



Fraunhofer
ITWM

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR TECHNO- UND WIRTSCHAFTSMATHEMATIK ITWM



JAHRESBERICHT
2019/20

Titelbild

Corona hat die Welt verändert, aber unsere Institutsleiterin Prof. Anita Schöbel blickt – stellvertretend für das gesamte Institut – mit Optimismus nach vorne: Mathematik wird weiterhin einen Beitrag leisten für eine gute Zukunft für uns alle.

© Philipp Horak

JAHRESBERICHT
2019/20

INHALTSVERZEICHNIS

- 4 Interview mit Prof. Dr. Anita Schöbel
- 7 Das Institut im Profil
- 8 Das Institut in Zahlen
- 10 Top-Thema
- 12 Rückblick

UNSER NETZWERK

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

BEREICHE UND ABTEILUNGEN DES ITWM

- 25 Transportvorgänge
- 31 Strömungs- und Materialsimulation
- 39 Bildverarbeitung
- 45 Systemanalyse, Prognose und Regelung
- 49 Optimierung
- 57 Finanzmathematik
- 63 Mathematik für die Fahrzeugentwicklung
- 71 Competence Center High Performance Computing
- 79 Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung
- 85 Impressum

INTERVIEW

Liebe Frau Schöbel, seit anderthalb Jahren haben Sie die alleinige Leitung des Fraunhofer ITWM inne; zuvor waren Sie 14 Jahre Professorin am Institut für Numerische und Angewandte Mathematik an der Georg-August-Universität Göttingen. Als Leiterin eines Fraunhofer-Instituts müssen Sie natürlich andere Schwerpunkte setzen – wie hat sich Ihr berufliches Leben verändert im vergangenen Jahr?

Da ich ja weiterhin Mathematik-Professorin bin – jetzt an der TU Kaiserslautern – gibt es zunächst einmal berufliche Kontinuität: Vorlesungen halten, Seminare organisieren, Studierende betreuen, Forschen, Paper und Anträge schreiben. Neu für mich ist natürlich meine Arbeit am ITWM, die ich eher als Wissensschäftsmanagement beschreiben würde.

Für das Institut arbeite ich weniger an detaillierten Forschungsfragen, sondern entwickle Ideen und gebe Impulse für die weitere Entwicklung. Konkrete Strategiefragen diskutieren wir im Institutsleitungsausschuss und ich versuche, mir für Anregungen und Fragen unserer Mitarbeitenden ausreichend Zeit zu nehmen. Außerdem vertrete ich das ITWM nach außen, innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft, an der TU und den anderen Forschungsinstitutionen am Standort, in der Stadt und im Land bei Besuchen von politischen Vertreterinnen und Vertretern.

Im letzten Jahr habe ich unglaublich viel Neues gesehen und gelernt. Da sind zunächst einmal die vielen Menschen, die ich kennengelernt habe: die Kolleginnen und Kollegen am ITWM und in anderen Fraunhofer-Instituten, Kontakte am Standort und in der Politik. Dazu kommen die spannenden Projekte bei uns am Institut: fast zu jedem Wirtschaftszweig können wir etwas beisteuern und am liebsten würde ich bei allem die Methoden und Hintergründe verstehen. Und natürlich habe ich auch viele Abläufe in der Fraunhofer-Gesellschaft erst kennenlernen müssen, angefangen von der Zuteilung der Mittel über Abläufe in der Verwaltung und eingespielte Praktiken bei uns im Haus.

Eine gravierende Veränderung im letzten Jahr kam natürlich durch die Covid-19-Pandemie. Das hat – wie vermutlich bei allen – meine Arbeitsweise stark verändert.

Welche Ihrer Erwartungen haben sich erfüllt? Welche (noch) nicht?

Durch einige gute Gespräche, vor allem mit meinem Vorgänger Prof. Dieter Prätzel-Wolters, hatte ich schon eine gute Vorstellung von meinen Aufgaben am Institut, die sich im Laufe meines ersten Jahres am ITWM nach und nach konkretisiert haben. Alles in allem hat das sehr gut zu meinen Erwartungen gepasst.

Meine Erwartungen übertroffen hat die hervorragende Arbeitsatmosphäre bei uns am Institut und die konstruktive Zusammenarbeit auf allen Ebenen. Auch die Kreativität und das Engagement der Mitarbeitenden beeindruckten mich jeden Tag aufs Neue. Kein Wunder, dass wir so viele tolle Projekte haben! Eine gute Diskussionskultur und Kompromissbereitschaft tragen dazu bei, dass alles sehr gut läuft.

Was waren für Sie die Highlights des Instituts im vergangenen Jahr?

Mein persönliches Highlight im vergangenen Jahr war unser Vernetzungstreffen im Dezember, das wir in einem neuen Format und mit vielen neuen Elementen abgehalten hatten. Der von den Abteilungen gestaltete »Weihnachtsmarkt« war ein echtes Highlight – sowohl kulinarisch als auch bezüglich der Kommunikation über laufende Projekte. In den Atrien gab es viele gute Gespräche und unsere Disco, zu der ich auch unser Nachbarinstitut IESE eingeladen hatte, sowie die Relax-Lounge kamen super an. Toll war auch, dass wir alles aus dem eigenen Haus gestalten konnten und dass so viele bei der Gestaltung mitgeholfen haben, bis hin zum DJ. An dieser Stelle nochmal ein herzliches Dankeschön an die Organisation und an alle Beteiligten!

PROF. DR. ANITA SCHÖBEL
INSTITUTSLEITERIN



Die Frage zielte aber vermutlich auf die wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Highlights des ITWM. Wir hatten viele Preise, erfolgreiche Industrieprojekte, Erfolge auch bei wissenschaftlichen Projekten (z. B. im Mathematik-Programm des BMBF). In jedem erfolgreich abgeschlossenen Projekt, in jedem Antrag steckt viel Arbeit, aber auch beeindruckende Kreativität und Engagement. Das ist der Schlüssel unserer erfolgreichen Arbeit und ich finde jede dieser Leistungen beeindruckend und ein Highlight für sich.

Welche Themen möchten Sie besetzen mit dem ITWM?

Am liebsten alle Themen, bei denen innovative mathematische Methoden in Anwendungen genutzt werden! Hier gibt es viele gute Ideen, direkt aus den Abteilungen. Unsere Materialcharakterisierung soll bezüglich optischer Quantentechnologien weiter ausgebaut werden. Der Einsatz von 5G in Anwendungen, bei denen eine sehr schnelle Übertragung gefragt ist, steht gleich bei mehreren Abteilungen auf dem Programm. Derzeit besonders wichtig sind viele spannende Projekte zur Digitalisierung: von Produktionsprozessen, von chemischen Prozessen, im Gesundheitswesen, bei der Detektion von Auffälligkeiten oder bei Fragen zur Instandhaltung. Das Thema Energie, insbesondere auch mit Blick auf die Energiewende, steht bei vielen Abteilungen hoch im Kurs. Wir haben weiterhin viele innovative Themen rund um die Automobilindustrie, die u. a. autonomes Fahren, neue Antriebstechnologien und die Optimierung von Batterien beinhalten.

Im Rahmen der Corona-Pandemie sind Projekte zur Gesundheit stark in den Vordergrund getreten. Dazu gehören neben der Vorhersage des Pandemiegeschehens und der Empfehlung von Maßnahmen für einen Landkreis oder ganz lokal bei Veranstaltungen auch die Beschreibung der Aerosolausbreitung, die Analyse der Schutzwirkung von Masken, die Verteilung von Impfstoffen und die Produktion von Schutzkleidung.

Neben dieser Themenvielfalt aus den Abteilungen bin ich selbst insbesondere beim Aufbau und der Weiterentwicklung der folgenden Themenfelder engagiert:

Ein neues Thema für das ITWM wird das Quantencomputing sein; hier sind wir mitverantwortlich für den Aufbau des Kompetenznetzwerkes Quantencomputing bei Fraunhofer, das an der Anwendung dieser Technologie arbeitet. In der Theorie können Quantencomputer eine ganze Reihe praxisrelevanter Probleme viel schneller lösen, als das mit klassischen Computern möglich ist. In unseren Projekten wollen wir Probleme identifizieren, für die das auch praktisch möglich ist und das dann industriell nutzbar machen. Neben einem großzügigen Landesprojekt haben wir auch BMBF-Projekte in diesem Bereich und sogar ein erstes Industrieprojekt. Toll ist, dass aktuell sechs Abteilungen/Bereiche am Quantencomputing beteiligt sind und sich auch die anderen dafür interessieren.

»Next Generation Computing« ist ein weiteres Zukunftsfeld, auf dem wir uns stark engagieren werden. Von unserem Präsidenten Prof. Reimund Neugebauer wurde ich zusammen mit dem Leiter des Fraunhofer IIS, Prof. Albert Heuberger, als Sprecherin des Strategischen Forschungsfeldes »Next Generation Computing« berufen. Das Ziel ist, »Next Generation Computing« innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft voranzutreiben. Auch hier würde ich gerne problemgetrieben, anhand konkreter Anwendungen vorgehen und also Techniken des »Next Generation Computing« für konkrete Algorithmen entwickeln. Wir haben das im ILA bereits diskutiert und ich freue mich, wenn sich dabei möglichst viele Abteilungen einbringen.

Ein weiterer wichtiger Bereich sind die programmierbaren Materialien. Hier sind wir an einem Cluster beteiligt, bei dem ich dieses Jahr in das Direktorium aufgenommen wurde. Programmierbare Materialien sind ein sehr spannendes Forschungsgebiet mit Anwendungen, die teils wie Science Fiction klingen.

Was sehen Sie als die größten Herausforderungen für das ITWM in den nächsten Jahren?

Rein organisatorisch werden wir vor allem sehen müssen, wie wir mit dem Platzangebot unseres Instituts zurechtkommen, bis unser Neubau fertig ist – und natürlich ist auch der Neubau an sich eine Herausforderung. Ich hoffe da sehr auf das Verständnis unserer Mitarbeitenden, wenn wir zwischenzeitlich enger zusammenrücken müssen. Wobei man sich »enger zusammenrücken« angesichts der Corona-Pandemie im Moment ja eh nicht vorstellen kann! Vielleicht kann der Platzmangel durch mobile Arbeitsformen etwas kompensiert werden.

Inhaltlich blicke ich sehr optimistisch in die Zukunft. Wir sind am ITWM mit unseren Themen hervorragend aufgestellt und besetzen viele innovative, zukunftssträchtige Bereiche. Als Gesamtinstitut sind wir bisher sehr gut durch die Corona-Krise gekommen, besser als manche erwartet hatten. Aber natürlich besteht eine Herausforderung darin, dass wir neue Entwicklungen im Blick behalten und unsere Themenfelder darauf anpassen. Das ist uns bisher hervorragend gelungen, trotz der schwächelnden Automobilindustrie – einer für uns nach wie vor wichtigen Branche.

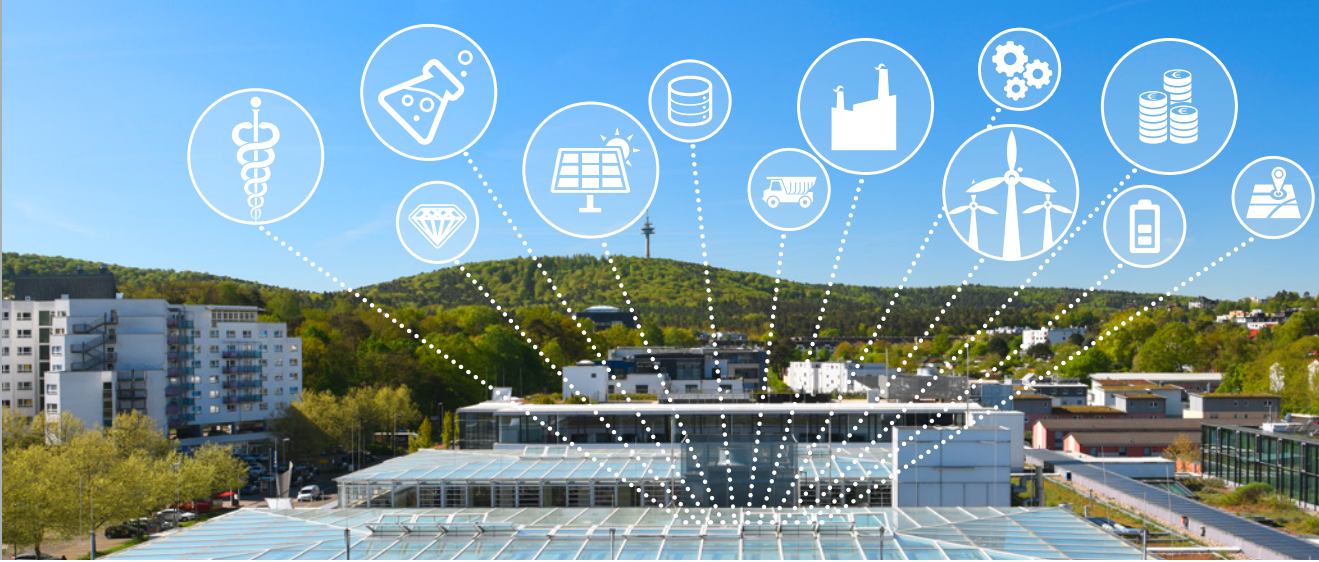
Seit Ende März des laufenden Jahres ist auch Deutschland von den Auswirkungen der Corona-Pandemie betroffen; für die ITWM-Mitarbeitenden vor allem spürbar durch die Umstellung auf Arbeiten im Home Office. Doch auch langfristig wird sich einiges verändern. Sehen Sie davon auch die Projektakquise betroffen, zum Beispiel indem bestehenden Kunden verstärkt neue Themenfelder aus dem Corona-Umfeld angeboten werden?

Wir sind da gefragt, wo wir uns auskennen und bieten auf diesen Themenfeldern unsere Expertise an. Das kann in Zukunft natürlich auch Techniken oder Erkenntnisse betreffen, die wir derzeit während der Pandemie im Rahmen eines unserer zahlreichen Corona-Projekte entwickeln. Klar freuen wir uns, wenn solche Ergebnisse dann auch in einem anderen Zusammenhang

genutzt werden können. Im Moment geht es uns aber vorrangig darum, zu helfen und bei der Bewältigung der Corona-Krise zu unterstützen.

Erwarten Sie, dass die Corona-Krise unsere Arbeitswelt nachhaltig verändern wird? Welche Veränderungen sehen Sie in diesem Zusammenhang im ITWM?

Wir werden bewusster mit Reisen umgehen und kritischer prüfen, wann wir wirklich vor Ort sein müssen. Die Digitalisierung hat einen starken Push bekommen und bietet neue Möglichkeiten – das wird sicher erhalten bleiben. Und wir können Vor- und Nachteile des Home Office besser einschätzen und haben gelernt, dass sehr viele Dinge auch von zu Hause aus sehr gut funktionieren. Bei der Betriebsversammlung hatte ich gefragt, wie viele Tage im Home Office sich unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auch nach dem Ende der Corona-Krise wünschen und die Mehrheit hat zwei Tage pro Woche angegeben. Wir sind uns im ILA bereits einig, dass wir das gerne ermöglichen wollen, sofern die entsprechende Tätigkeit es zulässt. Aber das ist nach der Krise. Zunächst müssen wir sehen, dass wir trotz Covid-19 heil über den Herbst und Winter kommen und dass sich dann im Jahr 2021 zusammen mit einem hoffentlich verfügbaren Impfstoff die ganze Lage langsam normalisiert.



DAS INSTITUT IM PROFIL

Computersimulationen sind unverzichtbar bei der Gestaltung und Optimierung von Produkten und Prozessen. Reale Modelle werden durch virtuelle Modelle ersetzt. Der Mathematik kommt bei der Gestaltung dieser virtuellen Welt eine fundamentale Rolle zu. Denn sie ist die Technologie, mit der diese Abbilder erzeugt und effizient in Software umgesetzt werden, Rohstoff der Modelle und Kern jeder Computersimulation.

Angewandte Mathematik als Schlüsseltechnologie

Viele kleine und mittelständische Unternehmen nutzen die Simulation zur Kostenreduzierung. Gerade diese Unternehmen unterstützen wir mit Beratung und Rechenleistung. Sie profitieren am Markt durch den Einsatz von Simulation in punkto Innovation und Qualitätssicherung von Produkten. Natürlich arbeiten wir auch mit großen Firmen zusammen, vor allem im Fahrzeugbereich, im Maschinenbau, der Textilindustrie, der Mikroelektronik, der Computerindustrie und im Finanzbereich. Integrale Bausteine unserer FuE-Projekte sind Beratung und Umsetzung, Unterstützung bei der Anwendung von Hochleistungsrechnertechnologie und Bereitstellung maßgeschneiderter Software-Lösungen. Wir nutzen nicht nur Simulationssoftware, sondern entwickeln sie selbst, oft in Zusammenarbeit mit führenden Softwarefirmen. 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

Als ITWM wollen wir nicht nur selbst die Brücke zwischen realer und virtueller Welt bauen, sondern auch Bindeglied zwischen der Hochschulmathematik und ihrer praktischen Umsetzung sein. Deshalb spielt die enge Anbindung an den Fachbereich Mathematik der Technischen Universität Kaiserslautern eine besondere Rolle.

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.

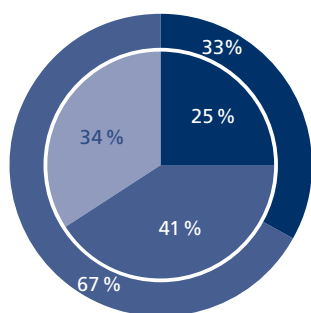
DAS INSTITUT IN ZAHLEN



FORSCHEN

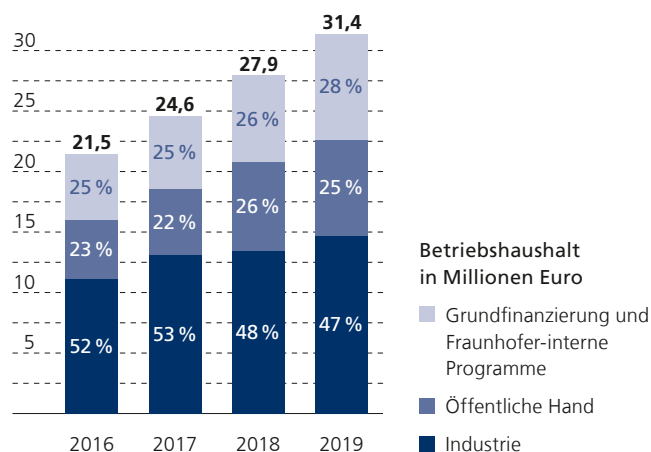
14,7 Mio € Industrieerträge – **155** industrielle

Auftraggeber – **296** Industrieprojekte



Anteile an den Industrieerträgen

- Ausländische Firmen
- Andere deutsche Firmen
- Regionale Firmen (näher als 150 km)
- Andere
- Klein- und mittelständige Unternehmen



Betriebshaushalt in Millionen Euro

- Grundfinanzierung und Fraunhofer-interne Programme
- Öffentliche Hand
- Industrie



LEHREN

An **4** Universitäten und Hochschulen leisteten **10**

Mitarbeitende – darunter **3** ProfessorInnen –

insgesamt **97** Semesterwochenstunden



QUALIFIZIEREN UND PUBLIZIEREN

26 Dissertationen und **35** Masterarbeiten

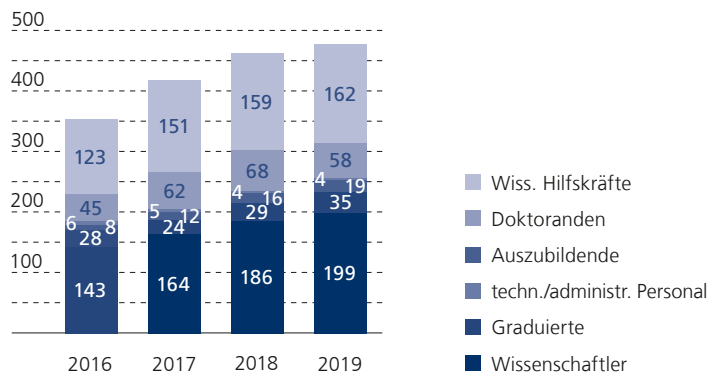
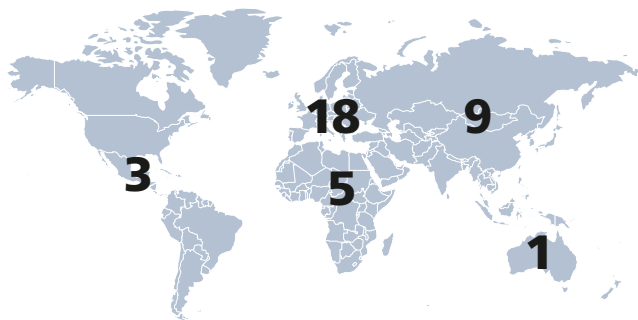
Publikationen: **190** (Vollständige Liste unter:

publica.fraunhofer.de/institute/itwm/2019



ARBEITEN

Das ITWM hat Beschäftigte aus 36 Nationen

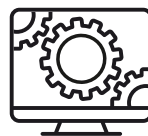
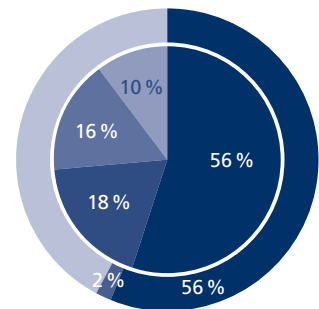


PRÄSENTIEREN

An **140** Messen und Veranstaltungen waren wir mit eigenem Auftritt beteiligt, sei es als Aussteller, mit Vorträgen und Postern oder als Anbieter von Workshops.

Fachrichtungen und Promotionsgrad der Wissenschaftler und Graduierten

- Ingenieurwesen
- Physik
- Informatik
- Mathematik
- Habilitiert
- Promoviert



RECHNEN

Mehr als **7 000** Computer-Cores sorgen für die nötige Rechenleistung.

TOP-THEMA AUS DEM INSTITUT

MIT MATHEMATIK BESSER DURCH DIE KRISE

Die Auswirkungen der Corona-Pandemie haben gezeigt, dass unser gesellschaftliches und wirtschaftliches System beides ist: fragil und stabil; fragil in einem kurzen Zeitfenster, stabil – hoffentlich – auf lange Sicht gesehen. Das Ausmaß der Krise wurde früh erkannt und der Politik war schnell klar, dass sie nur unter Einbeziehung vieler gesellschaftlicher Kräfte sowie der Wissenschaft zu bewältigen ist. Das zeigte bereits der Hackathon #WirVersusVirus“, zu dem die Bundesregierung Mitte März mit Organisatoren aus der digitalen Gemeinschaft aufrief.

Was kann speziell die Mathematik leisten, um längerfristig zur Stabilität beizutragen? Unsere erste Antwort lautete: Am oben genannten Hackathon teilnehmen! Drei Kollegen arbeiteten ein Wochenende lang an der Erstellung einer Webplattform zur Auslastungsvorhersage von medizinischen Ressourcen, an der Online-App #WhatCanIDo zum Thema »Flattening the Curve« sowie an einem Digitalen Pub Quiz mit virtuellen Getränken zum Sammeln von Spenden. Die an unserem Institut vorhandene Expertise manifestierte sich zeitnah in mehreren Projekten mit Corona-Bezug; einige stellen wir hier exemplarisch vor.

EpidemSE: Entscheidungsunterstützung für Gesundheitsämter und Kommunen

Wenn eine Infektionskrankheit neu auftritt, helfen mathematische Modelle, die beiden wichtigsten Fragen zu beantworten: Wie wird sich die Infektion ausbreiten? Welche Maßnahmen zu ihrer Eindämmung sind angemessen und wirkungsvoll? Einen Beitrag zur Beantwortung dieser Fragen leistet unsere Software EpidemSE (Epidemiologie – Modellierung, Simulation und Entscheidungsunterstützung); sie richtet sich an für lokale Entscheidungsträger in Gesundheitsämtern, Krankenhäusern und Kommunen.

Zur Erforschung einer Epidemie wird eine Population in Klassen unterteilt; geläufig sind das Dreiklassenmodell SIR und das Vierklassenmodell SEIR. In beiden werden alle Modellparameter konstant gehalten, nachdem sie aus den Daten bestimmt wurden. Das ist allerdings ein Nachteil, denn um die Wirkung der Lock-down-Maßnahmen zu analysieren und mögliche Exit-Strategien bewerten zu können, dürfen die Modellparameter nicht als zeitlich konstant erachtet werden. Wir haben daher ein klassisches SEIR-Modell um Retardierungseffekte erweitert, um früher als die klassischen Modelle verlässliche Ausbreitungsprognosen liefern zu können und somit die Analyse der Maßnahmen zu ermöglichen. Auch Regionen und Altersgruppen werden berücksichtigt, was die Bewertung spezialisierter Maßnahmen ermöglicht, z.B. die Öffnung von Schulen.



© istockphoto/Ca-ssis

Optimierung bei der Herstellung von Vliesstoffen für Gesichtsmasken

»Meltblown« heißt der Feinstfaser-Prozess, dessen Vliesstoffe dafür verantwortlich sind, dass in Gesichtsmasken die entscheidende Filterfunktion gegeben ist. Mit dem von uns entwickelten Fiber Dynamics Simulation Tool FIDYST werden die Bewegungen der Fasern, ihr Fallen und die Ausrichtung, mit der sie auf einem Transportband landen, vorausgesagt. Unsere Simulationen ermöglichen dann einen qualitativen und quantitativen Einblick in die Faserentstehung in solchen Meltblown-Prozessen. Die Produktion technischer Textilien kann so deutlich effizienter werden, denn die Simulationen helfen, die Prozesse anhand eines digitalen Zwillings zu prognostizieren und dann zu optimieren. So können Produktionskapazitäten bei gleichbleibender Produktqualität gesteigert werden.

Optimale Tragedauer von Schutzmasken

Für einen wirksamen Schutz sind nicht nur die Filtrationseigenschaften des verwendeten Materials von Bedeutung; auch mit zunehmender Feuchte im Material lässt die Schutzwirkung (Filtrereffizienz) nach. Auch Feuchtigkeit und Körperwärme begünstigen eine zunehmende Verkeimung auf der Seite des Tragenden. Wie schnell und wie stark die Maske durchfeuchtet wird, hängt vor allem von der körperlichen Anstrengung beim Tragen ab. Mithilfe angepasster Modelle und Simulationen arbeiten Forschende unseres Instituts an einer besseren Vorhersage der Tragedauer, die den Intensitätsverlauf der körperlichen Belastung berücksichtigt und somit einen sicheren und optimalen Einsatz der vorhandenen Masken unterstützt. Dies ermöglicht z. B. Kliniken und Pflegeeinrichtungen eine bessere Bedarfsplanung, die nicht nur die notwendigen Schutzklassen, sondern auch die individuellen Tätigkeitsprofile der Beschäftigten berücksichtigt.

DCare (Distance Care): KI-Technik für Personenzahlen und Distanzmessung

Um einen Weg aufzuzeigen, wie eine Rückkehr zu immer mehr öffentlichem Leben möglich ist und eine zweite Infektionswelle eingedämmt werden kann, entwickelt das Competence Center High Performance Computing eine spezielle Monitoring-Software: sie ermöglicht das Screening der einzuhaltenden Minimalabstände in komplexen Innenräumen, zeigt anhand verschiedenster Statistiken problematische Situationen auf und trägt dazu bei, das Infektionsrisiko auf ein Minimum zu reduzieren. Der Schlüssel zum Erfolg einer solchen Anwendung liegt in einem effektiven System, basierend auf den aktuellen Methoden der künstlichen Intelligenz, insbesondere des maschinellen Sehens. Unser Ansatz kommt ohne die Speicherung von Daten aus und ist dadurch DSGVO-konform. Das Modell wird unter Verwendung einer großen Menge an Daten mit Labeln trainiert, d.h. die KI wird mit Bildmaterial angelernt, damit sie mit hoher Präzision die gewünschten Informationen auch in der Anwendung liefern kann.



FRAUNHOFER-PREIS FÜR ANALYSETOOL FÜR CHEMISCHE PROZESSE

¹ Michael Bortz (Mitte links) und Karl-Heinz Küfer (Mitte rechts) nehmen den Forschungspreis von Jurymitglied Paul Schönsleben (links) und Fraunhofer-Präsident Reimund Neugebauer (rechts) entgegen.

Sei es in der Landwirtschaft, in der Industrie oder auch im Privathaushalt: Chemikalien werden überall benötigt. Allerdings verbraucht ihre Produktion extrem viel Energie. Mit einem neuartigen hybriden Zugang lässt sich je nach Anlage und Prozess Energie im zweistelligen Prozentbereich einsparen. Die Entwicklung fand im Bereich Optimierung im Team von PD Dr. Michael Bortz und Prof. Karl-Heinz Küfer statt, die dafür mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis ausgezeichnet werden.

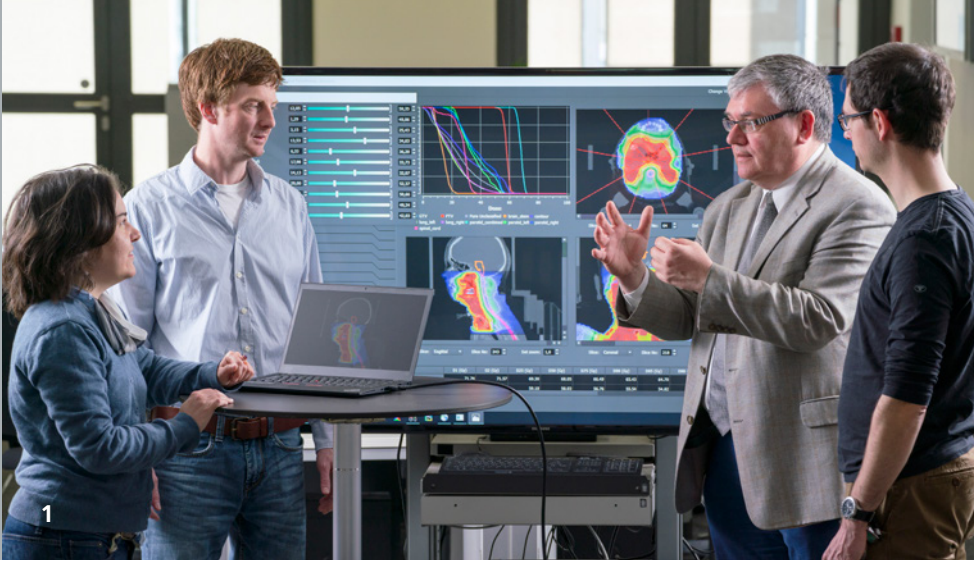
Analysetool: signifikant Energie einsparen

Das Team der Optimierung hat ein Modell entwickelt, das die komplexen Prozesse umfassend beschreibt, und wurde dafür bei der Jahreshauptversammlung der Fraunhofer-Gesellschaft mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis ausgezeichnet. Ihre Algorithmen bilden die Prozesse realitätsnah ab, sie können die Produktionsvorgänge daher über den kompletten Lebenszyklus hinweg beschreiben. Bei einer bestehenden Produktionsanlage konnten damit bereits zehn Prozent der Energie eingespart werden. Der Chemiekonzern BASF sowie das schweizerische Chemie- und Pharmaunternehmen Lonza Group AG setzen die Software schon ein; sie steht täglich hunderten von Prozessingenieuren zur Verfügung.

Hybrider Ansatz: Modelle und Prozessdaten gehen Hand in Hand

Für ihre Analyse haben unsere Forschenden zwei Dinge zusammengebracht: Erstens die physikalischen Gesetze, die sie in einem Modell dargestellt haben – sprich das Expertenwissen über die thermodynamischen und chemischen Prozesse. Und zweitens die Daten, die verschiedene Sensoren zum Messprozess ermitteln, beispielsweise zu Temperatur und Druck. Diese verwenden sie dort, wo keine physikalischen Angaben vorliegen. Bisher werden solche Sensordaten bereits dazu genutzt, die Prozesse zu überwachen und rechtzeitig reagieren zu können, wenn zum Beispiel Druck oder Temperatur abweichen. Das Team rund um die beiden Forscher hebt diesen »Datenschatz« durch Methoden des maschinellen Lernens, dazu gehört beispielsweise das Trainieren künstlicher neuronaler Netze. Modelle und Prozessdaten ergänzen sich dabei auf gewinnbringende Weise.

Die Anwendungsmöglichkeiten sind nicht auf die chemische Industrie beschränkt: Vielmehr sind überall dort Vorteile zu erwarten, wo Prozesse mit einer großen Zahl an Einflussfaktoren gesteuert werden müssen – und sich nicht allein über Messungen oder die Prozessdaten beschreiben lassen. Langfristig soll das System echtzeitfähig werden.



EARTO INNOVATION AWARD 2019 FÜR PLANUNG IN DER STRAHLENTHERAPIE

Auch für die verbesserte Planung in der Therapie von Krebspatienten gab es einen Preis: den Innovation Award der European Association of Research and Technology Organisations (EARTO). Ausgezeichnet wurde die interaktive Software zur Optimierung von Strahlentherapie in der Kategorie »Impact Delivered«.

1 Auf dem Weg zur optimierten Therapieplanung

Das EARTO-Netzwerk umfasst über 350 Forschungs- und Technologieorganisationen in mehr als 20 Ländern. Die EARTO-Mitglieder repräsentieren rund 150.000 hochqualifizierte Forschende. Herausragende Beispiele für angewandte Forschung ehrt die EARTO seit 2009 jährlich mit drei Preisen. Eine unabhängige Jury wählt Projekte aus, die das Potenzial haben, einen gesellschaftlichen oder wirtschaftlichen Wandel zu initiieren.

Das sechsköpfige Team des Bereiches »Optimierung« (Prof. Dr. Karl-Heinz Küfer, PD Dr. Michael Bortz, Dr. Alexander Scherrer, Dr. Phil Süß, Dr. Katrin Teichert und Dr. Michal Walczak) hat sich gegen 260 europäische Mitbewerber um den Preis durchgesetzt. Es hat in mehr als 20 Jahren Arbeit eine interaktive und leicht zu bedienende Software entwickelt, die bei der Planung von Radiotherapie hilft.

Paradigmenwechsel in der Strahlentherapie

Bei der Strahlentherapie muss ein guter Kompromiss zwischen einer wirksamen Tumorbehandlung und den Risiken für benachbartes gesundes Gewebe gefunden werden. Dafür saßen Therapieplaner vor Schnittbildern aus dem Computertomografen und versuchten in stundenlanger Tüftelei mit viel Erfahrung und Geduld durch Markieren kranker Bereiche im Bild ein dreidimensionales Bestrahlungsprofil zu entwerfen. Die Fraunhofer-Software modelliert das Problem und errechnet bestmögliche Therapiepläne. Das Tool verkürzt die Dauer der Planung um bis zu 80 Prozent, macht das Finden einer guten Balance zwischen Therapiechance und eventuellen Nebenwirkungen leichter und trägt letztlich zu verbesserten Heilungschancen bei. Die Anwendenden berichten von einer 30prozentigen Reduzierung der Strahlendosis für gefährdete Organe und einer verbesserten Tumorabdeckung.

Weltmarktführer für Bestrahlungsgeräte nutzt Software

Seit 2016 kooperiert das Institut nun mit Varian Medical Solutions aus Palo Alto, dem Marktführer für intensitätsmodulierte Bestrahlungsgeräte. Seit November 2017 ist das Produkt auf dem Markt. Mit der zusätzlichen Lizenzierung durch Varian Medical Systems ist die Technologie an über 36.000 Therapieplanungsplätzen weltweit verfügbar.



INNOVATIONSPREIS DES LANDES FÜR FLEXSTRUCTURES UND FRAUNHOFER ITWM

1 Der rheinland-pfälzische Wirtschaftsminister Volker Wissing (links) überreichte den Innovationspreis an Oliver Hermanns und Klaus Dreßler.

2 Große Ehre für unsere langjährige Verwaltungsleiterin Marion Schulz-Reese: Ministerpräsidentin Malu Dreyer zeichnete sie mit dem rheinland-pfälzischen Verdiensorden aus.

Gemeinsam mit unserer Ausgründung fleXstructures haben wir den Innovationspreis des Landes Rheinland-Pfalz in der Sparte »Kooperation« verliehen bekommen, für unsere Zusammenarbeit bei der Digitalisierung flexibler Bauteile wie Kabel und Schläuche mit der Software IPS Cable Simulation. Der Innovationspreis wird jährlich gemeinsam vom Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau und den Arbeitsgemeinschaften der Industrie- und Handelskammern sowie der Handwerkskammern vergeben. Unterstützt wird der Digitalisierungsprozess von der hochautomatisierten Messmaschine MeSOMICS, das in unserem Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung« entwickelt wurde. MeSOMICS steht für »Measurement System for the Optically Monitored Identification of Cable Stiffness«; die Maschine ermittelt physikalische Parameter wie Biege-, Torsions- und Zugsteifigkeiten der Kabel und Schläuche, die für eine möglichst realitätsnahe Simulation gebraucht werden. MeSOMICS braucht weniger als 30 Minuten pro Prüfung; dank der vollständigen Integration in die IPS Cable Simulation Software wird der Datensatz in Echtzeit übertragen.

LANDESVERDIENSTORDEN FÜR MARION SCHULZ-REESE

Dr. Marion Schulz-Reese, die langjährige Verwaltungsleiterin unseres Instituts, wurde Ende November von der rheinland-pfälzischen Ministerpräsidentin Malu Dreyer mit dem Landesverdiensorden ausgezeichnet. Er ist die höchste Form der Anerkennung, die das Landes ausspricht, um das außergewöhnliche Engagement und die hohen Verdienste Einzelner für das Gemeinwohl zu ehren. Nach Helmut Neunzert im Jahr 2000 und Dieter Prätzel-Wolters im Jahr 2011 ist sie die dritte Person aus dem Fraunhofer ITWM, die mit dieser Auszeichnung des Landes geehrt wird. Unser Institut ist eng mit ihrem Namen verbunden, denn sie hat sowohl die Gründung als Landesinstitut engagiert unterstützt als auch die Aufnahme in die Fraunhofer-Gesellschaft als Verwaltungsleiterin mitgestaltet. Seit ihrer Verabschiedung Mitte 2016 begleitet sie uns als Beraterin.

»Sie haben sich weit über die Aufgaben einer klassischen Verwaltungsleitung hinaus für das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik in Kaiserslautern eingesetzt. Neben Ihrem Engagement in institutsübergreifenden Bereichen in vielen Fraunhofer-Gremien haben Sie zusätzlich Aufgaben an der Schnittstelle zwischen Forschung und Management wahrgenommen, für die Ihr breites Erfahrungswissen im Wissenschafts- und Forschungsbereich unabdingbare Voraussetzung gewesen ist.«, so Malu Dreyer in ihrer Laudatio.



SYMPOSIUM ZUR VERABSCHIEDUNG DES INSTITUTSLEITERS

Mit dem Symposium »Innovation durch Mathematik« verabschiedeten wir unseren langjährigen Institutsleiter Prof. Dr. Dieter Prätzel-Wolters: Viele Festredner, darunter der rheinland-pfälzische Wissenschaftsminister Prof. Dr. Konrad Wolf sowie der Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft Prof. Dr. Reimund Neugebauer, würdigten seine Verdienste, nicht nur um Institut und Fachbereich Mathematik der TU Kaiserslautern.

Der 68jährige Mathematiker leitete das ITWM seit der Aufnahme in die Fraunhofer-Gesellschaft 2001. Seine wissenschaftliche Karriere begann er in Bremen; 1987 nahm er den Ruf aus Kaiserslautern an, auf eine Professur mit Schwerpunkt Techno-Mathematik – eine zu der Zeit noch sehr junge Disziplin. Minister Wolf erinnerte an die Anfänge des ITWM, das 1995 als Landesinstitut mit Förderung des Wissenschaftsministeriums startete und nun das größte Institut für angewandte Forschung in Rheinland-Pfalz ist. Unter der Leitung von Prof. Prätzel-Wolters etablierte es sich höchst erfolgreich in der Fraunhofer-Gesellschaft sowie in der nationalen und internationalen Forschungslandschaft.

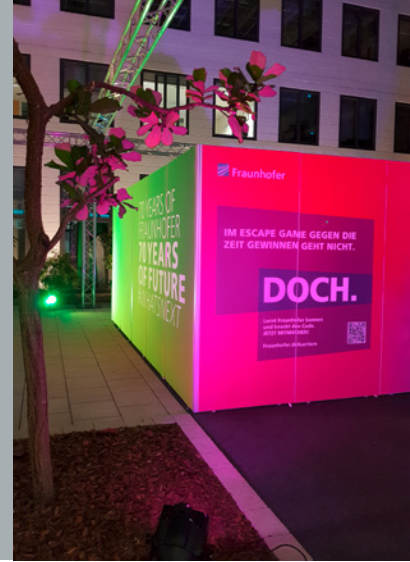
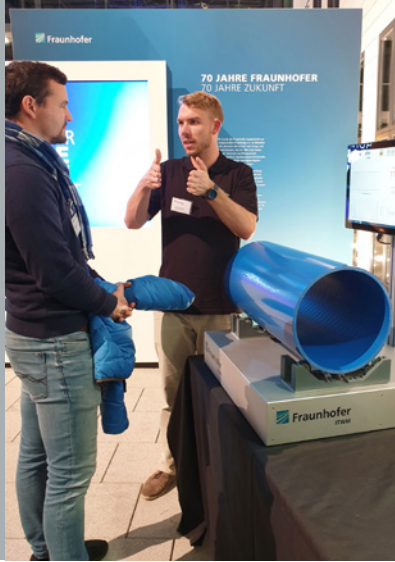
Fraunhofer-Zukunftsstiftung und Seniorprofessur

Ganz zurückziehen aus dem Berufsleben wird sich Dieter Prätzel-Wolters nicht: Der Fraunhofer-Gesellschaft bleibt er erhalten als stellvertretender Vorsitzender der Fraunhofer-Zukunftsstiftung, deren Geschicke er bereits in den vergangenen acht Jahren als Mitglied des Stiftungsrates mitbestimmte. Im Vorstand betreut er die geförderten Großprojekte aus wissenschaftlicher Sicht und wirkt mit an der strategischen Neuausrichtung der Stiftung.

Darauf bezog sich auch Fraunhofer-Präsident Prof. Dr.-Ing. Neugebauer in seiner Laudatio: »Das Fraunhofer ITWM genießt einen hervorragenden Ruf als kompetenter Projektpartner bei Industrie und Wirtschaft. Mit ihren vielfältigen Einsatzszenarien bietet die angewandte Mathematik im Zeitalter der Digitalisierung enorme Chancen und Potenziale – von der Entwicklung und Charakterisierung neuer nützlicher Materialien über die Fahrzeugsicherheit bis hin zum Gesundheits- und Energiebereich. Wir danken Dieter Prätzel-Wolters nicht nur für sein großes Engagement am Fraunhofer ITWM und seine Zeit im Wissenschaftlich-Technischen Rat der Fraunhofer-Gesellschaft, wir freuen uns auch sehr, dass er Fraunhofer als stellvertretender Vorsitzender der Fraunhofer-Zukunftsstiftung erhalten bleibt«, so Prof. Neugebauer.

Der Fachbereich dagegen freut sich über eine Seniorforschungsprofessur, um weiterhin auf Prätzel-Wolters' Forschungskompetenz und seine langjährige Erfahrung im Forschungsmanagement zurückgreifen zu können.

1 Die scheidende und neue Institutsleitung, umgeben von Festrednern und Moderatoren (v.l.n.r.): Unipräsident Helmut Schmidt, Marion Schulz-Reese, ehemalige Verwaltungsleiterin, Oberbürgermeister Klaus Weichel, Fraunhofer-Präsident Reimund Neugebauer, Anita Schöbel, Wolfram Decker, Dekan des Fachbereichs Mathematik der TUK, Dieter Prätzel-Wolters, Institutsgründer Helmut Neunert und der ehemalige Leiter des Fraunhofer MEVIS, Heinz-Otto Peitgen.



TELLERRAND EXTRA: ANGEWANDTE MATHEMATIK ALS KERN DES INSTITUTSERFOLGES?

1 *Experten für angewandte Mathematik: die ehemalige und aktuelle Leitung des ITWM*

2 *70 Jahre Fraunhofer bzw. WHATSNEXT: Career Night für Studierende im Fraunhofer-Zentrum in Kaiserslautern.*

Unter der Überschrift »Mathematik ist nützlich. Mathematiker auch?« stand der Tellerrand Spezial im September – Spezial, weil dem Publikum diesmal eher ein Blick in den eigenen Teller der angewandten Mathematik gewährt wurde. Forschende aus dem Fraunhofer ITWM stellten verschiedene Projekte des Instituts vor: Von Lack und Leder über Filter, Kabel, Schläuchen, Airbag-Entfaltung bis hin zur Radiotherapieplanung – die Vielfalt der Anwendungsfelder, Branchen und Methoden des ITWM ist groß. In der anschließenden Talkrunde diskutierte Moderator Prof. Dr. Heinz-Otto Peitgen leidenschaftlich mit der ehemaligen und aktuellen Institutsleitung Fragen wie »Geht der Erfolg des Instituts über Angewandte Mathematik hinaus?«, »Wie viel Mathe steckt in den Projekten?«, »Was macht das ITWM so besonders?« Peitgen sieht den Erfolg des ITWM in seinem Markenkern begründet: »Impact Driven Research« – Forschung, die auf Wirkung abzielt.

»70 JAHRE FRAUNHOFER, 70 JAHRE ZUKUNFT, WHATSNEXT«

Anfang November feierten die Fraunhofer-Institute in Rheinland-Pfalz (IESE und ITWM aus Kaiserslautern, IMM aus Mainz) 70 Jahre Fraunhofer unter dem Motto »Fraunhofer gestaltet die digitale Zukunft in Rheinland-Pfalz« Nach dem offiziellen Festakt mit zahlreichen Vertretern aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft fand ebenfalls im Fraunhofer-Zentrum die zweite Karriere-nacht statt, eine Informations- und Netzwerkveranstaltung für MINT-Studierende. Die Fraunhofer-Institutsleitungen Prof. Anita Schöbel, Prof. Peter Liggesmeyer und Prof. Michael Maskos blickten gemeinsam mit ihren Gästen und Rednern beim Festakt auf Erreichtes zurück, schauten vor allem nach vorn. Denn: Die Fraunhofer-Forschung in Rheinland-Pfalz leistet einen herausragenden Beitrag, die großen Zukunftsthemen wie Gesundheit, Ressourceneffizienz oder Landwirtschaft mit den Chancen der Digitalisierung zu verbinden.«

Direkt im Anschluss begann die Karrierenacht, inklusive des Fraunhofer Escape Games: Über 100 Studierende sowie Absolventinnen und Absolventen von MINT-Fächern lernten Fraunhofer als Arbeitgeber kennen, erhielten Bewerbungstipps und knüpften Kontakte. Highlight des Abends war das Fraunhofer Escape Game: In einem nachgebauten Büro lösten die Teams Rätsel rund um die Fraunhofer-Welt. Hier waren Teamgeist, Kombinationsstärke und Köpfchen gefragt, denn es galt, Hinweise zu verknüpfen und gemeinsam Codes zu knacken.



LEISTUNGSZENTRUM ERHÄLT HOHE FÖRDERUNG FÜR NUTZFAHRZEUGFORSCHUNG

710.000 Euro fließen am Fraunhofer ITWM bis Ende 2020 in die Entwicklung simulationsbasierter Innovationen für die Nutzfahrzeugindustrie. Die Mittel stammen aus dem rheinland-pfälzischen Wirtschaftsministerium sowie dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und stärken die in Kaiserslautern etablierte Kompetenz im Bereich Nutzfahrzeugtechnologie. Das Projektvorhaben wird im ITWM im Rahmen des Leistungszentrums »Simulations- und Software-basierte Innovation« bearbeitet. Automatisierter Betrieb, Ressourceneffizienz und CO₂-Einsparung sind seine Eckpunkte.

WENDEWARE AG GEGRÜNDET – SOFTWARE FÜR DIE ENERGIEWENDE

Im Mai wurde unser nächstes Spin-off gegründet: Die Wendeware AG mit Sitz im Business + Innovation Center Kaiserslautern macht zukünftig Software zur Umsetzung der Energiewende marktreif, übernimmt die Vermarktung der Produkte und entwickelt die zukunftsrelevanten Technologien als selbstständiges Unternehmen weiter.

Keimzelle und Entwicklungsstätte der technologischen Ideen und Produkte rund um Wendeware ist die Gruppe Green by IT des CC High Performance Computing. Seit 2009 entwickeln hier Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Lösungen, die die Energiewende mit sinnvoller Steuerung einfach und wirkungsvoller gestalten. Hieraus ist das Energiemanagementsystem Amperix mit der Web-Plattform myPowerGrid und die KI-basierte Solarvorhersage PVCAST entstanden. Die Systeme haben sich bereits in der Praxis bewährt und steuern zuverlässig Energieflüsse in Einfamilienhäusern, aber auch in industriellen Anwendungen.

FIRMENLAUF

Rund 75 unserer Kolleginnen und Kollegen starteten beim B2Run Firmenlauf in Kaiserslautern. Alle gingen topmotiviert an den Start, dieses Jahr unter dem Motto »Nicht nur simulieren«. Zu erkennen waren sie den schicken T-Shirts im Fraunhofer #WhatsNexts Design, passend zum Jubiläumsjahr 70 Jahre Fraunhofer). Auch wenn der Spaß im Vordergrund steht, gab es doch auch was zu gewinnen, nämlich die Qualifikation fürs Finale der Firmenlauf-Meisterschaft in Köln. Geschafft haben sie Elisabeth Wagner-Weig als schnellste Auszubildende und das schnellste Männerteam, bestehend aus Alexander Leichner, Henrik May, Felix Riexinger, Michael Roller und Stefan Weber

1 Die Gründung der Wendeware AG und die Übergabe der Klimaschutzplakette »H.ausgezeichnet« feiern (v.l.n.r.) Dr. Stefan Weiler (Wirtschaftsförderung), Harald Westrich (Verbandsbürgermeister Otterbach-Otterberg), Gudrun Heß-Schmidt (erste Kreistagsabgeordnete), Ralf Leßmeister (Landrat), Jochen Marwede, Gabriele Marwede.

2 Simulierte nicht, sondern lieferte: Unser Team beim Firmenlauf

UNSER NETZWERK

VERNETZUNG UND KOOPERATIONEN INNERHALB DER FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Ein großes Netzwerk und innovative Partner sind entscheidend für den Erfolg von Projekten. Wir sind eingebunden in ein Netz nationaler und internationaler Kooperationen und Mitglied mehrerer Zusammenschlüsse innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft:

- Fraunhofer-Verbünde
 - IuK-Technologie
 - Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS (Gaststatus)
- Fraunhofer-Allianzen
 - Automobilproduktion
 - Batterien
 - Big Data und Künstliche Intelligenz
 - Cloud Computing
 - Leichtbau
 - Numerische Simulation von Produkten, Prozessen
 - Textil
 - Verkehr
 - Vision

Wir sind beteiligt an verschiedenen internen Forschungsvorhaben, zum Beispiel an MAVO-/WISA-Projekten, fünf SME-/MEF-Vorhaben und an einem Discoverprojekt. Fraunhofer-Forschungscluster fördern die kooperative Entwicklung und Bearbeitung systemrelevanter Themen durch eine institutsübergreifende Forschungsstruktur. Organisatorisch entsprechen die Forschungscluster einem virtuellen Institut, das sich über mehrere Standorte verteilt. Wir engagieren uns in diesen Clustern:

- Programmierbare Materialien
- Advanced Photon Sources
- CIT – Cognitive Internet Technologies

Wir koordinieren darüber hinaus

- das Kompetenz-Netzwerk »Quantencomputing« und
- das strategische Forschungsfeld »Next Generation Computing – NGC« der Fraunhofer-Gesellschaft.

Fraunhofer-Leitprojekte: Vorlaufforschung im Verbund

Thematisch orientieren sich die Fraunhofer-Leitprojekte an aktuellen Bedarfsfeldern der Industrie und bündeln die Kompetenzen verschiedener Institute für eine effiziente Vorlaufforschung. Das Ziel des Programms ist das Ausschöpfen des Synergiepotenzials durch Zusammenführen von Kompetenzen mehrerer Institute, um Lösungen für Herausforderungen der deutschen Industrie zu liefern. Im Mittelpunkt steht jeweils ein konkretes Projekt. An drei dieser Projekte sind wir beteiligt.

ML4P –

Machine Learning for Production



In diesem Leitprojekt bündeln sieben Fraunhofer-Institute ihre umfangreichen Erfahrungen im Bereich Machine Learning in der Produktion. Bedarf besteht sowohl in der Prozess- als auch in der stückgutproduzierenden Industrie, denn dort sind Prozesse miteinander vernetzt und Maschinen, Schnittstellen und Bauteile kommunizieren miteinander. Ziel ist die Modellierung einer gesamten Anlage, um aufgrund des Gesamtmodells mit Methoden der mathematischen Optimierung verbesserte Anlagendesigns oder Betriebsweisen vorzuschlagen. Dazu werden sowohl physikalisches Modellwissen als auch Methoden des Maschinellen Lernens eingesetzt, wobei diese Lernverfahren sowohl auf komplexen Simulationsdaten als auch auf gemessenen Betriebsdaten der Produktionsanlagen aufbauen. Die Betriebsdaten können sowohl aus der sensoriellen Überwachung als auch der Dokumentation der Betriebsgegebenheiten stammen. Insbesondere die Anwendung von ML-Verfahren in der statistischen Analyse von Zeitreihen und der automatischen Analyse von Bilddaten sind Schwerpunkte.

QUILT – Quantum Methods for Advanced Imaging Solutions



Im Bereich des Quantenimaging ist der QUILT-Verbund bereits heute durch hervorragende Technologieplattformen, exzellente Leitexperimente und weltweit agierende Forschungsgruppen bestens aufgestellt. Diese Position soll durch das Leitprojekt QUILT zukünftig weiter untermauert werden. Wir nehmen

eine Schlüsselrolle ein bei der Modellierung, Simulation und Optimierung von quantenbasierten berührungsfreien Methoden – mit dem Ziel, bildgebende Verfahren für Materialoberflächen verlässlicher, schneller und kostengünstiger zu gestalten. Schwerpunkte dabei sind Entwicklung eines digitalen Zwillings zur quantitativen Vorhersage quantenoptischer Experimente sowie eines Terahertz-Strukturanalysesystems zur Verbesserung der Detektionseffizienz.

COGNAC – COGNitive AgriCulture



Im Fraunhofer-Leitprojekt »Cognitive Agriculture« sollen Daten über komplexe Zusammenhänge in der Feldwirtschaft automatisiert erfasst und daraus ein optimaler pflanzenspezifischer Arbeitsprozess abgeleitet werden, der die Produktivität ohne ökologische Folgeschäden steigert. Unser Beitrag ist im Innovationsbereich Neuartige Sensorik angesiedelt und widmet sich der Modellierung, Simulation und Optimierung agronomischer Prozesse (z. B. Wachstum und Ertrag von Weizen). Ein wichtiges Ziel dabei ist es, Korrelationen und Einflussfaktoren zu identifizieren und Handlungsempfehlungen abzuleiten, zum Beispiel für die robuste Erntekampagnenplanung: Wir betrachten laufend aktualisierte Abreifedaten und Wetterprognosen und können so vorausschauend Maschinen und Personal planen. Durch robuste Modelle und Algorithmen reduzieren wir Trocknungs- und Treibstoffkosten, während gleichzeitig die Nahrungsmittelqualität und Kundenzufriedenheit erhöht wird.

Fraunhofer-Innovationsprogramm: Innovationspush für das Wiederaufahren der Wirtschaft

Mit dem Fraunhofer-Innovationsprogramm soll der Weg zu einem aktiv gestalteten, innovativen Modernisierungsschub für Gesellschaft, Umwelt und Wirtschaft begangen werden. Im Fokus des Programms stehen technologische Souveränität in global verflochtenen Liefer- und Wertschöpfungsketten, Klimaneutralität, Kreislaufwirtschaft und Digitalisierung. Mit sechs Projekten sind wir in den Verbundprojekten vertreten, in denen zwischen elf und 25 Institute zusammenarbeiten.

H2D – Wasserstoffwirtschaft für Deutschland



Wir begleiten den Aufbau einer deutschen H2-Wirtschaft in den Bereichen Digitalisierung der Wasserstoffwirtschaft und Elektrolyseur-Komponenten sowie in Sicherheitsfragen.

Digitale und automatisierte Pharmaproduktion



Wir entwickeln eine Pilotanlage für modulare, automatisierte und stückgutartige Produktionsprozesse zur Hochdurchsatzherstellung von Zell- und Gentherapien, Stammzellen und Impfstoffen.

Sensor Edge Cloud / Distributed Learning



Wir verbessern Computing am Sensor und maschinelles Lernen auf verteilten Systemen mit Fokus auf Hardware, Systemen und Algorithmen für neuronales Computing.

Light Materials 4 Mobility



Wir entwerfen Leichtbaustrukturen und beschleunigte Entwicklungsprozesse für vollständig kreislauffähige Verbundmaterialien inkl. Verknüpfung digitaler Tools und Workflows und der Erschließung neuer Leichtmetalllegierungen für additive / hybride Prozesse.

TRAICT – TrustedResource-Aware ICT



Wir arbeiten an einer vertrauenswürdigen und energieeffizienten 5G-Kommunikationsinfrastruktur.

AVATOR – Anti-Virus-Aerosol: Testing, Operation, Reduction



Wir simulieren und untersuchen die Aerosolausbreitung in geschlossenen Räumen. Daraus leiten wir Risikobewertungen und Maßnahmen für unterschiedliche Verkehrs- und Innenraumszenarien wie Flugzeug, Zug, Supermarkt oder Schule ab.



AUSGEZEICHNETES NETZWERK AM STANDORT KAISERSLAUTERN

Nach erfolgreicher Evaluierung 2018 befindet sich das Leistungszentrum für Simulations- und Software-basierte Innovation aktuell in der zweiten Förderphase. Damit wird die Erfolgsschicht fortgeschrieben, die sich aus der Zusammenarbeit der beiden Fraunhofer-Institute IESE und ITWM mit der Technischen Universität, der Hochschule Kaiserslautern, weiteren Forschungseinrichtungen wie dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz und dem Institut für Verbundwerkstoffe sowie der Industrie im Bereich anwendungsorientierter Simulations- und Software-Technologien entwickelte.

Das Zentrum ist eine anwendungsorientierte, interdisziplinäre Plattform für vorwettbewerbliche Forschung und Zusammenarbeit, branchenübergreifend genutzt von Chemie und Verfahrenstechnik, Fahrzeugbranche (insbesondere Nutzfahrzeugtechnik) sowie Informations- und Energiewirtschaft. Die beteiligten Forschungseinrichtungen decken die gesamte Breite der Kompetenzen im Bereich der Modellierung technischer Prozesse und Produkte, der Simulations- und Softwaremethoden und der Optimierungs- und Entscheidungsunterstützung ab.

Forschungslabs und Transferzentren

Gegliedert ist das Leistungszentrum weiterhin in Forschungs- und Entwicklungs-Labs sowie Transferzentren. Die FuE-Labs sind methodisch orientiert; sie entwickeln Konzepte und Algorithmen, die als Basistechnologien für die folgenden Transferzentren bereitstehen. Die »MSO-basierte Verfahrenstechnik« stellt Modellierung, Simulation und Optimierung (MSO) in der Verfahrenstechnik in den Fokus. Das Transferzentrum »Digitale Nutzfahrzeugtechnologie« hat seinen Schwerpunkt im Bereich der Nutzfahrzeugtechnik und die »Smart Ecosystems« beschäftigen sich mit Smart Energy, Smart Health, Green by IT sowie adaptiven und offenen Systemen.

Forschungsthemen

- Systemmodellierung und Softwarelösungen u. a. für die E-Mobilität
- Leichtbau, Digitalisierung und Software-Ecosysteme
- Entscheidungsunterstützung für die Prozessoptimierung in der Industrie
- Mensch-Maschine-Umwelt-Interaktion
- Digitale Zwillinge für Produktion und autonome Systeme
- Sicherheitskonzepte für offene und adaptive Systeme
- Machine Learning, insbesondere Deep Learning-Algorithmen

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, vor allem Hersteller von Batterien und Brennstoffzellen.

flexStructures

Die flexStructures GmbH ist eine Ausgründung des Bereichs Mathematik für die Fahrzeugentwicklung, Sie vertreibt die gemeinsam mit dem FCC in Göteborg entwickelte Software-Familie IPS. Ein wichtiges Tool der Produktgruppe ist IPS Cable Simulation, welches die effiziente Verlegung von Kabeln und Schläuchen beispielsweise im Motorraum von Fahrzeugen gewährleistet.

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.

ThinkParQ

ThinkParQ, auch eine Ausgründung des Competence Centers High Performance Computing, ist das Unternehmen hinter dem parallelen Cluster-Filesystem BeeGFS. Mit der 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.

Wendeware AG

Die Wendeware AG mit Sitz im Business + Innovation Center Kaiserslautern ist unsere jüngste Spin-off: Das Unternehmen will Software zur Umsetzung der Energiewende marktreif machen. Es übernimmt die Vermarktung der in der Gruppe Green by IT entstandenen Produkte und entwickelt diese zukunftsrelevanten Technologien als selbstständiges Unternehmen weiter.



WEITERE KOOPERATIONEN

■ Center for Mathematical and Computational Modeling (CM)²

Das Center 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 & 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.

■ Software-Cluster

Der Software-Cluster ist ein Netzwerk von Unternehmen, Ausbildungs- und Forschungseinrichtungen im Bereich der Software-Entwicklung rund um die Städte Darmstadt, Kaiserslautern, Karlsruhe, Saarbrücken und Walldorf.

■ MINT-EC

Das nationale Excellence-Schulnetzwerk MINT-EC hat sich zum Ziel gesetzt, Schüler für MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik) zu begeistern. In Kooperation mit MINT-EC finden regelmäßig Veranstaltungen wie die Math Talent School statt.

■ ZukunftsRegion Westpfalz e.V.

Der Verein ZukunftsRegion Westpfalz will Menschen, Unternehmen und Organisationen aus der Region zusammenbringen, um sich gemeinsam für die Stärkung der Westpfalz einzusetzen und die Zukunftsfähigkeit der Region zu stärken.

■ KOMMS

Das Kompetenzzentrum für mathematische Modellierung in MINT-Projekten in der Schule wurde als wissenschaftliche Einrichtung des Fachbereichs Mathematik der Technischen Universität Kaiserslautern gegründet, um die Bereiche Schulprojekte, Lehrerfortbildung/Zertifizierung, Lehrerausbildung und Forschung zu verbinden.

■ EMVA

EMVA (European Machine Vision Association) ist eine gemeinnützige Gesellschaft mit dem Zweck, die Bildverarbeitungsindustrie in Europa zu vertreten. Seit Januar 2018 engagieren sich die Abteilungen Bildverarbeitung sowie Materialcharakterisierung und -prüfung als Mitglieder.

■ Kompetenznetz Verfahrenstechnik Pro3

Das Kompetenznetz Verfahrenstechnik Pro3 steht für die Vernetzung von Industriepartnern mit Forschung und Lehre in der Verfahrenstechnik, dem Bioingenieurwesen und dem Chemieingenieurwesen. Ziel ist die Stärkung der Verfahrenstechnik in Deutschland.

■ ECMI

Im European Consortium for Mathematics in Industry (ECMI) haben sich wissenschaftliche Institutionen und Industrieunternehmen in Europa zusammengeschlossen; ihr Ziel ist es, mathematische Modellierung, Simulation und Optimierung verstärkt in die wirtschaftliche Anwendung zu bringen. Eine wichtige Rolle spielt hier die Ausbildung von Industriemathematikern und -mathematikerinnen, um der wachsenden Nachfrage nach deren Expertise gerecht zu werden.



FRAUNHOFER-CHALMERS RESEARCH CENTRE FOR INDUSTRIAL MATHEMATICS

Einer unserer wichtigsten internationalen Partner ist das 2001 von der Fraunhofer-Gesellschaft und der Chalmers-Universität in Göteborg gegründete »Fraunhofer-Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics«, kurz FCC. Es ist die erste Fraunhofer-Tochter im europäischen Ausland. Auch die schwedischen Forscherinnen und Forscher beschäftigt die Frage, wie man mit mathematischen Methoden industrielle Produkte, Prozesse und Arbeitsabläufe verbessern kann. Die Portfolios beider Institute ergänzen sich ideal: Die Mathematikerinnen und Mathematiker in Göteborg sind Spezialisten für Multiphysik Simulation, Geometry, Modellierung biologischer Systeme, Data Mining und Software-Entwicklung. Wir bringen jahrzehntelange Erfahrungen mit im Material-design, in High Performance Computing, in der Strömungs- und Fahrzeugsimulation sowie der Optimierung von Produkten und Prozessen. Und dank ihres des Knowhow-Spektrums beider Teams konnten mittlerweile für über 200 Kunden maßgeschneiderte Lösungen erarbeitet werden.

1 *Campus der Chalmers
University of Technology
Lindholmen*

Viele der Kunden kommen aus dem Fahrzeugbau; speziell für die Hersteller von Nutzfahrzeugen erstellten FCC und ITWM gemeinsam ein Handbuch für robustes und zuverlässiges Fahrzeugdesign. Der »Guide to Load Analysis for Durability in Vehicle Engineering« erschien 2013 und bildet die Grundlage für neue Entwicklungen im Nutzfahrzeugbau.

Gemeinschaftsprodukt IPS Cable Simulation

Eine weitere Gemeinschaftsproduktion ist die Software Suite »IPS Cable Simulation«, das Simulationsprogramm zur Auslegung und virtuellen Absicherung von Schläuchen, Kabeln und Kabelbäumen. Mit der Software lässt sich schon während der Designphase herausfinden, ob die Materialien den Anforderungen der Praxis standhalten. Vermarktet wird die »IPS Cable Simulation« sowohl durch ein Spin-off des Göteborger Centres, die 2012 gegründete IPS Industrial Path Solutions Sweden AB sowie durch unsere Ausgründung fleXstructures GmbH.

SelfPaint: Schlaue Lackierroboter

Auch an einer vollautomatischen Lackierzelle arbeiten die Fraunhofer-Teams gemeinsam, um den Fertigungsprozess im Fahrzeugbau beschleunigen. In der Produktion kommt es immer wieder zu Verzögerungen, wenn die Lackiereinheit auf ein neues Modell und damit neue Geometrien umgerüstet werden muss. Bei SelfPaint berechnet eine Simulationssoftware vorab den gesamten Beschichtungsprozess. Läuft das zu lackierende Teil dann vom Band, wird es von 3D-Scannern exakt vermessen. Mit Hilfe dieser Daten lassen sich die Roboter so steuern, dass die Farbschichten überall gleichmäßig und in der gewünschten Dicke aufgetragen werden. Während des Lackiervorgangs lässt sich dann mit Terahertz-Strahlen zudem berührungslos ermitteln, ob die Lackierung den Vorgaben entspricht.



DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT AUF EINEN BLICK

Kuratorium des Fraunhofer ITWM

- August Altherr, JOHN DEERE European Technology Innovation Center
- Prof. Dr. Nicole Bäuerle, Karlsruher Institut für Technologie
- Dr.-Ing. Erwin Flender, MAGMA Gießereitechnologie GmbH
- Johannes Heger, HegerGuss GmbH
- Dr. Anna-Lena Kranz-Stöckle, Bundesministerium für Bildung und Forschung
- Dr. Wilhelm Krüger, Unternehmer (Vorsitzender)
- Stefanie Nauel, Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau des Landes Rheinland-Pfalz
- Barbara Ofstad, Siemens AG
- Prof. Dr. Helmut J. Schmidt, Präsident der TU Kaiserslautern
- Dr. Mattias Schmidt, Procter & Gamble Service GmbH
- Prof. Dr. Wolfgang Wahlster, DFKI GmbH
- Dr. Christof M. Weber, Daimler AG
- Dr. Carola Zimmermann, Ministerium für Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur des Landes Rheinland-Pfalz

Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Als Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz wirkt sie mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft. Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 74 Institute und Forschungseinrichtungen. Rund 28 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,8 Milliarden Euro. Davon fallen 2,3 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung.





DR. DIETMAR HIETEL
DR. RAIMUND WEGENER
ABTEILUNGSLEITER



MATHEMATISCHE MODELLIERUNG, SIMULATION UND OPTIMIERUNG VON TRANSPORTVORGÄNGEN

Unsere Abteilung Transportvorgänge modelliert komplexe industrielle Fragestellungen und entwickelt effiziente Algorithmen zur numerischen Simulation und Optimierung dieser Probleme. Die Aufgabenstellungen liegen im technisch-naturwissenschaftlichen Kontext zum Beispiel in den Bereichen Strömungsdynamik, Strukturmechanik, Strahlungstransport oder Optik. In der Modellierung führen sie auf partielle Differentialgleichungen, die zumeist als Transportgleichungen zu charakterisieren sind.

Aus Sicht der industriellen Unternehmen, mit denen wir gemeinsam arbeiten, geht es typischerweise um das Auslegen von Produktionsprozessen und Optimieren von Produkten. Unser Angebotsspektrum erstreckt sich von Kooperationsprojekten mit den ingenieurwissenschaftlich-orientierten Abteilungen für Forschung und Entwicklung der Partnerfirmen über Studien mit Auslegungs- und Optimierungsvorschlägen bis hin zu Softwarelösungen – vom Baustein bis zum kompletten Tool.

Im Jahr 2019 waren wir mit einem ausgeglichenen Haushalt bei sehr guten Industrie-Erträgen wirtschaftlich sehr erfolgreich. Neben einer Reihe hervorragender Dissertationen haben wir eine nochmals gesteigerte Publikationsrate auf hohem Niveau zu verzeichnen. So stammen u. a. allein drei von insgesamt 15 der »Top Ranking Papers« der internationalen Tagungsberichte (Proceedings) der letzten ECMI-Konferenz aus unserer Abteilung (siehe News). Durch die Akquisition einiger großer Projekte haben wir eine gute Grundlage für die kommenden Jahre geschaffen.

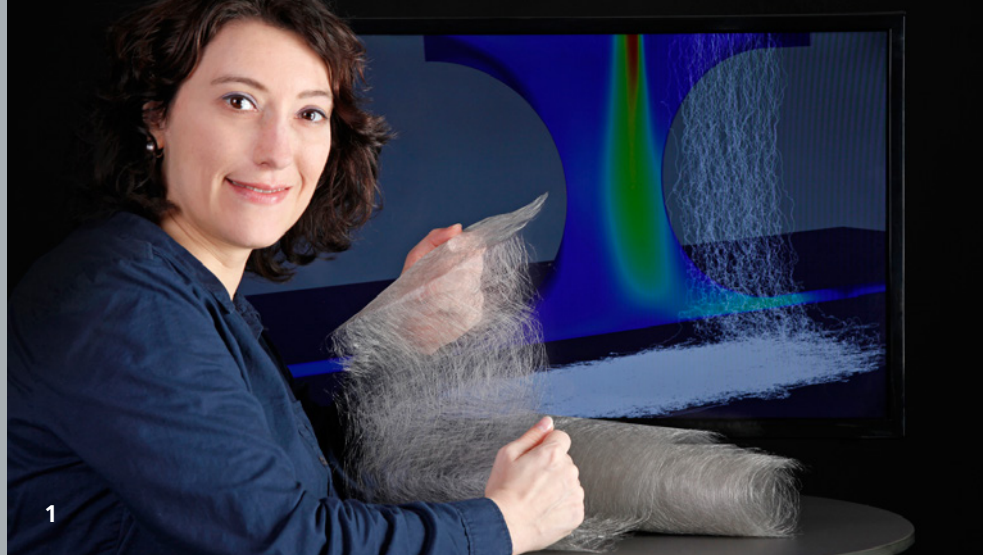
Kontakt

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
-





FIDYST – SIMULATIONSTOOL FÜR EINE OPTIMIERTE PRODUKTION VON VLIESSTOFFEN

1 Reales Vlies und Simulation im Hintergrund

Unser Fiber Dynamics Simulation Tool FIDYST ermöglicht es, die Prozesse bei der Herstellung von Vlies zu prognostizieren. Somit simulieren und optimieren die Textilherstellenden die Qualitätseigenschaften ihrer Produkte anstatt auf kosten- und energieaufwendige Methoden von Versuch und Irrtum zurückzugreifen.

Vliesstoffe durchdringen unseren Alltag. Sie werden für Hygieneprodukte eingesetzt, finden Verwendung als Feuchttücher für die Körperpflege und sind von großer Bedeutung für Medizinprodukte. Aber auch als Werkstoffe für den Leichtbau oder in der Automobilindustrie werden Vliesstoffe eingesetzt.

Jährliche Wachstumsraten für Vliesstoffproduktion bei 5,7 Prozent

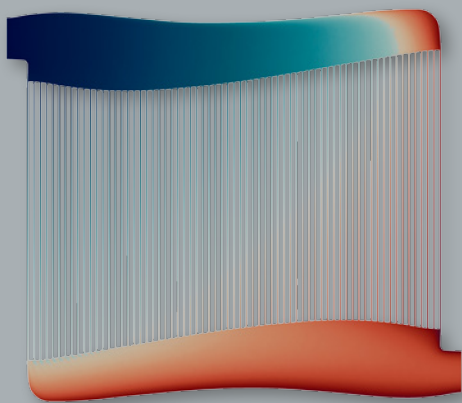
In Europa wurden im Jahr 2018 ca. 2,8 Millionen Tonnen Vliesstoff produziert. Die jährliche Wachstumsrate lag 2018 bei 5,7 Prozent. Ein Treiber für dieses Wachstum ist die steigende Nachfrage nach Hygieneprodukten. Aber auch der Einsatz von Vliesstoffen für neue Produkte und die damit verbundenen unterschiedlichen Anwendungen treiben das Wachstum an.

FIDYST verbessert die Qualität von Vliesstoffen

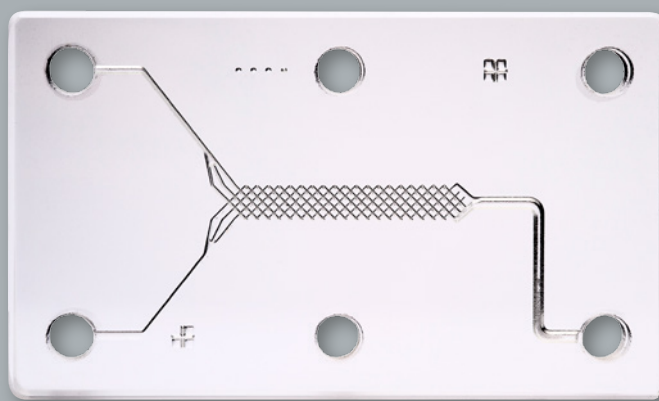
Werden Vliesstoffe für neue Produkte entwickelt, spezifizieren Textilingenieurinnen und -ingenieure zunächst die Materialeigenschaften, die dafür benötigt werden. Danach konstruieren sie einen Produktionsprozess, mit dem Vliesstoffe mit den gewünschten Eigenschaften hergestellt werden. Beim Design und der Auslegung von aerodynamisch getriebenen Produktionsprozessen spielt unser Simulationstool FIDYST eine wichtige Rolle. Die Simulation des Prozesses und der Mikrostruktur des Vliesstoffes zeigt bereits vor dem Bau oder Umbau der Produktionsanlage, welche Qualitätseigenschaften der Vliesstoff haben wird. Damit bewerten Ingenieurinnen und Ingenieure vorab ihre Modifikationen und optimieren so die Qualitätseigenschaften der Vliesstoffe.

FIDYST spart Energie im Produktionsprozess

Aerodynamische Produktionsprozesse für Vliesstoffe sind energie-intensiv. Gebläse sind häufig überdimensioniert, um sicher den Transport der Fasern leisten zu können, die den Vliesstoff formen. Um die stochastische Struktur zu erzeugen, die charakteristisch für Vliesstoffe ist, werden stark turbulente Luftströmungen eingesetzt. FIDYST simuliert die Dynamik der Fasern in der turbulenten Luftströmung. Damit bietet FIDYST als einziges Simulationstool die Möglichkeit, die Wirkung der Luftströmung auf die Fasern zu analysieren. So optimieren die Textilherstellenden gezielt die Luftströmung in aerodynamischen Produktionsprozessen und senken die Energiekosten.



1



2

© Little Things Factory GmbH (www.ltf-gmbh.de)

SIMULIEREN UND OPTIMIEREN VON CHEMISCHEN MIKROREAKTOREN

Die chemische Produktion in kleinen Reaktoren gilt in der Verfahrenstechnik als effektiv und sicher. Der Einsatz von Mikroreaktoren verspricht außerdem eine schnellere Verfahrensentwicklung. Am Fraunhofer ITWM entwickeln wir Methoden zur Simulation und Auslegung solcher Mikroreaktoren.

Mikroreaktoren sind bei der Herstellung von chemischen Komponenten im Einsatz. Das Grundprinzip ist einfach: Zwei Ausgangsstoffe werden in einem feinen Kanal zusammengeführt. Sie fließen durch den Kanal und reagieren miteinander. Je nach Art der Reaktion muss entweder Wärme hinzu- oder abgeführt werden. Am Ende des Kanals ist aus den Ausgangsstoffen das gewünschte Endprodukt entstanden.

Aber ganz so einfach ist die Realität natürlich nicht: Zur Erhöhung der Produktivität verlaufen meist viele Kanäle parallel. Durch komplizierte Kanalstrukturen laufen mehrere Reaktionen hintereinander ab. Die Kanäle sind in Platten eingepreßt und durch Stapelung entsteht ein ganzer Reaktorblock.

Passendes Simulationsmodell ermöglicht Prozessoptimierung

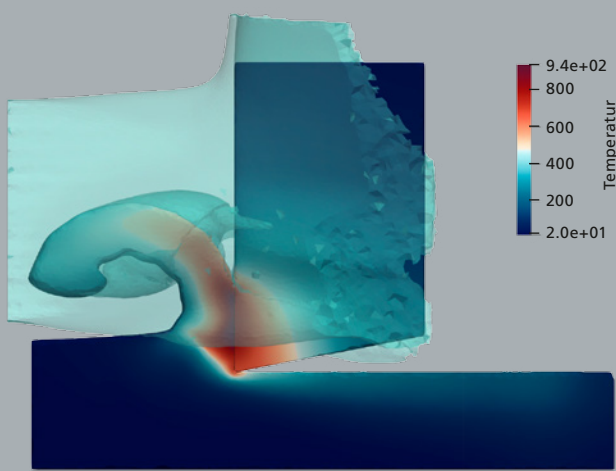
Wir simulieren den Mikroreaktor mit einem Modell, das die relevanten physikalischen Effekte miteinander koppelt. Innerhalb der Kanäle beschreiben wir Wärme- und Stofftransport sowie die Durchmischung. Aus der Temperatur und den Stoffkonzentrationen ergibt sich die Reaktionsgeschwindigkeit, mit der Ausgangsstoffe in Endprodukte umgewandelt werden. Die Reaktion verbraucht bzw. erzeugt Wärme, die über die Platten ausgetauscht wird. Auch ein eventuell vorhandener Kühlmittelkreislauf zur Regulierung der Reaktortemperatur berücksichtigen wir im Modell.

Durch die Simulation kann der Zustand des Reaktors überwacht und gesteuert werden. Aus wenigen optimal platzierten Messsonden berechnet die Simulation den Zustand des Systems. Sie dient dann als virtuelle Sonde und liefert verlässliche Temperatur- und Konzentrationsdaten für nahezu jede Position. Basierend auf dem Simulationsmodell entwickeln wir Methoden zur Formauslegung der Kanalstruktur. Durch eine geschickte Wahl der Form von Zuführgeometrien lassen sich beispielsweise gleiche Bedingungen hinsichtlich Durchfluss und Temperaturniveau zwischen den Kanälen herstellen – Produktivität und Stabilität des Prozesses werden optimiert.

1 *Formoptimierte Kanalstruktur!*

2 *Mikroreaktor mit Kanalstruktur zur Durchmischung von zwei Ausgangsstoffen*





1



© istockphoto/Phuchit

ZERSPANEN MIT MESHFREE

1 *Simulation der Spanabhebung unter Berücksichtigung der Kühlwirkung durch KSS*

Zerspanen ist Grundlage vieler Industrieprozesse und befasst sich in der Praxis mit Form- und Oberflächenveränderungen eines Werkstücks. Mit unserer Software MESHFREE setzen wir die gitterfreie Finite-Pointset-Methode (FPM) für die hochkomplexe Simulation dieser Zerspanprozesse ein.

In spanabhebenden Fertigungsverfahren, wie beispielsweise Drehprozessen, werden Werkzeuge und Werkstücke durch Wärme geschädigt, die durch Reibung und plastische Deformation entsteht. Zur Minimierung des Werkzeugverschleißes setzen Unternehmen in der Praxis daher häufig Kühlschmiermittel (KSS) ein. Das führt zu stärker gebogenen Spänen und damit zu kürzeren Kontaktzeiten von Werkzeug und Werkstück. Die Interaktion von KSS, Werkstück und Werkzeug ist komplex und die Zusammenhänge sind noch nicht vollständig verstanden – das Thema ist sowohl unter Anwendungsaspekten, als auch aus Sicht der Grundlagenforschung spannend.

Kopplungen und Zusammenhänge simulieren

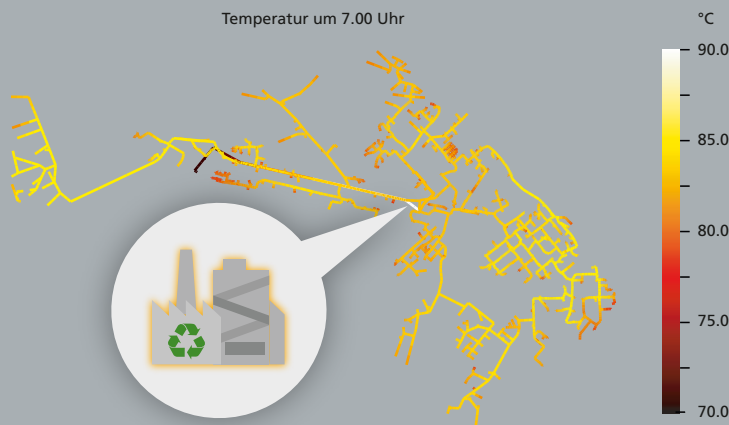
Eine große Herausforderung ist es, den Prozess numerisch abzubilden, denn dabei müssen mehrere komplexe Kopplungen realisiert werden. Es gibt zwar bereits Simulationsmodelle für eine gesamtheitliche Betrachtung von KSS, Werkzeug und Werkstück, diese sind jedoch nicht vollständig gekoppelt. Konkret heißt das, dass das KSS in den bestehenden Simulationsmodellen – anders als in der Realität – keinen Einfluss auf die mechanische Spanbildung hat. Ohne diese Rückkopplung werden jedoch die Zusammenhänge nicht vollständig abgebildet.

Gitterfreier Ansatz als entscheidender Vorteil von MESHFREE

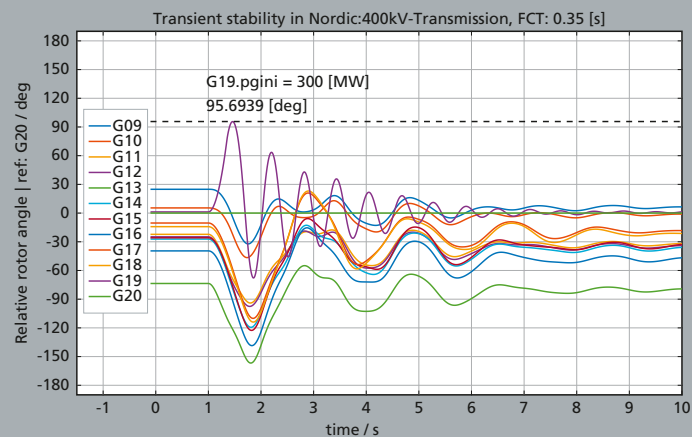
In Kooperation mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der TU Berlin haben wir ein rückgekoppeltes Modell in unserer Software MESHFREE entwickelt. MESHFREE basiert auf der FPM. Unser gitterfreier Ansatz bietet den entscheidenden Vorteil gegenüber klassischen Finite-Elemente-Methoden (FEM), dass Bestandteile eines Gitters nicht mehr Ausgangspunkt von Berechnungen der Vorgänge sind. Wir nutzen eine Punktwolke, in der jeder Punkt frei positionierbar ist. MESHFREE kommt somit auch in sich verformenden Simulationsdomänen zum Einsatz, wie den sich abhebenden Span – ohne zeitintensive Neuvernetzung.

Simulation und Experiment zeigen sehr gute Übereinstimmung. Aufgezeigte Diskrepanzen führen wir darauf zurück, dass das Simulationsmodell für KSS weder Schmierung noch Verdampfung abbildet. Die gewonnenen Erkenntnisse liefern uns neue Impulse für zukünftige Forschung.





1



2

DYNAMISCHE OPTIMIERUNG VON ENERGIENETZEN

Viele der an uns herangetragenen Aufgabenstellungen betreffen den optimalen Betrieb von Netzwerken wie Stromübertragungs-, chemische Prozess- oder Fernwärmenetze. Um hier unabhängig von Lizenzbeschränkungen nicht nur Studien, sondern auch Software anzubieten, haben wir in den letzten Jahren die Simulations- und Optimierungsumgebung AD-Net entwickelt.

Im Rahmen des BMWi-Verbundprojekts MathEnergy haben wir unsere AD-Net Softwareplattform so erweitert, dass sie in der Lage ist, transiente Stabilitätsanalysen für Stromnetze durchzuführen. D.h. für eine Liste kritischer Netzkomponenten simulieren wir, wie viel Zeit maximal verstreichen darf, bis die Komponente nach einem Schaden vom Netz genommen wird – ohne den Rest des Netzes in einem unkontrollierbaren Zustand zurückzulassen. Zusammen mit der Abteilung »Optimierung« entwickeln wir für das Unternehmen Bayer das Modul AD-Net Distillation, welches Dauer und Ausbeute von Batch-Destillationsprozessen optimiert und unbekannte Übergangsparameter identifiziert.

Mit AD-Net-Modulen Energienetze simulieren und optimieren

Im Bereich Fernwärme haben wir u.a. das Netz der Technischen Werke Ludwigshafen untersucht. Eine Müllverbrennungsanlage (MVA) liefert hier ein konstantes Wärmedargebot, während der Verbrauch über den Tag stark schwankt. Deshalb mussten bisher an kälteren Tagen Gaskessel zugeschaltet werden, obwohl die Leistung der MVA im Mittel ausgereicht hätte. Mit AD-Net Fernwärme werden nun Einspeisestrategien bestimmt, die eine Zusatzfeuerung vermeiden, ohne vertraglich garantierte Anschlussbedingungen zu verletzen. Mit herkömmlichen quasistationären Simulatoren sind die zugrundeliegenden Laufzeiteffekte prinzipiell nicht zu erfassen.

Den Kern von AD-Net bildet eine C++-Template-Bibliothek, die allgemeine Funktionalität wie die Definition von Variablen, das Zusammenschalten von Komponenten, adaptive Zeitintegration oder die Anbindung an Optimierungssoftware bereitstellt. Die jeweiligen Anwendungsmodule werden dann durch Ableitung spezieller Komponentenmodelle, Events etc. erzeugt. Dabei reicht es, die jeweiligen differential-algebraischen Gleichungen in lokalen Größen zu formulieren. Das Besondere an AD-Net ist die Verwendung von automatischem Differenzieren. Dies liefert linearisierte Beziehung zwischen Stell- und zu optimierenden Größen, die dann iterativ vom angebundenen Optimierungstool wie IPOPT angefordert werden. In Zukunft werden wir verstärkt Sektorkopplung in den Fokus nehmen.

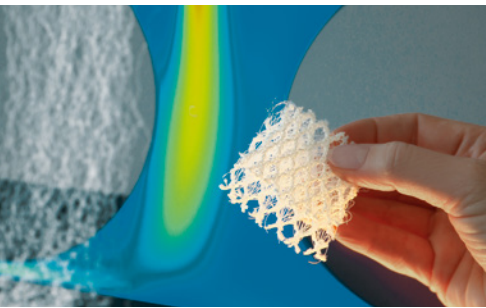
1 Temperaturverteilung im Fernwärmenetz der Technischen Werke Ludwigshafen während morgendlicher Leistungsspitze bei optimierter Einspeisung

2 Nordic32 Benchmark-Netz: Stabilisierung der Rotorwinkel nach einer Störung





VIRTUELLES SPINNEN IM PROJEKT VISPI



Im Spinnprozess wird geschmolzene Spinnmasse durch feine Düsen gepresst und danach durch Verzug und Abkühlung durch einen Luftstrom zu Fasern versponnen. In den letzten Jahren haben eine Reihe von Forschungsaktivitäten bei uns am Fraunhofer ITWM die Grundlage für eine umfassende Simulation solcher Prozesse geliefert. Im Projekt VISPI entwickeln wir im Verbund eine Simulationssoftware, mit der wir ein breites Spektrum virtuell abbilden und untersuchen. Der LSP Lehrstuhl für Polymerwerkstoffe des Institutes für Werkstoffwissenschaften der Universität Erlangen-Nürnberg bringt dabei Know-how in Polymerphysik und Werkstoffwissenschaften mit ein. Ziel des Validierungsprojektes ist es, dass Ingenieurinnen und Ingenieure mit einem Simulationstool industrielle Spinnprozesse für High-Tech-Fasern entwickeln, auslegen und optimieren. Mehr Informationen unter www.itwm.fraunhofer.de/vispi

DREI TOP RANKING PAPERS AUF DER LETZTEN ECMI

Die 20. Europäische Konferenz zur Industrie-Mathematik (European Conference on Mathematics for Industry, ECMI) fand in Budapest statt. Drei Papers aus unserer Abteilung von insgesamt 15 wissenschaftlichen, internationalen Publikationen wurden beim »Top Ranking Papers« der Konferenz ausgewählt. Thematisch im Fokus standen hier Trockenspinnprozesse und laserinduzierte Therapie. Die Forschungsbeiträge werden im »Journal of Mathematics in Industry« veröffentlicht.

TV GOES YOUTUBE – VIDEOS MACHEN FORSCHUNG GREIFBAR



Unsere Abteilung »Transportvorgänge« hat im vergangenen Jahr verschiedene Videos auf Youtube sowie der Website veröffentlicht. Sie zeigen auf einfache und informative Art, was Projektarbeit bei uns heißt, lassen Kunden zu Wort kommen und machen komplexe Themen greifbarer. Unter dem Titel »Simulieren und Optimieren von Trockenspinnprozessen« beleuchten wir z. B. unsere Arbeit rund um Simulationstools, die bei der Herstellung von Polymerfäden unterstützen – komplette Spinnprozesse lassen sich erstmalig simulieren, besser verstehen und deutlich leichter optimieren. Entstanden ist das Video gemeinsam mit unserem Industriepartner, dem Keramikunternehmen BJS Ceramics und Composites, und der Universität Trier. In einem weiteren Video zeigen wir, wie vielfältig unser Simulationstool MESHFREE ist. Porsche macht u. a. als Partner aus der Automobilbranche deutlich, wie sie bereits mehrere Jahre erfolgreich MESHFREE für ihr virtuelles Wassermanagement einsetzen.



INDUSTRIELL EINSETZBARE MULTISKALENSIMULATION UND KUNDENSPEZIFISCHE SOFTWARELÖSUNGEN

Unsere Abteilung Strömungs- und Materialsimulation entwickelt Multiskalenmethoden und Softwaretools für die Produktentwicklung sowie deren Prozessauslegung. Eine der typischen Herausforderungen ist, die wechselseitige Beeinflussung von Fertigungsverfahren und multifunktionalen lokalen Materialeigenschaften durch Simulation zu beherrschen.

Unsere Abteilung unterteilt sich – auch schon namentlich – in zwei größere Kompetenzbereiche. Der Schwerpunkt »Computergestütztes Materialdesign und Mikrostruktursimulation« hat die numerische Simulation und Optimierung funktionaler Eigenschaften von porösen Materialien und Verbundwerkstoffen im Fokus. Besonders intensiv nachgefragt sind unsere mikromechanischen Simulationsmethoden zur Materialauslegung faserverstärkter Verbundwerkstoffe sowie technischer Textilien. Die effiziente Einbindung der Mikromechanik und -dynamik als Multiskalenmaterialmodell in CAE-Software ermöglicht die detaillierte Vorhersage von lokalem Crash-, Schädigungs- oder auch Kriechverhalten.

Die »simulationsgestützte Auslegung komplexer Strömungsprozesse« befasst sich u. a. mit den dazugehörigen Herstellungsprozessen wie Beschichten, Mischen, Aufschäumen, Einspritzen, Filtrieren und Separieren. Fokus in der industriellen Anwendung liegt auf der Auslegung von Filteranlagen. Insbesondere reaktive Prozesse – wie die katalytische Filtration, das Aufschäumen von Polyurethan oder die elektrochemischen Vorgänge in Batterie- und Brennstoffzellen – bilden wir mit unseren Simulationstools korrekt ab.

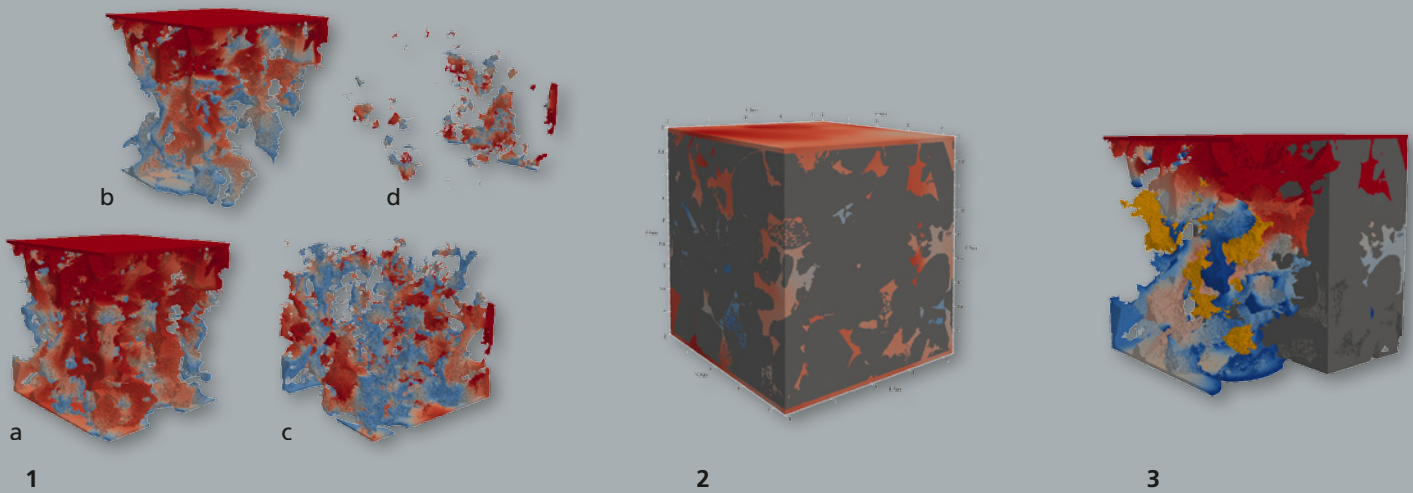
Kontakt

konrad.steiner@itwm.fraunhofer.de
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
-





RESKIN – VORHERSAGE VON AUFLÖSUNGSRATEN IM RESERVOIRGESTEIN

1 Konzentrationen von $\text{CO}_2(\text{a})$, H^+ (b), Ca^{2+} (c) und HO^- (d) während einer reaktiven Transportsimulation in Gesteinsporen

2 Lösung eines Zellproblems für die Berechnung effektiver Transportgrößen für die Bohrkern-Skala

3 Auflösung von Calcitkristallen (gelb) und Konzentration von H^+ -Ionen in Gesteinsporen

Gesteine sind aus verschiedenen Mineralien aufgebaut. Da Lösungs- und Fällungsreaktionen die hydrodynamische Durchlässigkeit und damit den Transport von Chemikalien in Gesteinen verändern, ist die Vorhersage der Auflösraten dieser Mineralien für viele geologische Anwendungen von Bedeutung – z. B. für die Ölgewinnung oder die Kohlendioxidspeicherung im Gestein. Im Projekt ResKin (Reaktionskinetik in Reservoirgesteinen) untersuchen wir gemeinsam mit unseren Verbundpartnern die Lösungskinetik von Mineralien und deren Wechselwirkung mit Transportprozessen im Gestein.

Die gemessenen Auflösraten, selbst für das selbe Mineral, variieren in Experimenten über bis zu zwei Größenordnungen, selbst unter identischen Bedingungen. Dafür werden vier Effekte als Ursachen angenommen:

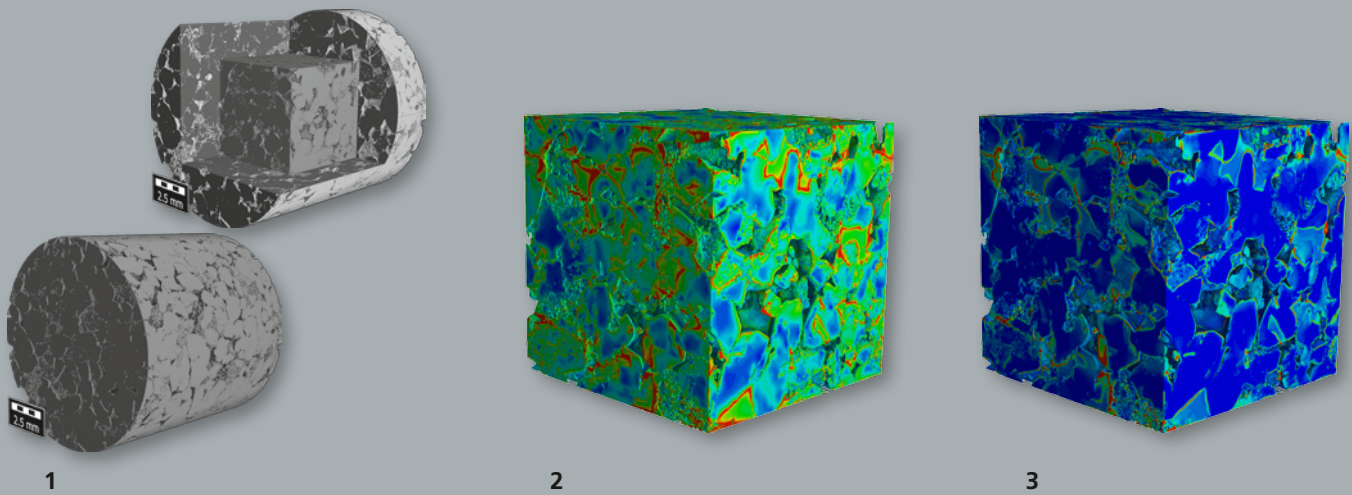
- der Einfluss der Hydrodynamik der Lösungsflüssigkeiten
- die chemische Variabilität der gelösten Mineralien
- die intrinsische kinetische Variabilität des Lösungsprozesses
- die mechanischen Spannungen im Gestein

Skalenübergreifendes Verständnis der Reaktionskinetik erarbeiten

Das Projekt ResKin hat das Ziel, diese Effekte zu untersuchen und ein Modell zu entwickeln, dass die Kinetik der chemischen Reaktionen im Gestein vorhersagt. Dafür wenden wir verschiedene Modellierungs- und Simulationstechniken auf den jeweiligen Längenskalen an. Auf der atomaren Skala (nm) kommen Monte-Carlo-Simulationen zur Untersuchung der Variabilität des Auflösungsprozesses zum Einsatz. Auf der Porenskala (μm) führen wir reaktive Transportsimulationen durch (Abb. 1). Auf der Bohrkernskala (cm) nutzen wir makroskopische Transportmodelle, die sich mit Experimenten vergleichen lassen. Letztendlich koppeln wir durch Mehrskalenmodellierung die Simulationstechniken miteinander.

Simulationen mit PoreChem machen Vorhersagen möglich

Für das Projekt gilt es, die komplexen chemischen Reaktionen im porösen Gestein zu berechnen – und zwar einschließlich der Auflösungsvorgänge (Abb. 3), bei denen sich die Gesteinsgeometrie während der Simulation ändert. Außerdem müssen Zellprobleme auf der Porenskala zur Berechnung von Transportparametern für die Modelle auf der Bohrkernskala gelöst werden (Abb. 2). Unsere Software PoreChem wurde dafür entsprechend erweitert. Damit ermöglichen unsere Simulationen prädiktive Vorhersagen für Auflösungsprozesse in Reservoirgesteinen.



FEELMATH – PORENDRUCK IN GESTEIN DIGITAL SIMULIEREN

Durch Computersimulationen und Bildanalyse erhalten wir neue Einsichten in Prozesse, die im Inneren von Gesteinen ablaufen. Im Projekt ResKin haben wir unser Analyse-Tool FeelMath erweitert und untersuchen u. a. Porendruckschwankungen. Es dient zur Berechnung effektiver mechanischer und thermischer Eigenschaften von Mikrostrukturen, die durch Volumenbilder oder analytische Beschreibungen gegeben sind.

Digital Rock Physics (DRP) als innovative Technik für die Bohrkernanalyse

Vorherzusehen, wie sich flüssigkeitsgesättigte Gesteine verformen, ist in vielen Anwendungsgebieten von großer Bedeutung – z.B. beim Fracking von Gesteinen oder in der Geothermie. Die digitale Gesteinsphysik (Digital Rock Physics/DRP) arbeitet bildbasiert und ermöglicht die Abschätzung der Gesteinseigenschaften durch numerische Simulationen anhand von 3D-Scans von Gesteinsproben. Die DRP gilt als innovative Technik zur Simulation von Gesteinseigenschaften, ergänzt Labormessungen und hilft, Erkenntnisse über komplexe Prozesse in heterogenen Materialien zu gewinnen.

Simulationen unter Berücksichtigung von Porendruck

Traditionell fokussiert sich die digitale Gesteinsphysik auf die Durchströmung des Porenraumes mit Öl oder Wasser. In diesem Projekt haben wir unser mikromechanisches Analysetool FeelMath erweitert, um auch den Druck von flüssigkeitsgefüllten Poren auf die Gesteinsmatrix zu berücksichtigen. Diesen nennt man Porendruck. Abhängig von den Randbedingungen wird die poroelastische Reaktion als entwässert (der Porendruck steigt nicht) oder nicht entwässert (der Porendruck steigt, da die Flüssigkeit die Gesteinsprobe nicht verlassen kann) beschrieben. Im letzteren Fall hängt die Steifigkeit des Gesteins von der Steifigkeit des Gesteinsmaterials und vom Druck der Flüssigkeit ab, welcher einer Kompression der Bohrkernprobe entgegenwirkt.

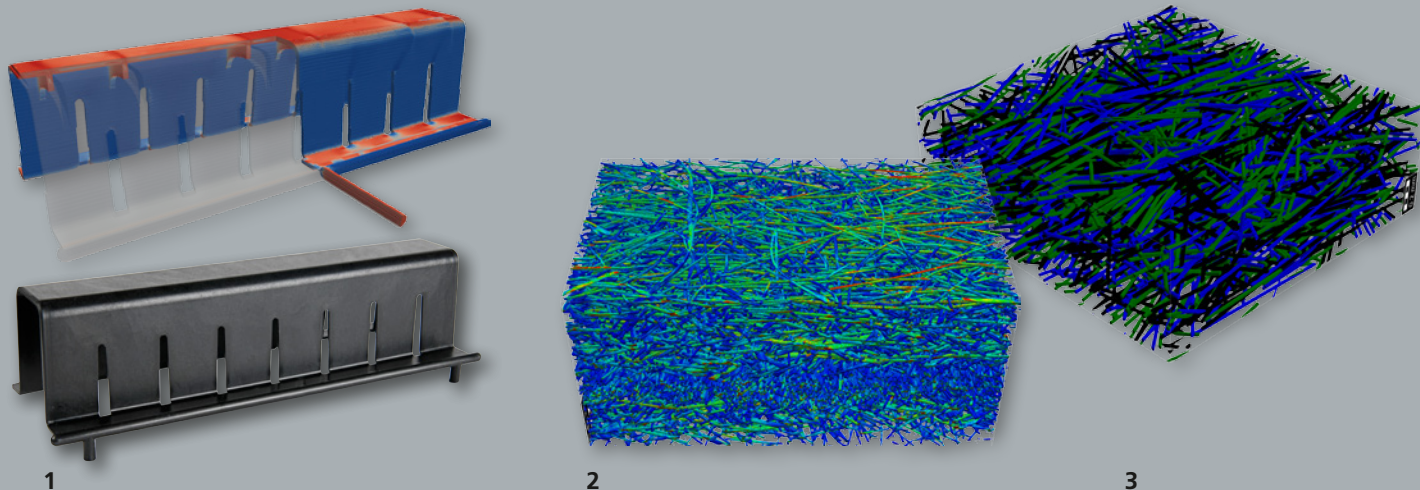
Klassische Theorien ergänzt um innovative Technik der DRP

Beim Entwickeln unserer numerischen Methode für die Analyse von nichtlinearen, poromechanischen Effekten von Gestein – wie Plastizität, Schädigung, Rissbildung – haben wir unsere Methode zunächst mit der Biot-Gassmann-Theorie verglichen. Diese erlaubt es, die Steifigkeit – basierend auf der Steifigkeit der flüssigkeitsfreien Bohrkernprobe – mit flüssigkeitsgefüllten Poren vorherzusagen. Im Gegensatz zur Biot-Gassmann-Theorie werden die Methoden der digitalen Gesteinsphysik direkt auf Gesteine mit geschlossener Porosität angewendet sowie um nichtlineare Effekte im Gesteinsmaterial erweitert.

1 Bohrkernprobe (unten) und repräsentatives Volumenelement der Bohrkernprobe (oben)

2 Schädigung aufgrund des Porendrucks

3 Spannungskonzentration aufgrund des Porendrucks



CHARAKTERISIEREN UND MODELLIEREN VON LANG-FASERVERSTÄRKTEN THERMOPLASTEN

1 Faserorientierungsverteilung im Bauteil aus der Spritzgussimulation

2 Mit FeelMath berechnete Spannungskonzentration auf einer Bauteilprobe

3 Ausschnitt eines digitalen Zwillings des Verbundwerkstoffs

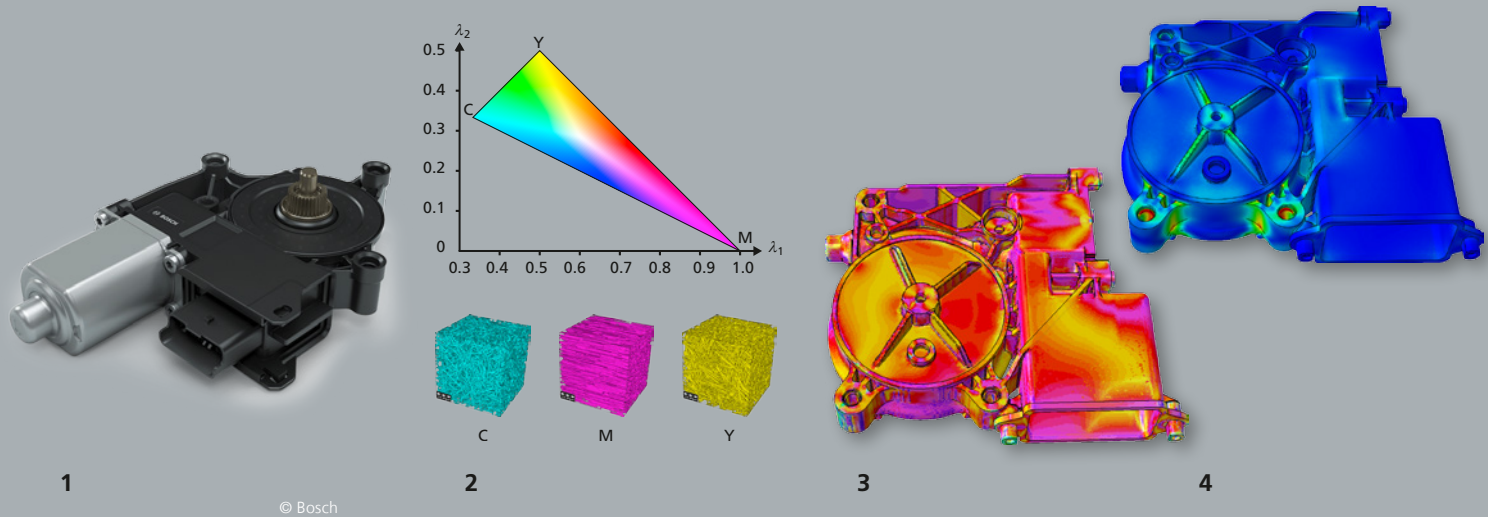
Faserverstärkte Kunststoffe sind leichter und belastungsfähiger als nicht-verstärkte Kunststoffe und sind daher inzwischen in der Automobilbranche eine bevorzugte Materialklasse. Besonders bei sicherheitsrelevanten Bauteilen im Fahrzeug ist es wichtig, Versagen und Schädigung vorauszusagen. In diesem Projekt unterstützen wir Unternehmen aus der Automobilindustrie bei der Analyse und Vorhersage dieser Mechanismen.

Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV) kommen in crashrelevanten Bauteilen oft zum Einsatz. Bei Crash-Anwendungen verwendet die Industrie bevorzugt lange Fasern, da die Festigkeit mit der Faserlänge zunimmt. Ein weiterer Vorteil von langfaserverstärkten Thermoplasten (LFT): Sie lassen sich leicht verarbeiten z. B. durch Spritzgießen. Die Modellierung ihres Materialverhaltens ist jedoch eine Herausforderung, denn bei makroskopischer Betrachtung sind die Fasern und die Matrix nicht einzeln, sondern als Gesamtsystem zu sehen. Sie sind in ihrer Beschaffenheit inhomogen und es gilt nichtlineare Effekte auch auf der Mikroskala zu berücksichtigen. In diesem Forschungsprojekt untersuchen wir die Schädigungs- und Versagensmechanismen von LFT.

Digitaler Zwilling für Werkstoffe

Gemeinsam mit Forschenden vom Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM analysieren wir diese Mechanismen an einer realistischen Geometrie – sowohl experimentell als auch mithilfe von Simulationen. Im ersten Schritt erstellt unser Strömungslöser FLUID eine Vorhersage über die Orientierung der Fasern im gesamten Bauteil. Anhand von CT-Bildern an charakteristischen Positionen wird dann überprüft, ob die Vorhersage der Faserorientierung genau ist. Nachdem wir die geometrischen Eigenschaften des Materials vollständig beschrieben haben, erzeugen wir auf dieser Basis digitale Zwillinge des Verbundwerkstoffs.

Mithilfe einer dynamisch-mechanischen Analyse (DMA) am reinen Polymermatrixmaterial bestimmen wir die nichtlinearen Materialparameter und berücksichtigten Effekte wie Plastifizierung oder Schädigung. So konnten wir zeigen, dass wir mithilfe unseres Softwaretools FeelMath das Materialverhalten mit hoher Genauigkeit vorhersagen können. Gleichzeitig bleibt der experimentelle Aufwand gering. Das mikromechanische Modell und die Faserorientierung aus der Spritzgussimulation dienen mehreren Zwecken. Wir führen so virtuelle Experimente zur Kalibrierung von makroskopischen Modellen durch und reduzieren die experimentellen Kosten. Mit den digitalen Zwillingen des Verbundwerkstoffs untersuchen wir den Einfluss geometrischer und physikalischer Parameter – wie z. B. Faserlänge, Faserorientierung oder Dehnrage. Auf der folgenden Seite zeigen wir, wie das mikromechanische Modell mit einer makroskopischen mechanischen Simulation mit Multiskalenmethoden gekoppelt werden kann.



EFFIZIENTE MULTISKALEN-VERFAHREN FÜR KURZ-FASERVERSTÄRKTE KUNSTSTOFFE

In industriellen Anwendungen sind Bauteile aus kurzfaserverstärkten Polymerverbundwerkstoffen häufig zyklischen Belastungen ausgesetzt. In einer Kooperation mit Bosch haben wir eine Multiskalen-Simulationsmethode entwickelt, um Einblick in das viskoelastische Verhalten und das Ermüdungsverhalten dieser Bauteile zu erhalten.

Die elastischen und nicht-linearen Materialeigenschaften von Spritzgussteilen hängen stark von der lokalen Faserorientierung ab, die innerhalb des Bauteils kontinuierlich variiert. Aufgrund des hohen Längen-Durchmesser-Verhältnisses der Fasern und des großen Unterschieds zwischen der Makro- und der Mikroskala des Bauteils ist die Auflösung einzelner Fasern nicht möglich. Um dieses Problem zu überwinden und die Wechselwirkung zwischen der Mikrostruktur und dem makroskopischen Verhalten zu erfassen, haben wir eine gekoppelte FEM-FFT-Methode (Finite-Elemente-Methode, Fast-Fourier-Transformation-Methode) auf zwei Skalen verwendet.

Materialmodelle für die Entwicklung digitaler Zwillinge

Der grundlegende Schritt dieser Methode ist die Charakterisierung des mechanischen Verhaltens auf der Mikroskala (siehe auch AIF-Versagen). Gemeinsam mit unserem Projektpartner Bosch untersuchen wir das viskoelastische Verhalten und das Ermüdungsverhalten von kurzglasfaserverstärkten Thermoplastproben. Unser Projektpartner stellt uns mechanische Messungen und CT-Bilder zur Verfügung, um das Verhalten von Proben mit spezifischen Faserorientierungen zu analysieren. Auf dieser Basis entwickeln wir geeignete Materialmodelle, um digitale Zwillinge des Verbundwerkstoffs im Mikromaßstab der Proben zu erstellen.

Zweistufiger Ansatz mit Vollfeldsimulationen und Modellordnungsreduktionen

Wir erarbeiteten einen zweistufigen Ansatz, um den numerischen Aufwand der gekoppelten FEM-FFT-Multiskalen-Methode zu reduzieren. Im ersten Schritt verwenden wir einen hocheffizienten Mikroskalenlöser, unser Softwaretool **FeelMath**, um Vollfeldsimulationen an repräsentativen Volumenelementen der Mikrostruktur für Probenfaserorientierungen durchzuführen. Mittels Modellordnungsreduktionsverfahren erhalten wir dann effektive Materialmodelle für diese Faserorientierungen und erfassen sie in einer Datenbank. Mit diesem Datenbankkonzept reduzieren wir den numerischen Aufwand drastisch, so dass das Multiskalen-Verfahren erstmals für industrielle Probleme einsetzbar und für unseren Partner nutzbringend anwendbar ist.

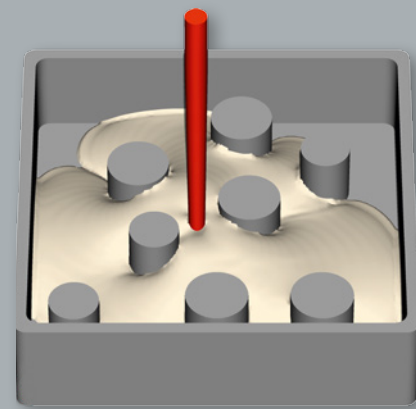
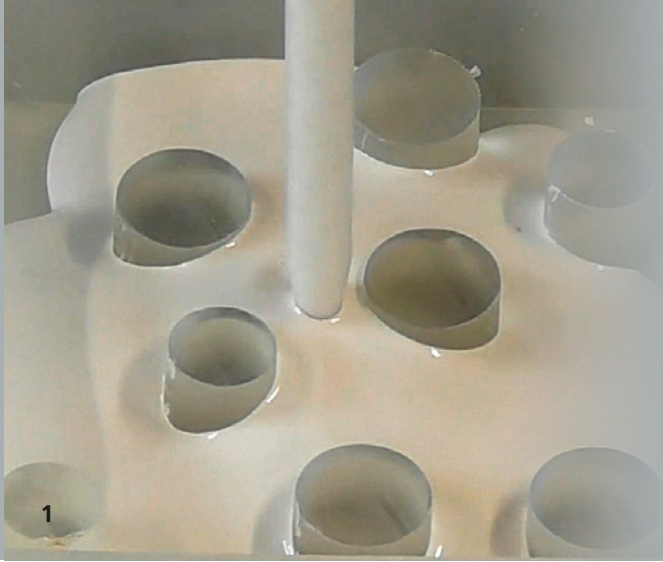
1 Elektrischer Fensterheberantrieb mit kurzfaserverstärktem Kunststoff-Gehäuse

2 Mittels der zwei größten Eigenwerte des Faserorientierungs-Tensors zweiter Stufe (λ_1, λ_2) aufgespanntes Faserorientierungsdreieck; (C) isotrope, (M) unidirektionale, (Y) planar isotrope Faserorientierung

3 Mit einer FLUID-Spritzgussimulation ermittelte, lokale Faserorientierungsverteilung des Fensterheberantriebs-Gehäuses auf dem Finite-Elemente-Netz im Farbcode von Abb.2 dargestellt

4 Lokale von Mises-Spannungsverteilung, simuliert mit der datenbankbasierten Multiskalen-Methode





VERGUSSPROZESSSIMULATION VON ELEKTRO- NISCHEN BAUTEILEN

1+2 Vergussmasse Front-
position: Experiment und
Simulation

Durch Vergießen werden elektronische Bauteile durch partikelverstärkte Polyurethanharze komplett umschlossen, um ihre Zuverlässigkeit zu sichern. Im Projekt SOVEB (Simulationsgestützte Optimierung des Vergussprozesses elektronischer Bauteile) simulieren wir diesen Prozess mit unserer Software FLUID, damit Unternehmen ihre Produktionsschritte optimieren können.

Die rasante Entwicklung der Mikroelektronik hat dazu geführt, dass aus isolierten elektronischen Komponenten zunehmend hochintegrierte Bauteilsysteme werden. Daraus resultiert u. a. eine hohe Wärmeabgabe während des Betriebs. Aber auch Anforderungen wie Langzeitstabilität und Funktionssicherheit steigen mit der Komplexität. Ein Beispiel: LEDs sind empfindliche, elektronische Komponenten und benötigen zusätzlichen Schutz gegen Beschädigung etc.

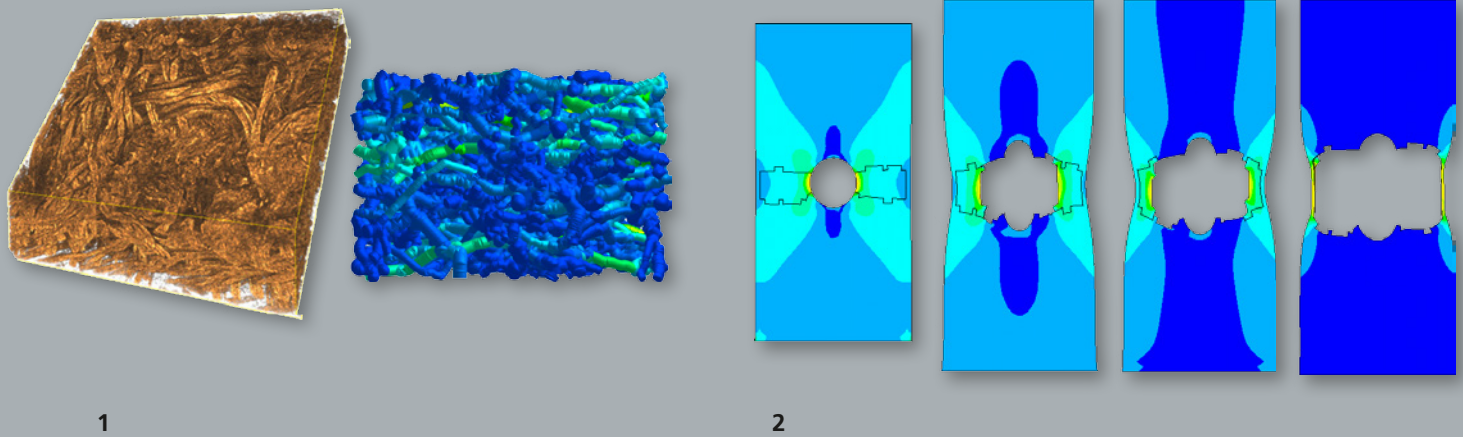
Partikelverstärkte Harze zum Schutz von elektronischen Geräten

Polyurethanharz sind ein typisches Beispiel für Vergussmassen zur kompletten Umschließung von Elektronikbauteilen. Sie schützen empfindliche elektronische Komponenten nicht nur vor Stößen, Vibrationen, Feuchtigkeit, sondern auch vor Überhitzung der Komponenten. Die Vergussmassen erreichen ihre hohe Wärmeleitfähigkeit durch die Hinzugabe von Partikeln. Diese unterscheiden sich in Form, Größe und Füllmaterialbeladung. Die resultierende Vergussmasse aus partikelverstärkten Polyurethanharzen bildet eine extrem hochviskose Suspension, die für Simulationen sehr anspruchsvoll ist.

Entwicklung optimaler Simulationswerkzeuge für industrielle Anwendungen

Um die Dynamik solcher Suspensionen korrekt zu beschreiben, verwenden wir Strömungsmodelle und eine angepasste numerische Diskretisierung. Nach der Parameteridentifikation der Viskositätsparameter führen wir mit unserer Software FLUID numerische Studien durch, um die richtige Materialverteilung bei der Formfüllung vorherzusagen. Durch die Simulationsstudien im Vorfeld, optimieren wir Bahn und Dynamik der Einfülldüse wie auch das Werkzeugdesign.

Unsere Ergebnisse (siehe Abbildung) zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen, die das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM durchgeführt hat. Das entwickelte Simulationswerkzeug steht somit der Industrie sowohl für Auslegungs- und Optimierungsstudien zur Verfügung, aber auch als Softwaretool, um die Zusammensetzung der Vergussmassen und ihre effiziente industrielle Verarbeitung im Voraus zu berechnen.



SIMULATION UND VORHERSAGE DER MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN VON LEDER

Lange Faserbündel, die sich in Netzwerke verzweigen und an vielen Stellen verwoben sind – so sieht die Mikrostruktur von Leder aus. Makroskopisch gesehen, ist Leder ein anisotropes Material. Zum Einsatz kommt es in Autositzen, Möbeln oder Kleidung. Im vorgestellten Projekt – gefördert durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) – dreht sich alles um die Vorhersage der Ledereigenschaften.

Die Eigenschaften von Leder hängen von der Anordnung der Faserbündel, ihrer Dicke, Länge und ihren Eigenschaften ab. Da Leder ein Naturprodukt ist, weist es gegenüber Kunststoffen und Textilien viel ungleichmäßigere Materialeigenschaften auf. Unter den Bedingungen der industriellen Massenfertigung ergibt sich die Notwendigkeit, die Produkte am Computer zu entwerfen und das Verhalten vorab zu beurteilen. Gemeinsam mit der Abteilung »Bildverarbeitung« und dem Forschungsinstitut für Leder- und Kunststoffbahnen FILK simulieren wir das Verhalten mittels Modellierungs- und Homogenisierungsmethoden auf Grundlage von Mikro-CT-Bildern der Struktur und der gemessenen viskoelastischen Eigenschaften der Faserbündel.

Mikroskopische Simulationen mit der Software FISFT

Die CT-Aufnahmen weisen darauf hin, dass das Leder aus vielen Faserbündeln besteht, deren Orientierung entlang der Schichtdicke variiert (Abb. 1). Anhand der gemessenen Eigenschaften der Faserbündel simulieren wir das Verhalten der Struktur mithilfe unserer Software FISFT. Diese ermöglicht die Berechnung von großen Fasersystemen für große Verformungen mit gleichzeitigem Kontaktgleiten an Millionen von Knotenpunkten. Dabei berücksichtigt FISFT den Einfluss der Gleitreibung in Faserbündelknoten auf das Lederverhalten.

Berechnung der Relaxationszeit von Leder

Wir untersuchen zudem, wie die Relaxationszeit des Ledermaterials mit dem Relaxationsverhalten des Faserbündels zusammenhängt. Auf Grundlage unserer bisherigen Analyseergebnisse konnten wir zeigen, dass sich das makroskopische Relaxationsverhalten berechnen lässt, indem wir das Relaxationsverhalten eines einzelnen Faserbündels mit dem rein strukturellen geometrischen Faktor multiplizieren, den wir aus den CT-Aufnahmen ermitteln. Diese Vermutung konnten wir bestätigen – anhand experimenteller Daten von Zugversuchen für Leder und Faserbündel. Wir führen außerdem makroskopische Simulationsanalysen von Ledern durch. Dabei berücksichtigen wir die Festigkeit der Garne, die Faserbündelstruktur sowie die berechneten homogenisierten Eigenschaften und lokalen Spannungen. (Abb. 2).

1 Mikro-CT-Segmentierung des Leders und seines FIFST-Modells: Die langen, gekrümmten Zylinder sind verzweigt, miteinander verwoben und an vielen Stellen gekreuzt.

2 Zugsimulation der Leder-schäden in der Nähe eines Lochs; So berechnen wir das anisotrope Wachsen eines gestanzten Loches im Leder voraus, das bei Zugbelastungen entsteht und sagen so realistische Materialbeanspruchungen vorher.





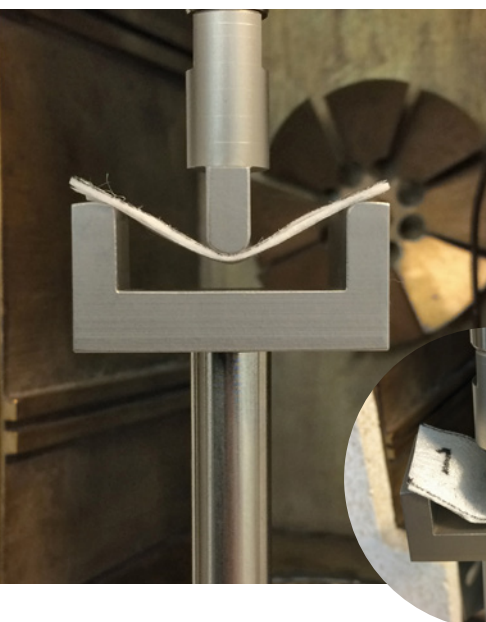
STRUCTUR.E: NEUES PROJEKT ZUM SCHNELLLADEN IN DER E-MOBILITÄT



Da lange Wartezeiten für Elektrofahrzeuge an Ladestationen künftig der Vergangenheit angehören sollen, erforschen wir in dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekt »structur.e« Methoden, welche die Schnellladefähigkeit von Batterien verbessern sollen. In einem großen Projektkonsortium unter der Koordination der Volkswagen AG arbeiten zehn Unternehmen und Forschungseinrichtungen nicht nur an der Entwicklung neuer Elektrodenkonzepte, sondern auch an geeigneten Charakterisierungsmethoden.

Diese Arbeiten werden darüber hinaus durch computerbasierte Simulationsmethoden unterstützt, die wir bei uns am ITWM entwickeln. Dabei geht es um die prädiktive Simulation der Batteriezeleigenschaften, die sich aus den verschiedenen Strukturierungskonzepten ergeben. Die Fraunhofer-Ausgründung Math2Market erstellt hierfür die Strukturmodelle. Zusammen mit dem Projektpartner DLR entwickeln wir Modelle und implementieren sie in unserer Simulationssoftware BEST. Durch die enge Verzahnung zwischen Experiment und Simulation verbessern wir im Projekt Langlebigkeit und Leistungsfähigkeit der Zellen und beschleunigen deren Entwicklung.

AIF-PROJEKT FÜR VERBESSERTE FILTERSIMULATIONEN



Bei der Simulation von Filtrationsvorgängen wird das Filtermedium in der Regel als starres Material modelliert. In vielen wichtigen Anwendungen trifft dies allerdings nicht zu: Der bei der Durchströmung des Medium entstehende Differenzdruck führt zu einer Verformung, was z. B. bei gefalteten Filtern erhebliche Abweichungen zwischen Simulationsergebnissen und entsprechenden Messungen nach sich ziehen kann.

Die Wechselwirkung zwischen Strömungs- und Strukturmechanik in Filtermedien ist ein komplexes Phänomen und daher eine große Herausforderung für experimentelle Untersuchung und Modellbildung. Die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) fördert ein Projekt, in dem wir gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Mechanische Verfahrenstechnik der TU Kaiserslautern an der adäquaten Berücksichtigung der Verformung in der Modellierung forschen. Dadurch können Simulationen die Auslegung innovativer und optimierter Filterbauteile noch besser unterstützen. Das Forschungsvorhaben stößt in der Filtrationsbranche auf sehr großes Interesse und eine Reihe renommierter Unternehmen aus diesem Bereich engagiert sich im projektbegleitenden Ausschuss.



MATHEMATISCHE MODELLE UND BILDANALYSE-ALGORITHMEN FÜR DIE INDUSTRIE

Die Abteilung entwickelt mathematische Modelle und Bildanalysealgorithmen und setzt diese um in industrietaugliche Software, vorwiegend in der Produktion. Die Anwendungsgebiete umfassen insbesondere anspruchsvolle Oberflächenprüfungen und Analyse von Mikrostrukturen. Auch die Beratung nimmt einen immer größeren Stellenwert ein, zum Beispiel zu Hardware bei der Konzeption von Bildverarbeitungssystemen oder zur Integration zusätzlicher Komponenten in ein bereits bestehendes System, aber auch unabhängige Beratung im Bereich optische Qualitätskontrolle oder bei der Entwicklung von Algorithmen.

In den letzten Jahren war unser Schwerpunkt vor allem im Bereich Machine Learning in der Bildverarbeitung für Produktion und Industrie. Methoden wie das »Deep Learning« erfordern eine hohe Anzahl annotierter Daten, zum Beispiel von den in einer Produktionsanlage zu findenden Defekten. Nun sind aber in einer gut funktionierenden Produktion viele Bilder von fehlerfreien Produkten vorhanden, aber nur wenige von Produkten mit Defekten. Wir wählen hier den Weg der Datenaugmentierung – d.h. auf Basis der echten Fehlerdaten werden künstliche Fehlerdatenbanken erzeugt.

Eine andere Lösung besteht darin, die Defekte mathematisch zu beschreiben und die Software bzw. den Algorithmus das zugrundeliegende Modell automatisch lernen zu lassen. Schwierig ist es auch, die Prüfschärfe von einem auf Machine Learning basierenden Inspektionssystem während der Produktion zu ändern, um z.B. bestimmte Qualitätsniveaus einzustellen. Wir setzen deshalb häufig Hybride aus den »klassischen« parametrisierbaren Verfahren (Filter, Morphologie, Kantendetektoren) und Machine Learning ein.

Kontakt

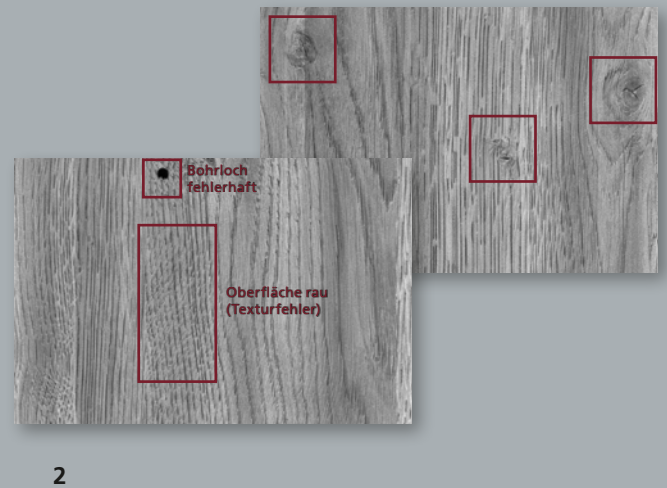
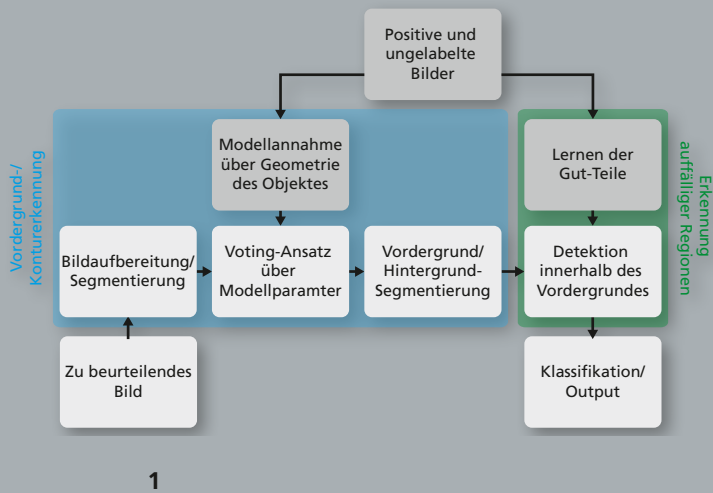
markus.rauhut@itwm.fraunhofer.de

www.itwm.fraunhofer.de/bv

SCHWERPUNKTE

- Oberflächen- und Materialcharakterisierung
 - Qualitätssicherung und Optimierung
 - Industrial Image Learning
 - Virtuelle Bildverarbeitung
-





MACHINE LEARNING FÜR DIE PRODUKTION

1 *Schrittweises Vorgehen bei der Qualitätskontrolle in der Oberflächeninspektion ungelabelter Bilder (hybrider Ansatz)*

2 *Für die Holzinspektion ist ein Machine-Learning-Verfahren unabdingbar: Hier müssen nicht nur Defekte gefunden, sondern auch einzelne Dekore erkannt und überprüft werden.*

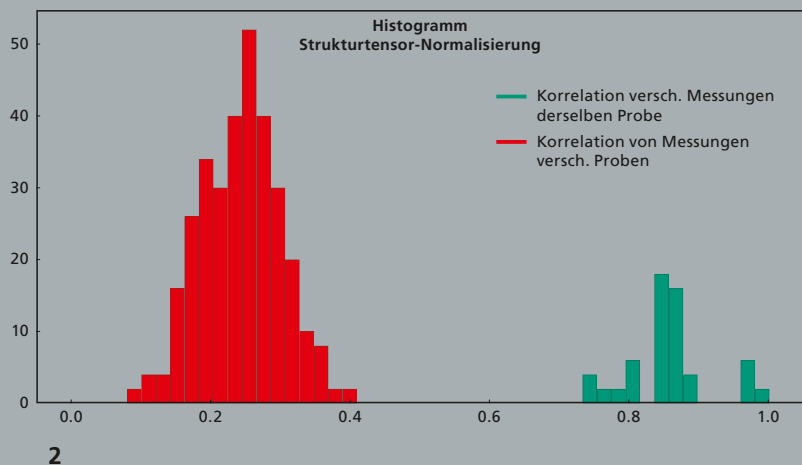
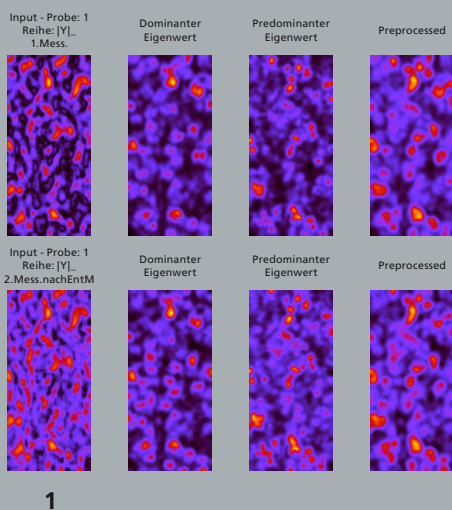
Industrielle Bildverarbeitung wird zur Qualitätskontrolle in vielen Produktionsumgebungen eingesetzt. Methoden des Machine Learning spielen bei der automatisierten Fehlererkennung schon lange eine Rolle; heutzutage tragen sie auch dazu bei, den anpassungsintensiven Teil der Bildverarbeitung zu automatisieren.

In der klassischen industriellen Bildverarbeitung versucht man zunächst, die Bildaufnahme optimal auf Fehler und Produkt abzustimmen, um die Fehlerdetektion zu vereinfachen. Mittels Bildverarbeitung wird zunächst das Bild verschiedentlich mathematisch transformiert, um potenzielle Fehlerregionen hervorzuheben und anschließend zu segmentieren. Im Anschluss daran werden diese Fehlerregionen zur Beurteilung des Gesamtobjektes genutzt.

Hybride Lösung für Fehlerdetektion und Einteilung in Qualitätsklassen

Das finale Ziel ist meist die Sortierung der Teile in verschiedene Qualitätsklassen und die Lokalisierung der entsprechenden Indikatoren/Defekte. Während die Beurteilung der potenziellen Fehlerregionen fast immer mittels Machine Learning erfolgt, werden für die Extraktion der Regionen selbst klassische Bildverarbeitungsverfahren angewendet – wie etwa Glättung durch verschiedene Filter, Segmentieren, Kantendetektion, morphologische Operationen. Mit Erstarken des Machine Learning, speziell des Deep Learning, wächst der Wunsch, diesen anpassungsintensiven Teil der industriellen Bildverarbeitung stärker zu automatisieren. Vollständig automatisierte Systeme erfordern eine große Anzahl annotierter Daten. Da aber meist im laufenden Betrieb gearbeitet wird, ist es nicht möglich, gezielt Fehlerklassenbeispiele zu produzieren; auch ist das manuelle Annotieren zeitaufwändig und teuer. Zudem gibt es selten auftretende Fehlerklassen mit nur sehr wenigen Repräsentanten. Insgesamt existieren wesentlich mehr Gut- als Schlecht-Beispiele. Die Spezifikation von Defekten und deren Klassifikation ändert sich im Laufe eines Projektes; das führt zur aufwändigen Anpassungen.

Wir setzen deshalb parametrierbare Methoden der Bildverarbeitung ein und kombinieren diese mit modernen Lernverfahren. Modellannahmen werden dabei zur Einbringung von Vorwissen für die Segmentierung genutzt, maschinelles Lernen zur Detektion auffälliger Regionen. Eine andere Lösung ist es, die Defekte mathematisch zu beschreiben und dann dieses Modell zu lernen. So können Defekte durch bestimmte Features beschrieben werden (z. B. die Form/das Aussehen durch morphologische Merkmale) und dann mit passenden Filtern genau diese Defekte aus den Bildern extrahiert werden. In der Praxis bedeutet dies u. a., dass zu jedem Feature entsprechende Filter implementiert werden.



BAUTEILE ANHAND INTRINSISCHER MERKMALE IDENTIFIZIEREN UND RÜCKVERFOLGEN

Ein Bauteil mit seinen individuellen Merkmalen zu jedem Zeitpunkt der Verarbeitung zu identifizieren und zurückverfolgen, das ist Voraussetzung für viele prozessbeeinflussende Entscheidungen in der Produktion. Im Projekt INSITU nutzen wir dafür ein neues Verfahren, welches sich die Kenntnis von Merkmalen im Bauteilinneren zunutze macht.

Die Optimierung von Qualität, Produktivität und Kosten hängt davon ab, ob ein Produkt jederzeit eindeutig identifizierbar und lokalisierbar ist, damit der Produktionsvorgang automatisiert werden kann. Bisher genutzte Objektkennzeichnungen – wie beispielsweise Etiketten, Barcodes, IC-Chips oder andere Identifikations-Tags – sind nur bedingt geeignet, da sie nicht dauerhaft und unbeschädigt auf dem Prüfobjekt verbleiben.

Wir nutzen im Projekt INSITU ein Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung, um das Bauteil anhand von Merkmalen aus dem Bauteilinneren zu identifizieren. Solche sensorischen Verfahren werden oft für die Qualitätsprüfung eingesetzt. Durch große Versuchsreihen konnten wir feststellen, dass bestimmte Werkstoffeigenschaften eine eindeutige Identifikation ermöglichen. Die Kombination mehrerer Verfahren ermöglicht die Bauteilidentifikation für verschiedene metallische Werkstoffe und verschiedene Bauteiltypen. Die gewonnenen Identifikationsdaten werden in einem Merkmalsraum gespeichert und stellen das Bauteil als eindeutiges Individuum dar.

Maschinelles Lernen der Werkstoffeigenschaften

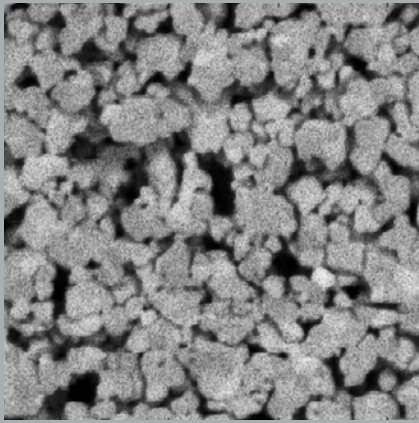
Die Erfassung charakteristischer Informationen aus dem Bauteilinneren wurde algorithmisch mit Technologien des maschinellen Lernens verknüpft, um die für die eindeutige Identifikation des Bauteils relevanten Informationen zu ermitteln: Durch die verwendeten Sensoren erhält man eine Art Bild aus dem Inneren des jeweiligen Bauteils. Maschinelles Lernen erfordert aber auch eine umfangreiche Annotation von Trainingsdaten. Für jeden Datensatz werden darum inhaltsbeschreibende Attribute erzeugt und diese Datenbank für das Training eines speziellen neuronalen Netzes verwendet. Der Deep-Learning-Algorithmus kann anhand der abstrakten Merkmale in den Werkstoffdaten eine eindeutige Identifikation vornehmen. So lässt sich nach jedem Arbeitsschritt in der Produktion der Vorgänger eines Werkstoffs feststellen.

In Kooperation mit Fraunhofer IZFP und Fraunhofer IWU entwickeln wir ein industrietaugliches Sensorsystem für die Bauteilidentifikation bei der Blechumformung, inklusive eines cloudbasierten Datenmanagementsystems zur Verwaltung und Rückverfolgung produktbezogener Daten.

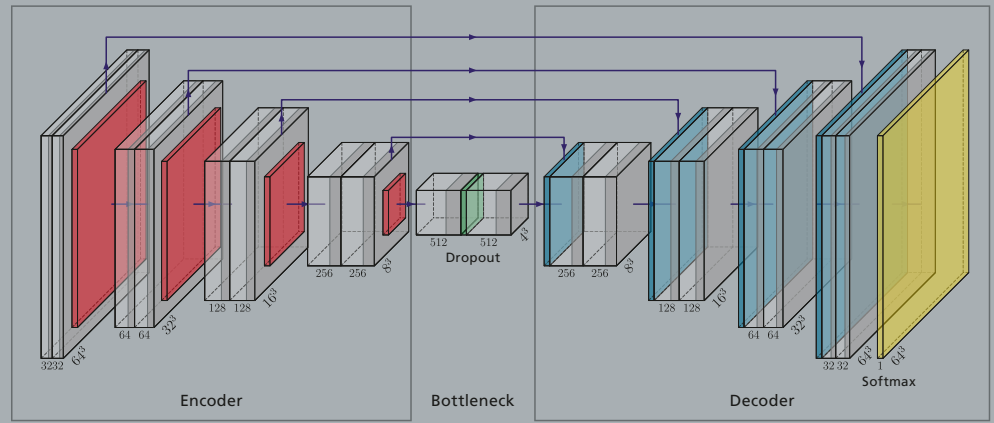
1 Optisch aufbereitet sehen die einzelnen Proben wie in dieser Abbildung aus. Durch eine Aufbereitung der Daten mittels Struktursensor wurde die Erkennungsrate massiv verbessert.

2 Im Histogramm ist gut zu sehen, wie das System verschiedene Messungen der gleichen Probe (grün) zu einem Cluster zusammenfasst. Gleiches gilt für Messungen verschiedener Proben (rot).





1



2

DEEP LEARNING FÜR DIE 3D-REKONSTRUKTION HOCHPORÖSER STRUKTUREN AUS FIB-REM-BILDSTAPELN

1 REM-Bild einer nanoporösen Zirkondioxid-Probe

2 Skizze der genutzten U-Net3D-Architektur; die grauen Kästchen stellen Convolutional Layer dar, denen einer Batch-Normalisation folgt und mit ReLU aktiviert werden.
rot: Max-Pooling-Layer;
blau: entsprechende Up-Sampling-Layer;
gelb: Convolutional Layer mit Soft-Max-Aktivierung

Moderne Werkstoffe wie Gasdiffusionsschichten für Brennstoffzellen, Elektroden für Lithium-Ionen-Batterien, Filtermedien oder keramische Werkstoffe mit aktiven Komponenten haben komplexe, multiskalige Strukturen, die das makroskopische Materialverhalten hochgradig beeinflussen. 3D-Bilder der Strukturen ermöglichen ein tieferes Verständnis, wie Struktur und Eigenschaften zusammenhängen. Mit neuen Deep-Learning-Methoden tragen wir zu diesem Verständnis bei.

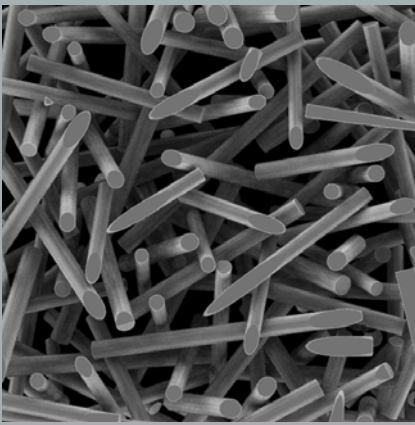
Auf der Nanoskala können Strukturen im Bereich 5–100 nm durch die FIB-REM-Serienschnitttechnik dreidimensional abgebildet werden. Mithilfe eines fokussierten Ionenstrahls (Focussed Ion Beam, FIB) wird die zu untersuchende Struktur präzise geschnitten und die Schnittfläche anschließend mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) abgebildet. Die Oberfläche wird weiter abgetragen, die Schnittfläche wieder abgebildet. Mehrere Hundert Schnittbilder ergeben einen Volumendatensatz.

Durchscheinartefakte erschweren die Rekonstruktion

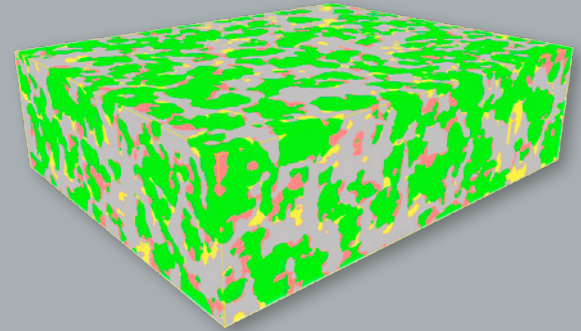
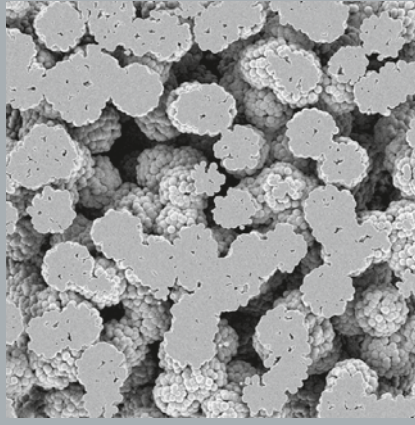
Bei hoher Porosität entspricht die aus den 2D-Schnitten rekonstruierte 3D-Struktur jedoch nicht der realen Struktur, da die einzelnen REM-Bilder nicht nur die tatsächlichen Schnittflächen zeigen. Die hohe Tiefenschärfe des REM lässt durch die Poren auch Strukturbereiche dahinter sichtbar werden und genauso hell erscheinen wie die aktuelle Schnittfläche. Diesen Effekt, dass feste Strukturen durch die Poren aus tieferen Schichten sichtbar sind, nennt man Durchscheinartefakt. Die Rekonstruktion der 3D-Struktur und deren quantitative Analyse sind deshalb für poröse Strukturen eine Herausforderung. Mehrere Rekonstruktionsverfahren sind u. a. am ITWM entwickelt worden. Sie sind jedoch nach wie vor maßgeschneidert für bestimmte Strukturen und Kontrastverhältnisse, nicht leicht zu parametrisieren und anfällig bei typischen Abbildungsartefakten wie Streifen durch das Schneiden oder Aufladung im Fall nichtleitender Materialien.

Deep Learning als Lösungsansatz für komplexe 3D-Segmentierungsaufgaben

Machine Learning wird immer öfter für die Lösung komplexer Segmentierungsaufgaben, auch in 3D-Bildern, eingesetzt. Convolutional Neural Networks (CNN) benötigen allerdings für die Trainingsphase viele korrekt segmentierte (hier rekonstruierte) Bilder. Gerade in unserem Fall ist aber die Bildgewinnung teuer. Außerdem ist es schwierig, interaktiv korrekt zu segmentieren, weil auch der Mensch Mühe hat, durchscheinendes von echtem Material zu unterscheiden.



3



4

Wir haben deshalb ein CNN (U-Net3D) mit ausschließlich synthetisch erzeugten FIB-REM-Bildern trainiert. U-Net3D besteht aus zwei Pfaden, wobei der erste – der Encoder – einem klassischen CNN ähnelt und alle Convolutional Layer mit Rectified Linear Unit (ReLU) aktiviert werden. Dieser Encoder wird zur Erfassung des Bildkontextes verwendet, indem mehrere Convolutional Layer gefolgt von einer Batch-Normalisation und abwechselnd mit Pooling-Layer zur Down-Sampling der Feature-Map ausgeführt werden (siehe Abbildung 2). Die ReLU-Layer lassen den Eingabewert unangetastet, wenn er positiv ist, und geben ansonsten Null zurück. Pooling-Layer werden eingeführt, um die Größe jeder Feature Map durch Down-Sampling mithilfe nichtlinearer Funktionen zu reduzieren. Batch-Normalisation-Layer skalieren die Werte der Feature Map so, dass sie im statistischen Sinne vergleichbar und standardisiert sind.

Rekonstruktion der Segmentierung aus der Feature-Map

Sobald die dünnste Schicht – der Flaschenhals des Netzwerks – passiert ist, expandiert der symmetrische zweite Pfad die Feature Maps wieder. Im Bottleneck wird ein Dropout-Layer mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,5 als indirekte Augmentierung verwendet. Der expandierende Pfad ermöglicht die präzise Lokalisierung in den ursprünglichen Bilddimensionen, indem Up-Sampling-Layer anstatt Pooling-Layer verwendet werden und der Output mit dem entsprechenden Layer im Encoder verknüpft wird. Schließlich wird ein zusätzlicher Convolutional Layer mit Soft-Max-Aktivierung angewendet, um Wahrscheinlichkeiten der Klassenzugehörigkeit zu erhalten. Abbildung 2 enthält eine Skizze unserer Architektur einschließlich der Anzahl der Layer.

Training mit synthetisch erzeugten Bildern

Wir erzeugen also eine Geometrie, z. B. aus überlappenden Kugeln. Dieses Kugelsystem wird direkt diskretisiert. Das so entstandene 3D-Bild ist sofort als Grundwahrheit verfügbar. Zum anderen wird ein Stapel von REM-Bildern physikalisch korrekt simuliert. Abbildung 3 zeigt zwei Beispiele für synthetische REM-Bilddaten von Realisierungen stochastischer Geometriemodelle. Mit diesen Daten trainiert das CNN zu entscheiden, welche Pixel tatsächlich zum Vordergrund gehören, also zum Material. Wir haben dann diesem ausschließlich auf synthetischen Daten trainierten CNN FIB-REM-Stapel realer Strukturen vorgelegt. Zwei reale Datensätze hat es genauso gut wie die besten maßgeschneiderten klassischen Methoden segmentiert. In Abbildung 4 ist das Rekonstruktionsergebnis des trainierten Modells für die nanoporöse Zirkonoxid-Probe abgebildet.

3 Beispiele für synthetische REM-Bilddaten von Realisierungen stochastischer Geometriemodelle; links zufällige Packung von Zylindern und rechts Cox-Boolesches-Modell von Kugeln

4 Rekonstruktionsergebnis des trainierten Modells für die nanoporöse Zirkonoxid-Probe; grün: korrekt segmentierte Vordergrundpixel (True Positiv); gelb: falsch als Vordergrund klassifizierte Pixel (False Positiv); rot: falsch als Hintergrund klassifizierte Pixel (False Negativ)

Das nächste Entwicklungsziel besteht darin, das CNN anhand synthetischer FIB-REM-Bilder vieler verschiedener Strukturen zu trainieren. Dieses CNN könnte dann auch neue, unbekannte Strukturen korrekt segmentieren.



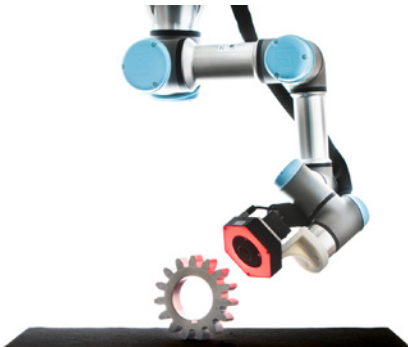


BV FÖRDERT STEM-GAMES



Gelerntes Wissen in Teamarbeit an realistischen Szenarien anwenden und komplexe Probleme lösen? Miteinander arbeiten und voneinander lernen? Sich nicht nur geistig, sondern auch körperlich auspowern und den Teamspirit stärken? Das ist die Intension der STEM-Games, die Anfang Mai 2019 in Porec, Kroatien, stattfanden. Auch die Abteilung Bildverarbeitung war als Partner dieses internationalen Recruiting Events sowohl in der Jury als auch mit Mentoren vertreten. In dem Wettbewerb für Studierende aus den MINT-Bereichen (Mathematik, Ingenieurwesen, Naturwissenschaft, Technik) bewältigen die Teams in vier Arenen komplexe Aufgabenstellungen. Neben dem wissenschaftlichen Wettbewerb treten sie auch in neun verschiedenen sportlichen Disziplinen gegeneinander an.

BV AUF DER CONTROL



Auf der Fachmesse Control stellte die Abteilung ihr Oberflächen-Inspektionssystem mit Roboter-gestützter Bahnplanung vor; es hat mehrere Schnittstellen für die Bildaufnahme, untersucht das Bauteil und leistet den Abgleich mit dem CAD-Modell sowie die Visualisierung dieses CAD-Modells. Darüber hinaus beinhaltet es die Algorithmen zur automatischen Berechnung von Scanpfaden. Die Visualisierung des CAD-Modells wird je nach Scanpfad des Roboters und Drehung der Rotationseinheit sukzessive modifiziert, sodass die bereits geprüften Bauteilregionen sichtbar gekennzeichnet werden. Dies erleichtert besonders die Prüfung von Bauteilen mit komplexen Geometrien.

ZUSAMMENARBEIT MIT OIKON

Im Oktober unterzeichneten das Fraunhofer ITWM und Oikon, ein führendes Institut auf dem Gebiet der angewandten Ökologie in Kroatien und Osteuropa, ein Memorandum of Understanding; damit besiegeln die ihre nachhaltige Zusammenarbeit: Vor allem im Bereich Bildverarbeitung sowie Raum- und Umweltanalyse kombinieren sie ihre jeweilige Expertise, um gemeinsam Projekte durchzuführen.



ANALYSE, PROGNOSE UND REGELUNG VON KOMPLEXEM SYSTEM- UND PROZESSVERHALTEN

Der Fokus der Abteilung liegt im Bereich Echtzeitanlagenbetrieb und Antriebstechnik in Produktion und Energieerzeugung. Mit physikalischem Wissen, aber auch basierend auf reinen Messdaten erstellen wir digitale Zwillinge für multiphysikalische dynamische Systeme. Dabei müssen wir häufig störungsüberlagerte Messdaten berücksichtigen, wenn wir aus Datenströmen Informationen über das aktuelle und zukünftige Systemverhalten gewinnen wollen.

Der digitale Zwilling bildet dann die Grundlage für viele Applikationen, z. B. Qualitätsanalyse und -prognose von Produkteigenschaften komplexer Systeme (wie Elektromotoren oder Extruder) oder Condition Monitoring und Predictive Maintenance bei Produktionsanlagen und Energieerzeugern (wie Blockheizkraftwerke oder Windanlagen). Auch Energieeffizienz- und Flexibilitätsanalysen von Produktionsprozessen im Rahmen des Demand-Side-Management wie auch Reglerdesign und Validierung elektronischer Steuereinheiten mittels Hardware-In-The-Loop erfolgen auf der Grundlage des digitalen Zwillings.

Dabei unterstützen wir unsere Kunden von Konzeptionierung bis zum Anlagenbetrieb bei der Entwicklung von Analyse-, Prognose- oder Regelungssystemen. Wir setzen neue Konzepte um, z. B. die Nutzung der 5G-Kommunikation zur Datenübertragung zwischen Sensoren, Reglern und Aktoren.

Für die Bearbeitung der Fragestellungen greifen wir auf Methoden aus der System- und Kontrolltheorie sowie des Maschinellen Lernens – insbesondere Deep Learning – zurück. Unsere Verfahren wenden wir in ähnlicher Weise auch im biologisch-medizinischen Bereich für die Analyse von Biosignalen, Medikation oder Diagnoseunterstützung an.

Kontakt

andreas.wirsen@itwm.fraunhofer.de

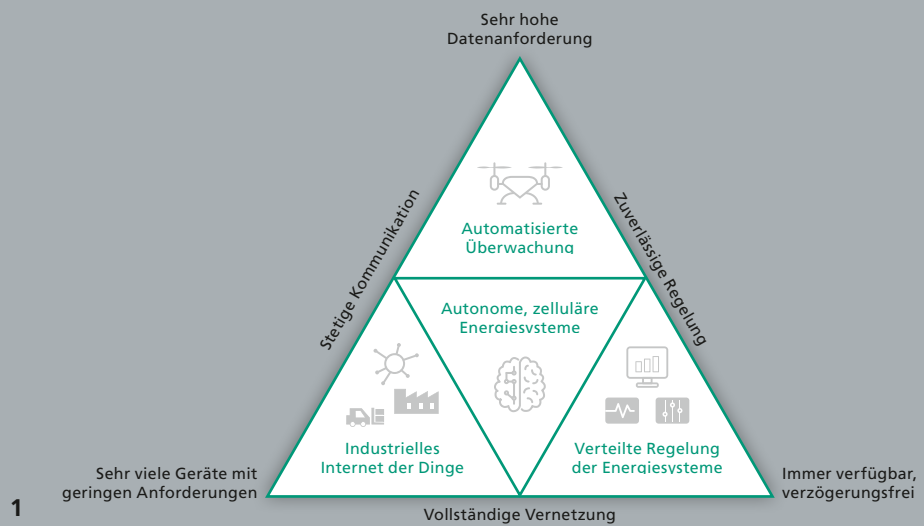
www.itwm.fraunhofer.de/sys



SCHWERPUNKTE

- Energieerzeugung und -verteilung
- Maschinenmonitoring und -regelung
- Biosensorik und Medizingeräte





5GAIN – 5G-INFRASTRUKTUREN FÜR ZELLULARE ENERGIESYSTEME MIT KÜNSTLICHER INTELLIGENZ

1 Drei Anwendungsfelder von 5G in der Energiewirtschaft

Das vom BMWi geförderte Projekt »5Gain – 5G-Infrastrukturen für zellulare Energiesysteme unter Nutzung künstlicher Intelligenz« startete im Dezember 2019. Ziel ist die Entwicklung und Evaluation 5G-basierter Kommunikation für die verteilte Regelung zellulärer Energiesysteme.

In »5Gain« stehen die Vorteile einer 5G basierten Infrastruktur für das Management zellulärer Energiesysteme im Mittelpunkt. In Kombination mit KI-Methoden ergeben sich neue Möglichkeiten einer intelligenten Netzregelung. Durch den dezentralen Ausbau erneuerbarer Energiequellen mit steuerbaren Lasten und Speichern (z. B. Elektromobilität) wird die Regelung von Energiesystemen immer komplexer. Gleichzeitig soll der Ausbaubedarf des Stromnetzes geringgehalten werden.

Unser Ansatz zur Lösung dieser Herausforderung ist die Einteilung des Energienetzes in regionale Zellen. Jede Zelle besitzt unterschiedliche Teilnehmer und Eigenschaften und führt dezentral das Last- und Einspeisemanagement sowie die Vermarktung durch. Wir entwickeln adaptive KI-Verfahren (z. B. Reinforcement Learning), die die Regelung des individuell vorliegenden Energienetzes erlernen.

Kommunikation über »5G Regional Network Slices«

Die Regelung verteilter Erzeuger und Verbraucher erfordert eine Kommunikationsinfrastruktur, die benötigte Datenraten, Antwortzeiten und Ressourcen für unterschiedlich viele Teilnehmer zu jeder Situation (z. B. Stau, Altstadtfest) bereitstellt. Der 5G-Standard stellt durch »5G Network Slicing« eine dynamische und ortsbezogene Zusicherung von Dienstgütegarantien zur Verfügung. Wir entwickeln Prognoseverfahren, um Kommunikationsanforderungen von Ereignissen frühzeitig zu erkennen. Hierdurch kann »5G Network Slicing« regional so gewählt werden, dass benötigte Kommunikationsressourcen vor Ort bereitgestellt werden.

Abrechnung durch Smart Contracts in einer Blockchain

Die Abrechnung zwischen Erzeugern und Verbrauchern sollte automatisiert und sicher erfolgen. In 5Gain erproben wir das auf Basis von Smart Contracts einer Blockchain. Weiterhin wird die Machbarkeit einer daten-intensiven, automatisierten Fernwartung verteilter Infrastrukturen durch Drohnen analysiert. Auf Basis unserer methodischen Kompetenzen im Maschinellen Lernen und unserer breiten Projekterfahrung in der Überwachung und Regelung von Energienetzen entwickeln wir in 5Gain:

- Adaptive KI-Verfahren für die verteilte Regelung zellulärer Energiesysteme
- Prognosemodelle, um Kommunikationsanforderungen bedarfsabhängig vorherzusagen.



© stockphoto/DuxX

FLEXIBLES ENERGIEMANAGEMENT IN DER GETRÄNKEPRODUKTION

Ziel des Projektes DESPRIMA (Demand-Side- und Produktionsmanagement für Getränkeabfüllprozesse) ist das Management energetischer Flexibilitäten in der Getränkeherstellung – insbesondere durch eine intelligente Regelung von Flaschenproduktion, Abfüllanlagen und Verpackungsmaschinen. Ein neues smartes Energiemanagement ermöglicht eine aktive Teilnahme an den Strommärkten.

1 Füller einer Getränkeproduktionslinie

Mit steigendem Anteil an Erneuerbaren Energien verliert die Stromversorgung an Flexibilität, da die Energieerzeugung nun nicht nur vom aktuellen Bedarf, sondern auch von der Verfügbarkeit abhängt. Diese verminderte Flexibilität muss vermehrt auch vom Verbraucher kompensiert werden. Mit einem Demand-Side-Management (DSM) adaptiert der Stromkunde den eigenen Verbrauch auf Anfrage des Netzbetreibers, um die schwankende Stromerzeugung auszugleichen. Im Gegenzug erhält der Kunde spezielle Tarife und kann seine Kosten signifikant senken.

Smarte Produktion in der Getränkeindustrie

Die Herausforderung für Produktionsbetriebe ist dabei der gleichzeitig energieeffiziente und flexible Betrieb bei Qualitätserhaltung der Produkte. Hier mangelt es bisher an

- Energiemonitoring und -prognose der einzelnen Anlagenkomponenten
- detaillierten Informationen über die Prozessflexibilität
- geeigneten Strategien, die eine dynamische Bereitstellung von Systemdienstleistungen ohne Beeinträchtigung des Produktionsablaufs garantieren.

In DESPRIMA zeigen wir mit unseren Partnern (Energieversorger, Getränkeindustrie, Forschungspartner, Software- und Ingenieurdienstleister) auf, wie gleichzeitig regelbare und vorhersagbare Lasten für das Netz zur Verfügung gestellt werden können. Dabei berücksichtigen wir besonders Produktionsvorgaben und -anforderungen, den Betrieb des elektrischen Netzes sowie Marktmechanismen für die Symbiose von Produktionsprozessen und Energienetzregelung.

Modellierung, Zustandsschätzung und modellbasierte Regelung

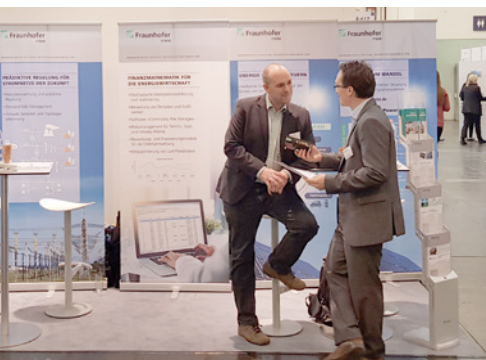
Unsere Aufgabe besteht in der Entwicklung und Umsetzung echtzeitauglicher physikalischer Modelle, der Zustandsschätzung sowie modellbasierter prädiktiver Regelungskonzepte für das Demand-Side- und Produktionsmanagement. Dabei ist die Systemstabilität gesichert und sowohl Produktions- als auch Energievorgaben werden eingehalten. Insbesondere berücksichtigen und integrieren wir die Wechselwirkungen der vorhandenen internen Teilkomponentenregler innerhalb der Produktionslinien.





BERÜHRUNGSLOSER DREHMOMENTENSOR ZUR MESSUNG VON TORSIONSSCHWINGUNGEN WIEDER VERFÜGBAR

Speziell durch Netzfehlfunktionen, Netzinteraktionen oder Bedienfehler ausgelöste Torsionsschwingungen eines Turbosatzes führen zur Ermüdung von Wellenkomponenten. Deshalb ist eine kontinuierliche Überwachung eines Antriebsstranges auf Torsionsschwingungen sinnvoll. Für die Drehmomenterfassung steht uns seit 2019 wieder ein berührungsloser induktiver Sensor zur Verfügung, der mit unseren erprobten Softwaretools jeweils ein Torsionsmonitoringsystem bildet. Unsere Sensoren eignen sich nicht nur für den Kraftwerksbereich, sondern auch für das Torsionsmonitoring an ferromagnetischen Antriebswellen.



PREDICTIVE MAINTENANCE TOOLS AUF DER E-WORLD IN ESSEN

Eine zuverlässige Vorhersage der Anlagenverfügbarkeit ist Bestandteil jeden Predictive Maintenance Systems. Unsere Arbeiten zur optimalen Instandhaltungsplanung von Anlagen haben wir im März 2019 auf der Energie-Fachmesse E-world vorgestellt. Zur Lösungsfindung setzen wir u. a. Methoden des Maschinellen Lernens ein, anhand derer wir komplexe Muster vergangener Ereignisse analysieren und so schneller einen Wartungsbedarf erkennen. Die Wartungsabstände können damit dem Bedarf angepasst werden, statt starren Zeitvorgaben zu folgen.



HARDWARE-IN-THE-LOOP-TESTS AUF DER EMBEDDED WORLD IN NÜRNBERG

Hardware-in-the-Loop (HIL) ist ein Verfahren zum Testen und Validieren eingebetteter Systeme vor ihrer Inbetriebnahme im späteren Prozess. Auf der Weltleitmesse für Embedded Systeme, der embedded world 2019, haben wir unseren umfangreich ausgestatteten HIL-Simulator und unser Portfolio zur Validierung von elektronischen Steuereinheiten präsentiert. Dies reicht von der Erstellung digitaler Zwillinge über die Automatisierung von Tests bis hin zur technischen Anbindung der Steuereinheiten an die HIL-Simulation. Auch die Entwicklung hochperformanter und robuster Regler stand im Fokus.



PROF. DR. KARL-HEINZ KÜFER
BEREICHSL EITER

PD DR. MICHAEL BORTZ
ABTEILUNGSLEITER



INTERAKTIVE ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNG AUF BASIS VON MODELLEN UND DATEN

Zentrale Aufgabe des Bereichs 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 Datenanalyse, Simulation, Optimierung und Entscheidungsunterstützung geprägt. Unter Simulation verstehen wir dabei die wissens- und datenbasierte Bildung mathematischer Modelle unter Einbeziehung von Design-Parametern, Restriktionen und zu optimierenden Qualitätsmaßen sowie Kosten.

Die Kernkompetenzen unseres Bereichs sind die Entwicklung und Implementierung von anwendungs- und kundenspezifischen Optimierungsmethoden. Diese berechnen bestmögliche Lösungen für das Design von Prozessen und Produkten. Alleinstellungsmerkmale sind die Integration von Datenanalyse, Simulations- und Optimierungsalgorithmen, die spezielle Berücksichtigung mehrkriterieller Ansätze sowie die Entwicklung und Implementierung interaktiver Werkzeuge für die Entscheidungsunterstützung.

Insgesamt verstehen wir Optimierung weniger als mathematische Aufgabenstellung, sondern vielmehr als kontinuierlichen Prozess, welchen wir durch die Entwicklung passender Tools unterstützen. Besonderes Augenmerk liegt auf der adäquaten Wahl des Modells hinsichtlich Menge und Qualität der verfügbaren Daten. Wir ziehen Methoden des Machine Learnings 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
michael.bortz@itwm.fraunhofer.de
www.itwm.fraunhofer.de/opt

SCHWERPUNKTE

Operations Research

- Produktions- und Ablaufplanung
- Anordnungs- und Zerlegeprobleme
- Versorgungsnetzwerke

Technische Prozesse

- Verfahrens- und Prozesstechnik
- Planung in der Medizin
- Maschinelles Lernen und hybride Modelle





MODELLPARAMETER SCHÄTZEN MIT TIEFEN NEURONALEN NETZEN

1 Das neue lasergestützte Glasbiegeverfahren ermöglicht exakt definierte, kleinste Biegeradien, mit denen sogar Verbundsi-cherheitsglas »um die Ecke« hergestellt werden kann. Die Glasscheiben im Bild sind drei Millimeter dick.

2 Mit dem neuen Glasbiegeverfahren hergestellter Prototyp einer Isolierglas-scheibe

Unser Institut besitzt langjährige Erfahrung in einer auf die jeweilige Fragestellung angepassten Modellierung sowie im Training der Modelle mittels Daten aus der Praxis. Modellierung, Simulation und Optimierung setzen wir so um, dass eine fortwährende Verbesserung der Modellparameter durch Vergleich der Modellvorhersagen mit der realen Praxis erfolgt.

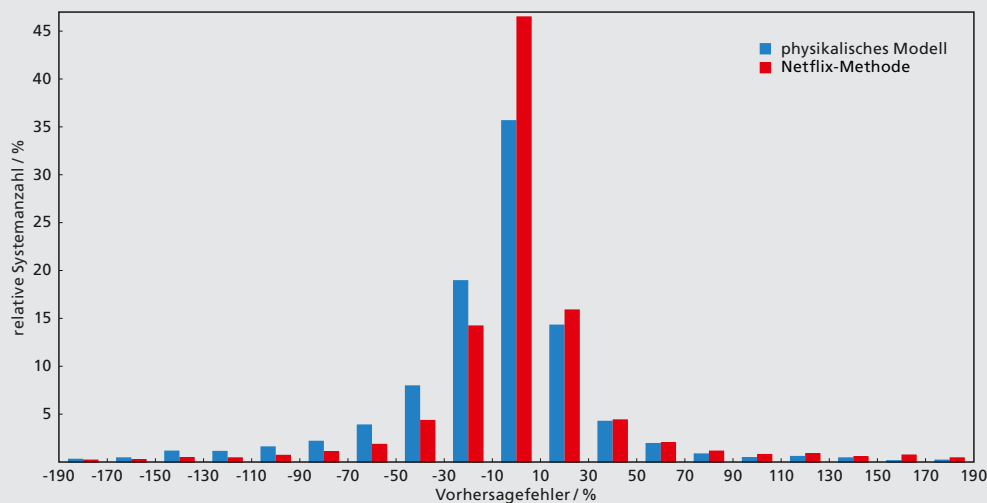
Regressionsprobleme identifizieren Parameter

Mathematische Modelle von realen Prozessen hängen von vielen Parametern ab. Ein einfaches Beispiel ist ein geschossener Ball. Dessen Bahnkurve hängt neben den Anfangsbedingungen (Abschussposition, Betrag, Richtung der Abschussgeschwindigkeit) vom Luftwiderstand und von der Erdbeschleunigung ab. Während hier die Parameter gut bekannt sind, ist dies bei komplexeren Prozessen nicht unbedingt der Fall – sei es das Schmelzen von Glas, die Polymerbildung bei gekoppelten Reaktionen oder die Trennung von Stoffgemischen.

In einer solchen Situation werden Regressionsprobleme formuliert, um den Wert der Modellparameter genauer zu bestimmen und so das Modell zu kalibrieren. Eine gebräuchliche Regressionsaufgabe besteht im Minimieren der Abweichungsquadrate von Modellvorhersage und Messwert als Funktion der Modellparameter. Die Herausforderung bei diesem nichtlinearen, nicht konvexen Optimierungsproblem besteht darin, das Optimum zu finden.

Deep Neural Networks in Kombination mit wissensbasierter Expertise

Tiefe neuronale Netze (DNN) unterstützen dabei. Eine einfache Idee besteht darin, den Raum der Modellparameter zu diskretisieren und die Modellfunktionen an den Diskretisierungspunkten vorzuberechnen. Wählt man als Eingang die Werte der Modellfunktionen und als Ausgang die quadratische Abweichung in der Schätzung der Modellparameter, so trainiert man das Netz auf eine verlässliche Vorhersage der Parameter, wenn die Modellvorhersagen bekannt sind. Es zeigt sich jedoch, dass diese Herangehensweise bei Mehrdeutigkeiten scheitert, wie sie z. B. bei der Glasbiegung auftreten. In einem Forschungsprojekt zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM haben wir eine erhebliche Verbesserung in der Güte der Modellvorhersagen mit den geschätzten Modellparametern erzielt. Dazu wurde das Netz nicht basierend auf der quadratischen Abweichung der geschätzten Modellparameter, sondern auf einer Abweichung der aufgrund dieser Schätzung gemachten Modellvorhersage trainiert. Auf diese Weise setzen wir wissensbasierte Expertise beim Netztraining ein. Im Ergebnis sind die so erreichten geschätzten Modellvorhersagen erheblich verlässlicher.



1

MASCHINELLES LERNEN ZUR VORHERSAGE THERMODYNAMISCHER EIGENSCHAFTEN

Zuschauer, die diese Serie gucken, gefällt auch diese Serie? Nach welchem Prinzip schlägt ein Portal wie Netflix Filme für seine Zuschauer vor? Oder Amazon seine Ware? Oder Facebook seine Seitenempfehlungen? Und was kann man aus der Anwendung dieser Algorithmen über die thermodynamischen Eigenschaften von Mischungen lernen? Das sind Fragen, auf die wir dank interner Fraunhofer-Förderung in einer Kooperation mit Prof. Dr. Hans Hasse, Jun.-Prof. Fabian Jirasek und Prof. Dr. Marius Kloft und von der TU Kaiserslautern vielversprechende erste Antworten gegeben werden konnten.

1 *Histogrammdarstellung des Vorhersagefehlers für die Ergebnisse der Netflix-Methode verglichen mit den Ergebnissen einer etablierten physikalischen Methode*

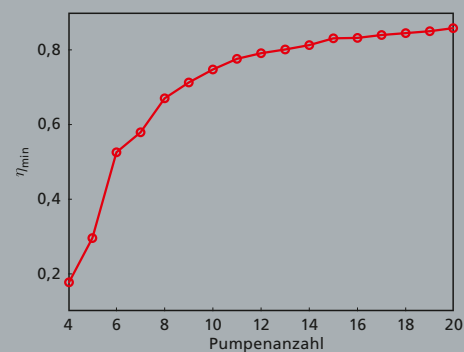
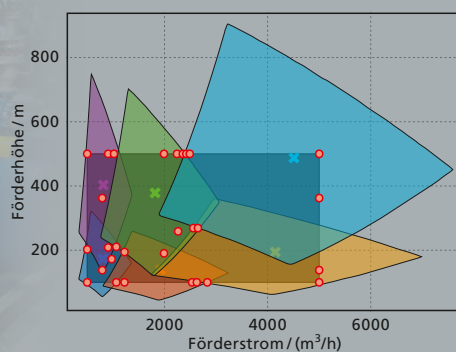
Durch Personalisierung ihrer Services wollen Netflix, Amazon Prime Video, Maxdome und Co. ihren Zuschauern helfen, noch schneller passende Inhalte zu finden. Diese Empfehlungssysteme vervollständigen lückenhaft besetzte Matrizen. Die Zeilen so einer Matrix sind dabei die Zuschauer, die Spalten sind die Filme. Ein Matrixeintrag besteht in der Bewertung eines Films durch einen Nutzenden. Allerdings gibt es erheblich weniger besetzte Matrixelemente als unbesetzte. Die Kernidee besteht im Auffüllen der unbesetzten Matrixelemente, so dass die Zeilen bzw. Spalten möglichst ähnlich sind. Dies wird beispielsweise durch ein Auffüllen erreicht, das die Singulärwerte der vervollständigten Matrix minimiert.

Empfehlungssystem für Mischprobleme

Bei der Beschreibung thermodynamischer Eigenschaften von binären Mischungen gibt es ein ganz ähnliches Problem: Die Zeilen der Matrix sind in diesem Fall die Lösungsmittel, und die Spalten die gelösten Stoffe. Bildlich gesprochen ziehen sich Lösungsmittel und gelöster Stoff an (wie Wasser und Ethanol) oder stoßen sich ab (wie Wasser und Öl). Diese Wechselwirkung wird durch Aktivitätskoeffizienten beschrieben, die die Inhalte der Matrix bilden. Experimentell vermessen sind aber, bezogen auf die Gesamtmenge an Stoffen, nur verhältnismäßig wenige. Das Vervollständigen dieser Matrix stellt also ein analoges Problem dar – wie Zuschauern Filme vorzuschlagen.

In ersten Anwendungen von Empfehlungssystemen auf das Mischungsproblem zeigte sich, dass die Qualität der Vorhersagen vergleichbar ist mit denen, die aus involvierten, physikalische motivierten, semi-empirischen Gruppenbeitragsmethoden resultieren, s. Abb. 1. Aktuell wird daran gearbeitet, physikalisches Wissen bei der Matrixvervollständigung zu berücksichtigen. Diese Arbeiten sind nicht nur ein schönes Beispiel interdisziplinärer Kooperation, sondern zeigen auch das Potenzial von maschinellen Lernverfahren, eingesetzt in neuen Domänen.





AUSLEGUNG VON PRODUKTPORTFOLIOS MITTELS SEMI-INFINITER OPTIMIERUNG

1 Transportpumpen

2 Betriebsfenster optimal ausgelegter Transportpumpen über einem Rechteck von Kundenspezifikationen. Das Optimierungsverfahren verwendet nur wenige der eigentlich unendlich vielen Spezifikationen (rote Punkte).

3 Konflikt zwischen Größe und Effizienz des Produktportfolios

Wie wir gemeinsam mit Unternehmen Produktportfolios optimieren – am Beispiel von Transportpumpen für die Wasserversorgung via semi-infiniter Optimierung.

Die Auslegung des Produktportfolios ist eine existenzielle Entscheidung für jeden produzierenden Betrieb. Es geht darum, den Spagat zwischen zufriedenen Kundinnen und Kunden sowie niedrigen Herstellungskosten zu meistern. Während die Frage der Auswahl aus einer endlichen Variantenvielfalt schon seit Langem mathematisch untersucht wird, findet sie bei der Produktion von Maschinen, die über skalierbare Eigenschaften wie Abmessungen oder Drehzahlen definiert werden, bislang wenig Beachtung.

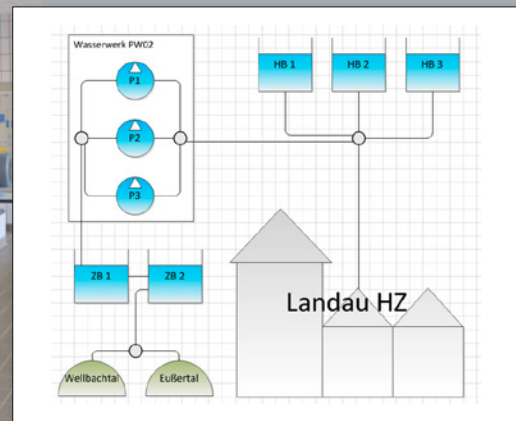
Herausforderung Transportpumpen: Welche Pumpe unter welchen Bedingungen?

Am Beispiel von Transportpumpen haben wir uns an dieses Problem gewagt und ein neues mathematisches Abdeckungsmodell entwickelt. Die Herausforderung ist hierbei, eine zusammenhängende Menge an Anforderungen der Endkunden/innen durch wenige, aber schmale Pumpenbetriebsfenster abzudecken. Praktisch bedeutet das, dass für alle betrachteten Kriterien eine hoch-effiziente Pumpe bereitsteht, während gleichzeitig die Portfoliogröße niedrig gehalten wird.

Das Abdeckungsmodell beschreibt das Problem über die betrachteten Mengen. Auf diese Formulierung lassen sich übliche Optimierungsverfahren nicht anwenden. Die Sprache der semi-infiniten Optimierung dient hier als Übersetzer. Grundlegende Lösungsansätze für die entstehenden Probleme gibt es auch bereits. Durch eine geschickte Kombination zweier solcher Ansätze haben wir ein Verfahren entwickelt, mit dem wir das semi-infinite Optimierungsproblem zur Produktportfoliooptimierung zügig näherungsweise lösen können.

Expertise nutzen: Methode zur Optimierung der Edelsteinproduktion übertragen

Unser Ansatz in der Produktportfoliooptimierung bestätigt eine Beobachtung aus einem früheren Projekt, dem Packen von Schmucksteinen in Rohedelsteine: Die semi-infinite Optimierung ist eine mächtige Sprache, um auf Mengen basierende Optimierungsaufgaben zu modellieren. Probleme dieser Art treten in der Industrie an vielen Stellen auf, besonders dort wo kontinuierliche Stellschrauben Produktionsprozesse mitbestimmen. Durch Fortentwicklungen theoretischer Lösungsverfahren für semi-infinite Probleme schöpfen wir dieses Potenzial weiter aus.



COpt₂ – OPTIMIERUNG KOMPLEXER TRINKWASSER-VERSORGUNGSNETZE

Im Rahmen des Projektes COpt₂ knüpfen wir an das erfolgreiche BMBF-Projekt H2Opt an, mit dem Ziel Energie und Kosten im Betrieb und bei der Planung der Trinkwasserversorgung zu sparen. Das Projekt wird durch den Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) und das Land Rheinland-Pfalz gefördert. Wir vereinfachen und verbessern den Arbeitsablauf der Wasserversorgungsunternehmen und entwickeln neue Ideen, einem Trinkwasserausfall vorzubeugen.

Im Vordergrund steht die Weiterentwicklung des Prototyps, der bereits in Worms eine Energieersparnis von etwa 30 Prozent nachweist. Neue Herausforderung ist die Erweiterung auf komplexere Trinkwassernetzwerke.

Wir untersuchen gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen der TU Kaiserslautern die Trinkwassergebiete der Wasserversorgung Germersheimer Südgruppe (WGS) rund um Jockgrim und das Versorgungsgebiet der EnergieSüdWest GmbH (ESW) in Landau. Neben der Entwicklung neuer Modellierungskonzepte beantworten wir Fragestellungen, die für die jeweiligen Versorger besonders interessant sind.

Kluge Algorithmen für Pumpenbetrieb

Die ESW fragt nach einer klugen Bewirtschaftung der Trinkwasserzischenspeicher. Denn, reichen die natürlichen Wasserressourcen im Sommer nicht aus, muss auf das Trinkwasser aus benachbartem Brunnengebiet zurückgegriffen werden. Das bedeutet mehr Energieaufwand. Auch möchte der Versorger eine Vermischung von Trinkwasser unterschiedlicher Qualität vermeiden, was wiederum mehr Aufwand bei der Überwachung bedeutet.

Das aus 13 zusammengeschlossenen Netzwerken bestehende Versorgungsgebiet der WGS ist aufgrund seiner Größe besonders interessant. Es erstreckt sich über mehr als 20 km in Nord-Süd-Richtung. Um den Trinkwassertransport zu steuern, bedarf es mehrerer Wasserwerke. Diese beeinflussen gegenseitig den Betrieb, was zu neuer Komplexität führt. Entsprechend passen wir die Algorithmik an, die notwendig ist, möglichst schnell und exakt beste Pumpenbetriebspläne zu berechnen.

1 Pumpenhalle eines Wasserwerks beim Projektpartner ESW

2 Beschreibung der Topologie der Trinkwasserversorgung der Landauer Hochzone mit Drag-and-Drop-Funktion des H2Opt-Prototypen



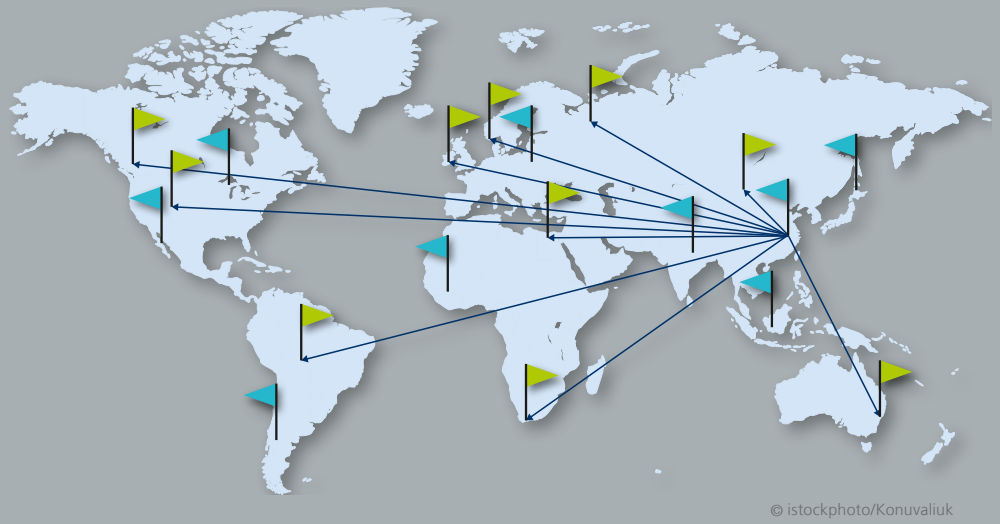
EUROPÄISCHER FONDS FÜR
REGIONALE ENTWICKLUNG



Rheinland-Pfalz

COpt₂ wird von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und dem Land Rheinland-Pfalz gefördert.





© istockphoto/Konuvaliuk

ROBUSTE PRODUKTIONSPLANUNG UNTER UNSICHERHEIT

1 Strategische Standortplanung

Moderne Unternehmen agieren in hochdynamischen Systemen und kurze Lieferzeiten sind ein entscheidender Wettbewerbsvorteil. Planungs- und Steuerungsentscheidungen, die sie treffen, müssen robust und flexibel sein sowie gleichzeitig unterschiedliche Planungsaspekte berücksichtigen. Wir entwickeln für Unternehmen individuelle Lösungen in Form von Softwaretools und mittels mathematischer Optimierung.

Effiziente Produktionsabläufe sind neben anderen Faktoren wesentliche Voraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg produzierender Unternehmen. Die Produktionsplanung leistet dazu einen wichtigen Beitrag, da ein Betriebsoptimum in der Regel erst durch die ganzheitliche Koordination aller Abläufe erreicht wird. Dabei genügt es jedoch nicht, dass Augenmerk auf den nächsten Tag zu richten. Vielmehr müssen alle Planungshorizonte von der nahen bis in die ferne Zukunft kontinuierlich adressiert, optimiert und auf einander abgestimmt werden:

- **Strategische Planung:** Der Ausbau der Produktionskapazitäten muss langfristig und vorausschauend geplant werden. Der Bau einer neuen Produktionslinie oder eines zusätzlichen Standorts benötigt schließlich viel Vorlauf. Da die zu tätigen Investitionen groß sind, die Planungsgrundlage oftmals jedoch vage, müssen Entscheidungstragende ihre Investitionen im Lichte unterschiedlicher Zukunftsszenarien bewerten.
- **Taktische Planung:** Im Rahmen der gegebenen Produktionskapazitäten müssen die Produktionsressourcen, dazu zählen Mitarbeitende, Vorprodukte und Rohstoffe, entsprechend der Absatzprognose beschaffen, vorhalten und mit entsprechendem Vorlauf einplanen. Darüber hinaus müssen mit Kundinnen und Kunden belastbare Liefertermine besprochen werden.
- **Operative Planung:** Es gilt Produktionsaufträge unter Berücksichtigung diverser technischer und organisatorischer Randbedingungen optimal einzuplanen. Die Produktionsressourcen sollen adäquat ausgelastet werden; Rüstzeiten vermieden werden; Synergien durch optimale Bündelung von Aufträgen gehoben werden.
- **Und zu guter Letzt** müssen sie Produktionspläne derart gestalten, dass kleinere Störungen problemlos kompensiert werden können und keine größere Neuplanung nach sich ziehen.

Die konkreten Herausforderungen einzelner Firmen unterscheiden sich zwar mitunter erheblich und erfordern individuelle Herangehensweisen. Gemeinsam haben sie jedoch die Frage nach dem



© istockphoto/yoh4nn

3

Umgang mit Unsicherheiten auf den verschiedenen Planungsebenen. Diese können in vielfältiger Weise auftreten, zum Beispiel in Hinblick auf die langfristige Entwicklung der Nachfrage, des mittelfristigen Kapazitätsbedarfs, in Form von kurzfristigen Schwankungen im Auftragsvolumen, der Verfügbarkeit der Maschinen und Rohstoffen, Rohstoffpreisen und des Auftretens von Störungen. Zu letzterem zählen insbesondere Maschinenausfälle und Qualitätsprobleme, die unmittelbare Maßnahmen erfordern.

2 Produktionshalle

3 Beim Planer

Entwicklung und Implementierung von kundenindividuellen Optimierungsverfahren

Im Allgemeinen sucht man in solchen Situationen nach robusten Produktionsplänen. Also solchen, die auch im Fall von Abweichungen von den Planungsannahmen zu guten Ergebnissen führen. Beziehungsweise solche, die mit wenig Aufwand angepasst und nachoptimiert werden können. In unserer Abteilung »Operations Research« haben wir in den vergangenen Jahren für verschiedene produzierende Unternehmen individuelle Lösungen für ihre Produktionsplanungsprobleme entwickelt. Das heißt:

- Auf der Basis von What-If-Szenarien bewerten wir Alternativen für den Kapazitätsausbau und beraten Unternehmen mithilfe dieser Analysen bei strategischen Entscheidungen. Wir zeigen auf, unter welchen Voraussetzungen sich eine Investition rentiert und welche flankierenden Maßnahmen die Investition gegebenenfalls absichern können.
- Wir haben Monte-Carlo Simulationen zum Lösen taktischer Planungsprobleme entwickelt und in die betriebliche Praxis gebracht. Dazu treffen wir im Dialog mit unseren Kunden Annahmen über die Verteilung der Auftragseingänge und analysieren, ob im Rahmen der planerischen Freiheitsgrade, effiziente Abläufe realisiert werden können.
- Wir haben Softwarewerkzeuge für die tägliche operative Planung entwickelt mit deren Hilfe unsere Kunden Produktionsreihenfolgen und den Materialeinsatz optimieren können. Dabei setzen wir je nach Anforderung individuelle Scheduling-Algorithmen und Verfahren zum Lösen von Packungsproblem ein.

Unsere Erfahrungen in diversen Branchen zeigen, dass sich die Entwicklung individueller Lösungen für Unternehmen auszahlt. Dies gelingt insbesondere, weil unsere maßgeschneiderte Lösungen, die die spezifischen Herausforderungen eines Unternehmens explizit adressieren, in der Regel die Ergebnisse von Branchenlösungen übertreffen.





FlexEuro – WIRTSCHAFTLICHE OPTIMIERUNG FLEXIBLER STROMINTENSIVER INDUSTRIEPROZESSE



Die wirtschaftliche Nutzbarmachung von Flexibilitätspotential in Zeiten volatilerer Energieangebote ist ein wichtiger Baustein für den Erfolg der Energiewende. Im BMWi geförderten Projekt FlexEuro wird am Beispiel des deutschen Aluminiumherstellers TRIMET die Bietstrategie an der Strombörse unter flexiblen Energiebedarfen optimiert. Dabei konzentrieren wir uns zunächst auf den Day-Ahead Markt. Wir betrachten das Problem mehrkriteriell und zeigen den Entscheidungsraum bezüglich Chancen und Risiken der resultierenden Kosten auf. Im Projekt arbeiten wir gemeinsam mit der Abteilung »Finanzmathematik«.



ONCORELIEF

ONCORELIEF – DIGITAL UNTERSTÜTZTE NACHSORGE BEI KREBSPATIENTINNEN UND -PATIENTEN

Ziel des EU-Projekts ONCORELIEF ist die Entwicklung eines intelligenten digitalen Assistenzsystems für die posttherapeutische Verbesserung des Wohlbefindens und Gesundheitsstatus von Krebspatienten. Dieser digitale Schutzengel soll die Lebensqualität von Patientinnen und Patienten anhand der relevanten Einflussfaktoren bewerten, Interventionsbedarf durch Big Data-Analyse frühzeitig erkennen und geeignete Supportmaßnahmen mittels künstlicher Intelligenz identifizieren, welche die Person selbst oder eine ihn betreuende Person durchführt. In diesem Projekt kooperiert der Bereich Optimierung mit Partnern aus Medizin, Wissenschaft und Industrie aus sieben Ländern.

IDSAIR – ENTWICKLUNG VON INSTRUMENTEN FÜR DIE DYNAMISCHE SYSTEMANALYSE IN DER RESILIENZ-FORSCHUNG

Das Deutsche Resilienzzentrum (DRZ) unter der Leitung von Prof. Dr. Klaus Lieb hat mit unserem Institut 2019 einen Kooperationsvertrag geschlossen. Basierend darauf haben wir eine Zusammenarbeit im Projekt IDSAIR zur Aufbereitung von Daten und zur Vorbereitung von Entscheidungsunterstützung in der Vorbeugung und der Behandlung psychischer Krankheitsbilder begonnen. Der Bereich »Optimierung« bringt ihre Erfahrungen zur daten- bzw. modellbasierten Entscheidungsunterstützung bei der Behandlung komplexer Krankheitsbilder ein. Gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen vom DRZ und der Universitätsmedizin Mainz arbeiten wir an Softwarekomponenten zur Visualisierung von patientenbezogenen Daten. Diese unterstützen im klinischen Alltag bei schnellen und patientenindividuell optimalen Diagnosen und Therapieempfehlungen.



DR. ANDREAS WAGNER
ABTEILUNGSLEITER

METHODENKOMPETENZ IN FINANZMATHEMATIK, STOCHASTIK UND DATA SCIENCE

Unsere Abteilung hat ihre methodischen Leitplanken in Data Science und Finanzmathematik. Data Science bezeichnet ein interdisziplinäres Wissenschaftsgebiet mit dem Ziel, Erkenntnisse aus Daten zu gewinnen. Dabei kommen oft Methoden aus dem Machine-Learning zum Einsatz, die die Grundlage für viele Anwendungen im Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) sind. Die Finanzmathematik beinhaltet die stochastische Modellierung, Simulation und Optimierung sowie statistische Verfahren.

Wir nutzen unsere Kompetenzen, um in branchenübergreifenden Schwerpunkten nachhaltige Beiträge zu den aktuellen gesellschaftlichen Herausforderungen zu leisten: demographischer Wandel, Energiewende und Digitalisierung. Wir sind überzeugt davon, dass Zusammenarbeit mehr Wert generiert als die Summe der Einzelteile, daher kooperieren wir mit Partnern aus dem Institut, der Wissenschaft und der Industrie.

Im Schwerpunkt Altersvorsorge haben wir in Kooperation mit der Produktinformationsstelle Altersvorsorge einen ganzheitlichen Blick auf die Altersvorsorge in Deutschland und Europa.

Im Energiesystem der Zukunft werden Flexible Lasten wichtiger. Diese werden preissensitiv im Stromhandel agieren, damit ist eine Grundannahme vieler Modelle hinfällig und wir entwickeln in diesem Schwerpunkt neue Lösungen.

Im Zuge der Digitalisierung von Prozessen ergeben sich neue Möglichkeiten, Abrechnungsvorgänge effizient zu prüfen. Wir haben bereits Prüfungstools für mehrere Branchen entwickelt und arbeiten eng mit der Industrie an neuen Algorithmen. Im nächsten Jahr bauen wir unsere Kompetenz in puncto Gesundheitswirtschaft aus und arbeiten mit Staatsanwaltschaft und Polizei an der Prüfung von Pflegedienst-Abrechnungen.

Kontakt

andreas.wagner@itwm.fraunhofer.de

www.itwm.fraunhofer.de/fm

SCHWERPUNKTE UND ANWENDUNGEN

- Altersvorsorge und Lebensversicherungen
 - Flexible Lasten am Energiemarkt
 - Abrechnungsprüfung
-





KREDIT-RATINGS FÜR MIKROFINANZINSTITUTE

Das Ziel von Mikrofinanzinstituten ist es, auch einkommensschwachen Kreditnehmenden, typischerweise in einem Entwicklungs- oder Schwellen-Land lebend, die Möglichkeit zu geben, Finanzdienstleistungen, wie z. B. Kontoführung und Kreditaufnahme zu günstigen Konditionen, in Anspruch nehmen zu können. Ein Mikrofinanzfonds ist nun ein für das Publikum offener Fonds, der darauf spezialisiert ist, in Mikrofinanzinstitute durch Kreditvergabe zu investieren und diese so bei ihrer Refinanzierung zu unterstützen.

Im hier vorgestellten Projekt entwickeln wir ein Softwaretool, das dabei unterstützt, solche Mikrofinanzfonds, d. h. das Portfolio der an Mikrofinanzinstitute vergebenen Kredite, zu bewerten. Trotz fortschreitender Digitalisierung mangelt es in vielen Situationen weiterhin an ausreichenden Datenmengen, um stabile Modellkalibrierungen leicht vornehmen zu können. Dies macht aufwändige statistische Methoden erforderlich, z. B. um sich gegen ein Overfitting und Instabilitäten abzusichern. Dabei ist es häufig nicht das Problem, viele potentielle erklärende Variablen zu erheben, sondern es ist vielmehr die Stichprobengröße, die zu klein ist und nicht ohne Weiteres erhöht werden kann. Auch wenn gelegentlich der Eindruck entsteht oder erweckt wird, dass alle Probleme mit Big Data und hochgradig automatisierten und standardisierten Machine-Learning-Methoden angegangen werden können. Häufig erfordert die Datenlage einen maßgeschneiderten Ansatz und eine individuelle Analyse.

So auch im hier vorgestellten Projekt, in dem wir Ausfallwahrscheinlichkeiten für Mikrofinanzinstitute (MFI) bestimmen. MFIs wurden bekannt durch den 2006 an Muhammad Yunus verliehenen Friedensnobelpreis. Es handelt sich dabei um Banken, die Kleinstkredite an Kundinnen und Kunden in Entwicklungs- oder Schwellen-Ländern vergeben. Diese Personengruppe hat häufig mit dem Problem zu kämpfen, dass sie meist keinen normalen Zugang zum Bankensystem hat, z. B. mangels der Möglichkeit, ein Bankkonto zu eröffnen, und somit, wenn überhaupt, nur unter erschwerten Bedingungen oder zu ungünstigen Konditionen Finanzdienstleistungen in Anspruch nehmen kann.

Herausforderung: Wahl des Modells

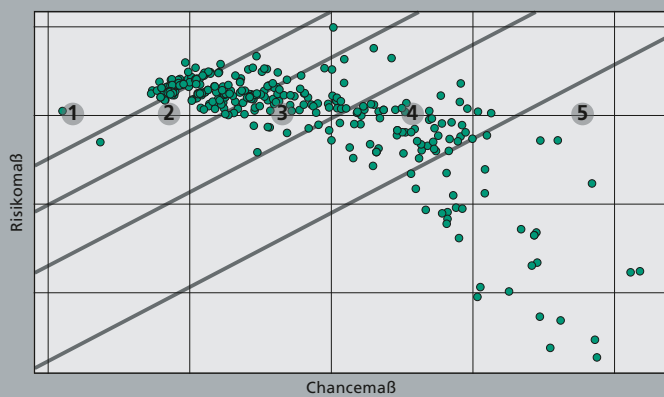
Es handelt sich bei den MFI um einen eher kleinen Markt, mit kurzer Datenhistorie. Die zur Verfügung stehenden Daten bestehen also zwangsläufig aus einer kleinen Stichprobe. Hinzu kommt, dass es nur wenige Ausfälle im Beobachtungszeitraum gab und die Schätzung von kleinen Ausfallwahrscheinlichkeiten schwierig ist. Andererseits liefern MFIs (zum Teil monatlich) viele (Bilanz-)Kennzahlen, sodass schnell klar ist, dass die Hauptschwierigkeit in der Wahl des

Modells liegt. Da sich bei den zur Verfügung stehenden Daten klassische Kreuz-Validierungs-Ansätze und out-of-sample Backtesting-Methoden als instabil erwiesen, haben wir einen Ansatz verfolgt, der auf der rechen-intensiven Verwendung von Permutations-Tests basiert. Dazu wurden mittels eines Forward-Search-Verfahrens eine Folge von Modellen ansteigender Komplexität konstruiert. Da viele erklärende Variablen zur Verfügung standen, war es leicht, eine hohe Trennschärfe auf den historischen Daten zu erzielen. Im Fokus stand jedoch besonders, ein Overfitting, sowie eine instabile Modellkalibrierung, zu vermeiden. Die entscheidende Herausforderung bestand somit in der Wahl eines geeigneten Abbruchkriteriums in der Forward-Search. Dieses Kriterium definierten wir mit Hilfe eines Permutations-Tests. Anders als bei klassischen Devianz-Tests oder Informationskriterien, basieren Permutations-Tests auf exakten Verteilungen – approximiert mittels einer Monte-Carlo-Simulation. Es werden also keinerlei, häufig schlecht zu rechtfertigende oder nur schwierig überprüfbare, Verteilungsannahmen getroffen.

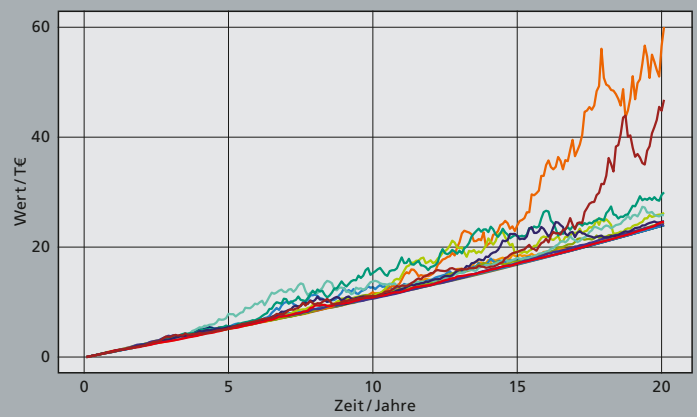
Individuelle Analyse umgesetzt in Software

Ganz typisch für die Herangehensweise in unseren Industrieprojekten, haben wir ein Software-tool entwickelt, das die statistische Analyse automatisiert und durchführt – vom Datenimport über das automatisierte Preprocessing, den Kalibrierungsmethoden bis hin zu den diagnostischen Visualisierungs- und Test-Methoden. Wir setzen eine stabile Kalibrierungsmethode ein, die ein schnelles Neukalibrieren ermöglicht, sobald neue Daten zur Verfügung stehen. Auch die Wahl des Modells ist halbautomatisch umgesetzt, sodass wir diese mit wenig Aufwand überprüfen oder bei Bedarf erneut durchführen können. Die geschätzten Ausfallwahrscheinlichkeiten nutzen wir zur Bewertung eines Fonds von Krediten, vergeben an Mikrofinanzinstitute und ermöglichen so die Bestimmung von Preisen von Fonds-Anteilscheinen. In unserer Softwarelösung haben wir die Bewertung von verschiedenen Kredittypen, mit standardisierten und individuellen Tilgungsplänen sowie unterschiedlichen Zinsvereinbarungen (fixed/floating, caps/floors), umgesetzt.





1



2

KLASSIFIZIERUNG PRIVATER ALTERSVORSORGE-PRODUKTE

1 Eine Übersicht der Chancen-Risiko-Klassen-Einteilung verschiedener privater Altersvorsorgeprodukte

2 Die Wertentwicklung eines privaten Altersvorsorgeproduktes simuliert über die Zeit auf verschiedenen Pfaden

Seit 2016 klassifizieren wir im Auftrag der Produktinformationsstelle Altersvorsorge gGmbH (PIA) alle Altersvorsorgeprodukte, die durch staatliche Zulagen gefördert werden. Diese benötigen nach dem Altersvorsorge-Verbesserungsgesetz seit Anfang 2017 ein Produktinformationsblatt, das insbesondere eine Chancen-Risiko-Klasse (CRK) ausweist. Die Aufgabe, diese CRK festzulegen, wurde durch das Bundesministerium der Finanzen (BMF) der PIA auf dem Wege der Beleihung übertragen.

Für die Klassifizierung werden auf Basis eines von uns entwickelten Marktmodells für die Zins- und Aktienpreisentwicklung (PIA-Basismodell) mögliche Marktszenarien für die gesamte Laufzeit der Produkte erzeugt. Die Einteilung in eine von fünf Chancen-Risiko-Klassen erfolgt relativ zu Referenzportfolios, die die Grenzen zwischen den Klassen bestimmen. Diese werden ebenso wie die ermittelte CRK auf Basis aktueller Marktdaten jährlich überprüft.

Die Simulation berücksichtigt neben der gewählten Vertragsform (klassische Lebensversicherung, Fondssparplan) die Anlageentscheidungen des Managements sowie die einbehaltenen Kosten. Nach dem Gesetz werden diese Szenarien für Musterkundinnen und -kunden mit einem Zeithorizont von 12, 20, 30 und 40 Jahren erzeugt, die monatlich oder einmalig zu Vertragsbeginn einzahlen.

PIA-Basismodell als Branchenstandard

Insgesamt haben wir bereits mehr als 1600 Klassifizierungen durchgeführt. Einzelne Aspekte des Klassifizierungsverfahrens entwickeln wir stetig weiter, wie beispielsweise die jährliche Kalibrierung des Marktmodells oder die mathematische Abbildung verschiedener Anlagegüter. Außerdem haben wir in unserem Buch »Praxishandbuch Lebensversicherungsmathematik: Simulation und Klassifikation von Produkten« (VfW GmbH, 2019) die theoretischen Grundlagen und darüber hinausgehende Forschungsarbeit rund um das Thema dargestellt.

Das PIA-Basismodell hat sich in den letzten Jahren als Branchenstandard in Deutschland etabliert. Auf europäischer Ebene wird im Rahmen der PRIIPs-Verordnung ein in der Branche anerkanntes Marktmodell benötigt. Die Deutsche Aktuarvereinigung e. V. (DAV) empfiehlt die Nutzung des PIA-Basismodells für Deutschland, andere Länder (z.B. Österreich) haben diesen Vorschlag in angepasster Form übernommen. Auch im Bereich der betrieblichen Altersvorsorge kann das PIA-Basismodell zum Tarifvergleich verwendet werden.



ABRECHNUNGSPRÜFUNGEN IN DER AUTOMOBIL-INDUSTRIE

Bei Versicherungen gehört die Prüfung von Abrechnungen dazu, um die Qualität sowie die Rentabilität aufrecht zu erhalten. Der Umfang und die Bestandteile einer Abrechnung weisen eine hohe Variabilität auf. Die Prüfung der Abrechnungen ist deshalb mit hohem Aufwand verbunden und bei stetig steigender Anzahl nicht vollumfänglich manuell durchführbar. In Zusammenarbeit mit einem Fahrzeughersteller entwickeln wir Tools zur Unterstützung bei der Datenanalyse, Prüfung und Qualitätskontrolle.

Unsere Analysen beziehen sich im Speziellen auf Gebraucht- und Neuwagengarantien. Hier stehen uns verschiedene Datenquellen zur Bearbeitung und Auswertung zur Verfügung. Die Vielzahl der Anforderungen und Datenquellen erfordert Tools für unterschiedliche Zielgruppen.

Interaktive Datenanalyse und userfreundliche Datenvisualisierung

Zur ersten Analyse von Abrechnungen steht dem Anwendenden ein interaktives Datenanalyse-tool zur Verfügung. Hier ist es den Analytinnen und Analysten möglich, eigenständige Analysen durchzuführen. Die Umsetzung erfolgt mit R-Shiny. Im Weiteren konnten Daten von Audits zur Auswertung und Verarbeitung bereitgestellt werden. Für die Untersuchung dieser Daten hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung und Relevanz für weitere Analysen wurden, in Zusammenarbeit mit dem Fahrzeughersteller, relevante Fragestellungen ermittelt. Hierbei haben wir speziell den Fokus auf die Visualisierung und anwenderfreundliche Nutzung durch die Auditoren gesetzt.

Maschinelles Lernen zur Auffälligkeitsdetektion

Bei der Entwicklung des Tools zur Unterstützung der Abrechnungsprüfung greifen wir auf maschinelle Lernverfahren zurück. Ausgehend vom ersten Datensatz wurden verschiedene Verfahren implementiert. Diese reichen von einfachen deterministischen Regeln über klassische statistische Methoden bis hin zu modernen unsupervised Verfahren.

Standards für nicht gelabelte Daten

Eine wichtige Fragestellung zur Qualitätskontrolle ist die Ermittlung von Standards. Hierfür ist eigens ein Decision Tree entwickelt worden. Dieser ermittelt aus den nicht gelabelten Daten ein Standardvorgehen. Basierend auf diesem sind verschiedene Visualisierungen von abweichenden Anträgen untersucht worden. Hierfür haben wir Kenngrößen identifiziert, um bei kategorischen Daten Abstände zu bestimmen. Durch R-Dashboards erfolgt die kooperative Prüfung und Weiterentwicklung der Algorithmen und Visualisierungen mit dem Nutzenden.





»BAUHAUS.MOBILITYLAB« ÜBERZEUGT BEI KI-INNOVATIONSWETTBEWERB

Mit Hilfe Künstlicher Intelligenz werden ab 2020 Produkte und Dienstleistungen in den Bereichen Mobilität, Logistik und Energie entwickelt und unter realen Bedingungen erprobt. Ein Konsortium unter Federführung der Fraunhofer-Gesellschaft hat sich erfolgreich am »KI-Innovationswettbewerb« des BMWi beteiligt. Mit rund 17 Millionen EUR soll das »Bauhaus.MobilityLab« in den kommenden drei Jahren zu einem Leuchtturm der Mobilitäts- und Energiewende werden. Die Abteilungen »Finanzmathematik« und »High Performance Computing« sind an dem Projekt beteiligt.



BMW-PROJEKT FLEXEURO: VERMARKTUNG VON FLEXIBILITÄT AM ENERGIEMARKT

Flexibilität im Stromversorgungssystem ist zu einem Schlagwort der Stunde avanciert. Hohe Preisschwankungen an den Kurzfristmärkten zeigen deren wirtschaftlichen Wert. Im BMWi-geförderten Projekt FlexEuro entwickeln wir gemeinsam mit der Abteilung »Optimierung – Operations Research« Modelle und Methoden für die optimale Vermarktung von Lastflexibilitäten an verschiedenen Strommärkten.



FRAUNHOFER ITWM VERÖFFENTLICHT FINANZ-MATHEMATISCHES FACHBUCH

Unter Federführung von Prof. Dr. Ralf Korn und Dr. Andreas Wagner haben die Mitarbeitenden der Abteilung »Finanzmathematik« im Dezember 2019 ein Fachbuch zur Lebensversicherungsmathematik herausgegeben. In der Herausgeberschrift mit dem Titel »Praxishandbuch Lebensversicherungsmathematik: Simulation und Klassifikation von Produkten« erklären die Autoren die praktischen Aspekte der Simulation und Klassifikation von Altersvorsorgeprodukten.



MATHEMATIK FÜR DIE FAHRZEUGENTWICKLUNG

DR. KLAUS DRESSLER
BEREICHSLIMITER

DR.-ING. JOACHIM LINN
ABTEILUNGSLEITER



SIMULATIONSGESTÜTZTE ENTWICKLUNG UND PRODUKTIONSOPTIMIERUNG IN DER FAHRZEUGINDUSTRIE

Der Bereich gliedert sich in die zwei Abteilungen Dynamik, Lasten und Umgebungsdaten (DLU) und Mathematik für die digitale Fabrik (MDF), die Projektgruppe Reifensimulation (CDTire) und die Querschnittseinheit MF-Technikum, die das Simulatorlabor mit RODOS und das Messfahrzeug REDAR betreibt und sich um alle Versuchs- und Messtechnikaufgaben des Bereichs kümmert.

In der Abteilung Dynamik, Lasten und Umgebungsdaten entwickeln wir Methoden und Werkzeuge zur Datenanalyse und Systemsimulation. Dabei setzen wir auf eine problemadäquate bestmögliche Kombination von physikbasierter und datenbasierter (KI, ML) Modellierung. Besonderes Augenmerk gilt der Einbeziehung von digitalen Umgebungsdaten und der Simulation der Nutzungsvariabilität. Damit adressieren wir die Fahrzeugentwicklungsattribute Betriebsfestigkeit, Zuverlässigkeit, Energieeffizienz und ADAS/AD. Passend dazu fokussieren wir unsere Aktivitäten zur Systemsimulation auf die Fahrzeug-Umwelt-Mensch-Interaktion und entwickeln Reifensimulationsmodelle und Methoden zur invarianten Systemanregung.

Mathematik für die digitale Fabrik bündelt die Aktivitäten zur Entwicklung von Softwaretools für die virtuelle Produktentwicklung und Produktentstehung. Unser gemeinsam mit dem FCC in Göteborg entwickeltes Softwareprodukt IPS Cable Simulation unterstützt die virtuelle Auslegung, Optimierung und Absicherung für Montage und Betrieb von Kabeln, Kabelbäumen und Schläuchen. Darüber hinaus haben wir mit IPS IMMA ein digitales Menschmodell entwickelt, um Montageprozesse virtuell zu optimieren.

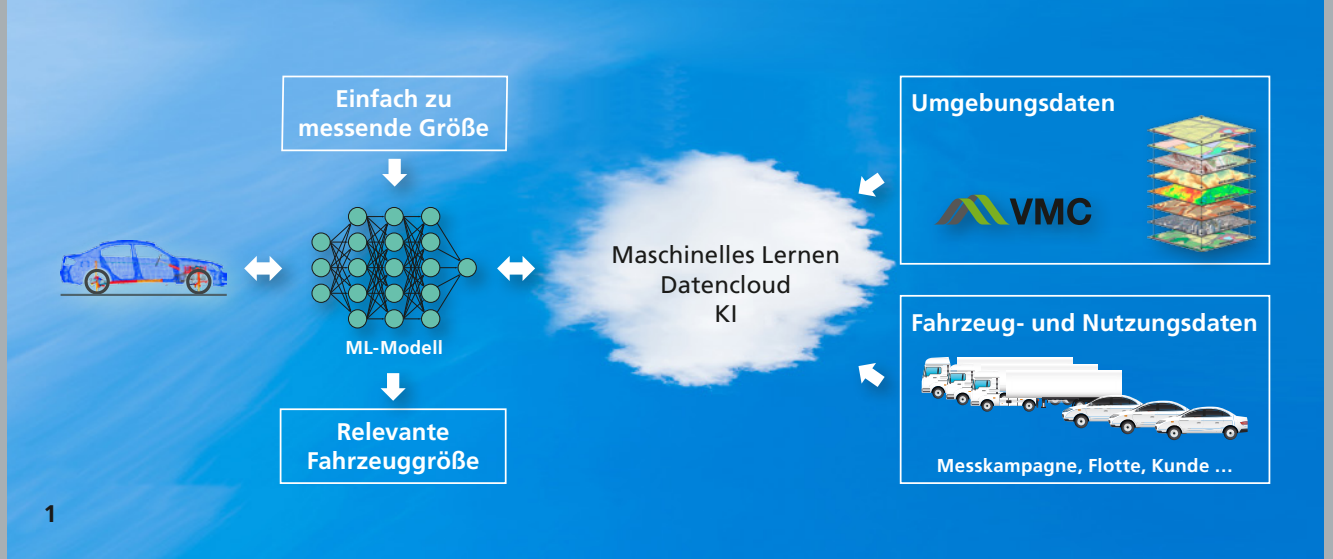
Kontakt

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

SCHWERPUNKTE

- Dynamik und Systemsimulation
 - Lastdaten und Betriebsfestigkeit
 - Datenanalyse, künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen
 - Reifensimulation – CDTire
 - Menschmodelle und Mensch-Maschine-Interaktion
 - Technikum: HMI und Fahrsimulatoren
 - Kabel, Schläuche und flexible Strukturen
-





KÜNSTLICHE INTELLIGENZ UND MASCHINELLES LERNEN IN DER FAHRZEUGENTWICKLUNG

1 Umgebungsdaten, Fahrzeugdaten und Modelle unterstützen die Entwicklung moderner Fahrzeuge und ihren Betrieb

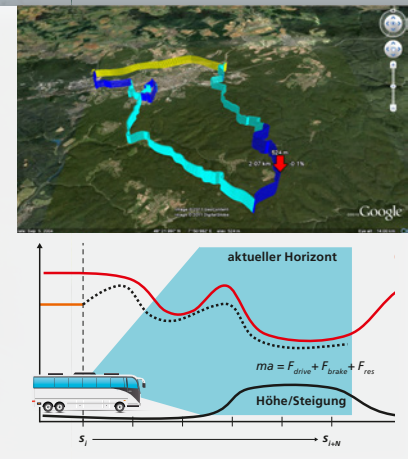
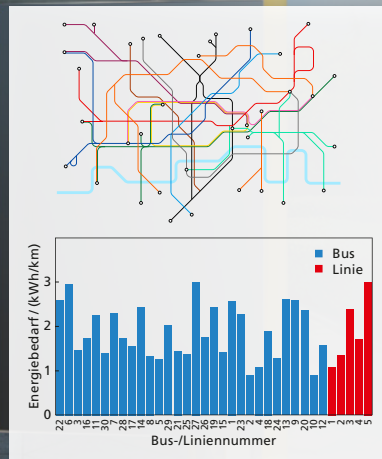
Im Fahrzeugbereich nimmt die Verfügbarkeit von Daten seit Jahren stark zu; dies betrifft neben direkt am Fahrzeug gemessenen Größen auch Umgebungsdaten. So existieren historische Messungen aus Kampagnen, und zusätzlich zeichnen moderne Fahrzeuge im Betrieb zunehmend Daten kontinuierlich auf. Auch Technologien zur Datenerfassung, Datenverwaltung und zur rechnerischen Datenverarbeitung haben sich stetig verbessert und weiterentwickelt. Beides ermöglicht es, mit geeigneten Verfahren und Werkzeugen der datenbasierten Mathematik, der Künstlichen Intelligenz (KI) und des Maschinellen Lernens (ML) aus vorhandenen Datenmengen immer mehr wertvolle Erkenntnisse und Informationen zu gewinnen – und diese frühzeitig im Entwicklungsprozess einzusetzen.

Das konkrete Anwendungsfeld solcher Methoden und Techniken ist dabei reichhaltig und vielfältig. So können beispielsweise trainierte ML-Modelle vorhandene Simulationstools ergänzen bzw. deutlich effizienter machen. Andere wichtige Bereiche sind Systeme zur Maschinenüberwachung (Monitoring und Predictive Maintenance) sowie Regelsysteme direkt am Fahrzeug (z. B. ADAS/AD-Systeme) oder auch am Prüfstand.

Erkennung von Nutzungsszenarien aus Fahrzeugdaten

Für den Entwicklungsprozess ist es von besonders großem Interesse, möglichst genaue Kenntnis über die tatsächliche Nutzung eines Fahrzeugtyps zu haben, um beispielsweise Auslegungsziele und Erprobungskriterien festzulegen. Typische Quellen solcher Informationen sind historische Erkenntnisse sowie Schätzungen auf Basis von Vertrieb und Verkauf; diese Informationen können jedoch sehr unsicher sein und sind oft auch nicht direkt auf den tatsächlichen Maschinenbetrieb abgestützt.

Wir setzen an dieser Stelle einen ML-basierten Detektionsalgorithmus ein, der die Nutzungsart (z. B. ‚Graben‘ beim Bagger), basierend auf Maschinen- bzw. Fahrzeugdaten, identifiziert. Am Fahrzeug oder an der Maschine aufgezeichnete Daten werden entweder in aggregierter, grober Form gespeichert oder in regelmäßigen Abständen an eine Cloud gesendet. Ist ein entsprechendes ML-Modell trainiert, können – angewandt auf Maschinendaten – sehr genaue regionen- und kundengruppenspezifische Nutzungsprofile erstellt werden.



1

ENERGIEBEDARFSANALYSE FÜR BUSSE IM LINIENNETZ

Seit vielen Jahren beschäftigen wir uns mit der Synthese von Messdaten, geografischen Daten und Fahrzeugsimulation in den Bereichen Zuverlässigkeit, Betriebsfestigkeit und Energieeffizienz. Dabei adressieren wir bisher hauptsächlich die Entwicklungsabteilungen von Fahrzeugherstellern. Die hier am Beispiel von Bussen auf einem gegebenen Liniennetz vorgestellten Methoden können aber auch bei den Betreibern von Fahrzeugflotten eingesetzt werden, etwa um das Potential für den Einsatz von E-Fahrzeugen zu bewerten.

1 *Energieanalyse aus der Kombination von geografischen Daten, Liniennetzplan und Simulationsmodellen*

Betrachten wir ein Busliniennetz eines Betreibers bzw. eines möglichen Kunden des Fahrzeugherstellers, so können wir mithilfe der geografischen Daten und geeigneten Auswertemethoden die Linienverläufe hinsichtlich energierelevanter Größen analysieren. Dafür nutzen wir die Toolbox Virtual Measurement Campaign VMC®, eine georeferenzierte Datenbank mit einer vielfältigen Palette von Analyseverfahren. Energierelevante Größen sind beispielsweise die erwartete Anzahl von Stoppereignissen (Bushaltestellen, Ampeln usw.), die Verkehrsdichte oder der Höhenverlauf und die korrespondierenden Steigungen.

Bewertung und Vergleich von Buslinien

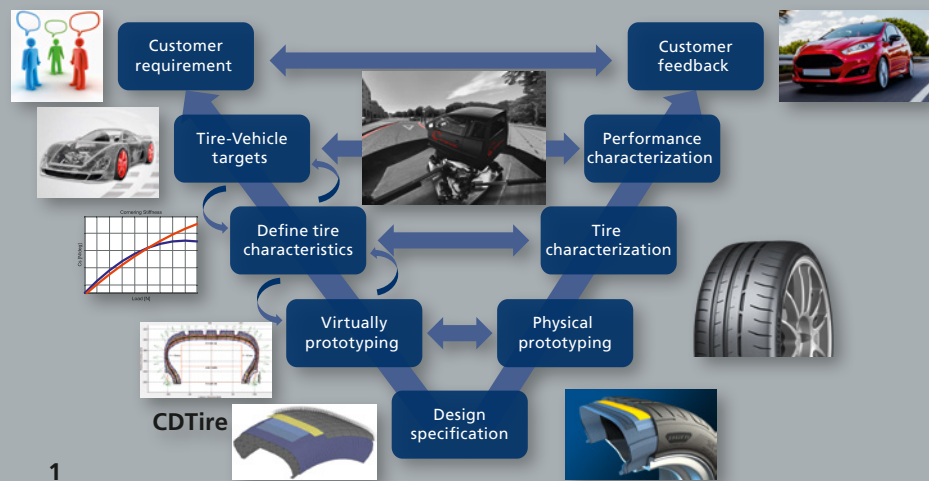
Jede Buslinie kann so bewertet und mit anderen Linien verglichen werden, ebenso natürlich die gesamten Liniennetze in verschiedenen Städten. Mithilfe unserer VMC-Fahrzeugmodelle simulieren wir den Energiebedarf – hier als reinen Fahrbedarf »am Rad«, ohne die Verluste im Triebstrang oder Nebenverbraucher wie Klimaanlage, Lenkung, Türen). Falls vorhanden, setzen wir auch am Fahrzeug direkt ermittelte Messdaten ein oder kombinieren Messung und Simulation.

Rückkopplung mit der Einsatzplanung

Verbinden wir diese Ergebnisse nun mit Daten aus der Einsatzplanung der Busse, so können wir die Verteilung des zu erwartenden Energiebedarfs der Busse berechnen. Die oben dargestellte Skizze illustriert diesen Prozess. Auf diese Weise bewerten wir einen möglichen Einsatz von E-Bussen auf dem vorhandenen Streckennetz unter der gegebenen Einsatzplanung; wir können aber auch die Einsatzplanung aufgrund von Leistungsdaten eines neuen Busses anpassen. Zur Ableitung von Teststrecken führen wir entsprechende Auswertungen für einzelnen Linien durch und setzen diese mit den Busdaten in Beziehung.

Weitere Anwendungsbeispiele sind die Optimierung der Triebstrangkongfiguration oder die generelle Eignung eines Antriebskonzeptes für ein gegebenes Anwendungsszenario.





CDTIRE IM EINSATZ BEI GOODYEAR

1 Entwicklungsmodell Reifen

Der Reifenhersteller Goodyear nutzt seit einigen Jahren unsere Software-Suite CDTire als Reifenmodell in der virtuellen Vorentwicklung bis hin zum Einsatz für subjektive Reifen-/Fahrzeugbewertungen durch professionelle Testfahrer am Fahrsimulator. Goodyear zieht eine durchweg positive Bilanz unserer Zusammenarbeit.

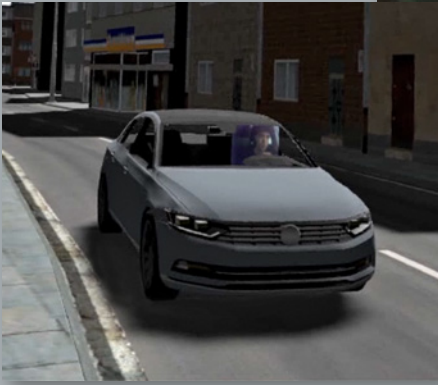
Trotz großer Fortschritte im Bereich von Fahrzeugsimulationen werden noch viele Labor- und Fahrzeugtests herangezogen, um Simulationsstudien zur Neuentwicklung von Reifen zu validieren. Diese Tests bedeuten jedoch einen hohen Zeit- und Kostenaufwand. Ein Grund für den Einsatz dieser aufwändigen Reifencharakterisierungsprogramme liegt darin, dass die meisten Reifenmodelle, die sich für Fahrzeugmodell-Simulationen eignen, nach wie vor Messungen an realen Reifen zur Parametrisierung erfordern. Ein potentieller Vorteil der Verwendung physikalischer oder weitgehend physikalischer Reifenmodelle wie CDTire ergibt sich deshalb aus deren Eigenschaft, Modellparameter mit definierter physikalischer Bedeutung zu nutzen. Diese ermöglichen es, den Aufwand an Tests und Parameterisierungsschritten zu minimieren. Gleichzeitig erlauben diese physikalisch motivierten Modellparameter eine Modifikation der intrinsischen Reifeneigenschaften zur gezielten Abtastung des Entwicklungsspielraums.

Reifenmodell mit Messungen validiert

Goodyear verwendet erfolgreich die Modellfamilie CDTire zur virtuellen Untersuchung des Designraums bei der Reifenvorentwicklung. Dies wurde in einem gemeinsamen Projekt von Goodyear und unserer Gruppe bestätigt. Dabei haben wir zunächst CDTire/3D als Referenzreifenmodell mit Messungen an einem konkreten Reifen validiert. CDTire/3D ist ein Reifenmodell, das aus mechanischen und physikalischen Elementen mit vordefinierter räumlicher Auflösung besteht.

Bewertung durch professionelle Testfahrer

Im Projekt wurde gezeigt, dass bei systematischer Änderung der strukturmechanischen Elemente eine typische Erfassung des Entwicklungsraums erzielt werden kann. Wird dieser Prozess in den Bereich der Fahrzeugentwicklung übertragen, ist es möglich, Gesamtfahrzeugsimulationen mit den virtuell erzeugten Reifenmodellen durchzuführen und zu analysieren, wie sich diese Reifenmodelle auf die Fahrleistungen auswirken. Abschließend wurden die CDTire/3D-Reifenmodelle dieser Studie in Echtzeitmodelle transformiert, um eine Driver-in-the-loop-Bewertung auf einem Fahrsimulator zu ermöglichen. Als Ergebnis dieser Echtzeitmodell-Untersuchungen entstanden subjektive Reifen-/Fahrzeugbewertungen von professionellen Testfahrern, die mit den Erwartungen aus objektiv ermittelten Fahrleistungen verglichen wurden.



1



2



3

VERNETZTE FUSSGÄNGER- UND FAHRZEUGSIMULATOREN FÜR DIE FAHRZEUGENTWICKLUNG

Die Interaktion zwischen Fußgängern und Fahrzeugen spielt für die Sicherheit im Straßenverkehr eine wesentliche Rolle. Auch für die Entwicklung und Prüfung von Fahrassistenzsystemen ist es wichtig, das Verhalten von Fußgängern einschätzen zu können. Durch die Vernetzung eines Fußgängersimulators und eines hochwertigen Fahrsimulators untersuchen wir die Kommunikation zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmern unter sicheren, kontrollierten und wiederholbaren Bedingungen.

Simulatoren für Fußgänger und Autofahrer

Wir setzen virtuelle Realitätstechnologie ein, um eine Person in die Rolle eines Fußgängers zu versetzen. Durch ein Ganzkörpertracking kann diese Person sich natürlich in der computergenerierten Umgebung bewegen und auf typische Verkehrssituationen reagieren. Zeitgleich wird ihr Verhalten aufgezeichnet und auf den Körper eines virtuellen Menschen übersetzt. Eine weitere Person übernimmt im Fahrsimulator RODOS® (Robot based Driving and Operation Simulator) die Kontrolle über ein virtuelles Fahrzeug, in dem der Fahrer per Videoaufzeichnung für den Fußgänger auch zu sehen ist.

Durch die Verschaltung der beiden Simulatoren treffen Fußgänger und Fahrer auf der virtuellen Straße aufeinander. Dieser Aufbau erlaubt es, das Verhalten von Fußgängern und Fahrern in Reaktion auf sich realistisch verhaltende Verkehrsteilnehmer zu betrachten und zugleich auch die Kommunikation zwischen ihnen abzubilden und zu erforschen.

Simulatorstudien mit mehreren Verkehrsteilnehmern

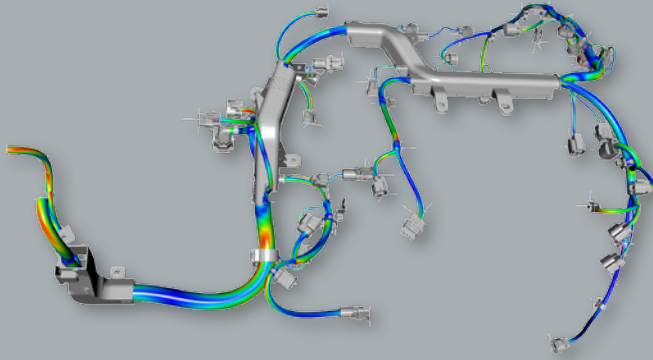
Im letzten Jahr verglichen wir insbesondere die Reaktion von Fußgängern auf menschliche Fahrer mit ihrer Reaktion auf autonome Fahrzeuge. Hierzu gehört die Fähigkeit von Fußgängern, hochautomatisierte Fahrzeuge bereits anhand ihres Fahrverhaltens von menschlichen Fahrern zu unterscheiden, sowie die Veränderungen im Verhalten der Fußgänger, wenn sie erkennen, dass sie es mit autonomen Fahrzeugen zu tun haben. Der sicherheitsbedachte, defensive Fahrstil autonomer Fahrzeuge kann Fußgänger dazu verleiten, selbst riskanter zu agieren.

Ergebnisse aus Simulatorstudien, welche die Perspektive mehrerer Verkehrsteilnehmender bedenken, geben neue Impulse und eine gesicherte Datengrundlage für die Entwicklung von autonomen Fahrzeugen und Fahrassistenzsystemen.

1 + 2 Interaktion zwischen einem Fußgänger und einem Autofahrer in vernetzten Simulatoren

3 Virtuelle Realität-basierte Fußgängersimulation: Übersetzung natürlicher Bewegung auf einen Avatar





1

© fleXstructures GmbH



2

© KARL STORZ SE & Co. KG

THREAD – MODELLIERUNG UND SIMULATION FLEXIBLER STRUKTUREN FÜR INDUSTRIEANWENDUNGEN

1 Mechanisches Layout
eines Kabelbaums in IPS
Cable Simulation

2 Gastroskop mit zwei
Arbeitskanälen

Im Rahmen des von der EU geförderte Doktorandennetzwerks »THREAD – Joint Training on Numerical Modelling of Highly Flexible Structures for Industrial Applications« arbeiten 14 Nachwuchsforschende an zwölf Universitäten und Forschungseinrichtungen aus acht europäischen Ländern an der Aufgabenstellung, dünne flexible Strukturen wie Seile, Kabelbündel und Schläuche zukünftig besser zu modellieren und im Computer simulieren zu können.

Das Einsatzspektrum der in THREAD entwickelten Simulationsmodelle reicht von Seilbahnen für Skilifte über Kabelbäume in der Automobiltechnik bis hin zu medizinischen Endoskopen oder Schläuchen für maritime Anwendungen, zum Beispiel auf Bohrinseln.

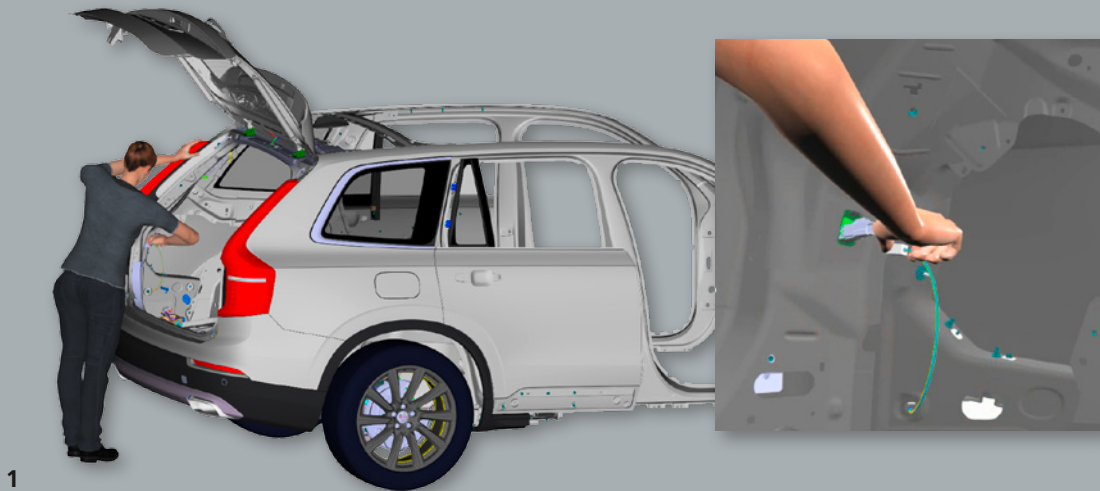
Komplexe Wechselwirkungseffekte verstehen

Den oben genannten Beispielen gemeinsam ist deren Zusammensetzung aus einer Vielzahl von Teilkomponenten, die komplex miteinander wechselwirken. Beispiele sind Fasern im Textilgarn, Drähte in Stahlseilen, die Litzen in Kompositkabeln oder Kabelbündeln, oder die Textverstärkungen und Drahtarmierungen in Hydraulikschläuchen. Hier bestimmt die komplexe Interaktion der Teile ganz wesentlich das Verhalten des Ganzen. Mit den in THREAD erarbeiteten Ergebnissen soll es möglich sein, die komplexen Wechselwirkungseffekte besser zu verstehen und mit validen Simulationsmodellen für die industrielle Praxis nutzbar zu machen.

Die in THREAD bearbeiteten Dissertationsthemen sind anwendungsnah, außerdem dürfen die Doktorandinnen und Doktoranden ein dreimonatiges Praktikum bei einem der Industriepartner absolvieren. Zu den zwölf Partnern aus der Wirtschaft gehört auch die fleXstructures GmbH, ein Spin-Off unseres Instituts, und die IPS AB, ein Spin-Off des Fraunhofer-Chalmers Centre FCC in Göteborg, das zusammen mit uns die Software IPS Cable Simulation entwickelt.

Qualitätsgesicherte Weiterbildung

Für die Nachwuchsforschenden werden in THREAD auch spezielle Workshops zur Weiterbildung angeboten. Wir legen den Schwerpunkt unserer Kurse auf die Messung von Kabeleigenschaften und auf die virtuelle Produktentwicklung mit den Softwaretools zur Montageplanung und interaktiven Simulation flexibler Strukturen, die wir gemeinsam mit dem FCC entwickeln. Bei fleXstructures können die Jungforscher und -forscherinnen Details zu den verschiedenen Modulen der Simulationssoftware IPS erfahren und sich an aktuellen Anwendungsbeispielen aus der Industrie erproben.



1

IPS IMMA UND VR – DAS DIGITALE MENSCHMODELL IN DER VIRTUELLEN REALITÄT

Für die virtuelle Produktentwicklung sind Simulationswerkzeuge schon lange ein unverzichtbarer Bestandteil. Digitale Menschmodelle erlauben es, auch den Menschen in die Simulation des Produktentstehungsprozesses mit einzubinden. Damit können z. B. Werkzeuge für die Montage, einzelne Arbeitsplätze oder Arbeitsstationen bereits in der digitalen Entwicklungsphase effizient gestaltet und ergonomisch optimiert werden.

1 Einbauszene eines Rückleuchtensteckers in IPS

Die Herausforderung bei der Steuerung solcher Menschmodelle liegt in der Komplexität des Menschen selbst – die hohe Anzahl an Gelenken und Freiheitsgraden erlauben es, ein und dieselbe Aufgabe auf unterschiedlichste Art und Weise zu lösen. So muss man in klassischen Menschmodellen Gelenkwinkel und Haltungen oft müßig von Hand definieren. Das am Fraunhofer FCC entwickelte digitale Menschmodell IPS IMMA ermöglicht es mit einer smarten Mischung aus biomechanischer Modellierung und Optimierung, menschliche Haltungen präzise vorherzusagen.

Am ITWM wird IPS IMMA in enger Zusammenarbeit mit den FCC-Mitarbeitenden bzgl. seiner biomechanischen Fähigkeiten und seiner intuitiven und interaktiven Benutzbarkeit weiterentwickelt. In der virtuellen Realität werden damit Simulationen für den Anwendenden realistisch erfahrbar. So können zum Beispiel Ergonom eine Szene »betreten« und Arbeitsvorgänge beurteilen. Aber auch Monteure können sich auf diese Weise mit ihren zukünftigen Arbeitsplätzen vertraut machen.

Datenhandschuhe als Eingabegeräte

In unserem VR-Labor werden solche Szenen aufgebaut, untersucht und neue Funktionalitäten entwickelt. Um in der virtuellen Realität auch selbst und intuitiv »Hand anlegen zu können«, testen wir Datenhandschuhe als Eingabegeräte für die Software. Diese erzeugen z. B. durch haptisches Kräftefeedback den Eindruck, den Widerstand des zu greifenden Bauteils zu spüren, so dass sogar weiche oder harte Gegenstände unterschieden werden können. So kann z. B. ein Monteur eine Szene nicht nur betrachten, sondern hat in der virtuellen Umgebung auch seine eigenen Hände zur Verfügung, mit denen er wie gewohnt Bauteile greifen und bewegen kann.

Interaktive dynamische Ergonomieanalyse nach biomechanischen Kriterien

Im Fraunhofer-Projekt MAVO EMMA-CC (www.emma-cc.com) wurde ein IMMA-Prototyp entwickelt, mit dem dynamische Bewegungen des IMMA-Manikins ohne »motion capturing« erzeugt werden können, mittels Optimalsteuerung nach biomechanischen Kriterien. Unsere Vision ist es, diese innovative Methodik für interaktives Arbeiten in VR verfügbar zu machen. Das ermöglicht, die physische Beanspruchung bei Arbeitsvorgängen besser als bisher bewerten zu können.





NEWS AUS DER ABTEILUNG MATHEMATIK FÜR DIE FAHRZEUGENTWICKLUNG

CDTIRE: KOOPERATION MIT CATARC



Das China Automotive Technology and Research Center (CATARC) ist die größte chinesische Forschungs-, Versuchs- und Zertifizierungseinrichtung für die Automobilindustrie mit rund 4.700 Mitarbeitenden. Seit Ende September 2019 kooperiert das Fraunhofer ITWM mit der chinesischen Prüfstelle. Inhalt der Kooperation ist die Reifensimulation, fußend auf unserer Software Suite CDTire. Diese wird CATARC ab sofort für die Reifenmodellparametrisierung für die chinesischen CDTire-Kunden einsetzen. CATARC macht dazu Versuche sowie Messungen und erstellt mit der von Fraunhofer lizenzierten CDTire PI-Software auch die Parameterfiles. Auf der von CATARC organisierten Konferenz »Technology Conference on Automotive Virtual Road Application« in Tianjin wurde der Vertragsabschluss festlich besiegelt.



NEUES SEMINAR »ML IN DER FAHRZEUG- ENTWICKLUNG«

Ab sofort veranstaltet der Bereich MF das Weiterbildungsseminar »Datenanalyse und Maschinelles Lernen in der Fahrzeugentwicklung«. Die Premiere fand bereits im Oktober 2019 bei der 46. Tagung des Arbeitskreises Betriebsfestigkeit des Deutschen Verbands für Materialforschung und -prüfung e. V. (DVM) bei VW in Wolfsburg statt und stieß dort auf sehr positive Resonanz. Im Seminar werden Grundlagen der Datenanalyse und des Maschinellen Lernens eingeführt und anhand konkreter Beispiele aufgezeigt wie diese den Fahrzeugentwicklungsprozess unterstützen und verbessern können. Angesichts der heutzutage immensen und größtenteils noch weiter wachsenden Datenverfügbarkeit bieten die thematisierten Methoden viele interessante Optimierungsmöglichkeiten, insbesondere in Kombination mit klassischen Simulationstechniken.

4. IPS CABLE SIMULATION USER CONFERENCE IN SPEYER



Auch zur 4. IPS-Anwenderkonferenz, die wir gemeinsam mit fleXstructures GmbH, IPS AB, und unserem schwedischen Partner-Institut FCC veranstalteten, kamen viele unserer weltweiten Anwenderinnen und Anwender. Dank einzigartiger und herausragender Funktionen wie der Optimierung der Kabellänge und der automatischen Verlegung mit Clips hat sich IPS Cable Simulation zum führenden Werkzeug in seiner spezifischen Domäne entwickelt. Die Konferenz fand an einem außergewöhnlichen Ort vor beeindruckender Kulisse statt: dem Technik-Museum in Speyer.



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

Die Abteilung hat mit BeeGFS, PreStack-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 Daten- und Compute-Problemen. Asynchrone Kommunikation und »Memory Driven Computing« sind die Technologien, mit denen es gelingt, Skalierbarkeit und Performance zusammenzubringen. Besondere Erfolge konnte die Abteilung im Machine Learning vorweisen, vor allem in den Projekten Deep Fake Detection und DeTol.

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- und Big-Data-Markt zu verbessern.

Das Energiesystem der Zukunft wird aus Millionen von verteilten Internet-of-Things-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
www.itwm.fraunhofer.de/hpc

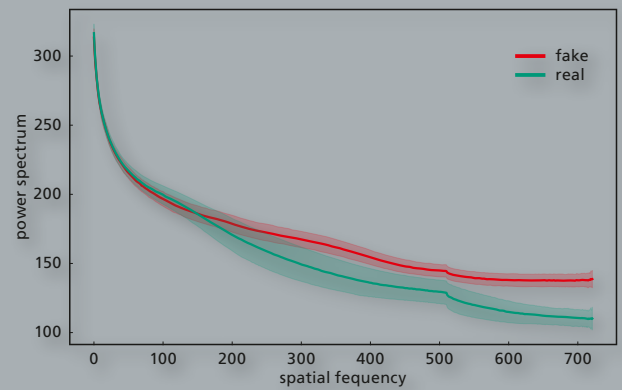
SCHWERPUNKTE

- Skalierbare parallele Programmierung
 - Deep Learning Tools und Anwendungen
 - Automatische Parallelisierung (ALOMA, GPI-Space)
 - BeeGFS – Parallel Cluster File System
 - Green by IT
 - Hardware Software Co-Design
-





1



2

© Karras, Tero, Samuli Laine, Timo Aila

DEEP FAKE DETECTION: MATHEMATIK ENTLARVT BILDMANIPULATIONEN

1 Synthetische Gesichter; erzeugt wurde sie mit dem Ansatz von Karras, Tero, Samuli Laine, and Timo Aila, vorgestellt in »A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks«

2 ITWM Deep Fake Detektor: nach der mathematischen Abbildung lassen sich echte und gefälschte Bilder leicht unterscheiden.

In den letzten Jahren hat die KI-Forschung beeindruckende Fortschritte erzielt. Insbesondere im Bereich generativer Modelle, die nicht nur Daten auswerten, sondern auch realistisch anmutende synthetische Daten erzeugen können. Diese bergen leider auch das Risiko des Missbrauchs. Wie diese Deep Fakes genannten visuellen Fälschungen aufgedeckt werden können, zeigt der Deep Fake Detektor, den wir mitentwickelt haben.

Mit den generativen Modellen, auch »Generative Adversarial Networks« (GANs) genannt, wurde in der KI-Forschung ein Durchbruch erreicht, der auf Deep-Learning-Algorithmen beruht. Leider hat die GAN-Technologie auch ihre negativen Seiten: Schon kurze Zeit nach ihrer Einführung wurden GANs verwendet, um Bild- und Audiodaten zu manipulieren. Im Internet kursierten gefälschte, aber täuschend echte Bilder und Videos von Prominenten und Politikerinnen und Politikern. Diese Manipulationen wurden unter dem Begriff »Deep Fake« bekannt. Unsere Abbildungen zeigen einige Beispiele für synthetische Gesichter, die für menschliche Betrachter kaum von echten Gesichtern zu unterscheiden sind.

Gemeinsame Forschung gegen den Vertrauensverlust

Aufgrund der zu erwartenden gesellschaftlichen Auswirkungen, welche mit einem vollständigen Vertrauensverlust in potenziell manipulierte Bild- und Audiodaten einhergehen würden, haben sich weltweit Forscherteams an die Entwicklung von Algorithmen gemacht, welche »Deep Fakes« automatisch erkennen können. Während die meisten derzeitigen Ansätze versuchen, wieder Lernalgorithmen einzusetzen, um die Manipulationen zu erkennen, sind wir mit einer Gruppe von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Universität Mannheim sowie der Hochschule Offenburg einen anderen Weg gegangen: Bei Analysen fiel auf, dass GANs beim Generieren von Bildern inhärente Fehler machen. Diese sind zwar für das menschliche Auge kaum sichtbar, lassen sich mathematisch aber sehr leicht im Fourier-Raum abbilden.

Der Deep Fake Detektor ermittelt

Die neue, am ITWM entwickelte Methode hat zu bestehenden Verfahren gleich mehrere Vorteile:

- Der entdeckte GAN-Fehler ist systematisch bedingt; daher ist es theoretisch unmöglich, dass derzeitige GAN-Architekturen lernen können, den Detektor zu umgehen.
- Es werden nur sehr wenige Beispieldaten benötigt, um Deep Fakes zuverlässig zu erkennen.
- Die Methode ist einfach zu implementieren und benötigt vergleichsweise wenig Rechenleistung. Bei einer ersten Auswertung auf öffentlichen Testdaten erreichte der neue Ansatz eine Genauigkeit von nahezu einhundert Prozent.



DEEP TOPOLOGY LEARNING: AUTOMATISCHES DESIGN VON TIEFEN NEURONALEN NETZEN

Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt, dass Maschinelles Lernen und insbesondere der Teilbereich Deep Learning sich zukünftig als maßgeblicher Baustein sowohl im wissenschaftlichen als auch im industriellen Bereich darstellen. Im BMBF-Projekt »Deep Topology Learning« arbeiten wir gemeinsam mit anderen Fraunhofer-Instituten an der Beschleunigung von Entwurfsalgorithmen.

Von der Spracherkennung über die automatische Bildanalyse bis hin zu Prototypen autonom fahrender Autos oder »Go«-spielender Algorithmen auf Weltmeister-Niveau: Fast immer stehen hinter den Erfolgsmeldungen sogenannte Deep-Learning-Verfahren. Diese Familie von Lernverfahren verwendet typischerweise überparametrisierte und meist sehr große künstliche neuronale Netze (DNN) zur Modellierung der Lernprobleme. Das Training solcher Netze bedarf nicht nur sehr großer Datenmengen, sondern auch enormer Rechenleistung. Trotz der teilweise beeindruckenden Ergebnisse, die mit DNNs erreicht werden, haben diese noch einige Nachteile, die aktuell oft noch den breiten Einsatz in der Praxis behindern. Neben den typischerweise benötigten sehr großen Datenmengen, ist dies vor allem der aufwändige Entwicklungsprozess.

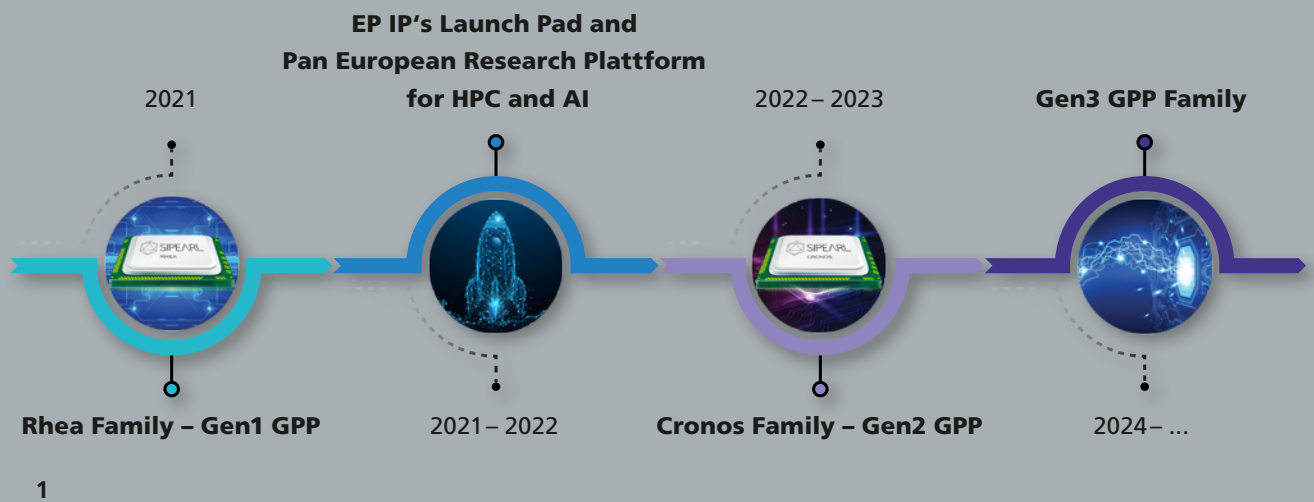
Entwurfalgorithmen ersetzen Trial and Error

Der Entwurf neuer, problemspezifischer Netztopologien ist ein sehr zeit- und rechenaufwändiger Prozess. Bisher erfolgte die Entwicklung neuer Deep-Learning-Lösungen in einem heuristischen und erfahrungsgesteuerten »Trial-and-Error«-Ansatz. Ziel des BMBF-Projekts »Deep Topology Learning« (DeToL) ist es, dieses Entwurfsverfahren für Deep-Learning-Lösungen durch automatische, datengetriebene Entwurfalgorithmen entscheidend zu beschleunigen und zu vereinfachen.

Nächster Schritt: Automatisierung

Das Anwendungsgebiet von Deep Learning ist breit gefächert. Vom maschinellen Sehen über autonomes Fahren bis hin zu Spracherkennung, Musikgenerierung oder Kunst – Deep Learning trägt immer mehr wesentliche Anteile zur Entwicklung bei. Gleichzeitig ist die Menge an Expertinnen und Experten, die tiefe neuronale Netze für ein bestimmtes Anwendungsgebiet designen könnten, begrenzt. Ein logischer nächster Schritt ist, den Automatisierungsgrad bei der Entwicklung von Netzarchitekturen zu maximieren. Da diese Automatisierung sehr rechenaufwändig ist, kommen an dieser Stelle HPC-Systeme ins Spiel. Die menschliche Interaktion wird auf das Design eines Suchraumes aller für ein bestimmtes Problem möglichen Topologien begrenzt. Anhand einer gegebenen Suchstrategie wird dann im nächsten Schritt die Architektur optimiert.





EUROPÄISCHE PROZESSOR INITIATIVE EPI

1 Die EPI Roadmap

High Performance Computing gehört in vielen Bereichen zu den Schlüsseltechnologien der zukünftigen Wertschöpfung. So wird es zum Beispiel für Simulationen von Wetter und Klima sowie neuen Materialien verwendet oder auch beim Einsatz von Künstlicher Intelligenz. Entwicklungen aus dem High Performance Computing finden sich wieder in autonomen Fahrzeugen, im Kontext von Industrie 4.0 und im Cloud Computing.

In all diesen Bereichen werden leistungsfähige Prozessoren gebraucht, um die enormen Datenmengen verarbeiten zu können. Es gibt nur wenige Hersteller, die solche erfolgreich produzieren. Der internationale Markt ist beherrscht von Firmen aus den USA und neuerdings auch aus China.

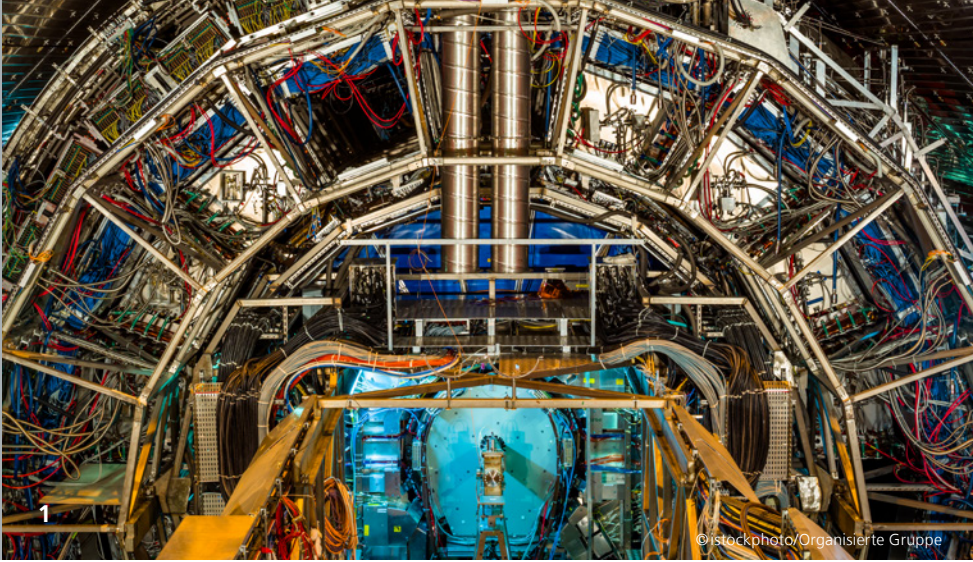
Europäische Unabhängigkeit stärken

Um die Unabhängigkeit von Europa in dieser Schlüsseltechnologie zu gewährleisten, vereinigt die Europäische Prozessor Initiative (EPI) 26 Partner aus Industrie und Wissenschaft, um europäische Prozessoren zu entwerfen und ein Hardware- und Software-Ökosystem in Europa aufzubauen. Ziel ist es, einen General-Purpose-Prozessor sowie Beschleunigerprozessoren zu entwickeln, die für bestimmte Anwendungsgebiete optimiert wurden. In diesem Bereich engagieren wir uns in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IIS und der ETH Zürich und entwerfen einen Beschleuniger für Stencil- und Tensor-Berechnungen (STX). Stencil-basierte Applikationen sind sehr häufig bei HPC-Simulationen anzutreffen, Tensor-Berechnungen sind die Grundlage des Deep Learning.

Hard- und Software zeitgleich entwickeln

Wir wollen eine höchst energie-effiziente Hardware bauen, welche sich für die Endnutzer komfortabel programmieren lässt und dabei nicht nur auf ein Anwendungsgebiet, z.B. Deep Learning, beschränkt ist. Um dies zu erreichen, verwenden wir das sogenannte Hardware Software Co-Design. Hierbei wird die Software parallel zur Hardware entwickelt und optimiert. Während dieses Prozesses können in das Hardwaredesign Anforderungen der Software einfließen und die Software an die Hardware optimiert werden. Die Auswahl der Software besteht aus wichtigen mathematischen Rechenkernen wie zum Beispiel die Matrix-Matrix-Multiplikation, Faltungsfiler und verschiedenen 2D- und 3D-Stencils. Für die Entwicklung nutzen wir die offene RISC-V Instruction Set Architecture, sodass keine Lizenzkosten oder Abhängigkeiten entstehen. Der erste Chip soll Anfang 2021 produziert werden, um Energieeffizienz und Performanz zu testen. Des Weiteren optimieren wir unseren HPC Software-Stack mit der Kommunikationsbibliothek GPI und unserem parallelen Dateisystem BeeGFS auf die EPI Hardware und unterstützen die Entwicklung des General-Purpose Prozessors mit einem weiteren Co-Design Prozess.





ENORME BESCHLEUNIGUNG MIT GPI-SPACE

Die immer genauere Interpretation der durch Experimente am Large Hadron Collider (LHC) produzierten sehr großen Datenmengen erfordert den Einsatz neuer mathematischer Werkzeuge, die Gegenstand aktueller Forschung sind. Ein erfolgreicher Ansatz setzt auch auf symbolische Rechnungen zur analytischen Reduktion komplexer Strukturen. Dabei stößt die Mathematik in den innersten Bereich des wissenschaftlichen Rechnens vor, sowohl bei der schieren Größe der Aufgaben als auch bei Fragen der Nachvollziehbarkeit, der Reproduzierbarkeit und der Automatisierung.

1 Teilchendetektor ATLAS
am Large Hadron Collider
des europäischen Kernfor-
schungszentrums CERN

Das in unserer Abteilung entwickelte Werkzeug »GPI-Space« ist für diese Anforderungen konzipiert. Es ermöglicht, Daten auf sehr großen Maschinen effizient zu verwalten und zu bearbeiten. Virtualisierung des Speichers, erprobte Scheduler, robuste Fehlerbehandlung, skalierbares Ressourcenmanagement und Petri-Netz basierte Abhängigkeitsgraphen sind in GPI-Space integriert.

Antworten auf offene Fragen

Gemeinsam mit der der AG Algebra, Geometrie und Computeralgebra des Fachbereichs Mathematik der TU Kaiserslautern wurde das dort entwickelte und weltweit führende Computeralgebra-System »Singular« an GPI-Space angebunden und das entstandene Konglomerat eingesetzt, um Antworten auf bisher unbeantwortete Fragen zu erhalten. Dafür hat die Gruppe der TU in mehreren Projekten die Struktur ihrer mathematischen Verfahren in Petri-Netzen dargestellt und diese Darstellung benutzt, um mit GPI-Space die konkreten Rechnungen auf große Maschinen zu skalieren. Beschleunigungen um Faktor 400 bei gleichzeitiger paralleler Effizienz von 80 Prozent sind Resultate, die bisher als unerreichbar galten.

Wir konnten aus dieser Zusammenarbeit neue Anforderungen an GPI-Space generieren und zum Teil bereits Lösungen in GPI-Space bereitstellen. Z. B. basieren viele Teilaufgaben auf Berechnungen von Gröbner-Basen, deren Laufzeit sich für konkrete Eingaben nur sehr schlecht vorhersagen lässt. Gleichzeitiges Beschreiten verschiedener Pfade zu möglichen Lösungen hilft, Lösungen schneller zu finden. Danach werden die Resultate einiger der bereits gestarteten Rechnungen nicht mehr benötigt; GPI-Space unterstützt in der neuesten Version das kontrollierte Abbrechen dieser Rechnungen.

Aufbauend auf den sehr positiven Erfahrungen haben wir gemeinsam mit der AG Algebra, Geometrie und Computeralgebra die nächsten Schritte zur tieferen Integration der beiden Systeme GPI-Space und Singular geplant und mit der Umsetzung begonnen.

GPI  **SPACE**





1



2

© Isabel Nabuurs Fotografie

ENERGIEGENOSSENSCHAFT BETREIBT EIGENES MICROGRID MIT AMPERIX

1 Peak-Shaving im Einsatz.
Durch den Einsatz der verteilten Speicher überschreitet der Netzbezug der Energiegemeinschaft (orange) die gegebene Grenze nicht.

2 Die schwimmende Wohnsiedlung Schoonschip in Amsterdam Nord

Im Norden von Amsterdam wird eine neue Form der Energieversorgung realisiert: Dreißig schwimmende Häuser sind nahezu energieautark und bilden gemeinsam das nachhaltigste schwimmende Wohnquartier Europas. Zum Einsatz kommt dort auch unser Energiemanagementsystem Amperix®.

Die Idee: 30 Häuser mit 47 Wohnungen bilden eine Energieeinheit, die ihren Strom mittels Solarenergie weitgehend selbst erzeugt, mit Wärmepumpen und Batterien auch selbst speichert und unter den Bewohnern gegenseitig zur Verfügung stellt. Die Häuser sind also untereinander vernetzt und benötigen nur einen einzigen Anschluss an das kommunale Stromnetz für das gesamte Wohnprojekt. Dieser Netzknoten dient der Absicherung von Schoonschip in Spitzenverbrauchszeiten, auch bei leeren Batteriespeichern und wenig Sonne. Der Netzanschlusspunkt ist mit einer maximalen Leistung von 175 kW verglichen mit der Anzahl an vollelektrischen Wohneinheiten relativ klein.

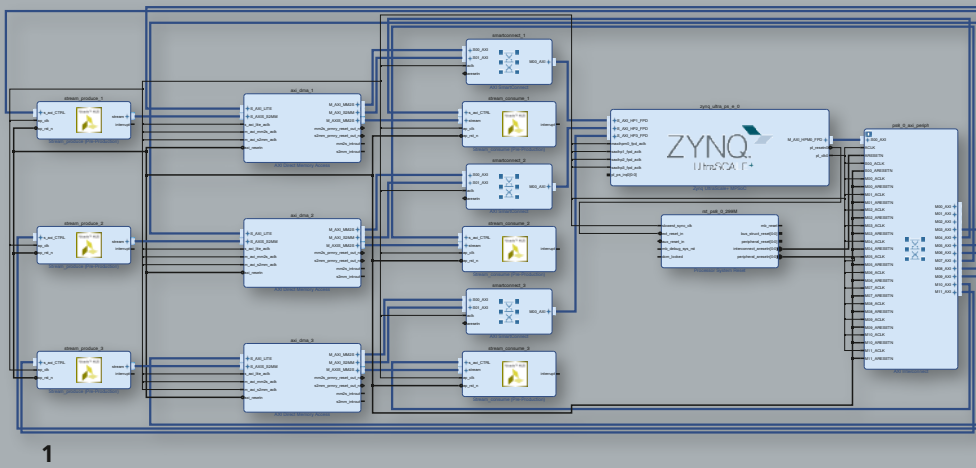
Amperix ermöglicht Sektorenkopplung

Hier kommt nun das am Competence Center High Performance Computing entwickelte Amperix® Energiemanagementsystem ins Spiel. Der Amperix® ist ein Werkzeug für Microgrids und Energiecommunitys. Neben der Steuerung der Stromspeicher implementiert der Amperix® hier auch eine Sektorenkopplung. Das heißt Wärmespeicher in Kombination mit Wärmepumpen und Ladestationen für Elektrofahrzeuge können flexibel entsprechend der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien gesteuert werden. So wird die Lastverschiebung innerhalb der Wohngemeinschaft optimiert und Verbrauchsspitzen werden abgeflacht (sogenanntes Peak-Shaving).

Die gemeinschaftliche Steuerung der Energiegemeinschaft konnte sich im Winter 2019/2020 bereits bewähren. Gleichzeitig aufgetretene Lastspitzen der Wärmeversorgung und der Stromversorgung konnten mittels der koordinierten Ausspeisung die Batteriespeichersysteme reduziert und somit eine stabile Energieversorgung gewährleistet werden.

Weiterführung als H2020-Leuchtturmprojekt

Wegen des großen Erfolgs wird die Forschung und Entwicklung rund um das innovative Wohn- und Energiekonzept im ATELIER Smart City Projekt fortgeführt. Ziel des Projekts ist die Umsetzung von bürgerorientierten »Positive Energy Districts« in den Leuchtturm-Städten Amsterdam und Bilbao. Das ATELIER-Projekt wird von der Europäischen Kommission im Rahmen von Horizon 2020 finanziert.



FPGAs ALS BESCHLEUNIGER: DER ALGORITHMUS ALS DIGITALE SCHALTUNG

Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) erleben zurzeit eine Renaissance als Beschleuniger-Hardware. Auf einem FPGA lassen sich komplexe Funktionen direkt als maßgeschneiderte Digitalschaltung realisieren. Damit verknüpfen FPGAs die Leistungsfähigkeit spezialisierter Hardware mit der Flexibilität von Software und werden immer häufiger als Beschleuniger in Hochleistungsrechensystemen eingesetzt.

1 Blockdarstellung eines
FPGA-Designs

Als eine Art Baukastensystem für digitale Schaltungen ermöglichen FPGAs, elementare elektronische Bausteine miteinander zur gewünschten Funktionalität zu kombinieren. Die Verschaltung der physischen Elemente auf dem FPGA wird als Konfiguration geladen und kann so nach Belieben in Sekundenschnelle geändert werden. War die Anwendungsentwicklung für FPGAs lange Zeit Hardware-Spezialisten vorbehalten, erleichtern heutige Werkzeuge einer breiteren Schicht von Software-Entwicklern den Einstieg.

Energieeffiziente Auswertung seismischer Daten

Im Rahmen des Projekts EuroEXA portieren wir eine Software zur Auswertung seismischer Daten auf FPGAs. Seismische Verfahren berechnen aus den auf der Oberfläche gemessenen Daten ein Abbild des Erduntergrunds, das es dem Geowissenschaftler erlaubt, Erdöl-/Erdgasvorkommen zu entdecken. Wir erwarten durch die Berechnung auf FPGAs eine Verbesserung der Performanz bzw. Energieeffizienz im Vergleich zu CPUs oder GPUs. Zur Portierung der rechenintensiven Programmteile stimmen wir Algorithmen und Datenstrukturen auf die spezifischen Möglichkeiten der Hardware ab. Die Performanz kann durch maximale Parallelität innerhalb eines FPGAs und durch die parallele Berechnung auf mehreren FPGAs optimiert werden. Parallelisierung über mehrere FPGAs setzt eine effiziente Datenkommunikation voraus, die mithilfe des von uns im Competence Center High Performance Computing entwickelten Programmiermodells GPI umgesetzt wird.

FPGAs ermöglichen spezifische Auslegung der Schaltkreise auf beliebige Zahlenformate

Eine weitere Anwendung von Interesse sind tiefe neuronale Netze (Deep Learning), wie sie im Maschinellen Lernen verwendet werden. Deep-Learning-Algorithmen sind besonders gut für Beschleuniger geeignet, da die Berechnungsmuster sehr homogen sind. Zudem zeigen sie sich robust gegenüber geringer Präzision in der Zahlendarstellung. Während die Hardware in CPUs und GPUs Berechnungen nur mit vordefinierten Zahlenformaten direkt ausführen kann, lassen sich die Schaltkreise auf dem FPGA spezifisch auf beliebige Zahlenformate auslegen. Üblicherweise werden FPGAs zur Ausführung bereits trainierter Netze genutzt, wir beschäftigen uns mit dem Training tiefer neuronaler Netze auf FPGAs.





IDEEN UND PRODUKTE FÜR DIE ENERGIEWENDE

Auf der E-world Anfang Februar zeigten unsere Forschenden aktuelle Technologien und Projekte zur Energiewirtschaft, auch das Energiemanagementsystem Amperix inclusive der dazugehörigen Web-Plattform myPowerGrid und der KI-basierte Solarvorhersage PVCAST: Der Amperix vernetzt Erzeuger und Speicher unterschiedlicher Hersteller und vollzieht die Sektorkopplung von Strom, E-Wärme und E-Mobilität vom privaten Haushalt bis hin zur Industrie. Energiedienstleistungen wie prognosebasierte Eigenverbrauchsoptimierung und Peak-Shaving des Netzbezugs (physikalisch und wirtschaftlich) können über drei Sektoren gleichzeitig betrieben werden.



BEST STUDENT PAPER AWARD

Ricard Durall Lopez hat den Best Student Paper Award der IVCNZ für die Präsentation »Semi Few-Shot Attribute Translation« gewonnen. In seinem Paper entwickelte er eine Deep Learning-Methode weiter. Der neuartige Ansatz funktioniert auf der Grundlage von GANs (Generative Adversarial Networks) und demonstriert empirisch das Potenzial des Trainings einer GAN für die Bild-zu-Bild-Übersetzung mit wenigen Aufnahmen.

EPI: SUPERCOMPUTER-INFRASTRUKTUR MADE IN EU

Die European Prozessor Initiative (EPI) ist ein Zusammenschluss von 27 Partnern aus zehn EU-Ländern, die gemeinsam Prozessortechnologie für einen Europäischen Supercomputer entwickelt. Innerhalb der nächsten Jahre soll so eine EU-eigene Supercomputer-Infrastruktur entstehen. Wir steuern zu EPI einen einfach zu programmierenden Co-Prozessor bei, der insbesondere Simulationscodes (Stencil-Algorithmen) beschleunigt. Erste Hardware wird 2021 zum Testen zur Verfügung stehen.





DURCHBLICK MIT MILLIMETER-, TERAHERTZ- UND OPTISCHEN WELLEN

Dem menschlichen Auge bleibt viel verborgen: Die meisten Materialien sind undurchsichtig, so dass wir meist nur die Oberfläche von Objekten optisch erfassen können. Für die Kontrolle, ob Bauteile fehlerfrei gefertigt wurden, ist dies nicht ausreichend: Klebeverbindungen in Verbundwerkstoffen, z. B. in Windkraftrotorblättern oder auch an Fensterscheiben in Fahrzeugen, können so nicht geprüft werden.

Am Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung entwickeln wir zerstörungsfreie und berührungslose Prüfverfahren, die auf den Einsatz in der Fertigungslinie optimiert sind und eine zuverlässige Kontrolle des Produktionsprozesses ermöglichen. Unsere Terahertz-Schichtdickenmessgeräte messen Dicke und Materialparameter jeder einzelnen Schicht. Mit unseren Rohrinspektionssystemen wird die Wandstärke direkt am Extruder kontrolliert. Defekte in Verbundwerkstoffen spürt unser FMCW-Radar-basiertes Prüfsystem auf. Auch Verklebungen lassen sich so überprüfen. Und manchmal prüfen wir sogar die Farbschichten berühmter Kunstwerke.

Unsere Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, Ingenieure und Techniker greifen für maßgeschneiderte Kundenlösungen auf Technologien von der optischen Kohärenztomographie (OCT) im sichtbaren Spektralbereich über die Zeitbereichsspektroskopie im Terahertz-Frequenzbereich bis zu elektronischen Systemkonzepten im Millimeterwellenbereich zurück. Die Kompetenz unserer Mitarbeitenden umfasst ein detailliertes Prozessverständnis. Das erlaubt uns die Übertragung von Ergebnissen aus der Grundlagenforschung in die Anwendung, so dass neueste technologische Entwicklungen als Lösung für herausfordernde Anwendungen identifiziert und eingesetzt werden können.

Kontakt

georg.von.frey mann@itwm.fraunhofer.de

www.itwm.fraunhofer.de/mc

SCHWERPUNKTE

- Zerstörungsfreie Prüfung
 - Schichtdickenmessung
 - Chemische Analyse
 - Optische Messtechnik
-





NEUE WEGE BEI DER RESTAURATION VON KUNSTWERKEN

1 *Untersuchung des Abendmahls von Leonardo da Vinci (Cenacolo Vinciano, Polo Museale Regionale della Lombardia, Ministero per i Beni e la Attività Culturali)*

Der Erhalt historischer Kunstschätze erfordert nicht nur Restauratorinnen und Restauratoren, sondern auch Forschung und daraus resultierende Hightech-Lösungen. Das gilt insbesondere für weltberühmte Kunstwerke, wie »Das Abendmahl« von Leonardo da Vinci, die aufgrund ihres Alters zusätzliche Herausforderungen an Museen stellen. Zu einem neuen Restaurationsansatz trägt nun auch die Abteilung Materialcharakterisierung und -prüfung bei.

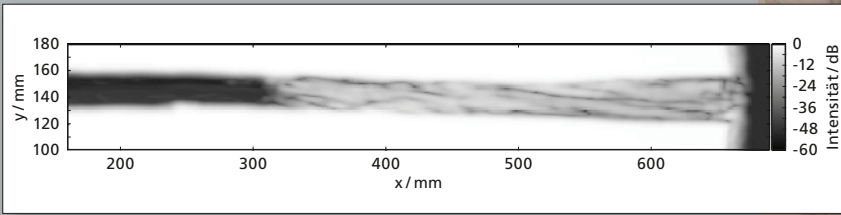
Das Thema Kulturerbe ist mittlerweile hoch auf der politischen Agenda der EU angesiedelt, was sich unter anderem darin zeigt, dass es im nächsten Forschungsrahmenprogramm Horizon Europe (2021–2027) prominent mit dem Thema Sicherheit und Klimawandel in Verbindung gebracht wird. Das Kulturerbe ist in Gefahr – der Klimawandel mit zunehmenden Extremwetterereignissen, aber auch menschengemachte Katastrophen wie der Brand der Kathedrale Notre-Dame in Paris im letzten Jahr und vor allem der boomende Massentourismus bedrohen ganz akut das kulturelle Erbe. Um diese Herausforderungen zu meistern, braucht es Forschung und technologische Entwicklung: Nachhaltige Konservierungsmaterialien, neue Analysemethoden, sozioökonomische Studien und vor allem neue Digitalisierungstechnologien und Künstliche Intelligenz.

Forschungsallianz Kulturerbe unterstützt Konservatoren

In Deutschland und Europa kommt der Fraunhofer-Gesellschaft eine besondere Rolle zu, mit ihrer innovativen technologischen Forschung zur Erhaltung unseres kulturellen Erbes und zu einer nachhaltigen Entwicklung beizutragen. Die Forschungsallianz Kulturerbe (FALKE) – bestehend aus Einrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft, den Leibniz Forschungsmuseen, der Stiftung Preußischer Kulturbesitz und den Staatlichen Kunstsammlungen Dresden – hat sich seit ihrer Gründung 2008 zur Aufgabe gemacht, Innovationen und Technologien für den Erhalt unseres kulturellen Erbes zu entwickeln. Das betrifft neben den Ingenieurwissenschaften vor allem die Disziplinen der Kunstgeschichte und -rezeption sowie die Gewerke der Restaurierung und Konservierung. Das Fraunhofer ITWM bringt als Mitglied der Forschungsallianz seine Millimeterwellen- und Terahertztechnologie ein.

Untersuchung empfindlicher Oberflächen möglich

Durch die gute Transparenz vieler elektrisch nicht-leitender Materialien für Millimeterwellen- und Terahertz-Wellen bietet die bildgebende Millimeterwellen- und Terahertz-Prüfung komplementär zur etablierten Ultraschall-Prüfung viele Einsatzpotenziale für Untersuchungen an Kulturgütern. Die Prüftechnik ermöglicht kontaktfreie Aufnahmen innerer Strukturen von beispielsweise



2

3

Marmor oder Gipsfiguren und kann daher auch bei Objekten mit empfindlicher Oberfläche eingesetzt werden. Auch lassen sich hervorragend Holzmaserungen und gegebenenfalls Beschädigungen durch Holzwürmer erfassen. Die starke Absorption von Terahertz-Wellen durch polare Flüssigkeiten, wie zum Beispiel Wasser, ermöglicht Feuchteuntersuchungen, wohingegen metallische Strukturen das Messsignal vollständig reflektieren und dadurch beispielsweise Armierungen in Skulpturen untersucht werden können. Gleichzeitig ist die zerstörungsfreie Technologie gesundheitlich unbedenklich und kann durch kompakte mobile Systemkonzepte auch in rauen Umgebungen eingesetzt werden.

Auf Initiative des Mailänder Museo del Cenacolo Vinciano, des Instituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro in Rom sowie dem Engagement des japanischen National Institute of Information and Communications Technology konnten wir »Das Abendmahl« von Leonardo Da Vinci mittels Millimeter- und Terahertz-Wellen untersuchen.

Millimeterwellen ermöglichen Inspektion unterhalb des Wandgemäldes

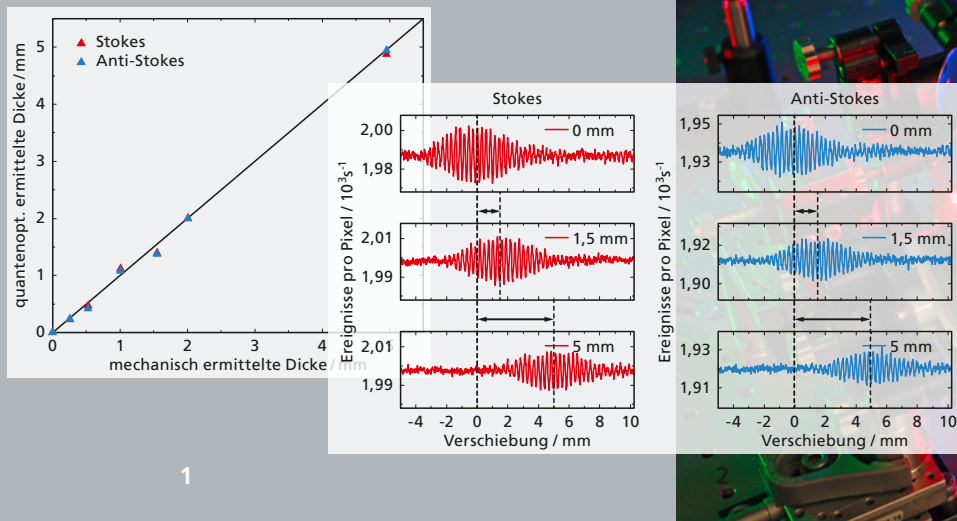
Das National Institute of Information and Communications Technology gilt als Pionier auf dem Gebiet der Terahertz-Messtechnik im Bereich Kulturerbe und nutzt die Terahertz-Technologie vor allem zur Untersuchung von Farbschichten und oberflächennahen Merkmalen. Komplementär dazu ermöglicht unsere Millimeterwellen-Technologie durch die größere Eindringtiefe die Erfassung von Beschädigungen und strukturellen Merkmalen unterhalb des Wandgemäldes. Der Einsatz dieser Technologien gibt beispielsweise Aufschluss auf frühere Restaurierungsmaßnahmen sowie Auswirkungen durch nahegelegene Bombeneinschläge in Kriegszeiten und kann wesentlich zur Erhaltung und Instandsetzung entsprechender Kulturgüter beitragen.

Das Fraunhofer ITWM und 19 weitere Fraunhofer-Institute sind aktuell an dem von der Fraunhofer-Gesellschaft mit 1,9 Millionen Euro geförderten Forschungsprojekt »Kulturerbe in Gefahr – Auswirkungen des Klimawandels, Chancen der Digitalisierung« beteiligt.

2 Oben: Millimeterwellen- und Terahertzaufnahmen einer Holzschatulle, einem Marmorblock mit Bohrung, einem vergleichbaren Marmorblock (90° Grad gedreht) und einem zerbrochenen und wieder zusammengeklebten Marmorwürfel mit Hohlraum (v. l. nach r.). Es lassen sich eindeutig die Maserung der Holzschatulle und die Hohlräume in den Marmorblöcken sowie Risse bzw. Verklebungen erkennen.

Unten: Die Messtechnik erlaubt die Erkennung von Feuchte, wie diese 100 GHz-Aufnahme eines trockenen Stocks, welcher für kurze Zeit auf einer Seite (auf der linken Seite der Aufnahme) im Wasser stand, zeigt.

3 Das Messsystem ist auf einer mobilen Hebebühne montiert und kann bis auf wenige Zentimeter an das Wandgemälde herangefahren werden, um relevante Ausschnitte zu inspizieren.



1

QUILT – QUANTENOPTISCHE TERAHERTZ-MESSUNG

1 *Erste Demonstration von Schichtdickenmessung mittels Quanteninterferenz im Terahertz-Spektralbereich*

2 *Experimenteller Aufbau zur quantenoptischen Schichtdickenmessung im Terahertz-Spektralbereich durch Messen sichtbarer Photonen*

Erfolgreiche und nachhaltige Beiträge zum industriellen Fortschritt sind ohne Grundlagenforschung auch am Fraunhofer ITWM nicht zu leisten. Im Leitprojekt QUILT detektieren wir Terahertz-Wellen auf Basis neuer quantenoptischer Phänomene. Im vergangenen Jahr haben unsere Forschenden durch die Detektion sichtbarer Strahlung erstmals Schichtdicken verschiedener Proben über Quanteninterferenz im Terahertz-Spektralbereich gemessen. Damit wird »Schrödingers Katze« vom Gedankenexperiment zur aufregenden und anwendbaren Realität.

Trotz der stetigen Weiterentwicklung der Terahertz-Technologie in den letzten Jahren ist das Aufnehmen eines Bildes in diesem Spektralbereich weiterhin eine große technische Herausforderung. Im Gegensatz dazu sind gängige Kameras in Smartphones oder PCs hochentwickelt und bieten hohe Auflösung sowie Detektionseffizienz bei moderaten Kosten.

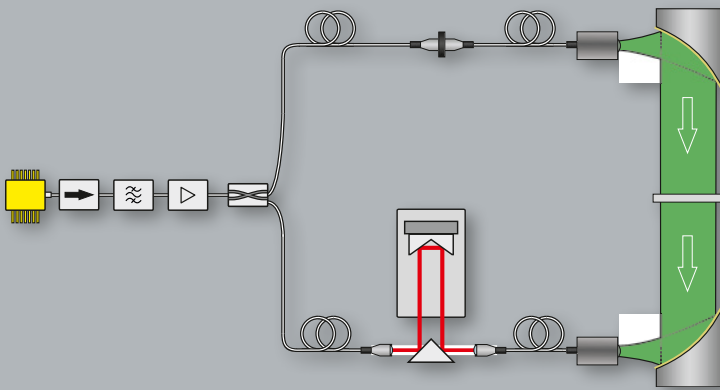
Quantenoptische Messmethode

Mithilfe quantenoptischer Methoden lassen sich die Eigenschaften von Photonen (Lichtteilchen) im Terahertz-Spektralbereich auf leichter zu detektierende sichtbare Photonen übertragen. Diese haben den Vorteil, dass hochentwickelte Detektoren genutzt werden, um die über die Terahertz-Photonen erhaltene Information auszuwerten. Im vorangegangenen Jahr haben wir die Grundlagen für das zu realisierende Messprinzip geschaffen, jetzt konnten wir Quanteninterferenz im Terahertz-Spektralbereich mithilfe sichtbarer Photonen beobachten. Dabei gelang es unseren Forschenden erstmals, die Terahertz-Wellen auch für Experimente an verschiedenen externen Proben zugänglich zu machen.

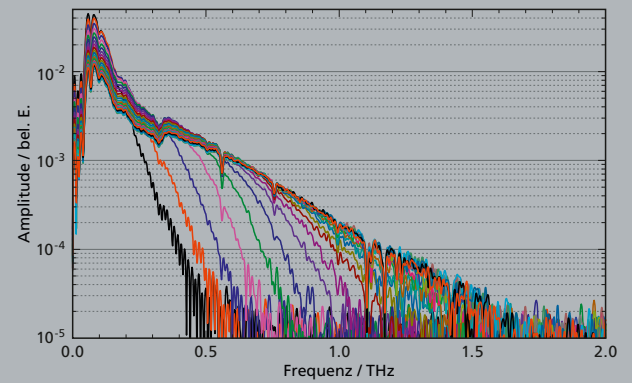
Erste Realisierung von Schichtdickenmessung

So war es möglich, die Schichtdicke verschiedener Proben mit Terahertz-Wellen durch die Detektion von sichtbarem Licht zu bestimmen. Hierbei handelt es sich weltweit um die ersten Untersuchungen dieser Art. Durch die Proben im Strahlengang ändert sich die optische Weglänge und die beobachtete Interferenz verschiebt sich entsprechend (Abb. 1). Die mit dieser Methode ermittelten Ergebnisse stimmen sehr gut mit den mechanisch gemessenen Dicken überein. Da die verwendeten Proben für die detektierten Photonen im sichtbaren Spektralbereich undurchlässig sind, wird diese Messung auch als »Messung mit undetektierten Photonen« bezeichnet.

Auf diesen Fortschritten aufbauend betreten wir auch zukünftig am ITWM wissenschaftliches Neuland, indem eine bildgebende Kamera im Terahertz-Spektralbereich mit diesem Prinzip realisiert wird.



1



2

CHAOTISCHES LICHT BEFLÜGELT DIE TERAHERTZ-MESSTECHNIK

Die Terahertz-Technologie hat in den letzten Jahren den Sprung von der angewandten Forschung in die Industrie geschafft – dabei hat sich die Schichtdickenmessung als interessanteste Anwendung erwiesen. Hierbei kommen im Bereich dünner Schichtdicken fast ausschließlich sogenannte Zeitbereichsspektroskopie-Systeme zum Einsatz, die auf kostspieligen und komplexen Ultrakurzpulslasern basieren. Wir haben jetzt den Einsatz von inkohärentem Licht zur Realisierung eines ähnlichen Messprinzips demonstriert und dessen Tauglichkeit zur Schichtdickenmessung bewiesen.

Zeitbereichsspektroskopie im Terahertz-Spektralbereich basiert auf der Erzeugung kurzer Terahertz-Impulse und deren Abtastung mit ultrakurzen Laserpulsen. Hierbei ist essentiell, dass diese Pulse eine wohldefinierte Zeitbeziehung zueinander besitzen. Dadurch wird die Messung auf Zeitskalen von wenigen Pikosekunden möglich – eine Zeitskala, die bisher kein herkömmliches Messgerät erreicht.

Chaotisches Licht statt kurzer Pulse

Nutzt man anstatt kurzer Pulse dagegen willkürlich fluktuierendes (»chaotisches«) Licht, so kann man erstaunlicherweise ebenfalls Messungen im Terahertz-Spektralbereich realisieren. Ermöglicht wird dies durch eine sogenannte Kreuzkorrelation zwischen der Terahertz-Welle und dem chaotischem Licht, welches diese in einem photoleitenden Mischer erzeugt hat. Interessanterweise ähneln die erhaltenen Signale bis auf wenige Unterschiede den Signalen der herkömmlichen Zeitbereichsspektroskopie-Systeme und lassen sich somit auch für die gleichen Anwendungen nutzen.

Hidden Champion

Japanische Wissenschaftler legten vor 20 Jahren die Grundlagen für dieses Forschungsgebiet und setzten damals noch einfache Laserdioden als Lichtquellen ein. In der Zwischenzeit forschten nur wenige Gruppen weltweit an diesem Messprinzip und demonstrierten einige Anwendungen. Den Hauptnachteil dieses Prinzips auf Basis der Laserdioden konnten wir durch den Einsatz von inkohärentem Licht sogenannter Superlumineszenzdiolen überwinden. Zuvor störende Mehrdeutigkeiten wurden hierdurch eliminiert, was die Einsatzmöglichkeiten dieser Messsysteme erweitert. Das große Potenzial dieser Messtechnik besteht neben der Anwendbarkeit aber auch in dem großen Einsparpotenzial bei den Systemkosten. Somit wird diese Messmethode den Einstieg in neue, kostensensitive Anwendungsfelder ermöglichen.

1 Schematischer Aufbau des neuen Messsystems

2 Das Terahertz-Spektrum lässt sich flexibel auf die Anwendung anpassen.

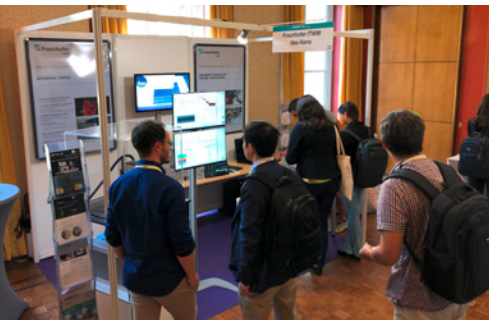


TECHNOLOGIETRANSFER TERAHERTZ-SCHICHTDICKENMESSUNG

Unsere Terahertz-Technologie zur berührungslosen und zerstörungsfreien Schichtdickenmessung in der Automobilindustrie wurde erfolgreich an die Firma das-nano transferiert. Mitarbeitende von das-nano wurden im Verlauf des Technologietransfers von ITWM-Mitarbeitenden in Aufbau und der Justage der Geräte geschult, so dass die Serienfertigung am Firmensitz von das-nano aufgebaut werden kann. Wir stehen das-nano auch weiterhin beratend zur Seite und arbeiten gemeinsam an Technologieverbesserungen.

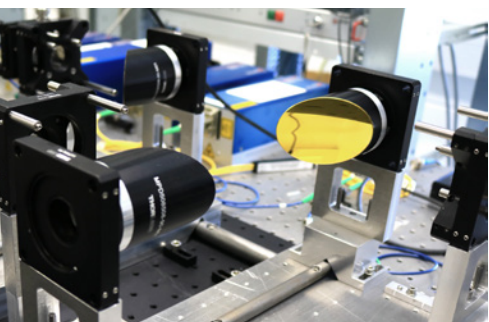
INNOVATIVES LASERKONZEPT VERLÄSST DAS LABOR

Ein von unseren Forschern entwickeltes Lasersystem wurde vergangenes Jahr erstmals außerhalb des Labors erfolgreich auf Messen und Konferenzen präsentiert: Zunächst im Juni 2019 auf einem Kundenstand der LASER World of PHOTONICS in München, bei der über 30 000 internationale Fachbesucher die Möglichkeit zur Demonstration des Systems hatten. Im September konnte sich dann die Terahertz-Community erstmals einen persönlichen Eindruck auf der begleitenden Ausstellung der »International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz)« in Paris machen.



TRILATERALE FORSCHUNG ERMÖGLICHT NEUES MESSPRINZIP

Unter der Leitung des Physikalischen Instituts der Goethe-Universität Frankfurt sind die Firma TOPTICA Photonics AG und wir an einem trilateralen Forschungsprojekt beteiligt, welches gemeinsam von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und der Fraunhofer-Gesellschaft zum Erkenntnistransfer in die Wirtschaft gefördert wird. Ziel des gemeinsamen Forschungsvorhabens mit dem Kurztitel »TeraSpect« ist die Entwicklung eines Terahertz-Spektroskopiesystems auf Basis frequenzselektiver Detektorchips für den Einsatz als inlinefähige industrielle Prüftechnik. Dabei werden zwei erfolgreiche Techniken der Terahertz-Messtechnik zu einem neuen Messprinzip kombiniert.



IMPRESSUM

© Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM 2020

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
Unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erreichen Sie unter:
<familienname>@itwm.fraunhofer.de

Internet 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.

Redaktion Ilka Blauth
Swenja Broschart
Steffen Grützner
Esther Packullat

Gestaltung Gesa Ermel

Fotografie Gesa Ermel, Fraunhofer ITWM

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Techno- und
Wirtschaftsmathematik ITWM

Fraunhofer-Platz 1
67663 Kaiserslautern

Telefon +49 (0) 631 / 3 16 00-0
Telefax +49 (0) 631 / 3 16 00-1099
E-Mail info@itwm.fraunhofer.de
www.itwm.fraunhofer.de