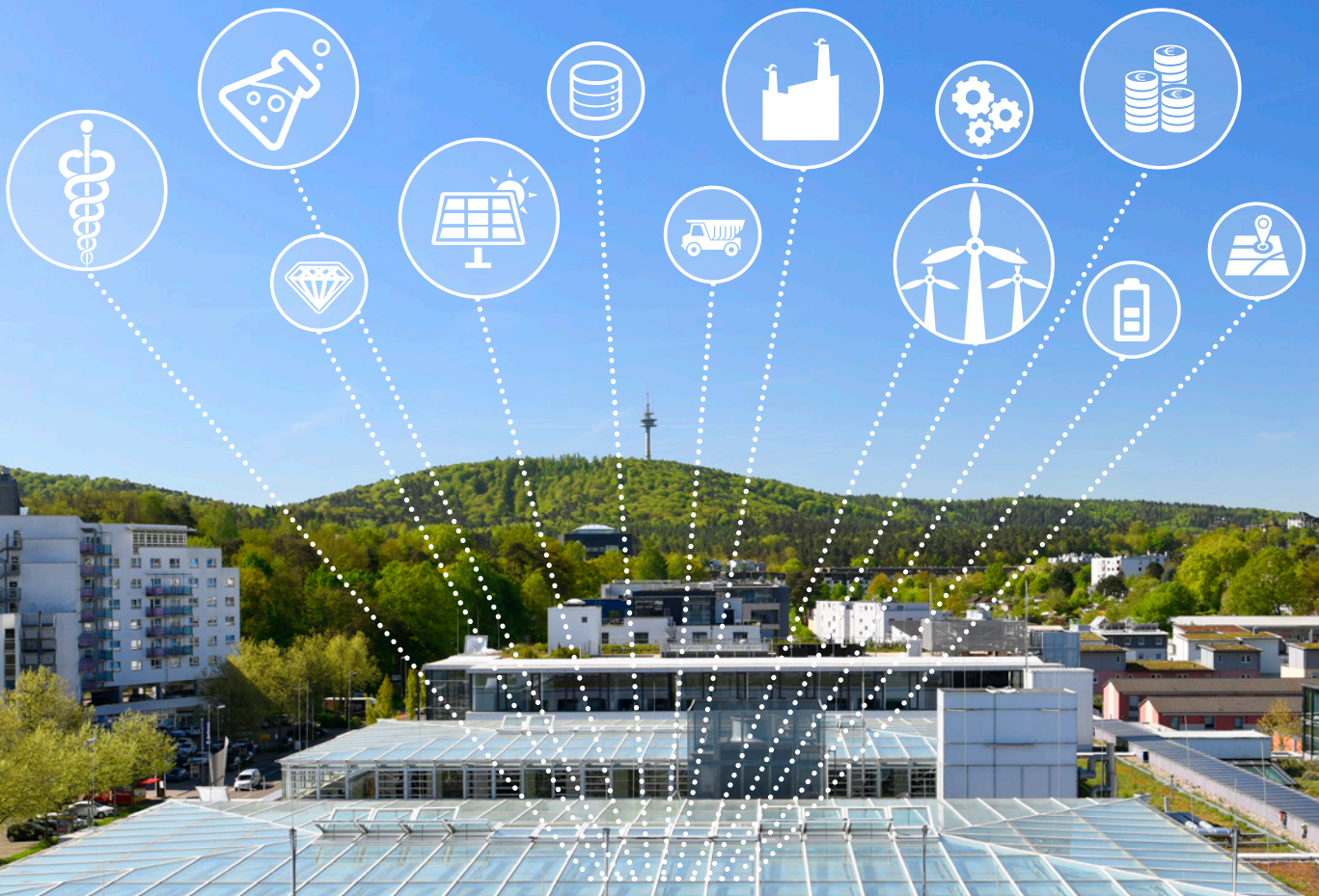




# Fraunhofer

## ITWM

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR TECHNO- UND WIRTSCHAFTSMATHEMATIK ITWM



# JAHRESBERICHT 2017/18

Über den Dächern des Instituts: Wir überblicken in unserem Institut nicht nur räumlich ein breites Feld, sondern auch in punkto Branchen und Anwendungsbereiche ist unser Tätigkeitspektrum breit gefächert.

**JAHRESBERICHT**  
**2017/18**



## INHALTSVERZEICHNIS

- 4 Vorwort
- 6 Institutsprofil
- 7 Branchen – für wen arbeiten wir?
- 8 Rückblick

### UNSER NETZWERK

- 14 Kunden und Kooperationspartner
- 16 Spin-offs
- 17 Kuratorium/Vernetzung und Kooperationen
- 18 Leistungszentrum »Simulations- und Software-basierte Innovation«
- 20 Fraunhofer-Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics FCC
- 21 Die Fraunhofer-Gesellschaft auf einen Blick

### DIE ABTEILUNGEN DES ITWM

- 22 Transportvorgänge
- 30 Strömungs- und Materialsimulation
- 40 Bildverarbeitung
- 48 Systemanalyse, Prognose und Regelung

- 54 Optimierung
- 64 Finanzmathematik
- 72 Mathematische Methoden in Dynamik und Festigkeit
- 82 Competence Center High Performance Computing
- 92 Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung

### DATEN UND FAKTEN

- 100 Publikationen
- 105 Graduierungsarbeiten
- 106 Vorträge
- 112 Lehrtätigkeiten
- 113 Messe- und Konferenzteilnahmen
- 114 Ehrungen und Preise
- 115 Eigene Veranstaltungen
- 115 Gäste
- 116 Mitarbeit in Gremien, Herausgebertätigkeit
- 117 Patente
- 121 Impressum



Das ITWM hat sich im Jahr 2017 wirtschaftlich und fachlich sehr gut weiterentwickelt. Die Wirtschaftserträge sind noch einmal gestiegen, und mit einem Anteil von 53 % am Betriebshaushalt wurde das beste Ergebnis in der Geschichte unseres Institutes erzielt. Die Basis hierfür ist die Innovationskraft der Mathematik im Kontext von Modellierung, Simulation und Optimierung für die Branchen der Old Economy. Darüber hinaus steht die Mathematik aber auch im Zentrum vieler Facetten der Digitalisierung, die mit den Hype-Themen Big Data, Algorithmen, Künstliche Intelligenz, Digitale Zwillinge und Maschinellem Lernen verbunden sind. Die Nachfrage nach Expertise und Kompetenzen in diesen Bereichen wird eher noch zunehmen. Entsprechend sind unsere Ertragsprognosen für 2018 sehr optimistisch und unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter hoch motiviert für neue Herausforderungen.

Im Kontext von Digitalisierung und Big Data beobachten wir aktuell eine Renaissance und Weiterentwicklung der schon in den Neunziger Jahren entwickelten Konzepte zu Neuronalen Netzen und Maschinellem Lernen. Große Erfolge in den Anwendungen Sprach-, Bild- und Schrifterkennung weisen hierbei die neuen Deep-Learning-Algorithmen auf. Am ITWM werden in einem 2017 gestarteten größeren Forschungsprojekt die im Institut entwickelten Softwaretools GPI, GPI-Space und BeeGFS mit Deep-Learning-Algorithmen zu einem HPC-zentrierten, skalierbaren Deep Learning Framework ausgebaut.

Ein besonderes Highlight für den Standort Kaiserslautern war im letzten Jahr die erfolgreiche Bewerbung in der Bund-Länder-Initiative »Innovative Hochschule«. Das gemeinsam von der Hochschule und der TU Kaiserslautern sowie dem ITWM eingereichte Verbundprojekt »Offene Digitalisierungsallianz Pfalz« wird von 2018 bis 2022 aus Mitteln dieser Initiative gefördert. Der Verbundantrag adressiert die Innovationsbereiche Bildung – Gesundheit – Produkte – Fahrzeuge. Das ITWM und das Leistungszentrum »Simulations- und Software-basierte Innovation« tragen, aufbauend auf einer in den vergangenen Jahren von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderten Kooperation mit der Hochschule Kaiserslautern, maßgeblich zum Forschungsbereich der

Digitalen Nutzfahrzeugtechnologie bei. Dieser Bereich wurde durch neue Technologien zur Simulation der Fahrzeug-Umwelt-Mensch-Interaktion weiter ausgebaut. Diese Technologien sind nicht nur für Betriebsfestigkeit, Energieeffizienz und Emission wichtig, sondern entscheidend für die Entwicklung weitgehender Fahrzeugassistenten (ADAS) bis hin zum autonomen Fahren.

Ein sehr schöner Erfolg war die Auszeichnung unserer Ausgründung fleXstructures GmbH auf der Hannover Messe mit dem renommierten ROBOTICS AWARD 2017 für angewandte Robotiklösungen, den sie für ihre Softwarelösung IPS ROBOT OPTIMIZATION erhalten hat. Dieses Softwarewerkzeug ermöglicht automatisierte Aufgaben- und Ablaufplanungen von Robotern, woraus eine enorme Zeitersparnis beim Programmieren von Roboterstationen resultiert. Zu den herausragenden Ereignissen des Jahres zählt auch die Erwähnung des ITWM auf der zentralen Jahrespressekonferenz der BASF, bei der unsere mehrkriteriellen Optimierungsmethoden zum Design of Experiments als disruptive neue Technologien für zeit- und ergebnisoptimierte Versuchsplanungen gewürdigt wurden.

In der Digitalisierungsinitiative für die Wirtschaft arbeitet das ITWM unter anderem an neuen Methoden zur Hybridisierung von modell- und datengetriebener Simulation und Optimierung. Neben dem herausragenden Erfolg dieser neuartigen Methoden im Umfeld der chemischen Industrie sei hier beispielhaft das BMBF-Projekt ConWearDi (Construction Wearables Digitization) erwähnt, in dem innovative Planungs- und Steuerungsdienstleistungen für das Handwerk auf der Baustelle entwickelt werden. In der Optimierung arbeiten wir hier an einem neuartigen »Baustellen-Scheduler« zur Planung von Gewerken.

Bereits 2016 wurde am ITWM zum ersten Mal eine Doppelspitze mit alternierender geschäftsführender Abteilungsleitung etabliert. Diese hat sich auch mit Blick auf die reibungslose Handhabung potenzieller Ausfallrisiken bewährt. So konnte 2017 der vormals alleinige Abteilungsleiter ohne größere organisatorische Probleme mehrere Monate in Elternzeit gehen. Ein schönes Beispiel für die Zusammenarbeit mit einem anderen Fraunhofer-

Institut ist die weitere hochdynamische Entwicklung des Partikelcodes FPM (Finite Pointset Method). Unter Einbindung des am Fraunhofer SCAI entwickelten SAMG-Lösers für lineare Gleichungssysteme wird 2018 die neue Software MESHFREE von beiden Instituten gemeinsam an den Start gebracht.

Alle Abteilungen haben 2017 ihre Industriekooperationen ausgebaut. Bereits laufende Kooperationen mit drei mittelständischen Firmen im Bereich der Strömungs- und Materialsimulation konnten durch langfristige Softwareentwicklungsprojekte im Umfang von über einer Million Euro verstetigt werden. Themen sind z. B. die Erweiterung der Software SuFIS für die dynamische Filtrationssimulation oder die Entwicklung eines digitalen Kompressionsstrumpf-Designs, das direkt die optimale Maschinensteuerung für personalisierte Kompressionsstrümpfe ermittelt.

Unser neues Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung hat sich im letzten Jahr sehr gut entwickelt. Es gibt inzwischen erfolgreiche Kooperationen mit anderen ITWM-Abteilungen, und die Technologien des Zentrums werden in einer Vielzahl von Industrieprojekten eingesetzt. Die Beteiligung am Fraunhofer-Leitprojekt QUILT ermöglicht dem Zentrum die Entwicklung eines Terahertz-Imaging-Systems, das auf der Basis verschränkter THz/VIS-Photonen arbeitet und damit den Zugang zur Quantentechnologie öffnet.

In der Finanzmathematik wurde im Arbeitsschwerpunkt Data Sciene für das Controlling eine Softwareplattform zur Auffälligkeitsdetektion auf Abrechnungsdaten entwickelt, die sich auch auf verschiedene Wirtschaftsbereiche übertragen lässt. Die Kompetenzen des ITWM in der Finanzmathematik werden in zunehmendem Maße von Autobanken angefragt. Im Kontext Kfz-Finanzierung konnte mit der BMW Bank ein neuer und vielversprechender Kunde gewonnen werden.

In der Bildverarbeitung bekommt das Thema »Maschinelles Lernen« einen immer größeren Stellenwert, besonders weil klassische Bildverarbeitungslösungen für die Industrie durch Machine-Learning-Verfahren ersetzt werden. Auch im Jahr 2017

wurden wieder mehrere Inspektionssysteme in Produktionsanlagen installiert und dabei neue Branchen wie z. B. die Möbelindustrie erschlossen. Ein besonderes Ereignis war die Organisation und Planung der Konferenz »12<sup>th</sup> European Congress for Stereology and Image Analysis 2017« gemeinsam mit der TU Kaiserslautern.

Im Rahmen der Energiewende kommt es durch die Einspeisung erneuerbarer Energien ins elektrische Netz vermehrt zu bisher unbekanntem Wechselwirkungen zwischen elektrischem Netz und konventionellen Kraftwerksturbosätzen. Mit dem Softwaretool TorGrid wurde ein Condition-Monitoring-System entwickelt, mit dem diese Wechselwirkungen erstmals direkt erfasst und durch den Benutzer von TorGrid analysiert werden können.

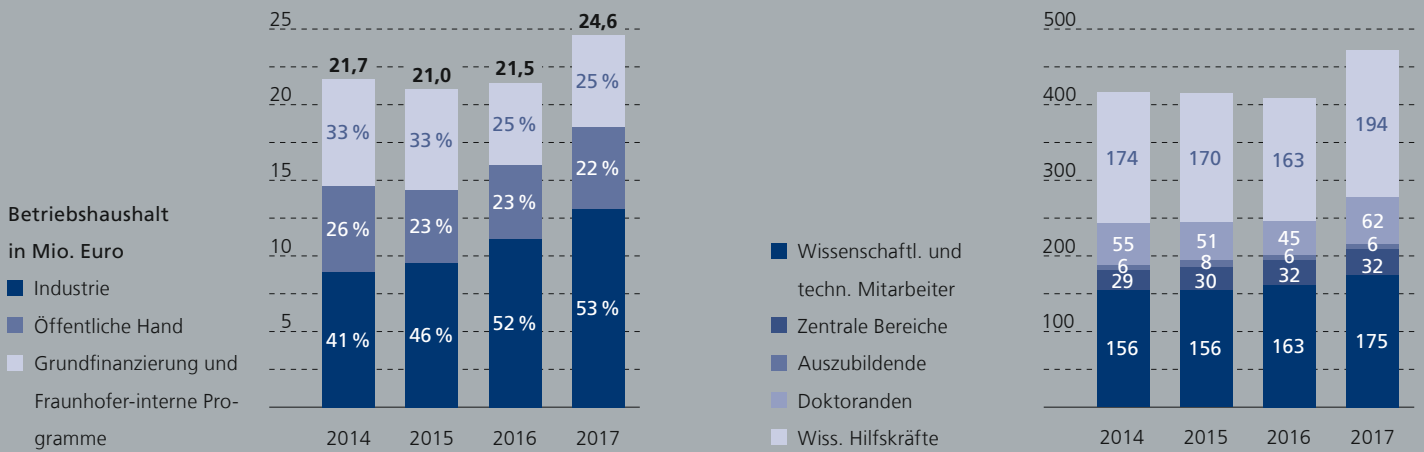
Der Garant für den anhaltenden wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Erfolg des Instituts ist die Arbeit unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. An dieser Stelle möchte ich mich für ihren großen Einsatz und ihre hohe Motivation und Identifikation mit der Arbeit und den Zielen des ITWM bedanken. Ihre Ideen und ihre Kompetenzen bilden den Lebensnerv des Institutes.

Unser Internetauftritt wurde 2017 technisch, optisch und inhaltlich komplett neugestaltet: Die Nutzer können auf den ersten Blick Neuigkeiten erfahren und neugierig auf unsere spannenden Projekte werden sowie bei Bedarf auch Informationen in der Tiefe finden. Schauen Sie doch mal rein – über Ihr Feedback würden wir uns freuen!

Ich wünsche Ihnen jetzt viel Vergnügen bei der weiteren Lektüre unseres Jahresberichtes und möchte mich bei allen Projektpartnern des ITWM für die konstruktive und angenehme Zusammenarbeit bedanken.



Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters  
Institutsleiter



## INSTITUTSPROFIL

Wir verfolgen das Ziel, Mathematik als Schlüsseltechnologie weiterzuentwickeln, innovative Anstöße zu geben und gemeinsam mit Industriepartnern praktisch umzusetzen.

Nicht nur große Firmen, sondern auch immer mehr kleine und mittelständische Unternehmen setzen Simulationen in den verschiedensten Bereichen ein und profitieren so in puncto Innovation und Qualitätssicherung von Produkten und Prozessen. Das Spektrum der Kunden des Instituts zieht sich dabei über alle Branchen hinweg – vom Fahrzeugbereich und Maschinenbau über Textilindustrie, Mikroelektronik, Computerindustrie bis hin zum Finanzbereich. Die Basis-Bausteine unserer Projekte sind Beratung, Unterstützung bei der Anwendung von Hochleistungsrechner-technologie und Bereitstellung maßgeschneiderter Softwarelösungen.

### Angewandte Mathematik als Motor zum Erfolg

Computersimulationen sind ein unverzichtbares Werkzeug bei der Gestaltung und Optimierung von Produkten und Produktionsprozessen, Dienstleistungen, Kommunikations- sowie Arbeitsprozessen. Virtuelle Modelle ersetzen immer häufiger reale Modelle. Der Mathematik kommt bei der Gestaltung dieser virtuellen Welt eine entscheidende Rolle zu. Der 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 alle Lebensbereiche Einzug gehalten haben.

Auch kleine und mittelständische Unternehmen nutzen zunehmend Simulationssoftware, denn das spart Zeit und Kosten. Das Fraunhofer ITWM unterstützt Unternehmen in diesem Prozess besonders durch Beratung und Rechenleistung. Firmen profitieren am Markt durch den Einsatz von Simulation als Ausweis für Innovation und Qualitätssicherung ihrer Produkte.

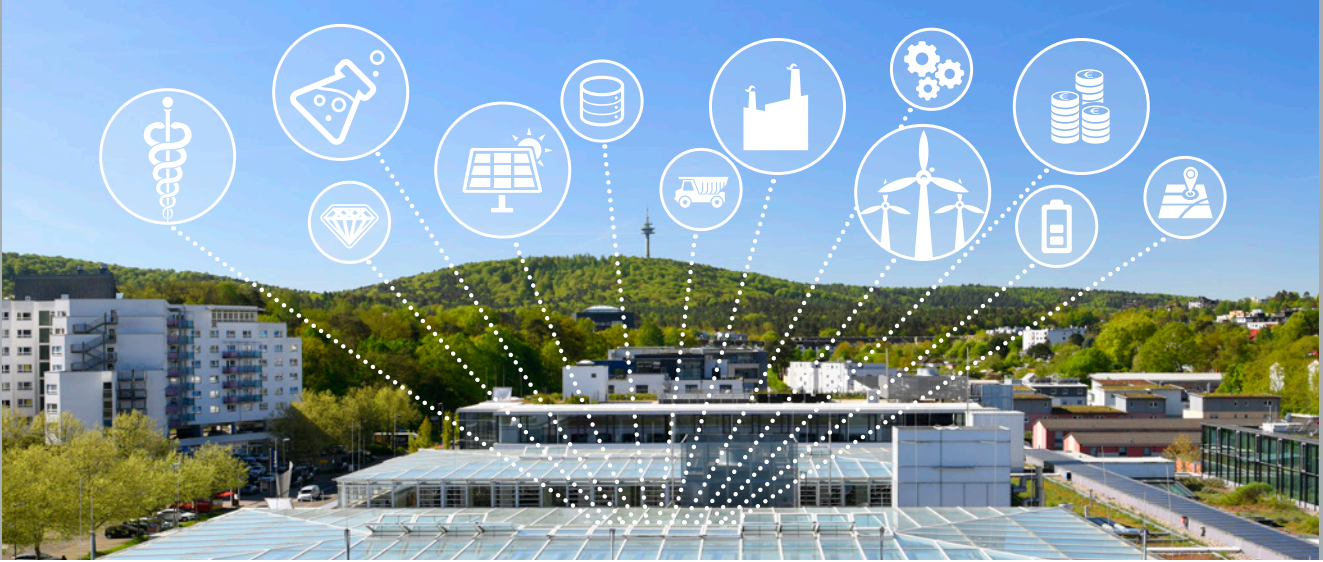
Die Umsetzung mathematischer Methoden und Technologie in Anwendungsprojekten und ihre Weiterentwicklung in Forschungsprojekten ist der Schwerpunkt des Fraunhofer ITWM. Grundpfeiler sind dabei die klassischen Disziplinen der angewandten Mathematik wie Numerik, Optimierung, Stochastik und Statistik sowie Differentialgleichungen.

Unsere Kernkompetenzen 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 unsere 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?

Die Methodenkompetenz unserer Abteilungen und das breite Spektrum ihrer Anwendungsfelder finden Einsatz in zahlreichen Branchen. Mit unseren Kernkompetenzen in den Bereichen

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

adressieren wir 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 haben wir eine starke 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.



1

© iStockphoto.de/fad1986



2

## WEBSITE RELAUNCH – ALLES NEU AUF WWW.ITWM.FRAUNHOFER.DE

1 *Das neue Responsive Design nutzt fortschrittliche Web-Technologien und passt sich unterschiedlichen Ausgabegeräten an.*

2 *ITWM-Dissertationsreihe etabliert*

Seit Juli 2017 ist die neue Website live; damit präsentiert sich das ITWM auch im Netz zeitgemäß. Wie die meisten Fraunhofer-Institute benutzen wir nun auch das Content Management System AEM. Unser Internetauftritt wurde nicht nur technisch und optisch, sondern auch inhaltlich komplett neugestaltet, im Responsive Design der Fraunhofer-Gesellschaft. Die Nutzer sollen auf den ersten Blick Neuigkeiten erfahren und neugierig auf unsere spannenden Projekte werden, aber bei Bedarf auch schnell Informationen in der Tiefe finden.

## IMMER MEHR ITWM-DOKTORANDEN VERÖFFENTLICHEN IM FRAUNHOFER-VERLAG

Eine Besonderheit unseres Instituts ist die große Zahl an Doktoranden, die von ITWM-Forschern betreut werden. Darum lag es nahe, eine eigene Dissertationsreihe ins Leben zu rufen; der Anfang war 2014 noch zögerlich, aber mittlerweile wird das Angebot rege genutzt: 2017 haben sieben Doktoranden ihre Dissertation im Fraunhofer-Verlag veröffentlicht. Breit gefächert sind nicht nur die Themen, sondern auch die Universitäten: Neben der TU Kaiserslautern gehörten 2017 die Universität Kassel, die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und das Karlsruher Institut für Technologie zu den kooperierenden Hochschulen.

## ITWM ERFOLGREICH IM INNOVATIONSBEREICH FAHRZEUGE

118 Anträge wurden eingereicht, ein Viertel davon hat die Bund-Länder-Initiative »Innovative Hochschule« bewilligt. Der Verbundantrag adressiert die Innovationsbereiche Bildung – Gesundheit – Produkte – Fahrzeuge. In der Digitalisierungsallianz Pfalz trägt das Fraunhofer ITWM maßgeblich zum Forschungsbereich Fahrzeuge bei: Projektmittel fließen in die Digitale Nutzfahrzeugtechnologie, vor allem in die Erweiterung der Simulationsumgebung RODOS®/REDAR. Mit dem Ausbau der digitalen Demonstratoren wird sie noch effizienter für Kooperationsprojekte zwischen Hochschule Kaiserslautern und Fraunhofer ITWM nutzbar. Mit RODOS® werden Wechselwirkungen zwischen Mensch, Maschine und Umwelt auf einer besonders soliden Datengrundlage erforscht. Im Fokus steht die Optimierung von Zuverlässigkeit und Energieeffizienz.



## KAREMA-DAYS – JUNGE WISSENSCHAFTLER AUS ALLER WELT ZU BESUCH

Junge Wissenschaftler aus dem Ausland mit renommierten Forschern der TU Kaiserslautern (TUK) und des Leistungszentrums für Simulations- und Software-basierte Innovation zusammenzubringen – das war das Ziel des Programms »Kaiserslautern Research Matching (karema) – Meet First Class Scientists for First Class Funding«. Knapp 200 junge Forscher hatten sich mit einer eigenen Projektidee für die Teilnahme beworben, 17 von ihnen wurden eingeladen. Anfang Dezember konnten sie in Zweiertteams mit Kaiserslauterer Forschern über mögliche gemeinsame Projekte sprechen. Im Fokus der Zusammenarbeit standen dabei die drei Forschungsschwerpunkte Optik und Materialwissenschaften, mathematische Modelle in den Ingenieurwissenschaften sowie Membranbiologie und Systembiologie. Das Leistungszentrum Simulations- und Software-basierte Innovation ist ebenso wie die TUK Kooperationspartner und Gastgeber von karema.

**1** *Erfolgreiche karema-Teilnehmerinnen und Teilnehmer*

## 50. JUBILÄUM DER VORTRAGSREIHE: RUNDUMBLICK ÜBER DEN TELLERRAND

Einmal im Monat öffnet das ITWM die Türen für alle Interessierten und lädt beim »Blick über den Tellerrand« dazu ein, gemeinsam den Horizont zu erweitern. Die interdisziplinäre Vortragsreihe des Felix-Klein-Zentrums für Mathematik präsentiert dabei ganz besondere Perspektiven zu unterschiedlichen Themen aus Wissenschaft und Forschung. Experten aus den verschiedensten Bereichen referieren und diskutieren mit den Gästen am ITWM.

Den Anfang machte im Sommer 2011 der New Yorker Wissenschaftshistoriker Prof. Myles W. Jackson; sein Thema: »Genom-Forschung zwischen Ethik und Kommerz am Beispiel des CCR5-Gens.« Den 50. Vortrag hielt im vergangenen Jahr der Bonner Soziologie-Professor Rudolf Stichweh: »Das Wissenschaftssystem der Moderne: Entstehung, Strukturen, gesellschaftliche Einbettung«. Über die Jahre kamen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Bereichen Medizin, Wirtschaft, Mathematik, Philosophie, Theologie und Kunst zu Wort und alle fanden ihr Publikum. Ein absolut volles Haus bescherte uns dabei der Sportjournalist Dr. Hajo Schumacher: »Restlaufzeit – wie ein gutes, lustiges und bezahlbares Leben im Alter gelingen kann« interessierte weit mehr Gäste als der Hörsaal Sitzplätze bietet. Wie weit der thematische Bogen gespannt wird, zeigt auch der kunstgeschichtliche Vortrag der Direktorin des Kaiserslauterer Museums mpk, Dr. Britta E. Buhlmann: »Physiognomien mit Geschichte«.



## TALENTA – FRAUNHOFER FÖRDERT JUNGE FORSCHERINNEN

**1** *TALENTA speed up für Neele Leithäuser; hier mit Institutsleiter und Verwaltungsleiter*

**2** *Auch Elisabeth Leoff, Ria Grindel, Isabel Michel und Sarah Staub (v.l.n.r.) werden gefördert.*

Der Frauenanteil im Wissenschaftsbereich unseres Instituts ist noch ausbaufähig, aber unsere Forscherinnen belegen einen Spitzenplatz bei der TALENTA-Förderung: Fünf Frauen wurden 2017 mit TALENTA *start* bzw. TALENTA *speed up* unterstützt!

»Fraunhofer TALENTA« ist ein Förder- und Entwicklungsprogramm für Wissenschaftlerinnen, das auf den unterschiedlichen Ebenen der Karriereentwicklung ansetzt. Die Förderung besteht in der finanziellen Unterstützung der jeweiligen Organisationseinheit bei der Gewinnung und nachhaltigen Entwicklung von Wissenschaftlerinnen und weiblichen Führungskräften. Dabei steht die individuelle Karriere der Wissenschaftlerinnen im Fokus.

TALENTA *start* wendet sich an MINT-Hochschulabsolventinnen, die den Einstieg in die angewandte Forschung und ihre Karriere mit Fraunhofer starten. In den Genuss dieser Förderung kommt bei uns am Institut Ria Grindel, und zwar noch bis Ende 2019.

TALENTA *speed up* ist auf berufserfahrene Fraunhofer-interne und -externe Wissenschaftlerinnen mit Motivation und Potenzial zur Übernahme von Führungs- oder Fachverantwortung zugeschnitten. Im Fokus stehen Wissenschaftlerinnen, die im Begriff sind, eine Führungsposition zu übernehmen oder dies kurz- oder mittelfristig planen. Zielsetzung ist es, die Kandidatin systematisch bei der Erweiterung ihres Verantwortungsbereiches zu unterstützen. Am ITWM sind dies aktuell Neele Leithäuser, Elisabeth Leoff, Isabel Michel und Sarah Staub; die vier Frauen verbindet nicht nur die TALENTA-Förderung, sondern ihnen gelingt es auch, Beruf und Familie zu verbinden, denn alle haben kleine Kinder.

## MINT-EC SCHULLEITER-TREFFEN: ITWM INFORMIERT AUF BILDUNGSMARKT

Die jährliche Schulleitertagung des bundesweiten Excellence-Schulnetzwerks MINT-EC fand 2017 in Kaiserslautern statt. An zwei Tagen wurden an der TUK aktuelle Themen und Herausforderungen des Schulalltags in Workshops und in fachwissenschaftlichen Vorträgen behandelt. Wir waren auf dem sogenannten Bildungsmarkt mit einem Stand vertreten und hatten die dreihundert Schulleiterinnen und Schulleiter zum Conference Dinner zu Gast im Institut.



## FELIX-KLEIN-AKADEMIE: GANZHEITLICHE SICHT AUF ANGEWANDTE MATHEMATIK

Ziel der Felix-Klein-Akademie ist die Vermittlung einer ganzheitlichen Sicht auf die Mathematik in Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft. Dazu pflegt, koordiniert und unterstützt sie ein Netzwerk aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern am Beginn und auf dem Höhepunkt ihrer Karriere – sowohl innerhalb als auch außerhalb der Mathematik. Sie wendet sich mit ihren Angeboten an Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Ausbildung und Beruf, Schülerinnen und Schüler, Lehrkräfte sowie die interessierte Öffentlichkeit. Die Akademie lädt zum wissenschaftlichen und interdisziplinären Austausch und zur Weiterbildung ein. Mit Unterstützung renommierter Expertinnen und Experten werden Fort- und Weiterbildungsangebote organisiert und besonders qualifizierten Studierenden die Möglichkeit eröffnet, von und mit den Besten zu lernen.

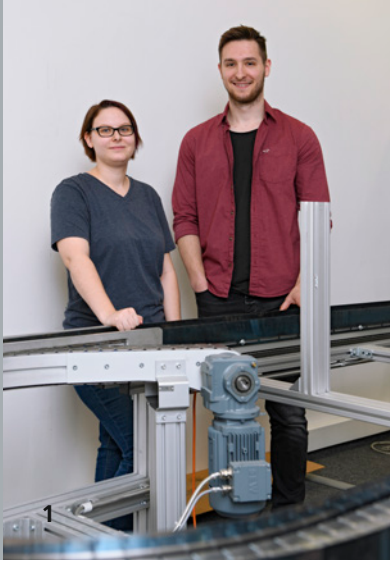
Ein Highlight des vergangenen Jahres war der internationale Herbst-Workshop »Networks and Uncertainty.« Experten aus den USA, England und Deutschland hielten Übersichtsvorträge zur aktuellen Forschung rund um Netzwerke mit besonderem Fokus auf der Bewältigung von Unsicherheiten. Zusätzlich fand eine Herbstschule statt, in der Themen aus dem ITWM-Projektalltag bearbeitet wurden.

1 *»Digitale Menschmodellierung«, »Destillationskolonnen«, »Kontaktkräfte im Alltag« und »Verbrauchsprofile in Fernwärmenetzen« waren Themen der Herbstschule.*

## EINE LESERREISE UND DIE FOLGEN: BILD DER WISSENSCHAFT BRINGT ITWM-SONDERHEFT

Im Mai 2017 legten Leserinnen und Leser von »bild der wissenschaft« einen Zwischenstopp am ITWM ein; Thema ihrer Reise war »Vulkanismus, Wald und Edelsteine«. Sie sollte Einblicke vermitteln in die wichtigen Ressourcen Bodenschätze und Wissen. Bodenschätze gibt's am ITWM natürlich nicht, aber Wissen darüber, unter anderem in der Abteilung Optimierung: Karl-Heinz Küfer sprach über »Edelsteinproduktion – Kunst oder Technologie« und demonstrierte unser Edelsteinschleiflabor. Zum Programm gehörte auch eine Institutsführung – mit nachhaltigen Folgen, denn aus diesem Besuch erwuchs die Idee einer bdw-Sonderbeilage über »Angewandte Mathematik in Kaiserslautern«.

Diese wird Mitte Juni 2018 erscheinen und nicht nur die vielen Facetten unserer Arbeit darstellen, sondern auch verdeutlichen, wo und wie angewandte Mathematik die Forschung voranbringt und so die Basis für viele technische Neuerungen legt.



## PERSONELLE VERSTÄRKUNG IN ZWEI LABOREN: AUS AZUBIS WERDEN MITARBEITER

**1** *Am ITWM hat auch das Handwerk goldenen Boden – für Annika Schwarz und Dominik Gundacker*

Das Fraunhofer ITWM unterstützt nicht nur wissenschaftliche Karrieren, sondern bildet auch aus: Unsere Azubis Dominik Gundacker und Annika Schwarz haben bei der IHK Pfalz ihre Prüfungen zum Physiklaboranten bzw. zur Physiklaborantin bestanden. Sie besuchten beide die Berufsbildende Schule für Naturwissenschaften in Ludwigshafen.

**2** *ITWM-Alumni*

Annika Schwarz war dreieinhalb Jahre lang Auszubildende in der Abteilung Bildverarbeitung, betreut von Dr. Ronald Rösch, Franz Schreiber und Kai Taeubner. Ihre zukünftigen Aufgabengebiete umfassen die Vorentwicklung und Konstruktion von Oberflächeninspektionssystemen sowie Machbarkeitsuntersuchungen im Bildverarbeitungslabor, die als Grundlage für die erfolgreiche Entwicklung von Oberflächeninspektionssystemen dienen.

Komplizierter war es bei Dominik Gundacker, der verschiedene Ausbildungsstätten hatte: Die BASF in Ludwigshafen, wo er als externer Auszubildender die zentrale Berufsausbildung absolvierte; für die betriebliche Berufsausbildung war die Abteilung Materialcharakterisierung und -prüfung zuständig. Zu seinen zukünftigen Aufgaben gehören der Aufbau von Terahertz-Messsystemen, Schaltungsaufbau und Kabelkonfektionierung sowie Arbeiten an der Bohr- und Fräsmaschine.

Beide konnten wir als Mitarbeiter gewinnen!

## ALUMNI-NETZWERK-TREFFEN: ERINNERUNG AN MENSCHEN UND IDEEN

Im Dezember fand das erste Alumni-Netzwerk-Treffen des ITWM statt, zu dem alle ehemaligen Kolleginnen und Kollegen bzw. Beraterinnen und Berater eingeladen waren. Sie erwartete nicht nur ein freudiges Wiedersehen, sondern auch ein spannendes Nachmittagsprogramm im Institut, denn die Ehemaligen sprachen u. a. über ihre erfolgreichen Berufswege und ihren Bezug zum ITWM.

Bei der Abendveranstaltung in der Fruchthalle zeigte unser Institutsleiter Dieter Prätzel-Wolters die aktuelle Situation und Perspektiven des Instituts auf. Der Gründer des ITWM, Helmut Neunzert, bereicherte den Abend mit seinem Vortrag »Erinnerung an Menschen und Ideen«.



Von vorne, links nach rechts: Dr. Markus Pfeffer, Michaela Grimberg-Mang, Hülya Zimmer, Brigitte Williard, Sylvia Gerwalin, Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters, Katharina Parusel, Ilka Blauth, Anja Gordon, Steffen Grützner, Holger Westing, Brigitte Biguet, Elisabeth Wagner-Weig, Elke Münch, Dieter Eubell, Maike Koll, Waltraud Dully, Dominic Schunk, Christian Peter, Eva Schimmele, Martin Braun, Mirko Spell, Jana Willenbacher, Tino Labudda, Dominic Daneker, Tobias Grau

# UNSER NETZWERK

## KUNDEN UND KOOPERATIONSPARTNER AUSWAHL 2017

- 3D Image Automation Pty Ltd, Perth (AUS)
- AAC Technologies Holdings Inc., Shenzhen (RC)
- AbbVie Deutschland GmbH & Co. KG, Ludwigshafen
- ACC Technologies, Turku (FIN), Nanjing(RC)
- AL-KO GmbH, Kötz
- ALTE LEIPZIGER Lebensversicherung a.G., Oberursel
- ante holz GmbH, Bromskirchen
- AUDI AG, Ingolstadt
- AXA Konzern AG, Köln
- BASF SE, Ludwigshafen
- Bayer AG, Leverkusen
- BioNTech AG, Mainz
- BJS Ceramics GmbH, Gersthofen
- BMW, München
- BPW Bergische Achsen Kommanditgesellschaft, Wiehl
- Brückner Group GmbH, Siegsdorf
- BSN Medical, Emmerich
- ContiTech Transportbandsysteme GmbH, Northeim
- Corning GmbH, Kaiserslautern
- Daimler AG, Stuttgart
- das-Nano S.L., Tajonar, Navarra (E)
- delta h Ingenieurgesellschaft mbH, Witten
- Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf
- Dilo Machines GmbH, Eberbach
- ebm papst, Mulfingen
- ESI Group, Paris (F)
- Evohaus GmbH, Karlsruhe
- FLSmidth Wadgassen GmbH, Wadgassen, Kopenhagen (DK)
- Ford-Werke GmbH, Köln
- Freudenberg Filtration Technologies, Kaiserslautern
- Gebr. Pfeiffer SE, Kaiserslautern
- GEF Ingenieur AG, Leimen
- GOLDBECK New Technologies GmbH, Hirschberg
- Goodyear S.A., Colmar-Berg, Luxembourg
- Grimme Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG, Damme
- GRS mbH, Köln
- Helmholtz-Institut für elektrochemische Energiespeicherung, Ulm
- Hochschulen: Berlin, Birkenfeld (Trier), Darmstadt, Kaiserslautern, Lübeck, Mainz
- Hubert Stüken GmbH & Co. KG, Rinteln
- Hübner GmbH&Co. KG, Kassel
- IAV Group, Berlin
- IBS FILTRAN GMBH, Morsbach-Lichtenberg
- Imilia Interactive Mobile Applications GmbH, Berlin
- Institut für Textiltechnik (ITA), Aachen
- IPCConcept (Luxemburg) S.A., Luxemburg (L)
- Jaguar / LandRover, Whitley (GB)
- John Deere GmbH & Co.KG, Mannheim, Kaiserslautern
- Johns Manville Europe GmbH, Bobingen
- Kliniken Essen Mitte, Essen
- Kreisverwaltung Mainz-Bingen, Ingelheim am Rhein
- KSB Aktiengesellschaft, Frankenthal
- Liebherr, Kirchdorf / Colmar
- Lonza AG, Basel
- MAGMA Gießereitechnologie GmbH, Aachen



- Maja Möbelwerk GmbH, Wittichenau
- MAN Truck & Bus Deutschland GmbH, München
- Marathon Oil, Houston (USA)
- Maserati S.p.A./Alfa Romeo, Modena (I)
- Math2Market, Kaiserslautern
- Meggitt Polymers & Composites, Stevenage (GB)
- Merck KGaA, Darmstadt
- mfd Diagnostics, Wendelsheim
- Miebach Consulting GmbH, Frankfurt am Main
- MVZ Dres. Englmaier GmbH, Waldkraiburg
- Netze BW GmbH, Stuttgart
- Nissan, Kanagawa (J)
- Odenwald Faserplattenwerk GmbH, Amorbach
- Panasonic R&D Center Germany GmbH, Langen
- Paul Wild GmbH, Kirschweiler
- Plastic Omnium, Brüssel (B)
- Porsche AG, Stuttgart, Weissach
- proALPHA Business Solutions GmbH, Weilerbach
- Procter & Gamble, Cincinnati (USA), Schwalbach, Kronberg
- Produktinformationsstelle Altersvorsorge, Kaiserslautern
- Progress Rail Inspection & Information Systems, Bad Dürkheim
- PSA Peugeot Citroen, Velizy-Villacoublay Cedex (F)
- PSI Software AG, Aschaffenburg, Dortmund
- Repsol, Houston (USA)
- RJL Micro & Analytic GmbH, Karlsdorf-Neuthard
- Robert Bosch GmbH, Stuttgart
- RWE Generation SE, Essen
- Santander Consumer Bank AG, Mönchengladbach
- SAP AG, Walldorf
- Scania CV AB, Södertälje (S)
- Schleifring und Apparatebau GmbH, Fürstenfeldbruck
- Schmitz Cargobull AG, Altenberge
- Seismic Imaging Processing SIP, Aberdeen (GB)
- Sharp Reflections, Stavanger (N), Kaiserslautern
- Siemens Technology Accelerator, München
- Stadtentwässerung Kaiserslautern AöR, Kaiserslautern
- Statoil ASA, Stavanger (N), Trondheim (N), Oslo (N)
- Stöhr+Sauer CAD- und Computersysteme GmbH, Würselen
- Stryker GmbH & Co. KG, Freiburg
- SWS Stadtwerke Speyer
- Technische Werke Ludwigshafen
- TGS Nopec, Houston (USA)
- ThinkparQ GmbH, Kaiserslautern
- Toyota Motor Europe NV/SA, Brüssel (B)
- Umicore, Hanau
- Union Investment Privatfonds GmbH, Frankfurt/Main
- uniper Anlagenservice, Gelsenkirchen
- Universitäten: Aachen, Berlin, Bordeaux (F), Bremen, Dortmund, Dresden, Erlangen, Frankfurt/Main, Freiberg, Freiburg, Heidelberg, Kaiserslautern, Karlsruhe, Kassel, Mainz, München, Münster, Nancy(F), Saarbrücken, Trier, Ulm
- VAN DE WIELE, Kortrijk (B)
- Varian Medical Systems International AG, Cham
- Voith Hydro, Heidenheim
- Volkswagen AG, Wolfsburg
- Volvo, Eskilstuna (S), Göteborg (S)
- Woltz, Wertheim



## SPIN - OFFS

### **Math2Market**

Math2Market ist unser erstes und größtes Spin-off, in den Anfangsjahren zuständig für den Vertrieb der in der Abteilung Strömungs- und Materialsimulation entwickelten Software GeoDict. Aus dieser Software ist mittlerweile das Digitale Materiallabor GeoDict® erwachsen, welches Math2Market selbst weiterentwickelt bzw. am ITWM generierte Tools integriert. Mit dieser Komplettlösung unterstützt Math2Market Unternehmen bei der effizienten Entwicklung besserer Materialien und Prozesse. Die Kunden sind über die ganze Welt verteilt und kommen aus den Bereichen Filtration, Verbundwerkstoffe und Elektrochemie; hier sind vor allem Hersteller von Batterien und Brennstoffzellen vertreten.

### **fleXstructures**

Die fleXstructures GmbH ist eine Ausgründung der Abteilung Mathematische Methoden in Dynamik und Festigkeit. Sie vertreibt die Software-Familie IPS, die gemeinsam mit dem Fraunhofer-Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics in Göteborg entwickelt wurde. Ein wichtiges Tool der Produktgruppe ist IPS Cable Simulation; es wird in der Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie, aber auch in der Luft- und Raumfahrt und im Maschinenbau genutzt, um die effiziente Verlegung von Kabeln und Schläuchen beispielsweise im Motorraum von Fahrzeugen zu gewährleisten.

### **Sharp Reflections**

Gemeinsam mit dem norwegischen Öl- und Gasunternehmen Statoil hat das Competence Center High Performance Computing die Software Pre-Stack Pro zur Auswertung seismischer Reflexionsdaten entwickelt, für deren Vermarktung und Weiterentwicklung die Sharp Reflections GmbH zuständig ist. Pre-Stack Pro nutzt parallele Computertechnologie, um aus großen Datensätzen verlässliche Informationen über Eigenschaften von Öl- und Gaslagerstätten abzuleiten. In Norwegen betreut Sharp Reflections AS die dort ansässigen Kunden und organisiert die weltweite Vermarktung des Produktes.

### **ThinkParQ**

ThinkParQ, ebenfalls eine Ausgründung des Competence Centers High Performance Computing, ist das Unternehmen hinter dem parallelen Cluster-Filesystem BeeGFS. Mit dieser hoch skalierbaren Speicherlösung lassen sich große Datenmengen lokal und in der Cloud nutzerfreundlich verwalten.

### **Produktinformationsstelle Altersvorsorge PIA**

Die PIA ist eine unabhängige Stelle, die seit Januar 2017 im Auftrag des Bundesfinanzministeriums die Chancen-Risiko-Klassifizierung der geförderten Altersvorsorgeprodukte übernimmt. Sie ist eine hundertprozentige Fraunhofer-Tochter und arbeitet eng mit unserer Abteilung Finanzmathematik zusammen.

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. Anna-Lena Kranz-Stöckle, Bundesministerium für Bildung und Forschung

Dr. Wilhelm Krüger, Blue Order AG (Vorsitzender)

Prof. Dr. Volker Mehrmann, Technische Universität Berlin

Dr. Hannes Möller, Daimler AG

Stefanie Nauel, Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau des Landes Rheinland-Pfalz

Barbara Ofstad, Siemens AG

MR Richard Ortseifer, Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau des Landes Rheinland-Pfalz

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 Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur des Landes Rheinland-Pfalz

Ein großes Netzwerk und innovative Partner sind entscheidend für das Gelingen von Projekten. Darum sind wir 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«
- 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 and Innovation Alliance Kaiserslautern SIAK**  
Die SIAK ist ein Netzwerk für digitale Transformation, Innovation und interdisziplinäre Forschung. Über ihre Mitglieder aus Wissenschaft – Hochschulen und Forschungsinstitute – und Wirtschaft – insbesondere aus dem Mittelstand – ist sie regional verankert.

## DANK STABLEM NETZWERK ZUR ÜBERREGIONALEN MARKE

»Leistungszentren organisieren den Schulterschluss der universitären und außeruniversitären Forschung mit der Wirtschaft und zeichnen sich durch verbindliche, durchgängige Roadmaps der beteiligten Partner in den Leistungsdimensionen Forschung und Lehre, Nachwuchsförderung, Infrastruktur, Innovation und Transfer aus. Sie sind ein Angebot an die Politik, wissenschaftliche Exzellenz mit gesellschaftlichem Nutzen prioritär zu entwickeln.« So umreißt die Fraunhofer-Gesellschaft ihre Strategie zur Förderung lokaler Leistungszentren. Wie gut diese Strategie in Kaiserslautern greift, lässt sich an der Entwicklung des Leistungszentrums »Simulations- und Software-basierte Innovation« ablesen.

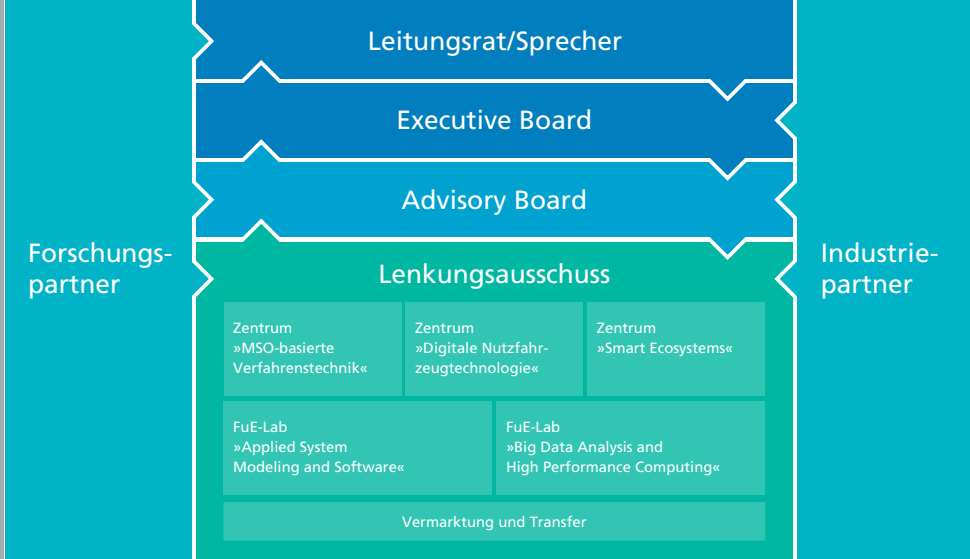
Zwei Jahre nach seiner Gründung wurde es durch eine externe Gutachter-Kommission evaluiert – mit sehr großem Erfolg: Die Gutachter empfehlen ausdrücklich die Weiterförderung und heben das ausgezeichnete Netzwerk hervor, über welches das Leistungszentrum am Standort Kaiserslautern verfügt. Dieses Netzwerk soll verstärkt genutzt werden, um das Leistungszentrum »Simulations- und Software-basierte Innovation« als überregional sichtbare Marke aufzubauen. Schon jetzt ist es der regionale Ansprechpartner bei FuE- und Transferthemen im Bereich der Digitalisierung. Der Fokus liegt neben den namensgebenden Themen Simulation und Software vor allem auf Big Data, High Performance Computing und Machine Learning.

### **Effizientes Arbeiten in Zentren und Labs**

Das Leistungszentrum gliedert sich in verschiedene Module, die sich in ihren Schwerpunkten und ihrer Industrieorientierung unterscheiden. In den FuE-Labs »Applied System Modeling und Software« und »Big Data Analysis und High Performance Computing« erforschen TUK und Hochschule Kaiserslautern sowie die beteiligten Institute hauptsächlich Modelle und Technologien, während die Zentren auf die Anwendung fokussieren und enger mit der Industrie zusammenarbeiten. Diese Struktur hat sich bewährt, denn in den vergangenen beiden Jahren wurden mehr Industriemittel eingeworben als ursprünglich geplant und Großprojekte akquiriert wie die »Digitalisierungsallianz für die Pfalz« oder das Verbundprojekt »EnStadt: Pfaff – Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt.«

### **Zentrum 1: MSO-basierte Verfahrenstechnik**

Modellierung, Simulation und Optimierung sind tragende Säulen der Entscheidungsunterstützung, z. B. in der chemischen und pharmazeutischen Industrie, der Prozessentwicklung für Fasern und Vliesstoffe sowie bei Filtrationsprozessen. Forschungspartner sind neben dem ITWM die Fachbereiche Mathematik sowie Maschinenbau und Verfahrenstechnik der TUK; BASF, Procter & Gamble, Math2Market, Lonza, KSB und IBS Filtran sind einige der Industriepartner.



### Zentrum 2: Digitale Nutzfahrzeugtechnologie

Im Fokus stehen interaktive Fahrzeugsimulation und virtuelle Gesamtfahrzeugerprobung sowie virtualisierte Erprobungskonzepte für Nutzfahrzeuge. Hier sind sowohl TUK als auch Hochschule Kaiserslautern aktiv im Forschungsverbund, dazu kommen Fraunhofer IESE und ITWM sowie das Commercial Vehicle Cluster. Industriepartner sind unter anderem Bosch, Daimler, General Electrics, John Deere, Liebherr, MAN, Schmitz Cargobull, Volvo und VW.

### Zentrum 3: Smart Eco-Systems

In diesem Zentrum werden Smart Embedded Systems, Digitale Dörfer und die Energiespeicherplattform GreenPowerGrid in die Anwendung gebracht. Als Forschungspartner fungiert hier neben den beiden Fraunhofer-Instituten und der TUK auch das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz DFKI. Bosch, E.GO Mobile, Ford Research, John Deere, Panasonic, Toyota und WVE Kaiserslautern arbeiten auf Industrieseite im Zentrum.

Wesentliches Ziel des Leistungszentrums ist die nachhaltige Übertragung der Ergebnisse in Wirtschaft und Wissenschaft. Neben dem Transfer in die Wirtschaft werden zusätzlich folgende Pfade beschritten:

#### Transfer durch Köpfe

Zusammen mit der Felix-Klein-Akademie für Mathematik wird bereits frühzeitig der wissenschaftliche Nachwuchs mit Stipendien für Studierende und Doktoranden unterstützt. Zusammen mit dem Nachwuchsring der TUK wird er systematisch und kontinuierlich in Workshops, Vorlesungen und Graduierungsarbeiten weitergebildet, sodass regelmäßig hoch qualifiziertes FuE-Personal für Wirtschaft und Wissenschaft herangeführt wird.

#### Transferpfade IP-Verwertung und Ausgründungen

Die Kooperation mit Start-ups und Ausgründungen in ausgewählten Technologiefeldern ermöglicht die schnelle und bedarfsgerechte Bereitstellung von IPs für die Wirtschaft. Hierfür besteht eine enge Beziehung zwischen den Forschungsinstituten und der Kontaktstelle für Information und Technologie (KIT) der TUK sowie ihrer Patentstelle.

#### Transferpfad industrielle Weiterbildung

Das Leistungszentrum entwickelt mit seinen Kooperationspartnern bedarfsgerechte Weiterbildungsangebote für die Wirtschaft und unterstützt so Unternehmen bei der Anwendung und Weiterentwicklung der Methoden und Technologien in ihren jeweiligen Geschäftsmodellen.



## 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 52 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, der Haushalt betrug 2017 rund sechs 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.

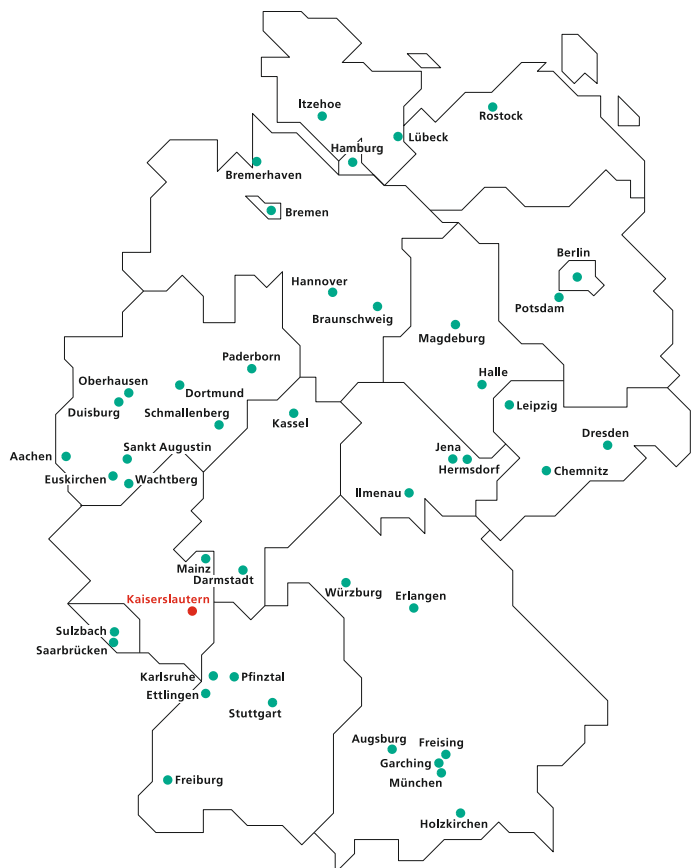
Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 72 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 25 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,3 Milliarden Euro. Davon fallen knapp 2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund 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.





# TRANSPORTVORGÄNGE



Die Firma Dilo aus Eberbach entwickelt und produziert innovative Anlagen für die Vliesstoffindustrie. Das Bild zeigt die Bildung des Vlieses in einer Krempelanlage, bevor es durch Vernadelung mechanisch verfestigt wird. Unser Institut unterstützt Dilo bei der Entwicklung neuer Vernadelungstechnologien.



DR. DIETMAR HIETEL  
DR. RAIMUND WEGENER  
ABTEILUNGSLEITER



## MATHEMATISCHE MODELLIERUNG, SIMULATION UND OPTIMIERUNG VON TRANSPORTVORGÄNGEN

Die Abteilung modelliert komplexe industrielle Fragestellungen und entwickelt effiziente Algorithmen zur numerischen Simulation und Optimierung dieser Probleme. Die Aufgabenstellungen liegen im technisch-naturwissenschaftlichen Kontext (Strömungsdynamik, Strukturmechanik, Strahlungstransport, Optik etc.) 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 2017 verlief wirtschaftlich und wissenschaftlich erfolgreich. Der strategisch eingeschlagene Weg, verstärkt auch Einnahmen durch Lizenzierung von Softwareprodukten zu generieren, zeigt erste größere Erfolge. Genannt sei hier die Vergabe einer Konzernlizenz an VW für den gitterfreien Strömungssimulator FPM.

### Kontakt

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

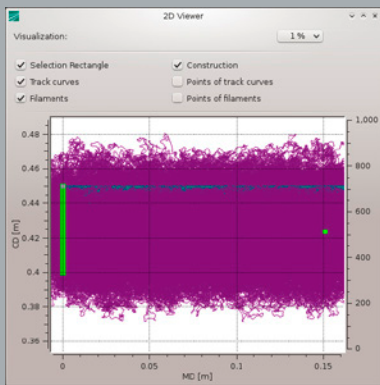


---

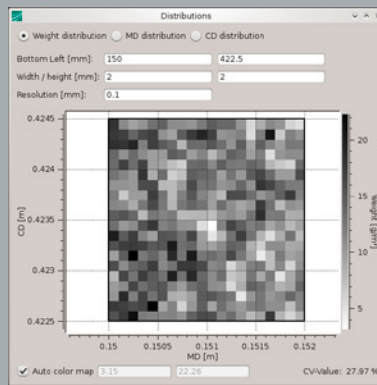
## SCHWERPUNKTE

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

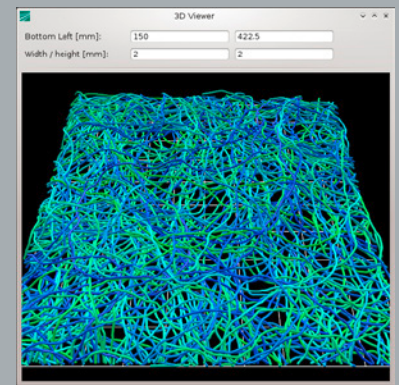




1



2



3

## VIRTUELLE PRODUKTION VON VLIESTOFFEN

1 2D-Ansicht des virtuellen Vlieses in SURRO

2 Flächengewichtsverteilung eines Ausschnitts (grüner Balken in Abb. 1) bei 0,1 mm Auflösung

3 3D-Ansicht des virtuellen Vlieses im gewählten Ausschnitt

Bei der Produktion von Vliesstoffen wird eine Vielzahl dünner Fasern oder Filamente versponnen und überlagert, um eine Vliesstruktur zu bilden. In Zusammenarbeit mit einem breiten Spektrum an Industriekunden treibt unsere Abteilung seit vielen Jahren die Virtualisierung dieser Prozesse voran.

Bedingt durch die Komplexität und Skalenergebnisse ergeben sich vielfältige mathematische Herausforderungen, die nicht mit Standardsimulationen gelöst werden können. Unsere eigens entwickelten Methoden und Werkzeuge für mehrere Schlüsselaspekte unterstützen die Auslegung und Steuerung der Produktionsprozesse technischer Textilien mit effizienten Simulationen.

### Software SURRO generiert virtuelle Vliesstrukturen

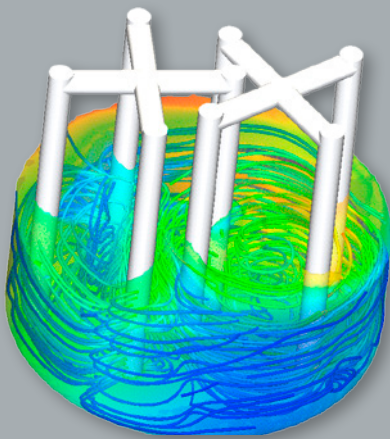
In den letzten Jahren haben wir ausgeklügelte Methoden entwickelt, um großflächig virtuelle Vliesstrukturen zu generieren. Die daraus entstandene Software SURRO (Surrogate Model) basiert auf einem stochastischen Ersatzmodell zur Simulation von Filamenten, das mathematisch durch eine stochastische Differentialgleichung beschrieben wird.

Die Eingabe-Parameter des Prozesses werden gewonnen, indem zuvor physikalisch basierte Simulationen einzelner Filamente mit der Software FIDYST (Fiber Dynamics Simulation Tool) durchgeführt werden. Das komplexe Verhalten der Filamente wird so durch einen Identifikationsprozess auf wenige stochastische Parameter zurückgeführt, welche die Vliesstruktur charakterisieren.

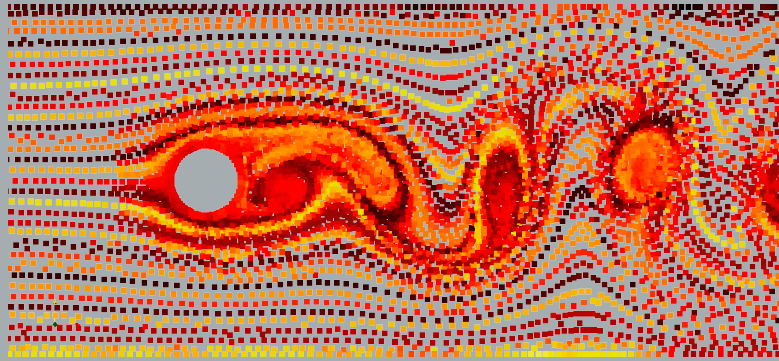
### Mit SURRO und FIDYST Prozesse zur Herstellung von Vliesstoffen analysieren

Im Vergleich zur vollständigen physikalischen Simulation werden Fäden mit dem SURRO-Ersatzmodell extrem schnell berechnet. Dadurch ist es möglich, fein aufgelöste Mikrostrukturen im Bereich mehrerer Zentimeter Kantenlänge zu erzeugen. Die virtuelle Vliesstruktur wird dann hinsichtlich Flächengewichtsverteilung und Homogenität auf verschiedenen Skalen analysiert. Die Homogenität ist hierbei entscheidend für die Qualität des Vliesstoffs und ein Kriterium zur Optimierung des Herstellungsprozesses.

Durch Schnittstellen zu Standardsoftware wie Abaqus können darüber hinaus Festigkeitsuntersuchungen durchgeführt werden. Wir setzen den Mikrostrukturgenerator SURRO erfolgreich ein, um zusammen mit der Simulationssoftware FIDYST Prozesse zur Herstellung von Vliesstoffen zu analysieren und optimieren.



1



2

## GITTERFREIE SIMULATION MIT MESHFREE

Mit MESHFREE stellen wir in Kooperation mit dem Fraunhofer SCAI ab 2018 ein innovatives Softwareprodukt zur gitterfreien Simulation physikalischer Prozesse bereit. MESHFREE bündelt die Expertise beider Institute im Bereich des gitterfreien wissenschaftlichen Rechnens.

### MESHFREE sagt den Gittern »Tschüss«

Die Software verbindet die Finite-Pointset-Methode (FPM) zur Lösung der Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls und Energie mit effizienten Algorithmen zur Lösung linearer Gleichungssysteme. Die Technologie basiert nicht auf den geometrischen Eigenschaften eines Rechengitters; damit entfällt das langwierige Erstellen und Aufarbeiten dieser Netze.

Der Benutzer exportiert direkt die Geometrie aus gängigen CAD Tools und verwendet sie für die Simulation. Durch das Fehlen eines Rechengitters ist MESHFREE enorm flexibel in der Organisation der Rechenpunkte; denn es entsteht kein aufwändiges Anpassen der Netztopologie bei hochdynamischen Prozessen – wie beispielsweise bei Strömungen mit freien Oberflächen oder sich schnell bewegenden Geometrieelementen.

### Die Welt ist nicht flüssig oder fest

MESHFREE basiert auf einem allgemeinen Materialmodell. Diese Allgemeinheit erlaubt es, auch komplexes Materialverhalten (nicht-newtonsche Fluide, Viskoelastizität) abzubilden und mit der gleichen numerischen Methodik zu behandeln. Für die Auswahl des Lösungsalgorithmus muss das Medium nicht in flüssig oder fest eingeteilt werden. Die Angabe der Materialeigenschaften wie z. B. Viskosität oder Elastizität in Form eines Schubmoduls reicht aus, um das Verhalten des Mediums mit MESHFREE vorherzusagen.

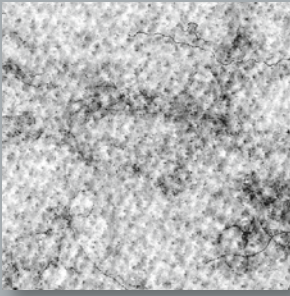
### Synthese erfolgreicher Softwarepakete

Mit MESHFREE profitiert der User von der langjährigen Erfahrung und Expertise der Fraunhofer-Institute ITWM und SCAI in der Simulation komplexer physikalischer Prozesse. Das Produkt ist eine Synthese aus zwei Softwarepaketen (FPM und SAMG), die schon seit über 15 Jahren erfolgreich in vielen unterschiedlichen Industriebranchen vertrieben und kontinuierlich weiterentwickelt werden.

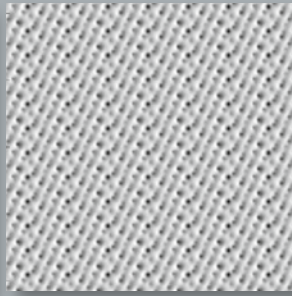
1 Simulation eines Rührprozesses

2 Die Kármánsche Wirbelstraße ist ein Phänomen in der Strömungsmechanik, bei dem sich hinter einem umströmten Körper gegenläufige Wirbel ausbilden. In der Abbildung wird dies mit adaptiver Organisation der Rechenpunkte bzgl. der Geschwindigkeitsgradienten simuliert.

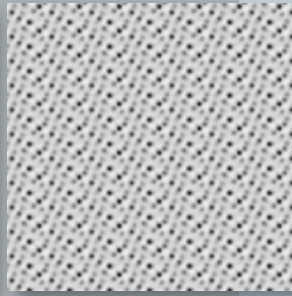




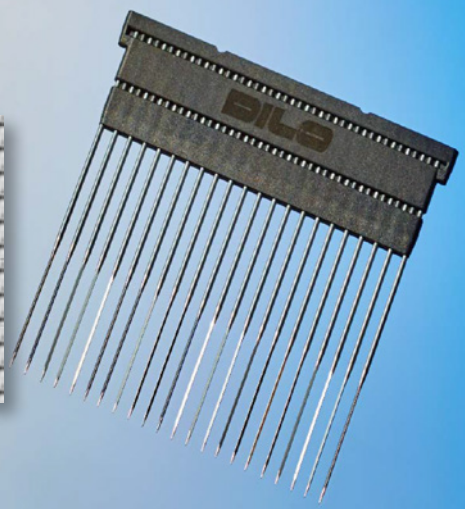
1



2



3



4

© DILO

## ADAPTIVE NADELMASCHINE

- 1 *Vernadelter Vliesstoff*
- 2 *Einstichmuster nach der Bildverarbeitung*
- 3 *Simuliertes Einstichmuster*
- 4 *Nadelmodule*

Die Dilo Group aus Eberbach entwickelt und produziert innovative Anlagen für die Vliesstoffindustrie. Eine wichtige Rolle spielt die Vernadelungstechnologie. Dabei handelt es sich um ein mechanisches Verfestigungsverfahren für Vliesstoffe. Wir unterstützen Dilo bei der Entwicklung von Variopunch, einer eigenen Vernadelungstechnik, die zu einem gleichmäßigeren Nadeleinstichbild beiträgt.

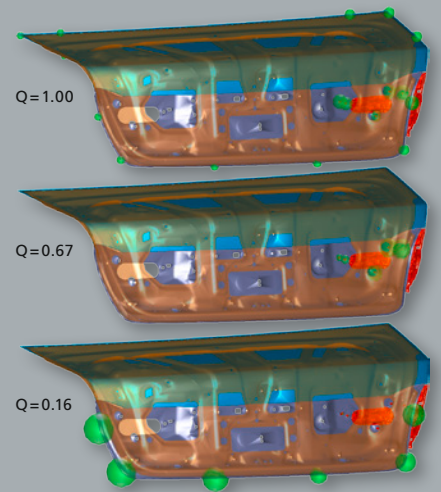
### Dilo-Variopunch – Adaptive Vernadelungstechnologie

Der Prozess läuft wie folgt ab: Eine große Anzahl von Nadeln ist in einem sich wiederholenden Muster auf einem Nadelbrett angeordnet. Das Nadelbrett sticht fortlaufend ein, während sich das Vlies darunter hindurch bewegt. So werden die einzelnen Fasern miteinander verwirrt und erzeugen Festigkeit. Neben der Festigkeit spielt aber für viele Anwendungen auch der optische Eindruck eine entscheidende Rolle, denn die Nadeleinstiche hinterlassen unweigerlich ein Muster.

Die Nadeln waren bisher an festen Positionen im Nadelbrett fixiert. Dilo hat nun mit der Variopunch-Technologie ein Konzept entwickelt, bei dem die Nadelpositionen angepasst werden können. In einer typischen Vernadelungstrecke stehen mehrere Maschinen hintereinander und stechen nacheinander mit abfallender Intensität ein, um so ein möglichst homogenes und streifenfreies Muster zu erzeugen. Steht nun am Ende einer solchen Strecke eine Variopunch-Maschine, so kann die Qualität deutlich gesteigert werden, da durch die adaptive Maschine vorher auftretende Fehler korrigiert werden.

### Bildverarbeitung, Simulation und Optimierung

Unser Institut unterstützt Dilo bei der Entwicklung von Variopunch, insbesondere bei der algorithmischen Umsetzung. Dazu setzen wir Techniken aus den Bereichen Bildverarbeitung, Simulation und Optimierung ein. Am Anfang der Maschine steht ein optischer Sensor, der das einlaufende Vlies aufnimmt. Die so entstehenden Bilder werden algorithmisch aufbereitet und das Muster wird extrahiert. Mit dem entwickelten Simulationsmodell kann das resultierende Muster für jede mögliche Nadelpositionierung berechnet werden. Auf Basis dieses Modells werden die optimalen Einstichpositionen mithilfe von Optimierungsmethoden ermittelt und das Nadelbrett entsprechend adaptiert.



## RoMI – URSACHENPROGNOSE FÜR DETEKTIERTE MESSABWEICHUNGEN

Von Messabweichungen im Produktionsprozess auf mögliche Bauteil- und Fügefehler zu schließen, ist ein Problem, das bisher nicht systematisch untersucht und gelöst wurde. Durch statistische Prozesskontrolle ist es zwar möglich, Abweichungen von Soll- und Ist-Maßen in ihrem zeitlichen Trend zu erkennen, die Ursachenanalyse fehlt jedoch. Die klassische Toleranzanalyse klärt, wie sich typische Bauteil- und Fügefehler in Messabweichungen niederschlagen. Im Projekt des Zentralen Innovationsprogramms für den Mittelstand (ZIM) betrachten wir das umgekehrte Problem.

### Das ITWM-Modul RoMI

Im Projekt RoMI (Root Cause Analysis of Measurement Issues) haben wir einen Algorithmus zur Ursachenanalyse für potentielle Bauteil- und Fügefehler entwickelt und softwaretechnisch realisiert. Er basiert auf Oberflächenmessungen im Produktionsprozess. Mangelbehaftete Bauteilchargen sowie Fehlerquellen im Fügeprozess werden automatisiert identifiziert – zum Beispiel, wenn ein Einbaufehler an einer Stelle besteht, welche im kompletten Zusammenbau unzugänglich ist und nicht mehr nachgemessen werden kann.

Eine Simulation bildet den Zusammenbau von Teilen nach. Es werden unter allen Kombinationen von Bauteil- und Fügefehlern, die zu den vorliegenden Oberflächenmessungen passen, diejenigen mit der höchsten Wahrscheinlichkeit herausgesucht. Das geschieht durch Lösung eines nichtlinearen Optimierungsproblems. Dabei wird besonders berücksichtigt, dass sich Bauteile nicht durchdringen. Ausgehend von einem Satz von Messungen wird dann die passende Konfiguration gefunden.

Es handelt sich dabei um ein inverses Problem, d. h. man will von einer beobachteten Wirkung eines Systems auf die der Wirkung zugrundeliegende Ursache zurückschließen. Da es in der Regel meist deutlich mehr Fehlerparameter als Messungen gibt, wird aus der Identifikation ein stochastisches Optimierungsproblem.

### Einbettung in eMMA

Das neue Modul RoMI ist in die eMMA Software des Projektpartners Q-DAS (ehemals Kronion) eingebettet. Auf diese greifen zahlreiche Zulieferer aus den Bereichen Automobil-, Schiff- und Maschinenbau zu. Durch die Einbindung werden die verantwortlichen Stellen rechtzeitig informiert, bevor aus erkannten Trends echte Probleme entstehen.

1 Taktile Messung

2 Ursachenanalyse für Messabweichungen an der Oberfläche der Heckpartie eines Pkw (grüne Kugeln: Bauteil- und Fügefehler, RoMI-Quotient Q: Wahrscheinlichkeit für Fehlerquelle)





# NEWS AUS DER ABTEILUNG

## GARNSPULEN VIRTUELL FÄRBEN UND OPTIMIEREN – NEUES AIF-PROJEKT GESTARTET

Aufgrund von Färbefehlern entstehen der deutschen Textil- und Bekleidungsindustrie 8,8 Mio Euro Kosten, die sich die Branche bei zunehmendem Konkurrenzdruck aus Ostasien nicht mehr leisten kann und will. Das interdisziplinäre Projekt DensiSpul der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) hat daher zum Ziel, mit Simulationen die Ausschussquote schlecht gefärbter Spulen um mindestens 15 Prozent zu reduzieren. Das bedeutet eine jährliche Einsparung von ca. 1,3 Mio Euro in Deutschland. Daran arbeitet unser Institut gemeinsam mit dem Institut für Textiltechnologie der RWTH Aachen University (ITA) sowie der Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik (GFaI).

DensiSpul steht für die Entwicklung eines Systems zur Generierung von Einstellvorschlägen für Kreuzspulmaschinen auf Basis einer Simulation. Dazu entwickeln wir gemeinsam mit den Projektpartnern einen Algorithmus, der auf Basis der Einstellparameter der Spulmaschine eine virtuelle Spule simuliert. Daraus wird die Dichte der gewickelten virtuellen Spule berechnet, die dann für



die spätere Durchfärbung optimiert wird. Vor allem die Validierung des Materialmodells durch CT-Aufnahmen real gewickelter Spulen steht hier im Fokus. Aus der optimierten virtuellen Spule werden letztlich die Einstellparameter für die Spulmaschine abgeleitet.

## VOM DOKTORANDEN ZUM MITARBEITER

Unser Institut bietet seit seiner Gründung Stipendien für Doktoranden an, die in Kooperation mit der TU Kaiserslautern und anderen Universitäten in gut drei Jahren zur Promotion geführt werden. In unserer Abteilung stärkt dies – durch den engen Bezug zum Betreuer – die wissenschaftliche Ausrichtung.

Zudem entstehen dadurch für die Doktoranden hervorragende Jobperspektiven und für die Abteilung potentieller Zugriff auf ausgezeichnet vorgebildete Mitarbeiter. 2017 haben so die beiden neuen Mitarbeiter Jaroslaw Wlazlo und Tobias Seifarth ihre Promotionen in Kaiserslautern und Kassel erfolgreich abgeschlossen.



Von vorne, links nach rechts: Dr. Tobias Seifarth, Dr. Walter Arne, Dr. Timo Wächtler, Dr. Simone Gramsch, Dr. Almut Eisenträger, Dr. Raimund Wegener, Dr. Dietmar Hietel, Matthias Eimer, Jens Bender, Dr. Jaroslaw Wlazlo, Dr. Robert Feßler, Dominik Linn, Raphael Hohmann, Manuel Wieland, Dr. Andre Schmeißer, Dr. Jan Mohring, Johannes Schnebele, Dr. Simon Schröder, Markus Rein, Dr. Jörg Kuhnert



# STRÖMUNGS- UND MATERIALSIMULATION



Gemeinsam mit dem Institut für Verbundwerkstoffe (IVW) entwickeln wir im »Leistungszentrum Simulations- und Software-basierte Innovation« Simulationsmethoden zur Virtualisierung des Sheet Molding Compounding von Faser-Kunststoff-Verbunden. Das Bild zeigt die SMC-Anlage mit Duroplastimprägnierung und Absauganlage im Technikum des IVW.





## INDUSTRIELL TAUGLICHE MULTISKALEN- UND MULTI-PHYSIKMETHODEN UND SOFTWARELÖSUNGEN

Die Abteilung entwickelt Multiskalenmethoden und Softwaretools für die Produktentwicklung sowie deren Prozessauslegung. Eine der typischen Herausforderungen ist für uns, die wechselseitige Beeinflussung von Fertigungsverfahren und multifunktionalen lokalen Materialeigenschaften simulationstechnisch zu beherrschen. Unser Alleinstellungsmerkmal liegt in der Entwicklung, Bereitstellung und spezifischen Anwendung von industriell tauglichen Multiskalen- und Multiphysikmethoden sowie firmenspezifischen Softwarelösungen.

Die Abteilung unterteilt sich – auch schon namentlich – in zwei große 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 u. a. mit den zugehörigen Herstellungsprozessen wie Mischen, Dispergieren, Einspritzen, Filtern, Beschichten und Separieren. Schwerpunkte der industriellen Anwendung sind Filtration- und Separationsprozesse sowie die Produktauslegung von Filteranlagen oder anderer verfahrenstechnischer Apparate.

Die Anwendungsprojekte adressieren oft sowohl Materialdesign als auch Strömungssimulation. So befassen wir uns im Bereich Elektrochemie mit verschiedensten Aspekten sowohl in der Materialauslegung von Batterie- oder Brennstoffzellen wie auch mit deren Herstellung, wie beispielsweise dem Befüllen von Batteriezellen.

### Kontakt

[konrad.steiner@itwm.fraunhofer.de](mailto:konrad.steiner@itwm.fraunhofer.de)

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

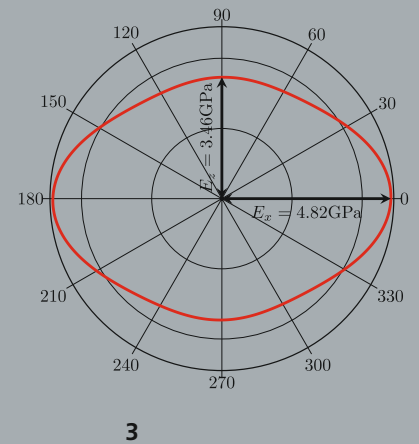
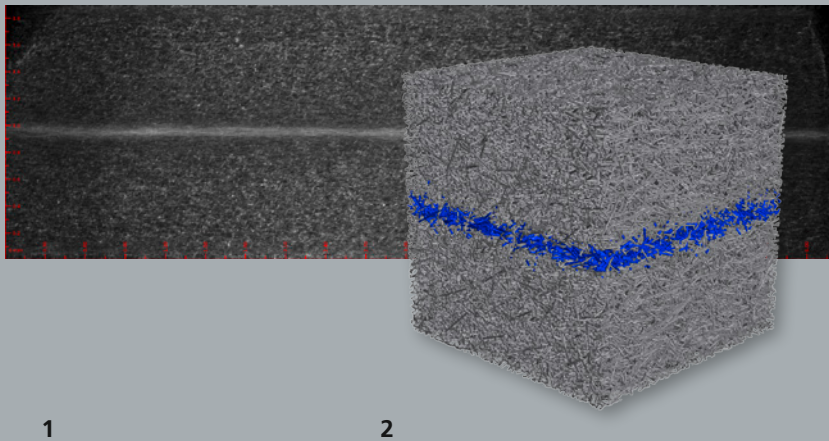


---

## SCHWERPUNKTE

- Technische Textilien und Vliesstoffe
  - Mikrostruktursimulation und virtuelles Materialdesign
  - Leichtbau und Dämmstoffe
  - Filtration und Separation
  - Komplexe Fluide und Mehrphasenströmung
  - Elektrochemie und Batterien
- 





## MEHRSKALENSIMULATION VON FASERVERSTÄRKTEN BAUTEILEN

1 *μCT-Aufnahme von kurzglasfaserverstärktem PBT mit ausgepägter Mittelschicht*

2 *Computermodell eines kurzglasfaserverstärkten PBTs, erstellt mit dem Softwaretool GeoDict*

3 *Berechnete effektive Verbundsteifigkeit in Dicken- und Längsrichtung*

Faserverstärkte Kunststoffbauteile sind von essentieller Bedeutung in verschiedenen Anwendungen, wie zum Beispiel im Automobilbau oder in der Medizintechnik. Im Projekt MuSiKo entwickeln wir Mehrskalensimulationen von faserverstärkten Bauteilen.

Bei mikrostrukturierten Materialien hängt das makroskopische Deformations- und Versagensverhalten maßgeblich von der Mikrostruktur ab, da sie vom Herstellungsprozess beeinflusst wird. So kann es z. B. bei faserverstärkten Polymermatrizen wie Polybutylenterephthalat (PBT) zu Matrixversagen, Faserbruch und Delamination kommen. Zur Vorhersage dieser Effekte reicht eine makroskopische Betrachtung oft nicht aus oder es müssen komplizierte phänomenologische Modelle verwendet werden, welche nur für spezielle Versagensfälle gültig sind.

### Verbundforschungsprojekt MuSiKo

Im BMBF-Verbundprojekt MuSiKo entwickeln wir effiziente Mehrskalensimulationstechniken gemeinsam mit Forschern der Technischen Universität Kaiserslautern, der Universität des Saarlandes und des Karlsruher Institutes für Technologie. Die Abkürzung steht für »Adaptive Approximationsverfahren zur Multiskalensimulation des nichtlinearen Verhaltens von Kompositen«. Die Industriepartner Robert Bosch GmbH und Siemens PLM Software unterstützen das Forschungsprojekt.

Der verwendete Mehrskalensatz basiert auf einer gekoppelten Lösung des makroskopischen und des mikroskopischen Problems. Als Eingangsparameter für die Simulation müssen lediglich die Eigenschaften der Matrix und der Fasern sowie die lokale Faserorientierung bestimmt werden. Das mechanische Verhalten auf der Bauteilebene ergibt sich durch die gemittelten mikroskopischen Größen.

### Prozesskette für glasfaserverstärkte Kunststoffe

Im Projekt MuSiKo, welches im Jahr 2017 erfolgreich abgeschlossen wurde, haben wir gemeinsam mit den Partnern die komplette Prozesskette für glasfaserverstärkte Polybutylenterephthalat-Kunststoffe (PBT) durchgeführt – von der Messung der Stoffeigenschaften über die Bestimmung der Faserorientierung mittels  $\mu$ CT bis hin zur Mehrskalensimulation. Die Simulationsergebnisse sind durch entsprechende Bauteilmessung validiert.

Durch diese Simulationstechnik ist es möglich, den Spritzgussprozess (z. B. Temperatur, Angussstellen) von faserverstärkten Bauteilen hinsichtlich der Bauteilfunktionalität zu optimieren.



## MATERIALGESETZE FÜR DIE BAUTEILSIMULATION AUTOMATISCH ERMITTELN

Faserverstärkte Kunststoffe spielen im Leichtbau eine große Rolle. Gründe hierfür sind das gute Gewicht-Steifigkeitsverhältnis sowie die kosteneffizienten und massenproduktionsstauglichen Fertigungsverfahren. Für die Entwicklung und Auslegung von kurzfaserverstärkten Bauteilen haben wir in mehreren Projekten mit Bosch eine integrative Simulationskette entwickelt, die den Fertigungsprozess und die daraus erzeugten Materialeigenschaften automatisch berücksichtigt.

Bei den Fertigungsverfahren der faserverstärkten Kunststoffe wird die Kunststoffmasse bei mittlerem bis hohem Druck in eine Bauteilform eingespritzt bzw. gepresst. Die entstehenden Strömungsvorgänge beeinflussen die Faserorientierung und damit die mechanischen Eigenschaften wesentlich.

### Integrative Simulationskette

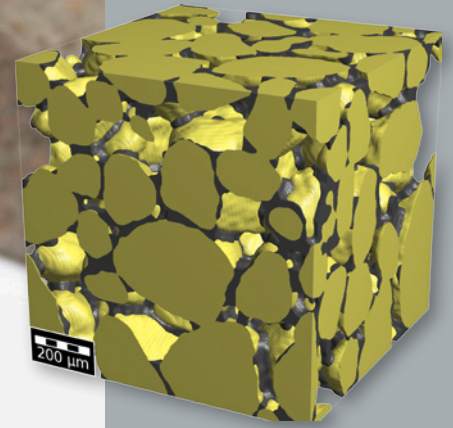
Vor der Bauteilsimulation, in der sogenannten Offline-Phase, befüllen wir zunächst eine Materialdatenbank für verschiedene Faserorientierungen. Dies geschieht unter Verwendung von mikro-mechanischen Simulationen aus FeelMath und Modellreduktionsmethoden. FeelMath ist ein von uns entwickeltes Analyse-Tool zur Berechnung effektiver mechanischer und thermischer Eigenschaften von Mikrostrukturen, die durch Volumenbilder (beispielsweise CT-Aufnahmen) oder analytische Beschreibungen gegeben sind. Anschließend werden die Ergebnisse der Spritzgussimulation mit den Softwarelösungen FLUID, Moldflow oder Moldex 3D auf das Finite-Elemente-Netz (FE-Netz) der Bauteilsimulation übertragen.

Während der Bauteilsimulation mit Abaqus interpolieren wir abhängig von den tatsächlich auftretenden Faserorientierungen zwischen den in der Offline-Phase ermittelten Materialgesetzen und berücksichtigen auf diese Weise die lokal veränderlichen mechanischen Eigenschaften. Dieses Vorgehen ermöglicht es uns, das Leichtbaupotenzial von faserverstärkten Kunststoffen voll auszunutzen und vermeidet übergroße Sicherheitsfaktoren bei der Auslegung.

1 Beispiel für ein faserverstärktes Kunststoffteil: die Steckschnalle eines Lanyards

2 Oben: Randbedingung der Abaqus-Simulation; unten: von Mises-Vergleichsspannungen der Abaqus-Simulation





## µ-KERN: MIKROSTRUKTURBASIERTE BERECHNUNGSMETHODE FÜR SANDKERNE

1 Der Sandkern wurde durch ein Kernschießverfahren am UTG erzeugt. Die Sandkörner sind durch ein Bindemittel zu einer Form gebunden.

2 In der virtuell erzeugten Mikrostruktur sind Sandkörner in beige und Binder in grau zu sehen.

Die Gießereitechnik benutzt Sandkerne, um Kühlkanäle in einem Zylinderkopf abzubilden. Diese werden vor dem Abguss der metallischen Schmelze in die Außenform eingelegt und nach dem Gießprozess zerstört, um ein sandfreies Gussteil zu erzeugen. Sie bestehen aus dem granularen Stoff Quarzsand, der durch ein Bindemittel zu einem porösen Komposit gebunden wird. Wir entwickeln im Projekt µ-Kern mikromechanische Simulationsmodelle für Sandkerne in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Umformtechnik und Gießereiwesen (UTG) an der TU München.

### Eigenschaften von anorganisch gebundenen Sandkernen berechnen

Ein neuartiger anorganischer Binder auf Silikat-Basis erfüllt strengere Umweltschutzgesetze und ermöglicht eine nachhaltige, emissionsarme Produktion. Aber dieser Wechsel der verwendeten Komponenten verändert das physikalische Verhalten des Sandkerns und das Ergebnis ist erst nach Durchlauf der gesamten Prozesskette sichtbar. Um die Entwicklung zu beschleunigen, modellieren und simulieren wir den Prozess.

Ausgehend von Eingangsparametern – wie dem Herstellungsprozess und den verwendeten Materialien – berechnen wir effektive physikalische Eigenschaften wie Festigkeit, Gasdurchlässigkeit und Wärmeleitfähigkeit. Im ersten Teil des Projekts erzeugen wir eine repräsentative Mikrostruktur für das Sand-Binder-Komposit. Im Mikro-Computertomographen erstellen wir hochaufgelöste Strukturaufnahmen von existierenden Kompositen.

### Validierung der erzeugten Strukturen

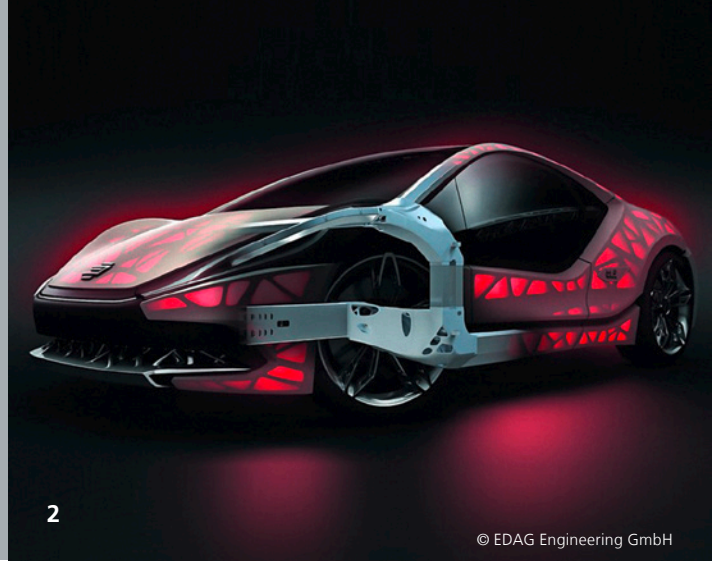
Die Partner des UTG messen die elastischen Eigenschaften des Sandes und des Binders. Dann erzeugen wir virtuelle Mikrostrukturen mit stochastischen Methoden und validieren diese, indem wir sie mit den Strukturaufnahmen vergleichen. Die Eigenschaften des Sandes, wie Kornform, -größe sowie -größenverteilung, und des Binders, wie Volumengehalt und chemische Zusammensetzung, beeinflussen die physikalischen Eigenschaften des Komposits. Wir untersuchen die Abhängigkeit der elastischen Spannungen im Komposit von den elastischen Eigenschaften der verwendeten Materialien Quarzsand und Wasserglas.

Im zweiten Teil des Projekts berechnen wir zudem die Gasdurchlässigkeit und die Wärmeleitfähigkeit. Dafür benutzen wir das Stokes/Navier-Stokes-Modell. Außerdem verallgemeinern wir das elastische Modell auf nichtlineare Schädigungseffekte.



1

© Fraunhofer ILT, Fraunhofer IPT



2

© EDAG Engineering GmbH

## MODELLIERUNG UND SIMULATION ADDITIVER FERTIGUNG MITTELS SELEKTIVEN LASERSCHMELZENS

Additive Fertigungsverfahren sind heutzutage fester Bestandteil der industriellen Produktion für hochbeanspruchte und nur in kleinen Stückzahlen benötigte Bauteile – wie z. B. Schaufeln oder Kraftstoffdüsen für Gasturbinen. Neben der Luftfahrt ist der Automobilbau wegen seiner großen Produktvielfalt für die additive Fertigung prädestiniert. Im Rahmen des BMBF-Projekts CustoMat3D entwickeln wir gemeinsam mit Kooperationspartnern Simulationsansätze in diesem Bereich.

### Neue Freiheitsgrade und Möglichkeiten in Formgebung

Das Grundprinzip der additiven Fertigung, der schichtweise Aufbau, eliminiert viele Einschränkungen bezüglich der Formgebung. Im Gegensatz zu den etablierten Fertigungsmethoden ermöglicht dies, Strukturbauteile nicht mehr nur als »Einheitsstruktur« auf den Worst-Case-Lastfall auszuliegen, sondern das variantenabhängige Leichtbaupotenzial voll auszunutzen.

Die derzeit verwendeten Aluminiumlegierungen sind im Allgemeinen nicht für einen speziellen Einsatzzweck maßgeschneidert und schöpfen somit das Kosten- sowie Gewichtsreduktionspotenzial nicht aus. Zudem ist der optimale Simulationsansatz noch Gegenstand aktueller Forschung.

### Maßgeschneiderte Aluminiumwerkstoffe für die Automobilindustrie

Im Projekt CustoMat 3D arbeiten wir mit Daimler, Concept Laser, MAGMA Gießereitechnologie, Fraunhofer IAPT, ECKA Granules, FKM Laser Sintering, dem Institut für Werkstofftechnik IWT sowie Altair Engineering zusammen. Das Projekt wird gefördert im Rahmen der BMBF-Ausschreibung »ProMat\_3D«. Ziel ist die simulationsgestützte Entwicklung und Qualifizierung von maßgeschneiderten Aluminiumwerkstoffen für die laseradditive Fertigung in der Automobilindustrie.

In Kooperation mit MAGMA entwickeln wir neue Simulationsansätze für die dabei auftretenden, extrem schnellen Phasenumwandlungen und Erstarrungsprozesse sowie den sich daraus ergebenden Materialgefügen. Zur Vorhersage des Verzugs berücksichtigen wir alle relevanten Längen- und Zeitskalen. Das heißt, es werden besonders einbezogen:

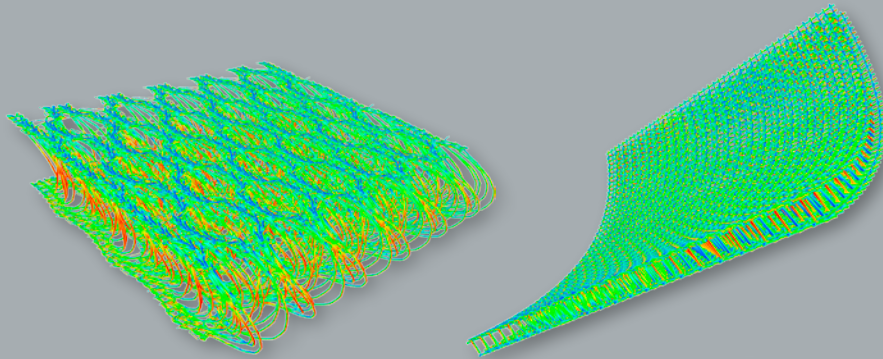
- die Details des Pulvers sowie des Schmelzbads in der Nähe des Lasers
- die Auswirkungen des punktförmigen Wärmeeintrags durch den Laser auf die Eigenspannungs- und Temperaturverteilung im gesamten Bauteil

Wir entwickeln eine simultane Mehrskalermethode, die das Bauteil in ein Nah- und Fernfeld unterteilt und – an die lokalen physikalischen Gegebenheiten angepasst – modelliert und diskretisiert.

1 *Beim selektiven Laserschmelzen wird der zum Bauteil gehörende Anteil der Pulverschicht zunächst aufgeschmolzen und dann für eine bessere Oberflächengüte die Kontur nachgefahren.*

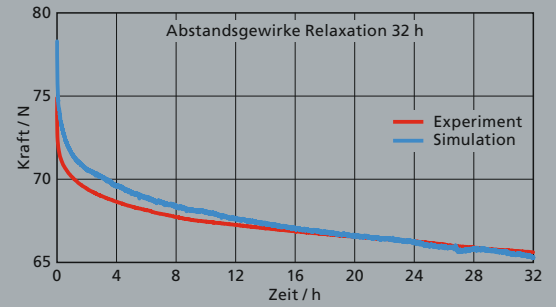
2 *Die Karosserien von morgen sind nicht nur leichter, sondern vor allem hochflexibel konzipiert. Der Concept Car EDAG Light Cocoon wurde mit einer umfassend bionisch optimierten und generativ gefertigten Fahrzeugstruktur konzipiert.*





1

2



3

## SIMULATION MECHANISCHER EIGENSCHAFTEN VON ABSTANDSGEWIRKEN

- 1 *Kompressionsberechnung eines Abstandsgewirkes*
- 2 *Biegungsberechnung eines Abstandsgewirkes*
- 3 *Vergleich von simulierter und gemessener Relaxationskurve von Abstandsgewirken unter Kompression*

In verschiedenen Projekten simulieren wir Abstandsgewirke. Dabei handelt es sich um doppelflächige Textilien, in Form von Platten oder Schalen, die aus zwei gestrickten ebenen Schichten bestehen und durch vertikale Abstandsfäden verbunden sind. Sie finden zum Beispiel in Matratzen und Sitzen Verwendung.

Die Eigenschaften von Abstandsgewirken sind charakterisiert durch verschiedene Parameter der Einheitszelle, wie die Periode, die Dicke und die Höhe der Fasern. Wir berechnen u. a. die resultierende effektive Steifigkeit und Durchlässigkeit. Um Rechenaufwand zu reduzieren, wenden wir Homogenisierungs- sowie Dimensionsreduktionalgorithmen an. Das Abstandsgewirke wird durch eine äquivalente effektive elastische zweidimensionale Schale dargestellt.

Dabei wird die aufgelöste Mikrostruktur für die Strömungssimulation beibehalten, um die effektive Durchlässigkeit zu berechnen. Das Verhältnis zwischen den geometrischen Parametern und der Belastung bestimmt, wie stark Biegung oder Zug auf der Fasermikroebene ausfällt.

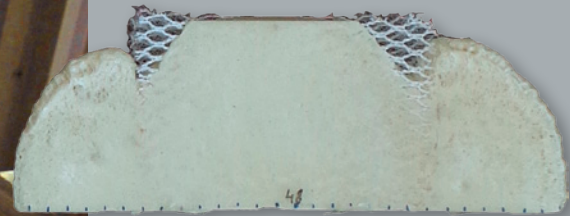
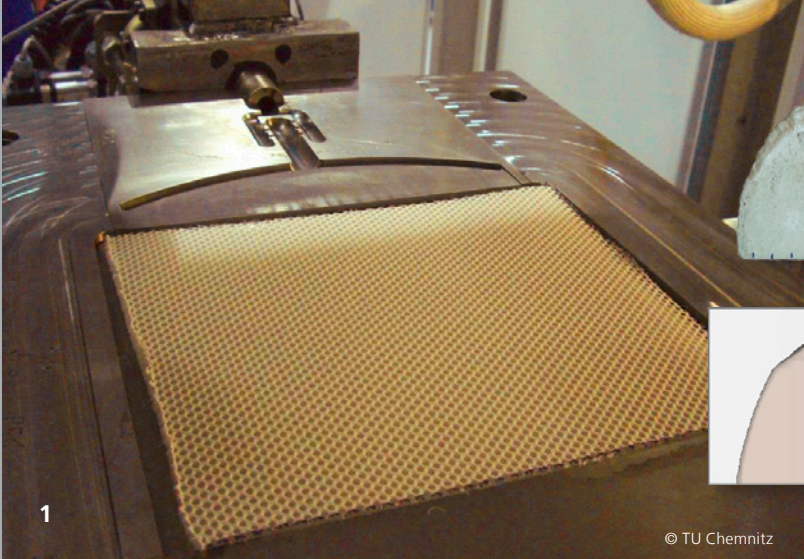
### Abstandsgewirke weisen hohe Biegsamkeit, Flexibilität und Festigkeit auf

Einer der Vorteile von Abstandsgewirken ist die gute Druckentlastung. Das heißt, ist das Material einer äußeren Druckbelastung ausgesetzt, weist es eine hohe Biegsamkeit, Flexibilität und Festigkeit auf. Im Prozess der Simulation bilden wir zunächst die komplexe Struktur der Abstandsgewirke nach, dabei werden alle Bindungen jedes gestrickten Fadens aufgelöst. Daraufhin werden die Zug-, Schub-, Kompressions- und Biegeeigenschaften mit TexMath simuliert – einer von uns entwickelten Software zur Modellierung und Analyse von textilen Materialien.

### DFG-Projekt: Struktur-Eigenschaftsmodellierung von 3D-Abstandsgewirken

Die Eigenschaften ergeben sich aus dem Strickmuster und den bekannten Kraft-Dehnungs-Kurven-, Querschnitts- und Reibungseigenschaften von Garnen. TexMath ermöglicht die Analyse von räumlichen Variationen des Textildurchlässigkeitstensors, die durch ungleichmäßige Kompression der Struktur entstehen. Dies ist auch Bestandteil des Projektes »Struktur- und Eigenschaftsmodellierung textiler 3D-Abstandsgewirke«, das von der Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird. Hier arbeiten wir gemeinsam mit der Technischen Universität Dresden.

Eine andere Frage ist, welchen Anteil die Fasertorsion zu den gesamten effektiven viskoelastischen Eigenschaften beiträgt. Dabei stellte sich heraus, dass die Relaxationszeit des Gewirkes mit der Relaxationszeit der Garntension für Abstandsgewirke übereinstimmt, wie in Abb. 3 gezeigt.



## RIM-VERFAHREN VON POLYURETHAN-SCHÄUMEN FÜR DIE ENTWICKLUNG VON VERBUNDMATERIALIEN

Verbundwerkstoffe gelten als stabil und leicht. Textilverstärkte Verbundwerkstoffe aus Polyurethan(PU)-Schäumen sind dabei aufgrund ihrer physikalischen und mechanischen Eigenschaften besonders prädestiniert. Mit unserer Simulationsplattform CoRheoS und unserer Software FLUID bilden wir den Formfüllprozess der Schäume ab.

### PU-Schäume komplex und schwer zu untersuchen

Beim RIM-Prozess (RIM = Reaction Injection Moulding) von PU-Schäumen wird ein Polymergemisch in eine Form gepresst, in der sich das Material nach wenigen Sekunden von einer Emulsion mit niedrigem Molekulargewicht durch Polymerisation zu einem komplexen Polymerschäum entwickelt.

Die Produktionsphase, die durch Vormischen der Reaktionspartner eingeleitet wird, weist zusammen mit der Entwicklung des Fließverhaltens, der Hitze, Gasbildung und Ausdehnung ein komplexes physikalisches Verhalten auf. Dies macht PU-Schäume extrem schwierig zu untersuchen.

### Optimale Simulationswerkzeuge für industrielle Anwendung entwickeln

Deshalb entwerfen wir mathematische Modelle, welche die bei der Schaumausdehnung auftretende Dynamik vorhersagen und wenden sie an, um den Formfüllprozess im Reaktionsspritzguss zu untersuchen. Mit der Plattform CoRheoS und der Software FLUID führen wir die numerischen Untersuchungen durch. Dabei ermitteln wir die erforderliche Menge an Material, um die Form vollständig zu füllen, und die Verteilung der Schaumanteile im ausgedehnten Material.

Um den Ausdehnungsprozess durch Textilstrukturen, insbesondere Abstandsgewirke, zu untersuchen, ermitteln wir per TexMath – einer von uns entwickelten Software für die Modellierung und Analyse von textilen Materialien – die relevanten Durchlässigkeits-Tensoren. TexMath ermöglicht die Analyse von räumlichen Variationen der Tensoren, die durch ungleichmäßige Kompression entstehen (siehe Seite 36).

Die so gewonnenen Daten nutzen wir in FLUID und erweitern damit unsere numerischen Untersuchungen um die Vorhersage der Schaumausdehnung durch maschengestrickte Textilien. Unsere Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit den experimentellen Daten, die am Lehrstuhl für Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung der TU Chemnitz gewonnen wurden. Wir stellen somit Simulationswerkzeuge für die effiziente industrielle Anwendung bereit, die bei Optimierung, Herstellung und Entwicklung von Verbundwerkstoffen unterstützen.

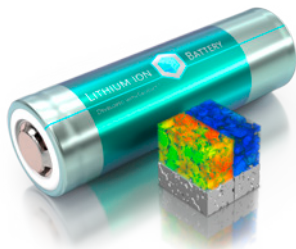
1 RIM-Prozess eines PU-Schaums mit Abstandsgewirke

2 Vergleich der Füllfronten bei einer Infiltrationsstudie





## NEWS AUS DER ABTEILUNG



© 2017 Math2Market GmbH



### »BATTERYDICT« – BEST MEETS GEODICT

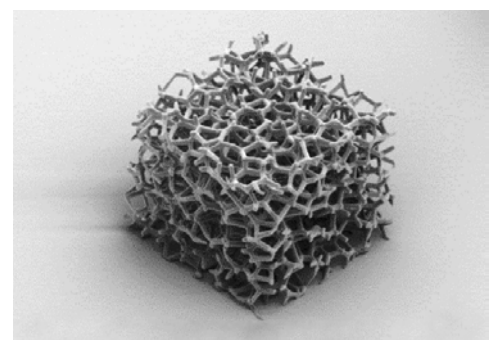
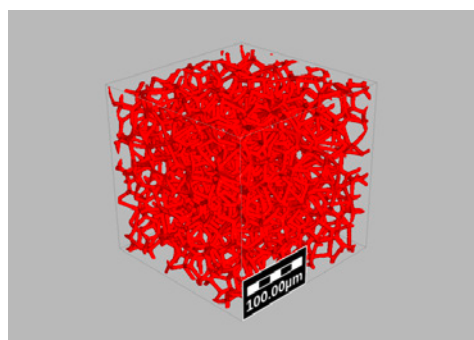
Seit 2017 wurde die Zusammenarbeit mit Math2Market (M2M) auch im Bereich der Batteriesimulationen deutlich verstärkt, um das »Battery and Electrochemistry Simulation Tool« (BEST) des Fraunhofer ITWM und GeoDict von M2M enger zu verzahnen. Hieraus ist das neue GeoDict-Modul »BatteryDict« entstanden, das komplett in GeoDict 2018 integriert ist und die Lösungsalgorithmen der BEST-Löser ansteuert. Somit gibt es neben der Stand-Alone-Batteriesimulationssoftware BEST nun auch eine vollständig in GeoDict integrierte Lösung. Auf den GeoDict User-Meetings im Herbst 2017 in Kaiserslautern, Nagoya und Tokio haben wir BEST und BatteryDict einem interessierten Kundenkreis vorgestellt und in eigenen »Short Courses« die Praxis im Detail präsentiert.

### INTEGRATIONSPROJEKT DIGITALISIERUNG DER TERAHERTZ-TECHNOLOGIE

Im Rahmen des Integrationsprojektes mit dem Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung (MC) beschäftigen wir uns mit der experimentellen Qualifizierung von Mikrostrukturen. Es dient dem Ausbau der Geschäftsfelder und dem Aufbau einer tragfähigen Zusammenarbeit.

Numerische Modelle und ihre Weiterentwicklung werden anhand experimenteller Ergebnisse validiert, um die Vorhersagekraft zu überprüfen. Gemäß der gewünschten Materialeigenschaften, wie zum Beispiel eine bestimmte Durchlässigkeit bei einer notwendigen Steifigkeit, erstellen wir im Computer eine optimale Mikrostruktur.

Diese kann dann in exakt der gleichen Größe, also mit (sub-)Mikrometer-Auflösung 3D gedruckt und hinsichtlich ihrer Eigenschaften geprüft werden. Eine Verifikation von Mikrostruktursimulationen war bisher nur indirekt möglich. Eine explizite Validierung von additiv gefertigten Mikrostrukturen schafft Vertrauen beim Kunden und eröffnet neue Märkte.







Von vorne, links nach rechts: Ruturaj Deshpande, Dr. Olena Sivak, Pavel Gavrilenco, Junfan Zhang, Dr. Ehsan Afrasiabian, Dr. Konrad Steiner, Inga Shklyar, Dr.-Ing. Tobias Hofmann, Dr.-Ing. Sarah Staub, Stephan Wackerle, Alexander Leichner, Christine Roth, Dr. Ralf Kirsch, Dr. Julia Orlik, Dr. Ikenna Ebubechukwu Ireka, Dr. Hannes Grimm-Strele, Dominik Gilberg, Dr. Torben Prill, Michael Hauck, Dr. Stefan Rief, Dr. Stephan Kramer, Dr. David Neusius, Dr. Heiko Andrä, Dr. Sebastian Osterroth, Dr. Aivars Zemitis, Jonathan Köbler, Thomas Palmer, Dr. Jochen Zausch, Dr. Dariusz Niedziela



# BILDVERARBEITUNG



---

Mörtel enthält Gesteinskörnungen wie Sand oder Kies, deren Größen und Formen seine Verarbeitungs- und Materialeigenschaften bestimmen. Unsere 3D-Kornformanalyse auf Basis von Volumenbildern hilft, diese Gesteinskörnungen für Hochleistungsmörtel zu optimieren.

---



## MASSGESCHNEIDERTE BILDANALYSE FÜR DIE PRODUKTION UND ANALYSE VON MIKROSTRUKTUREN

Wir entwickeln mathematische Modelle und Bildanalysealgorithmen und setzen diese um in effiziente industrietaugliche Software, vorwiegend in der Produktion.

Die Anwendungsgebiete erstrecken sich insbesondere auf anspruchsvolle Oberflächenprüfungen und die Analyse von Mikrostrukturen. Unser großes Algorithmenportfolio ermöglicht die Entwicklung von Bildverarbeitungslösungen, die durch industrielle Bildverarbeitung nicht geleistet werden. Darüber hinaus gibt es viele Aufgabenstellungen, für die kommerziell verfügbare Systeme nicht oder nur zum Teil eingesetzt werden können. Für diese Fragestellungen erarbeiten wir anspruchsvolle Bildverarbeitungslösungen.

Auch die Beratung nimmt einen großen Stellenwert ein, zum Beispiel zu Hardware bei der Konzeption von BV-Systemen oder zur Integration zusätzlicher Komponenten in ein bereits bestehendes System; auch unabhängige Beratung im Bereich der optischen Qualitätskontrolle oder bei der Entwicklung von Algorithmen spielt eine Rolle.

### Kontakt

[markus.rauhut@itwm.fraunhofer.de](mailto:markus.rauhut@itwm.fraunhofer.de)

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

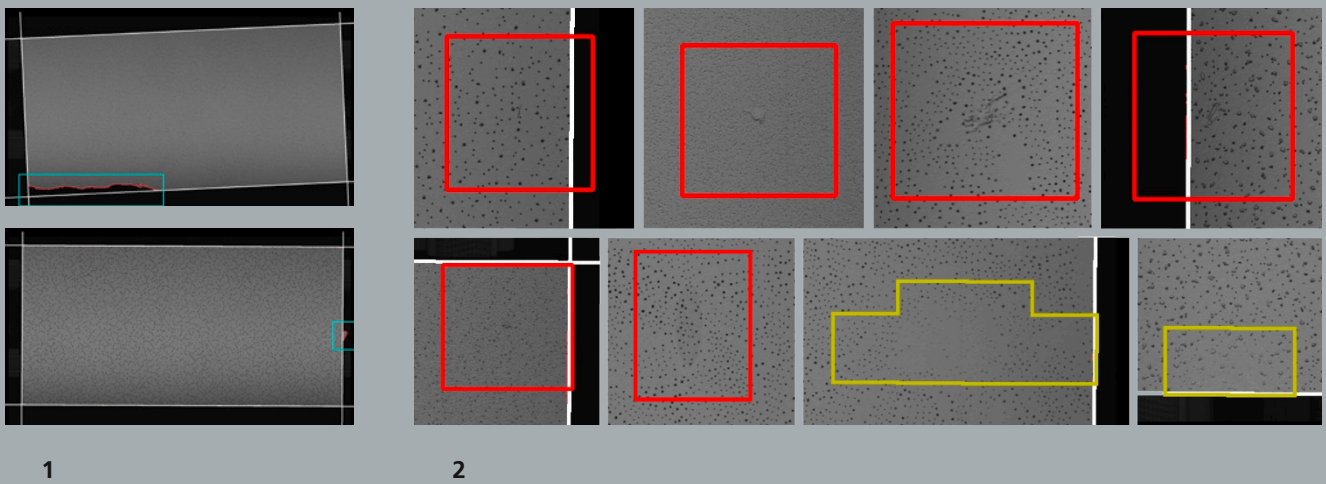


---

## SCHWERPUNKTE

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





1 Deckenplatten mit detektierten Kanten: Typische Geometriefehler sind Kantenausbruch (oben) und Überstand (unten).

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

## MODELLBASIERTES LERNEN ZUR INSPEKTION VON MINERALFASERPLATTEN

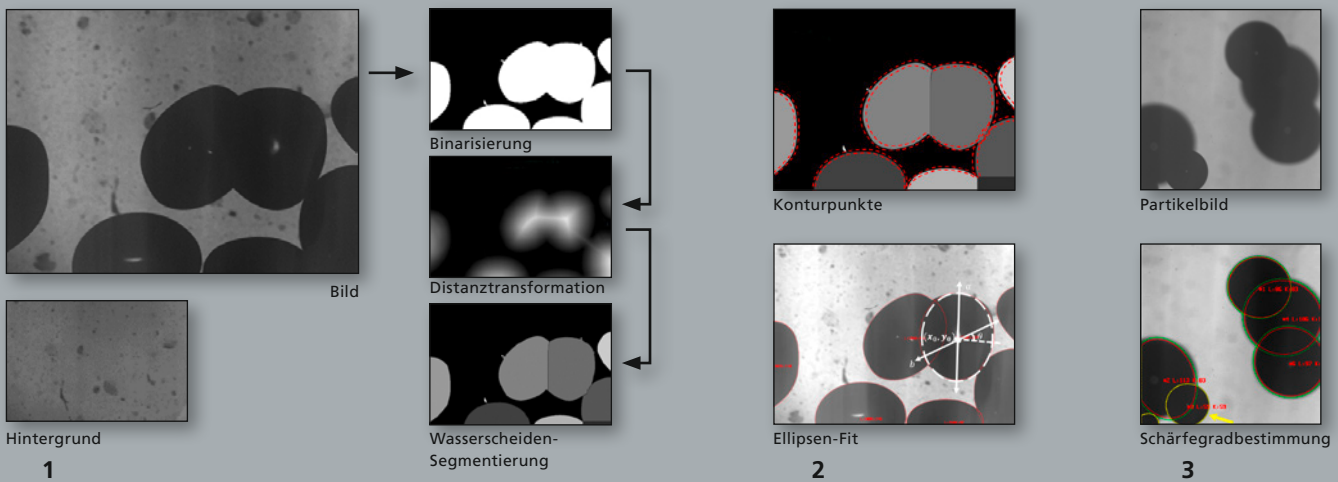
Modellbasiertes Lernen ermöglicht schnelle und flexible Bildverarbeitungslösungen. Eine solche Lösung haben wir für die Odenwald Faserplattenwerk GmbH (OWA) zur vollautomatischen Prüfung von Schallschutzplatten entwickelt und umgesetzt. Die Mineralfaserplatten der OWA haben eine Vielzahl unterschiedlicher Designs, die kontinuierlich erweitert wird. Ziel ist daher, die Auswertung so flexibel zu gestalten, damit sie sich mit kleinem Aufwand an neue Designs und Fehlertypen anpassen kann.

Schrittweise Fehlererkennung, in der eine Abfolge von Filterverfahren mit morphologischen Verfahren zu einer spezialisierten Fehlerdetektion kombiniert wird, ist aufwändig anzupassen. Stattdessen benutzen wir modellbasiertes Lernen. Das heißt, wir machen Modellannahmen, die generisch für verschiedene Produkttypen gelten, und kombinieren diese mit selbstlernenden Verfahren. In industriellen Anwendungen ist es typisch, dass hauptsächlich fehlerfreie Teile produziert werden und Fehlerbeispiele selten sind. Anstatt daher Fehler zu modellieren, haben wir eine sogenannte Ein-Klassen-Klassifikation fehlerfreier Teile benutzt. Fehler sind dann alle Bereiche, deren Eigenschaften nicht dieser Gut-Klasse zugeordnet werden können.

### Algorithmus findet großflächige und kleinteilige Fehler

Zunächst modellieren wir die Rechtwinkligkeit, indem wir die Hauptlinien mithilfe der Hough-Transformation detektieren. Auf diese Art können die Bemaßung bestimmt und erste Fehlertypen gefunden werden. Für die Fehlersuche innerhalb der Platte modellieren wir das Design oder auch die Nadelung. Wir finden hier großflächige und kleinteilige Fehler. Für die großflächigen Fehler berechnen wir Eigenschaften über die gesamte Plattenbreite, für kleinteilige Fehler in der Umgebung der Nadelung. Für beide Fehlertypen wird anhand von ausreichend vielen Beispielen die Klasse der fehlerlosen Platten gelernt. Bereits mit hundert Bildern ist eine Klassifikation möglich, die mit geringem Parametrisierungsaufwand produktiv funktioniert.

Mithilfe dieser Kombination von Verfahren stellen wir bei der Produktion neuer Produktvarianten schnell eine gute Lösung bereit, die wir zusätzlich im laufenden Betrieb mit mehr Beispielen iterativ verbessern können.



## DETEKTION UNSCHARFER UND NICHT-SPHÄRISCHER PARTIKEL IN DER THERMISCHEN VERFAHRENSTECHNIK

In der Verfahrenstechnik spielen partikuläre Prozesse eine große Rolle, z. B. in Rührkesseln, Blasensäulen, Extraktionskolonnen und Kristallisatoren. Im AiF-Projekt ORBITRO bestimmen wir die Geometrien der Partikel, um qualitative und quantitative Aussagen über die realen Prozesse zu ermöglichen. Dabei haben wir mehrstufige Verfahren entwickelt, die runde und nicht-runde Partikel stabil und schnell detektieren.

Die Umgebung der Partikel ist in der Regel zwar nicht schmutzfrei, dafür aber statisch. Wir trennen den Hintergrund vom Partikel-Vordergrund, indem wir über mehrere Bilder mitteln und anschließend mit adaptiven Schwellwerten sowohl das Partikelbild als auch das Hintergrundbild binarisieren und beide durch Rekonstruktion kombinieren. Um die daraus resultierenden Partikelregionen in einzelne Partikel zu unterteilen, nutzen wir die relative Rundheit der Partikel. Sie hilft uns, mit der euklidischen Distanztransformation mögliche Partikelzentren zu extrahieren und die Partikelkandidaten anschließend mit der Wasserscheidentransformation zu trennen.

### Detektion funktioniert auch bei überlappenden Partikeln

Die Konturpunkte der Partikelkandidaten werden nun benutzt, um Ellipsen einzupassen. Dazu wird ein sogenanntes »generelles konisches Modell« verwendet, mit dem wir für jede Ellipse mithilfe der Konturpunkte sechs Parameter schätzen. Das Fitting wählt dann diejenige Ellipse, die den kleinsten absoluten Abstand zu allen Konturpunkten hat. Auch bei überlappenden Partikeln funktioniert auf diese Art die Detektion stabil.

Zusätzlich zu den Ellipsenparametern können wir den Schärfegrad der Partikel bestimmen. Dies ist sinnvoll, da der Schärfegrad – je nach Aufnahmemethode – Rückschlüsse auf die Position der Partikel zulässt. Zur Bestimmung benutzen wir verschiedene adaptive Schwellwerte, gefolgt von sogenannter »Skelettierung«. Der Benutzer kann dann durch einen bereitgestellten Parameter selbst den Schwellwert für scharfe Partikel einstellen.

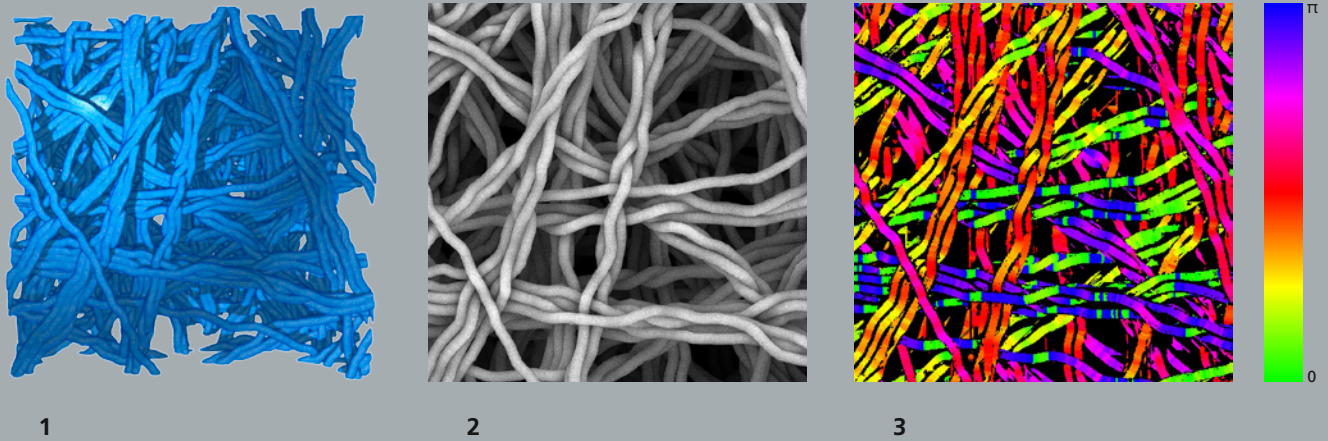
Das mit unserer Software ToolIP entwickelte Verfahren wird in die vorhandene Labview-Umgebung integriert und zur weiteren statistischen Analyse der Partikelprozesse verwendet.

1 Schrittweises Vorgehen zur Detektion der Partikelkandidaten

2 Schematische Darstellung von Konturpunkten und Ellipsen-Fit-Ergebnissen nach Optimierung

3 Unschärfebestimmung durch inneren (rot) und äußeren (grün) Umfang der Ellipsen; scharfe Ellipsen in gelb





## FASERDICKEN, FASERORIENTIERUNG UND WOLKIGKEIT MESSEN MIT MAVIfiber2d

1 *Simuliertes REM-Bild (BSE-Signal) der Realisierung eines zufälligen Fasersystems (Altendorf-Jeulin-Modell)*

Die Qualität von Vliesstoffen hängt von der Verteilung der Faserdicken, der Faserorientierung und der Wolkigkeit ab. Im Labor werden diese Eigenschaften anhand von Bilddaten bewertet. Es ist jedoch schwierig, das automatisch und damit reproduzierbar zu tun. MAVIfiber2d löst diese Aufgabe.

2 *Volumenrendering einer Realisierung des Altendorf-Jeulin-Modells*

Diffusionsfilter waren die Keimzelle der Bildverarbeitung am ITWM und das Projekt VQC, in dem die Wolkigkeit von Vliesen gemessen wurde, war eines der ersten Industrieprojekte der Abteilung Bildverarbeitung. MAVIfiber2d vereint beides mit neuen Werkzeugen der mathematischen Morphologie und dem Konzept des typischen Punkts aus der stochastischen Geometrie zu einer Software für die objektive, reproduzierbare Bewertung von Vliesproben.

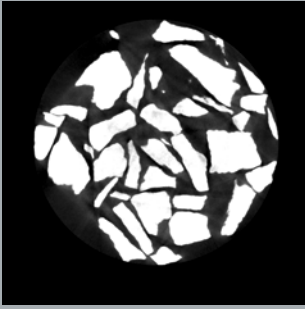
3 *Orientierungskarte für das REM-Bild aus Abbildung 2*

### Lokale Analyse ohne Fasertrennung

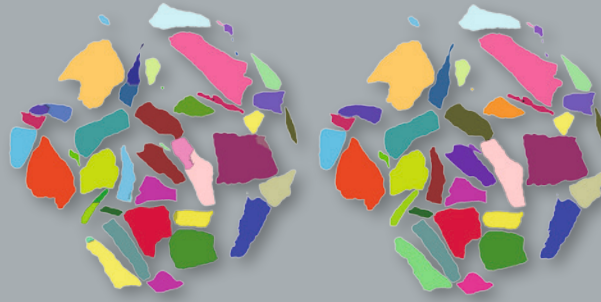
Der Begriff des typischen Punkts einer zufälligen abgeschlossenen Menge ermöglicht es, Faserdicken- und Faserorientierungsverteilungen zu messen, ohne im Bild Fasern vereinzeln zu müssen. In unklaren Situationen muss nicht entschieden werden, wo welche der sich kreuzenden oder umschlingenden Fasern beginnt oder endet. Vielmehr genügt eine simple Binarisierung – für jedes Pixel im Bild wird entschieden, ob es zum Fasersystem, also dem Vordergrund, oder zum Hintergrund gehört. Lokale Dicke und Orientierung werden in jedem Vordergrundpixel bestimmt. Das Ergebnis sind flächengewichtete Verteilungen der Dicke und Orientierung.

### Wolkigkeit aus normierten Grauwertvarianzen

Die Wolkigkeit ist mathematisch deutlich weniger klar zu beschreiben. MAVIfiber2d nimmt die VQC-Lösung auf. Das Eingabebild wird schrittweise mit approximierten Gauß-Filtern geglättet. Die Grauwertvarianzen der normierten gefilterten Bilder spiegeln die Wolkigkeit auf der betrachteten Skala wider. Der Wolkigkeitsindex wird aus den Varianzen als gewichtetes Mittel berechnet. Skalen und Gewichte werden dabei so gewählt, dass das Messergebnis den technischen Anforderungen und dem subjektiven visuellen Eindruck möglichst gut entspricht.



1



2



3

## 3D-PARTIKELFORMANALYSE FÜR HOCHLEISTUNGS-MÖRTEL

Mörtel enthält Gesteinskörnungen wie Sand oder Kies, deren Größen und Formen seine Verarbeitungs- und Materialeigenschaften maßgeblich bestimmen. Kontrolliert werden die Korngrößen mit genormten Prüfsieben. Auch grobe Aussagen zur Formverteilung lassen sich treffen, indem man statt Lochsieven Stabsiebe einsetzt. Sollen die Kornformen genauer bestimmt werden, wird bisher aufwändig manuell mit Schieblehren gemessen.

Wichtig ist aber auch die Formverteilung, denn sie bestimmt – neben der Größenverteilung – die Packungsdichten und damit die mechanischen Eigenschaften des Gemischs. Im ZIM-Projekt »Entwicklung innovativer Hochleistungsmörtel auf der Basis des Kriteriums der Kornform durch Anwendung neuer computertomografischer 3D-Mess- und Auswertetechniken« wurde erstmals Computertomografie genutzt, um die Form mehrerer Tausend Körner simultan räumlich abzubilden. In den resultierenden 3D-Bildern berühren sich jedoch die einzelnen Körner. Sie müssen deshalb bildanalytisch getrennt werden, um anschließend ihre Formen messen zu können.

Der morphologische Standardalgorithmus für die Partikeltrennung kann auch bei perfekter Parameterwahl diese Aufgabe nicht lösen, weil die Partikel zu flach und zu spitz sind. Besonders Körner, deren Form weit von der einer Kugel abweicht, zerfallen deshalb im Bild. Im Projekt wurden die Bruchstücke zunächst interaktiv zusammengefügt und dann versucht, echte Körner und Bruchstücke anhand ihrer räumlichen Geometrie zu unterscheiden. Diese Klassifizierung ist jedoch nicht möglich, weil die Kornformen zu stark variieren.

### Korrektur der Partikeltrennung

Statt der Körner bzw. der entstehenden Bruchstücke werden deshalb jetzt die Trennflächen als räumliche geometrische Objekte untersucht. Schon ihre Ausdehnung, aber auch ihre Welligkeit sind gut geeignet, echte von falschen Trennflächen zu unterscheiden. Dieser Ansatz wird derzeit erprobt und anschließend in einen Trennalgorithmus umgesetzt.

Erfolgreich getrennte Körner können bildanalytisch weitaus genauer vermessen werden, als es die bisher verwendeten mechanischen Methoden zulassen. Neben Volumen und Oberflächeninhalt können Länge, Breite und Dicke, isoperimetrische Formfaktoren, die Elongation und die maximale Dicke sowie eine Vielzahl daraus abgeleiteter Kenngrößen bestimmt werden.

1 Schnitt durch das rekonstruierte tomografische Bild einer Kornschüttung

2 Links: Derselbe Schnitt nach der automatischen Partikeltrennung; deutlich erkennbar zerfallen einzelne Körner. Rechts: Ergebnis der interaktiven Nachbearbeitung

3 Volumenrendering eines zu stark getrennten Kornes



## NEWS AUS DER ABTEILUNG



### 12<sup>TH</sup> EUROPEAN CONGRESS FOR STEREOLOGY AND IMAGE ANALYSIS 2017

Internationale Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen trafen sich am ITWM zum Stereologie-Symposium zur Verarbeitung, Segmentierung und Analyse von FIB-REM-Bilddaten; besonderes Augenmerk galt den hochporösen Strukturen. Ein Highlight der Veranstaltung: Annick de Backer wurde für ihre Dissertation über »Quantitative Atomic Resolution Electron Microscopy Using Advanced Statistical Techniques« ausgezeichnet.

### MAUS-TÜRÖFFNERTAG

Die Abteilung beteiligte sich erneut an der Aktion »Türen auf«, angestoßen von der »Sendung mit der Maus«, und präsentierte eigene Lach- und Sachgeschichten im Atrium. Rund 30 Mädchen und Jungs lernten so den Bereich Oberflächeninspektion kennen und konnten anhand eines Computerspiels selbst verschiedene Unregelmäßigkeiten auf einer Kuhhaut detektieren und klassifizieren: vom Insektenstich über die Verletzung am Stacheldraht bis hin zu Dehnungstreifen. Der Schwerpunkt Mikrostrukturanalyse wurde für die jungen Gäste erfahrbar durch die Analyse verschiedener Sorten Löffelbiskuits und das stark vergrößerte Modell eines Staubsaugerfilters, den die Kinder per Druckluft mit Schmutzpartikeln beschießen durften.



### WORKSHOP DIGITALE TECHNOLOGIEN FÜR FASERN, VLIESTOFFE UND TECHNISCHE TEXTILIEN



Zwei Tage Erfahrungsaustausch für Fachleute aus industrieller Entwicklung und anwendungs-naher Forschung: Das Themenspektrum der Vorträge war so breit wie die Anwendungsgebiete der Simulationstechnologien und umfasste Faserspinnen, technische Textilien, Faserprozesse, Vliesstoffe, Filtration sowie textile Verbünde. Die Workshop-Teilnehmer beschäftigten sich beispielsweise mit der Entwicklung neuer keramischer Fasern, der Simulation und Optimierung von Vernadelungsprozessen und der virtuellen Entwicklung von Filtermedien. Auch die rechner-gestützte Charakterisierung der Mikrostruktur von Faserverbundwerkstoffen und die virtuelle Auslegung textilverstärkter Verbundwerkstoffe spielten eine Rolle.





Von vorne, links nach rechts: Petra Gospodnetic, Bess, Dr. Katja Schladitz, Yuli Afrianti, Annika Schwarz, Nikita Nobel, Franz Schreiber, Dascha Dobrovolskij, Markus Rauhut, Mark Maasland, Sonja Föhst, Diego Roldán, Dr. Xiaoyin Cheng, Konstantin Hauch, Dr. Thomas Weibel, Dr. Ali Mogiseh, Martin Braun, Dennis Mosbach



# SYSTEMANALYSE, PROGNOSE UND REGELUNG



Im Bereich der elektrischen Netze beschäftigen wir uns mit der Modellierung, Überwachung und Regelung von Energieerzeugern, Energieverteilnetzen sowie der Energieeffizienz von Verbrauchern. Insbesondere die Analyse von bisher unbekanntem Wechselwirkungen zwischen konventionellen und erneuerbaren Erzeugern durch die Netzkopplung spielt hier eine wichtige Rolle.



## ANALYSE, PROGNOSE UND REGELUNG VON KOMPLEXEM SYSTEM- UND PROZESSVERHALTEN

Die von uns betrachteten dynamischen Systeme aus den Anwendungsfeldern Energiesysteme, Anlagen- und Maschinenregelung sowie Medizin und Biologie sind oftmals komplex, weil sie ein Netzwerk unterschiedlicher Teilsysteme und Strukturen abbilden.

Diese Systeme sind jeweils mit spezifischen Sensor- und Aktorkonfigurationen ausgestattet. In vielen Fällen müssen wir darum störungsüberlagerte Sensorinformationen berücksichtigen, wenn wir aus Messungen Informationen über das Systemverhalten gewinnen wollen. Überdies liegen uns in der Regel nur unvollständige System- und Strukturbeschreibungen vor.

Typische Aufgabenstellungen sind die Identifikation dynamischer Systemparameter (mittels mathematischer Zustandsschätzer), die Klassifikation des Systemverhaltens (mittels Machine Learning) sowie die Bereitstellung von online-tauglichen Simulationsmodellen zur Systemanalyse, zur Entwicklung von Reglern oder zur Validierung des Verhaltens von elektronischen Steuereinheiten (mit Hardware-in-the-Loop-Ansätzen).

Für die Lösung der Aufgaben greifen wir auf unsere Kernkompetenzen aus der System- und Kontrolltheorie und dem Maschinellen Lernen zurück. Spezialkompetenzen haben wir in den Bereichen differential-algebraische sowie geschaltete Systeme, in der Anwendung sequentieller Monte-Carlo-Ansätze (Partikelfiltermethoden) zur Simulation und Zustandsschätzung stochastischer Prozesse, in der statistischen Lerntheorie sowie im Bereich des Maschinellen Lernens mit tiefen Architekturen (Deep Learning).

### Kontakt

[andreas.wirsen@itwm.fraunhofer.de](mailto:andreas.wirsen@itwm.fraunhofer.de)

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

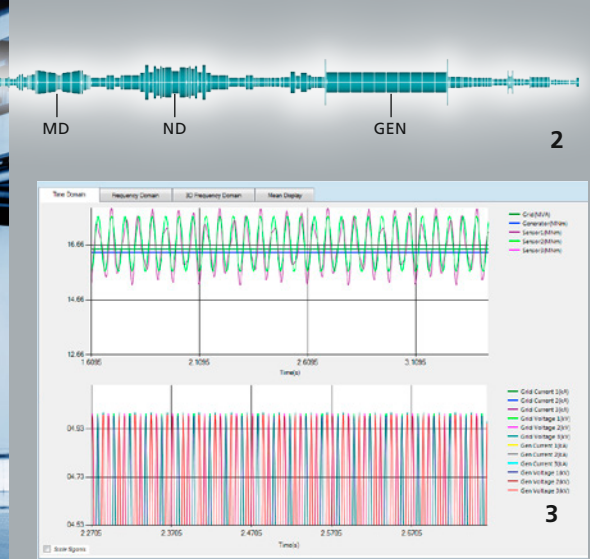
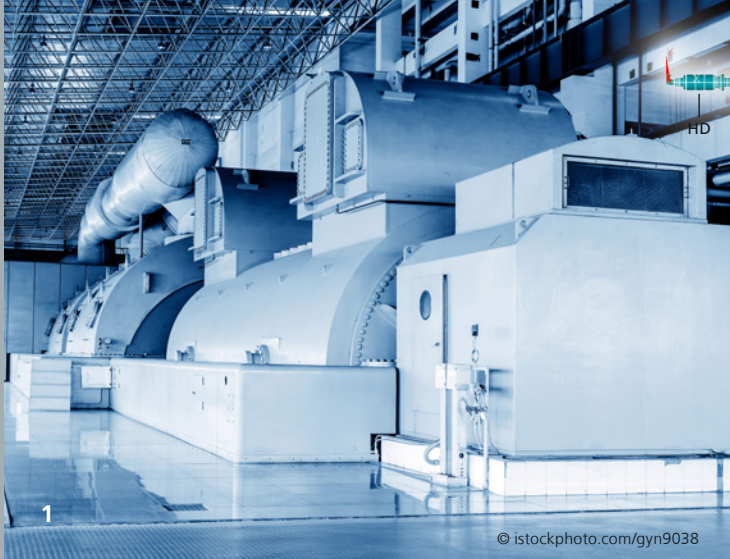


---

## SCHWERPUNKTE

- Energieerzeugung und -verteilung
  - Maschinenmonitoring und -regelung
  - Biosensorik und Medizingeräte
  - Maschinelles Lernen
  - Regelung komplexer Systeme
  - Modellidentifikation und Zustandsschätzung
- 





## TorGrid – MONITORING VON NETZRÜCKWIRKUNGEN AUF KONVENTIONELLE ENERGIEERZEUGER

1 Kraftwerksturboatz mit Erregermaschine, Generator und Turbinen

2 Schema eines Kraftwerksturboatzes mit Generator (GEN), Niederdruckturbine (ND), Mitteldruckturbine (MD) und Hochdruckturbine (HD)

3 Screenshot TorVis – TorGrid

Durch den signifikanten Anstieg der Einspeisung erneuerbarer Energien sowie die Ankopplung der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung über Wechselrichter treten neuartige dynamische Effekte im elektrischen Netz auf. Insbesondere die Behandlung von bisher unbekanntem Netzurückwirkungen auf die konventionellen Energieerzeugungseinheiten spielt hier eine Rolle.

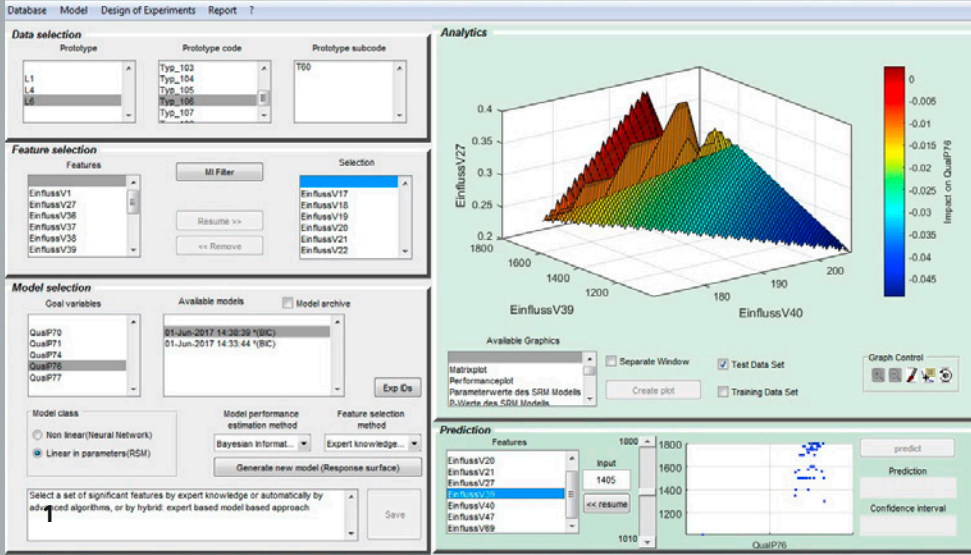
Zum Monitoring der Netzurückwirkungen auf Kraftwerksturboätze haben wir das Online-Monitoring-System TorGrid entwickelt. Dieses Messsystem erfasst synchron die Torsionsschwingungen des Wellenstrangs und die jeweils dreiphasigen Ströme und Spannungen am Generator sowie netzseitig am Transformator. Auf Basis intelligenter Trigger-Kriterien überwacht TorGrid die Messsignale und detektiert so die Events, die der Benutzer als kritisch bewertet. Neben den erfassten Messwerten von bis zu drei berührungslosen Drehmomentsensoren und den jeweils drei instantanen Strömen und Spannungen speichert TorGrid im Eventfall auch die aus diesen Messwerten bestimmten Leistungen des Generators sowie des Transformators auf der Netzseite.

### Analyse der Wechselwirkungen von Netz und Turbosatz mit TorVis

Die integrierte Visualisierungssoftware TorVis ermöglicht die nachträgliche Analyse der gespeicherten Momente-, Leistungs-, Strom- und Spannungsverläufe im Zeit- und Frequenzbereich. TorVis bietet dem Benutzer damit die Möglichkeit, die Ursache der Torsionsbelastung des Wellenstranges zum Zeitpunkt des detektierten Events zu bestimmen: externe Rückwirkungen aus dem elektrischen Netz, durch interne Mechanismen beim Erzeuger selbst ausgelöste Schwingungen oder Wechselwirkungen zwischen Turbosatz und elektrischem Netz; dazu zählen z. B. subsynchrone Resonanzen.

### Verbesserung der Planbarkeit von Revisionen

Mit TorGrid können unsere Kunden im Bereich der konventionellen Kraftwerke (u. a. Uniper Anlagenservice) ihre Revisions- und Serviceaktivitäten noch besser planen. Langfristiges Ziel ist es, die mit TorGrid erfassten Signale zur Kompensation der Netzurückwirkungen zu verwenden.



## MASCHINELLES LERNEN IN DER PRODUKTION

Seit vielen Jahren beschäftigen wir uns mit der Lösungsfindung zu unterschiedlichsten industriellen Fragestellungen; dazu setzen wir auch Methoden des Maschinellen Lernens ein. Ein Bereich ist das sogenannte Deep Learning – Maschinelles Lernen mit tiefen Architekturen.

### Datenanalyse sichert Produktqualität

Den Zusammenhang zwischen der Qualität eines Produkts und den verschiedenen Einflussfaktoren im Herstellungsprozess zu verstehen, stellt in der modernen Produktion eine große Herausforderung dar. Zur Optimierung des Herstellungsprozesses ist es nötig, das Verhalten von Qualitäts- und Performancegrößen bei Änderungen einzelner Prozessparameter quantitativ zu beschreiben. Grundlegend hierfür ist die Möglichkeit, mittels Methoden des Maschinellen Lernens Qualitätsgrößen aus Prozessparametern zu prognostizieren – in den meisten Fällen aber aus Merkmalen, die aus diesen Prozessparametern konstruiert wurden.

Hierzu entwickeln wir Merkmalsselektions- und Konstruktionsalgorithmen sowie Prozessmodelle; ihre Grundlage sind Messdaten aus dem realen Herstellungsprozess, Expertenwissen über den Herstellungsprozess sowie theoretisches Wissen.

### Predictive Maintenance – Optimale Instandhaltung durch Maschinelles Lernen

Eine technische Anlage ist dann zuverlässig und wirtschaftlich optimal verfügbar, wenn sie zeitnah und bei realem Bedarf instandgesetzt wird. Das gelingt nur, wenn das Unternehmen den Wartungsbedarf der Anlagen unter Berücksichtigung des aktuellen Produktionsplans und der vergangenen Belastungsgeschichte zuverlässig vorhersagen und damit die Verfügbarkeit der entsprechenden Ressourcen wie Fachkräfte, Ersatzteile, Logistik etc. garantieren kann.

Eine zuverlässige Vorhersage der zukünftigen Ereignisse ist ein Bestandteil jedes Predictive-Maintenance-Systems. Ein wichtiger Schlüssel liegt in der Analyse der Muster vergangener Ereignisse. Dabei werden sowohl kontinuierlich gemessene Sensordaten als auch sich wiederholende diskrete Ereignisdaten und Ausfalldaten gemeinsam mittels Joint-Modeling-Ansätzen modelliert. Wir entwickeln Methoden des Maschinellen Lernens zur Erkennung und Visualisierung komplexer Muster sowie deren Eigendynamik und Trends. Weiterhin setzen wir die Methoden ein zur Vorhersage und Charakterisierung der Zustände technischer Systeme.

1 Quantifizierung der Abhängigkeit einer gemessener Größe der Produktqualität mittels drei signifikanter Einflussvariablen eines Kunststoff-Extrusionsprozesses





## NEWS AUS DER ABTEILUNG

### ERFAHRUNGSAUSTAUSCH UND HORIZONTERWEITERUNG: KL-REGELUNGSTECHNIK-SEMINAR

Seit Herbst 2016 organisiert die Abteilung einmal im Monat das KL-Regelungstechnik-Seminar, gemeinsam mit Arbeitsgruppen aus mehreren Fachbereichen der TU Kaiserslautern. Diskutiert werden laufende oder gerade abgeschlossene Graduierungsarbeiten sowie aktuelle Forschungsprojekte; das Spektrum reicht dabei von den mathematischen Methoden bis zur technischen Umsetzung. Die Vorträge präsentieren meist Resultate, können aber auch ergebnisoffen sein, um Input der Partner zu offenen Fragen zu erhalten.

### INTERACTIVE PAPER PRIZE

Sechs Teilnehmer erreichten die Endrunde um den Interactive Paper Prize beim 20<sup>th</sup> IFAC (International Federation of Automatic Control) World Congress 2017 in Toulouse. Honoriert wird sowohl die schriftliche Version des Papers wie auch seine Präsentation. Mit *Switch Observability for Homogeneous Switched DAEs* gehörten Ferdinand Küsters, Stephan Trenn und Andreas Wirsén zu den Finalisten!

### NEUE FUNKTIONALITÄTEN IN knowCube® INTEGRIERT

knowCube® stellt Werkzeuge für interaktives Wissensmanagement und multikriterielle grafische Entscheidungsfindung bereit und ermöglicht u. a. mit beliebigen Suchbegriffen frei formulierbare Recherchen in öffentlichen und Fraunhofer-lizenzierten Internet-Quellen. Diese Prozesse arbeiten jetzt zweistufig: Ergebnislisten werden auf der grafischen Benutzeroberfläche dynamisch aufgebaut, parallel werden im Hintergrund die selektierten Dokumente analysiert, in deren Details dann bei Bedarf weiter navigiert werden kann.



Von vorne, links nach rechts: Dr. Christian Salzig, Dr. Andreas Wirsén, Hans Trinkaus, Dr. Alex Sarishvili,  
Dr. Jan Hauth, Jens Göbel, Michael Sendhoff, Dimitri Morgenstern, Ferdinand Küsters



# OPTIMIERUNG



Mehrkriterielle Optimierung und interaktive Entscheidungsunterstützung der Prozessplanung auf Basis von Modellen und Daten sowie die Unterstützung von Design of Experiments (DoE) zur Beschleunigung und Verbesserung von Produkten sind Kernaktivitäten in Forschungs- und Entwicklungsaufträgen der BASF unter dem Dach des Kaiserslauterer Leistungszentrums »Simulations- und Software-basierte Innovation« im Verbund mit der Technischen Universität und geführt vom Fraunhofer ITWM.





## INTERAKTIVE ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNG AUF BASIS VON MODELL UND DATEN

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 unsere Arbeit durch ein Zusammenspiel von 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.

Kernkompetenzen der Abteilung sind die Entwicklung und Implementierung von anwendungs- und kundenspezifischen Optimierungsmethoden zur Berechnung bestmöglicher Lösungen für das Design von Prozessen und Produkten. Alleinstellungsmerkmale sind die Integration von Simulations- und Optimierungsalgorithmen, die spezielle Berücksichtigung mehrkriterieller Ansätze sowie die Entwicklung und Implementierung interaktiver Entscheidungsunterstützungswerkzeuge.

Insgesamt wird Optimierung weniger als mathematische Aufgabenstellung verstanden, sondern vielmehr als kontinuierlicher Prozess, welchen wir durch die Entwicklung adäquater Tools unterstützen. Besonderes Augenmerk liegt auf der adäquaten Wahl des Modells hinsichtlich Menge und Qualität der verfügbaren Daten. Methoden des Machine Learning ziehen wir zur Aufbereitung der Daten und zur Kalibrierung von Modellen heran, aber auch zur Modellergänzung und Erklärung nicht explizit modellierbarer Phänomene.

### 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)



---

## SCHWERPUNKTE

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



1

© Fraunhofer IWM



2

© Fraunhofer IWM

## MIT MACHINE LEARNING DATEN UND MODELLE NUTZBAR MACHEN

1 *Planare Glasplatte vor dem Biegeprozess*

2 *Aufgeständerte Glasplatte nach dem Biegeprozess*

Modellbasierte Optimierung von Produktionsprozessen spart erheblich an Produktionskosten, und das bei gleicher oder sogar verbesserter Produktqualität. Voraussetzung dazu sind verlässliche Modelle. In der Praxis ist oft Expertenwissen vorhanden. Dieses Wissen resultiert in einem Expertenmodell, das aber meist lückenhaft ist, so dass eine Gesamtprozessoptimierung nicht möglich ist. An diesem Punkt setzen die Arbeiten unserer Abteilung im Themenkomplex »Machine Learning« an.

### Methoden des überwachten und unüberwachten Lernens

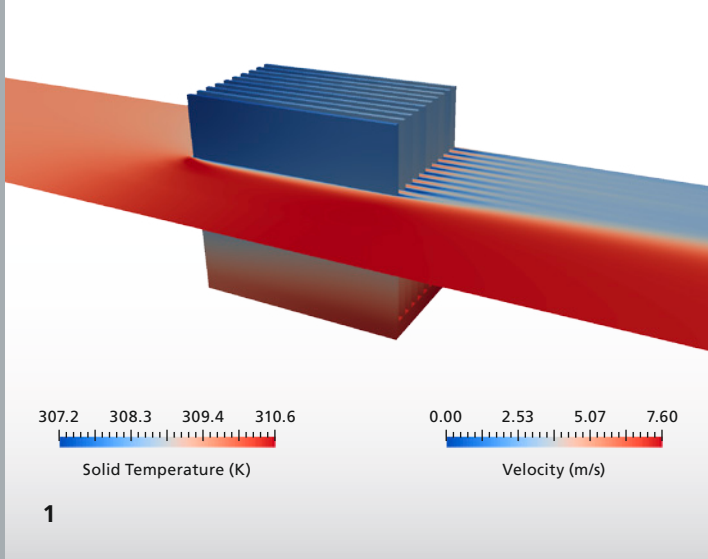
Neben dem Expertenwissen werden Produktionsprozesse mit Sensorik überwacht und der zeitliche Verlauf des Betriebszustands gespeichert. Bei chemischen Produktionsanlagen sind dies beispielsweise Druck- und Temperaturmessstellen oder in Trinkwasserversorgungsanlagen die Messung von Druck sowie Strommengen oder Füllstände von Hochbehältern. Die Chance in der Datennutzung besteht darin, die Lücken, die es im Expertenmodell gibt, durch statistische Lernalgorithmen zu schließen.

Dazu stehen uns verschiedenste Methoden des überwachten und unüberwachten Lernens zur Verfügung. Beispiele für unüberwachtes Lernen sind Mustererkennung (Detektion latenter Variablen) und Clustering in Zeitreihen. Bei den überwachten Lernalgorithmen handelt es sich beispielsweise um Klassifikationsmethoden, Regressionszugänge und künstliche neuronale Netze.

### Statistische Lernalgorithmen schaffen Zusammenhang und Verlässlichkeit

Ein Produktionsprozess besteht aus einer Verschaltung von Produktionseinheiten. Die Lücken im Expertenmodell können sich auf fehlende Modellinformationen dieser Einzeleinheiten beziehen oder auf unzureichend bekannte Zusammenhänge zwischen Zielfunktionen für die Optimierung und Designalternativen. Exemplarisch demonstrieren wir dies u. a. in einer Kooperation mit dem Fraunhofer IWM in Freiburg anhand von Glasumformprozessen. Materialparameter werden aus dem dynamischen Verhalten des Glases bei der Umformung geschätzt. Der Prozess selbst wird in physikalisch motivierten Simulationen abgebildet.

Die statistischen Lernalgorithmen erlauben, gelernte Modellzusammenhänge vorzuschlagen sowie deren Verlässlichkeit mit Vertrauensintervallen zu bewerten – nicht nur in Bereichen, in denen Daten existieren, sondern insbesondere auch für die Extrapolation in Bereiche, in denen keine Daten aufgenommen wurden. Mit Strategien der optimalen Versuchsplanung machen wir dann Vorschläge für weitere Datenaufnahmen, um Unsicherheiten bestmöglich zu reduzieren.



## WÄRMEHAUSHALT ELEKTRONISCHER SYSTEME MULTIKRITERIELL OPTIMIEREN

In Elektronikbauteilen und Computerprozessoren entsteht durch den elektrischen Leitwiderstand während des Betriebs Wärme. Je nach Rechenleistung können die Komponenten sehr heiß werden; dies führt im schlimmsten Fall zu Fehlfunktionen oder zur Zerstörung der Bauteile. Wir entwickeln für die Industrie Prozessoren, die für ausreichend Kühlung sorgen.

1 *Simulation des Luftstromverhaltens und der Wärmeverteilung*

2 *Lacktrocknung eines Elektromotors*

### Unsere Algorithmen übertreffen die Evolutionsverfahren

Passive Kühlungen leiten Wärme von Computerprozessoren entlang von Lamellen an die Luft. Die Wahl der Lamellen, ihre Dicke, Höhe und Abstand beeinflussen Temperatur und Luftverhalten, welche beim Kühlen entstehen. Unsere Algorithmen berechnen die besten Geometrien passiver Kühlungen schnell und akkurat. Im Vergleich zu den gängigen evolutionsgetriebenen Methoden ist das Ergebnis bis zu zehn Mal so gut.

Von Elektronik über Papierherstellung bis hin zu Lackierungen von Autoteilen, alle CAD-modellierten Probleme eignen sich für eine Optimierung. Sandwicking-Algorithmen lösen besonders gut konvexe Probleme. Hyperboxing-Methoden sind etwas langsamer, dafür berechnen sie die besten Kompromisse auch im nichtkonvexen Fall. Vereinfachungen von Modellen helfen uns, schneller das Optimum zu erreichen. Wir entwickeln unsere Algorithmen stetig weiter und passen sie neuen Problemen gegebenenfalls an.

### Autoindustrie aufgepasst – Kühlprozesse optimieren

Die Optimierung von Lacktrocknungsprozessen in der Autoindustrie ist unser nächstes Ziel. Temperatur, Luftströmung und Position lackierter Autoteile verändern den Trocknungsprozess in einem Lackierofen. Wir optimieren diesen Vorgang bezüglich der Temperaturverteilung und des Energieverbrauchs, ohne dabei Qualität einzubüßen.

Unser Kooperationspartner, das Fraunhofer-Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics FCC in Schweden, hat ein Simulationsverfahren entwickelt: Der IPS IBOFlow kann viele industrielle Prozesse darstellen und automatisiert analysieren. Damit berechnen wir den Wärmeaustausch und die Strömungsdynamiken von Kühlungen.





1 *Labormitarbeiter testet die Benetzungseigenschaften eines Siliziumwafers.*

## DIGITALE PRODUKTENTWICKLUNG BEI BASF

Eine der größten Herausforderungen in der Produktentwicklung in der chemischen Industrie ist es, mit möglichst geringem Aufwand eine kostengünstige chemische Zusammensetzung zu finden, welche gleichzeitig gewisse Qualitätseigenschaften hat.

### **Problemstellung, Projektbeispiel und Softwareentwicklung**

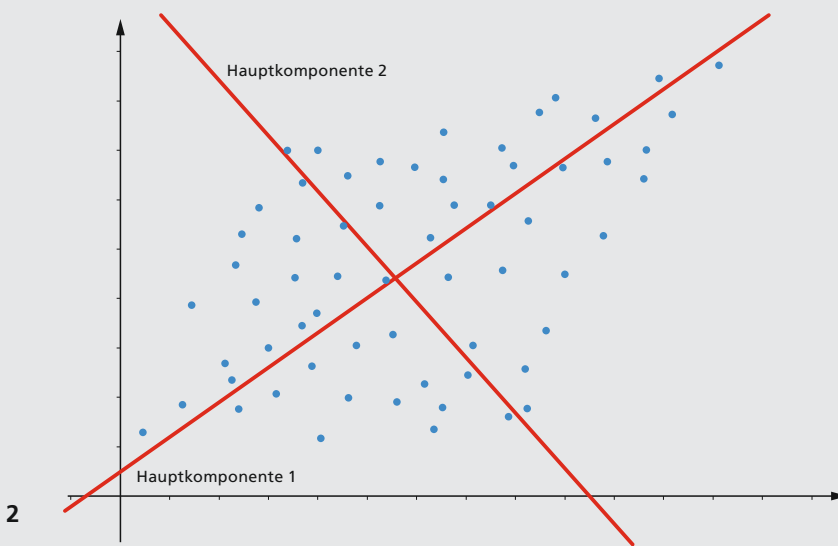
Ein Beispiel ist die Herstellung von Oberflächenbeschichtungen. Je nach Einsatzgebiet der Beschichtung sind verschiedene Eigenschaften wünschenswert. Neben dem Schutz der Oberfläche geht es beispielsweise auch um Glätte oder optische Eigenschaften. Nicht selten stehen sich die Ziele dabei gegenseitig im Weg, so dass ein geeigneter Kompromiss gefunden werden muss.

Ein typischer Workflow für ein neues Forschungsprojekt stellt sich wie folgt dar: Zunächst legen wir die Zielfunktionen und Designgrößen fest, bevor eine erste Versuchsreihe startet. Auf Basis der ersten Ergebnisse erstellen wir ein mathematisches Modell, um Vorhersagen für geeignete Designspezifikationen zu treffen. Darauf aufbauend wird eine neue Versuchsreihe gestartet und dieser Prozess solange iteriert fortgesetzt, bis eine zufriedenstellende Zusammensetzung gefunden ist.

Unsere Abteilung hat ein Softwaretool entwickelt, welches den Chemiker im gesamten Prozess begleitet. Das beginnt mit der Analyse und Visualisierung der Daten, setzt sich fort mit der Modellierung der einzelnen Zielgrößen bis hin zum Finden von optimalen Kompromissen und dem Planen von neuen Versuchen.

### **Maschinelles Lernen und Modellierung**

Einen besonderen Stellenwert nimmt dabei die Wahl des mathematischen Modells ein, welches die Zielfunktionen in Abhängigkeit der Designvariablen beschreibt. Die Prozesse in der Chemie sind oft hochkompliziert und schwierig zu modellieren. In Zusammenarbeit mit der BASF SE entsteht gerade ein Tool, welches an dieser Stelle ansetzt und dabei gängige Algorithmen aus dem Maschinellen Lernen zum Einsatz bringt. Das bedeutet, dass alleine aus den bisherigen Daten ein Modell gewonnen wird, welches die Zusammenhänge beschreibt. Eine besonders komplexe Herausforderung ist die Wahl eines geeigneten Modells, denn dieses ist maßgebend für die Qualität der optimierten Lösungen.



Um die Tauglichkeit des Modelles zu messen, wenden wir verschiedene Verfahren an, wie zum Beispiel die Kreuzvalidierung. Sie nimmt nur einen Teil der Daten zum Training und den verbleibenden Teil zur Validierung des Modells. Genutzt wird sie zum Beispiel in der Komponentenauswahl für lineare Regressionsmodelle, um eine Überanpassung an die Daten zu vermeiden.

Konkret geht es darum, Komponenten mit geringem Einfluss, der lediglich zufälliger Natur ist, herauszufiltern und damit die Modellqualität zu verbessern. Allerdings führt ein rein datengetriebenes Modell nur in den wenigsten Fällen zum Ziel. Daher beziehen wir das Expertenwissen des Anwenders in den Modellierungsprozess mit ein.

### Optimierung und Versuchsplanung

Ein zentraler Punkt ist die oben bereits angesprochene Planung neuer Versuche. Diese sind oft kostspielig und zeitintensiv; umso wichtiger ist eine effiziente Versuchsplanung. Das Tool unterstützt den Anwender dabei, mit möglichst wenigen Versuchen auszukommen und somit wertvolle Ressourcen zu sparen.

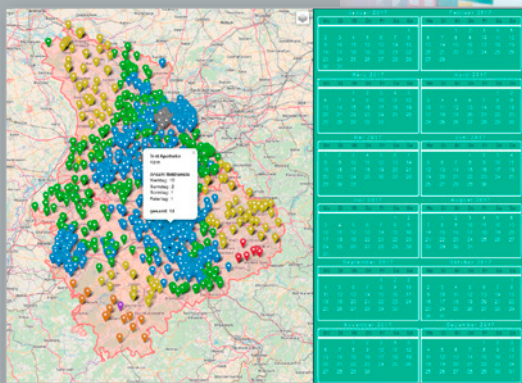
Gelöst wird dieses Problem wie folgt: Der Anwender selbst navigiert auf den Zielfunktionen in einen Bereich, welcher im Hinblick auf deren Werte besonders attraktiv ist. Voraussetzung dafür ist eine im Vorfeld durchgeführte mehrkriterielle Optimierung. In den Grenzen dieses Bereichs werden dann die neuen Versuche geplant. Auch die Vorwärtsplanung mithilfe des Modells unterstützt das Tool, sodass der Nutzer einzelne, besonders vielversprechende Rezepturen direkt testen kann. Der Anwender erhält dabei auch Informationen über die Unsicherheit der Vorhersage in Form von Konfidenzintervallen.

### Web-Architektur in einem Big Data System

Realisiert haben wir die Software als Web-Lösung mit moderner Datenbank in einem Hadoop-System, welches eine Vielzahl von Datenmengen zu verwalten mag. Dies ermöglicht eine einfache und rechnerunabhängige Verwendung des Tools auch auf mobilen Endgeräten wie Tablets und Smartphones. Zugleich erhöht es die Produktivität in der Teamarbeit, weil alle Daten zentral gespeichert sind und Benutzer damit immer Zugriff auf den aktuellen Stand haben.

**2** Die Abbildung zeigt die beiden Hauptkomponenten im zweidimensionalen Raum für einen Datensatz. Die Hauptkomponentenzerlegung teilt die ursprünglichen Größen durch Linearkombination in maximal aussagekräftige Größen und ordnet diese.





1

2



© istockphoto.com/shapecharge

## HealthFaCT – OPTIMIERUNG DER AMBULANTEN MEDIZINISCHEN VERSORGUNG IM LÄNDLICHEN RAUM

1 *Interaktives Evaluieren und Explorieren von optimierten Apotheken-Notdienstplänen*

2 *Apotheken sind ein wesentlicher Bestandteil der ambulanten medizinischen Versorgung.*

Unser Gesundheitssystem steht vor großen Herausforderungen bei der ambulanten medizinischen Versorgung. Diese muss in ländlichen Gebieten gewährleistet bleiben – trotz des Bevölkerungsrückgangs und steigender Kosten. Daher ist das Ziel von HealthFaCT (Facility Location, Covering and Transport), die knappen Ressourcen im ländlichen Bereich optimiert zu verteilen.

Im Verbundprojekt HealthFaCT entsteht ein innovatives softwaregestütztes Optimierungs- und Entscheidungssystem zur Verbesserung der ambulanten medizinischen Versorgung. Die Software soll bei strategischen, taktischen sowie operativen Entscheidungen schnell die bestmöglichen Optionen aufzeigen und evaluieren. Zusätzlich kann der Nutzer die Ergebnisse interaktiv visualisieren, explorieren, analysieren und verifizieren. Dazu entwickeln wir eine webbasierte Simulationsplattform, welche die Optimierungsmethoden der Projektpartner integriert.

### Forschungsverbund konzentriert sich auf drei Säulen

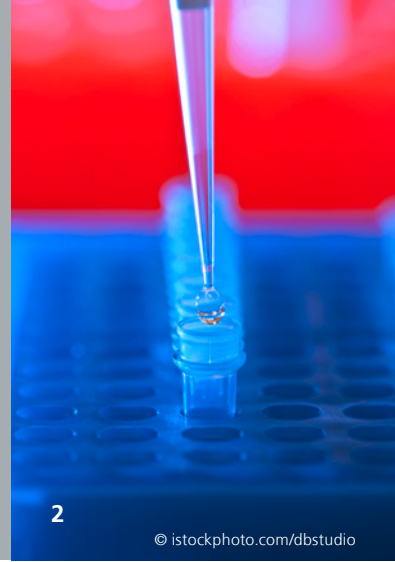
Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt konzentriert sich auf drei wesentliche Säulen der ambulanten medizinischen Versorgung: Apotheken, Notärzte sowie den Kranken- und Rettungstransport. Gemeinsam mit den Projektpartnern der RWTH Aachen, der Technischen Universität Kaiserslautern und der Universität Erlangen-Nürnberg werden folgende Bereiche der drei Säulen unter der Prognose zukünftiger Bedarfe optimiert:

- die Standortstruktur und der Notdienstplan von Apotheken
- die Standortstruktur und Ressourcenverteilung im Notarztdienst
- die Wartezeit im Kranken- und Rettungsdienst

### Die Mathematik und deren softwarebasierte Umsetzung

Mathematisch werden in diesem Projekt vor allem Standort-, Überdeckungs- sowie Tourenplanungsprobleme untersucht. Dabei sind die Herausforderungen besonders das robuste Absichern gegen Unsicherheiten sowie die Echtzeitoptimierung. Außerdem ist es in diesem komplexen Anwendungsfall mit gegenläufigen Zielfunktionen nicht möglich, eine optimale Lösung rein algorithmisch zu bestimmen.

Daher entwickeln wir ein datengestütztes Tool, das sich auf den Entscheider zentriert. Es zeigt dem Nutzer die Optionen objektiv auf und bietet Möglichkeiten zum interaktiven Evaluieren der Lösungen. Gespräche mit den Anwendungspartnern belegen den Bedarf und das enorme Potenzial eines solchen softwaregestützten Optimierungs- und Entscheidungssystems.



## METHODEN FÜR DIE PRODUKTIONSPLANUNG IN DER PERSONALISIERTEN MEDIZIN

Maßgeschneiderte Behandlungskonzepte und personalisierte Therapien sind ein zukunftsweisender Ansatz zur Behandlung von Krankheiten. Wesentliche Voraussetzungen für deren ökonomischen Erfolg sind neben der besseren Wirksamkeit sichere, kostengünstige und vor allem schnelle Produktionsprozesse industriellen Maßstabs. Schließlich möchte kein Patient lange auf seinen persönlichen Wirkstoff warten. Dazu müssen die Prozesse optimal geplant und gesteuert werden.

1 Laborgeräte

2 Pipettieren einer DNA-Lösung

### Herausforderungen der Bio-Verfahren

Bio-Verfahren haben Eigenschaften, die eine optimale Auslegung und effiziente Steuerung industrialisierter Prozesse komplizierter gestalten:

- Hohe Qualitätsstandards erfordern häufig die erneute Ausführung einzelner Prozessabschnitte für einen Patienten.
- Unterschiedliche Prozesszeiten verschiedener Vorgangabschnitte erschweren die Entwicklung eines periodischen Produktionsablaufs.
- Stark schwankende Prozesszeiten bedingen Plananpassungen und verhindern einen geordneten und vorhersagbaren Ablauf.

### Maßnahmen zur Prozessoptimierung

Eine Maßnahme zur optimalen Auslegung industrieller Prozesse ist, Kapazitäten von Teilprozessen mit hohen Fehlerraten sorgfältig zu analysieren: Mit welchem zeitlichen Abstand sollen Patienten idealerweise ankommen, so dass es keine langen Wartezeiten gibt?

Auf Basis dessen stimmen wir die Teilprozesse aufeinander ab und entscheiden, wo wieviel Mehrkapazität vorgehalten wird, um Auslastungsspitzen abzumildern. Außerdem können Investitionen in zusätzliche Geräte abgesichert werden.

Um häufige Anpassungen zu vermeiden, planen wir Puffer zwischen den Prozessschritten ein. So haben Verzögerungen nur lokale Auswirkungen und es entsteht ein periodischer Fahrplan für die Produktion: Für jeden Prozessabschnitt legen wir fest, wann er für wie viele Patienten gestartet wird. Wer und wie viele es tatsächlich sind, hängt von den Wiederholungen ab.

Wir analysieren die individuellen Herausforderungen von Bio-Prozessen und entwickeln Konzepte zur Steuerung und Optimierung der Abläufe. Zur Bewertung der Konzepte erstellen wir digitale Zwillinge der Prozesse und simulieren das Zusammenspiel der verschiedenen Aspekte.





## NEWS AUS DER ABTEILUNG



### SPIELTHEORETISCHE KOLLABORATIVE DIENSTE- PLATTFORM FÜR PFLEGEBERUFE

Im 2017 gestarteten Forschungsprojekt GamOR (GameOfRoster) entwickelt unsere Abteilung Modelle und Algorithmen, die Pflegekräfte u. a. bei der Planung ihrer Dienstpläne unterstützt. Insbesondere liegt der Fokus dabei auf der Identifikation von inkompatiblen Planungswünschen sowie deren Auflösung mithilfe spieltheoretischer Ansätze. In Zusammenarbeit mit Arbeitswissenschaftlern, Designern sowie Anwendungspartnern setzen wir die Modelle und Algorithmen in einer prototypischen Dienste-Plattform um und erproben sowie evaluieren sie im täglichen Betrieb.



### DIGITALISIERUNG VON BAUDIENSTLEISTUNGEN UND -PROZESSEN MIT INDUSTRIE 4.0-TECHNOLOGIEN

Wie kann Digitalisierung zur Verbesserung und Neugestaltung von Dienstleistungen und Prozessen im Bauwesen eingesetzt werden? Die Beantwortung dieser Frage ist das Ziel des Verbundprojekts ConWearDi (Construction – Wearables – Digitization), welches 2017 gestartet ist. Neben der proto-



typischen Implementierung einer integrierenden Plattform ist dabei die zentrale Aufgabe der Abteilung Optimierung die Erforschung von stochastischen Scheduling-Modellen, die zur Ablaufplanung und Steuerung auf Baustellen eingesetzt werden können.

### LEITPROJEKT QUANTUM METHODS FOR ADVANCED IMAGING SOLUTIONS (QUILT)

Seit einigen Jahren entsteht eine zweite Generation von Quantentechnologien. Das Leitprojekt QUILT bündelt Expertise von sechs Fraunhofer-Instituten und quantentechnologischen Einrichtungen, wie dem Institut für Quantenoptik und Quanteninformation, der österreichischen Akademie der Wissenschaften und dem Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts. Wir sind am 2017 gestarteten Projekt im Bereich des Quantenimaging beteiligt und nehmen eine Schlüsselrolle bei der Modellierung, Simulation und Optimierung von quantenbasierten berührungsfreien Methoden ein. Das Ziel ist, Bildgabeverfahren für Materialoberflächen verlässlicher, schneller und kostengünstiger zu gestalten.





Von vorne, links nach rechts: Dr. Alexander Schettrler, Jasmin Kirchner, Pascal Wortel, Prof. Dr. Karl-Heinz Küfer, Dr. Christian Weiß, Dr. Michael Helmling, Dr. Tobias Fischer, Dr. Gregor Foltin, Dr. Michal Walczak, Dr. Sebastian Velten, Dr. Martin von Kurnatowski, Dr. Volker Maag, Dr.-Ing. Tino Fleuren, Dr. Heiner Ackermann, Dr. Patricia Bickert, Dr. Neil Jami, Julie Damay, Diana Ackermann, Andreas Dinges, Dr. Neele Leithäuser, Dr. Elisabeth Finhold, Felix Riexinger, Dr. Dimitri Nowak, Dr. Michael Bortz, Till Heller, Esther Bonacker, Dr. Johannes Höller, Melanie Heidgen, Johanna Schneider, Patrick Schwartz, Dr. Raoul Heese, Tobias Seidel, Dr. Jens Babutzka, Dr. Philipp Süss, Dr. Kai Plociennik, Dr. Jan Schwientek, Rasmus Schroeder



# FINANZMATHEMATIK



Im Vertrieb und Risikomanagement von Kfz-Finanzierungen sowie Leasing-Angeboten treten finanzmathematische Fragestellungen auf, die wir in unserer Abteilung für verschiedene Industriekunden, wie zum Beispiel die BMW AG München, bearbeiten. Dabei entwickeln wir beispielsweise Modelle für die Abschlusswahrscheinlichkeit einer Finanzierungsanfrage und Prognosen für die Restwerte von Gebrauchtwagen.



## KOMPETENZ IN KLASSISCHER FINANZMATHEMATIK, DATA SCIENCE UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Unsere anwendungsorientierte Forschung liefert Lösungen bei der Entwicklung, Analyse und Umsetzung mathematischer Modelle in Unternehmen. Wir stützen uns auf neueste Ergebnisse der finanzmathematischen und statistischen Forschung. Gleichzeitig können wir auf ein Portfolio von erfolgreichen Projekten mit Banken, Versicherungen und Energieversorgern zurückgreifen.

Wir decken nahezu alle in der Praxis relevanten Bereiche der Finanzmathematik ab – von der Modellbildung bis zur Entwicklung von Bewertungsalgorithmen und deren Implementierung – und verfügen über eigene Softwarebibliotheken. Häufig entwickeln wir als Projektergebnis prozessfeste Softwaresysteme für den operativen Einsatz im Unternehmen.

Wir helfen Unternehmen dabei, ihre Daten mittels mathematischer Modellierung zu validieren und Erkenntnisse aus den Daten mittels klassischer und moderner statistischer Methoden zu ermitteln. Die Anwendungen liegen in unterschiedlichsten Bereichen des Controllings – von der Bewertung unternehmensindividueller Assets, wie Leasing-Fahrzeuge, bis hin zur Detektion von Auffälligkeiten. Wir arbeiten mit klassischen Verfahren der Statistik wie Regressionsmodellen und Clusteranalyse und verbinden diese mit aktuellen Methoden aus dem Machine Learning.

Finanzmathematische Methoden nehmen in der Energiewirtschaft eine immer wichtigere Rolle ein. Wir verfügen über Erfahrung in verschiedensten Modellen, nutzen aktuelle Forschungsergebnisse für Algorithmen zur effizienten Lösung von Bewertungsproblemen und kennen die spezifischen Probleme und Eigenschaften der Energiemärkte. Für das Risikomanagement von Portfolios bieten wir zudem fertige Software-Lösungen an.

### Kontakt

[andreas.wagner@itwm.fraunhofer.de](mailto:andreas.wagner@itwm.fraunhofer.de)

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



---

## SCHWERPUNKTE

- Finanzwirtschaft
- Controlling
- Energiewirtschaft





## KREDIT-RISIKOMANAGEMENT FÜR STAATS- UND FIRMENANLEIHEN AUF BASIS VON NACHRICHTEN

1 Mit Methoden des Maschinellen Lernens werden News aus den unterschiedlichen Medien verschlagwortet und in bestimmte Kategorien eingeteilt.

Im Projekt SenRisk entwickeln wir in Zusammenarbeit mit einem inländischen und zwei ausländischen Industriepartnern ein Kredit-Risikomanagement-System. Es wird von Eurostars gefördert, dem Programm für forschungstreibende KMU von EUREKA und der Europäischen Kommission. Neben Marktdaten und makroökonomischen Informationen werden auch gezielt aktuelle Nachrichten (Presse, Ticker, Blogs etc.) zur Verbesserung der Prognose-Qualität herangezogen.

### Machine Learning klassifiziert Nachrichten

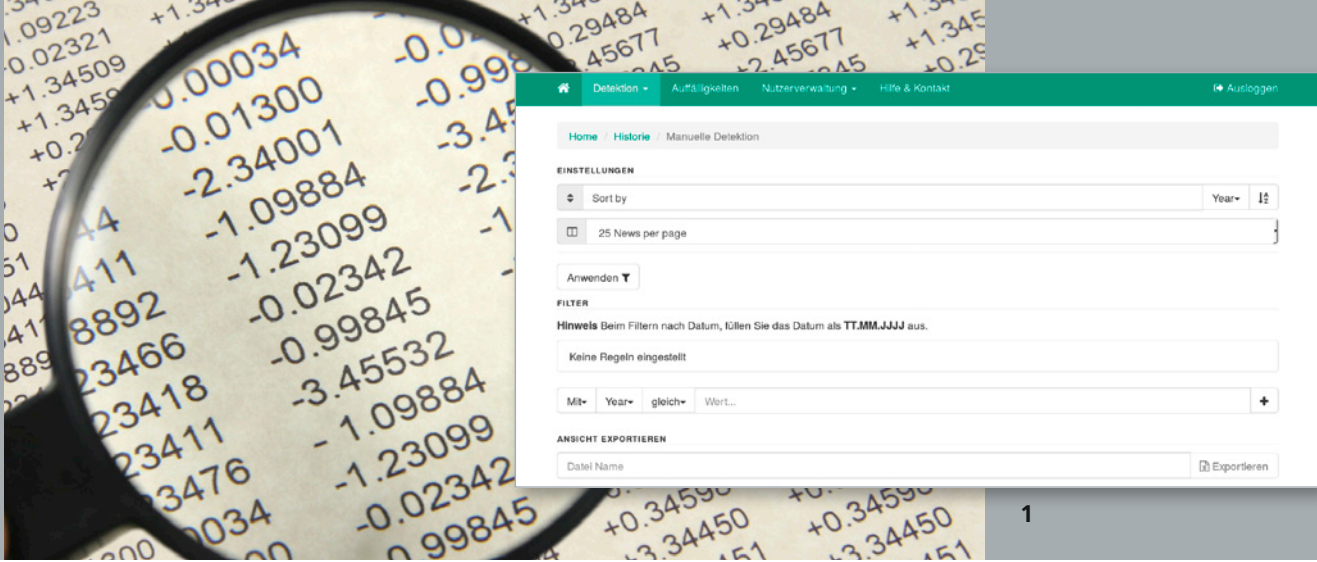
Auf automatische Nachrichtenverarbeitung spezialisierte Datenanbieter stellen aufbereitete, angereicherte und maschinell bearbeitbare Nachrichten zur Verfügung. Das heißt, mit Techniken des Maschinellen Lernens, z. B. Autoencoder-Ansätzen, werden diese Nachrichten klassifiziert. Das Einordnen

- nach Bezug (z. B. Land, Branche, Firma etc.)
- nach Themen (z. B. Management-Entscheidungen, Markteinführung eines Produktes, Gewinnwarnungen etc.)
- und Bewertung nach Schwere und Relevanz

erlaubt es, die für eine Anleihe relevanten Nachrichten herauszufiltern oder einzugrenzen.

Wir kombinieren diese neuerdings zur Verfügung stehenden erklärenden Variablen mithilfe von nichtlinearen Regressions- und Zeitreihen-Ansätzen sowie neuronalen Netzen, um zukünftige Preisveränderungen (Spread-Änderungen) zu prognostizieren oder zumindest verbesserte Risiko-Indikatoren zu entwickeln. Diese werden in einem Informationssystem zur Unterstützung von Händlern und Portfolio-Managern integriert.

Die entwickelten Methoden wenden wir auf Staats- und Firmen-Anleihen an. Anders als bei Aktien gibt es hier eine Terminstruktur aufgrund unterschiedlicher Laufzeiten; große Teile des Marktes sind weniger liquide als Aktien oder Derivate-Märkte, und die Preisbewegungen werden durch eine komplexe Kombination von Währungs-, Zins- und Konjunktur-Dynamik angetrieben.



## AUFFÄLLIGKEITSDETEKTION FÜR DAS CONTROLLING

In Projekten mit verschiedenen Partnern haben wir in der Abteilung Finanzmathematik eine Software zur Detektion von Auffälligkeiten entwickelt. Diese erlaubt es, in großen Datenmengen – in der Regel in Abrechnungsdaten – verschiedene Typen von Auffälligkeiten zu finden und zu untersuchen.

1 *Beispiel einer Detektion von auffälligen Nachrichten*

### Auffälligkeitstypen identifizieren – effiziente Algorithmen entwickeln

Mit unserer Software definieren wir verschiedene, auf den jeweiligen Anwendungsfall zugeschnittene Auffälligkeitstypen. So müssen in der Regel mathematisch einfache Auffälligkeiten, wie doppelt auftretende Abrechnungen, gefunden werden. Es werden aber auch Abweichungen von der Benford-Verteilung untersucht. Weiterhin sind bereits eine Reihe von Clusterverfahren implementiert, die es ermöglichen, beispielsweise von einer Grundgesamtheit stark abweichende Abrechnungen zu finden.

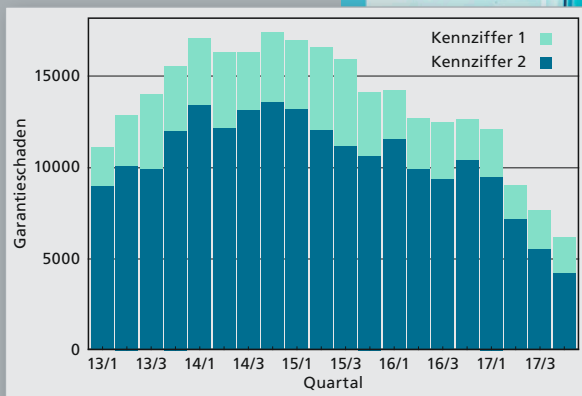
Zudem nutzen wir Methoden des Maschinellen Lernens, um Detektionsalgorithmen zu definieren. In allen Fällen ist die Entwicklung effizienter Algorithmen eine wesentliche Forschungsaufgabe in den assoziierten Projekten.

### Software unterstützt optimal im Arbeitsprozess

Die entwickelte Softwarelösung ist für den Arbeitsablauf im Controlling bestens angepasst. Mehrere Nutzer wie Administratoren, Mitarbeiter und Teamleiter können so gleichzeitig arbeiten. Die Nutzer überprüfen die von der Software gefundenen Auffälligkeiten, kontrollieren gegebenenfalls die zugrundeliegenden Belege oder Vorgänge und klassifizieren die gefundenen Auffälligkeiten nach Schweregrad oder Schadenshöhe. Dabei wird die gesamte Arbeit an einer Auffälligkeit revisionssicher als Historie mitgeführt. Der User kann in jedem Stadium die Auffälligkeiten kommentieren oder klassifizieren.

Schließlich erlaubt unsere Herangehensweise eine strukturierte Aufarbeitung der zu untersuchenden Daten, wie z. B. Sortieren und Filtern sowie einen Excel-Export aller Daten und Ergebnisse.





1

## SCHADENSHOCHRECHNUNG UND FALLZAHLBESTIMMUNG IM GESUNDHEITSWESEN

1 *Beispiel für einen berechneten Garantieschaden über einen Beobachtungszeitraum von 20 Quartalen, bezogen auf zwei betrachtete Leistungsziffern*

Bei Ermittlungsbehörden und Kranken-/Pflegekassen fallen immer wieder Pflegedienste und Vertragsärzte aufgrund falscher oder unplausibler Abrechnungen auf. Wir unterstützen sie mit statistischer Hochrechnung bei einer effizienteren Aufklärung.

Das Phänomen des Betrugs insbesondere im Pflegebereich hat in jüngster Zeit erhöhte mediale Aufmerksamkeit erhalten. Außerdem zeigten sich bei einigen osteuropäischen Pflegediensten sogar Verbindungen zur organisierten Kriminalität. Seit dem 30. Mai 2016, dem Erlass des Gesetzes zur Bekämpfung von Korruption im Gesundheitswesen (StGB § 299a, § 299b, SGB V § 197a), stehen Bestechung und Bestechlichkeit im Gesundheitswesen unter Strafe.

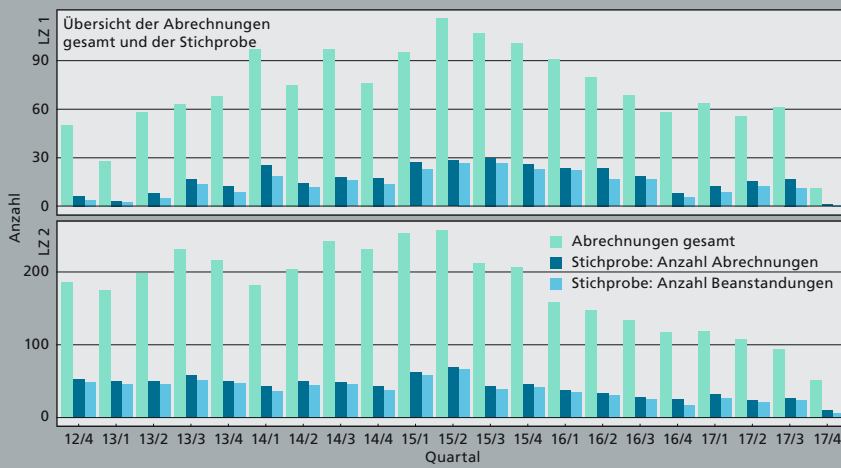
### Beispiel: Abrechnungsbetrug in der häuslichen Pflege

Gleichzeitig zeigen Erfahrungen der Kassen und Strafverfolgungsbehörden große Schwierigkeiten bei der Untersuchung von Auffälligkeiten. Dies gilt insbesondere bei vermutetem Abrechnungsbetrug in der häuslichen Pflege. Es ist sehr aufwändig, die einzelnen abgerechneten Leistungen auf Beanstandungen zu prüfen und gleichzeitig aufgrund der besonderen Situation in der Pflege (möglicherweise demente Patienten, viele »kleine« Leistungen) schwierig, bei einzelnen Leistungen eine Beanstandung nachzuweisen.

Um nicht alle Leistungen prüfen zu müssen, bestimmen wir im Auftrag der Ermittlungsbehörden einen sogenannten Garantieschaden als untere Schranke für den Gesamtschaden. Dabei wird nach Maßgaben der Statistik eine Stichprobe erhoben. Nur diese wesentlich kleinere Menge an Abrechnungen wird dann von den Ermittlungsbehörden ausgewertet.

Auf dieser Basis bestimmen wir – unter Berücksichtigung der entstandenen statistischen Unsicherheit – eine untere Schranke für den Schaden auf der Grundgesamtheit. Diese Schranke wird nur mit einer vorgegebenen, sehr geringen Irrtumswahrscheinlichkeit unterschritten. Das Verfahren ist im Arztabrechnungsbetrug vor Gericht etabliert. Dabei wird meist ein Sicherheitsniveau von 99,5 Prozent verwendet; der tatsächliche Schaden liegt also im Mittel nur in einem von 200 Fällen unter dem angegebenen Garantieschaden.

Je größer die statistische Unsicherheit, quantifiziert durch den Sicherheitsabschlag, desto niedriger liegt die Garantieschranke. Dieser Abschlag hängt unter anderem maßgeblich von der Größe der untersuchten Stichprobe ab. Gleichzeitig ist die Stichprobengröße einer der wenigen Faktoren, der von den Ermittlungsbehörden vor Durchführung der Erhebung direkt beeinflusst werden kann.



2

Daher führen wir vor der Stichprobenerhebung häufig eine Fallzahlbestimmung durch. Dabei wird eine Mindestgröße der Stichprobe so bestimmt, dass auf der allergrößten Mehrzahl der möglichen Realisierungen der Stichprobe ein sinnvoller Garantieschaden berechnet werden kann.

### Neue Methode erlaubt schnellere Abrechnungsprüfungen

Wir berücksichtigen dabei immer die konkrete Ausgestaltung der Abrechnungen. Pflege- und Arztbereich unterscheiden sich dabei in der Wahl einer sinnvollen Stichprobeneinheit. Bei der Übertragung in die Pflege haben wir in enger Zusammenarbeit mit den Ermittlungsbehörden daher eine neue Methode entwickelt, die es erlaubt, Abrechnungen schneller zu prüfen. Für das Gerichtsverfahren ist es wichtig, in welchem Turnus Leistungen abgerechnet wurden. Diese zwangsläufige Periodisierung des Schadens decken wir mit unserer Methode ebenfalls ab.

Die Verfahren lassen sich sowohl im Pflegebereich (dort: SGB V und SGB XI) als auch im Arzt-abrechnungsbetrag (dort: stationär und ambulant) anwenden. In den konkreten Fällen passen wir die statistische Methodik spezifisch an, etwa für sehr kleine Beanstandungsquoten, für den Fall klar einsehbar variierender Beanstandungsquoten oder für kleinere, aber teurere Abrechnungsgesamtheiten.

Unsere Berechnung eines Garantieschadens gibt den Ermittlungsbehörden die Möglichkeit, Fälle zu verfolgen, die aufgrund der Menge an kleinen Einzelschäden schlicht aus Zeit- und Personal-mangel nicht vollständig ermittelt werden können. Durch die zusätzliche Fallzahloptimierung vor der Stichprobenerhebung entlasten wir die Ermittlungsbehörden in ihren Ermittlungsressourcen zum Teil ganz erheblich. In einzelnen Fällen arbeitet ein Ermittler nur noch einen Monat an einer Überprüfung, die vorher zwölf Monate gedauert hat.

2 Beispiel für ein Abrechnungsprofil auf einer Grund-gesamtheit und die Zahl der Abrechnungen auf einer tatsächlich überprüften Stichprobe; in hellblau die in dieser Stichprobe beanstandeten Anforderungen





# NEWS AUS DER ABTEILUNG

## NEUE GESICHTER UND NEUE PRODUKTE

Die Abteilung Finanzmathematik ist im Jahr 2017 weiter gewachsen. Es wurden vier neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eingestellt, um den gewachsenen Anforderungen der Projektarbeit gerecht zu werden.

Hauptaufgabe unserer Abteilung war auch in diesem Jahr die Klassifizierung von Rententariifen für die Produktinformationsstelle Altersvorsorge (PIA). Darüber hinaus entstanden mit dem ALMSim-Pfadgenerator und der neu gestalteten Software zur Auffälligkeitsdetektion zwei Softwarepakete, die bereits erfolgreich vermarktet wurden. Somit steht nun in allen drei Abteilungsschwerpunkten eine vertriebsfähige Softwarelösung zur Verfügung.

Die WISA zum Thema »Risikomanagement von Versicherungsunternehmen« konnte erfolgreich abgeschlossen werden. Es wurden mehrere neue Kunden gewonnen, darunter zum Beispiel die BMW Bank und der Verbraucherzentrale Bundesverband e. V. (vzbv).

## TALENTA-FÖRDERPROGRAMM UNTERSTÜTZT BEI WISSENSCHAFTSKARRIERE

Mit Ria Grindel und Dr. Elisabeth Leoff wurden zwei Mitarbeiterinnen in das TALENTA-Förderprogramm der Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen. Dies unterstützt beide bei ihrem Berufsstart bzw. der weiteren Karriereplanung in der angewandten Forschung. Die mathematische Kompetenz unserer Abteilung wurde durch mehrere wissenschaftliche Publikationen und abgeschlossene Promotionen unterstrichen.



## AUSBLICK 2018

Für das Jahr 2018 wurden sowohl im Schwerpunkt Data Science als auch im Schwerpunkt Energiewirtschaft große Forschungsprojekte erfolgreich beantragt. Im Fraunhofer-Leitprojekt »ML4P« (Machine Learning for Production) werden wir unsere Kompetenzen im Bereich Maschinelles Lernen einbringen und neue Methoden zur Prognose von Zeitreihen entwickeln.

Im BMBF-geförderten Projekt »ENets« (Stochastische Modellierung und Steuerung der Energienetze der Zukunft) werden neuartige Modelle für den Energiemarkt kombiniert mit einer Modellierung der Strom- und Gasnetze.





Von vorne, links nach rechts: Ria Grindel, Franziska Diez, Simon Schnürch, Dr. Andreas Wagner, Philipp Mahler, Prilly Oktoviany, Dr. Elisabeth Leoff, Wieger Hinderks, Christian Laudagé, Prof. Dr. Ralf Korn, Dr. Büşra Temoçin, Dr. Robert Knobloch, Robert Sicks, Dr. Jörg Wenzel, Dr. Johannes Leitner, Dr. Roman Horsky



# MATHEMATISCHE METHODEN IN DYNAMIK UND FESTIGKEIT



Bagger und Radlader bewegen viele Kubikmeter verschiedenster Materialien. Seit vielen Jahre helfen wir Volvo mit Simulationssoftware und Dienstleistungen bei der Optimierung der Betriebsfestigkeit, der Energieeffizienz und der Mensch-Maschine-Interaktion. Eine besondere Rolle spielen dabei unsere DEM-Simulationssoftware GRAPE und der Fahrsimulator RODOS®, der von Volvo seit Jahren regelmäßig zur Entwicklung von Assistenzsystemen genutzt wird.



## SIMULATIONSGESTÜTZTE PRODUKTENTWICKLUNG IM FAHRZEUGBEREICH

Wir entwickeln effiziente daten- und physikbasierte Methoden für Betriebsfestigkeit, Zuverlässigkeit und Energieeffizienz. Mit dem Entwicklungsprojekt »Virtuelle Messkampagne« und den daraus abgeleiteten Produkten VMC® und USim kombinieren wir statistische und Simulationsmethoden mit georeferenzierten Datenbanken und stellen damit die Modellierung der Nutzungsvariabilität für die Fahrzeugentwicklung auf eine neue Grundlage. Passend dazu fokussieren wir unsere Aktivitäten zur Systemsimulation auf die Fahrzeug-Umwelt-Mensch-Interaktion. Wir entwickeln Reifensimulationsmodelle, Boden-Wechselwirkungsmodelle und Methoden zur invariante Systemanregung. Mithilfe unseres robotergestützten Fahrsimulators RODOS® untersuchen wir die Fahrer-Fahrzeug-Interaktion und entwickeln Werkzeuge zur Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen (ADAS – Advanced Driver Assistance Systems).

Die mathematische Modellierung besonders stark deformierbarer Strukturen steht im Mittelpunkt unserer Simulationswerkzeuge für Reifen (CDTire) sowie für Kabel und Schläuche (IPS Cable Simulation). Mit CDTire ermöglichen wir die effiziente Simulation von Reifen zur Optimierung von Fahrdynamik, Betriebslasten und Fahrzeugkomfort. IPS Cable Simulation hat Kabel und Schläuche im Fokus: Deren virtuelle Auslegung, Optimierung und Absicherung für Montage und Betrieb werden in Echtzeit simuliert.

### Kontakt

[klaus.dressler@itwm.fraunhofer.de](mailto:klaus.dressler@itwm.fraunhofer.de)

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

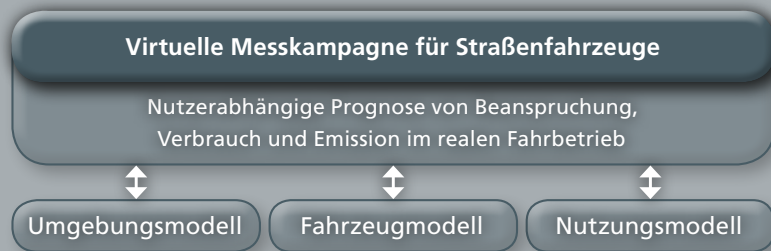


---

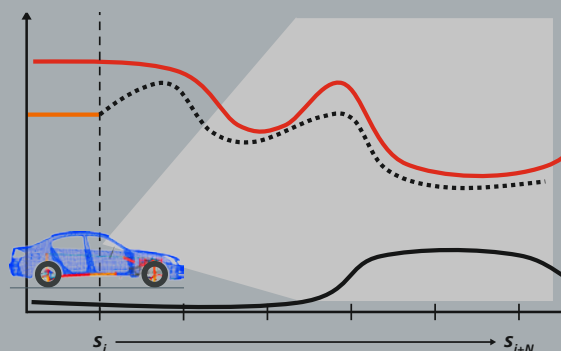
## SCHWERPUNKTE

- Nutzungsvariabilität und Lastannahmen
  - Betriebsfestigkeit und Zuverlässigkeit
  - Systemsimulation
  - Human-in-the-Loop Fahrsimulator RODOS®
  - Nichtlineare Strukturmechanik
  - Reifenmodelle – CDTire
- 





1



2

## VMC® SIMULATION – REPRÄSENTATIVE PRÄDIKTION VON LASTDATEN UND ENERGIEVERBRAUCH

1 *Hauptkomponenten der Software-Suite VMC®*

2 *Strecken-, fahrzeug- und fahrerabhängige Geschwindigkeitsprofilbestimmung*

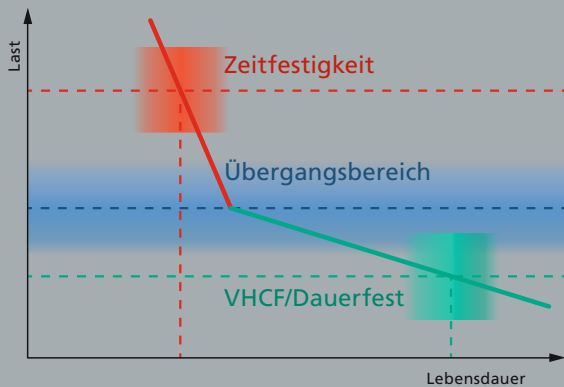
Wir beschäftigen uns seit vielen Jahren mit der Integration und Nutzung globaler georeferenzierter Daten im Entwicklungsprozess von Fahrzeugen. Daraus ist die Software-Suite Virtual Measurement Campaign (VMC®) entstanden. Ihr grundlegendes Ziel ist es, die regional stark variierende Nutzungsvervielfältigung und die hieraus resultierenden Streuungen in den Beanspruchungen und Leistungsanforderungen computergestützt zu analysieren und im Auslegungsprozess frühzeitig zu berücksichtigen.

Zuletzt wurden insbesondere im Modul VMC® Simulation einige substantielle Neuerungen konzipiert und implementiert. VMC® Simulation greift auf ein Modell der Welt zu, in dem u. a. das weltweite Straßennetz, Höhenprofile und Verkehrszeichen hinterlegt sind. Es werden vereinfachte Fahrzeugmodelle eingesetzt, um simulationsgestützt und prädiktiv fahrer- und fahrzeug-spezifische Aussagen über Beanspruchung und Energieeffizienz bzw. Verbrauch von Fahrzeugen zu machen. Nach Festlegung einer oder mehrerer Routen und der Definition von Fahrer- und Fahrzeugeigenschaften wird im Kern durch ein Verfahren der numerischen Optimalsteuerung ein Geschwindigkeitsprofil bestimmt, aus dem Längs- und Querbewertung sowie Fahrwiderstände und Energiebedarf bzw. Verbrauch abgeleitet werden können.

Die Resultate werden im Bereich der Betriebsfestigkeit und Antriebsstrangentwicklung eingesetzt, aber auch um z. B. im Kontext realer Fahrverbrauchs- und Emissionsbestimmung einsetzgerechte Referenzstrecken abzuleiten.

### Neue Entwicklungen mit MAN

In Projekten mit der MAN Truck & Bus AG wurden insbesondere verbesserte Antriebsstrangmodelle implementiert, die Aussagen über Motormoment, Drehzahl und Gangverteilungen auf ausgewählten Routen bzw. in bestimmten Regionen erlauben. Weiterhin wurde ein neuer Algorithmus entwickelt, der eine Menge von Routen und Straßenabschnitten auswählt, die für eine Region hinsichtlich bestimmter Kriterien (z. B. vorkommende Steigungen) repräsentativ ist. In einem weiteren Schritt kann dann daraus eine möglichst repräsentative Route vorgegebener Länge bestimmt werden, die auch real fahrbar ist (Kampagnenplanung).



1



2

## JUROJIN – STATISTISCHE AUSWERTUNG VON BETRIEBSFESTIGKEITSVERSUCHEN

Das Statistikprogramm JUROJIN wird für die Planung und Auswertung von Betriebsfestigkeitsversuchen entwickelt und gepflegt. Methodik und Programmgestaltung orientieren sich an Projekten und praktischen Problemstellungen aus der Fahrzeugindustrie. JUROJIN ist derzeit bei einer Reihe von Fahrzeugherstellern und Zulieferern im Einsatz.

Bevor Bauteile in Serie produziert werden, stehen für den Zuverlässigkeitsnachweis nur wenige und teure Prototypen zur Verfügung. Dennoch muss die Lebensdauer gerade für sicherheitsrelevante Bauteile zuverlässig nachgewiesen werden.

### Zuverlässigkeitsnachweis ist teuer

Es ergeben sich typische Fragen darüber, wie viele Bauteile bis zu welcher Lebensdauer getestet werden müssen oder ob man besser viele kurze oder wenige lange Versuche durchführt. Zur Auswertung der geplanten Versuche müssen die Verfahren mit kleinen Stichprobenumfängen und Durchläufern (d. h. Versuche, die ohne Ausfall beendet wurden) umgehen können.

JUROJIN beantwortet diese Fragen durch verbesserte Varianten bewährter Methoden wie Maximum-Likelihood, Darstellung in Wahrscheinlichkeitsnetzen und Success Runs. Bootstrap-Verfahren korrigieren Fehler kleiner Stichproben und berücksichtigen alle Informationen aus zensierten Daten. 2017 haben wir das Jurojin-Modul Versuchsplanung auch für die Android-Plattform zur Verfügung gestellt. Neben der umfangreichen Desktop-Suite können damit die häufigsten der oben genannten Fragen in einer schlanken mobilen Lösung beantwortet werden.

### Effiziente Wöhlermodelle

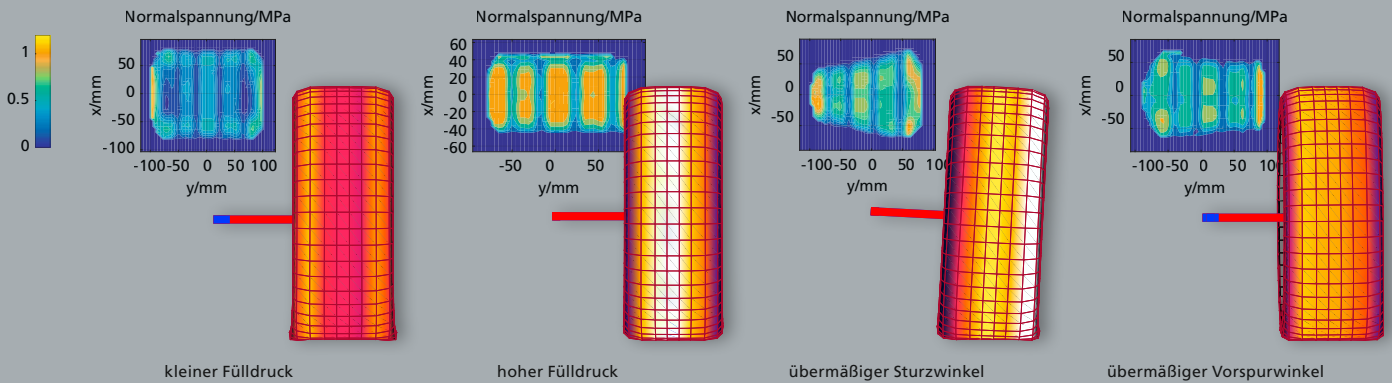
Bei zyklischen Bauteilbelastungen (Wöhlerversuche) ergibt sich bei mittleren bis hohen Lasten ein linearer Zusammenhang (im doppellogarithmischen Maßstab), Zeitfestigkeit genannt. Bei niedrigen Lasten beobachtet man oft ein Abknicken der Gerade auf einen fast horizontalen Verlauf. In diesem Dauerfestigkeitsbereich werden Lasten theoretisch »unendlich oft« (d. h. über eine Million Zyklen) ertragen. Klassisch wird hier eine Regression in Lastrichtung, also senkrecht zur Zeitfestigkeitsregression, für die Information {Bauteil fällt aus/Bauteil ist dauerhaft} durchgeführt.

Da man Zeit- und Dauerfestigkeitsdaten klassisch getrennt auswerten muss, verliert man Information. Ein von uns neu entwickeltes stochastisches Modell ermöglicht es nun, beide Bereiche gleichzeitig in JUROJIN auszuwerten.

1 *Kombiniertes Wöhlermodell*

2 *Screenshot der Versuchsplanung in Jurojin Mobile*





1

## REIFENSIMULATION IM SPANNUNGSFELD VON FAHRDYNAMIK UND REIFENABRIEB

1 *Reifenabrieb bei unterschiedlichen Fahrwerkskonfigurationen*

Im Entwicklungsprozess für ein neues Fahrzeug spielt der Reifen eine zunehmend wichtigere Rolle. Dies gilt besonders im Bereich der Fahrdynamik. Dort wurden in den letzten Jahren enorme Fortschritte erzielt durch die Entwicklung neuer Achskonzepte, aber auch durch die symbiotische Einbeziehung der Reifenentwicklung in den Fahrwerksentwicklungsprozess.

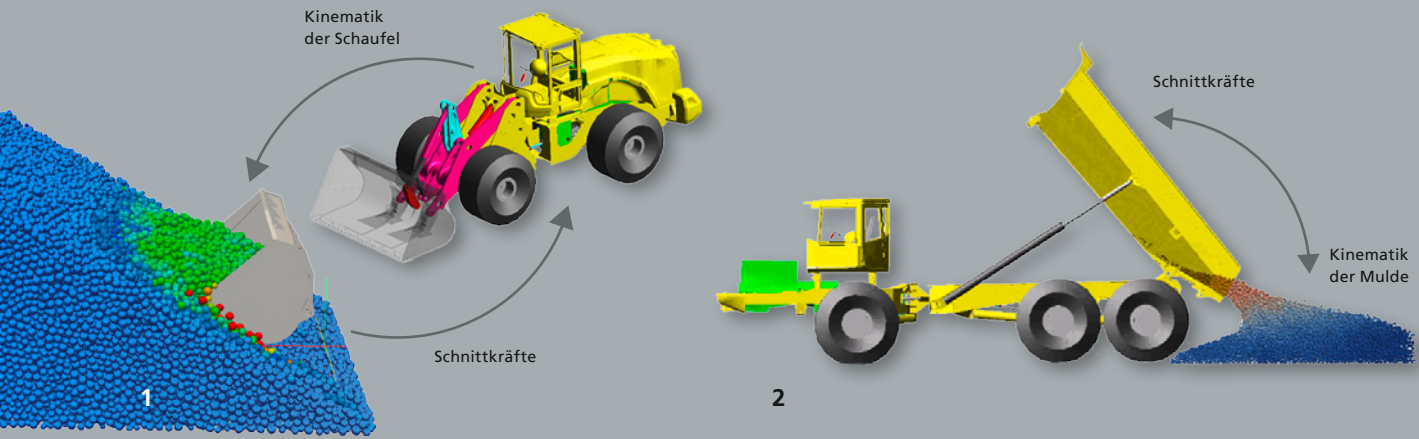
Ein sehr gutes Beispiel für die Symbiose Reifen/Fahrwerk ist die gleichzeitige Optimierung von fahrdynamischen Eigenschaften des Fahrzeugs und dem daraus resultierenden Reifenabrieb. Dieser entsteht durch die Reibung des Reifens an der Straßenoberfläche. Im Rollkontakt des Reifens ist diese Reibung, selbst beim frei rollenden Reifen, nie gänzlich zu vermeiden.

Ein geringer Abrieb beeinflusst die Führungseigenschaften des Reifens typischerweise negativ. Man versucht deshalb, sowohl Abrieb als auch Führungseigenschaften gleichzeitig zu optimieren und dafür zu sorgen, dass der Abrieb gleichmäßig über die Reifenbreite voranschreitet. Vor allem Vorspur und Sturzeinstellungen des Rades begünstigen einen ungleichmäßigen Reifenabrieb. Aber auch die richtige Wahl des Reifendruckes hat entscheidenden Einfluss auf den Abrieb. Dabei kann die Optimierung der Führungseigenschaften über Sturz und Vorspur durchaus im Widerspruch stehen zum optimalen Abriebverhalten.

### Strukturelles Reifenmodell

Um in diesem Spannungsfeld eine optimale Lösung zu finden, werden in der frühen Fahrzeugentwicklungsphase zunehmend Gesamtfahrzeugsimulationen eingesetzt. Unser strukturelles Reifenmodell CDTire/3D bietet alle notwendigen Eigenschaften, um den Reifen in der Simulation zu berücksichtigen. Es berechnet nicht nur den lokalen Reifenabrieb, sondern analysiert auch die Kontaktfläche des Reifens in allen fahrdynamisch relevanten Manövern, auch abhängig vom Reifendruck.

Damit können einerseits bei spezifiziertem Reifen Fahrwerkeinstellungen im Spannungsfeld zwischen Reifenabrieb und fahrdynamischen Eigenschaften optimiert werden, andererseits wird die Auswahl der optimalen Reifendimension unterstützt.



## BODENMODELL GRAPE IN DER VIRTUELLEN PRODUKTENTWICKLUNG FÜR VOLVO BAUMASCHINEN

Seit nunmehr über drei Jahren kooperieren wir mit Volvo Construction Equipment und konnten in dieser Zeit unsere Software GRAPE (GRAnular Physics Engine) für Partikelsimulation erfolgreich in den virtuellen Produktentwicklungsprozess bei Volvo integrieren und die Umsetzung stetig vorantreiben.

GRAPE ermöglicht es, sowohl nachgiebigen Boden als auch Erd- und Schutthaufen mit realitätsnahen Materialeigenschaften im Computer abzubilden. Die Kernfunktionalität von GRAPE liegt darin, eine Interaktion mit einem virtuellen Fahrzeug oder einer Maschine so abzubilden, dass die dabei vom Boden oder Haufen auf die Maschine rückwirkenden Kräfte realistisch vorhergesagt werden.

### Implementierung einer Kraft-Weg-Kopplung

In enger Zusammenarbeit wurde eine Kraft-Weg-Kopplung zwischen Mehrkörpermodellen von Volvo Baumaschinen und GRAPE Materialmodellen innerhalb eines Co-Simulationsschemas implementiert. Innerhalb dieser Simulationsumgebung kann nun beispielsweise Volvos Radladermodell an einen virtuellen Erdhaufen heranfahren und wir erhalten dabei die beim Befüllen der Schaufel auftretenden Kräfte an Lagern und Gelenken der Ladegabel beziehungsweise Ladeschaufel.

### Simulation entwicklungstypischer Wiederholungszyklen

Dank der Performanz unserer Software lassen sich auch entwicklungstypische Wiederholungszyklen solcher Manöver wie das Befüllen und Entleeren einer Radladerschaufel in angemessener Rechenzeit simulieren. Damit können insbesondere für den Entwicklungsprozess wichtige Aussagen und Prognosen über Festigkeitseigenschaften und Schädigungen wichtiger Bauteile des Radladers getroffen werden.

Darüber hinaus simuliert Volvo u. a. das Löschen eines knickgelenkten, mit Schutt und Geröll beladenen Muldenkippers unter Einbeziehung von GRAPE. Bei der Entladung des Fahrzeugs durch Anhebung der Mulde wirken aufgrund des Materialflusses Kräfte auf die Achsen und Reifen; diese können nun vorhergesagt werden und ermöglichen wichtige Rückschlüsse für den Entwicklungsprozess.

1 *Simulation der Wechselwirkung von Boden- und Radladermodell beim Befüllen der Schaufel*

2 *Simulation der Wechselwirkung von Schutt- und Muldenkippermodell beim Löschen der Ladung*





# ERFOLGSSTORY

## FAHRZEUG, UMGEBUNG, VERHALTEN: SIMULATION IN ECHTZEIT

*»In der interaktiven Simulation mit RODOS für Baumaschinen und Nutzfahrzeuge sehen wir ein enormes Potenzial, um unsere Entwicklungs- und Erprobungsaktivitäten in Konz nachhaltig und gewinnbringend auszubauen.«*

Martin Frank  
AE Program Leader Machine  
Intelligence & User Experience

Möglichkeiten und Ansprüche an die Simulation in der Fahrzeugentwicklung haben sich in den letzten 30 Jahren gravierend weiterentwickelt. Von der Bauteilsimulation über die Systemsimulation ganzer Fahrzeuge ist man inzwischen bei der zusätzlichen Berücksichtigung von Fahrer und Umwelt angelangt. REDAR und RODOS® unterstützen bei diesen neuen Herausforderungen im Entwicklungsprozess, angefangen bei der dreidimensionalen Umgebungserfassung bis zu Testfahrten im Fahrsimulator.

### Woher kommen die Umgebungsdaten?

Das Messfahrzeug REDAR (Road & Environmental Data Acquisition Rover) erfasst bei normaler Fahrgeschwindigkeit mit zwei 360-Grad-Laserscannern hochgenau seine Umgebung. Nach der Messung kann auf dieser Datengrundlage ein dreidimensionales Abbild der Umgebung in Form einer Punktwolke rekonstruiert werden. Datenmengen von mehreren Terabyte sind dabei keine Seltenheit. Eine Verwendungsmöglichkeit von vielen ist z. B. die realitätsnahe 3D-Umgebungs-

darstellung in Fahrsimulationen. Ein solch komplexes Messsystem aufzubauen und die Daten durch entsprechende Algorithmen konsistent aufzubereiten, waren dabei die größten Herausforderungen. Das Messfahrzeug ist seit 2015 im Einsatz und sammelt fleißig Daten für einzelne Kundenprojekte.

### Was passiert mit den Daten?

Unter anderem verarbeitet der ITWM-eigene Fahrsimulator RODOS® (Robot based Driving and Operation Simulator) die von REDAR gesammelten Messdaten als Simulationsinput und zur Visualisierung. Verschiedene Fahrzeugkabinen mit Bedienelementen wie beispielsweise Lenkrad, Gas und Bremse können auf dem verwendeten Sechssachsroboter angebracht werden. Beim interaktiven Durchfahren der virtuellen Welt bewegt der Roboter die Kabine so, dass Beschleunigungen, Bremsvorgänge oder das Fahren enger Kurven für den Fahrer möglichst realitätsnah erscheinen. Der Optimierung des Realitätsempfindens widmet sich derzeit sogar ein Psychologe in seiner Dissertation.







### Das Straßennetz als Datenbank

Die Simulationen werden mit Informationen aus dem Datenbanksystem Virtual Measurement Campaign (VMC®) unterstützt. Dort ist das Straßennetz der Welt mit seiner Topographie, seinen Regularien, seinen Wetterinformationen und weiteren geo-referenzierten Daten hinterlegt. Mithilfe spezieller statistischer Verfahren können so die Szenarien, die als wichtig und repräsentativ angesehen werden, für detailliertere Untersuchungen mit REDAR und RODOS® herausfiltert werden. Die Verknüpfung beider Welten ist ein wichtiger Schritt, um effizient und zielgerichtet Erprobungsszenarien für die Entwicklung von Straßenfahrzeugen zu definieren. Aktueller Forschungsstand ist die Definition von Referenzstrecken bzw. die Suche nach der idealen Erprobungsumgebung: Gibt es z. B. eine reale Stadt, die für wichtige Erprobungsaspekte eine repräsentative Mischung aus ganz unterschiedlichen Städteszenarien darstellt?



*Mit REDAR auf großer Fahrt:  
360-Grad-Laserscanner erfassen die Umgebung  
hochgenau.*

Neben der virtuellen Erprobung von Fahrerassistenz- oder autonomen Systemen erlaubt diese Entwicklungsumgebung auch eine einfachere und flexiblere Untersuchung von Schadstoffemissionen: Realitätsnah können unterschiedlichste Prüfzuszenarien zuerst kategorisiert und anschließend gewichtet bzw. verglichen werden.

VMC®, REDAR und RODOS® stellen eine flexible und universell einsetzbare Werkzeugkette dar, um die Interaktion zwischen Mensch, Fahrzeug und Umwelt zu beschreiben und in einem weiteren Schritt das Systemverhalten vorherzusagen.

### Technische Daten RODOS®

- Entwicklungs- und Bauzeit: 2009 – 2012
- 18 Projektoren für Rundumsicht im Projektionsdom mit einem Durchmesser von 10 Metern
- Auflösung 11520 x 3600 Pixel
- sechssachsiger Industrieroboter ermöglicht großen Bewegungsspielraum und große Kippwinkel
- austauschbare Kabinen (derzeit: Bagger, Pkw, Traktor)
- Nutzlast 1000 kg

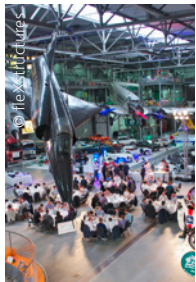




# NEWS AUS DER ABTEILUNG

## WELTWEITES INTERESSE AN IPS CABLE SIMULATION

In modernen Produkten finden sich Unmengen an Kabeln und Schläuchen. Um die Verlegung dieser Komponenten schon in der Produktentwicklung komfortabel zu optimieren, werden Simulationen genutzt. Die vom Fraunhofer-Chalmers Centre in Göteborg und unserem Institut entwickelte Software IPS Cable Simulation ist das weltweit führende Werkzeug für diesen Aufgabenbereich und gewinnt zunehmend neue Anwender. Unsere Ausgründung fleXstructures GmbH kümmert sich um den Vertrieb von IPS Cable Simulation und begeisterte allein im vergangenen Jahr 25 Neukunden für unsere Software-Lösung.



### 3. Internationale IPS Cable Simulation User Conference

IPS-Anwender aus der ganzen Welt trafen sich im Juni 2017 zur dritten IPS Cable Simulation User Conference im Technikmuseum Speyer. Über 90 Teilnehmer aus den USA, Asien und Europa regten zu interessanten Diskussionen an. Beiträge von Adam Opel, BMW, Delphi, fleXstructures, Fraunhofer ITWM, Fraunhofer-Chalmers Centre, Komatsu, SCANIA, techViz, Volkswagen und Volvo Cars präsentierten neue Anwendungen, Anforderungen und Entwicklungen aus Industrie und Forschung.

Eine Ankündigung von BMW macht die Wertschätzung von IPS Cable Simulation besonders deutlich: Passend zum 100. Unternehmensjahr knackt der Automobilhersteller die Marke von 100 IPS Cable-Simulation-Anwendern.



### Eigenständige Konferenzen in China und Japan

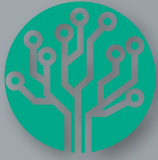
Die zweite chinesische IPS Technologie-Konferenz fand in Shanghai statt. 80 Vertreter aus der Automobil- und Zulieferbranche, der Luft- und Raumfahrt, der Schienenfahrzeugindustrie sowie Forschung besuchten die von unserem chinesischen Vertriebspartner Pan-i organisierte Veranstaltung.



Mehr als 100 Teilnehmer aus unterschiedlichsten Bereichen der Industrie begrüßte unser japanischer Distributor SCSK zur zweiten japanischen IPS Cable Simulation User Conference in Tokio. Sie verfolgten mit großem Interesse Fachbeiträge von SCSK und praktische Anwendungsfälle von japanischen Kunden.



Von vorne, links nach rechts: Vanessa Dörlich, Francesco Calabrese, Christine Biedinger, Dr.-Ing. Michael Roller, Dr. Klaus Dreßler, Caroline Wasser, Dr.-Ing. Joachim Linn, Dr. Michael Burger, Dr. Jochen Fiedler, Eduardo Pena Vina, Tim Rothmann, René Reinhard, Hannes Christiansen, Dr. Andrey Gizatullin, Dr. Fabio Schneider, Dr.-Ing. Michael Kleer, Steffen Polanski, Björn Wagner, Thomas Halfmann, Thomas Stephan, Christoph Mühlbach, Thorsten Weyh, Christine Rauch, Dr. Michael Speckert, Dr. Sascha Feth, Axel Gallrein, Dr. Stefan Steidel, Thomas Jung, Simon Gottschalk



# COMPETENCE CENTER HIGH PERFORMANCE COMPUTING



Der Lehrstuhl für Scientific Computing an der TU Kaiserslautern – Partner im Leistungszentrum »Simulations- und Software-basierte Innovation« – und das CC HPC arbeiten im Auftrag der MTU Aero Engines AG an der Verbesserung und Beschleunigung der Auslegungssoftware zur Optimierung von Triebwerken. Kern unseres Beitrages ist die Software GPI-Space, mit der sich »Memory Driven Computing« Architekturen realisieren lassen.



## **INNOVATION, DISRUPTION UND GANZHEITLICHES DENKEN IN DER WELT DES VERTEILTEN RECHNENS**

Die Abteilung hat mit BeeGFS, Pre-Stack PRO, dem Global Address Space Programmiermodell (GPI) sowie dem Big Data Framework GPI-Space innovative, weltweit anerkannte Technologien zur Lösung von Large-Data-Problemen entwickelt. In den vergangenen Jahren haben wir diese Technologiebasis sehr erfolgreich mit Deep-Learning-Methoden kombiniert und internationale Sichtbarkeit gewonnen. Im Kern geht es dabei immer um die skalierbare automatische Parallelisierung von Big-Data-Problemen. Dahinter steht das Konzept des »Memory Driven Computing«, welches Skalierbarkeit und Performance zusammenbringt. Die im Folgenden beschriebenen Projekte ALOMA und Safeclouds entwickeln auf dieser Technologiebasis weitere branchenspezifische Lösungen.

Wir engagieren uns in der EU-geförderten HPC-Forschung mit dem Ziel, europäische Technologien zu stärken und die Marktfähigkeit europäischer HPC-Softwareprodukte zu verbessern. Darüber hinaus ist es unser Anliegen, in Co-Design-Projekten die Mikroelektronikentwicklung und die Anwendungsentwicklung zusammenzubringen. Wir sehen in der anwendungsspezifischen Entwicklung von Compute Hardware einen Weg, Europas Position auf dem stark wachsenden HPC-/Big-Data-Markt zu verbessern.

Das Energiesystem der Zukunft wird aus Millionen von verteilten IoT-Rechnern bestehen. Diese optimieren den Eigenverbrauch von PV-Strom, regeln den Aufbau von Community Grids, steuern große und kleine Stromspeichersysteme und koordinieren den Energiefluss in unseren Energienetzen. In unseren Projekten entwickeln wir Technologien und Lösungen, um diese verteilte Rechnerwelt zu beherrschen. Dabei gilt unser Engagement intelligenten Lösungen, die die Energiewende voranbringen.

### **Kontakt**

[franz-josef.pfreundt@itwm.fraunhofer.de](mailto:franz-josef.pfreundt@itwm.fraunhofer.de)

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

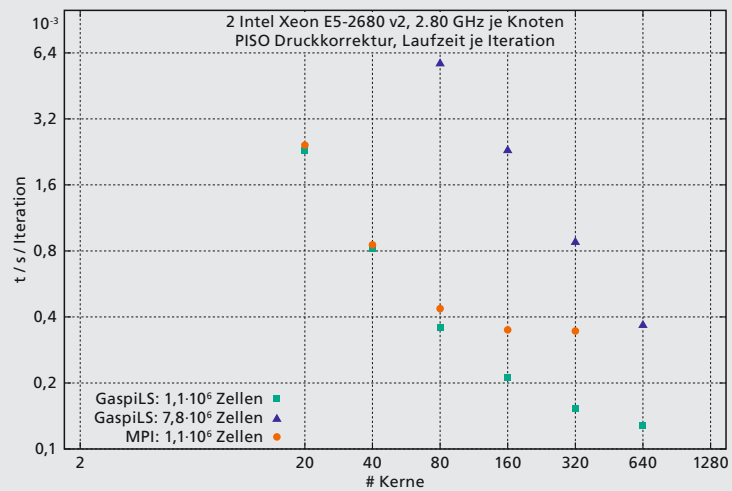


---

## **SCHWERPUNKTE**

- Green by IT
  - BeeGFS – Parallel Cluster File System
  - Visualisierung
  - Seismische Datenverarbeitung
  - Datenanalyse und Maschinelles Lernen
  - Skalierbare parallele Programmierung
- 





1

## GaspILS – SKALIERBARKEIT FÜR CFD- UND FEM-SIMULATIONEN

1 Berechnung der Druckkorrektur: Mit GaspILS (grün und blau) konnten Performanz und Skalierbarkeit entscheidend verbessert werden gegenüber der MPI-basierten Implementierung (orange).

Viele Simulationen aus dem Ingenieurbereich basieren auf CFD- und FEM-Methoden, zum Beispiel die Bestimmung aerodynamischer Eigenschaften von Flugzeugen oder die Analyse der Gebäudestatik. Ein Großteil der Rechenzeit wird dabei für die Lösung der zugrundeliegenden Gleichungen mittels iterativer Verfahren benötigt. Die Leistung der benutzten iterativen Löser hat also einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtlaufzeit solcher Simulationen und damit auf den Erkenntnisgewinn, der mit ihnen generiert werden kann.

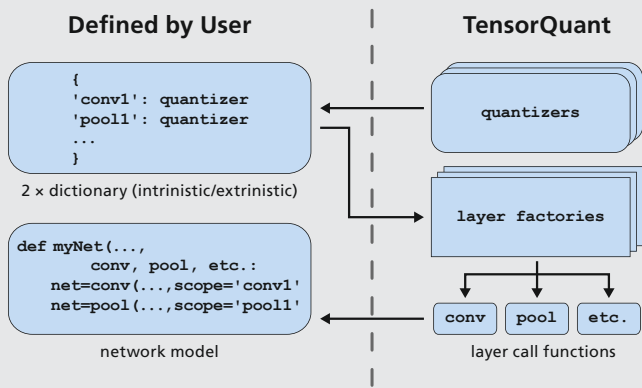
Um mehr Erkenntnisse aus den Simulationen gewinnen zu können, haben wir die lineare Löser-Bibliothek GaspILS entwickelt.

### Industrie setzt auf GaspILS wegen besserer Skalierbarkeit

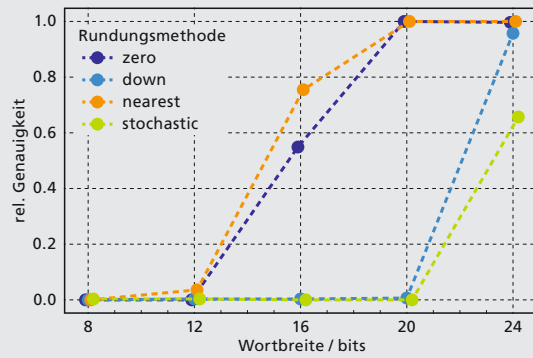
Skalierbarkeit ist ein Maß für die parallele Effizienz einer Implementierung. Das Optimum ist die sogenannte lineare Skalierbarkeit. Dies entspricht der vollständigen Ausnutzung von Rechenressourcen, wie sie die Kerne innerhalb einer CPU oder mehrerer über ein Netzwerk miteinander verbundener CPUs darstellen. Eine verbesserte Skalierbarkeit erlaubt es, mehr Rechenkapazität zur Lösung eines Problems zu nutzen und damit schneller zur Lösung zu kommen. Dies ermöglicht letztendlich detailliertere Modelle, genauere Parameter-Studien und eine kosteneffiziente Ausnutzung der Hardware-Ressourcen. Und dadurch wird GaspILS interessant für die Industrie.

### Bessere Nutzung gegebener Rechenressourcen

Um gute Skalierbarkeit zu erreichen, benutzt GaspILS die von uns entwickelten Methoden und Werkzeuge zur parallelen Programmierung; dazu gehören die Kommunikationsbibliothek GPI-2 und deren zugrundeliegendes Programmiermodell. Der Algorithmus wird feingranular in Teilprobleme (sogenannte Tasks) mit gegenseitigen Abhängigkeiten aufgeteilt. Dies erlaubt zu jedem Zeitpunkt die Zuweisung ausführbarer Tasks auf freie Rechenressourcen und garantiert damit einen kontinuierlichen Strom an Rechenaufgaben für jede CPU. Der Verzicht auf globale Synchronisierungspunkte und die große Menge an erzeugten Teilproblemen erlauben es, die durch den Austausch von Daten entstehenden Latenzen zu verstecken und etwaige Imbalancen in der Rechenzeit auszugleichen. Jeder einzelne Kern kann zu jedem Zeitpunkt maximal ausgelastet werden.



1



2

## TENSORQUANT BRINGT DEEP LEARNING IN DIE MOBILE ANWENDUNG

Der Trend, Methoden des Maschinellen Lernens, insbesondere tiefer künstlicher neuronaler Netze (Deep Learning – DL), zur Entwicklung intelligenter Systeme einzusetzen, hat sich weiter verstärkt. Aus der Wissenschaft kommen dabei stetig neue Deep-Learning-Ansätze, welche weit gefächerte Einsatzmöglichkeiten dieser Algorithmen in vielen verschiedenen praktischen Anwendungen ermöglichen könnten.

Eine entscheidende technologische Hürde auf dem Weg hin zur Anwendung in Massenprodukten ist jedoch der enorme Rechenaufwand, der zur Berechnung und Auswertung der DL-Modelle notwendig ist.

Daher ist in der letzten Zeit die Entwicklung spezialisierter DL-Hardware in den Fokus getreten. Neue Chip- und Speicherarchitekturen sollen zukünftig den Einsatz performanter und zugleich energiesparender Hardwaremodule ermöglichen und so den Einsatz von DL in z. B. autonomen Fahrzeugen, Mobiltelefonen oder integrierten Produktionssteuerungen ermöglichen.

### Lernen erfordert keine hohe Präzision in der Zahldarstellung

Dabei nutzt man eine wesentliche mathematische Eigenschaft des DL aus: Das Lernen und Auswerten von Modellen lässt sich auf die numerische Berechnung einer recht kleinen Anzahl von Operationen aus der Tensor-Algebra (wie z. B. Matrixmultiplikationen) reduzieren. Außerdem kommt man bei der Tensor-Berechnung mit einer deutlich geringeren Genauigkeit in der Zahldarstellung aus, als man dies typischerweise von physikalischen Simulationen gewohnt ist. Diese Eigenschaften ermöglichen nun eine – im Vergleich zu allgemeinen Recheneinheiten wie CPUs und GPUs – hocheffiziente Hardwareumsetzung.

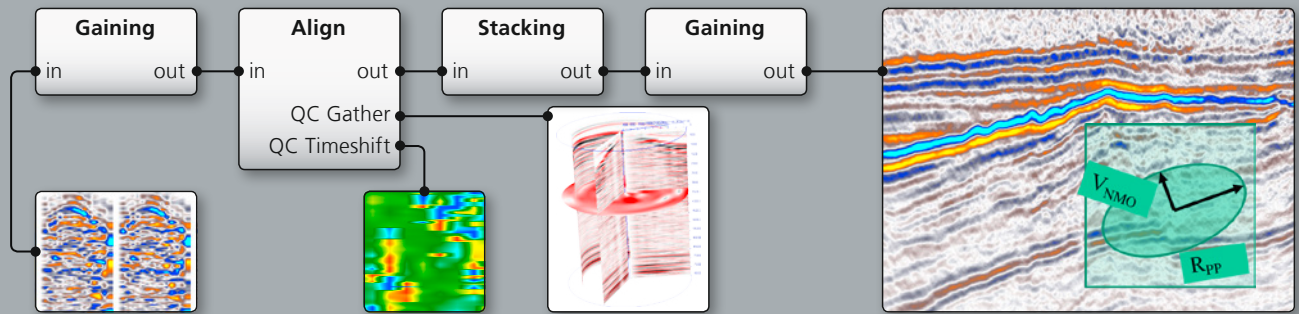
### TensorQuant erlaubt die Simulation von Machine Learning Hardware

Bei der Entwicklung von DL-Anwendungen auf spezialisierter Hardware ergibt sich allerdings die Schwierigkeit, dass die Mindestanforderungen an die Rechengenauigkeit zwischen einzelnen Modellen stark variieren. Dies macht die gleichzeitige Optimierung von DL-Modellen und Hardware bezüglich Rechenperformanz, Energieverbrauch und Vorhersagegenauigkeit schwierig. Mit unserem Softwaretool TensorQuant (TQ) können Entwickler nun DL-Modelle mit beliebigen Zahldarstellungen und Rechengenauigkeiten simulieren, kritische Tensor-Operationen identifizieren und damit diesen Entwicklungsschritt deutlich beschleunigen. TQ wird bereits in Kooperationsprojekten mit der Automobilindustrie eingesetzt.

1 *TensorQuant erlaubt die automatische Simulation von gegebenen TensorFlow-Modellen mit beliebigen Zahldarstellungen einzelner Tensor-Operationen.*

2 *Das Ergebnis einer Simulation des bekannten ResNet-50 Models zeigt, dass die konkrete Wahl der Zahldarstellung erheblichen Einfluss auf die Performanz von DL-Anwendungen hat, welche ohne die Simulation in TensorQuant vorab nur schwer abzuschätzen ist.*





1

## ALOMA ERLAUBT GEOPHYSIKERN FOKUSSIERUNG AUF IHRE KERNKOMPETENZ

1 Darstellung eines einfachen Workflows mit ALOMA: Eingangsgather werden korrigiert und danach gestackt. Eingabe und Ergebnisse können mit Fraunhofer XtreamView (Teil des ALOMA-Pakets) interaktiv visualisiert werden.

ALOMA befreit seine Nutzer davon, sich mit Parallelisierung, Multi-Threading und anderen Problemen des High Performance Computing beschäftigen zu müssen. Stattdessen können sich die Experten für seismische Fragestellungen auf ihre Kernkompetenz konzentrieren; um die effiziente Ausführung der Algorithmen, auch auf großen und heterogenen Systemen, kümmert sich dann ALOMA.

Das Programm ist eine spezialisierte Version von GPI-Space – einer Technologie, die auch in anderen Umgebungen wie Big Data und Machine Learning eingesetzt wird.

Komplexe Rechenoperationen auf wachsenden Datenmengen kennzeichnen Problemstellungen der Seismik. Dies zwingt Geophysiker dazu, sich HPC-Wissen anzueignen, damit ihre Software auch auf großen Systemen effizient läuft. Deshalb haben wir ein System entwickelt, das an der Schnittstelle zwischen Geophysiker und HPC-Experte sitzt. Informatiker und Geophysiker entwarfen gemeinsam Strategien für Parallelisierung, Datenaufteilung sowie Fehlertoleranz, speziell für seismische Anwendungen.

Den Kern von ALOMA, ein fehlertolerantes Laufzeitsystem zur Ausführung von Workflows auf verteilten Systemen, entwickelten HPC-Spezialisten. Für den Geowissenschaftler ist ALOMA damit lediglich eine Blackbox, in die er seine Entwicklungen über eine genau definierte Schnittstelle integrieren kann. Der Lernaufwand für das neue System ist dabei überschaubar. Ist ALOMA erst einmal installiert, können Anwender ihr erstes Modul binnen eines Tages in das neue System überführen.

### Schnelle Prototypenentwicklung und -skalierung

Der Anwender kann damit nicht nur neue Algorithmen unter realen Nutzungsbedingungen testen und so rasch Prototypen für diese Verfahren entwickeln und skalieren. ALOMA erlaubt es auch, existierende Codes und Programme in verschiedenen Sprachen (z. B. C, C++, Matlab, Fortran) zu integrieren. Mit einem grafischen Editor können diese dann in Workflows zusammengefasst und automatisch parallelisiert werden.

Die Stärke dieses Konzepts konnten wir in mehreren Kooperationsprojekten mit Industriepartnern nachweisen, in denen es gelang, die Kundensoftware innerhalb weniger Tage skalierbar zu machen. Im Nachgang hat uns eine in Houston ansässige Firma aus der Öl- und Gas-Branche damit beauftragt, ihr Processing System komplett auf ALOMA umzustellen.





## SAFECLOUDS – VERTEILTE INFRASTRUKTUR ZUR DATENANALYSE IN DER LUFTFAHRT

Der Luftverkehr nimmt weltweit zu. Das stetig wachsende Verkehrsaufkommen stellt Flugsicherheitsorganisationen, Flughäfen sowie Fluggesellschaften vor große Herausforderungen, denn sie müssen größtmögliche Sicherheit gewährleisten. Schon heute werden große Datenmengen aus verschiedenen Quellen wie Flugdatenschreibern und Radarstationen aufgezeichnet und ausgewertet.

Das EU-Projekt SafeClouds will existierende sowie neue Datenquellen in einer europaweiten Infrastruktur zusammenzuführen und anschließend mit Methoden des Maschinellen Lernens effizient auswerten; Ziel ist die deutliche Verbesserung des Luftverkehrsmanagements. Am Projekt beteiligt ist deshalb ein breites Konsortium, bestehend aus Fluggesellschaften, Flugsicherheitsorganisationen und -behörden sowie Forschungseinrichtungen.

### Datenaustausch mit GPI-Space

Im CC High Performance Computing bauen wir eine mehrschichtige Hybrid-Cloud-Infrastruktur auf, die auf Amazon AWS basiert. Für die parallele Verarbeitung der Daten steht unsere Software GPI-Space zur Verfügung. Der Fokus liegt dabei auf der Daten- und Ausfallsicherheit sowie der leichten Skalierbarkeit im Hinblick auf Anzahl der Nutzer, Speicher und Rechenleistung.

Exemplarisch werden die Daten folgender Szenarien analysiert:

- Instabiler Anflug: Ein vordefinierter Bereich für verschiedene Parameter wie Höhe, Geschwindigkeit, Sinkgeschwindigkeit etc. wird nicht eingehalten und kann zu einer harten Landung, Landungsabbruch oder Ähnlichem führen.
- Geländebedingte Sicherheitswarnungen: Die vorgegebene Mindesthöhe wurde unterschritten aufgrund geographischer Gegebenheiten.
- AIRPROX (Aircraft Proximity Hazard): Die Sicherheit wurde durch die Unterschreitung des Mindestabstandes zwischen Flugzeugen gefährdet.

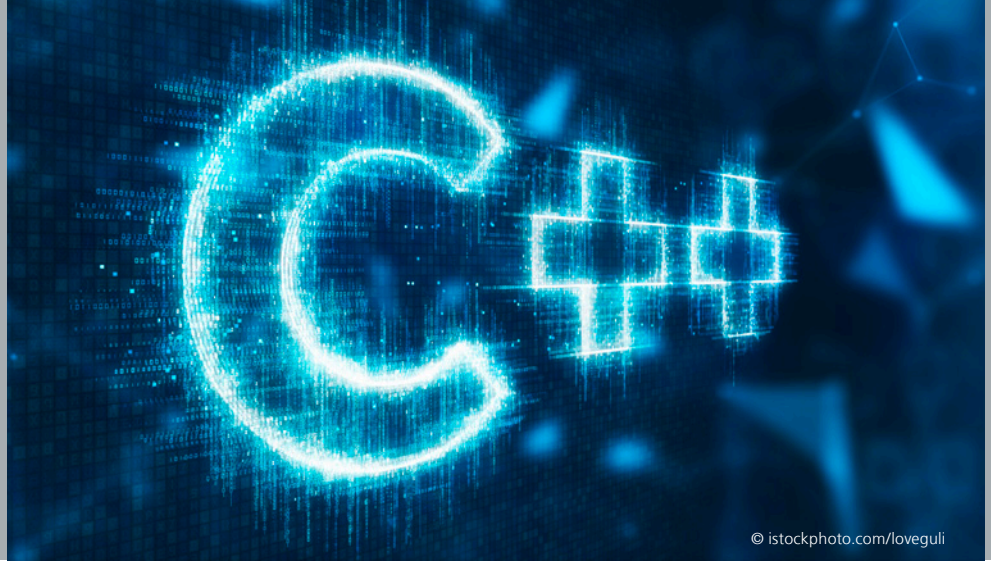
Auch die Landebahnen spielen eine Rolle: Ziel ist natürlich ihre optimale Auslastung; dabei müssen auch die Ausfahrten zu den Terminals unter Einhaltung der Mindestsicherheitsabstände berücksichtigt werden.

2

1 *Safe Clouds analysiert sicherheitsrelevante Vorgänge am Boden und in der Luft.*

2 *Methoden des Maschinellen Lernens erleichtern Luftverkehrsmanagement.*





© istockphoto.com/loveguli

## MIT CONSTRAINT PROGRAMMING ZUR PASSENDEN VARIANTE

Immer komplexere Variantenkonfigurationen (VC) erfordern schnellere Algorithmen, um mit der Echtzeitfähigkeit von speicherbasierten Umgebungen wie SAP S/4HANA Schritt halten zu können. In einem Projekt für SAP nutzen wir moderne Constraint-Solving-Technologie in C++. Wir entwickeln wesentliche Teile der zugrundeliegenden Bibliothek, um den Anforderungen des SAP S/4HANA Variantenkonfigurators zu genügen und unterstützen SAP bei der Ausarbeitung von algorithmischen Lösungen und mit C++-Expertise.

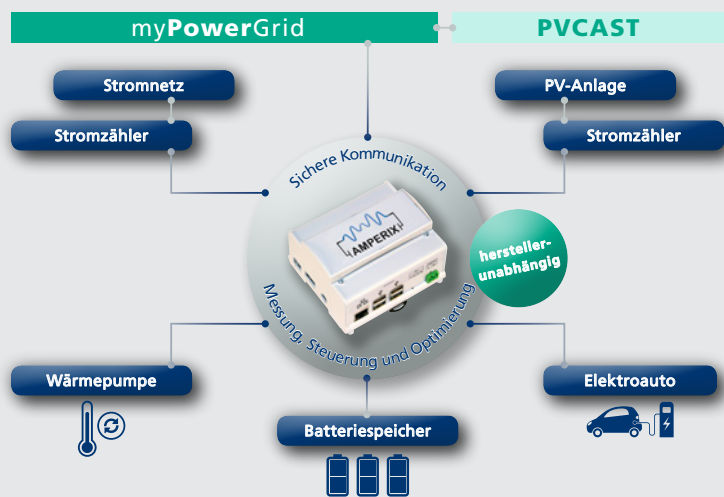
Der in SAP S/4HANA integrierte Variantenkonfigurator ermöglicht das effiziente Variantenmanagement für die konfigurierten Produktlinien eines Unternehmens. Dabei spielt es keine Rolle, ob das Unternehmen Autos oder Pizzas herstellt oder seine isolierten Software-Produkte zusammenführen will: Alle möglichen Varianten werden anhand eines Konfigurationsmodells beschrieben und die für den jeweiligen Fall passende konkrete Produktausprägung ermittelt. Die Varianten werden über alle wesentlichen unternehmerischen Prozesse hinweg unterstützt.

### Constraint Solving im Backend

Um den gestiegenen Skalierbarkeits- und Performanzanforderungen gerecht zu werden, wird das VC-Backend auf eine neue C++-basierte Constraint-Solving-Technologie umgestellt. Diese ermöglicht das regelbasierte Einschränken von Variablenbelegungen. Für die Definition solcher Regeln wurden Schnittstellen entwickelt, um gültige Variablenbelegungen über Variantentabellen oder auch Boolesche Ausdrücke zu beschreiben. Des Weiteren haben wir Variablentypen für die Verarbeitung von Zeichenketten sowie hochgenauen Fließkommazahlen ergänzt.

### Herausforderungen

Der Variantenkonfigurator von SAP wird weltweit auch in kritischen produktiven Abläufen genutzt. Sowohl auf algorithmischer Seite (Optimierung von Speicherbedarf, Rechenaufwand und Laufzeit, Korrektheitsbeweise) als auch bei der Entwicklung (Test-getriebene Entwicklung, hundertprozentige Code-Überdeckung durch Tests, Sechs-Augen-Prinzip, kontinuierliche Multiplattform-Integration, randomisierte Tests) wurden höchste Standards genutzt, um Skalierbarkeit und Robustheit der Lösungen sicherzustellen.



1

## AMPERIX – DREHSCHEIBE FÜR ENERGIE

Das Energiemanagementsystem Amperix etabliert mit einer optimierten Steuerung von Batteriespeichersystemen, Wärmepumpen und Ladestationen für E-Fahrzeuge eine Energie-Drehscheibe für Haushalt und Industrie. In Verbindung mit der myPowerGrid-Plattform ebnet es darüber hinaus den Weg für neue Geschäftsmodelle.

Als Entscheidungsgrundlage für die Steuerung werden durch den Amperix alle Energieflüsse in einem Haushalt erfasst. Dazu zählen die Erzeugung, der Bezug oder die Einspeisung ins Netz und die Berücksichtigung größerer Verbraucher wie etwa Wärmepumpe oder Elektrofahrzeug. Die intuitive Darstellung macht die Energieflüsse für die Nutzer völlig transparent.

### Sektorkopplung von Strom, Wärme und Elektromobilität

Anfangs hatte die Steuerung der Batteriespeichersysteme Priorität bei der Entwicklung des Amperix. Die Auswertungen der Pilotinstallationen zeigten jedoch, dass in den Sommermonaten trotz Batteriespeichern erhebliche Energieüberschüsse anfallen. Mittlerweile können diese genutzt werden, zum Beispiel zum Aufheizen des Warmwasserspeichers mit einer Wärmepumpe oder für das sonnengeführte Laden von Elektrofahrzeugen. Die Sektorkopplung von Strom, Wärme und Elektromobilität birgt noch ein erhebliches Potenzial zur Steigerung der Versorgung mit eigenerzeugter Energie.

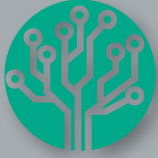
### Prognosebasierte Steuerung

Neben der intelligenten Verwertung aktueller Messdaten verarbeitet der Amperix Erzeugungsprognosen für Photovoltaikanlagen und Lastprognosen für den Haushaltsverbrauch und die Wärmepumpe; auch die Wünsche der Bewohner, wann das Elektrofahrzeug abfahrbereit sein soll, werden berücksichtigt. Diese Prognosen ermöglichen eine effizientere Nutzung der Flexibilität im Haushalt.

### Herstelleroffen und skalierbar

Der Amperix ist herstelleroffen und kompatibel mit gängigen Produkten. Auch die Kombination bereits vorhandener Infrastruktur mit neuen Komponenten ist möglich. Mittlerweile wird der Amperix nicht nur zur Steuerung von Speichern in Privathaushalten zuverlässig eingesetzt, sondern auch in der Industrie zum Abtragen von Lastspitzen. So ermöglicht der Amperix die Integration unterschiedlichster Systeme in eine Internetplattform, die der Visualisierung und dem Management der Kundensysteme, aber auch der Schaffung virtueller Großbatterien und damit der Umsetzung neuer Geschäftsmodelle dient.

1 *Der Amperix wird vor Ort mit den Energiezählern, den steuerbaren Geräten und über das Internet sicher mit der myPowerGrid-Plattform verbunden. Intelligente Steuerungsalgorithmen ermöglichen einen optimierten Betrieb der Geräte.*



## NEWS AUS DER ABTEILUNG

### UNSICHERE LADEINFRASTRUKTUR AN E-TANKSTELLEN

Sehr großes mediales Echo rief Mathias Dalheimers Vortrag bei der Jahreskonferenz des CCC in Leipzig hervor – sein Thema: Sicherheitsprobleme an E-Tankstellen. Manche Ladekarten sind unsicher und ermöglichen es, auf fremde Rechnung zu laden. Schwachstelle ist die Identifikationsnummer; sie ist öffentlich einsehbar und kann beliebig kopiert werden. Auch die Kommunikation zwischen den Ladesäulen und dem Abrechnungsbackend ist schlecht geschützt. Mit geringem technischem Aufwand kann man diese Kommunikation abfangen und erhält so die Kartennummern von Kunden. Die ersten Ladenetzbetreiber haben die Schwachstellen bestätigt und ziehen nach dem großen Medienecho auch erste Konsequenzen. Geplant ist außerdem ein Experten-Konsortium, das diese Probleme systematisch angeht.

### NEUES BMBF-PROJEKT ZU DEEP LEARNING

Kaum ein Fachgebiet hat sich in den letzten Jahren derart rasant und erfolgreich entwickelt wie Machine Learning, zu dem auch Deep Learning gehört. Diese für viele praktische Anwendungen erfolgreiche Vorgehensweise erfordert allerdings einen enormen Rechenaufwand und sehr viel Trainingsdaten. Darum müssen Methoden und Infrastrukturen entwickelt werden, welche auch in Zukunft eine praxistaugliche Berechenbarkeit immer komplexerer neuronaler Netze sicherstellen. Dies fördert das BMBF seit Ende 2017 im Projekt High Performance Deep Learning Framework – Softwareumgebung zum effizienten Entwurf von tiefen neuronalen Netzen auf Hochleistungsrechnern mit insgesamt 2 Millionen Euro. Koordiniert wird das Projekt, das eine Laufzeit von drei Jahren hat, am Competence Center High Performance Computing.

### EUROPÄISCHER MIKROPROZESSOR EPI

Zusammen mit dem Fraunhofer IIS sind wir Teil des Konsortiums, welches bis 2021 einen europäischen Mikroprozessor entwickelt. Der Fokus der European Processor Initiative ([www.european-processor-initiative.org](http://www.european-processor-initiative.org)) liegt auf dem High Performance Computing. Gefördert durch die Europäische Union soll das Projekt Kompetenzen im Bereich der Chipentwicklung vereinen und die EU zukünftig unabhängiger von außereuropäischen Mitbewerbern machen. Die Rahmenvereinbarung wurde Ende letzten Jahres unterzeichnet und die Entwicklungsarbeit startet im Sommer 2018.



Von vorne, links nach rechts: Farooq Arshad, Dr. Dimitar Stoyanov, Dominik Loroch, Dr. Tiberiu Rotaru, Dr. Rui Machado, Dr. Franz-Josef Pfreundt, Patrick Reh, Dr. Martin Kühn, Dr. Matthias Balzer, Dr. Abel Amirbekyan, Adrien Roussel, Frauke Santacruz, Tina Hill, Dr. Khawar Ashfaq Ahmed, Dr. Norman Ettrich, Matthias Klein, Tobias Götz, Matthias Deller, Christian Mohrbacher, Phoebe Buckheister, Bernd Lörwald, Lukas Ristau, Dr. Jens Krüger, Delger Lhamsuren, Bernd Lietzow, Thomas Olszamowski, Julius Roob, Dr. Valeria Bartsch, Dr. Mirko Rahn, Dr. Alexander Janot, Dr. Dominik Straßel, Dr. Peter Labus, Kai Krüger, Dr. Daniel Grünewald, Javad Fadaie Ghotbi, Dr. Alexander Klauer, Raju Ram, Dr. Dirk Merten



# ZENTRUM FÜR MATERIALCHARAK- TERISIERUNG UND -PRÜFUNG



Hinter der Flugzeugnase aus Verbundwerkstoff – dem Radom – verbirgt sich das Radargerät. Ein von uns entwickeltes Millimeterwellen-Terahertzsystem prüft bei der Firma MEGGITT jeden einzelnen Radom in der Fertigung auf Defektfreiheit.



## OPTISCHE MESSTECHNIK – ZERSTÖRUNGSFREI MESSEN MIT TERAHERTZ- UND MILLIMETERWELLEN

Wir entwickeln industrietaugliche Mess- und Prüfsysteme für die Qualitätskontrolle von Verbundwerkstoffen und Beschichtungen. Dabei greifen die Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker zurück auf Kompetenzen aus der optischen System- und Messtechnik, der Spektroskopie und der Entwicklung von Kristall- und Halbleiterkomponenten.

Die Technologien reichen von der optischen Kohärenztomographie (OCT) im sichtbaren Spektralbereich über die Zeitbereichsspektroskopie im Terahertz-Frequenzbereich bis zu elektronischen Systemkonzepten im Millimeterwellenbereich. Unsere Systeme werden für den Kunden maßgeschneidert. Dies umfasst sowohl die Anwendungs- als auch die Auswertesoftware, welche die wesentlichen Zielgrößen übersichtlich darstellt. Während der gesamten Entwicklung profitieren unsere Kunden vom Prozessverständnis unserer Mitarbeiter.

In der Qualitätskontrolle spüren unsere Systeme Defekte in Keramiken, Kunststoffen oder auch faserverstärkten Verbundwerkstoffen zerstörungsfrei auf. Besonderes Interesse gilt der berührungslosen Schichtdickenmessung, zum Beispiel in Lackierprozessen. Neben OCT sind hier vor allem die Terahertz- und Millimeterwellen-Messtechnik eine Alternative zu Ultraschallmessungen und zur Röntgentechnik: Es ist kein mechanischer Kontakt zur Probe nötig und die Strahlungsenergie ist nicht-ionisierend. Zusätzlich zur Dickenbestimmung ermitteln unsere Messsysteme auch die Materialparameter der einzelnen Schichten. Chemometrische Auswertemethoden identifizieren die Zusammensetzung der Materialien eindeutig und zuverlässig.

### 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)



---

## SCHWERPUNKTE

- Zerstörungsfreie Prüfung
- Schichtdickenmessung
- Chemische Analyse



© istockphoto.com/wertorer

## UNTERSUCHUNG SEHR DÜNNER SCHICHTEN MIT INTERFEROMETRISCHER BILDGEBUNG

**1** Lackdraht wird zum Bau von elektrischen Spulen und Transformatoren verwendet. Wir messen berührungslos die Schichtdicke des isolierenden Lackes auf dem Draht.

Beschichtungen erhöhen oftmals nicht nur die Ästhetik, sondern besitzen auch funktionelle Eigenschaften; dazu zählen der Schutz vor mechanischen Einwirkungen und schädlichen Witterungseinflüssen oder die Verbesserung der Haptik. In der Industrie kommt daher der Beschichtungsdicke eine besondere Bedeutung zu.

Funktionelle Eigenschaften erfordern eine Mindestdicke, unnötig dicke Schichten verschwenden Ressourcen und erhöhen damit die Herstellungskosten. Zur Messung sehr dünner, semitransparenter Schichten gibt es nun eine Lösung: die Optische Kohärenztomographie (OCT). Dieses Verfahren wurde ursprünglich für die tiefenaufgelöste Visualisierung biologischer und medizinischer Materialien entwickelt. Dank intensiver Forschung hat es sich inzwischen auch außerhalb der Medizin etabliert. Hochaufgelöste Probenquerschnitte, die mit sichtbarem Licht oder Infrarotlicht völlig zerstörungsfrei in Echtzeit erzeugt werden, machen die OCT deshalb zur idealen berührungslosen Prüftechnik für viele Anwendungen.

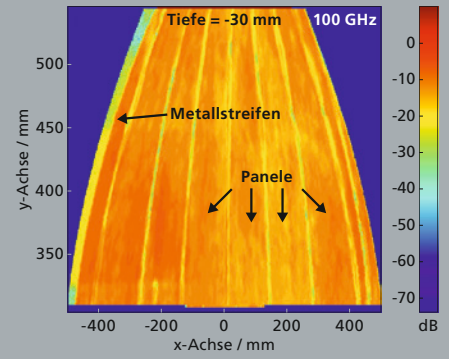
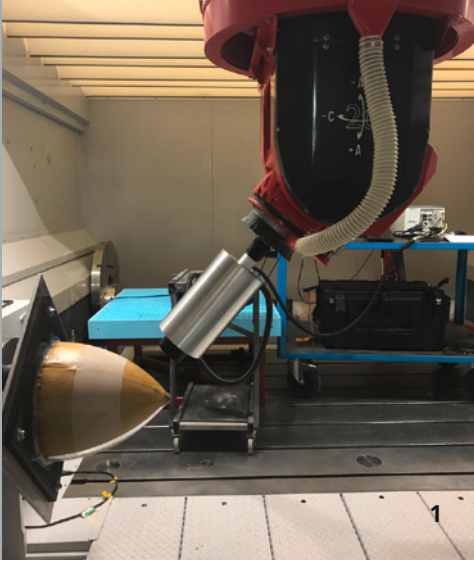
### Reflexion liefert Informationen

Das physikalische Prinzip hinter dieser Methode ist die interferometrische Überlagerung eines Lichtstrahls, der aus unterschiedlichen Probertiefen reflektiert wird, mit einem Referenzstrahl. Aus Intensität und zeitlicher Verschiebung des reflektierten Strahls lässt sich die Tiefeninformation der Probe mathematisch ermitteln und als Querschnittsbild darstellen. Das Auflösungsvermögen beträgt je nach spektraler Breite zwischen 1 und 20  $\mu\text{m}$ . Die Optische Kohärenztomographie eignet sich für alle Materialien, die für sichtbares oder nahinfrarotes Licht zumindest teiltransparent sind. Dies sind viele Kunststoffe, Verbundmaterialien, Gläser, Keramiken oder Halbleitermaterialien.

### Inspektion von Lackdraht

Lackdraht, der auch als Wickeldraht bezeichnet wird, ist ein Metaldraht, der bei der Fertigung mit einer elektrisch isolierenden Lackschicht überzogen wurde. Die Dicke und das Gewicht dieser Lackisolation sind im Vergleich zu anderen Isolierstoffen mit gleicher Wirkung sehr gering. Dieser Draht wird daher bevorzugt zum Bau elektrischer Spulen, Transformatoren und Maschinen verwendet. Wir setzen OCT erfolgreich zur Vermessung der Lackdicke auf Kupferdrähten ein. Der dünnste Draht hatte hier einen Durchmesser von 50  $\mu\text{m}$  und eine Lackdicke von 3  $\mu\text{m}$ .





## QUALITÄTSKONTROLLE IN DER LUFTFAHRTINDUSTRIE: RADOM-INSPEKTION MIT TERAHERTZ

Die bildgebende Prüfung mit Terahertz-Wellen eignet sich hervorragend zur zerstörungsfreien Inspektion glasfaserverstärkter Kunststoffe (GFK). Solche Strukturen werden beispielsweise für Radarkuppeln (Radome) von Flugzeugen eingesetzt, unter anderem zum Schutz der empfindlichen Radartechnik. Die Terahertz-Technologie ermöglicht die berührungslose Überprüfung der Strukturbeschaffenheit im Feldeinsatz oder bereits bei der Herstellung.

Radarkuppeln müssen rauen Witterungsbedingungen und Einschlägen standhalten. Sie werden im Einsatz routinemäßig überprüft, aber bereits bei der Herstellung ist es wichtig, sie auf ihre strukturelle Integrität und Transmissionseigenschaften für Funksignale zu optimieren. Bisher verwendete Prüftechniken wie Ultraschallverfahren und Klopfests können hierfür oftmals nur bedingt und gegebenenfalls nur unter speziellen Voraussetzungen eingesetzt werden.

Die bildgebende Terahertz-Prüfung erlaubt eine berührungslose und zerstörungsfreie Untersuchung der äußeren und inneren Struktur von Verbundwerkstoffen bei jedem Herstellungsschritt oder auch im Feldeinsatz. Weiterhin können bildverarbeitende Methoden zur automatischen Erkennung von Defekten oder anderen Merkmalen eingesetzt werden.

### Spiralförmiges Abrastern des Radoms

Für das britische Unternehmen Meggitt Polymers & Composites haben wir ein industrielles 3D-Terahertz-Bildgebungssystem für die Inspektion von Radarkuppeln entwickelt. Die einfache Integration der Messeinheit in die Fertigungsanlage des Unternehmens ermöglicht ein spiralförmiges Abrastern des gesamten bis zu zwei Meter langen Radoms.

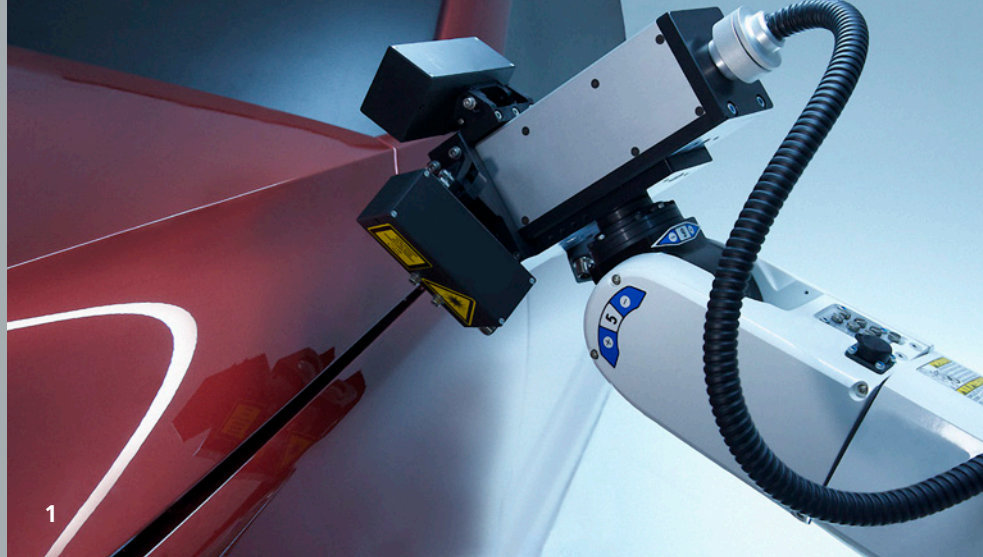
Abhängig vom Typ des Radoms können Dicke und Zusammensetzung der Struktur stark variieren. Dies hat einen wesentlichen Einfluss auf die Eindringtiefe des Terahertz-Messsignals. Die Wahl der Sensorik erfordert oftmals einen Kompromiss zwischen Bildauflösung und Eindringtiefe. Damit sowohl einige Zentimeter dicke als auch dünnere Strukturen mit der bestmöglichen Auflösung untersucht werden können, haben wir zwei unterschiedliche Terahertz-Sensoren mit aneinandergrenzenden Frequenzbereichen in ein Messsystem integriert. Für die verbesserte Tiefenaufklärung lassen sich die Messdaten der beiden Sensoren miteinander kombinieren.

1 *Sensoreinheit in der Werkzeugaufnahme der Fertigungsmaschine*

2 *Die Struktur des Radoms besteht aus verschiedenen Lagen unterschiedlicher Materialien (z. B. Aramid und Schaumstrukturen).*

3 *Terahertz-Messeinheit mit angeschlossener Datenverbindung und Stromversorgung*

4 *Rekonstruierte Aufnahme des Radoms bei 100GHz, welche die Rückseite des Radoms zeigt. Die einzelnen Elemente des Radoms können deutlich erkannt werden.*



## TERAHERTZ-SCHICHTDICKENMESSUNG FÜR DIE SELBSTPROGRAMMIERENDE LACKIERZELLE

1 *Robotergeführter Terahertz-Messkopf mit drei Positionierungssensoren bei der Schichtdickenmessung an einer Autokarosserie*

Der Lackierprozess stellt viele Unternehmer vor große Herausforderungen, denn Automatisierung und Individualisierung der Produkte passen in puncto Lackiertechnik bisher nicht zusammen. In zahlreichen Branchen wird deshalb weit über die Hälfte aller Bauteile von Hand lackiert – die Variantenvielfalt ist einfach zu groß.

Einen Lackierroboter zu programmieren lohnt sich nur dann, wenn zahlreiche baugleiche Teile spritzlackiert werden müssen. Abhilfe schafft hier das automatische Lackiersystem SelfPaint: Es bietet Unternehmen erstmals einen Kompromiss zwischen Automatisierung und Individualisierung – und wartet zudem mit zahlreichen Einsparpotenzialen auf: 20 Prozent weniger Lack, 15 Prozent weniger Energie, fünf Prozent weniger Produktionszeit – seine Vorteile gegenüber der bislang dominierenden Handlackierung sind enorm. Und es eignet sich erstmals auch für Einzelstücke.

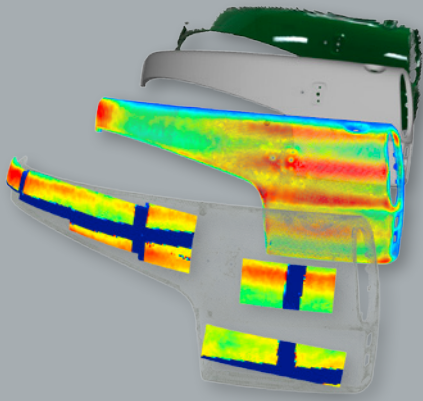
Entwickelt haben wir die selbstprogrammierende Lackierzelle gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und dem schwedischen Fraunhofer-Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics FCC.

### **Algorithmen errechnen optimale Roboterbahn**

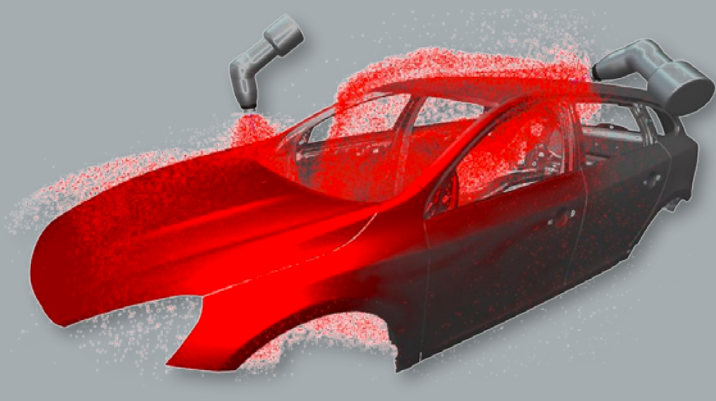
Der automatische Lackierprozess besteht aus fünf Schritten. Zunächst einmal wird das Bauteil dreidimensional gescannt, woraufhin die Scandaten die Basis für eine fluiddynamische Simulation bilden. Algorithmen simulieren die Flugbahn der Lackteilchen und bestimmen, welche Lack- und Luftmengen für die gewünschte Schichtdicke optimal sind. Aus diesen Simulationsdaten bestimmt das System im dritten Schritt die bestmögliche Roboterbahn für den Lackierprozess. Nun folgt der eigentliche Lackierprozess, der im letzten Schritt mithilfe von Terahertz-Technik kontrolliert wird. Wir realisieren im Projekt die dreidimensionale Erfassung des Bauteils und die Terahertz-Schichtdickenmessung.

### **Dreidimensionale Objekt- und Lageerkennung**

Damit die Lackierzelle die Lage des Objekts für die Simulation und Lackierung kennt, muss dieses dreidimensional erfasst werden. Für den industriellen Einsatz konzipierte Systeme zur 3D-Objekt-erfassung sind aber meist für sehr genaue topografische Vermessungen unbekannter Objekte ausgelegt, was diese teuer macht.



2



3

© FCC

Liegen a priori Informationen der Objektgeometrie in Form von CAD-Daten vor, können sehr kostengünstige Produkte aus dem Bereich der Consumer-Elektronik verwendet werden. Es genügt hier nämlich die Bestimmung der Bauteillage im Raum.

In der selbstprogrammierenden Lackierzelle kommen 3D-Sensoren zum Einsatz, die ursprünglich zur Steuerung von Videospielen – einem globalen Massenmarkt – entwickelt wurden. Die Genauigkeit der Lageerkennung ist dabei exakter als die Abweichungen gängiger Bauteile von den CAD-Daten und liegt somit innerhalb der Fertigungs- und Positionierungstoleranzen. Ermöglicht wird diese hohe Auflösung durch maßgeschneiderte Algorithmen zur Datenaufbereitung. Das reine dreidimensionale Bild, das von dem Sensor erfasst wird und das als Punktwolke oder Netz vorliegt, kann im Regelfall nicht direkt für die Positionserkennung verwendet werden. Werden aber Filter genutzt, die sich Abbildungseigenschaften des Sensorsystems zunutze machen und fehlerhafte Informationen automatisiert aus der Messung entfernen, lassen sich die Punktwolken so nachbearbeiten, dass diese in hoher Güte vorliegen. Hoch genug, um eine vollautomatisierte 3D-Lageerkennung durchzuführen und damit die Lacksimulation und Lackierung zu ermöglichen.

### **Terahertz-Technologie zur Qualitätskontrolle**

Im letzten Prozessschritt der automatisierten Lackierung wird schließlich die Qualität überprüft: Ist die Dicke der Lackschicht wie gewünscht? Für diese Qualitätskontrolle nutzen wir Terahertz-Wellen. Mit dieser von uns entwickelten Technologie können nasse und farbige Lacke berührungslos gemessen werden. Schon während des Lackierens oder auch im Nachgang kann die Qualität der Lackschichten kontrolliert werden.

Das eingesetzte Verfahren ermöglicht die berührungslose Messung sogar von Einzelschichtdicken eines Mehrschichtsystems, welches in vielen Lackierprozessen ebenfalls eingesetzt wird. Substrate – die Grundlage der Lackschichten – müssen hierbei nicht metallisch sein, sondern können auch aus anderen Materialien bestehen. Die Messsysteme für diese Qualitätskontrolle haben in den letzten Jahren Industriereife erlangt und bewiesen.

Im Lackieralltag wird also bald alles automatisch ablaufen: Das Bauteil wird von Robotern gescannt, lackiert und auf die Qualität überprüft – ohne Zutun eines Mitarbeiters.

**2** *Ablauf des automatisierten Lackierprozesses (von hinten nach vorne: 3D-Erfassung des Bauteils, Abgleich mit CAD-Modell, Simulation des Lackierergebnisses, Ergebnis der Terahertzmessung – blaue Bereiche für Vergleichsmessungen abgeklebt)*

**3** *Multiphysikalische Simulation eines Hochrotationszerstäubers mit Kontaktaufladung zur Berechnung der Tropfenflugbahn am Beispiel einer Volvo V60 Karosserie*



### SCHUTZRECHTE FÜR INTERFEROMETRISCHE ABSTANDSKONTROLLE

Die interferometrische Abstandskontrolle erlaubt die Korrektur von Schwingungen, die bei der Terahertz-Schichtdickenmessung unter industriellen Randbedingungen unweigerlich auftreten. Sowohl die Fahrwege innerhalb des Spektrometers als auch der Abstand zur zu vermessenden Probe (z. B. Autokarosserie) werden quasi in Echtzeit gemessen, um daraus Korrekturwerte für die Schichtdickenmessung zu ermitteln. Gerade für die Messung industriell relevanter, dünner Schichten ( $< 20 \mu\text{m}$ ) ist dieses Verfahren zur Ermittlung fehlerfreier Messwerte unabdingbar. Für beide Korrekturverfahren liegen die Schutzrechte bei uns.

### DER SLAPCOPS LASER – EINE NEUE LICHTQUELLE FÜR DIE TERAHERTZ-ZEITBEREICHSSPEKTROSKOPIE

Für die Terahertz-Zeitbereichsspektroskopie braucht man zwei variabel gegeneinander verzögerte Laserimpulse, um das Messsignal zeitaufgelöst abtasten zu können. Für die Zeitverzögerung sorgt meistens eine mechanische Verschiebeeinheit. Neuere Ansätze nutzen zwei Laserquellen, die entweder mit leicht verstimmtten Wiederholraten arbeiten oder zusätzlich die Wiederholrate des einen Lasers aktiv kontrollieren. Nachteil der mechanischen Kontrolle ist die Trägheit und Schwingungsanfälligkeit der Systeme, Nachteil der auf zwei Lasern basierenden Ansätze sind die hohen Kosten.

Wir haben jetzt ein Lasersystem entwickelt, das ohne mechanische Verfahrenheit auskommt und trotzdem nur einen Laser verwendet. Dieser emittiert Laserimpulse mit zueinander orthogonaler Polarisation. Jede Polarisation breitet sich mit einer unterschiedlichen Geschwindigkeit aus, woraus erneut unterschiedliche Wiederholraten resultieren. Durch eine gezielte Verstimmung der Resonatorlänge für eine der beiden Polarisationen kann zudem eine scannende Verzögerung realisiert werden. Ein mechanisch robustes und zugleich kostengünstiges Verfahren. Die Schutzrechte liegen bei uns und unserem Auftraggeber Hübner GmbH & Co. KG.





Von vorne, links nach rechts: Jens Klier, Nina Schreiner, Robert Kranz, Dr. Joachim Jonuscheit, Prof. Dr. Georg von Freymann, Claudia Busch-Croll, Andreas Keil, Ph.D., Christoph Kaiser, Alexander Theis, Dr. Daniel Molter, Ute Rein-Rech, Raphael Hussong, Caroline Cappel, Wladimir Zwetow, Shiva Mohammadzadeh, Oliver Boidol, Dmytro Kharik, Maris Bauer, Sebastian Bachtler

Asprion, N.; Blagov, S.; Böttcher, R.; Schwientek, J.; Burger, J.; Harbou, E. von; Bortz, M.  
**Simulation and multi-criteria optimization under uncertain model parameters of a cumene process**  
 In: Chemie-Ingenieur-Technik 89 (2017), Nr.5, S.665-674

Asprion, N.; Böttcher, R.; Pack, R.; Stavrou, M.-E.; Höller, J.; Schwientek, J.; Bortz, M.  
**Greybox models -new opportunities for the optimization of entire processes**  
 In: España, A.: 27th European Symposium on Computer Aided Process Engineering 2017. Pt. A: Held in Barcelona, Spain, 1st to 5th of October, 2017 Amsterdam: Elsevier, 2017, S.97-102 (Computer-aided chemical engineering 40)

Baccouche, B.; Agostini, P.; Mohamadzadeh, S.; Kahl, M.; Weisenstein, C.; Jonuscheit, J.; Keil, A.; Loeffler, T.; Sauer-Greff, W.; Urbansky, R.  
**Three-dimensional terahertz imaging with sparse multistatic line arrays**  
 In: IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 23 (2017), Nr.4, Art. 8501411, 11 S.

Baccouche, B.; Agostini, P.; Schneider, F.; Sauer-Greff, W.; Urbansky, R.; Friederich, F.  
**Comparison of digital beam-forming algorithms for 3D terahertz imaging with sparse multistatic line arrays**  
 In: Advances in radio science. Online journal 15 (2017), S.283-292

Baccouche, B.; Sauer-Greff, W.; Urbansky, R.; Friedrich, F.  
**Application of the phase coherence method for imaging with sparse multistatic line arrays**  
 In: Shiroma, W. (Ed.) ; Institute of Electrical and Electronics Engineers: IEEE MTT-S International Microwave Symposium, IMS 2017: 06-08 Juni 2017, Honolulu, Hawaii Piscataway, NJ: IEEE, 2017, S.1214-1217

Bartsch, V.; Machado, R.; Rahn, M.; Merten, D.; Pfreundt, F.-J.  
**GASPI/GPI in-memory check pointing library**

In: Rivera, F.F.: Euro-Par 2017. Parallel processing. 23rd International Conference on Parallel and Distributed Computing: Santiago de Compostela, Spain, August 28 – September 1, 2017; Proceedings Cham: Springer International Publishing, 2017, S.497-508

Bauer, B.; Cai, X.; Peth, S.; Schladitz, K.; Steidl, G.  
**Variational-based segmentation of bio-pores in tomographic images**  
 In: Computers and geosciences 98 (2017), S.1-8

Berger, M.; Lindroth, P.; Welke, P.  
**Rule-based optimization and multicriteria decision support for packaging a truck chassis**  
 In: Engineering optimization 49 (2017), Nr.6, S.1057-1077

Bitsch, G.; Dreßler, K.; Kleer, M.; Pena Vina, E.  
**Absicherung von Fahrzeugfunktionen unter Berücksichtigung der Umgebung und des Fahrzeugverhaltens**  
 In: Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V., Berlin; Arbeitskreis Betriebsfestigkeit: (R)Evolution des Antriebs -Auswirkung auf die Betriebsfestigkeit der Bauteile in der Wirkungskette: 44. Tagung des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit, 11.-12.10.2017, Friedrichshafen Berlin: DVM, 2017, S.31-41 (DVM-Bericht 144)

Björkenstam, S.; Nyström, J.; Carlsson, J.; Roller, M.; Linn, J.; Hanson, L.; Högberg, D.; Leyendecker, S.  
**A framework for motion planning of digital humans using discrete mechanics and optimal control**  
 In: Wischniewski, S. ; Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund: 5th International Digital Human Modeling Symposium 2017. Proceedings: June 26-28, 2017, Wachtberg Dortmund: BAuA, 2017, S.64-71

Bonacker, Esther; Gibali, Aviv; Küfer, Karl-Heinz; Süß, Philipp  
**Speedup of lexicographic optimization by superiorization and its applications to cancer radiotherapy treatment**

In: Inverse problems 33 (2017), Nr.4, Art. 044012, 20 S.

Borgwardt, Steffen; Loera, Jesús A. de; Finhold, Elisabeth  
**The diameters of network-flow polytopes satisfy the Hirsch conjecture**  
 In: Mathematical programming. Series A (2017), Online First, 27 S.

Bortz, Michael  
**Modellierung, Simulation und Optimierung von Prozessen**  
 In: InnoVisions (2017), Nr.3, S.1-3

Burger, Jakob; Asprion, Norbert; Blagov, Sergej; Bortz, Michael  
**Simple perturbation scheme to consider uncertainty in equations of state for the use in process simulation**  
 In: Journal of Chemical and Engineering Data 62 (2017), Nr.1, S.268-274

Burger, M.; Dreßler, K.; Ekevid, T.; Steidel, S.; Weber, D.  
**Coupling a DEM material model to multibody construction equipment**  
 In: Valasek, M. ; Czech Technical University, Prag; European Community on Computational Methods in Applied Science -ECCOMAS-: 8th ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics 2017. Conference Proceedings: Prague, June 19 -22, 2017 Prag: Czech Technical University, 2017, S.417-424

Burger, M.; Gerdts, M.  
**A survey on numerical methods for the simulation of initial value problems with sDAEs**  
 In: Ilchmann, A.: Surveys in Differential-Algebraic Equations IV Cham: Springer International Publishing, 2017, S.221-300 (Differential-Algebraic Equations Forum)

Calabrese, F.; Bäcker, M.; Gallrein, A.; Leister, G.  
**SIMULATION -Simulation of a tire blow-out in a full vehicle scenario**  
 In: Pfeffer, P.E.: 7th International Munich Chassis Symposium 2016: Chassis.tech plus; 14 and 15 June 2016, Munich Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017, S.869-898

Calabrese, F.; Ludwig, C.; Bäcker, M.; Gallrein, A.  
**A study of parameter identification for a thermal-mechanical tire model based on flat track measurements**  
 In: Spiryagin, M. ; International Association for Vehicle System Dynamics: Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks. Vol.1: Proceedings of the 25th Intern. Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks, IAVSD 2017, 14-18 August 2017, Rockhampton, Queensland, Australia Boca Raton, Fla.: CRC Press, 2017, S.156-161 und VDI-Bericht 2296 , pp. 57-75

Cristofani, E.; Friederich, F.; Vandewal, M.; Jonuscheit, J.  
**Nondestructive testing of aeronautics composite structures using ultrawideband radars**  
 In: Taylor, J.: Advanced ultrawideband radar. Signals, targets, and applications Boca Raton, Fla.: CRC Press, 2017, S.237-270

Damm, T.; Benner, P.; Hauth, J.  
**Computing the stochastic H<sub>∞</sub>-norm by a netwon iteration**  
 In: IEEE control systems letters 1 (2017), Nr.1, S.92-97

Desmettre, S.; Grün, S.; Seifried, F.T.  
**Estimating discrete dividends by no-arbitrage**  
 In: Quantitative finance 17 (2017), Nr.2, S.261-274

Dobrovolskij, D.  
**Ultraschall-Simulationsverfahren zur Berechnung des Gefügerauschens in polykristallinen Werkstoffen**  
 In: ZfP-Zeitung 154 (2017), S.39-42

Dobrovolskij, D.; Gospodnetic, P.  
**Umlaufende Inspektion - Roboter-gestütztes System inspiert automatisch Oberflächenfehler**  
 In: Qualität und Zuverlässigkeit: QZ (2017), Nr.11, S.52-54

Dörlich, V.; Cesarek, P.; Linn, J.; Diebels, S.  
**Experimental investigation and numerical modeling of resultant-based bending plasticity in cables**  
 In: Valasek, M. ; Czech Technical University, Prag; European Community on Computational Methods

in Applied Science -ECCOMAS-: 8th ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics 2017. Conference Proceedings: Prague, June 19 -22, 2017 Prag: Czech Technical University, 2017, S.37-46

Dreßler, K.; Stephan, T.  
**Kabel und Schläuche simulationsgestützt optimieren und absichern: Wie flexibel sind sie?**  
In: Elektronik automotive (2017), Sonderausgabe Bordnetz 2017, S.14-17

F. Küsters, D. Patil and S. Trenn  
**Switch observability for a class of inhomogeneous switched DAEs**  
In: 2017 IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control (CDC) December 12-15, 2017, Melbourne, Australia; Pages 3175-3180

F. Küsters, S. Trenn, A. Wirsén  
**Switch-observer for switched linear systems**  
2017 IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control (CDC), December 12-15, 2017, Melbourne, Australia; Pages 1749 – 1754

Farsadpour, S.; Taghizadeh Ghochany, L.; Kaiser, C.; Freymann, G. v.  
**Organische, nicht lineare optische Chromophore**  
Priorität: DE 102015116293 A1: 20150925

Fischer, T.; Pfetsch, M.E.  
**Monoideal cut strengthening and generalized mixed-integer rounding for disjunctions and complementarity constraints**  
In: Operations research letters 45 (2017), Nr.6, S.556-560

Fitschen, J.H.; Losch, K.; Steidl, G.  
**Unsupervised multi class segmentation of 3D images with intensity inhomogeneities**  
In: Journal of visual communication and image representation 46 (2017), S.312-323

Fliegner, S.; Kennerknecht, T.; Kabel, M.  
**Investigations into the damage mechanisms of glass fiber reinforced polypropylene based on micro specimens and precise models of their microstructure**

In: Composites. Part B, Engineering 112 (2017), S.327-343

Forte, E.; Harbou, E. v.; Burger, J.; Aspiron, N.; Bortz, M.  
**Optimal design of laboratory and pilot-plant experiments using multiobjective optimization**  
In: Chemie-Ingenieur-Technik 89 (2017), Nr.5, S.645-654

Foss, S.-K.; Karlsen, E.S.; Mispel, J.; Straith, K.R.; Merten, D.; Ettrich, N.  
**From seismic reflections to diffractions -case study of interpretation for development of a complex gas reservoir**

In: European Association of Geoscientists and Engineers -EAGE-: Energy, technology, sustainability -time to open a new chapter. 79th EAGE Conference and Exhibition 2017. Vol.3: Paris, France, 12-15 June 2017 Red Hook, NY: Curran, 2017, S.2178-2182

Fraunhofer-Institut für Techno-und Wirtschaftsmathematik -ITWM-, Kaiserslautern  
**Jahresbericht 2016/2017**  
Kaiserslautern: Fraunhofer ITWM, 2017, 92 S.

Fütterling, V.; Lojewski, C.; Pfreundt, F.-J.; Hamann, B.; Ebert, A.

**Accelerated single ray tracing for wide vector units**

In: Association for Computing Machinery; Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques -SIGGRAPH-; Europ. Assoc. for Computer Graphics -EUROGRAPHICS-: HPG 2017, High Performance Graphics. Proc.: Los Angeles, California, July 28 -30, 2017 New York: ACM, 2017, Art. 6, 9 S.

Gallrein, A.; Bäcker, M.; Calabrese, F.  
**Dynamic simulation of the inflation gas of a tire under operational conditions**

In: Valasek, M. ; Czech Technical University, Prag; European Community on Computational Methods in Applied Science -ECCOMAS-: 8th ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics 2017. Conference Proceedings: Prague, June 19 -22, 2017 Prag: Czech Technical University, 2017, S.407-416

Gilberg, D.; Klar, A.; Steiner, K.

**A hydrodynamic model for granular material flows including segregation effects**

In: Radjai, F.; Association for the Study of Micromechanics of Granular Media: Powders and Grains 2017. 8th International Conference on Micromechanics on Granular Media: Montpellier, France, July 3-7, 2017 Les Ulis: EDP Sciences, 2017, Art. 11008, 4 S. (EPJ Web of Conferences 140)

Göbel, M.; Godehardt, M.; Schladitz, K.

**Multi-scale structural analysis of gas diffusion layers**

In: Journal of power sources 355 (2017), S.8-17

Godehardt, M.; Schladitz, K.; Dietrich, S.; Meyndt, R.; Schulz, H.  
**Segmentation of collagen fiber bundles in 3D by waterfall on orientations**

In: Angulo, J.: Mathematical morphology and its applications to signal and image processing. 13th international symposium, ISMM 2017: Fontainebleau, France, May 15-17, 2017; Proceedings Cham: Springer International Publishing, 2017, S.447-454 (Lecture Notes in Computer Science 10225)

Goldberg, N.; Ospald, F.; Schneider, M.

**A fiber orientation-adapted integration scheme for computing the hyperelastic Tucker average for short fiber reinforced composites**

In: Computational mechanics 60 (2017), Nr.4, S.595-611

Gramsch, S.; Kontak, M.; Michel, V.  
**Three-dimensional simulation of nonwoven fabrics using a greedy approximation of the distribution of fiber directions**  
(2017) ZAMM Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik; DOI: 10.1002/zamm.201600188

Griso, G.; Migunova, Anastasia; Orlik, Julia  
**Asymptotic analysis for domains separated by a thin layer made of periodic vertical beams**  
In: Journal of elasticity 128 (2017), Nr.2, S.291-331

Häbel, H.; Rajala, T.; Marucci, M.; Boissier, C.; Schladitz, K.; Redenbach, C.; Särkkä, A.

**A three-dimensional anisotropic point process characterization for pharmaceutical coatings**

In: Spatial statistics 22 (2017), Pt.2, S.306-320

Haehnle, J.; Süß, P.; Landry, G.; Teichert, K.; Hille, L.; Hofmaier, J.; Nowak, D.; Kamp, F.; Reiner, M.; Thieke, C.; Ganswindt, U.; Belka, C.; Parodi, K.; Küfer, K.-H.; Kurz, C.  
**A novel method for interactive multi-objective dose-guided patient positioning**

In: Physics in medicine and biology 62 (2017), Nr.1, S.165-185

Harbou, E. v.; Ryll, O.; Schrabback, M.; Bortz, M.; Hasse, H.  
**Reactive distillation in a dividing-wall column: Model development, simulation and error analysis**

In: Chemie-Ingenieur-Technik 89 (2017), Nr.10, S.1315-1324

Hauck, M.; Klar, A.; Orlik, J.  
**Design optimization in periodic structural plates under the constraint of anisotropy**

In: Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik: ZAMM 97 (2017), Nr.10, S.1220-1235

Heieck, F.; Hermann, F.; Middendorf, P.; Schladitz, K.  
**Influence of the cover factor of 2D biaxial and triaxial braided carbon composites on their in-plane mechanical properties**  
In: Composite structures 163 (2017), S.114-122

Hellmann, A.; Rief, S.; Schmidt, K.; Kocaman, R.T.; Aibibu, D.; Cherif, C.; Ripberger, S.; Antonyuk, S.  
**Simulation der Partikelabscheidung und des Druckverlustes von Schutz- und Filtertextilien bei einer Gasdurchströmung**  
In: Filtrieren und Separieren: F & S 31 (2017), Nr.4, S.268-274

Hettesheimer, T.; Thielmann, A.; Neef, C.; Möller, K.-C.; Wolter, M.; Lorentz, V.; Gepp, M.; Wenger, M.; Prill, T.; Zausch, J.; Kitzler, P.; Montnacher, J.; Miller, M.; Hagen, M.; Fanz, P.; Tübke, J.

- Entwicklungsperspektiven für Zellformate von Lithium-Ionen-Batterien in der Elektromobilität**  
Pfinztal: Fraunhofer-Allianz Batterien, 2017, 48 S.
- Hoffmann, A.; Bortz, M.; Welke, R.; Burger, J.; Küfer, K.-H.; Hasse, H. **Stage-to-stage calculations of distillation columns by fixed-point iteration and application of the Banach fixed-point theorem**  
In: Chemical Engineering Science 164 (2017), S.188-201
- Hoffmann, A.; Küfer, K.-H. (Hrsg.); Biegler, L. T. (Hrsg.) **Integrated simulation and optimization of distillation-based flowsheets**  
Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2017, XII, 179 S. (Zugl.: Kaiserslautern, TU, Diss., 2016) (ISBN 978-3-8396-1179-1)
- Hofmaier, J.; Haehnle, J.; Kurz, C.; Landry, G.; Maihoefer, C.; Schüttrumpf, L.; Süß, P.; Teichert, K.; Söhn, M.; Spahr, N.; Brachmann, C.; Weiler, F.; Thieke, C.; Küfer, K.-H.; Belka, C.; Parodi, K.; Kamp, F. **Multi-criterial patient positioning based on dose recalculation on scatter-corrected CBCT images: Dose guided positioning**  
In: Radiotherapy & oncology 125 (2017), Nr.3, S.464-469
- Hofmaier, J.; Haehnle, J.; Kurz, C.; Landry, G.; Maihöfer, C.; Süß, P.; Teichert, K.; Traulsen, N.; Brachmann, C.; Weiler, F.; Thieke, C.; Küfer, K.-H.; Parodi, K.; Kamp, F. **Multi-criterial patient positioning based on dose recalculation on scatter-corrected CBCT images**  
In: Radiotherapy & oncology 123 (2017), Supplement 1, S.S257-S25830926-X)
- Hofmann, T.; Müller, R.; Andrä, H. **A fast immersed interface method for the Cahn-Hilliard equation with arbitrary boundary conditions in complex domains**  
In: Computational materials science 140 (2017), S.22-31
- Hofmann, Tobias; Andrä, H.; Müller, R.; Zausch, J. **Stress simulation in lithium-ion batteries**  
In: Scheven, M. von ; German Association for Computational Mechanics -GACM-: 7th GACM Colloquium on Computational Mechanics for Young Scientists from Academia and Industry 2017. Proceedings: 11 -13 Oct. 2017, Stuttgart, Germany Stuttgart: Universität Stuttgart, 2017, S.432-435
- Hübner, F.; Leithäuser, C.; Bazrafshan, B.; Siedow, N.; Vogl, T.J. **Validation of a mathematical model for laser-induced thermotherapy in liver tissue**  
In: Lasers in medical science 32 (2017), Nr.6, S.1399-1409
- Iliev, D.; Iliev, O. (Hrsg.); Margenov, S. (Hrsg.) **Numerical algorithms for fluid interaction with a thin porous structure**  
Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2017, IX, 97 S. (Zugl.: Kaiserslautern, TU, Diss., 2016) (ISBN 978-3-8396-1152-4)
- Iliev, O.; Lakdawala, Z.; Nebler, K. H. L.; Prill, T.; Vutov, Y.; Yang, Y.; Yao, J. **On the pore-scale modeling and simulation of reactive transport in 3D geometries**  
In: Mathematical modelling and analysis 22 (2017), Nr.5, S.671-694
- Iliev, O.; Nikiforova, M. A.; Semenov, Y. V.; Zakharov, P. E. **Splitting algorithm for numerical simulation of Li-ion battery electrochemical processes**  
In: Egorov, I.E.: 8th International Conference on Mathematical Modeling, ICMM 2017. Proceedings: Yakutsk, Russia, 4-8 July 2017 Melville/NY: AIP Publishing, 2017, Art. 030019 (AIP Conference Proceedings 1907)
- Isetti, C.; Nannei, E.; Lazzari, S.; Hariri, S.; Iliev, O.; Prill, T. **New climate-control units for more energy-efficient Electric Vehicles: The innovative Three-Fluids Combined Membrane Contactor**  
In: Institute of Electrical and Electronics Engineers -IEEE-: Twelfth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies, EVER 2017: Monte-Carlo, Monaco 11-13 April 2017 Piscataway, NJ: IEEE, 2017, S.679-683
- Jami, Neil **Container fleet management in closed-loop supply chains**  
Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2017, VII, 231 S. (Zugl.: Kaiserslautern, Univ., Diss., 2016) (ISBN 978-3-8396-1210-1)
- Jörg, C.; Letscher, F.; Fleischhauer, M.; Freymann, G. von **Dynamic defects in photonic Floquet topological insulators**  
In: New journal of physics. Online journal 19 (2017), Nr.8, Art. 083003, 11 S.
- Kabel, M.; Fink, A.; Schneider, M. **The composite voxel technique for inelastic problems**  
In: Computer methods in applied mechanics and engineering 322 (2017), S.396-418
- Kabel, M.; Kirsch, R.; Rief, S.; Staub, S.; Osterroth, S. **Coupling of CFD and structural mechanics simulation for the prediction of manufacturing effects on filter media**  
In: Internat. Association for the Engineering Analysis Community.: NAFEMS World Congress 2017. Proc.: Incorporating the 3rd Intern. Conf. on SPDM, 2017; Stockholm, Sweden, 2017, Paper NWC17-412-M
- Kameswara Rao, P. V.; Rawal, A.; Kumar, V.; Rajput, K. G. **Compression-recovery model of absorptive glass mat (AGM) separator guided by X-ray micro-computed tomography analysis**  
In: Journal of power sources 365 (2017), S.389-398
- Kleinert, J.; Simeon, B.; Dreßler, K. **Nonsmooth contact dynamics for the large-scale simulation of granular material**  
In: Journal of computational and applied mathematics 316 (2017), S.345-357
- Klier, J.; Jonuscheit, J.; Freymann, G. von; Weber, S. **Jede Schicht entscheidet**  
In: InVision (2017), Nr.5, S.58-59
- Korn, R.; Temocin, B.Z.; Wenzel, J. **Applications of the central limit theorem for pricing Cliquet-style options**  
In: European actuarial journal 7 (2017), Nr.2, S.465-480
- Krebs, J. **A Bernstein inequality for exponentially growing graphs**  
In: Communications in statistics. Theory and methods (2017), Online First, 10 S.
- Krebs, J. **Consistency and asymptotic normality of stochastic Euler schemes for ordinary differential equations**  
In: Statistics & probability letters 125 (2017), S.1-8
- Krebs, J. T. N.; Franke, J. (Hrsg.); Sachs, R. von (Hrsg.) **Sieve estimators for spatial data: Nonparametric regression and density models with wavelets for strong mixing random fields**  
Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2017, 123 S. (Zugl.: Kaiserslautern, TU, Diss., 2017) (ISBN 978-3-8396-1186-9)
- Kühn, M.; Keuper, J.; Pfreundt, F.-J. **Using GPI-2 for distributed memory parallelization of the caffe toolbox to speed up deep neural network training**  
In: International Academy, Research, and Industry Association: Seventh International Conference on Advanced Communications and Computation, INFOCOMP 2017: June 25 -29, 2017, Venice, Italy IARIA, 2017, S.75-79
- Kurnatowski, M. von; Bortz, M.; Klein, P.; Kintzel, B.; Cremers, C. **Quantitative kinetic analysis of a PdAu<sub>3</sub> alloy catalyst for oxygen electro-reduction**  
In: Journal of the Electrochemical Society 164 (2017), Nr.14, S.H1072-H1080
- Kurnatowski, M. von; Bortz, M.; Scherrer, A.; Hoffmann, A.; Lorenz, H.-M.; Caraucan, M.; Grütznert, T.; Künzle, N.; Küfer, K.-H.



**Multi-criteria optimization of an industrial world-scale process**  
In: Chemie-Ingenieur-Technik 89 (2017), Nr.11, S.1471-1478

Küstners, F.; Patil, D.; Tesi, P.; Trenn, S. **Indiscernible topological variations in DAE networks with applications to power grids**  
In: IFAC-PapersOnLine 50 (2017), Nr.1, S.7333-7338

Küstners, F.; Trenn, S.; Wirsén, A. **Switch observability for homogeneous switched DAEs**  
In: IFAC-PapersOnLine 50 (2017), Nr.1, S.9355-9360

Leithäuser, C.; Pinnau, R. **The production of filaments and nonwoven materials: The design of the polymer distributor**  
In: Ghezzi, L. ; European Consortium for Mathematics in Industry: Math for the Digital Factory Cham: Springer International Publishing, 2017, S.321-340 (Mathematics in industry 27)

Leithäuser, C.; Pinnau, R.; Feßler, R. **Approximate controllability of linearized shape-dependent operators for flow problems**  
In: Control, optimisation and calculus of variations: COCV 23 (2017), Nr.3, S.751-771

Lindner, F.; Marheineke, N.; Stroot, H.; Vibe, A.; Wegener, R. **Stochastic dynamics for inextensible fibers in a spatially semi-discrete setting**  
In: Stochastics and Dynamics 17 (2017), Nr.2, Art. 1750016, 29 S.

Linn, J.; Dreßler, K. **Discrete cosserat rod models based on the difference geometry of framed curves for interactive simulation of flexible cables**  
In: Ghezzi, L. ; European Consortium for Mathematics in Industry: Math for the Digital Factory Cham: Springer International Publishing, 2017, S.289-319 (Mathematics in industry 27)

Linn, J.; Hermansson, T.; Andersson, F.; Schneider, F.

**Kinetic aspects of discrete cosserat rods based on the difference geometry of framed curves**  
In: Valasek, M.; Czech Technical University, Prag; European Community on Computational Methods in Applied Science: 8th ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics 2017. Conference Proceedings: Prague, June 19 -22, 2017 Prag: Czech Technical University, 2017, S.163-176

Liu, P.; Yao, J.; Couples, G.D.; Ma, J.; Iliev, O. **3-D modelling and experimental comparison of reactive flow in carbonates under radial flow conditions**  
In: Scientific Reports 7 (2017), Art. 17711, 10 S.

Loroch, D.; Pfreundt, F.-J.; Wehn, N.; Keuper, J. **TensorQuant: A simulation toolbox for deep neural network quantization**  
In: Association for Computing Machinery -ACM-: MLHPC 2017, Machine Learning on HPC Environments. Proceedings: Denver, CO, USA, November 12 -17, 2017 New York: ACM, 2017, Art. 1, 8 S.

Lu, Y.; Marheineke, N.; Mohring, J. **Interpolation strategy for BT-based parametric MOR of gas pipeline-networks**  
In: Benner, P.: Model Reduction of Parametrized Systems Cham: Springer International Publishing, 2017, S.387-401 (Modeling, simulation & applications 17)

Maag, Volker **Designing hybrid energy systems for buildings**  
In: Herskovits, J. ; Federal University of Rio de Janeiro, Brazil: EngOpt 2016, 5th International Conference on Engineering Optimization. Proceedings: Iguassu Falls, June 19 to 23, 2016 Rio de Janeiro, 2017, S.178-187

Merten, Dirk; Pfreundt, Franz-Josef **ALOMA – an auto-parallelization tool for seismic processing**  
In: European Association of Geoscientists and Engineers: Energy, technology, sustainability -time to open a new chapter: 79th EAGE

Conference and Exhibition 2017; Paris France, 12-15 June 2017 Red Hook, NY: Curran, 2017, S.399-403

Michel, I.; Bathaeian, S.M.I., Kuhnert, J., Kolymbas, D., Chen, C.-H., Polymerou, I., Vrettos, C., Becker, A. **Meshfree generalized finite difference methods in soil mechanics-part II: numerical results**  
(2017) GEM - Internat. Journal on Geomathematics, 8 (2), pp. 191-217

Migunova, Anastasia **Outer-plane properties of thin heterogeneous periodic layers**  
Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2017, VI, 110 S. (Zugl.: Kaiserslautern, TU, Diss., 2016) (ISBN 978-3-8396-1159-3)

Molter, D.; Trierweiler, M.; Ellrich, F.; Jonuscheit, J.; Freymann, G. von **Interferometry-aided terahertz time-domain spectroscopy**  
In: Optics Express 25 (2017), Nr.7, S.7547-7558

Nickel, Stefan; Velten, Sebastian **Optimization problems with flexible objectives: A general modeling approach and applications**  
In: European Journal of Operational Research 258 (2017), Nr.1, S.79-88

Niedziela, D.; Rau, S.; Steiner, K.; Vita, S. de; Lutsche, M.; Richter, M.; Schmidt, M.; Stoltz, C. **Virtual characterization of dense granular flow through a vertically rotating feeding experiment**  
In: Chemical Engineering and Technology 40 (2017), Nr.9, S.1599-1604

Niedziela, M., Wlazlo, J. **Notes on computational aspects of the fractional-order viscoelastic model**  
(2017) Journal of Engineering Mathematics, pp. 1-15. DOI: 10.1007/s10665-017-9911-0

Noroozi, S.; Alamdari, H.; Arne, W.; Larson, R.G.; Taghavi, S.M. **Regularized string model for nanofibre formation in centrifugal spinning methods**  
In: Journal of Fluid Mechanics 822 (2017), S.202-234

Obentheuer, M.; Roller, M.; Björkenstam, S.; Berns, K.; Linn, J. **Human like motion generation for ergonomic assessment - a muscle driven Digital Human Model using muscle synergies**  
In: Valasek, M. ; Czech Technical University, Prag; European Community on Computational Methods in Applied Science: 8th ECCOMAS Thematic Confer. on Multibody Dynamics 2017. Confer. Proc.: Prague, June 19 -22, 2017 Prag: Czech Technical University, 2017, S.847-856

Oden, Lena; Fröning, Holger **InfiniBand-Verbs on GPU: A case study of controlling an InfiniBand network device from the GPU**  
In: International Journal of high Performance Computing Applications 31 (2017), Nr.4, S.274-284

Orlik, J.; Andrä, H.; Argatov, I.; Staub, S. **Does the weaving and knitting pattern of a fabric determine its relaxation time?**  
In: The quarterly journal of mechanics and applied mathematics: QJMAM 70 (2017), Nr.4, S.337-361

Osterroth, S.; Iliev, O.; Pinnau, R. **On efficient approaches for solving a cake filtration model under parameter variation**  
In: Benner, P.: Model Reduction of Parametrized Systems Cham: Springer International Publishing, 2017, S.455-470 (Modeling, simulation & applications 17)

Phutane, U.; Roller, M.; Björkenstam, S.; Linn, J.; Leyendecker, S. **Kinematic validation of a human thumb model**  
In: Valasek, M. ; Czech Technical University, Prag; European Community on Comp. Methods in Applied Science: 8th ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics 2017. Confer. Proceedings: Prague, June 19 -22, 2017 Prag: Czech Technical University, 2017, S.857-866

Prill, T.; Jeulin, D.; Willot, F.; Balach, J.; Soldera, F. **Prediction of effective properties of porous carbon electrodes from a parametric 3D random morphological model**

In: Transport in porous media: TIPM 120 (2017), Nr.1, S.141-165

Rawal, A., Kumar, V., Hietel, D., Dauner, M.  
**Modulating the Poisson's ratio of articular cartilage via collagen fibril alignment**  
(2017) Materials Letters, 194, pp. 45-48

Rawal, A.; Kumar, V.; Saraswat, H.; Weerasinghe, D.; Wild, K.; Hietel, D.; Dauner, M.

**Creating three-dimensional (3D) fiber networks with out-of-plane auxetic behavior over large deformations**  
In: Journal of Materials Science: JMS 52 (2017), Nr.5, S.2534-2548

Reinhard, R.; Kleer, M.; DreBler, K.  
**The impact of subjective simulator experiences on usability and driving behavior in a state of the art driving simulator**  
In: Kemeny, A. ; Driving Simulation Association.: DSC 2017 Europe VR, Driving Simulation Conference & Exhibition 2017. Proceedings: University of Stuttgart, Germany, September 6-8, 2017 Antony/ France: DSA, 2017, S.123-124

Reinhard, R.; Rutrecht, H.M.; Hengstenberg, P.; Tutulmaz, E.; Geissler, B.; Hecht, H.; Muttray, A.  
**The best way to assess visually induced motion sickness in a fixed-base driving simulator**  
In: Transportation research. Part F, Traffic psychology and behaviour 48 (2017), S.74-78

Reséndiz-Flores, E.; Kuhnert, J.; Saucedo-Zendejo, F.  
**Application of a generalized finite difference method to mould filling process**  
In: European journal of applied mathematics (2017), Online First, 20 S.

Roller, M.; Björkenstam, S.; Linn, J.; Leyendecker, S.  
**Optimal control of a biomechanical multibody model for the dynamic simulation of working tasks**  
In: Valasek, M. ; Czech Technical University, Prag; European Community on Computational Methods in Applied Science: 8th ECCOMAS Thematic Conference on Multibody

Dynamics 2017. Conference Proceedings: Prague, June 19 -22, 2017 Prag: Czech Technical University, 2017, S.817-826

Roller, M.; Gallrein, A.; Linn, J.; Betsch, P.  
**A tire model based on geometrically exact shells for modal analysis in steady state rolling**  
In: Ambrósio, J.A.C.; European Mechanics Society: Rolling contact mechanics for multibody system dynamics: EUROMECH Colloquium 578, Funchal, Madeira, Portugal, 10-13 April 2017 Funchal, 2017, Paper 44, 23 S.

Schappals, M.; Mecklenfeld, A.; Kröger, L.; Botan, V.; Köster, A.; Stephan, S.; García, E.J.; Rutkai, G.; Raabe, G.; Klein, P.; Leonhard, K.; Glass, C.W.; Lenhard, J.; Vrabec, J.; Hasse, H.  
**Round robin study: Molecular simulation of thermodynamic properties from models with internal degrees of freedom**  
In: Journal of chemical theory and computation: JCTC 13 (2017), Nr.9, S.4270-4280

Scheuerlein, C.; Rack, A.; Schladitz, K.; Huwig, L.

**Synchrotron microtomography investigation of the filament microstructure in differently processed Bi-2212 wires**  
In: IEEE transactions on applied superconductivity 27 (2017), Nr.4, Art. 6400205, 5 S.

SchieBl, S; Marheineke, N. (Hrsg.); Meister, A. (Hrsg.)  
**Jet and fiber dynamics with high elongations: Models, numerical strategies and applications**  
Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2017, 187 S. (Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2017) (ISBN 978-3-8396-1241-5)

Schladitz, K.; Büter, A.; Godehardt, M.; Wirjadi, O.; Fleckenstein, J.; Gerscher, T.; Hassler, U.; Jaschek, K.; Maisl, M.; Maisl, U.; Mohr, S.; Netzelmann, U.; Potyra, T.; Steinhäuser, M. O.  
**Non-destructive characterization of fiber orientation in reinforced SMC as input for simulation based design**  
In: Composite structures 160 (2017), S.195-203

Schmeißer, A.; Burkhart, D.; Linn, D.; Schnebele, J.; Ettmüller, M.; Gramsch, S.; Arne, W.  
**EnSight4Matlab: read, process, and write files in EnSight® Gold format from C++ or MATLAB®**  
In: The journal of open source software: JOSS. Online journal 2 (2017), Paper 217

Schneider, F.; Burger, M.; Arnold, M.; Simeon, B.  
**A new approach for force-displacement co-simulation using kinematic coupling constraints**  
In: Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik: ZAMM 97 (2017), Nr.9, S.1147-1166

Schneider, F.; Linn, J.; Hermansson, T.; Andersson, F.  
**Cable dynamics and fatigue analysis for digital mock-up in vehicle industry**  
In: Valasek, M. ; Czech Technical University, Prag; European Community on Computational Methods in Applied Science: 8th ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics 2017. Conference Proceedings: Prague, June 19 -22, 2017 Prag: Czech Technical University, 2017, S.763-769

Schneider, M.  
**An FFT-based fast gradient method for elastic and inelastic unit cell homogenization problems**  
In: Computer methods in applied mechanics and engineering 315 (2017), S.846-866

Schneider, M.  
**Beyond polyconvexity: An existence result for a class of quasi-convex hyperelastic materials**  
In: Mathematical Methods in the Applied Sciences 40 (2017), Nr.6, S.2084-2089

Schneider, M.  
**The sequential addition and migration method to generate representative volume elements for the homogenization of short fiber reinforced plastics**  
In: Computational mechanics 59 (2017), Nr.2, S.247-263

Schneider, Matti; Merkert, Dennis; Kabel, Matthias

**FFT-based homogenization for microstructures discretized by linear hexahedral elements**  
In: International journal for numerical methods in engineering 109 (2017), Nr.10, S.1461-1489

Schreiner, N.; Baccouche, B.; Sauer-Greff, W.; Urbansky, R.; Friederich, F.  
**High-resolution FMCW millimeter-wave and terahertz thickness measurements**  
In: Institute of Electrical and Electronics Engineers; European Microwave Association; Institution of Engineering and Technology: 47th European Microwave Conference, EuMC 2017: European Microwave Week 2017, 10-12 October 2017, Nuremberg, Germany Piscataway, NJ: IEEE, 2017, S.339-342

Schuler, F.; Breit, W.; Schnell, J.; Schladitz, K.  
**Computertomografie -den Fasern auf der Spur: Untersuchungen zum Faktor zur Berücksichtigung der Faserorientierung I<sup>o</sup> F f nach DAfStb-Richtlinie „Stahlfaserbeton“ am Beispiel von Tunnelübblings**  
In: Bautechnik 94 (2017), Nr.10, S.689-696

Schütte, J.; Fridgen, G.; Prinz, W.; Rose, T.; Urbach, N.; Hoeren, T.; Guggenberger, N.; Welzel, C.; Holly, S.; Schulte, A.; Sprenger, P.; Schwede, C.; Weimert, Birgit; Otto, B.; Dalheimer, M.; Wenzel, M.; Kreutzer, M.; Fritz, Michael; Leiner, U.; Nouak, A.; Prinz, W. (ed.); Schulte, A. T. (ed.)  
**Blockchain und Smart Contracts: Technologien, Forschungsfragen und Anwendungen**  
München: Fraunhofer-Gesellschaft, 2017, 50 S.

Shiryaev, Vladimir; Orlik, Julia  
**A one-dimensional computational model for hyperelastic string structures with Coulomb friction**  
In: Mathematical Methods in the Applied Sciences 40 (2017), Nr.3, S.741-756

Sliseris, J.; Andrä, H.; Kabel, M.; Dix, B.; Plinke, B.  
**Virtual characterization of MDF fiber network**

In: European journal of wood and wood products 75 (2017), Nr.3, S.397-407

Steidel, S.; Burger, M.  
**Co-simulation in the vehicle development process**

In: Scheven, M. von ; German Association for Computational Mechanics: 7th GACM Colloquium on Computational Mechanics for Young Scientists from Academia and Industry 2017. Proceedings: 11-13 October 2017, Stuttgart, Germany: Universität Stuttgart, 2017, S.363-366

Stephani, H.; Weibel, T.; Moghiseh, A.  
**Modellbasiertes Lernen in der Oberflächeninspektion**

In: Automatisierungstechnik: AT 65 (2017), Nr.6, S.406-415

Suchde, P.; Kuhnert, J.; Schröder, S.; Klar, A.

**A flux conserving meshfree method for conservation laws**

In: International journal for numerical methods in engineering 112 (2017), Nr.3, S.238-256

Temocin, B.Z.; Korn, R.; Selcuk-Kestel, A.S.

**Constant proportion portfolio insurance in defined contribution pension plan management**

In: Annals of operations research (2017), Online First, 20 S.

Tröltzsch, J.; Schäfer, K.; Niedziela, D.; Ireka, I.; Steiner, K.; Kroll, L.

**Simulation of RIM-process for polyurethane foam expansion in fiber reinforced sandwich structures**

In: Procedia CIRP 66 (2017), S.62-67

Walter, R.

**A note on minimizing the sum of squares of machine completion times on two identical parallel machines**

In: Central European journal of operations research: CEJOR 25 (2017), Nr.1, S.139-144

Walter, R.; Wirth, M.; Lawrinenko, A.  
**Improved approaches to the exact solution of the machine covering problem**

In: Journal of scheduling 20 (2017), Nr.2, S.147-164

Weber, S.; Waller, E.H.; Kaiser, C.; Freymann, G. von

**Time-stretched real-Time measurement technique for ultra-fast absorption variations with TS/s sampling-rate**

In: Optics Express 25 (2017), Nr.13, S.14125-14133

Weber, S.; Ellrich, F.; Paustian, S.; Güttler, N.; Tiedje, O.; Jonuscheit, J.; Freymann, G. von  
**Thickness determination of wet coatings using self-calibration method**

In: Institute of Electrical and Electronics Engineers -IEEE-; IEEE Microwave Theory and Techniques Society: 42nd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves 2017: Cancun, Quintana Roo, Mexico, August 27-September 1, 2017 Piscataway, NJ: IEEE, 2017, 2 S.

Weisenstein, C.; Kahl, M.; Friedrich, F.; Bolivar, P.H.

**Conception and realization of a semiconductor based 240 GHz full 3D MIMO imaging system**

In: Sadwick, L.P. ; Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers -SPIE-, Bellingham/Wash.: Terahertz, RF, Millimeter, and Submillimeter-Wave Technology and Applications X: 30 January-2 February 2017, San Francisco, California, United States Bellingham, WA: SPIE, 2017, Paper 101030B, 7 S. (Proceedings of SPIE 10103)

Werth, S.; Stöbener, K.; Horsch, M.; Hasse, H.

**Simultaneous description of bulk and interfacial properties of fluids by the Mie potential**

In: Molecular physics 115 (2017), Nr.9-12, S.1017-1030

Wirjadi, O.; Kim, Y.-J.; Stech, F.; Bonfert, L.; Wagner, M.

**Bayesian model for detection and classification of meningioma nuclei in microscopic images**

In: Journal of microscopy 265 (2017), Nr.2, S.159-168

Yakut, Nataliya; Krüning, Kai; Foltin, Gregor; Burger, Jakob; Krauss, Michael; Asprien, Norbert; Bortz, Michael; Roth, Matthias

**Modelldurchgängigkeit in der Prozessindustrie am Beispiel virtueller Inbetriebnahme**

In: Chemie-Ingenieur-Technik 89 (2017), Nr.11, S.1444-1453

Zhang, X.X.; Wang, D.; Xiao, B.L.; Andrä, H.; Gan, W.M.; Hofmann, M.; Ma, Z.Y.

**Enhanced multiscale modeling of macroscopic and microscopic residual stresses evolution during multi-thermo-mechanical processes**

In: Materials and design 115 (2017), S.364-378

**Vollständige bibliografische Angaben finden Sie unter: [publica.fraunhofer.de/institute/itwm/2017](http://publica.fraunhofer.de/institute/itwm/2017)**

Bacchouche, Bessem  
**FMCW Terahertz Volumetric Imaging with Sparse Multistatic Line Arrays**  
Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Elektrotechnik

Berner, Tim  
**Verteilte Algorithmen für gewichtete Matchings**  
Bachelorarbeit, TU Kaiserslautern, FB Informatik

Coskun, Sema  
**Application of the Heath-Platen Estimator in Pricing Barrier and Bond Options**  
Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Derouet, Maximilian  
**PF-MPC approach for the Furuta pendulum**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Easwaran, Prakash  
**Stochastic Geometry Models for Interacting Fibers**  
Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Eckstein, Christian  
**Ermittlung repräsentativer Lastkollektive zur Betriebsfestigkeit von Ackerschleppern**  
Dissertation, TU Kaiserslautern  
FB Maschinenbau und Verfahrenstechnik

Eimer, Matthias  
**High order numerical schemes for district heating**  
Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Frevel, Thorsten  
**Erzeugen und Kolorieren von 3D-Punktwolken mittels Messdaten des mobilen Multi-Sensor-Messsystems REDAR**  
Bachelorarbeit, Hochschule Kaiserslautern, FB Angewandte Ingenieurwissenschaften

Gräf, Benedict  
**Charakterisierung der Verstärkung polarisationsgemultiplixter fs-Pulse in Erbium-dotierten Glasfasern**  
Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Physik

Grün, Sarah  
**Discrete Dividends: Modeling, Estimation and Portfolio Optimization**  
 Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Hoffmann, Daniel  
**Aspects of Pricing Cliquet Options**  
 Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Jaeger, Philippe  
**Constant Proportion Portfolio Insurance**  
 Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Jami, Neil  
**Container Fleet Management in Closed-Loop Supply Chains**  
 Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Jung, Christian  
**Bildanalytische Erkennung von Rissen in Asphalt basierend auf dem Dijkstra-Algorithmus**  
 Bachelorarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Kelly, Una  
**A Statistical Analysis of 3D Wire Shapes in Rutherford Cables**  
 Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Koslow, Viktor  
**Automatisiertes Generieren von Straßennetzwerken für den virtuellen Fahrversuch anhand von realen Messdaten**  
 Bachelor, Hochschule Kaiserslautern, FB Angewandte Ingenieurwissenschaften

Krebs, Johannes Nikolas  
**Sieve Estimators for Spatial Data**  
 Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Lange, Eike  
**Automatisierung der optischen Inspektion von Einfadenstents**  
 Bachelorarbeit, Hochschule Kaiserslautern

Losch, Katharina  
**Stochastic Modeling of Multi-phase Materials Based on Digital Image Data**  
 Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Mahler, Philipp  
**Einfluss der Handelshäufigkeit bei Anwendungen von CPPIs**  
 Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Manvelyan, Diana  
**Niche competition in acute leukemia: Mathematical modeling and model order reduction using POD Method**  
 Bachelorarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Narendrakumar, Manoj Kumar  
**Real-time implementation of an undercarriage model of a wheeled excavator**  
 Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Maschinenbau

Nurkanovic, Merima  
**The Split Tree for Option Pricing**  
 Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Osterroth, Sebastian  
**Mathematical models for the simulation of combined depth and cake filtration processes**  
 Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Pfeiffer, Tobias  
**Interferometric vibration correction for thickness measurements using terahertz technology in industrial environments**  
 Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Physik

Schießl, Stefan  
**Jet and fiber dynamics with high elongations: Models, numerical strategies and applications**  
 Dissertation, FAU Erlangen-Nürnberg, FB Mathematik

Schuh, Janina  
**Varianten der Vermögensentwicklung eines Lebensversicherungsvertrags**  
 Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Schwalbach, Christian  
**Interaktive Pkw-Simulation mit RODOS – Einfluss der Modellkomplexität auf die Immersion**  
 Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Maschinenbau und Verfahrenstechnik

Seifarth, Tobias  
**Numerische Algorithmen für gitterfreie Methoden zur Lösung von Transportproblemen**  
 Dissertation, Universität Kassel, FB Mathematik

Theis, Alexander  
**Design und Optimierung eines FMCW Terahertz-Messsystems für die Schichtdickenmessung**  
 Diplomarbeit, TU Kaiserslautern, FB Physik

Vogg, Richard  
**Quantitative 3D Image Analysis of Foreign Body Giant Cells**  
 Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Wilhelm, Carl  
**Worst-Case Portfolio-Optimierung im Binomialmodell**  
 Masterarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Winarske, Jens  
**Bildsegmentierung mit Gaußschen Mischungsmodellen**  
 Bachelorarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Wlazlo, Jaroslaw  
**Medical Image Registration with Exact Mass Preservation**  
 Dissertation, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Zurloh, Corinna  
**PDE-basierte Grauwertmorphologie zur Erweiterung des Ansatzes auf Farbbilder**  
 Bachelorarbeit, TU Kaiserslautern, FB Mathematik

Arne, W.; Feßler, R.; Wegener, R.; Wieland, M.  
**Modeling and simulation of dry spinning processes**  
 International Textile Conference, Stuttgart, Dezember

Arne, W.; Marheineke, N.; Wegener, R.; Wieland, M.  
**Setup and numerical solution of a viscous Cosserat rod model describing electrospinning**  
 NART 2017, Liberec (CZ), Oktober

Baccouche, B., Friederich, F.  
**Bildgebende Terahertz-Prüfung für die Inline-Kontrolle**  
 DGZFP Jahrestagung, Koblenz, Mai

Baccouche, B.; Agostini, P.; Friederich, F.  
**Digital Beamforming Algorithms for 3D Terahertz Imaging with Sparse Line Arrays**  
 German Terahertz Conference, Bochum, März

Baccouche, B.; Agostini, P.; Mohammadzadeh, S.; Kahl, M.; Weisenstein, C.; Jonuscheit, J.; Keil, A.; Löffler, T.; Sauer-Greff, W.; Urbansky, R.; Haring Bolívar, P.; Friederich, F.  
**Sparse multistatic line-array-based 3D terahertz imaging system with real-time capability for industrial applications**  
 SPIE Photonics West 2017, San Francisco (USA), Januar

Baccouche, B.; Sauer-Greff, W.; Urbansky, R.; Friederich, F.  
**Application of the Phase Coherence Method for Imaging with Sparse Multistatic Line Arrays**  
 IEEE MTT-S Intern. Microwave Symposium, Honolulu (USA), Juni

Baccouche, B.; Sauer-Greff, W.; Urbansky, R.; Friederich, F.  
**Enhanced 3D CW Terahertz Imaging With Ultra Sparse Arrays Using A Phase Coherence Method**  
 42nd International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, Cancun (Mex), August

Bäcker, M.; Burger, M.; Steidel, S.  
**Local Extrapolation in a Parallel Coupling Scheme with an Application to Vehicle-Tire Interaction**  
 Darmstadt, September

- Bastian, P.; Engwer, C.; Göddeke, D.; Iliev, O.; Ippisch, O.; Ohlberger, M.; Turek, S.  
**Latest Advances in ExaDUNE. Flexible PDE Solvers, Numerical Methods and Applications**  
HPC Summit Barcelona (E), Mai
- Beck, J.; Matuszczyk, U.; Jonuscheit, Joachim, Friederich, Fabian  
**Inline-Produktionskontrolle bei der Herstellung von Pressmänteln mittels Terahertz-Messtechnik**  
3. Fachseminar des FA MTHz: Mikrowellen- und Terahertz-Prüftechnik in der Praxis, Würzburg, April
- Bitsch, G.; Dreßler, K.  
**Kooperationsprogramm Mechanik/Qualifikation von Simulationsmodellen**  
München, Mai
- Bitsch, G.; Dreßler, K.; Kleer, M.; Pena Vina, E.  
**Absicherung von Fahrzeugfunktionen unter Berücksichtigung der Umgebung und des Fahrzeugverhaltens**  
Friedrichshafen, Oktober
- Björkenstam, S.; Nyström, J.; Carlsson, J.; Roller, M.; Linn, J.; Hanson, L.; Högberg, D.; Leyendecker, S.  
**A framework for motion planning of digital humans using discrete mechanics and optimal control**  
Bonn, Juni
- Bortz, M.; Babutzka, J.; Dinges, A.; Foltin, G.; Süß, P.; Teichert, K.  
**Models from Experiments: Tools supporting Product Development in the Lab**  
Tag der Verfahrenstechnik, Kaiserslautern, Oktober
- Bramble, J.; Savage, N.; Jonuscheit, Joachim; Friederich, Fabian  
**Berührungslose, zerstörungsfreie Prüfung von Radomen mittels Terahertz-Messtechnik**  
3. Fachseminar des FA MTHz: Mikrowellen- und Terahertz-Prüftechnik in der Praxis, Würzburg, April
- Burger, M.; Speckert, M.  
**Speed Profile Generation based on geo-referenced Data using Optimal Control Methods**  
Weimar, März
- Burger, M.; Dreßler, K.; Ekevid, T.; Steidel, S.; Weber, D.  
**Coupling a DEM material model to multibody construction equipment**  
Prag (CZ), Juni
- Calabrese, F.; Bäcker, M.; Gallrein, A.  
**Advanced tire simulation with CDTire in VI-CarRealTime**  
Turin (I), Mai
- Calabrese, F.; Bäcker, M.; Gallrein, A.; Ludwig, C.  
**A study of parameter identification for a thermal-mechanical tire model based on Flat Track Measurements**  
Hannover, Oktober und Queensland (AUS), August
- Dalheimer, Mathias  
**Ladeinfrastruktur für Elektroautos: Ausbau statt Sicherheit**  
34. Chaos Communication Congress, Leipzig, Dezember
- Dalheimer, Mathias  
**The power grid is vulnerable – and it's really hard to fix this.**  
DeepINTEL, Wien, September
- Deshpande Raturaj; Kabel, M.; Kirsch, R.; Rief, S.; Staub, S.; Osterroth, S.  
**Vom Filtermedium zum Filterelement - Simulation unter Berücksichtigung von Fertigungseinflüssen**  
Industrieworkshop Digitale Technologien für Fasern, Vliesstoffe und technische Textilien, Kaiserslautern, September
- Diller, Rolf; Hauth, Jan  
**Modelling and assessment of spectroscopic data by Bayesian estimation methods**  
4th BioComp Symposium, Münchenweiler an der Alsenz, Oktober
- Dobrovolskij, D.; Spies, M.; Hirsekorn, S.  
**Ultraschall-Simulation unter Berücksichtigung einfacher Streuvorgänge auf Basis eines Mikrostruktur-Modells für polykristalline Werkstoffe**  
DGZfP Jahrestagung 2017, Koblenz, Mai
- Dobrovolskij, Dascha  
**Charakterisierung der Mikrostruktur von Faserverbundwerkstoffen**  
FVTT, Kaiserslautern, September
- Dobrovolskij, Dascha  
**Modelling of Ultrasonic Scattering in Polycrystalline Materials**  
12th European Congress for Stereology and Image Analysis 2017
- Dörlich, V.; Andersson, F.; Linn, J.; Speyer, Juni  
**Piecewise linear elastic behavior of Bowden cables**
- Dörlich, V.; Cesarek, P.; Linn, J.; Diebels, S.  
**Experimental investigation and numerical modeling of resultant-based bending plasticity in cables**  
Prag (CZ), Juni
- Dreßler, K.; Speckert, M.  
**Environmental Data and Usage Variability in Vehicle Engineering**  
Speyer, Juni und Stuttgart, Juli
- Dreßler, K.; Speckert, M.  
**How to handle usage variability in durability engineering**  
Hanau, April
- Dreßler, K.; Stephan, T.  
**Simulationsgestützte Optimierung und Absicherung flexibler Bauteile**  
Landshut, September
- Eisenräger, Almut; Kuhnert, Jörg; Wächtler, Timo  
**MESHFREE: General Finite Differences for Fluid Flow and Continuum Mechanics with Three Industrial Applications**  
USNCCM 14, Montreal (CAN), Juli
- Ellrich, F.; Klier, J.; Weber, S.; Jonuscheit, J.; von Freymann, G.  
**Thickness Determination of Wet Coatings Using Self-Calibration Method**  
SPIE Photonics West, San Francisco (USA), Januar
- Feth, S.; Christiansen, H.  
**Flexible & effiziente Wöhlermodelle**  
Ottobrunn, Januar
- Feth, S.; Speckert, M.  
**Schätzung von 3-Parameter-Weibull-Verteilungen mit Konfidenz bei Durchläufer**  
München, November
- Feth, S.; Speckert, M.  
**Zwei oder drei Parameter? Vergleich von Weibull-Modellen an einem Anwendungsbeispiel**  
München, November
- Fiedler, J.  
**Distance correlation for spatial stochastic processes**  
Helsinki (FIN), Juli
- Föhst, Sonja  
**Investigation of Fibrosis in Capillary Vessels of Murine Organs**  
12th European Congress for Stereology and Image Analysis 2017
- Friederich, Fabian  
**Terahertz Imaging in Industry**  
9th THz-Days, Dunkirk (F), Juni
- Friederich, F.; Jonuscheit, J.  
**Industrial Radome Inspection with Terahertz Waves**  
10th UK-Europe-China Workshop on Millimetre Waves and THz Technologies (UCMMT 2017), Liverpool (GB), September
- Fuetterling, Valentin  
**Accelerated single ray tracing for wide vector units**  
High-Performance Graphics 2017, Los Angeles (USA), Juli
- Fuetterling, Valentin  
**Efficient Ray Tracing Kernels for Modern CPU Architectures**  
ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games, San Francisco (USA), Februar
- Gallrein, A.  
**Advanced Tire Modelling from Multi Body Dynamics to Linearization of the Rotating Tire**  
Frankenthal, Juni
- Gallrein, A.; Bäcker, M.; Calabrese, F.  
**Dynamic simulation of the inflation gas of a tire under operational conditions**  
Prag (CZ), Juni

- Gallrein, A.; Bäcker, M.; Calabrese, F. **Influence of the inflation gas dynamics of a tire on operational conditions**  
Hannover, Oktober
- Gospodnetic, P.; Spies, M.; Rauhut, M. **Image Based Surface Microgeometry Reconstruction - Modeling and Validation**  
7th European-American Workshop on Reliability of NDE, Potsdam, September
- Gramsch, Simone **Virtual nonwoven production processes**  
INDEX 2017, Genf (CH), April
- Griso, G.; Migunova, A.; Orlik, J. **Asymptotic analysis for domains separated by a thin layer made of periodic vertical beams**  
SIAM Conference on Mathematical and Computational Issues in the Geosciences 2017, Minisymposium über „Effective models for porous media containing thin structures“, Erlangen, September
- Griso, Georges; Migunova, Anastasia; Orlik, Julia; Sivak, Olena **Asymptotic Analysis and stability for Thin Layer of Beams**  
Intern. Conference on Elliptic and Parabolic Problems, Minisymposium „Spectral analysis and homogenization of PDEs“, Gaeta (I), Mai
- Griso, G.; Orlik, J.; Sivak, O. **Stability end estimates for plates, made of thin periodic beams**  
Workshop Homogenization Theory and Applications (HomTAp), WIAS, Berlin, Oktober
- Grünewald, Daniel **Fault tolerance mechanisms in GASPI/GPI**  
SC17, BoF. Resilient Programming Environments Denver (USA), November
- Grünewald, Daniel **Gaspi Tutorial**  
Warwick University, Coventry (GB), März
- Hering, Julian; Waller, Erik H.; von Freymann, Georg **Additive Fertigung dreidimensionaler Bauteiloberflächen**  
SFB 926 Doktoranden-Retreat 2017, Mannheim, Juni
- Hering, Julian; Waller, Erik H.; von Freymann, Georg **Automated aberration compensation in high NA systems for arbitrary laser modes**  
SPIE Photonics West 2017, San Francisco (USA), Januar und DPG Frühjahrstagung 2017, Mainz, März
- Hietel, Dietmar; Arne, Walter **Modeling, simulation and optimization of viscoelastic filaments for spinning processes**  
INDEX 2017, Genf (CH), April
- Hietel, Dietmar; Arne, Walter **Modelling and simulation of spinning processes: fundamentals and comparison for melted and solved Polymers**  
MFC, Dornbirn (A), September
- Hietel, D.; Leithäuser, C. **Simulation und Adaption von Vernadelungsstrukturen**  
AFBW Symposium Simulation von Nadelvliesstoffen, Albstadt, Mai
- Hinderks, Wieger **Factor Models in the German Electricity Market**  
International Ruhr Energy Finance Conference, Essen, September
- Hirse Korn, S.; Dobrovolskij, D.; Spies, M. **Modelling of Ultrasonic Scattering in Polycrystals Aiming for Tools to Simulate Experiments in NDT&E**  
9th Workshop „NDT in Progress“
- Hofmann, Tobias **BatteryDict, BEST and beyond**  
GeoDict User-Meeting, Kaiserslautern, September
- Hofmann, Tobias **Lisa Lithium – Wo Ionen wohnen**  
Fraunhofer Alumni Summit, Stuttgart
- Hofmann, Tobias **Stress simulation in lithium-ion batteries**  
GACM, Stuttgart, Oktober
- Hofmann, Tobias **Stress simulation of phase-separating cathode materials**  
ModVal, März und ACOMEN, Gent (B), September
- Iliev, O.; Mohring, J.; Shegunov, N.; Milk, R.; Ohlberger, M.; Klein, O.; Bastian, P. **Toward Exascale Computations of Uncertainty Quantification for Porous Media Flow Using Multilevel Monte Carlo**  
Large Scale Scientific Computation, Sozopol (BG), Juni und Invited Seminar Dept. Computer Science, University Uppsala (S), Oktober
- Iliev, O.; Prill, T.; Nessler (Leonard), K. H. L.; Lakdawala, Z.; Printsypar, G.; Andrä, H.; Kabel, M.; Enzmann, F.; Wiegmann, A.; Schwarz, J.-O. **On Digital Rock Physics extended with Chemistry**  
Invited seminar at SkolTech, Moscow (RUS), November
- Iliev, Oleg **Multiscale problems, reactive flows in porous media, uncertainty quantification**  
Seminar Environmental Science of University Utrecht (NL), August
- Iliev, Oleg **On modeling and simulation of multiscale electrochemical processes in Li-ion battery**  
Invited talk at Interdisciplinary Colloquium University of Uppsala (S), Oktober und Invited talk at IDarcy Center, University of Eindhoven (NL), Oktober
- Iliev, Oleg **On simulation of multiscale electrochemical processes in Li-ion battery**  
Multiscale Methods and Large Scale Scientific Computing, Yakutsk (RUS), August
- Iliev, O.; Prill, T.; Mikelic, A. **Different scaling regimes for modeling and simulation of reactive transport in 3D porous media**  
InterPore, Rotterdam (NL), Mai
- Ireka, I.; Niedziela, D.; Orlik, J.; Rief, S.; Steiner, K.; Tröltzsch, J.; Schäfer, K.; Helbig, F.; Kroll, L. **Modeling and Simulation of polyurethane foam injection moulding to produce fiber reinforced sandwich structures**  
9th International Conference on Porous Media, Rotterdam (NL), Mai
- Ireka, I.; Niedziela, D.; Orlik, J.; Rief, S.; Steiner, K. **Simulationstechniken zur virtuellen Auslegung textilverstärkter Verbundwerkstoffe**  
Industrieworkshop: Digitale Technologien für Fasern, Vliesstoffe und technische Textilien, Kaiserslautern, September
- Jonuscheit, Joachim **Bildgebende Verfahren zur Detektion von Gefahrstoffen**  
Carl-Cranz-Gesellschaft, Seminar: 17VS 10.06 Detektion von Explosivstoffen, Pfinztal, November
- Jonuscheit, Joachim **Einführung in die Terahertz-Prüftechnik**  
3. Fachseminar Mikrowellen- und Terahertz-Prüftechnik in der Praxis, Fürth, April
- Jonuscheit, Joachim **Inspektion von glasfaserverstärkten Composite- Materialien: Vergleich der Terahertz-Technik mit klassischen Prüfverfahren**  
8. Landshuter Leichtbau-Kolloquium, Landshut, März
- Jonuscheit, Joachim **Künftige Entwicklungen der Terahertz-Technik zur zerstörungsfreien Prüfung von Verbundmaterialien**  
DGZfP-Seminar Zerstörungsfreie Prüfung an GFK und GFK-Klebeverbindungen, Wittenberge, August
- Jonuscheit, Joachim **Terahertz-Imaging in der Qualitätssicherung und Sicherheitstechnik**  
Fraunhofer Vision Technologietag Oktober 2017/Jubiläumskongress, Fürth, Oktober
- Jonuscheit, Joachim **Terahertz-Mess- und Prüftechnik für den Leichtbau**  
„Qualität im faserverstärkten Leichtbau - CFK, GFK, FVK, Stuttgart, März

Jörg, C.; Letscher, F.; Fleischhauer, M., von Freymann, G.  
**Temporal Defects in Photonic Topological Insulators**  
CLEO: QELS-Fundamental Science 2017, San Jose (USA), Mai

Jörg, C.; Letscher, F.; Fleischhauer, M.; von Freymann, G.  
**Time-dependent defects in photonic topological insulators**  
DPG Frühjahrstagung 2017, Dresden, März

Kabel, Matthias  
**Automatic Derivation of Material Laws for ABAQUS using GeoDict and FeelMath**  
GeoDict User Meeting, Kaiserslautern, September

Kabel, Matthias  
**GeoDict for Composites**  
GeoDict User-Meeting, Tokio (J), Oktober und GeoDict User-Meeting, Nagoya (J), Oktober

Kabel, Matthias  
**New Developments in GeoDict and FeelMath for Composites**  
GeoDict User-Meeting (Subcommittee Composite), Tokio (J), Oktober

Kabel, Matthias  
**Two-Phase Model-Reduction for Two-Scale Simulations of Composites**  
27th International Workshop on Computational Mechanics of Materials (IWCCM-27), Leuven (B), September und 7th GACM Colloquium on Computational Mechanics for Young Scientists from Academia and Industry, Stuttgart, Oktober

Keuper, Janis  
**Alternative Optimierungsmethoden für Deep Learning**  
Seminar Uni Freiburg, Januar

Keuper, Janis  
**Alternative Optimization Methods for Deep Learning**  
SEG Data Analytics Workshop, Houston (USA), September

Keuper, Janis  
**Distributed Training of DNNs**  
OG-HPC Symposium, Houston (USA), März

Keuper, Janis  
**Skalierbare Lösungen fürs Deep Learning**  
IBM Userforum, Frankfurt, April und Volkswagen Entwicklerforum, Wolfsburg, Juni

Kins, Stefan; Hauth Jan  
**A refined quantitative model of APP processing**  
4th BioComp Symposium, Münchenweiler an der Alsenz, Oktober

Klein, Matthias  
**Green by IT – Software für die Energiewende**  
Sommerreise von Anton Hofreiter (MdB), Kaiserslautern, September

Klein, Matthias  
**GreenPowerGrid Aufbau eines dezentralen PV-Speicherkraftwerks zur regionalen Grünstromversorgung**  
Zukunftsinitiative Smart Grids Rheinland-Pfalz, Alzey, Mai

Klein, Matthias  
**Kaiserslautern – vom Industrie zum Wissenschaftsstandort**  
Karriereförderung der Energiewirtschaft, Essen, Februar

Klein, Matthias  
**Podiumsdiskussion: Perlen der Energiewende**  
Heinrich-Böll-Stiftung, Kaiserslautern, November

Klein, Peter  
**Round Robin study of Molecular Dynamics: Lessons learned from a Translators perspective**  
EC Expert-Workshop on „Modeling Translators“, Brüssel (B), September

Klier, J.; Weber, S.; Molter, D.; Jonuscheit, J.; von Freymann, G.  
**Berührungslose, roboterassistierte Schichtdickenmessung im industriellen Umfeld**  
DGZFP Jahrestagung, Koblenz, Mai

Kolano, M.; Gräf, B.; Molter, D., Ellrich, F.; von Freymann, G.  
**All-Polarization-Maintaining, Polarization-Multiplexed, Gain-Coupled, Mode-Locked Fiber Laser**  
Advanced Solid State Lasers Conference (ASSL), Nagoya (J), Oktober

Korn, Ralf  
**A Monte Carlo Approach for Pricing Cliquet-Options in the Heston Framework**  
Recent Developments in Numerical Methods with Applications in Statistics and Finance, Juni

Korn, Ralf  
**A real-life MC-simulation application: Chance-Risk Classification of Pension Products**  
Graz Summer School on Application of Quasi Monte Carlo methods, Juni

Korn, Ralf  
**Applications of the Central Limit Theorem for Pricing Cliquet-Options**  
Japanese-German Open Conference on Stochastic Analysis 2017“ Kaiserslautern, September

Korn, Ralf  
**Basic principles, tasks, and ideas of financial mathematics**  
Graz Summer School on Application of Quasi Monte Carlo methods, Juni

Korn, Ralf  
**Chance-Risiko-Klassifikation von Altersvorsorgeprodukten: Konzepte, Erfahrungen, Herausforderungen**  
BVI Investment Hochschultag, Mai

Korn, Ralf  
**Chance-Risk Classification of German Pension Products: Concepts, Experience and Research Challenges**  
DAV-Jahrestagung, Scientific day, April

Korn, Ralf  
**Chance-Risk Classification of Pension Products: Scientific Concepts and Challenges**  
Innovations in Insurance, Risk- and Asset Management, April

Korn, Ralf  
**Continuous-time portfolio optimization: An approach for meeting (long-term) liabilities of insurance companies**  
Swiss Risk and Insurance Forum, Rorschlikon (CH), Mai

Korn, Ralf  
**Save for the Bad Times or Consume as Long as You Have?**

Finance and Energy Seminar, Univ. Duisburg-Essen, November, Center for Mathematical Economics: Math. Finance Seminar, Bielefeld, November und CERMICS Seminar, ENPC, Paris (F), Oktober

Korn, Ralf  
**Simulation von Altersvorsorgeprodukten - Wie es wirklich funktioniert ...**  
DWS Altersvorsorge Spezial, September

Korn, Ralf  
**Simulations of stochastic differential equations and option pricing in continuous time**  
Graz Summer School on Application of Quasi Monte Carlo methods, Juni

Korn, Ralf  
**Statistics with one observation?**  
Bio-Comp Progress Seminar, Kaiserslautern, Juni

Kronenberger, Markus  
**Segmentation of Fibers in Cracked Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC) using Differential Quantities**  
12th European Congress for Stereology and Image Analysis 2017

Kuehn, Martin; Keuper, Janis  
**Bottlenecks towards Scalable Deep Learning on HPC Systems**  
Deep Learning Workshop, Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Garching, September

Kuehn, Martin; Keuper, Janis; Pfrendt, Franz-Josef  
**Using GPI-2 for Distributed Memory Parallelization of the Caffe Toolbox to Speed up Deep Neural Network Training**  
The Seventh International Conference on Advanced Communications and Computation (INFOCOMP 2017), Venice (I), Juni

Küfer, Karl-Heinz  
**Industrial Applications of Multi-criteria Decision Support**  
LONZA, Visp (CH), Juli und Workshop Recent Advances in Multi-Objective Optimization, TU Kaiserslautern, Oktober

- Küfer, Karl-Heinz  
**Mathematik in der Anwendung**  
20. Forum für Begabtenförderung  
in Mathematik, Hochschule, Darmstadt, März
- Kuhnert, Jörg; Michel, Isabel  
**Different ways of Fluid Structure Interaction (FSI) in the MESHFREE Finite-Pointset-Method (FPM)**  
9th International Workshop Mesh-free Methods for Partial Differential Equations, Bonn, September
- Küstners, Ferdinand; Patil, Deepak; Tesi, Pietro; Trenn, Stephan  
**Indiscernible topological variations in DAE networks with applications to power grids**  
20th IFAC World Congress, Toulouse (F), Juli
- Küstners, Ferdinand; Patil, Deepak; Trenn, Stephan  
**Switch observability for a class of inhomogeneous switched DAEs**  
56th IEEE Conference on Decision and Control, Melbourne (AUS), Dezember
- Küstners, F.; Trenn, S.; Wirsén, A.  
**Switch observability for homogeneous switched DAEs**  
20th IFAC World Congress, Toulouse (F), Juli
- Küstners, F.; Trenn, S.; Wirsén, A.  
**Switch observers for switched linear systems**  
56th IEEE Conference on Decision and Control, Melbourne (AUS), Dezember
- Leithäuser, Christian  
**Simulation-based analysis and optimization of spin packs**  
INDEX 2017, Genf (CH), April
- Leithäuser, C.; Hietel, D.  
**Perfekte Nadeleinstichmuster durch simulationsbasierte Adaption**  
Hofer Vliesstofftage, Hof, November
- Liebscher, A.; Osterroth, S.; Redenbach, C.; Rief, S.; Steiner, K.  
**Flow and deposition simulation related to chromatographic separation processes**  
12th European Congress for Stereology and Image Analysis, Kaiserslautern, September
- Linn, J.  
**Ergo-dynamic Moving MANikin with Cognitive Control – EMMA-CC: Innovative digitale Menschmodellierung für ergonomische Arbeitsplätze**  
München, Februar und Stuttgart, Februar
- Linn, J.  
**Modeling and simulation of slender flexible structures for assembly simulation and digital validation in automotive industry**  
Grenoble (F), September
- Linn, J.  
**Simulation of flexible cables in car assembly**  
Berlin, März
- Linn, J.  
**Various aspects of modeling slender flexible structures for assembly simulation and digital validation in automotive industry**  
Liège (B), August
- Linn, J.; Carlson, J.; Obentheuer, M.; Roller, M.; Björkenstam, S.; Madberg, P.  
**The Fraunhofer research project EMMA-CC: Ergo-dynamic Moving MANikin with Cognitive Control**  
Speyer, Juni
- Linn, J.; Hermansson, T.; Andersson, F.; Schneider, F.  
**Kinetic aspects of discrete Cosserat rods based on the difference geometry of framed curves**  
Prag (CZ), Juni
- Linn, J.; Roller, M.; Obentheuer, M.  
**Simulationsgestützte ergonomische Gestaltung von Montagearbeitsplätzen**  
Mannheim, April
- Matheis, C.; Baccouche, B.; Friedrich, F.; Jonuscheit, J.  
**Terahertz-Messtechnik als komplementäre Prüftechnik bei Verbundwerkstoffen**  
Seminar des FA Ultraschallprüfung, Berlin, November
- Merten, Dirk  
**ALOMA - An Auto-Parallelization Tool for Seismic Processing**  
79th EAGE Conference & Exhibition 2017 Workshop Program, Paris (F), Juni
- Michel, Isabel  
**FPM: Finite Pointset Method vs Familien-Planung Modern**  
Workshop Women in Computational Engineering, TU Kaiserslautern, August
- Michel, I.; Kuhnert, J.; Mack, R.  
**MESHFREE simulations for turbine applications**  
9th International Workshop Mesh-free Methods for Partial Differential Equations, Bonn, September
- Michel, I.; Kuhnert, J.; Nick, F.; Metsch, B.  
**MESHFREE simulation in continuum and fluid mechanics: From geomechanical to medical applications**  
Workshop Geomathematics Meets Medical Imaging, Speyer, September
- Molter, D.; Trierweiler, M.; Ellrich, F.; Jonuscheit, J.; von Freymann, G.  
**Improvement of Terahertz Time-Domain Spectroscopy Precision by Interferometrically Tracked Delay-Lines**  
SPIE Photonics West 2017, San Francisco (USA), Januar
- Molter, D.; Trierweiler, M.; Ellrich, F.; Jonuscheit, J.; von Freymann, G.  
**Precision Enhancement in Terahertz Time-Domain Spectroscopy**  
32nd URSI GASS, Montreal (CDN), August
- Molter, Daniel; Trierweiler, Manuel; Ellrich, Frank; Jonuscheit, Joachim; von Freymann, Georg  
**Stability and Precision Enhancement of Terahertz Time-Domain Spectroscopy Systems by Interferometry-Aided Delay Lines**  
German THz Conference 2017, Bochum, März
- Neusius, David; Orlik Julia; Shiryayev, Vladimir  
**Computational truss model for large knitted structures of hyperelastic strings with Coulomb friction and adhesion**  
International Symposium on Multiscale Computational Analysis of Complex Materials, Kopenhagen (DK), August und 5th International Conference on Computational Contact Mechanics, Lecce (I), Juli
- Niedziela, Dariusz; Rau, Sebastian; Steiner, Konrad  
**Simulation von Schüttgutströmungen zur Auslegung verfahrenstechnischer Apparate und Prozesse**  
Fachausschuss »Prozesssimulation« der DKG, Freiburg, März
- Obentheuer, M.; Roller, M.; Björkenstam, S.; Berns, K.; Linn, J.  
**Human like motion generation for ergonomic assessment - a muscle driven Digital Human Model using muscle synergies**  
Prag (CZ), Juni
- Osterroth, S.; Steiner, K.  
**Modeling and simulation of chromatographic processes**  
Tag der Verfahrenstechnik, Kaiserslautern, Oktober
- Pfreundt, Franz-Josef  
**BeeGFS**  
16th HLR5/hww Workshop on Scalable Global Parallel File Systems - „Memory Class Storage, März
- Pfreundt, Franz-Josef  
**BeeGFS and BeeOND – Progress and Experience**  
HP-CAST 28, Frankfurt, Juni und HP-CAST 29, Denver (USA), November
- Pfreundt, Franz-Josef  
**Memory Driven Computing**  
Invited talk: Third EAGE Workshop on High Performance Computing for Upstream, Athen (GR), Oktober
- Pfreundt, Franz-Josef  
**Thoughts about the future of I/O**  
Challenges and Opportunities of User-Level File Systems for HPC, Schloss Dagstuhl, Wadern, Mai
- Phutane, U.; Roller, M.; Björkenstam, S.; Linn, J.; Leyendecke, S.  
**Kinematic validation of a human thumb model**  
Prag (CZ), Juni
- Pierrat, S.; Liu, C.; Kamps, J.H.; Leenders, C.; Guise, O.; Cheng, X.; Schladitz, K.  
**Glass fibers pull out length measurement**  
EMRS, Mai



Prill, Torben; Iliev, Oleg  
**Reactive Flow in Random Porous Media**  
12th European Congress for Stereology and Image Analysis 2017

Prill, Torben; Iliev, Oleg; Printsypar, Galina; Ladawala, Zahra  
**Simulation of Reactive Transport in Porous Media**  
Tag der Verfahrenstechnik, Kaiserslautern, Oktober

Rahn, Mirko  
**Datenmanagement bei High Performance Anwendungen**  
FZ Jülich, Januar

Rahn, Mirko  
**ExaGASPI**  
ISC 2017, Frankfurt, Juni

Rahn, Mirko  
**The old challenge: How to support users?**  
Dagstuhl Seminar 17541 „New challenges in parallelism“, November

Rau, Sebastian  
**Kontinuumsmechanische Simulation von Granulaten mit der Anwendung pneumatischer Transport**  
Schüttgut Messe Dortmund, Mai

Rau, Sebastian  
**Simulation von Granulaten Simulationsanwendung: Rührgerät**  
GVT Zukunftswerkshop AK1, November

Reinhard, R.; Kleer, M.; Dreßler, K.  
**Interactive simulations to prove and validate safety critical on-board systems**  
Mainz, Oktober

Reinhard, R.; Kleer, M.; Dreßler, K.  
**The impact of subjective simulator experiences on usability and driving behavior in a state of the art driving simulator**  
Stuttgart, September

Reinhard, R.; Kleer, M.; Dreßler, K.  
**The impact of subjective simulator experiences on usability evaluations**  
Braunschweig, November

Renner, M.; Angermann, Marie-Christin; Muschol, Daniel; von Freymann, Georg

**A deterministic aperiodic approach to 3D photonic structures with tailored disorder**  
Spring School SPP 1839, Karlsruhe, Mai

Roller, M.; Björkenstam, S.; Linn, J.; Leyendecker, S.  
**Optimal control of a biomechanical multibody model for the dynamic simulation of working tasks**  
Prag (CZ), Juni

Roller, M.; Gallrein, A.; Linn, J.; Betsch, P.  
**A Tire Model Based on Geometrically Exact Shells for Modal Analysis in Steady State Rolling**  
Funchal (E), April

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

Rösch, Ronald  
**Innovation durch Algorithmik**  
10. Fraunhofer Vision Technologietag, Fürth, Oktober

Rösch, Ronald  
**Modellierung und optische Kontrolle geflochtener Stents**  
FVTT, Kaiserslautern, September

Schladitz, Katja  
**3D Bildanalyse für die Strukturoptimierung**  
Fraunhofer Leichtbautagung, Halle, November

Schladitz, Katja  
**Analyse von Faserdicke, Faserorientierung und Wolkigkeit anhand mikroskopischer Bilder mit MAVIfiber2d**  
FVTT, Kaiserslautern, September

Schmeißer, Andre  
**Modeling and simulation of contacts and laydown in lightweight nonwoven production processes**  
Nonwovens Innovation Academy, Chemnitz, November

Schneider, F.; Burger, M.; Arnold, M.; Simeon, B.  
**Force-displacement co-simulation by the use of kinematic coupling constraints**  
Darmstadt, September

Schneider, F.; Kleer, M.; Pena Vina, E.; Linn, J.; Weyh, T.; Mühlbach, C.  
**Introduction to MeSOMICS**  
Speyer, Juni

Schneider, F.; Linn, J.; Dreßler, K.  
**Simulation-based dynamic stress analysis for cables and hoses**  
Hanau, April

Schneider, F.; Linn, J.; Dreßler, K.; Roller, M.; Sadiku, V.; Stephan, T.  
**Integration of Cable Dynamics and Fatigue Analysis into IPS Cable Simulation**  
Speyer, Juni

Schneider, F.; Linn, J.; Hermansson, T.; Andersson, F.  
**Cable Dynamics and Fatigue Analysis for Digital Mock-Up in Vehicle Industry**  
Prag (CZ), Juni

Schreiner, N. S.; Baccouche, B.; Sauer-Greff, W.; Urbansky, R.; Friederich, F.

**A Transfer Matrix Modification for Accurate Terahertz FMCW Thickness Measurements**  
10th UK-Europe-China Workshop on Millimetre Waves and THz Technologies (UCMMT2017), Liverpool (GB), September

Schreiner, N. S.; Baccouche, B.; Sauer-Greff, W.; Urbansky, R.; Friederich, F.

**An accurate frequency-modulated continuous-wave method for fast terahertz thickness measurements**  
SPIE Photonics West 2017, San Francisco (USA), Januar

Schreiner, N. S.; Baccouche, B.; Sauer-Greff, W.; Urbansky, R.; Friederich, F.

**High-Resolution FMCW Terahertz Thickness Measurements**  
47th European Microwave Conference (EuMC), Nürnberg, Oktober

Schreiner, N. S.; Friederich, F.  
**Dickenmessungen mittels Terahertz-Radar**  
DGZFP Jahrestagung, Koblenz, Mai

Schröder, Simon  
**STRING 3: Zukunftsweisende 3D-Visualisierung instationärer Strömungsfelder**

delta h Ingenieurgesellschaft Jubiläumstagung 40 Jahre SPRING, Witten, Dezember

Schwientek, Jan  
**Numerical Methods for General (ized) Semi-infinite Optimization**  
Seminar on Nonlinear Optimization and Inverse Problems, WIAS, Berlin, April

Schwientek, J.; Nowak, D.; Bortz, M.  
**Advances in Pareto Frontier Approximation and Navigation**  
Tag der Verfahrenstechnik, Fraunhofer-Zentrum Kaiserslautern, Oktober

Shah, K.; Reinhard, R.; Christmann, C.; Lachmann, T.  
**The effects of virtual reality avatar embodiment on real life walking speed: The temporal stability of the Proteus Effect**  
Dresden, März

Steidel, S.; Burger, M.  
**Co-simulation in the vehicle development process**  
Stuttgart, Oktober

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

Suchde, P.; Kuhnert, J.; Tiwari, S.  
**Accuracy in Meshfree GFDM Schemes for the Incompressible Navier-Stokes Equations**  
USNCCM 14, Montreal (CAN), Juli

Vogel, M.; Aßmann, R.; Pirro, P.; Chumak, A.V.; Hillebrands, B., von Freymann, G.

**Spin-Wave Mode Conversion via Optically Induced Landscapes of the Saturation Magnetization**  
DPG Frühjahrstagung 2017, Dresden, März

Vogel, Marc; Aßmann, R.; Pirro, P.; Chumak, A.V.; Hillebrands, Burkhard, von Freymann, Georg  
**Optically Reconfigurable Magnetic Landscapes for the Control of Spin-Wave Propagation**  
SPIN+X YRC Student-Only Retreat, 2017, Kaiserslautern

von Freymann, Georg  
**Terahertz-Bildgebung: Aus dem Labor in die Anwendung**  
 64. Workshop des Heidelberger Bildverarbeitungsforums: 3D-Bildaufnahme mit durchdringender Strahlung, Fürth, März

Wächtler, Timo; Kuhnert, Jörg  
**Towards a meshfree Finite Difference Model for Reactive Mixing Problems**  
 USNCCM 14, Montreal (CAN), Juli

Walczak, M.; Heese, R.; Bortz, M.  
**Modelle aus Simulationsdaten: Mit Machine Learning Fließbildsimulatoren verbessern**  
 Tag der Verfahrenstechnik, Fraunhofer-Zentrum Kaiserslautern, Oktober

Waller, E. H.; Hering, J.; von Freymann, G.  
**Optimized nanostructures via direct laser writing: physical and chemical approaches**  
 META 2017, Incheon (ROK), Juli

Waller, Erik, H.; Hering, Julian; Jörg, Christina ; von Freymann, Georg  
**Spatial light modulator based 3D direct laser writing**  
 634. WE-Heraeus-Seminar: Merging Micro- and Nano-Optics: 3D Printing of Advanced and Functional Optics, Bad Honnef, Januar und 15th Fraunhofer IISB Lithography Simulation Workshop 2017, Behringersmühle, September

Weber, Peter K.; Friederich, Fabian  
**Aktuelle Ergebnisse bildgebender Verfahren an Skulpturen**  
 Workshop Zerstörungsfreie Prüf- und Analysemethoden in der Restauration und Oberflächentechnik, Berlin, April

Weber, Stefan; Klier, Jens; Ellrich, Frank; Paustian, S.; Guetler N.; Tiedje, O.; Jonuscheit, Joachim; von Freymann, Georg  
**Thickness Determination of Wet Coatings Using Self-Calibration Method**  
 Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz), 42nd International Conference Cancun (Mex), August

Weisenstein, C.; Kahl, M., Friederich, Fabian, Haring Bolivar, P.  
**Conception and realization of a semiconductor based 240 GHz full 3D MIMO imaging system,**  
 SPIE Photonics West 2017, San Francisco (USA), Januar

Zausch, Jochen; Hofmann, Tobias  
**Advanced Simulation Topics with BEST**  
 BatteryDict/BEST Short Course, Kaiserslautern, September und GeoDict User-Meeting (Subcommittee Electrochemistry), Tokio (J), Oktober

Zausch, Jochen; Hofmann, Tobias  
**Lithium ion batteries with BatteryDict and BEST**  
 GeoDict User-Meeting, Tokio (J), Oktober und GeoDict User-Meeting, Nagoya (J), Oktober

Andrä, Heiko  
**Höhere Mathematik in der Anwendung**  
 DHBW Mannheim

Andrä, Heiko  
**Kontaktmechanik**  
 TU Kaiserslautern, Wintersemester 2017/18

Andrä, Heiko; Kabel, Matthias  
**Ausgewählte Kapitel aus der Mechanik**  
 TU Kaiserslautern

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

Bortz, Michael  
**Datenauswertung und Versuchsplanung**  
 TU Kaiserslautern, Sommersemester 2017

Bortz, Michael  
**Modellierung, Simulation und Optimierung in der Verfahrenstechnik**  
 TU Kaiserslautern, Wintersemester 2017/18

Bortz, Michael  
**Ringvorlesung „Smart Systems Engineering“**  
 TU Kaiserslautern, Januar 2017

Dreßler, Klaus  
**Durability Load Data Analysis**  
 TU Kaiserslautern, Sommersemester 2017

Friederich, Fabian  
**Millimeterwellen und Terahertz Technologien**  
 TU Kaiserslautern, Fachbereich Physik, Wintersemester 2017/18

Kleer, Michael  
**Robotik 1**  
 Hochschule Kaiserslautern, Wintersemester 2016/2017 und 2017/2018

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

Küfer, Karl-Heinz  
**Probability and Algorithms**  
 TU Kaiserslautern, Wintersemester 2017/18

Küfer, Karl-Heinz  
**Theory of Scheduling Problems**  
 TU Kaiserslautern, Sommersemester 2017

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

Rau, Sebastian  
**Mathematik-Tutorien**  
 DHBW Mannheim

Rau, Sebastian  
**Simulationstechnik**  
 DHBW Mannheim

von Freymann, Georg  
**Professur für Optische Technologien und Photonik**  
 TU Kaiserslautern, Fachbereich Physik

von Freymann, Georg; Friederich, Fabian; Molter, Daniel; Kaiser, Christoph  
**Hauptseminar II: Terahertz-Physik**  
 TU Kaiserslautern, Fachbereich Physik, Wintersemester 2017/18

## MESSE- UND KONFERENZ- TEILNAHMEN

- ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games**  
San Francisco (USA), Februar, Vortrag
- Advanced Solid State Lasers Conference (ASSL)**  
Nagoya (J), Oktober, Vortrag
- AFBW Symposium Simulation von Nadelvliesstoffen**  
Albstadt, Mai, Vortrag
- Altair Technology Conference 2017**  
Frankenthal, Juni, Aussteller
- Automotive CAE Grand Challenge 2017**  
Hanau, April, Aussteller, Vortrag
- BDVA Annual Summit**  
Versailles, November
- 64. Bildverarbeitungsforum »3D-Bildaufnahme mit durchdringender Strahlung«**  
Fürth, März
- 65. Bildverarbeitungsforum »Embedded Vision Systeme: Leistungsfähigkeit und Programmierung«**  
Mannheim, Juli
- 66. Bildverarbeitungsforum »Mensch-Maschine-Interaktion mit Vision«**  
Freiburg, Oktober
- Bordnetz Kongress 2017**  
Landshut, September, Aussteller, Vortrag
- 2. Bremer Faserverbundtage**  
Bremen, September
- Bunsentagung 2017**  
Kaiserslautern, Mai, Poster
- Carl-Cranz-Gesellschaft, Seminar: 17VS 10.06 Detektion von Explosivstoffen**  
Pfinztal, November, Vortrag
- CeBIT**  
Hannover, März, Aussteller
- CLEO: QELS-Fundamental Science 2017**  
San Jose (USA), Mai, Vortrag
- Conference on Lasers and Electro-Optics/Europe and the**
- European Quantum Electronics Conference CLEO Europe**  
München, Juni
- Control 2017**  
Stuttgart, Mai, Aussteller
- Cooperation Symposium for TioP Universities and Institutes**  
Jiangsu (CDN), Juli, Aussteller
- CVC-Jahrestagung**  
Mainz, März, Aussteller, Vortrag
- CVC-Jahrestagung**  
Boppard, Oktober, Aussteller
- Daimler EDM-CAE Forum 2017**  
Stuttgart, Juli, Aussteller
- DGZFP Jahrestagung**  
Koblenz, Mai, Vortrag
- DGZFP-Seminar Zerstörungsfreie Prüfung an GFK und GFK-Klebeverbindungen**  
Wittenberge, August, Vortrag
- Discrete, Nonlinear and Disordered Optics (DINDOS17)**  
Dresden, Mai, Poster
- DPG-Frühjahrstagung 2017**  
Mainz, März, Vortrag, Poster
- DSC 2017 Driving Simulation Conference 2017 Europe**  
Stuttgart, September, Vortrag
- DVM-Tagung: (R)Evolution des Antriebs – Auswirkung auf die Betriebsfestigkeit der Bauteile in der Wirkungskette**  
Friedrichshafen, Oktober, Aussteller, Vortrag
- DVM-Workshop: Prüfmethodik für Betriebsfestigkeitsversuche in der Fahrzeugindustrie**  
Ottobrunn, Januar, Vortrag
- DVM-Workshop: Zuverlässigkeit und Probabilistik**  
München, November, Vortrag
- EAGE 2017**  
Paris (F), Juni, Aussteller, Vortrag
- ECCOMAS**  
Prag (CZ), Juni, Vortrag
- EGU General Assembly 2017**  
Wien (A), April, Poster
- 20. Energietag Rheinland-Pfalz**  
Bingen, September, Aussteller
- ERA-NET SG+ Knowledge Community Working Group Meeting**  
Bukarest (RO), Juni
- EUROMECH**  
Funchal (PT), April, Vortrag
- 12<sup>th</sup> European Congress for Stereology and Image Analysis**  
Kaiserslautern, September, Vortrag
- European Meeting of Statisticians (EMS)**  
Helsinki (FIN), Juli
- 47<sup>th</sup> European Microwave Conference (EuMC)**  
Nürnberg, Oktober, Vortrag
- European Radar Conference EuRAD 2017**  
Nürnberg, Oktober
- E-World Energy & Water 2017**  
Essen, Februar, Aussteller
- 3. Fachseminar des FA MTHz: Mikrowellen- und Terahertz-Prüftechnik in der Praxis**  
Würzburg, April, Aussteller, Vortrag
- 7. Fachtagung Smart Grids und Virtuelle Kraftwerke**  
Worms, März, Aussteller
- Forschen in Europa**  
Mannheim, Januar
- 15<sup>th</sup> Fraunhofer IISB Lithography Simulation Workshop 2017**  
Behringersmühle, September, Vortrag
- 10. Fraunhofer-Vision Technologietag**  
Fürth, Oktober, Aussteller, Vortrag
- Fraunhofer-Symposium Netzwerk**  
München, Februar, Vortrag
- 7<sup>th</sup> GACM Colloquium on Computational Mechanics (GACM2017)**  
Stuttgart, Oktober, Vortrag
- 88<sup>th</sup> GAMM Annual Meeting**  
Ilmenau, März, Vortrag
- GeoDict User-Meeting**  
Kaiserslautern, September, Vortrag
- GeoDict User-Meeting**  
Nagoya (J), Oktober, Vortrag
- GeoDict User-Meeting**  
Tokio (J), Oktober, Vortrag
- German Terahertz Conference**  
Bochum, März, Vortrag
- Hannover Messe**  
Hannover, April, Aussteller
- High-Performance Graphics 2017**  
Los Angeles (USA), Juli, Vortrag
- HiPEAC Spring CSW**  
Zagreb (HR), April
- Hofer Vliesstofftage**  
Hof, November, Aussteller, Vortrag
- HP CAST 28**  
Frankfurt, Juni, Vortrag
- HP CAST 29**  
Denver (USA), November, Vortrag
- IAVSD 2017**  
Queensland (AUS), August, Vortrag
- IEEE MTT-S International Microwave Symposium**  
Honolulu (USA), Juni, Vortrag
- 20<sup>th</sup> IFAC World Congress 2017**  
Toulouse (F), Juli, Poster
- INDEX 2017**  
Genf (CH), April, Aussteller, Vortrag
- Industrieworkshop Digitale Technologien für Fasern, Vliesstoffe und technische Textilien**  
Kaiserslautern, September, Aussteller, Vortrag
- 42<sup>nd</sup> International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves**  
Cancun (MEX), August, Vortrag
- International Conference on Porous Media, Intpore**  
Rotterdam (NL), Mai, Poster
- International Ruhr Energy Finance Conference**  
Essen, September, Vortrag
- International Textile Conference**  
Stuttgart, November/Dezember, Vortrag

**International Workshop Adhesion and Friction: Simulation, Experiment, Applications**  
Berlin, November

**16. Internationale VDI-Tagung ‚Reifen-Fahrwerk-Fahrbahn‘ 2017**  
Hannover, Oktober, Vortrag

**Intersolar 2017**  
München, Juni, Aussteller

**IPS Cable Simulation User Conference 2017**  
Speyer, Juni, Aussteller, Vortrag

**IQPC Non Road Mobile Machinery: Functional Safety**  
Mainz, Oktober, Vortrag

**ISC High Performance 2017**  
Frankfurt, Juni, Aussteller, Vortrag, Poster

**IUTAM Symposium**  
Darmstadt, September, Vortrag

**Jahresworkshop Fraunhofer-Allianz Verkehr**  
Dortmund, Mai

**Kaiserslautern Research Matching (karema)**  
Kaiserslautern, Dezember, Vortrag, Workshop

**Kooperation Fraunhofer mit HS angewandte Wissenschaft**  
München, Mai

**8. Landshuter Leichtbau-Colloquium**  
Landshut, April, Vortrag

**Laser World of Photonics**  
München, Juni

**Magnonics 2017**  
Oxford (UK), August, Poster

**MathFinance**  
Frankfurt, April

**META 2017**  
Incheon (ROK), Juli, Vortrag

**MFC 2017**  
Dornbirn (A), September, Vortrag

**Mikrowellen- und Terahertz-Prüftechnik in der Praxis**  
Fürth, April, Vortrag

**MINT-EC-Schulleitertagung**  
Kaiserslautern, November, Aussteller

**Modval KA**  
Karlsruhe, März

**NART 2017**  
Liberec (CZ), September, Vortrag

**Nonwovens Innovation Academy**  
Chemnitz, Oktober, Vortrag

**Optence Jahrestagung**  
Mainz, März, Aussteller

**OSCAR Retreat**  
Marienburg, Juli, Poster

**Qualität im faserverstärkten Leichtbau - CFK, GFK, FVK**  
Stuttgart, März, Vortrag

**SC 17, Supercomputing 2017**  
Denver (USA), November, Aussteller

**Schüttgutmesse**  
Dortmund, Mai, Vortrag

**SEG International Exposition 2017**  
Houston (USA), Oktober, Aussteller

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

**Seminar des FA Ultraschallprüfung**  
Berlin, November, Vortrag

**SFB 926 Doktorandenretreat 2017**  
Mannheim, Juni, Vortrag

**SIGGRAPH 2017**  
Los Angeles (USA), August

**SPIE Photonics West 2017**  
San Francisco (USA), Januar, Vortrag

**SPIN+X YRC Student-Only Retreat, 2017**  
Kaiserslautern, März, Vortrag

**Spring School SPP 1839**  
Karlsruhe, Mai, Vortrag, Poster

**2. Symposium „Digitale Menschmodelle in industriellen Anwendungen“**  
Stuttgart, Februar, Vortrag

**3rd Symposium Driving Simulation 2017**  
Braunschweig, November, Vortrag

**Tag der Verfahrenstechnik**  
Kaiserslautern, Oktober, Vortrag

**TeaP 2017 - 59th Conference of Experimental Psychologists**  
Dresden, März, Vortrag

**Techtextil 2017**  
Frankfurt/Main, Mai, Aussteller

**TERATEC Conference**  
Palaiseau cedex (F), Juni, Poster

**9th THz-Days**  
Dunkirk (F), Juni, Vortrag

**Tire Technology Expo 2017**  
Hannover, Februar, Vortrag

**14th U.S. National Congress on Computational Mechanics**  
Montreal (CDN), Juli, Aussteller, Vortrag

**10th UK-Europe-China Workshop on Millimetre Waves and THz Technologies (UCMMT 2017)**  
Liverpool (GB), September, Vortrag

**32nd URSI GASS**  
Montreal (CDN), August, Vortrag

**VI-grade Users Conference**  
Turin (I), Mai

**634. WE-Heraeus-Seminar: Merging Micro- and Nano-Optics: 3D Printing of Advanced and Functional Optics**  
Bad Honnef, Januar, Vortrag, Poster

**64. Workshop des Heidelberger Bildverarbeitungsforums: 3D-Bildaufnahme mit durchdringender Strahlung**  
Fürth, März, Vortrag

**8th Workshop on the Mathematical Foundations of Traffic**  
Rom (I), März

**Workshop: Recent Advances in Multi-Objective Optimization**  
Kaiserslautern, Oktober, Vortrag

**Workshop: Zerstörungsfreie Prüf- und Analysemethoden in der Restaurierung und Oberflächentechnik**  
Berlin, April, Vortrag

Dreßler, Klaus; Stephan, Thomas  
**Artikel des Jahres 2017**  
Fachzeitschrift Elektronik  
September

Roller, Michael  
**Best paper award**  
ECCOMAS Thematic conference on MULTIBODY DYNAMICS  
Juni

## EIGENE VERANSTALTUNGEN

**bild der wissenschaft: Vorstellung »Volumenoptimierung beim Edelsteinschliff« als Teil einer Leserreise**  
Kaiserslautern, Mai

**Bildhauersymposium 2017 des Kunstvereins Skulpturen Rheinland-Pfalz e. V.: Vernissage**  
Kaiserslautern, Juni

**Die Sendung mit der Maus: Mausöffnertag in der Bildverarbeitung**  
Kaiserslautern, Oktober

**ECSIA**  
Kaiserslautern, September

**Gesundheitstage am Fraunhofer-Zentrum**  
Kaiserslautern, April, August

**Industrieworkshop: Digitale Technologien für Fasern, Vliesstoffe und Technische Textilien**  
Kaiserslautern, September

**International Autumn Workshop: Networks and Uncertainty**  
Kaiserslautern, September

**International Workshop: Models and Methods of Robust Optimization**  
Kaiserslautern, März

**IPS Cable Simulation User Conference 2017**  
Technikmuseum Speyer

**Jahrestagung der Felix-Klein-Akademie: Modellierungsworkshop**  
Kaiserslautern, September

**KL-Regelungstechnik: Seminarreihe zu Regelungsthemen, mathematischen Methoden und technische Umsetzung**  
Kaiserslautern, ganzjährig, einmal im Monat

**Kurs: Deep Learning**  
Kaiserslautern, achtmalig im Jahr

**Kurs: Python für wissenschaftliche Anwendungen**  
Kaiserslautern, Februar

**Mathe-Camp des Felix-Klein-Zentrums für Mathematik**  
Kaiserslautern, März

**Schulung: Data Scientist for Smart Energy Systems**  
Kaiserslautern, Juni, November

**Semina: Statistische Methoden in der Betriebsfestigkeit**  
Kaiserslautern, September

**Seminar: Lastdaten-Analyse, Bemessung, Simulation**  
Kaiserslautern, September

**Short Course: BatteryDict / BEST**  
Kaiserslautern, September

**Strategisches Netzwerktreffen mit Alumniveranstaltung**  
Kaiserslautern, Dezember

**Tag der Verfahrenstechnik**  
Kaiserslautern, Oktober

**Technologietag: Jurojin - Statistik für Versuche zur Betriebsfestigkeit**  
Kaiserslautern, September

**Technology day on geo-referenced analysis and usage simulation for vehicle development**  
Kaiserslautern, September

**Workshop: PIA-Basismodell**  
Kaiserslautern, Juni

**Vortragsreihe »Blick über den Tellerrand«**  
Kaiserslautern

Klassischer Chor der TU Kaiserslautern und Frieder Reininghaus Musikpublizist, Köln  
**Franz Schuberts „Winterreise“ - Melancholie und Biedermeier oder musikalischer Ausdruck des Vormärz?**  
Januar

Sturm, Volker  
Hirnehirn, Universitätsklinikum Würzburg  
**Tief im Hirn – Chirurgie in höchster Präzision**  
Februar

Zimmerli, Walther Ch.  
Philosoph, Humboldt-Universität zu Berlin  
**Künstliche Intelligenz oder Cyborg? Digitalisierung als Ko-evolution von Mensch und Technologie**  
März

Matz, Sandra  
Psychologin, Universität Cambridge (UK)  
**Big Data, Psychografisches Profiling und die Zukunft digitalen Marketings. Wie Präsidenten gemacht und Waren beworben werden**  
Mai

Eifler, Dietmar  
Materialwissenschaftler, TU Kaiserslautern  
**Life unlimited – Gibt es unendlich lange lebende Bauteile?**  
Juni

Klassischer Chor der TU Kaiserslautern  
**Sunday Lunch with Henry and Emilio**  
Juli

Ströfer, Eckhard  
Verfahrenstechniker, TU Kaiserslautern  
**Im Risiko – Warum Innovation so schwierig ist**  
Juli

Lengauer, Thomas  
Informatiker, Max-Planck-Institut für Informatik, Saarbrücken  
**Big Data - Macht, Suggestivität, Grenzen und Risiken**  
September

Springel, Volker  
Astrophysiker und Kosmologe, Universität Heidelberg  
**Simulierte Universen: Ursprung und Schicksal unserer Milchstraße**  
Oktober

Trischler, Helmuth  
Technikhistoriker, Deutsches Museum, München  
**Anthropozän – das menschengemachte Zeitalter**  
November

Moldaschl, Manfred F.  
Sozioökonom, Zeppelin Universität, Friedrichshafen  
**Wo bestellt man eigentlich geistige Freiheit?**  
Dezember

## GÄSTE

Arnold, Martin  
(Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg)  
**Cosserat rod modeling**  
März

Bruls, Olivier  
(Universität Lüttich (B))  
**Cosserat rod modeling**  
März

Celledoni, Elena  
(NTNU Trondheim (N))  
**Cosserat rod modeling**  
März

Ciegis, Raimondas  
(Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius (LT))  
**Numerical algorithms for problems with fractional powers of elliptic operators**  
September

den Hertog, Dick  
(Tilburg, University (NL))  
**Tutorial on robust optimization**  
März

Franke, Jürgen  
(Universität Kaiserslautern, AG Statistik)  
**Machine Learning – Grundlagen und Beispiele**  
März

Fritzen, Felix  
(Universität Stuttgart)  
**Computer assisted material modeling: ROM and DATA**  
Dezember

Gerstmayr, Johannes  
(Universität Innsbruck (A))  
**Cosserat rod modeling**  
März

Gerstmayr, Johannes  
(Universität Innsbruck (A))  
**Recent developments on absolute coordinate formulations**  
August

Griso, Georges  
(Universität Pierre und Marie Curie, Paris (F))  
**Numerical algorithms for problems with fractional powers of elliptic operators**  
März

Hecht, Heiko  
(Johannes Gutenberg-Universität  
Mainz)  
**RODOS / REDAR**  
Februar

Henrion, René  
(Weierstrass Institut for Applied  
Analysis and Stochastics Berlin )  
**On a joint model for probabilis-  
tic/robust constraints with an  
application to gas networks un-  
der uncertainties**  
März

Lakdawala, Zahra  
(DHI WASY GmbH, Berlin)  
**Hydro-Mechanical Coupling in  
Fractured and Granular Media:  
Modeling and numerical simu-  
lation**  
Dezember

Latz, Arnulf  
(Helmholtz Insitut, Ulm)  
**Batteriesimulation**  
April

Lavrov, Alexander  
(Fachhochschule Kaiserslautern-  
Pirmasens)  
**Discrete Event Simulation /  
Plant Simulation**  
Mai

Lazarov, Raytcho  
(Texas AM University (USA))  
**Numerical methods for frac-  
tional advection-dispersion  
equations**  
Januar

Leyendecker, Sigrid  
(Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg)  
**Cosserat rod modeling**  
März

Meier, Christoph  
(MIT, Massachusetts (USA))  
**Geometrically exact finite ele-  
ment formulations for slender  
beams: Kirchhoff-Love theory  
vs. Simo-Reissner theory**  
Juli

Nagapetyan, Tigran  
(Oxford University (GB))  
**Stochastic Gradient Optimiza-  
tion Method**  
März

Owren, Brynjulf  
(NTNU Trondheim (N))  
**Cosserat rod modeling**  
März

Pflug, Georg  
(University of Vienna (A))  
**Distributionally robust stochastic  
optimization**  
März

Porta, Giovanni  
(Polytecnico di Milano (I))  
**Characterization of solute  
transport and mixing in porous  
media through pore-scale infor-  
mation**  
September

Printsypar, Galina  
(WIAS Institut, Berlin)  
**Multiscale modelling of the filter  
efficiency experiments using  
homogenization theory**  
August

Pudasaini, Shiva  
(Rheinische Friedrich-Wilhelms-Uni-  
versität Bonn, Steinmann-Institut,  
Bonn (D))  
**Unified modelling of complex  
multi-phase mass flows**  
September

Rawal, Amit  
(Indian Institute of Technology, De-  
lhi (IND))  
**Analytische Modelle für Vlies-  
stoffe**  
Januar - Juli

Rossi, Davide  
(Universita di Bologna, Bologna (I))  
**Neurostream: Scalable and En-  
ergy Efficient Deep Learning  
with Smart Memory Cubes**  
September

Schöbel, Anita  
(Universität Göttingen )  
**New concepts in robust optimi-  
zation**  
März

Schultz, Rüdiger  
(University of Duisburg-Essen )  
**Approaches to Stochastic Pro-  
gramming Beyond Convexity**  
März

Siena, Martina  
(Polytecnico di Milano (I))  
**Characterization of channeling  
phenomena in pore-scale flow  
fields**  
März

Zielinski, Pawel  
(Wroclaw University of Science and  
Technology (PL))  
**Robust discrete optimization  
under discrete and interval un-  
certainty**  
März

- Gramsch, Simone**
- Fachgremium Fachinformationen der Fraunhofer-Gesellschaft (Mitglied)
  - KOMMS – Kompetenzzentrum für mathematische Modellierung in MINT-Projekten in der Schule (Mitglied im wissenschaftlichen Beirat)
  - Wissenschaftlich-Technischer Rat (WTR) der Fraunhofer-Gesellschaft (Mitglied)

- Iliev, Oleg**
- CAMWA (Reviewer)
  - Computational and Applied Mathematics (Reviewer)
  - DFG (Reviewer)
  - ETNA (Reviewer)
  - FB Mathematik Univ. Heidelberg (Reviewer of PhD thesis, member of examination committee)
  - International Society of Porous Media, InterPore (Chair of Event Committee)
  - Journal of Porous Media (Editor)
  - Mathematical Methods and Analysis (Editor)
  - Transport in Porous Media (Reviewer)

- Kabel, Matthias**
- International Journal for Numerical Methods in Engineering (Reviewer)
  - Journal of Applied Geophysics (Reviewer)
  - Materials and Design (Reviewer)
  - Mathematical Modelling and Analysis (Editor)
  - Modelling Simul. Mater. Sci. Eng. – MSMSE (Reviewer)
  - Swiss National Science Foundation (Gutachter)

**Keuper, Janis**

- "Machine Learning in HPC« Workshop, ACM SIG HPC 2017 (Mitglied im ISC High Performance Steering Committee)
- Arbeitsgruppe »Maschinelles Lernen« im Fachbeirat »Data Science« FhG Zertifizierungsstelle Chair für den DL Track bei der ISC High Performance Konferenz Co-Chair (Sprecher)

**Kirsch, Ralf**

- Scientific Committee American Filtration Society (AFS)

**Klein, Peter**

- BMBF-Programm »ERA.Net RUS Plus - Novel functional nanomaterials based on design and modelling« (Gutachter)
- DFG-Programm »Materials for Additive Manufacturing - Bewertung der Prozessfähigkeit teilkristalliner Thermoplaste im Fused Deposition Modeling mittels eines mikroskaligen Berechnungsansatzes« (Gutachter)
- Heat and Mass Transfer (Reviewer)

**Korn, Ralf**

- European Actuarial Journal (Co-Editor)
- Quantitative Finance Series, Imperial College Press, World Scientific (Editor)
- Wissenschaftlicher Beirat DISC, TU Kaiserslautern (Mitglied)
- DFG-Graduiertenkolleg 1932 "Stochastic Models for Innovations in the Engineering Sciences" (Sprecher)
- Deutsche Aktuarvereinigung (Mitglied des Vorstandes)
- Deutscher Verein für Versicherungswissenschaften (Mitglied des Vorstandes)
- Deutsche Gesellschaft für Versicherungs- und Finanzmathematik (Vorstandsvorsitzender)

**Krüger, Jens**

- Fachausschuss Fraunhofer Data Scientist Zertifizierung

**Küfer, Karl-Heinz**

- BMBF-Programm »Mathematik für Innovationen in Industrie und Dienstleistungen« (Gutachter)

**Maasland, Mark**

- Fraunhofer-Allianz Vision (Mitglied)
- International Journal of Telemedicine and Clinical Practices (IJTMCP), (Gutachter)

**Michel, Isabel**

- Computers and Mathematics with Applications (Reviewer)

**Prätzel-Wolters, Dieter**

- Applied Mathematics Committee (AMC) of the European Mathematical Society (Mitglied)
- BMBF Strategiekomitee für mathematische Modellierung, Simulation und Optimierung (KoMSO) (Mitglied)
- European Research Centres on Mathematics ERCOM (Mitglied)
- Felix-Klein-Zentrum für Mathematik (Vorsitzender)
- Forschungszentrum »Center of Mathematical and Computational Modeling CM²« der TU Kaiserslautern (Mitglied)
- Fraunhofer-Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics FCC (Mitglied des Advisory Boards)
- Fraunhofer-Leistungszentrum »Simulations- und Softwarebasierte Innovation« (Sprecher des Leitungsrats)
- GAMM-Fachausschuss Dynamik und Regelungstheorie (Mitglied)
- Institut für Verbundwerkstoffe GmbH (Mitglied des Beirats)

- Kompetenzzentrum für mathematische Modellierung in MINT-Projekten in der Schule, KOMMS (Mitglied im Leitungsgremium)
- Rat für Technologie Rheinland-Pfalz (Mitglied)
- Stiftungsrat »Fraunhofer-Zukunftsstiftung« (Mitglied)

**Prill, Torben**

- Steering Committee des InterPore German Chapter (Mitglied)

**Rösch, Ronald**

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

**Schladitz, Katja**

- Composite Structures (Gutachter)
- Image Analysis & Stereology (Gutachter)
- Journal of the Science of Food and Agriculture (Gutachter)
- Leichtbau-Cluster (Mitglied)
- Materials Characterization (Gutachter)
- Methodology and Computing in Applied Probability (Gutachter)

**Stephani, Henrike**

- International Conference on Pattern Recognition (Reviewer)
- Sensors (ISSN 1424-8220; CODEN: SENSC9, Reviewer)

Fütterling, Valentin  
**Methods, Computer Program and Apparatus for an Ordered Traversal of a Subset of Nodes of a Tree Structure and for Determining an Occlusion of a Point along a Ray in a Raytracing Scene**  
 US 15/814,441

Trinkaus, Hans; Malschofsky, Ralf  
**Steuerung eines Produktionsprozesses für extrudierte Profilbauteile**  
 Europäisches Patent 1 719 603 B1









## IMPRESSUM

© Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM 2018

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  
Esther Packullat

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)