Computational mathematics and mathematical physics 56 (2016), Nr.4, S.576-592
- Vecchio, I.; Redenbach, C.; Schladitz, K.; Kraynik, A.M.:  
**Improved models of solid foams based on soap froth**  
In: Computational materials science 120 (2016), S.60-69
- Weis, M.; Kleer, M.; Holst, C. von; Gizatullin, A.:  
**Interactive tractor driving simulation**  
In: Proceedings of the 4th Commercial Vehicle Technology Symposium (CVT 2016), S.43-50
- Werth, S.; Stöbener, K.; Horsch, M.; Hasse, H.:  
**Simultaneous description of bulk and interfacial properties of fluids by the Mie potential**  
In: Molecular physics (2016), 14 S.
- Wirjadi, O.; Schladitz, K.; Easwaran, P.; Ohser, J.:  
**Estimating fibre direction distributions of reinforced composites from tomographic images**  
In: Image, analysis & stereology 35 (2016), Nr.3, S.167-179
- Zhang, X.X.; Xiao, B.L.; Andrä, H.; Ma, Z.Y.:  
**Multiscale modeling of macroscopic and microscopic residual stresses in metal matrix composites using 3D realistic digital microstructure models.**  
In: Composite structures 137 (2016), S.18-32

## GRADUIERUNGS- ARBEITEN

Akinlabi, Emmanuel Olutayo  
**Simulation of Cerebrospinal Fluid (CSF) Flow with the Finite Pointset Method (FPM)**  
Masterarbeit, African Institute for Mathematical Sciences (AIMS), Senegal

Barthlen, Andreas Michael  
**Stability Preservation for parametric model order reduction by matrix interpolation**  
Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Becker, Yannick  
**Evaluation der Umsetzung agiler Softwareentwicklung in heterogenen Projektteams und unter besonderer Berücksichtigung der testgetriebenen Entwicklung**  
Bachelorarbeit, Hochschule Trier, FB Umweltplanung/Umwelttechnik

Bergner, Tim  
**Verteilte Algorithmen für gewichtete Matchings**  
Bachelorarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Brugger, Patrick  
**Testen funktionaler Zusammenhänge von Beanstandungsquoten in der Betrugsdetektion**  
Bachelorarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Cruz Lopez, Rogelio  
**Electronic Interface for on board Instruments in a Driving Simulator**  
Masterarbeit, Hochschule Kaiserslautern, FB Angewandte Ingenieurwissenschaften

D'Angelo, Phillipp  
**Statistische Lernmethoden zur Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeiten**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Dondelinger, Fabienne  
**Estimation of the local pore size distribution from granulometric data**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Dürig, Dominik  
**Greybox-Ansatz für chemische Anlagen – Integration von Prozessdaten und Simulation**

Masterarbeit, RWTH Aachen, Aachener Verfahrenstechnik (AVT)

Gnanasambandham, Chandramouli  
**Model Reduction of Nonlinear Systems using Proper Orthogonal Decomposition**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Maschinenbau und Verfahrenstechnik

Gottschalk, Simon  
**One-Shot Methods for ODE/DAE Optimal Control Problems**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Grimm, Stefanie  
**An Interest Rate Model with Regime-Switching Mean-Reversion Level**  
Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Gross, Andreas  
**Aufbau eines Messfahrzeugs (Demonstration zur laserbasierten Umwelterfassung)**  
Bachelorarbeit, Hochschule Kaiserslautern, FB Angewandte Ingenieurwissenschaften

Hambardzumyan, Hayk  
**Aspects of Surplus Distribution in Life Insurance**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Hauck, Michael  
**Structure optimization for cylindrical multi-scale shell**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Heimfarth, Tobias  
**Integration of shallow water modellings in computational fluid dynamics based on the Finite-Pointset-Method (FPM)**  
Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Maschinenbau

Hermann, Florian  
**Untersuchung der 3D-Faserarchitektur von trockenen und imprägnierten C-Faser-Textilien mittels Computertomografie**  
Bachelorarbeit, Universität Stuttgart, Institut für Flugzeugbau

Hinderks, Wieger  
**Factor Models & Electricity Markets – Modeling Mean Reversion and Spikes**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Hoffmann, Anna  
**Integrated simulation and optimization of distillation-based flowsheets**  
Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Hohmann, Raphael  
**Ein volumengemittelttes Modell für Partikeltransportprobleme in Fluiden**  
Masterarbeit, Universität Kassel, FB Mathematik

Iliev, Dimitar  
**Numerical Algorithms for Fluid Interaction with a Thin Porous Structure**  
Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Jung, Thomas  
**Numerik und Analyse mikroskopischer Verkehrsmodelle**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Kass, Benjamin  
**Modellierung von Hydraulikschläuchen unter Innendruck**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Maschinenbau und Verfahrenstechnik

Keller, Niclas  
**Uniforme Konfidenzintervalle für nicht-homogene Beanstandungsquoten in der Betrugsdetektion**  
Bachelorarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Leoff, Elisabeth  
**Stochastic Filtering in Regime-Switching Models: Econometric Properties, Discretization and Convergence**  
Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Leoff, Jens  
**Hierarchical scheduling and cutting stock with bounded open orders**  
Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Lichti, Tobias  
**Nichtlineares viskoelastisches Materialmodell für das Kompressionsverhalten von Vliesstoffen**  
Bachelorarbeit, DHBW Mannheim, Maschinenbau

Linn, Dominik  
**Reconstruction of three dimensional fiber structures from orthogonal projections**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Migunova, Anastasia  
**Outer-plane properties of thin heterogeneous periodic layers**  
Doktorarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Neusius, David  
**Advanced interpolation cut-cell method for numerically solving continuum granular flow equations**  
Doktorarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Peters, Christian Dietrich  
**Aerodynamic damping of an oscillating fan blade: Numerical Fluid Structure Interaction Analysis**  
Masterarbeit, Univ. Stellenbosch, South Africa, Department of Mechanical Engineering

Roller, Michael  
**Dynamische Reifensimulation mit geometrisch exakten Schalen**  
Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), FB Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften

Schäb, Lisa  
**Bewertung der EEX Wind-Futures**  
Bachelorarbeit, TH Mittelhessen, Friedberg, FB Mathematik, Naturwissenschaften und Datenverarbeitung

Schledjewski, Malte  
**MapView – eine Softwarekomponente zur Visualisierung statistischer und georeferenzierter Daten**  
Bachelorarbeit, Hochschule Kaiserslautern, FB Angewandte Informatik

## MESSE- UND KONFERENZ- TEILNAHMEN

Schmeißer, Andre  
**Contact Modeling Algorithms for Fiber Dynamics Simulations**  
Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Informatik

Schneider, Fabio  
**A differential-algebraic coupling approach for force-displacement co-simulation of flexible multibody systems with kinematic coupling**  
Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Schneider, Johanna  
**Einsatzoptimierung für mobile Röntgeneinheiten im Mammografiescreeningprogramm**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Schwartz, Patrick  
**Konzeption und prototypische Umsetzung eines Ausdrucksrechners und Faktoreditors für VMC**  
Masterarbeit, Hochschule Kaiserslautern, FB Informatik

Seidel, Tobias  
**Construction of Pareto-Frontiers for Risk-Averse Selective Newsvendor Problems**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Syeda, Sonia  
**Using Business Intelligence Techniques to Analyze Truck Chassis Design Data**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Volmerg, Kim  
**Scheduling mit Batching – Produktionsplanung in einem Leimholzwerk**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Wackerle, Stephan  
**Mean-field limit of particle disease spreading models**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Wagner, Christian  
**GPS-gestützte Positionsschätzung zur autonomen Navigation eines Quadropters**

Bachelorarbeit, Hochschule Kaiserslautern, FB Angewandte Ingenieurwissenschaften

Wieland, Manuel  
**Modellierung und Simulation der charakteristischen Instabilität beim Elektrospleinprozess**  
Masterarbeit, FAU Erlangen, FB Mathematik

Zintsova, Anastasia  
**POD-based model reduction for unsteady diffusion in spherical particle subject to linear and nonlinear Robin boundary conditions**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

**67<sup>th</sup> Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry**  
Den Haag (NL), August, Vortrag

**60. Bildverarbeitungsforum: Multisensorielle 3D-Datenfusion**  
Wiesbaden, März

**61. Bildverarbeitungsforum: Erfolge, Defizite und Zukunftsthemen der Bildverarbeitung**  
Heidelberg, April

**62. Bildverarbeitungsforum: Hochleistungsbildaufnahmesysteme quer durch das elektromagnetische Spektrum**  
Bensheim, Juli

**63. Bildverarbeitungsforum: Bildverarbeitung und Robotik**  
Renningen, Oktober

**British Applied Mathematics Colloquium (BAMC)**  
Oxford (GB), April, Vortrag

**CMWR 2016**  
Toronto (CDN), Juni, Vortrag

**Felix-Klein-Konferenz: Mathematical Methods in Big Data**  
Kaiserslautern, September

**Control 2016**  
Stuttgart, April, Aussteller

**CVC-Jahrestagung**  
Mannheim, November, Aussteller, Vortrag

**CVC-Mitgliederversammlung**  
Mainz, März

**DVM Arbeitskreis Betriebsfestigkeit: Potenziale im Zusammenspiel von Versuch und Berechnung in der Betriebsfestigkeit**  
Steyr (A), Oktober, Aussteller, Vortrag

**EAGE 2016**  
Wien (A), Mai, Aussteller, Vortrag

**ECCOMAS 2016**  
Kreta (GR), Juni, Vortrag, Poster

**ECMI 2016**  
Santiago de Compostela (E), Juli, Vortrag

**EMI 2016**  
Metz (F), Oktober, Vortrag

**EMMC**  
Brüssel (B), September, Vortrag

**Energy Finance Italia**  
Padua (I), Dezember, Vortrag, Poster

**EngOPT 2016**  
Igassu Falls (BR), Juni, Vortrag

**ERWAS Workshop**  
Frankfurt, März

**7<sup>th</sup> European Congress of Mathematics**  
Berlin, Juli, Aussteller

**European Symposium on Computer-Aided Process Engineering**  
Portoroz (SLO), Juni, Vortrag

**E-World energy & water**  
Essen, Februar, Aussteller, Vortrag

**FILTECH 2016**  
Köln, Oktober, Aussteller, Vortrag, Poster

**Fraunhofer-Symposium Netzwerk**  
München, Februar, Vortrag

**9. Fraunhofer Vision Technologietag**  
Fürth, Oktober, Aussteller, Vortrag

**French-German Workshop: Mathematische Bildverarbeitung/Traitement d'image mathématique**  
Kaiserslautern, November, Vortrag

**GAMM/DMV-Jahrestagung 2016**  
Braunschweig, März, Vortrag

**GeoDict User-Meeting 2016**  
Kaiserslautern, Oktober, Vortrag

**Hannover-Messe**  
Hannover, April, Aussteller

**31. Hofer Vliesstofftage**  
Hof, November, Aussteller, Vortrag

**7th IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics**  
Bremen, Februar, Vortrag

**International Workshop: Mathematical Methods in Process Engineering**  
Kaiserslautern, September, Vortrag

**4. Internationales Commercial Vehicle Technology Symposium**  
Kaiserslautern, März, Aussteller, Vortrag

**Interpore**  
Cincinnati (USA), Mai, Aussteller, Vortrag

**Interpore Benelux**  
Venlo (NL), Oktober, Aussteller

**InterPore: 1<sup>st</sup> German National Chapter Meeting**  
Leipzig, November, Vortrag

**IPS User Conference 2016**  
Göteborg (S), Juni, Aussteller, Vortrag

**ISC High Performance 2016**  
Frankfurt, Juni, Aussteller

**K 2016**  
Düsseldorf, Oktober

**Man-made Fibers Congress 2016**  
Dornbirn (A), September, Vortrag

**ModVal 13**  
Lausanne (CH), März, Vortrag

**Multibody Simulation User Group Meeting**  
Darmstadt, November, Aussteller

**Multiscale phenomena in electrochemical and porous system**  
Coventry (GB), Juni, Vortrag

**Nacht, die Wissen schafft**  
Kaiserslautern, April, Aussteller

**NAFEMS**  
Hamburg, November, Vortrag

**NAFEMS DACH**  
Bamberg, April, Vortrag

**PARTEC International congress on Particle Technology**  
Nürnberg, April, Vortrag, Poster

**PASC 16**  
Lausanne (F), Mai, Vortrag

**POWTECH 2016**  
Nürnberg, April, Aussteller

**REC 2016 International Workshop on Reliable Engineering Computing**  
Bochum, Juni

**SC 16 – Supercomputing 2016**  
Salt Lake City (USA), November, Aussteller, Vortrag

**SCA – Society of Core Analysts**  
Snowmass (USA), August, Aussteller

**Seam Workshop 2016**  
Houston (USA), September, Vortrag

**SEG International Exposition 2016**  
Dallas (USA), Oktober, Aussteller

**Seminar: Inspektion und Charakterisierung von Oberflächen mit Bildverarbeitung**  
Karlsruhe, Dezember, Aussteller, Vortrag

**Seminar on Modeling, Simulation and Optimization in Automotive and Vehicle Industry**  
Göteborg (S), Dezember, Vortrag

**SIAM Workshop**  
Boston (USA), Juli

**SIMVEC – Simulation und Erprobung in der Fahrzeugentwicklung**  
Baden-Baden, November, Aussteller, Vortrag

**Symposium Computer-Aided Process Optimization**  
Hürth, Februar

**13. Symposium: Textile Filter**  
Chemnitz, März, Aussteller, Vortrag

**Tag der Mathematik**  
Kaiserslautern, Juli, Aussteller

**UMSICHT: Zur Sache! Strom-Wärme-Kopplung neu denken**  
Oberhausen, Dezember, Vortrag

**VI-grade Users Conference 2016**  
Wiesbaden, April, Aussteller, Vortrag

**Vision 2016**  
Stuttgart, November, Aussteller

**7<sup>th</sup> World Conference in 3D Fabrics and Their Applications**  
Roubaix, (F), September

**WORM 2016**  
Bad Herrenalb, August, Vortrag

Bortz, Michael; Küfer, Karl-Heinz; Scherrer, Alexander; Süß, Philipp; Teichert, Katrin  
**Preis des Stifterverbandes für die deutsche Wissenschaft 2016**  
Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e. V.  
Mai

Gilberg, Dominik  
**Young Researcher Symposium 1. Preis Kategorie »Best Talk«**  
TU-Nachwuchsring, Kaiserslautern  
April

Hofmann, Tobias  
**Young Researcher Symposium 3. Preis Kategorie »Best Talk«**  
TU-Nachwuchsring, Kaiserslautern  
April

Kleinert, Jan  
**ICT Dissertation Award**  
Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), Klagenfurt (A)  
Oktober

Schulz-Reese, Marion  
**Fraunhofer Taler**  
Fraunhofer-Gesellschaft, München  
Juni

Zausch, Jochen  
**ELEKTRONIK »Artikel des Jahres«**  
Redaktion ELEKTRONIK  
März

**»Abschiede sind Tore in neue Welten«**  
Verabschiedung der Verwaltungsleiterin Dr. Marion Schulz-Reese  
Kaiserslautern, Juni

**»Türen auf für die Maus!« – Lach- und Sachgeschichten aus der »Bildverarbeitung«**  
Kaiserslautern, Oktober

**BeeGFS Usermeeting**  
Kaiserslautern, Mai

**Deutsch-französischer Workshop: Mathematische Bildverarbeitung/Traitement d'image mathematique**  
Kaiserslautern, November

**Eröffnungsveranstaltung des Leistungszentrums »Simulations- und Software-basierte Innovation«**  
Kaiserslautern, März

**Felix-Klein-Konferenz: Mathematical Methods in Big Data**  
Kaiserslautern, September

**Felix-Klein-Jahrestagung mit Modellierungswoche**  
Kaiserslautern, September

**Festveranstaltung zum 80. Geburtstag von Prof. Helmut Neunzert**  
Kaiserslautern, September

**International Workshop: Mathematical Methods in Process Engineering**  
Kaiserslautern, September

**4. Internationales Commercial Vehicle Technology Symposium**  
Kaiserslautern, März

**Nacht, die Wissen schafft**  
Kaiserslautern, April

**Seminar: Data Scientist for Smart Energy Systems**  
Kaiserslautern, November

**Seminar: Introduction to Deep Learning**  
Birlinghoven, November

**Seminar: KL-Regelungstechnik**  
gemeinsam mit Professoren der TU Kaiserslautern, Kaiserslautern, monatlich seit November 2016

## GÄSTE

- Seminar: Lastdaten – Analyse, Bemessung, Simulation**  
Kaiserslautern, Mai
- Seminar: Statistische Methoden in der Betriebsfestigkeit**  
Kaiserslautern, Juni
- Seminar: Wissenschaftliche Anwendungen in Python**  
Kaiserslautern, September
- Symposium: Kick-off-Meeting FuE-Lab 2 des Leistungszentrums »Simulations- und Software-basierte Innovation«**  
Kaiserslautern, Juli
- Technology-Day on geo-referenced Analysis and Usage Simulation for Vehicle Development**  
Kaiserslautern, März
- Tutorial: Efficient Parallel Programming With GASPI**  
Stuttgart, Juni und Kaiserslautern, Oktober
- Vortragsreihe des Arbeitskreises: Bildanalyse und Mustererkennung Kaiserslautern« (BAMEK)**  
Kaiserslautern, Januar – Dezember
- Workshop: Designing Materials for Mechanical Properties with GeoDict**  
Kaiserslautern, Februar
- Workshop: Mathematical Methods in Process Engineering**  
Kaiserslautern, September
- Workshop: Neuerungen im Produktinformationsblatt**  
Kaiserslautern, November
- Young Researchers Symposium** gemeinsam mit Innovationszentrum Applied System Modeling for Computational Engineering (ASM4CE) und TU-Nachwuchsring, Kaiserslautern, April
- Vortragsreihe »Blick über den Tellerrand«**  
Kaiserslautern
- Schumacher, Hajo  
Journalist, Buchautor und Moderator, Berlin  
**Restlaufzeit – wie ein gutes, lustiges und bezahlbares Leben im Alter gelingen kann**  
Januar
- Liessmann, Konrad Paul  
Universität Wien, Institut für Philosophie,  
**Freiheit von Forschung und Lehre - Nostalgie oder Utopie?**  
Februar
- Grützner, Andrea  
Fotografin, Berlin  
**Um die Ecke denken – Andere Räume in der Fotografie**  
März
- Keßler, Walter  
ehemaliger Leiter des Staatlichen Hochbauamtes Kaiserslautern  
**Fraunhofer – Pauli – Denis**  
April
- Tetens, Holm  
Freie Universität Berlin, Theoretische Philosophie  
**Ist der Gottesglaube wissenschaftlich betrachtet unnützig?**  
Mai
- Ziegler, Günter M.  
Freie Universität Berlin, Institut für Mathematik  
**Das Mädchen mit den Taschenrechnern – Bilder aus der Mathematik**  
Juni
- Goebel, Johannes  
Curtis R. Priem Experimental Media and Performing Arts Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, USA  
**Über Unterschiede: Kunst, Wissenschaft und Engineering**  
September
- Rentzsch, Oliver  
University of Applied Sciences, Lübeck  
**Kann Medizin wirklich ein »Geschäft« sein?**  
November
- Stichweh, Rudolf  
Universität Bonn, Forum Internationale Wissenschaft  
**Das Wissenschaftssystem der Moderne: Entstehung, Strukturen, gesellschaftliche Einbettung**  
Dezember
- Argatov, Ivan  
(University of Oulu (FIN))  
**Contact problems with thin layers**  
Oktober-November
- Arnold, Martin  
(Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg)  
**Numerik für Mehrkörpersysteme**  
März, Juli, November
- Betsch, Peter  
(Universität Siegen)  
**Modellierung von Reifen mit geometrisch exakten Schalenmodellen**  
Februar
- Biegler, Lorenz T.  
(Carnegie Mellon University, Pittsburgh (USA))  
**Advanced nonlinear programming strategies for process optimization**  
September
- Cesarek, Peter  
(University of Ljubljana (SLO))  
**Structural Dynamics, Finite Element Analysis, Civil Engineering**  
Mai
- Chabardes, Théodore  
(Centre de Morphologie Mathématique, MINES Paristech (F))  
**Automatic segmentation of granular materials**  
Oktober-Dezember
- Delescluse, Matthias  
(École Normale Supérieure, Paris (F))  
**Géologie / Waveform tomography imaging of shallow earth structures using long-streamer seismic data**  
November
- Diebels, Stefan  
(Universität des Saarlandes)  
**Technische Mechanik**  
September
- Engell, Sebastian  
(Technische Universität, Dortmund)  
**Process operation and real-time optimization**  
September
- Gauger, Nicolas R. (Technische Universität Kaiserslautern)  
**Semi-Automatic Transition from Simulation to Optimization**  
Dezember
- Gibali, Aviv  
(ORT Braude College, Karmiel (IL))  
**The Douglas-Rachford algorithm for the unary resource constraint problem**  
Januar
- Griso, Georges (Laboratoire J.-L. Lions, Université Pierre et Marie Curie, BC187, Paris (F))  
**A simplified model for elastic thin shells**  
Juni
- Griso, Georges  
(Laboratoire Lions, Paris (F))  
**Homogenization for thin plates composed of thin beams**  
Juni
- Jenkins, David  
(CSIRO, North Ryde (AUS))  
**Micro-CT Analysis of Metallurgical Coke for Understanding Coke Quality**  
September
- Klawonn, Axel  
(Universität zu Köln)  
**Towards Computing on the Extreme Scale in Nonlinear Structural Mechanics**  
Juni
- Knabner, Peter  
(Universität Erlangen)  
**Reactive transport and multi-phase multicomponent flow in potentially evolving porous media**  
Januar
- Margenov, Svetozar  
(Universität Sofia (BG))  
**Supercomputing: Scalable Numerical Methods and Algorithms, and Biomedical and Engineering Applications“**  
Oktober
- Musolino, Paolo  
(University of Padova (I))  
**Analysis for multiscale contact problems**  
Mai-Juli

## MITARBEIT IN GREMIEN, HERAUSGEBER- TÄTIGKEIT

Nordbotten, Jan Martin  
(University of Bergen (N))  
**Finite Volume discretizations  
for elasticity and Biot**  
Juli

Panasenko, Grigory  
(Uni. St. Etienne (F))  
**Fluid-solid interaction for spacer  
fabrics**  
Juli

Phutane, Uday  
(Universität Erlangen-Nürnberg)  
**Multi-Body Dynamics, Non-Linear  
Finite Elements**  
Januar, Juni

Preissler, Gabi  
(Hochschule für Technik, Stuttgart)  
**Hybride Energiesysteme**  
Januar

Printsypar, Galina  
(WIAS Institut, Berlin)  
**Micro and Macro Scale Simulation  
of Osmotic Processes**  
Mai

Rawal, Amit  
(IIT Delhi (IND))  
**Technical and smart textiles**  
Januar-Juli

Schildgen, Johannes (Technische  
Universität, Kaiserslautern)  
**NoSQL-Datenbanken**  
Oktober

Siikanen, Milla (Tampere University  
of Technology (FIN))  
**Liquidity in FX limit order mar-  
kets**  
Juni

Silberstein, Mark  
(Technion Computer Engineering  
Center, Haifa (IL))  
**Providing I/O abstractions to  
GPU**  
Februar

Vabishchevich, Petr  
(Russian Academy of Science,  
Moskau (RUS))  
**Numerical methods for inverse  
problems for parabolic equa-  
tions**  
Oktober

**Dreßler, Klaus**  
■ Proceedings of the 4rd Commer-  
cial Vehicle Technology Sympo-  
sium (CVT 2016), (Mitheraus-  
geber)

**Gerwalin, Elmar**  
■ Wissenschaftlich-Technischer Rat  
(WTR) der Fraunhofer-Gesell-  
schaft (Mitglied)  
■ Fachgremium IT-Geschäftspro-  
zessunterstützung der Fraun-  
hofer-Gesellschaft

■ Fachgruppe IT-Controlling der  
Gesellschaft für Informatik (stv.  
Sprecher)

**Gramsch, Simone**  
■ KOMMS – Kompetenzzentrum  
für Mathematische Modellierung  
in MINT-Projekten in der Schule  
(Mitglied im wissenschaftlichen  
Beirat)

■ Wissenschaftlich-Technischer Rat  
(WTR) der Fraunhofer-Gesell-  
schaft (Mitglied)

**Iliev, Oleg**  
■ DFG (Reviewer)  
■ University of Wisconsin-Milwau-  
kee (Reviewer Full Professor Posi-  
tion)

■ Journal of Porous Media (Editor)

■ Mathematical Methods and  
Analysis (Editor)

■ Transport in Porous Media  
(Reviewer)

■ Computational and Applied  
Mathematics (Reviewer)

■ International Society of Porous  
Media, InterPore (Chair of Event  
Committee)

**Kabel, Matthias**  
■ International Journal for Numeri-  
cal Methods in Engineering  
(Reviewer)

■ Computer Methods in Applied  
Mechanics and Engineering  
(Reviewer)

■ Computational Materials Science  
(Reviewer)

■ Journal of Material Science (Re-  
viewer)

■ Mechanics of Materials (Reviewer)

■ International Journal of Computer  
and Software Engineering (Editor)

**Keuper, Janis**  
■ Program Committee MLHPC  
Workshop

■ BMBF Roundtable "Machine  
Learning"

**Kirsch, Ralf**  
■ Scientific Committee of the  
American Filtration Society  
(Mitglied)

**Korn, Ralf**  
■ European Actuarial Journal (Her-  
ausgeber)

■ »Quantitative Finance«  
Buchserie Imperial College Press,  
World Scientific (Herausgeber)

**Krüger, Jens**  
■ Fraunhofer Data Scientist Zertifi-  
zierung (Fachausschuss)

**Küfer, Karl-Heinz**  
■ BMBF-Programm »Mathematik  
für Innovationen in Industrie und  
Dienstleistungen« (Gutachter)

**Kuhnert, Jörg**  
■ Scientific Visualization Contest  
2016 (Jurymitglied)

**Maasland, Mark**  
■ Fraunhofer-Allianz Vision  
(Mitglied)

■ International Journal of Tele-  
medicine and Clinical Practices  
(IJ1MCP, Gutachter)

**Michel, Isabel**  
■ Scientific Visualization Contest  
2016 (Jurymitglied)

**Pfreundt, Franz-Josef**  
■ ETP4HPC (Mitglied)

**Prätzel-Wolters, Dieter**  
■ Applied Mathematics Committee  
(AMC) of the European Mathe-  
matical Society (Mitglied)

■ BMBF Strategiekomitee für  
mathematische Modellierung,  
Simulation und Optimierung  
(KoMSO) (Mitglied)

■ European Research Centres on  
Mathematics ERCOM (Mitglied)

■ Felix-Klein-Zentrum für Mathe-  
matik (Vorsitzender)

■ Forschungszentrum »Center of  
Mathematical and Computational  
Modeling CM<sup>2</sup>« der TU Kaisers-  
lautern (Mitglied)

■ Fraunhofer-Chalmers Research  
Centre for Industrial Mathematics  
FCC (Mitglied des Advisory  
Boards)

■ Fraunhofer-Gesellschaft: Mit-  
glied des Präsidiums und des  
Senats (bis 2.11.2016)

■ Fraunhofer-Leistungszentrum  
»Simulations- und Software-  
basierte Innovation« (Sprecher  
des Leitungsrats)

■ GAMM-Fachausschuss Dynamik  
und Regelungstheorie (Mitglied)

■ Institut für Verbundwerkstoffe  
GmbH (Mitglied des Beirats)

■ Kompetenzzentrum für mathe-  
matische Modellierung in MINT-  
Projekten in der Schule, KOMMS  
(Mitglied im Leitungsgremium)

■ Rat für Technologie Rheinland-  
Pfalz (Mitglied)

■ Stiftungsrat »Fraunhofer-Zukunfts-  
stiftung« (Mitglied)

- Wissenschaftlich-Technischer Rat und Hauptkommission der Fraunhofer-Gesellschaft (Vorsitzender bis 02.11.2016)

#### **Prill, Torben**

- Steering Committee of German National Chapter of Interpore Society (Mitglied)

#### **Rösch, Ronald**

- Fraunhofer-Allianz Vision (Koordinationsrat)
- Fraunhofer-Allianz Leichtbau (Mitglied)
- Heidelberger Bildverarbeitungsforum (Beirat)
- Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e. V. (DGM, Mitglied)
- DGM-Arbeitskreis Tomographie (Mitglied)
- DGM-Fachausschuss Strahllinien (Mitglied)
- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V. (DGZfP, Mitglied)

#### **Schladitz, Katja**

- Leichtbau-Cluster (Mitglied)
- Spatial Statistics (Gutachter)
- Journal of Microscopy (Gutachter)
- Image Analysis & Stereology (Editorial Board, Gutachter)
- Journal of the Science of Food and Agriculture (Gutachter)
- Methodology and Computing in Applied Probability (Gutachter)
- Karbala International Journal of Modern Science (Gutachter)

#### **Schröder, Simon**

- Scientific Visualization Contest 2016 (Jurymitglied)

#### **Stephani, Henrike**

- International Conference on Pattern Recognition (ICPR, Reviewer)
- Sensors (ISSN 1424-8220; CODEN: SENS99, Reviewer)

#### **Zausch, Jochen**

- Journal of Power Sources (Reviewer)
- Fraunhofer-Allianz Batterien (Kompetenzfeldleiter Simulation)



## IMPRESSUM

© Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM 2017

Adresse Fraunhofer-Platz 1  
67663 Kaiserslautern

Telefon +49(0)631/3 1600-0

Fax +49(0)631/3 1600-1099

E-Mail [info@itwm.fraunhofer.de](mailto:info@itwm.fraunhofer.de)  
Unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erreichen Sie unter:  
<familienname>@itwm.fraunhofer.de

Internet [www.itwm.fraunhofer.de](http://www.itwm.fraunhofer.de)

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des Herausgebers ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus in irgendeiner Form durch Fotokopie, Mikrofilm oder andere Verfahren zu reproduzieren oder in eine für Maschinen, insbesondere Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache zu übertragen. Dasselbe gilt für das Recht der öffentlichen Wiedergabe. Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt.

Dieser Jahresbericht erscheint auch in englischer Sprache.

Redaktion Ilka Blauth  
Steffen Grützner

Gestaltung Gesa Ermel

Fotografie Gesa Ermel, Fraunhofer ITWM

Druck Kerker Druck GmbH, Kaiserslautern

## **Kontakt**

Fraunhofer-Institut für Techno- und  
Wirtschaftsmathematik ITWM

Fraunhofer-Platz 1  
67663 Kaiserslautern

Telefon +49(0)631/3 1600-0  
Telefax +49(0)631/3 1600-1099  
E-Mail [info@itwm.fraunhofer.de](mailto:info@itwm.fraunhofer.de)  
[www.itwm.fraunhofer.de](http://www.itwm.fraunhofer.de)