

Jahresbericht 2020/2021

---

Umbruch – Aufbruch – Durchbruch:  
Mathematik für eine gute Zukunft.

## **Titelbild**

Für das Titelbild haben wir einen besonderen Moment in der blauen Stunde mit Blick auf das Fraunhofer ITWM eingefangen. Der Jahresbericht schaut auf besondere Momente und Highlights 2020/21 zurück.

**Jahresbericht 2020/2021**



Umbruch – Aufbruch – Durchbruch:  
Mathematik für eine gute Zukunft.

# 2020: Umbruch – Aufbruch – Durchbruch

---



## Mathematik für eine gute Zukunft.

Liebe Leserinnen und Leser,

mit unserem Jahresbericht 2020/21 blicken wir auf ein Jahr des Umbruchs zurück, das jeden Menschen vor ungeahnte Herausforderungen gestellt hat. Privat und beruflich galt es von heute auf morgen vieles zu improvisieren, neu zu denken und zu organisieren. Umso mehr bin ich stolz darauf, was wir am Fraunhofer ITWM unter den besonderen Bedingungen einer weltweiten Pandemie erreicht haben.

Es war ein enormer Kraftakt, alle Mitarbeitenden innerhalb kürzester Zeit für das Arbeiten zu Hause auszustatten und herausfordernd für alle, sich für ein nahtloses Weiterarbeiten möglichst schnell in eine neue Form des Arbeitens einzufinden. Trotz widriger Rahmenbedingungen haben sich viele unserer Forschenden äußerst

engagiert mit ihrer Expertise für den Kampf gegen Corona eingesetzt. Sie haben ihrer wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Verantwortung Rechnung getragen und damit die Werte gelebt, für die die Forschung der Fraunhofer-Gesellschaft steht.

Dieser Jahresbericht steht also noch im Zeichen der Corona-Pandemie. Er soll aber auch zeigen, dass Corona nicht alles überschattet hat – viele spannende Projekte wurden abgeschlossen oder neu begonnen. Die mathematische Expertise der Forschenden am Fraunhofer ITWM ist in zahlreichen Branchen gefragt und gestaltet dadurch an ganz unterschiedlichen Stellen unser aller Zukunft.

2020 hat die Fraunhofer-Gesellschaft ihre Forschungsstruktur neu definiert – ein Aufbruch in die Zukunft. Sieben Fraunhofer Strategische Forschungsfelder (FSF) setzen Schwerpunkte im Forschungsportfolio, daneben wurden acht Leitmärkte definiert. Durch das Fokussieren der Forschungsaktivitäten auf diese Schwerpunkte und Märkte werden konkrete Ziele verfolgt: bezahlbare Gesundheit, vollendete Energiewende, digitalisierte Wertschöpfung, ganzheitliche Kreislaufwirtschaft sowie Sicherheit und eine resiliente Gesellschaft. Die Innovations- und Wirtschaftsstandorte Deutschland und Europa sollen so nachhaltig gestärkt werden.

Das Fraunhofer ITWM liefert mit seinen Forschungsarbeiten Lösungen, die in vielen Leitmärkten wirken und ist in mehreren FSF aktiv beteiligt. Um deutlich zu machen, wie unser Institut das »Fraunhofer Powerhouse« mit Leben füllt, haben wir unseren Jahresbericht inhaltlich neu strukturiert. Statt durch unsere unterschiedlichen Abteilungen sind die einzelnen Kapitel nach FSF und Leitmärkten unterteilt und optisch erstmals nach dem neuen Fraunhofer-Corporate-Design gestaltet.

In dem vorliegenden Jahresbericht wollen wir deutlich machen, wie vielseitig Mathematik ist, wie sie zahlreiche Forschungsfelder unterstützt und Innovationen in verschiedenen Branchen voranbringt. Wir möchten die Menschen hinter »den großen Themen« sichtbar machen und spannende Einblicke in den vielseitigen Alltag unserer Forschenden bieten. Ein großes Anliegen ist es mir, Künstliche Intelligenz (KI) interdisziplinär besser zugänglich zu machen.

Als KI-Lotsin von Rheinland-Pfalz bin ich seit 2020 Ansprechpartnerin für Unternehmen zu KI-Fragen und wir am ITWM beraten bei der Anwendung der KI-Technologien – auch hierüber finden Sie in diesem Jahresbericht Informationen. Auch beim Next Generation Computing und im Quantencomputing haben wir im Institut inhaltlich viel zu bieten und ich setze mich in der Koordination dieser Initiativen in der Fraunhofer-Gesellschaft ein, um den Durchbruch des Transfers in die Praxis zu forcieren.

Selten zuvor hat die Wissenschaft so viel öffentliche Aufmerksamkeit erhalten wie seit Beginn der Corona-Pandemie. Sie erfuhr viel Wertschätzung, aber auch Kritik. Unsere Expertise wurde häufiger denn je angefragt. Wir verzeichnen nicht nur ein gewachsenes Medieninteresse, sondern haben auch unsere politischen Kontakte auf verschiedenen Ebenen intensiviert.

Ein außergewöhnliches Jahr 2020 liegt hinter uns. Es hat uns die enorme Bedeutung der Wissenschaft vor Augen geführt und die Forschung hat in kurzer Zeit viel erreicht. Was wir am Fraunhofer ITWM dazu beigetragen haben, erfahren Sie auf den nächsten Seiten.

Ich wünsche Ihnen eine unterhaltsame Lektüre und möchte Sie ermutigen, sich bei Fragen gerne an die aufgeführten Kontakte zu den einzelnen Themen zu wenden.

Herzliche Grüße



Prof. Dr. Anita Schöbel

Leiterin des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM

# Inhalt

---

<b>Das Institut im Profil</b> .....	<b>6</b>
<b>Vernetzung und Kooperationen innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft</b> .....	<b>8</b>
<b>Leistungszentrum Simulations- und Software-basierte Innovation</b> .....	<b>10</b>
<b>Spin-Offs und weitere Kooperationen</b> .....	<b>11</b>
<b>Rückblick: Highlights 2020</b> .....	<b>12</b>
<b>ITWM-Nachwuchs fördern und gewinnen</b> .....	<b>14</b>
<b>Next Generation Computing</b> .....	<b>16</b>
Next Generation Computing steht auf drei Säulen .....	17
<b>Quantencomputing</b> .....	<b>18</b>
Quantencomputing – die Zukunft ruft .....	19
EnerQuant: Quantencomputing für die Energiewirtschaft .....	20
Betonbalken biegen und beobachten – Quantencomputing beschleunigt die Auswertung von CT-Daten .....	21
<b>Gesundheit und Medizin</b> .....	<b>22</b>
Gesundheit 4.0: Entwicklung und Produktion neuer Medikamente beschleunigen .....	23
Unsicherheiten planbar machen .....	24
Energieeffiziente KI-Chips für die Erkennung von Vorhofflimmern .....	26
Neue Ansätze für die Strahlentherapie .....	27
<b>Fraunhofer ITWM versus Corona</b> .....	<b>28</b>
Mit Mathematik gegen Covid-19 .....	29
AVATOR – Wie breiten sich Aerosole in Innenräumen aus? .....	30
Meltblown: Weniger Wolken am Simulationshimmel .....	32
Lungenschädigung durch Covid-19 besser verstehen .....	34
<b>Mobilität</b> .....	<b>36</b>
Das Technikum – Versuche und Simulationen unter einem Dach .....	37
CDTire – mit Simulation den Reifen neu erfinden .....	38
Daten besser nutzen – KI und ML in der Fahrzeugentwicklung .....	40
DEFACTO – E-Mobilität gewinnt auf Zellebene an Fahrt .....	42
<b>Digitalisierung</b> .....	<b>44</b>
Europaweiter Kongress: Trust in AI .....	45
Anita Schöbel wird KI-Lotsin .....	45
Forschende der Finanzmathematik rechnen smartes Solvenzkapital .....	46
Dem Betrug mit Algorithmen und KI auf der Spur .....	48
Tarantella spinnt schnelle Netze – Rechenpower für Deep Learning .....	50
Maßgeschneiderte digitale Planungsprozesse .....	51

<b>Energie</b> .....	<b>52</b>
Smarte Software für das Management fluktuierender Energieproduktion .....	53
Damit der Strom fließt: Zerstörungsfreies Prüfen von Kraftwerksgeneratorstäben .....	54
FlexEuro: Wer flexibel und klug steuert, gewinnt am Energiemarkt .....	56
Industrie 5G – nicht nur Zukunftsmusik durch Expertise aus der Mathematik .....	58
Deep Learning beschleunigt seismische Datenverarbeitung .....	60
ALOMA: Ein Parallelisierungsframework – nicht nur für seismische Anwendungen .....	61
<b>Anlagen- und Maschinenbau</b> .....	<b>62</b>
MESHFREE – Prozesssimulation auf den Punkt gebracht .....	63
Smart überwachen, automatisiert vorausschauen .....	64
Hybrides Rückwärtsrechnen für die Kunststoffindustrie .....	66
EMMA lernt fahren – Dynamisches Menschmodell für autonome Fahrzeuge .....	68
Virtuell sieht man besser: Neue Wege in der Bildverarbeitung .....	70
Aus RGB wird hyperspektral: Mehr sehen, als das Auge erlaubt .....	72
TeraSpect für multispektrale Messungen .....	73
Neue Features für MeSOMICS® .....	73
<b>Chemische Industrie</b> .....	<b>74</b>
KI trifft auf 100 Jahre Ingenieurskunst .....	75
Chemische Formulierungen risikoarm optimieren .....	76
Take a seat – Simulation der PU-Schaumexpansion beim Spritzgießen von Autositzen ..	78
Wasserstoffelektrolyse im Kleinen verstehen – Großes für grünere Energie erreichen ...	80
<b>Wir sind das Fraunhofer ITWM</b> .....	<b>82</b>
Bildverarbeitung .....	84
Finanzmathematik .....	86
High Performance Computing .....	88
Materialcharakterisierung und -prüfung .....	90
Mathematik für die Fahrzeugentwicklung .....	92
Optimierung .....	94
Strömungs- und Materialsimulation .....	96
Systemanalyse, Prognose und Regelung .....	98
Transportvorgänge .....	100
<b>Impressum</b> .....	<b>103</b>

# 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 digitalen 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

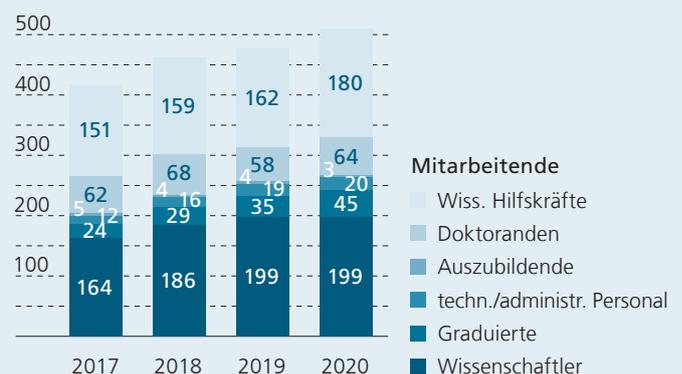
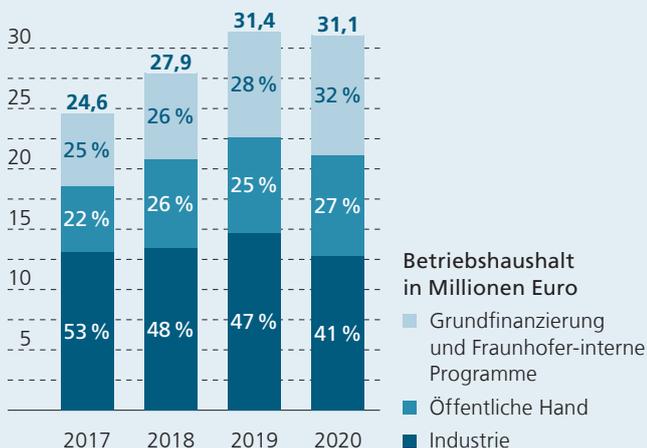
Viele kleine und mittelständische Unternehmen nutzen die Simulation zur Kostenreduzierung. Gerade diese Unternehmen unterstützen wir mit Beratung und Rechenleistung. Sie profitieren am Markt durch den Einsatz von Simulation in punkto Innovation und Qualitätssicherung von Produkten. Natürlich arbeiten wir auch mit großen Firmen zusammen, vor allem im Fahrzeugbereich, im Maschinenbau, der Textilindustrie, der Mikroelektronik, der Computerindustrie und im Finanzsektor. Integrale Bausteine unserer Forschungs- und Entwicklungsprojekte 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 Unternehmen.

**225**  
Industrie-  
projekte mit  
143 Partnern  
realisiert.

## Unsere vielseitigen Kernkompetenzen

- Verarbeiten der aus Experimenten und Beobachtungen gewonnenen Daten
- Aufsetzen der mathematischen Modelle
- Umsetzen der mathematischen Problemlösungen in numerische Algorithmen
- Zusammenfassen von Daten, Modellen und Algorithmen in Simulationsprogrammen
- Optimieren von Lösungen in Interaktion mit der Simulation
- Visualisieren der Simulationen in Bildern und Grafiken

Als Fraunhofer 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-/Anlagenbau
- Fahrzeugindustrie und Zulieferer
- Medizin und Medizintechnik

- Energie- und Rohstoffwirtschaft
- Technische Textilien
- Informationstechnologie
- Finanzwirtschaft

Durch die langjährige Zusammenarbeit mit unseren Stammkund:innen 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.

## Kuratorium

- August Altherr, John Deere European Technology Innovation Center
- Prof. Dr. Nicole Bäuerle, Karlsruher Institut für Technologie
- Prof. Dr. Peter Benner, Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme
- Dr.-Ing. Erwin Flender, MAGMA Gießereitechnologie GmbH
- Dr. Christoph Großmann, BASF SE
- 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. Iris Pigeot, Leibniz-Institut für Präventionsforschung und Epidemiologie
- Prof. Dr. Arnd Poetzsch-Heffter, Präsident der TU Kaiserslautern
- Dr. Udo Scheff, John Deere GmbH
- Prof. Dr. Helmut J. Schmidt, ehem. 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 und Gesundheit des Landes Rheinland-Pfalz

(Stand 2021)

# Vernetzung und Kooperationen innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft

**65**  
gemeinsame  
Projekte mit  
anderen  
Fraunhofer-  
Instituten

Ein großes Netzwerk und kluge Köpfe sind entscheidend für den Erfolg von Projekten. Unsere spezifischen mathematischen Kompetenzen machen das Fraunhofer ITWM zu einem gefragten und geschätzten Kooperationspartner innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft.

Das »Powerhouse« stellt die Organisations- und Förderstruktur der Fraunhofer-Gesellschaft dar. Im Folgenden zeigen wir, wie sich das Fraunhofer ITWM auf allen Ebenen einbringt:

## Fraunhofer-Verbünde

Fachlich verwandte Institute organisieren sich in Forschungsverbänden und treten gemeinsam am FuE-Markt auf. Sie wirken in der Unternehmenspolitik sowie bei der Umsetzung des Funktions- und Finanzierungsmodells der Fraunhofer-Gesellschaft mit. Das Fraunhofer ITWM ist Mitglied im Verbund für:

- Informations- und Kommunikationstechnologie – IUK
- Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS (Gaststatus)

## Fraunhofer-Leistungszentren

Leistungszentren organisieren den Schluß der Forschung mit der Wirtschaft. Universitäten, Hochschulen, Fraunhofer-Institute und weitere außeruniversitäre Forschungseinrichtungen arbeiten an einem Standort themenspezifisch mit Unternehmen und zivilgesellschaftlichen Akteuren zusammen, um Innovationen schnell in die Anwendung zu bringen. Sie stehen für exzellente, organisationsübergreifend nutzbare Infrastruktur, Ausbildungskonzepte und Know-how. Sie führen passende Partner zusammen und begleiten Ideen bis in den Markt.

In Kaiserslautern ist das unter ITWM-Geschäftsführung stehende Leistungszentrum »Simulations- und Software-basierte Innovation« angesiedelt.

## Fraunhofer Cluster of Excellence

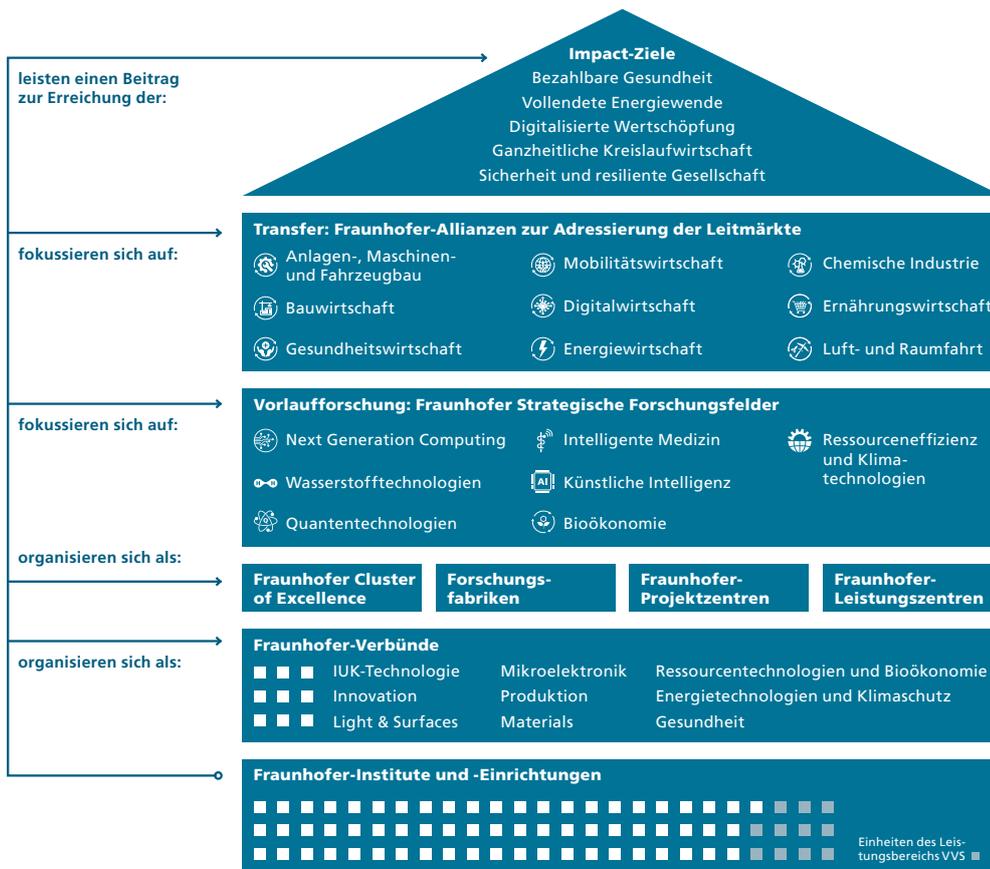
Diese Cluster fördern die kooperative Entwicklung und Bearbeitung systemrelevanter Themen durch eine institutsübergreifende Forschungsstruktur. Organisatorisch entsprechen die Forschungscluster einem virtuellen Institut, das sich über mehrere Standorte verteilt. Wir engagieren uns in diesen Clustern:

- Advanced Photon Sources CAPS
- Cognitive Internet Technologies CCIT
- Programmable Materials CPM

## Fraunhofer Strategische Forschungsfelder

Die Fraunhofer Strategischen Forschungsfelder (FSF) definieren die portfoliobildenden Schwerpunkte der Fraunhofer-Gesellschaft und bündeln die wesentlichen Zukunftsfelder der anwendungsorientierten Forschung. Mit ihnen ergibt sich eine übergreifende strategische Ausrichtung an zentralen Herausforderungen entsprechend der gesetzten Zielen.

Unsere Institutsleiterin Prof. Dr. Anita Schöbel ist Sprecherin des FSF »Next Generation Computing« und gemeinsam mit Prof. Dr. Manfred Hauswirth (Fraunhofer FOKUS) verantwortlich für das Thema »Quantencomputing« bei Fraunhofer. An unserem Institut ist das rheinland-pfälzische Kompetenzzentrum mit dem Schwerpunkt »Quanten High Performance Computing« angesiedelt.



Das »Fraunhofer-Powerhouse« veranschaulicht die weiterentwickelte Struktur der Fraunhofer-Gesellschaft. Unser Institut ist auf allen Ebenen aktiv vertreten. Dieser Jahresbericht orientiert sich in seinem Aufbau daran.

### Leitmarktorientierte Allianzen

Mit den leitmarktorientierten Allianzen verfolgt Fraunhofer das Ziel, Branchen mit hoher Relevanz für Innovationskraft – die Fraunhofer-Leitmärkte – anzusprechen und durch Angebote für Systemlösungen und institutsübergreifenden Transfer Mehrwert zu schaffen. Wir engagieren uns in folgenden Leitmärkten:

- Anlagen-, Maschinen- und Fahrzeugbau
- Gesundheitswirtschaft
- Chemische Industrie
- Mobilitätswirtschaft
- Digitalwirtschaft
- Energiewirtschaft

### Fraunhofer-Leitprojekte: Vorlufforschung im Verbund

Thematisch orientieren sich die Fraunhofer-Leitprojekte an aktuellen Bedarfsfeldern der Industrie und bündeln die Kompetenzen verschiedener Institute für eine effiziente Vorlufforschung. Das Ziel des Programms ist das

Ausschöpfen des Synergiepotenzials durch Zusammenführen von Kompetenzen mehrerer Institute, um Lösungen für Herausforderungen der deutschen Industrie zu liefern. Leitprojekte mit ITWM-Beteiligung sind:

- ML4P – Machine Learning for Production
- QUILT – Quantum Methods for Advanced Imaging Solutions
- COGNAC – Cognitive Agriculture
- ShaPID – Shaping the Future of Green Chemistry by Process Intensification and Digitalization

### FCC – Starker Partner in Schweden

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. 2020 arbeiteten 65 Beschäftigte an Themen wie Multiphysik Simulation, Geometry, Modellierung biologischer Systeme und Data Mining. Der Haushalt betrug sieben Millionen Euro.

# Leistungszentrum Simulations- und Software-basierte Innovation



## Stabiles Netzwerk am Standort

Fünf Jahren erfolgreicher Forschungs- und Transferarbeit können weitere folgen: das Leistungszentrum »Simulations- und Software-basierte Innovation« in Kaiserslautern erhält zunächst eine Weiterfinanzierung bis Ende 2021. Aber auch für die Zeit danach sieht es gut aus.

Die Erfolgsgeschichte begann 2016, als die Zusammenarbeit der Kaiserslauterer Fraunhofer-Institute sowohl mit der TU als auch der Hochschule Kaiserslautern und die gute Kooperation mit der Wirtschaft im Leistungszentrum gebündelt wurde. Von Anfang an mit dabei sind auch das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) mit seinem Standort in Kaiserslautern und das Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe IVW. Mittlerweile hat sich das Leistungszentrum etabliert als das digitale Transferzentrum der Region mit zunehmendem Fokus auf Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI), des Next Generation Computings (NGC) und des Quantencomputings.

## Finanzierung für 2021 gesichert

Darum soll dieses Angebot auch erhalten bleiben: Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und die Fraunhofer-Gesellschaft stellen für das laufende Jahr zwei Millionen Euro zur Verfügung. »Die Kompetenzen unserer branchenorientierten Transferzentren nutzen vor allem der chemischen Verfahrenstechnik, der Fahrzeugindustrie sowie der IT- und Energiebranche«, so Dr. Konrad Steiner, Abteilungsleiter am Fraunhofer ITWM und gleichzeitig Geschäftsführer des Leistungszentrums. »In der aktuellen Förderphase wollen wir Zukunftsthemen auf- und aus-

bauen und den Transfer in Industrie und Gesellschaft verstärken.« Flankierende Finanzierung erhält das Leistungszentrum von Beginn an vom Land Rheinland-Pfalz, das aktuell vor allem die Zukunftsthemen Quantencomputing, Energiewirtschaft und Wasserstoffnutzung fördert.

## Langfristiges Monitoring

Die langfristige Ausgestaltung des Leistungszentrums orientiert sich an einer am Standort abgestimmten Transfer-Roadmap. Darin sind zu verschiedenen Verwertungspfaden die Ziele und aktuellen Maßnahmen spezifiziert; sie werden kontinuierlich überprüft.

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 Zentrum »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.

## Kontakt

Dr. Konrad Steiner  
Geschäftsführer »Leistungszentrum Simulations- und Software-basierte Innovation«  
Telefon +49 631 31600-4342  
konrad.steiner@itwm.fraunhofer.de



Mehr Information unter [www.leistungszentrum-simulation-software.de](http://www.leistungszentrum-simulation-software.de)

# Spin-Offs und weitere Kooperationen

## Spin-Offs des Fraunhofer ITWM

- **Math2Market** – Das digitale Materiallabor mit umfangreichem Software-Service für Unternehmen
- **fleXstructures** – Spezifische Engineering-Projekte und Dienstleistungen für die Simulation flexibler Bauteile
- **Sharp Reflections** – Big-Data-Rechentechnologien für die Zukunft der Seismik
- **ThinkParQ** – Schnelle und skalierbare Lösungen für alle leistungsorientierten Umgebungen wie HPC, KI und Deep Learning
- **Produktinformationsstelle Altersvorsorge PIA** – Neutrale Stelle für die Chancen-Risiko-Klassifizierung geförderter Altersvorsorgeprodukte
- **Wendeware AG** – Software-Ökosystem für die Energiewende

## Vernetzung in der Nachwuchsförderung

Das **Felix-Klein-Zentrum für Mathematik (FKZM)** ist eine institutionelle Verbindung zwischen dem Fachbereich Mathematik der TU Kaiserslautern und dem Fraunhofer ITWM. Schwerpunkt ist die Nachwuchsförderung, zum Beispiel mit Modellierungswochen für Schulen, Stipendien und einem Mentoren-Programm für Mathematik-Studierende. Stipendiatinnen und Stipendiaten werden nicht nur finanziell gefördert, sie können auch Praxis und Theorie verbinden. Für Studierende höheren Semesters und Promovierende gibt es mehrtägige Fort- und Weiterbildungen, zudem können sie Vorträge hochkarätiger Forschender hören. Der monatliche »Blick über den Tellerrand« des Felix-Klein-Zentrums bietet interessante Einblicke in unterschiedliche Themen aus Wissenschaft und Kultur.

Das Kompetenzzentrum für **mathematische Modellierung in MINT-Projekten in der Schule (KOMMS)** richtet sich vor allem an Lehrende. Angesiedelt ist es an der TU Kaiserslautern und verbindet die Bereiche Schulprojekte, Aus- und Fortbildung sowie Forschung.

Das nationale **Excellence-Schulnetzwerk MINT-EC** will Schülerinnen und Schüler für MINT-Fächer begeistern. Im Zuge der Zusammenarbeit werden regelmäßig Veranstaltungen wie die Math-Talent-School angeboten.

## Weitere Vernetzung am Standort

Die **Science and Innovation Alliance Kaiserslautern (SIAM)** bildet 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.

## Vernetzung in Europa

Im **European Consortium for Mathematics in Industry (ECMI)** haben sich wissenschaftliche Institutionen und Industrieunternehmen in Europa zusammengeschlossen, mit dem Ziel, mathematische Modellierung, Simulation und Optimierung noch stärker in die wirtschaftliche Anwendung zu bringen. Eine wichtige Rolle spielt die Ausbildung von Industriemathematikerinnen und -mathematikern, denn insbesondere ihre Expertise wird gebraucht.

# 6

Spin-Offs  
gegründet seit  
Bestehen des  
Fraunhofer  
ITWM



Mehr Information unter [www.itwm.fraunhofer.de/netzwerke](http://www.itwm.fraunhofer.de/netzwerke)

# Rückblick: Highlights 2020



*Ein so gut besuchtes Atrium gab es seit dem 4. März 2020 nicht mehr.*

## Terahertz-Tagung – letzte Präsenzveranstaltung 2020

Die Wenigsten hätten es zu diesem Zeitpunkt vermutet: Der »9. International Workshop on Terahertz Technology and Applications« war die letzte Präsenzveranstaltung des Jahres 2020 an unserem Institut! Der Workshop fand am 3. und 4. März 2020 statt.

Wie jedes Jahr bot er Vertreterinnen und Vertretern aus Wissenschaft und Industrie ein Forum für den Erfahrungsaustausch. Im Fokus standen dabei neue Anwendungen, zerstörungsfreie Prüfung, Sicherheits- und Kommunikationstechnik

sowie neue Entwicklungen in der Terahertz-Systemtechnologie. Sie zeigten das große Potenzial der Technologien für Analyse-, Prüf- und Messaufgaben. Das Programm zeichnete sich vor allem durch die Beiträge renommierter Vortragender aus ganz Deutschland und auch internationaler Forscher aus, darunter Dr. Peter Uhd Jepsen von der Technischen Universität Dänemark und Dr. Tadao Nagatsuma von der Osaka Universität. Neben Personen aus Wissenschaft und Forschung konnten wir auch zahlreiche Teilnehmende der Industrie begrüßen.



Weitere Informationen unter [www.itwm.fraunhofer.de/terahertz2020](http://www.itwm.fraunhofer.de/terahertz2020)



*Als Berater im Krisenstab gefragt: Bereichsleiter Karl-Heinz Küfer*

## Unterstützung im Pandemie-Management

Kann man die Pandemie-Entwicklung vorher-sagen? Dieser Frage widmeten sich unsere Forschenden im Projekt EpideMSE: Mithilfe von statistischen Methoden und einer daten-gestützten Modellierung entwickelten sie ein mathematisches Prognosemodell, das politisch Entscheidende auf lokaler Ebene bei dem Pan-demie-Management unterstützt. »Ähnlich wie bei Wettervorhersagen sind durch unser Mo-dell kurzfristige Prognosen möglich, um früh genug Entwicklungen zu erkennen und den Verlauf besser einzuschätzen«, so Prof. Dr. Karl-Heinz Küfer, Bereichsleiter »Optimierung«.

Parallel dazu wird auch an der Außenstelle des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz in Trier (DFKI) an einem agentenba-

sierten Sozialsimulationsmodell, SoSAD, ge-forscht. Beide Forschungsprojekte wurden im Projekt SEEvacs – Simulation-based Evolution and Evaluation of Vaccination Strategies in Co-vid-19-pandemics zusammengeführt, um eine nachhaltige Entscheidungsunterstützung auf der makro- und mikroskopischen Ebene zu bieten. Dieses Wissen nutzt die Stadt Kaisers-lautern: Am 22. Februar 2021 gab sie den Startschuss für ein gemeinsames Gutachten zum Einfluss der Freibadöffnung auf das städ-tische Infektionsgeschehen. Auch in den Me-dien waren unsere Forschenden oftmals als Interviewpartner gefragt und halfen dabei, die aktuellen Entwicklungen für die Öffentlichkeit verständlich einzuordnen. Zahlreiche Medien-veröffentlichungen sind erschienen.



Weitere Informationen unter [www.itwm.fraunhofer.de/dfki-pm](http://www.itwm.fraunhofer.de/dfki-pm)



## Zwei Fraunhofer-Institutsleiterinnen im Senat der NFDI

Im Dezember 2020 wurde unsere Institutsleiterin Prof. Dr. Anita Schöbel in den Senat der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) e. V. berufen. Die NFDI soll Daten und Forschungsergebnisse, die bisher dezentral bei den jeweiligen Einrichtungen gespeichert waren, für die Wissenschaftscommunity erschließen und besser zugänglich machen. Neben Anita Schöbel gehört dem Gremium eine weitere Institutsleiterin an: Die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz (GWK) von Bund und Ländern berief Prof. Dr. Claudia Eckert, Institutsleiterin des Fraunhofer-

Instituts für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC, in den Senat der Organisation.

Die beiden Forscherinnen haben die Chance, die inhaltliche und strategische Ausrichtung der NFDI mitzugestalten. »Es gibt viel zu tun. In Deutschland, in Europa und international warten Forscherinnen und Forscher darauf, dass wissenschaftliche Ergebnisse aus unterschiedlichen Quellen, Standorten und Organisationen besser zugänglich gemacht werden«, so Anita Schöbel.

*Berufen auf wissenschaftlich renommierten Posten: Anita Schöbel (links) und Claudia Eckert.*



Weitere Informationen unter <https://s.fhg.de/nfdi>

## Alumni-Treffen – geht auch digital

Wie so viele Veranstaltungen unseres Instituts musste auch das Alumni-Netzwerktreffen im Dezember 2020 virtuell stattfinden. Trotzdem hatten sich viele ehemalige ITWMLer:innen angemeldet und waren nach zwei Stunden wieder auf dem Laufenden über den Forschungsstand ihres ehemaligen Arbeitgebers. Dazu gehörten natürlich Forschungsprojekte zum Thema »Fraunhofer ITWM vs. Corona«; der Fokus lag auf »EpidemSE«, »AVATOR – Aerosolausbreitung in Innenräumen« und »Modellierung der Feuchteausbreitung in Gesichtsmasken«. Ein weiterer Schwerpunkt war das Quantencomputing: Forschende aus den Abteilungen »Finanzmathematik«, »Strömungs- und Materialsimulation« sowie »Optimierung« nutzten die Gelegenheit, ihre Projekte vorzustellen.



*Hoch die Tassen! Virtuell statt gemeinsam vor Ort.*

Fürs Gemeinschaftsgefühl trotz räumlicher Trennung haben alle Teilnehmenden vor dem Alumni-Treffen ein Päckchen mit Tasse, Tee und Pralinen erhalten – entspanntes Netzwerken funktioniert auch digital!



Weitere Informationen unter [www.itwm.fraunhofer.de/alumni](http://www.itwm.fraunhofer.de/alumni)

# ITWM-Nachwuchs fördern und gewinnen

Nachwuchsförderung ist ein besonders wichtiges Thema am Fraunhofer ITWM. Hervorzuheben sind hier die Aktivitäten des Felix-Klein-Zentrums für Mathematik, einer gemeinsamen Einrichtung des Fachbereichs Mathematik der TU Kaiserslautern und unseres Instituts. Aber auch mit der Beteiligung an anderen Programmen, Veranstaltungen und Formaten erreichen wir junge Menschen und zeigen ihnen, wohin Mathematik, Forschung und unser Institut sie führen kann.



*Welche Berufschancen bietet die angewandte Mathematik? Die Math-Talent-School gibt Antworten.*

## Math-Talent-School 2020: Die Berufswelt kennenlernen und im Team tüfteln

Im jährlichen Veranstaltungsformat Math-Talent-School hatten 23 Jugendliche von Schulen des nationalen Excellence-Schulnetzwerks MINT-EC vom 2. bis zum 6. März 2020 die Chance, in die Arbeitswelt von Mathematikerinnen und Mathematikern einzutauchen. Ausgewählte Schülerinnen und Schüler aus ganz Deutschland nutzten die Gelegenheit zu erfahren, was unter angewandter Mathematik in der Praxis zu verstehen ist.

Im Mittelpunkt der Tage am Fraunhofer ITWM standen die Gruppenarbeiten. In diesen bearbei-

teten die Teams unterschiedliche Fragestellungen mithilfe mathematischer Modellierung und Computersimulation – tatkräftig unterstützt von Forschenden des Fraunhofer ITWM und der TU Kaiserslautern (TUK). Die Gruppen beschäftigten sich u.a. mit der »Entwicklung eines Schrittzählers« oder »Choreographien für Musikbrunnen«. Außerdem stand eine exklusive Führung durch das Institut und den Fachbereich Mathematik der TUK auf dem bunten Programm. Organisiert wird die Math-Talent-School jährlich von MINT-EC in Kooperation mit dem Felix-Klein-Zentrum für Mathematik.



Weiteres unter [www.itwm.fraunhofer.de/math-talent-school-2020](http://www.itwm.fraunhofer.de/math-talent-school-2020)



*Rettet die Forschungsergebnisse! Spannende Mission beim Digitaltag 2020.*

## Digitaltag erstmals mit Fraunhofer Escape Game @Home

Challenges digital im Team meistern und gleichzeitig eigene Ideen verwirklichen geht nicht. DOCH! Das Fraunhofer Escape Game @Home stellte Studierende am 19. Juni 2020 vor neue Herausforderungen – erstmals rein digital.

In Teams von vier bis fünf Personen konnten sie zeigen, was in ihnen steckt und verschiedene Aufgaben in einem virtuellen Raum gemeinsam lösen. Dabei überzeugte das Online-Spiel mit

einem spannenden Fall. Es galt, gefährdete Forschungsergebnisse der Fraunhofer-Gesellschaft zu retten. Dadurch erhielten die Teilnehmenden Einblicke in die Arbeits- und Forschungswelt. Neben Teamgeist, Geschick und Kreativität waren auch analytische Fähigkeiten zur Lösung gefragt. Das digitale Spiele-Event war Teil des deutschlandweiten Digitaltags, getragen von der Initiative »Digital für alle«, der jährlich stattfinden soll.



Mehr Informationen unter [www.itwm.fraunhofer.de/digitaltag2020](http://www.itwm.fraunhofer.de/digitaltag2020)

## Promovieren in verschiedenen Welten: Mathe verbindet international

2020 promovieren am ITWM 64 Doktorandinnen und Doktoranden. Sie forschen an spannenden Themen, arbeiten in verschiedenen Abteilungen und in den unterschiedlichsten Programmen. Zwei internationale Kollegen sind beispielsweise in unserem Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung« mit ihrer Doktorarbeit beschäftigt:

Davide Manfredo ist seit 1. April 2020 an unserem Institut. Er kam mit einem Master-Abschluss in Mathematik für die Biowissenschaften von der Universität Trient in Italien nach Kaiserslautern und ist Teilnehmer eines ganz besonderen Programmes, in dem die EU europaweit 14 Promotionsstellen für drei Jahre fördert: »THREAD – Joint Training on Numerical Modelling of Highly Flexible Structures for Industrial Applications«. THREAD will, mithilfe finanzieller Unterstützung der EU, den internationalen Austausch und die Mobilität des wissenschaftlichen Nachwuchses fördern. Mit Mobilität war es 2020 aber eher schwierig. Statt in Kaiserslautern saß Davide Manfredo erstmal im Home-Office bei seinen Eltern in Turin. Später war dann auch wieder mehr Mobilität möglich. »THREAD« bietet ein einzigartiges Netzwerk an Universitäten, Forschungseinrichtungen und Industrie in acht europäischen

Ländern. Ein ganz besonderes Ausbildungsumfeld, denn neben der Bearbeitung von anwendungsnahen Dissertationsthemen, dürfen die Doktorandinnen und Doktoranden auch ein dreimonatiges Praktikum in einem Industrieunternehmen absolvieren – darunter auch bei flexstructures, einem erfolgreichen ITWM-Spin-off. Der Fokus der Forschungsprojekte liegt auf der Frage, wie sich dünne, flexible Strukturen wie Seile, Kabelbündel oder Schläuche künftig besser modellieren und im Computer simulieren lassen.

Mit ähnlichen Themen beschäftigt sich auch Armin Bosten. Der gebürtige Belgier ist seit November 2019 als Doktorand im Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung« tätig. Bosten promoviert mit einem Stipendium des ITWM im Team »Mathematik für die Digitale Fabrik«. Gleichzeitig wird er von Prof. Olivier Brüls der Universität Lüttich (französisch: Université de Liège) betreut. In der Praxis heißt das für ihn, er ist immer wieder abwechselnd ein paar Wochen in Kaiserslautern und Belgien vor Ort. Beide jungen Mathematiker haben einen spannenden Berufsalltag als ITWM-Doktorand – nicht nur zwischen Kabeln und Schläuchen, sondern auch zwischen verschiedenen Ländern.



*Armin Bosten vor Ort am Institut – er forscht hier und an der Universität Lüttich.*



**Mehr zu THREAD und Davide Manfredo: [www.itwm.fraunhofer.de/thread](http://www.itwm.fraunhofer.de/thread)**



**Interview mit Armin Bosten: [www.itwm.fraunhofer.de/interview-bosten](http://www.itwm.fraunhofer.de/interview-bosten)**

## European Career Fair 2020: Internationale Karrieremesse mit dem ITWM

Die European Career Fair (ECF) findet jedes Jahr am renommierten Massachusetts Institute of Technology (MIT) statt. Sie ist die größte europäische Karrieremesse in den USA und bietet amerikanischen Studierenden die Möglichkeit mit europäischen Unternehmen, Universitäten und Organisationen in Kontakt zu kommen – 2020 auch mit Forschenden des ITWM. Zielgruppe sind besonders Graduierte,

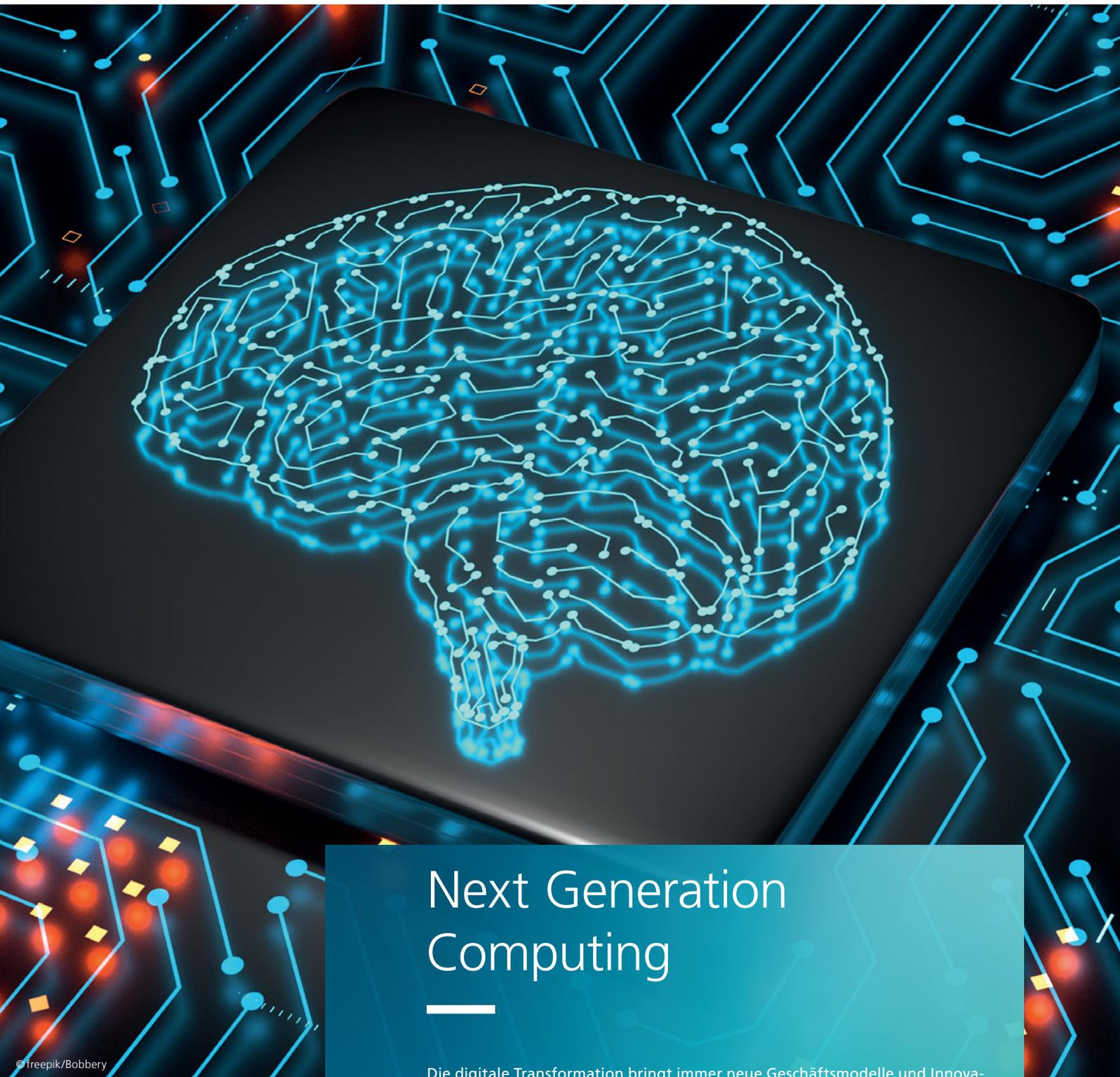
Doktoranden und Postdoktoranden der Universitäten an der amerikanischen Ostküste, darunter MIT, Yale oder Harvard. Dr. Dietmar Hietel, Leiter der Abteilung »Transportvorgänge«, war im Februar 2020 vor Ort und führte Interviews mit Studierenden, die sich für eine Karriere am Fraunhofer ITWM interessierten. Vielleicht also bald noch mehr internationaler Nachwuchs aus den USA?



*Recruiting in den USA: Nicole Cumia (Fraunhofer-Zentrale) und Dietmar Hietel vor Ort bei der ECF.*



**Mehr Informationen unter [www.itwm.fraunhofer.de/karriere](http://www.itwm.fraunhofer.de/karriere)**



# Next Generation Computing

---

Die digitale Transformation bringt immer neue Geschäftsmodelle und Innovationen hervor. Herkömmliche Computing-Technologien stoßen allerdings allmählich an die Grenzen ihrer Geschwindigkeit, Leistungsfähigkeit und Energieeffizienz. Zeit für Next Generation Computing! Zeit für eine neue hybride Computing Generation! Fraunhofer treibt die Entwicklung von Hardware und Technologien für die nächste Generation voran und setzt Akzente bei Trusted Computing, Neuromorphem Computing und Quantencomputing. Ziel dabei ist, die Entwicklung von vertrauenswürdiger, hoch performanter und effizienter Hard- und Software.



# Next Generation Computing steht auf drei Säulen

Dr. Jens Krüger aus unserer Abteilung »High Performance Computing« ist Fraunhofer-Referent für das Strategische Forschungsfeld »Next Generation Computing«. Er wagt einen Blick in die Zukunft und beschreibt, welche Computer unser Arbeitsleben und vielleicht auch unseren Alltag prägen werden.

Die nächste Generation vom Computern wird vielfältig sein. Sie steht auf drei verschiedenen Säulen: die erste Säule basiert auf klassischen Architekturen, wie wir sie heutzutage kennen, aber spezialisiert. Die zweite Säule sind neuromorphe Computer, die in etwa so funktionieren wie unser Gehirn und die dritte Säule sind Quantencomputer: Gemeinsam mit IBM betreibt die Fraunhofer-Gesellschaft den Quantencomputer IBM System One seit Juni 2021 in der Nähe von Stuttgart.



*Die kühle Schönheit des Quantencomputing: Der System One von IBM ist der schnellste Quantencomputer Europas.*

## Welchen Herausforderungen können wir mit der nächsten Computergeneration begegnen?

Die Digitalisierung stellt uns vor große Herausforderungen in den Bereichen Gesundheit, Mobilität, Energiewende – immer mehr Daten müssen immer schneller verarbeitet werden. Ein Lösungsansatz ist das neuromorphe Computing, dabei imitieren Computer das menschliche Gehirn. Dies ist äußerst effizient in der Verarbeitung von Informationen und sehr gut in der Mustererkennung; gleichzeitig ist es auch noch extrem energieeffizient. Dieses System von Neuronen und Synapsen wollen wir nachahmen, indem Daten nicht mehr nach dem Transport vom Speicher in die Verarbeitungseinheit, sondern während der Weiterleitung in einem Netz von Neuronen und Synapsen verarbeitet werden. Ein großer Vorteil ist die Energieersparnis, denn es werden nur die Neuronen eines Netzes aktiviert, die auch gebraucht werden.

## Was zeichnet Trusted Computing aus?

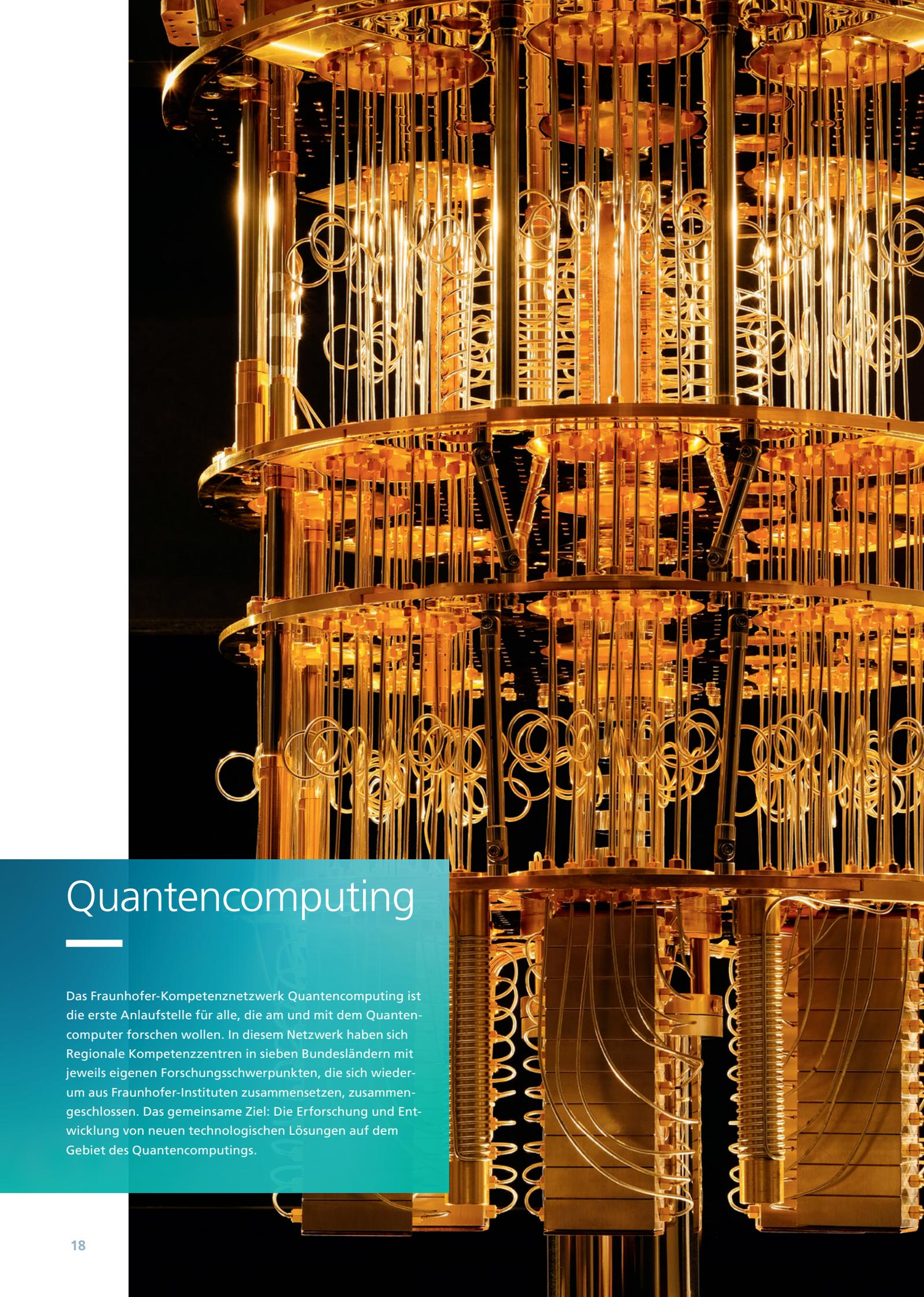
Kern ist eine vertrauenswürdige Mikroelektronik, also eine, die beispielsweise gegen Hackerangriffe auf Infrastrukturen geschützt ist oder das Entschlüsseln von Datenkommunikation verhindert. Diese Mikroprozessoren sollen auch in Europa entwickelt werden. Ein Beispiel dafür ist EPI, die European Processor Initiative, in der 28 Partner aus zehn europäischen Ländern gemeinsam die ersten High Performance Computing Systeme für Chips und Beschleunigereinheiten entwickeln. Der EPI-Prozessor soll Anwendungen des wissenschaftlichen Rechnens – beispielsweise Wettervorhersagen – sowie der Datenanalyse unterstützen. Zusätzlich ermöglicht eine spezielle Variante des Prozessors eine beschleunigte und energieeffiziente Auswertung von Sensordaten bei autonomen Fahrzeugen. Wir konzentrieren uns auf die Nutzung europäischer Technologien und streben eine energieeffiziente Prozessortechnologie mit Anwendung in einem europäischen Pre-Exascale- sowie Exscale-System an.

## Kontakt

Dr. Jens Krüger  
Abteilung »High Performance Computing«  
Telefon +49 631 31600-4541  
jens.krueger@itwm.fraunhofer.de



Weitere Informationen zum Thema unter [www.itwm.fraunhofer.de/epi](http://www.itwm.fraunhofer.de/epi)



# Quantencomputing

Das Fraunhofer-Kompetenznetzwerk Quantencomputing ist die erste Anlaufstelle für alle, die am und mit dem Quantencomputer forschen wollen. In diesem Netzwerk haben sich Regionale Kompetenzzentren in sieben Bundesländern mit jeweils eigenen Forschungsschwerpunkten, die sich wiederum aus Fraunhofer-Instituten zusammensetzen, zusammengeschlossen. Das gemeinsame Ziel: Die Erforschung und Entwicklung von neuen technologischen Lösungen auf dem Gebiet des Quantencomputings.

# Quantencomputing – die Zukunft ruft

Ein »Game Changer« – das Potenzial der Quantentechnologien ist kaum absehbar. Quantencomputing verspricht, im Vergleich zu klassischem Computing, eine exponentielle Beschleunigung ausgewählter Algorithmen sowie die Möglichkeit, komplexe Fragestellungen zu behandeln. Gemeinsam mit Prof. Dr. Manfred Hauswirth, Institutsleiter am Fraunhofer FOKUS, ist ITWM-Institutsleiterin Prof. Dr. Anita Schöbel für das Thema Quantencomputing bei Fraunhofer verantwortlich. In Kooperation mit IBM ist ein nationales Kompetenznetzwerk entstanden, das quantenbasierte Rechenstrategien für die nächste Generation an Hochleistungscomputern entwickelt.

## Kompetenznetzwerk mit rheinland-pfälzischer Beteiligung

An unserem Institut wurde im August 2020 das rheinland-pfälzische Kompetenzzentrum »Quanten High Performance Computing« eröffnet. Wir bringen hier unsere Expertise aus den Bereichen Mathematik, Physik und High Performance Computing ein sowie unsere gute Vernetzung mit der Industrie. Am Kompetenzzentrum wird unter anderem abgeschätzt, unter welchen Voraussetzungen praxisrelevante Probleme auf Quantencomputern lösbar und für die Industrie anwendbar sind. Außerdem können durch den Cloud-Zugriff auf IBM Quantencomputer neue quantenbasierte Technologien, Anwendungsszenarien und Algorithmen erprobt werden. Wir konzentrieren uns dabei auf Quantenchemie, Finanz- und Energiewirtschaft sowie Materialsimulation, Quanten Bildverarbeitung und Quanten Maschinelles Lernen.

## Fraunhofer betreibt »Quantum System One«

Quantencomputing ist seit Juni 2021 aber auch in Europa möglich: Gemeinsam mit IBM betreibt Fraunhofer den Quantencomputer Quantum System One unter hiesigem Datenschutzrecht. Er steht Unternehmen und Forschungsorgani-

sationen zur Verfügung, um anwendungsbezogenen Quantenalgorithmen zu entwickeln und zu testen sowie Know-how aufzubauen.

## Lösungen für Bildung und Energie

Bereits 2018 startete das Fraunhofer-Leitprojekt »QUILT« (Quantum Methods for Advanced Imaging Solutions). In enger Zusammenarbeit mit der Industrie forschen sechs Fraunhofer-Institute gemeinsam an Bildgebungsverfahren im Terahertz-Spektralbereich auf Basis von Quantenoptik. Erste Erfolge, die Erzeugung geeigneter Photonenpaare, konnten bereits verzeichnet und die nächsten Schritte geplant werden. Forschende unseres Instituts nehmen in dem Projekt eine Schlüsselrolle beim Modellieren, Simulieren und Optimieren quantenbasierter berührungsfreier Methoden ein.

Ein weiteres Projekt ist das Verbundprojekt »EnerQuant«. Es nutzt die Vorteile von Quantencomputing für Optimierungsprobleme in der Energiewirtschaft. Vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert, entwickeln Forschende Algorithmen für Qubit-basierte Quantencomputer und Quantensimulatoren. Diese sollen zur Lösung eines energie-wirtschaftlichen Fundamentalmodells mit stochastischen Einflussgrößen verwendet werden.



Weitere Informationen [www.itwm.fraunhofer.de/quantencomputing](http://www.itwm.fraunhofer.de/quantencomputing)



# EnerQuant: Quantencomputing für die Energiewirtschaft

Komplexe Optimierungsprobleme mit vielen Variablen sind für klassische Computer schwierig zu lösen. Erst kürzlich haben bestimmte Quantencomputer bei der Lösung von Optimierungsproblemen vielversprechende Ergebnisse erzielt – mit dem Potenzial, selbst diskrete Variablen handhaben zu können. Im Verbundprojekt »EnerQuant: Energiewirtschaftliche Fundamentalmodellierung mit Quantenalgorithmien« nutzen unsere Forschenden aus den Abteilungen »Finanzmathematik« und »High Performance Computing« Vorteile von Quantencomputing für die Energiewirtschaft.

*Optisches System zur Laserkühlung und Kontrolle von ultrakalten Natriumatomen im Labor am Kirchhoff-Institut für Physik Heidelberg.*



getestet, um Fundamentalmodell und Quantensimulator sukzessive weiterzuentwickeln. Das langfristige Ziel: den deutschen Strommarkt hinreichend genau stochastisch zu modellieren.

## Neue Potenziale nutzen

EnerQuant ermöglicht es, das Potenzial neuer Computing-Technologien für die energiewirtschaftliche Modellierung zu nutzen. Die Forschenden zeigen auf, wie Fundamentalmodelle formuliert werden, um die Rechenleistung von Quantensimulatoren einzusetzen, und leisten so langfristig einen Beitrag für die Weiterentwicklung der Energiesystemmodellierung. Die Ergebnisse fließen in die Software-Plattform des Partners JoS QUANTUM ein und sind nach Projektende für die Industrie verfügbar. Des Weiteren liefert EnerQuant eine Analyse des Potenzials von Quantencomputern und stellt dessen Effizienz in direkten Vergleich zu klassischer Hardware und alternativen Ansätzen zur Lösung von Optimierungsproblemen.

»Kurzgefasst entwickeln wir im Projekt EnerQuant Algorithmen für Qubit-basierte Quantencomputer und Quantensimulatoren zur Lösung eines energiewirtschaftlichen Fundamentalmodells mit stochastischen Einflussgrößen«, erklärt Dr. Kerstin Dächert, Mitarbeiterin der Abteilung »Finanzmathematik« am Fraunhofer ITWM und Projektkoordinatorin. Gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen aus der Abteilung »High Performance Computing« forschen sie und ihr Team im Verbundprojekt zusammen mit Universitäten und Unternehmen aus der Industrie.

Als Basis definieren die Forschenden ein einfaches Fundamentalmodell, welches sich in ein quantenmechanisches Problem übersetzen und auf einem Quantensimulator realisieren lässt. Dieser wird in einem Prototyp aus kalten Atomen implementiert und auf seine Leistungsfähigkeit

EnerQuant startete im September 2020 mit einer Laufzeit von drei Jahren und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert. Neben dem Fraunhofer ITWM sind auch das Fraunhofer IOSB-AST, die Universitäten Heidelberg und Trient sowie JoS QUANTUM Teil des Verbunds.

## Kontakt

Dr. Kerstin Dächert  
Abteilung »Finanzmathematik«  
Telefon +49 631 31600-4989  
kerstin.daechert@itwm.fraunhofer.de

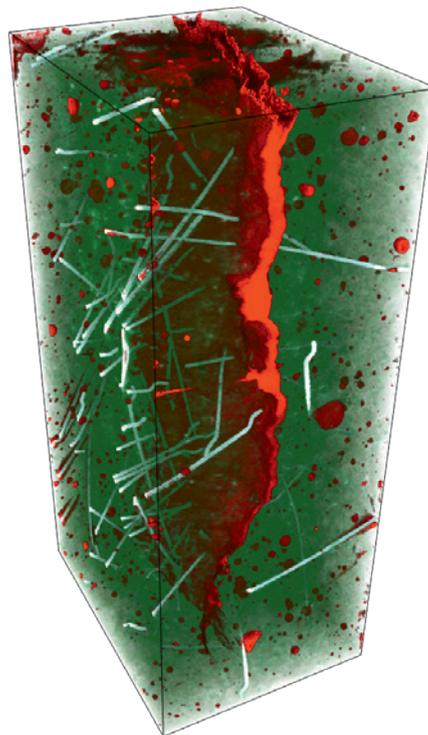


Mehr Information unter [www.itwm.fraunhofer.de/enerquant](http://www.itwm.fraunhofer.de/enerquant)

# Betonbalken biegen und beobachten – Quantencomputing beschleunigt die Auswertung von CT-Daten

Höhere Auflösung, schnellere Kamerasysteme und neue Erfassungsmethoden – die Menge an Bilddaten wächst schneller als die Geschwindigkeit der Analysemethoden. Das stellt die industrielle Bildverarbeitung vor neue Herausforderungen. Abhilfe verspricht die Quanten-Bildverarbeitung. Beispielhaft lässt sich die Computertomographie nennen, in der es bereits konkrete Anwendungsszenarien gibt.

Gulliver, das Computertomographieportal der TU Kaiserslautern, ist eine einzigartige Versuchsanlage, in der es möglich sein wird, die innere Struktur von Betonbalken bei Biegeversuchen abzubilden. Je Experiment erzeugt Gulliver dabei ungefähr 120 GB bis zu 2 TB an Bilddaten. Ziel der aktuellen Forschung ist die Analyse der Strukturveränderungen, und zwar während des laufenden Versuchs.



*3D-Visualisierung von Rissen in einer Stahlfaserbetonprobe*

## Theorie und Praxis einander annähern

Geschickte Nutzung der besonderen Eigenschaften von Qubits ermöglicht es prinzipiell, solche großen Bilddaten mit wenigen Qubits zu repräsentieren, z. B.  $1024 \times 1024$  Pixel mit 21 Qubits. Würde man die bisher üblichen Filter- und Analysealgorithmen durch Quanten-Gegenstücke oder quantenphysikalische Pendants ersetzen, so wäre eine effizientere Verarbeitung dieser enormen Datenmengen möglich. Theoretisch könnten sowohl Speicher- als auch Rechenaufwand exponentiell reduziert werden.

Praktisch erfordern das Kodieren des Bildes und das Ausführen von Algorithmen sehr viele einzelne Quanten-Operationen. Deshalb sind aktuell die Ergebnisse einfacher Bildverarbeitungsschritte auf kleinen Bildern oft bis zur

Unkenntlichkeit verrauscht. Wie im Quantencomputing allgemein sind daher Rauschmodelle und Algorithmen, die möglichst wenige Basisoperationen benötigen, Gegenstand der aktuellen Forschung.

## Kontakt

Dr. Katja Schladitz  
Abteilung »Bildverarbeitung«  
Telefon +49 631 31600-4625  
katja.schladitz@itwm.fraunhofer.de



Weiterführende Informationen gibt es auf unserer Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/bv-materialcharakterisierung](http://www.itwm.fraunhofer.de/bv-materialcharakterisierung)



©istockphoto/gorodenkoff

# Gesundheit und Medizin

Gesundheitsversorgung verbessern, Heilungschancen erhöhen, Diagnosen unterstützen – das ist eines der Ziele, welche die Fraunhofer-Gesellschaft mit Ergebnissen in der Medizin-, Umwelt- und Ernährungsforschung erreichen will. Dabei helfen sollen intelligente, assistierende Systeme, die bei der Gesundheitsvorsorge, Diagnostik, Therapie und Pflege unterstützen und einen maßgeblichen Beitrag zur gesellschaftlichen Zukunftssicherung leisten. Wir fokussieren uns besonders auf Tools zur Entscheidungsunterstützung in der Therapieplanung und zur Stärkung der Resilienz.

# Gesundheit 4.0: Entwicklung und Produktion neuer Medikamente beschleunigen



Im Fraunhofer-Innovationscluster »Produktion für Intelligente Medizin« wird erforscht, wie Gen- oder Zelltherapeutika sowie Impfstoffe automatisiert, schnell und kostengünstig in großen Mengen hergestellt werden können. 23 Fraunhofer-Institute sind beteiligt, darunter der Bereich »Optimierung« des ITWM.

Innovative Arzneimittel für neuartige Therapien (Advanced Therapy Medicinal Products, ATMPs) repräsentieren als »lebende Arzneimittel« eine neue, vielversprechende Klasse von Therapeutika. Sie haben das Potenzial, an bislang nicht oder nur unzureichend behandelbaren Krankheiten leidenden Menschen neue Therapieoptionen zu bieten. Das betrifft einige Krebserkrankungen, die teilweise durch solche neuartigen Therapien sogar eine Chance auf Heilung erhalten. Die Herstellung dieser zellbasierten, neuartigen Therapeutika erfolgt allerdings bislang hochgradig manuell – das macht sie zeitaufwändig und teuer, zusätzlich limitiert sie ihre Verfügbarkeit für die Patientinnen und Patienten.

## Industrie 4.0 mit Gesundheit 4.0 vereinen

Um diesen vielversprechenden Ansatz weiterzuentwickeln, wollen die Fraunhofer-Forschenden aus unterschiedlichen Fachrichtungen die Produktion solcher ATMPs grundlegend um-

gestalten. Expertinnen und Experten aus der biologischen und medizinischen Forschung haben in dem Cluster eng mit ihren Kolleginnen und Kollegen aus den Bereichen Automatisierung, Prozesssteuerung, Qualitätsmanagement, Robotik und Mathematik zusammengearbeitet, um die Prozesse künftig für einen hohen Durchsatz und vertretbare Herstellungskosten aufzusetzen. In einem ersten Projektabschnitt wurde eine modulare Pilotanlage zur automatisierten Produktion der Therapeutika konzipiert.

Dafür hat ein Team um Abteilungsleiter PD Dr. Michael Bortz Bioprozesse modelliert, die nun virtuell optimiert werden können. Forschende um Dr. Heiner Ackermann waren für Fragen rund um die Kapazitätsplanung von Produktionsanlagen zuständig. Diese sollen zu möglichst geringen Kosten einen maximalen Durchsatz liefern. Dr. Neele Leithäuser und Kolleginnen und Kollegen entwickelten Methoden für die Analyse von Datenströmen (Zeitreihen), die kontinuierlich zum Monitoring der Produktionsprozesse erhoben werden.

## Kontakt

PD Dr. Michael Bortz  
Abteilungsleiter »Optimierung –  
Technische Prozesse«  
Telefon +49 631 31600-4532  
michael.bortz@itwm.fraunhofer.de



Mehr über das Innovationscluster unter [s.fhg.de/pharmaproduction](https://s.fhg.de/pharmaproduction)

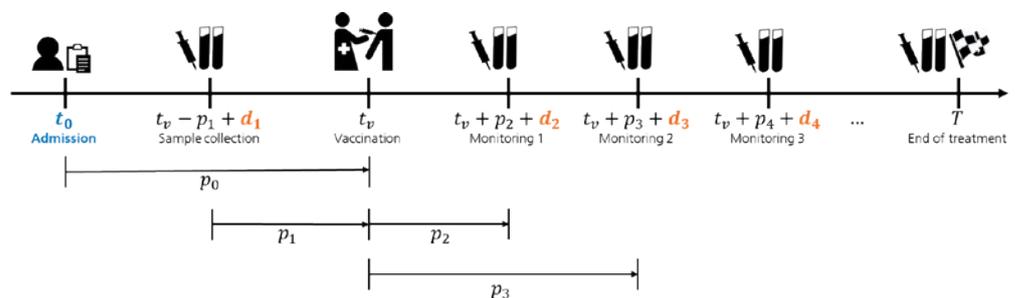
# Unsicherheiten planbar machen

Die Überprüfung der Wirksamkeit neuer Medikamente oder Therapien an Menschen ist ein wichtiger Bestandteil der Biomedizin und der Pharmazeutik. Der Weg der Patient:innenproben hin zu denjenigen, die diese Proben bearbeiten, ist jedoch gespickt mit Unsicherheiten.

Ein pharmazeutisches Unternehmen benötigt Patientinnen und Patienten, die bereit sind, an einer Studie für ein neues Medikament teilzunehmen. »Die Unsicherheit beginnt bereits damit, ob im geplanten Studienzeitraum in den teilnehmenden Kliniken genügend Patientinnen und Patienten einbestellt werden können«, sagt Dr. Sandy Heydrich, die das Team Prozessplanung am Fraunhofer ITWM leitet. »Da steckt jede Menge Stochastik im Prozess.«

gäbe, könnten wir die Ankünfte der Proben einzeln berechnen und die durch die klinische Studie erzeugte Arbeitslast bestimmen«, sagt Dr. Heiner Ackermann, stellvertretender Abteilungsleiter »Optimierung – Operations Research«.

Die tägliche Arbeitsbelastung derer, die die Proben bearbeiten, ist oftmals ungewiss, weil sie von der Anzahl der eingehenden Proben



Während einer Medikamentenstudie gibt es mehrere Quellen der Unsicherheit: Der Beginn der Studie, ein zu frühes oder zu spätes Eintreffen der Proben oder ein vorzeitiges Behandlungsende.

Denn nicht nur die Aufnahme von Personen in klinische Studien ist zu einem gewissen Grad dem Zufall überlassen, auch das Eintreffen von Proben für die Studie ist stochastisch.

## Ziel: Arbeitsbelastung im Labor vorhersagen

Die »Kunst des Vermutens«, die Grundlage der Stochastik, prägt dementsprechend die Arbeit in diesem Umfeld. Im Auftrag eines Unternehmens aus der Biotechnologie sucht das Team am Fraunhofer ITWM mathematische Lösungen, um den gesamten Ablauf bis hin zur Personaleinsatzplanung planbarer zu gestalten. »Wenn es keine Unsicherheiten

abhängig ist, die teilweise aufgrund ihrer Haltbarkeit in einem bestimmten Zeitraum bearbeitet werden müssen. Je genauer vorhergesagt wird, wie viele Proben wann ankommen, umso besser lässt sich der Arbeitsaufwand im Labor planen. Das Team um Heydrich und Ackermann will mit einem mathematischen Modell Antworten auf viele Fragen geben, etwa: Reicht das derzeitige Personal für die entstehende Arbeitslast aus?

## Jeden Tag planbarer machen

Das Ziel des Projektpartners ist eine optimierte Personaleinsatzplanung auf Basis der wahrscheinlich eingehenden Proben.

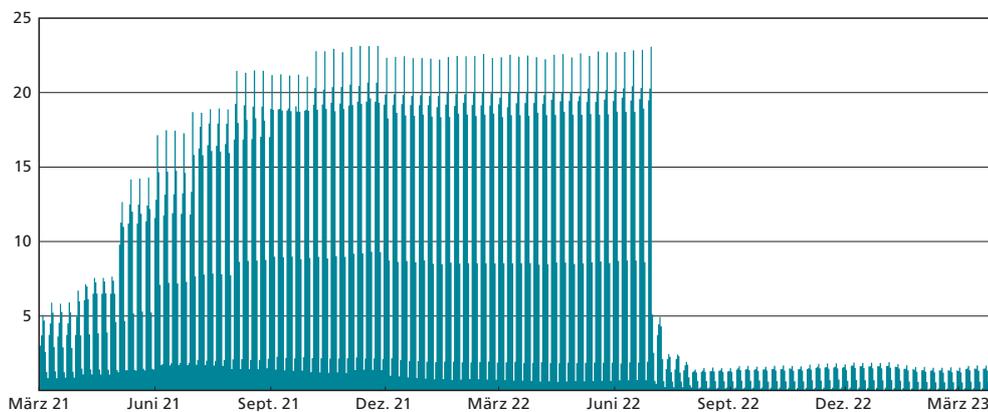
### Kontakt

Dr. Sandy Heydrich  
 Teamleiterin »Produktionsplanung  
 pharmazeutische Industrie und  
 Bioprozesse«  
 Telefon +49 631 31600-4985  
 sandy.heydrich@itwm.fraunhofer.de





© istockphoto/shironosov



*Unsere Forschenden haben ein Simulationswerkzeug entwickelt, das anhand mehrerer Parameter eine Vorhersage über die Anzahl der Ankünfte der Proben an jedem Tag des Zeithorizonts liefert. Diese Ergebnisse werden verwendet, um eine Was-wäre-wenn-Analyse durchzuführen, anhand derer die Personalplanung optimiert wird.*

Dafür entwickeln die Forschenden ein Simulationswerkzeug, das eine Prognose über die Anzahl der Ankünfte der Proben für jeden Studientag liefert. Herzstück des Modells ist eine Monte-Carlo-Simulation zur Schätzung der Anzahl der Probenankünfte an der Produktionsstätte für jeden Tag im Zeithorizont der

Studie. Die beeinflussenden Parameter werden berücksichtigt, aber auch verschiedene Szenarien abgebildet, etwa die schwankende Anzahl an Patientinnen und Patienten. Durch den variablen Detaillierungsgrad des Modells wird der Planungsprozess in jeder Phase optimal unterstützt.

## Kontakt

Dr. Heiner Ackermann  
 Stv. Leiter der Abteilung »Optimierung  
 – Operations Research«  
 Telefon +49 631 31600-4517  
 heiner.ackermann@itwm.fraunhofer.de



Mehr Informationen unter [www.itwm.fraunhofer.de/zerlegeprobleme](http://www.itwm.fraunhofer.de/zerlegeprobleme)



# Energieeffiziente KI-Chips für die Erkennung von Vorhofflimmern

Ein System zur zuverlässigen Detektion von Vorhofflimmern, welches so energieeffizient wie möglich ist – das war die Aufgabe des Pilotinnovationswettbewerbs des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF).

KI-Systeme können die Gesundheitsversorgung verbessern, Heilungschancen für Patienten und Patientinnen erhöhen sowie Ärztinnen und Ärzte bei ihren Diagnosen unterstützen. Aber sie verbrauchen auch enorm viel Strom. Zusammen mit dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS wurde eine Arbeitsgruppe unserer Abteilung »High Performance Computing« mit dem ersten Preis ausgezeichnet. Ihr Projekt HALF (Holistisches AutoML für FPGAs) ist ein ganzheitlicher Ansatz zur Optimierung von künstlichen Neuronalen Netzen und FPGA (Field Programmable Gate Arrays)-Architekturen. Für den Wettbewerb musste das Neuronale Netz nicht nur die Performance berücksichtigen, sondern um den Faktor Energieeffizienz ergänzt werden, damit das gefährliche Vorhofflimmern mit der minimal nötigen Anzahl an Rechenoperationen erkannt wird.

## KI-Modell entscheidet über Energieverbrauch der Hardware

Doch wie findet man genau die Netze, die den definierten Ansprüchen und Vorgaben entsprechen? »Hier gibt es verschiedene Suchstrategien, wobei wir einen evolutionären Ansatz verwenden. Wir starten mit zehn verschiedenen zufällig gewählten Netzen, trainieren und prüfen sie. Anschließend wählen wir die beiden besten Netze aus und mutieren sie, sodass zehn neue Netzvarianten entstehen«, erläutert Dr. Jens Krüger. »Diesen Vorgang wiederholen wir, bis



wir das beste Netz gefunden haben. Dies ist ein Verfahren des automatisierten Maschinellen Lernens – oder AutoML.«

## Auf der Suche nach dem idealen Netz

Diesen Prozess erweitern die Forschenden um einen ganzheitlichen Ansatz, der nicht nur das Neuronale Netz, sondern auch die Hardware betrachtet, da das KI-Modell den Energieverbrauch der Hardware beeinflusst. Dafür verwenden sie FPGAs in Form programmierbarer Chips. Ein FPGA lässt sich zudem beliebig oft neu programmieren – sehr hilfreich bei der Suche nach dem optimalen Neuronalen Netz.

Dadurch ist nun eine neue vereinheitlichende Methodik entstanden, die energieeffizient ist, die Entwicklungszeit für optimale neuronale Netzwerktopologien reduziert und entsprechende FPGA-Implementierungen ermöglicht. Diese Softwarewerkzeuge eignen sich nicht nur für FPGAs, sondern auch für verschiedenste Chips und Systemarchitekturen und ermöglichen die Auswertung von Patientendaten auch auf mobilen Geräten. Dieses Potenzial hat das BMBF erkannt und prämiert.

## Kontakt

Dr. Jens Krüger  
Abteilung »High Performance Computing«  
Telefon +49 631 31600-4541  
jens.krueger@itwm.fraunhofer.de



Weiterführende Informationen unter [www.itwm.fraunhofer.de/half](http://www.itwm.fraunhofer.de/half)

# Neue Ansätze für die Strahlentherapie

Mit dem Ansatz, die Strahlentherapie als mehrkriterielle Optimierungsaufgabe zu sehen, haben unsere Forschenden die medizinische Behandlung von Krebs in den vergangenen Jahren deutlich nach vorne gebracht. Das Projekt »Patientenpositionierung« will weitere Maßstäbe im Kampf gegen Krebs setzen. Ein Interview mit Dr. Philipp Süß, aus der Abteilung »Optimierung – Technische Prozesse«.

## Warum stellt das Projekt »Positionierung der Patientinnen und Patienten« die Lagerung bei der Strahlentherapie auf den Prüfstand?

Die Planung der Strahlentherapie beginnt mit einer detaillierten Computertomographie (CT). Die behandelnden Ärztinnen und Ärzte planen anhand dieses CT-Bildes, mit welcher Dosis sie einen Tumor bestrahlen. Das Problem: Die Lage der kritischen Organe und der Tumore sind am Tag der Behandlung nicht mehr identisch mit der vom Plan-CT, etwa weil die Magen- oder Blasenfüllung variiert. Die Rekonstruktion ist sehr schwierig, aber bedeutsam, um die Dosis zu bestimmen, die die Person am Tag der Behandlung erhält. Viele Therapiegeräte bieten heutzutage die Möglichkeit, ein weniger detailliertes CT unmittelbar vor dem Start der Bestrahlung aufzunehmen, um die Position am Behandlungstag möglichst nahe an die der vorangegangenen Aufnahme anzupassen.

## Kann die Behandlung so kurzfristig angepasst werden?

Ja, die geplante Tagesdosis kann auf den akuten Zustand der zu behandelnden Person hin ausgerichtet werden. Die Dosis gewinnt an Bedeutung gegenüber dem Bild. Genau an dieser Stelle setzen wir an: Wir wollen für eine wirksamere Behandlung sorgen, indem wir den Fokus weg vom Bild hin zur Kontrolle der Dosis legen. Dafür entwickeln wir eine Software-Lösung, die das aktuelle Bild mit dem zuvor aufgenommenen abgleicht und eine aktualisierte Empfehlung



Die von ITWM-Forschenden entwickelte Software zeigt farbig die berechnete Dosis, die mit einem Schieberegler optimiert werden kann.

für die Strahlendosis formuliert. Heute wird darauf geschaut, wie das aktuelle CT-Bild zu dem Plan-CT hin korrigiert werden kann. Wir versuchen, die geplante Dosis zu rekonstruieren.

## In welchem Stadium ist das Projekt?

Schon recht weit. Unser Industriepartner Varian Medical Systems hat einen Softwareprototyp beauftragt, die prinzipielle Machbarkeit ist gegeben. Jetzt wird die Software anhand der Bilddaten echter Krankheitsverläufe an der Uniklinik der Rutgers Universität in New Jersey überprüft. Damit wollen wir verifizieren, dass die Methode die gewünschten Vorteile bringt, aber auch den Arbeitsablauf erproben. Denn für Mitarbeitende, die eine Bestrahlung durchführen, ändert sich der gewohnte Workflow, wenn sie die Software nutzen, um auf die Dosis und nicht mehr nur auf das Bild zu schauen.

## Kontakt

Dr. Philipp Süß  
Stv. Abteilungsleiter »Optimierung –  
Technische Prozesse«  
Telefon +49 631 31600-4295  
philipp.suess@itwm.fraunhofer.de



Mehr Information unter [www.itwm.fraunhofer.de/strahlentherapie](http://www.itwm.fraunhofer.de/strahlentherapie)



# Fraunhofer ITWM versus Corona

---

Das Jahr 2020 wird immer untrennbar mit der Corona-Pandemie verbunden sein. Das neuartige Virus erschüttert alle Bereiche des öffentlichen Lebens. Seine weltweite Ausbreitung wird als »Notfall für die öffentliche Gesundheit von internationalem Ausmaß« deklariert. Die Pandemie verändert den Alltag der Menschen und stellt Unternehmen, Ökonomie und Weltwirtschaft plötzlich vor ungeahnte Herausforderungen. Fraunhofer initiiert unmittelbar das Aktionsprogramm »Fraunhofer vs. Corona«, um wissenschaftliche Erkenntnisse schnellstmöglich im Kampf gegen die Pandemie einsetzbar zu machen. Das Fraunhofer ITWM leistet mit mathematischen Methoden seinen Beitrag zum Kampf gegen das Virus und ist eines der Institute mit den meisten Anti-Corona-Projekten.

# Mit Mathematik gegen Covid-19

Bei der Bekämpfung der Covid-19-Pandemie wirken unsere Expertinnen und Experten von Beginn an in verschiedenen Forschungsprojekten mit. So unterstützen sie auf vielfältige Weise und in unterschiedlichen Bereichen Gesellschaft und Wirtschaft beim Bewältigen der Corona-Krise durch mathematische Methoden. Eine Auswahl unserer Aktivitäten auf einen Blick:

## EpiDeMSE – Unterstützung für Entscheidende

Entscheidungstragende auf lokaler Ebene bestmöglich bei der Maßnahmenplanung zu unterstützen – das ist das Ziel des Projekts EpiDeMSE (Epidemiologische Modellierung, Simulation und Entscheidungsunterstützung). Direkt im April 2020 nahmen Forschende im Rahmen des Anti-Corona-Programms der Fraunhofer-Gesellschaft die Arbeit an einem Tool auf, das Prognosen zum Epidemie-Verlauf liefert. Das Modell verwendet zeitlich variable Parameter, die aus den erhobenen Fallzahlen geschätzt und mit weiteren statistischen Daten abgeglichen werden. So kann auch die Wirksamkeit der Maßnahmen auf die Infektionsrate beurteilt werden.

## Kooperation mit dem DFKI

Kompetenzen bündeln, um zusammen mehr zu erreichen: Gemeinsam mit dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) haben Forschende des Fraunhofer ITWM ein Modell entwickelt, das mögliche Öffnungsszenarien simuliert und untersucht. Dabei kam EpiDeMSE zum Einsatz. Das Ergebnis ist eine übersichtliche und gut verständliche Visualisierung der Infektionslage sowie eine Prognose zukünftiger regionaler Entwicklungen.

## Standortplanung für Impfzentren

Noch bevor ein Impfstoff gegen das SARS-CoV-2-Virus erhältlich war, arbeiteten Forschende des Fraunhofer ITWM bereits gemeinsam mit dem Robert-Koch-Institut und der TU Kaiserslautern an der Standortplanung für Impfzentren. Auf Fragen mit vielen Unbekannten galt es Antworten zu finden: Wie viele Impfdosen sind verfügbar? Wer wird zuerst geimpft? Wo soll geimpft werden? In ihren Veröffentlichungen betrachten die Forschenden unterschiedliche Standortszenarien und evaluierten unter anderem die Anzahl benötigter Ärztinnen und Ärzte, die Entfernung der Bevölkerung zu den Impfzentren sowie die Anzahl der Standorte.

## Streuspanne: Blog und Podcast

Der Statistik-Blog »Streuspanne« widmet sich seit dem Beginn der Pandemie Fragen und statistischen Kennwerten, die die Diskussion um Corona prägen. Neben einer dreiteiligen Miniserie zu Corona-Tests beschäftigen sich die bloggenden Mathematiker und Statistiker Dr. Sascha Feth und Dr. Jochen Fiedler auch mit mutierten Corona-Viren und Verschwörungstheorien. Im gleichnamigen Podcast sind die beiden Wissenschaftler auch zu hören und machen Statistik für Laien verständlich.

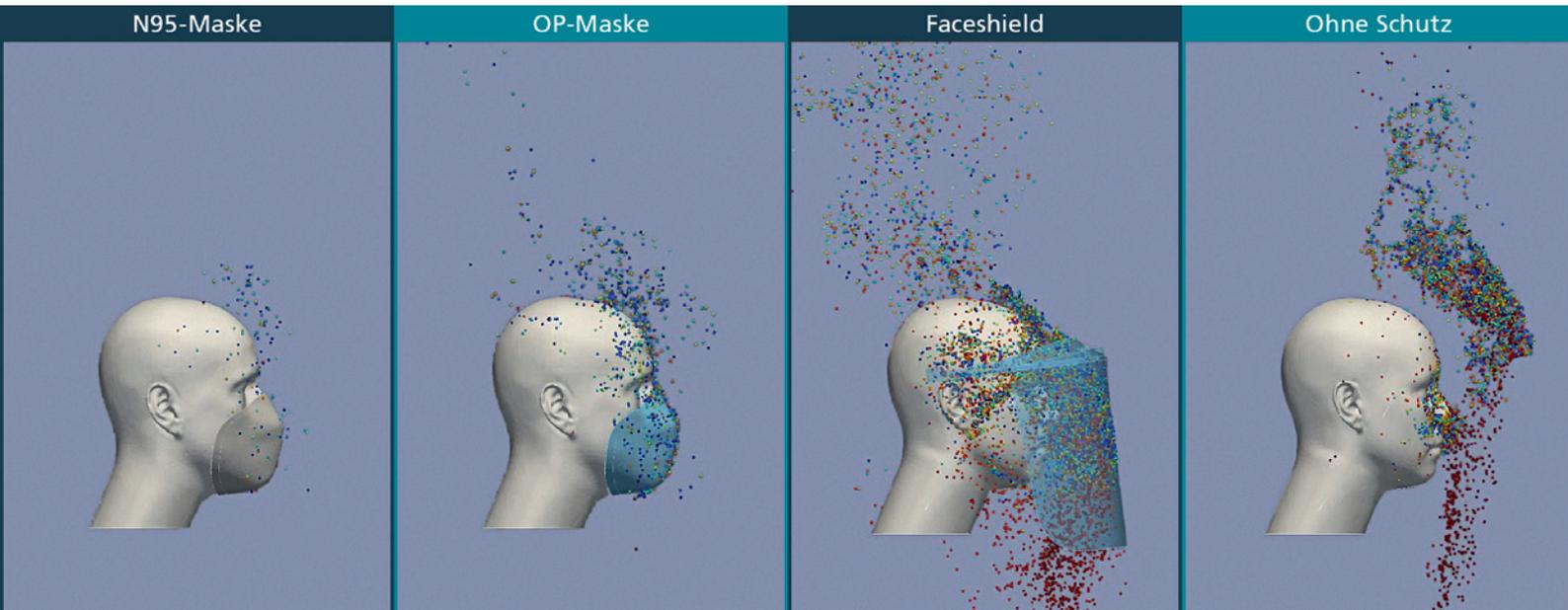


Weitere Informationen unter [www.itwm.fraunhofer.de/corona](http://www.itwm.fraunhofer.de/corona)



Alle Social-Media-Aktivitäten unter dem Hashtag #ITWUvsCorona

# AVATOR – Wie breiten sich Aerosole in Innenräumen aus?



*Verschiedene Schutztypen von Mund-Nasen-Bedeckungen verhindern die Ausbreitung von Aerosolen in unterschiedlichem Maße.*

Die Covid-19-Pandemie hat vielen Menschen bewusstgemacht, dass infektiöse Aerosole eine wesentliche Rolle bei der Ausbreitung der Krankheit spielen. Im Projekt »AVATOR« (Anti-Virus-Aerosol: Testing, Operation, Reduction) untersuchen mehrere Fraunhofer-Institute Wege zur Risikobewertung und Verminderung der Infektionsgefahr durch Aerosol-getragene Viren. Ein abteilungsübergreifendes Team des ITWM entwickelt dazu einen Multiskalen-Simulator, der die Aerosolausbreitung in Innenräumen berechnet.

## Kontakt

Dr. Ralf Kirsch  
Teamleiter »Filtration und Separation«  
Telefon +49 631 31600-4695  
ralf.kirsch@itwm.fraunhofer.de



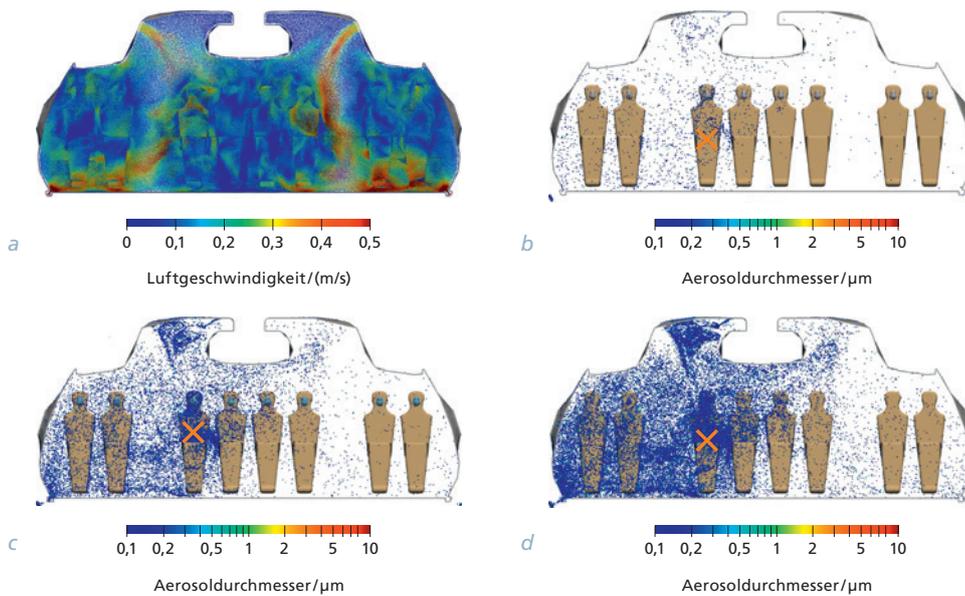
Lüften als Kampfmittel gegen Corona? SARS-CoV-2 kann über Aerosole – in der Luft schwebende Tröpfchenkerne, die kleiner als zehn Mikrometer sind – übertragen werden. Dies ist auch in bestimmten Situationen über größere Abstände möglich, beispielsweise, wenn viele Personen in nicht ausreichend belüfteten Innenräumen zusammenkommen.

## Digitale Zwillinge simulieren Situation und bilden Basis für Konzepte

Vor diesem Hintergrund sind Abstand, die Anzahl an Personen in Räumen sowie die Innen-

raumlufthygiene und Lüftung wichtige Bausteine in der Pandemie. Speziell für Bildungseinrichtungen, Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen, Hotelfachbetriebe, Flugzeuge oder Züge und Büro- sowie Produktionsbetriebe sind die Forschenden im Projekt auf der Suche nach Antworten in hygienischen Fragestellungen sowie praktischen Lösungen zum Vermeiden der Verbreitung von Aerosolinfektionen.

In Innenräumen verschwinden die Aerosole nicht einfach, sondern verteilen sich mit der Zeit im Raum. AVATOR untersucht neben Reinigungstechnologien für die Raumluft auch die Ausbreitung von Aerosolen und leitet



*Simulationsszenario Flugzeug – Wie verteilen sich Aerosole im Innenraum?  
Aerosolausbreitung ausgehend von der markierten Person mit verschiedenen Masken:  
a. Luftströmungsgeschwindigkeit; b. N95-Masken; c. OP-Masken; d. ohne Masken*

Hygienekonzepte für Anwendungsfälle ab. Die Ausbreitungsmechanismen modellieren die Forschenden unter Verwendung von ITWM-Simulationen.

### Langjährige ITWM-Expertise hilft bei Umsetzung

»Wir entwickeln einen dynamischen Multiskalen-Simulator, der die Aerosolausbreitung in Innenräumen berechnet. Als Szenarien betrachten wir unter anderem Transportmittel, wie zum Beispiel das Flugzeug«, so Dr. Christian Leithäuser der Abteilung »Transportvorgänge«. »Die Methodik basiert auf unserer gitterfreien Simulationssoftware MESHFREE für dynamische Strömungsszenarien.«

Dr. Ralf Kirsch, Teamleiter »Filtration und Separation« der Abteilung »Strömungs- und Materialsimulation«, ergänzt: »Wir am ITWM profitieren bei unserer Arbeit sehr davon, dass wir auf ein breites Spektrum an Expertise zurückgreifen können – in diesem Fall sind unsere langjährigen Erfahrungen im Bereich Modellierung und Simulation von Filtern sehr hilfreich.«

### Multiskalen-Ansatz berücksichtigt mehrere Komponenten

Durch den Multiskalen-Ansatz fließen dabei auch feine Details in Langzeitbetrachtungen mit ein – wie beispielsweise die Art der individuellen Schutzausrüstung. Welche Mund-Nasen-Bedeckung schützt wie? Aus den Simulationsergebnissen leiten die Forschenden anschließend eine Risikobewertung ab, mit der sich für jedes Szenario unterschiedliche Raumluftkonzepte vergleichen lassen.

Parallel zu den simulationsbasierten Bewertungsverfahren für die Luftausbreitung entwickeln die beteiligten Institute diverse Luftreinigungstechnologien. Diese Erkenntnisse werden schließlich in Laborumgebungen getestet sowie in Realumgebungen validiert. Die Projektergebnisse münden dann in neuen Konzepten zur Verringerung der Infektionsgefahr mit SARS-CoV-2.

So können sinnvolle Hygienemaßnahmen entwickelt und die Wirksamkeit von vorhandenen validiert werden. AVATOR ist Teil des Programms »Fraunhofer versus Corona« der Fraunhofer-Gesellschaft und läuft bis September 2021.

### Kontakt

Dr. Christian Leithäuser  
Abteilung »Transportvorgänge«  
Telefon +49 631 31600-4411  
christian.leithaeuser@itwm.fraunhofer.de



# Meltblown: Weniger Wolken am Simulationshimmel

Die Vliesstoffproduktion bekommt in der breiten Öffentlichkeit zu Corona-Zeiten so viel Aufmerksamkeit wie nie, denn Vlies ist entscheidend für den Infektionsschutz. Mundschutz, Einmal-Bettwäsche, OP-Kittel, Wundschutzauflagen oder Kompressen sind nur einige Beispiele. Die Feinst-Vliesstoffprodukte werden in sogenannten Meltblown-Verfahren hergestellt. ITWM-Simulationen helfen die Produktionsprozesse besser zu verstehen und effizienter zu gestalten. Forschende der Abteilung »Transportvorgänge« und »Strömungs- und Materialsimulation« unterstützen mit ihrer Expertise.

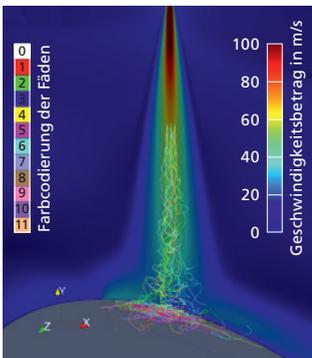
Beispielsweise im Fraunhofer-internen Projekt »ProQuIV« wird so die ganze Produktionskette des Infektionsschutzes optimiert. Das Kürzel steht für »Produktions- und Qualitätsoptimierung von Infektionsschutzkleidung aus Vliesstoffen«. Denn zu Beginn der Krise waren Engpässe bei der Produktion dieser Materialien zu beobachten. Für die Klasse der Meltblown-Vliesstoffe gestaltet sich eine Effizienzsteigerung der Produktion besonders schwierig, weil diese Prozesse sehr sensitiv auf Schwankungen und Materialunreinheiten reagieren.

verantwortlich sind, dass in Gesichtsmasken die entscheidende Filterfunktion gegeben ist. Dabei wird das geschmolzene Polymer durch Düsen gepresst, und zwar in einen vorwärts strömenden Hochgeschwindigkeitsstrom. Es wird in einer stark turbulenten Luftströmung verstreckt und abgekühlt. So entstehen die einzelnen Fasern (Filamente). Sie verwirbeln unter dem Luftstrom, verschlingen und verstrecken sich und fallen mehr oder weniger zufällig auf ein Transportband, wo sie sich beim Abkühlen weiter verfestigen.

## Digitaler Zwilling optimiert Meltblown-Prozess

»Meltblown« heißt der industrielle Produktionsprozess, dessen Feinstfaser-Vliesstoffe dafür

Bei diesem Verfahren liegt ein Schlüsselfaktor auf dem Verhalten der Filamente im turbulenten, heißen und schnellen Luftstrom. Die Fäden werden durch diese Luftströmung in ihren Eigenschaften beeinflusst. »Der komplexe Prozess stellt in der Simulation eine große Herausforderung dar«, erklärt Dr. Walter Arne vom Fraunhofer ITWM. Er beschäftigt sich am Institut schon seit Jahren mit der Simulation von verschiedenen Prozessen rund um Filamente, Fäden und Fasern. »Denn die Qualität der Filamente und damit am Ende der Vliesstoffe wird durch viele Faktoren beeinflusst. Beispielsweise durch einen Aspekt, den wir Wolkigkeit nennen.« In der Grafik auf der rechten Seite wird deutlich, was damit gemeint ist: Wie homogen ist der Vliesstoff? »Die Qualität der Produkte kann stark verbessert werden, wenn Ungleichmäßigkeiten optimiert werden. Herauszufinden, wie das gelingt, dabei helfen unsere Simulationen«, so der Forscher.



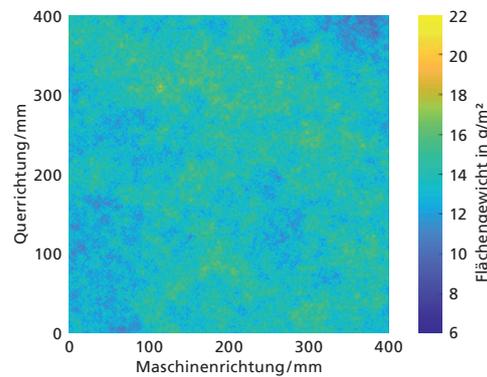
Links: Simulation der Filamente im Meltblown-Produktionsprozess. Rechts: Produktion von Vliesstoffen mit dem Meltblown-Verfahren in Kaiserslautern



©Freudenberg Performance Materials

*Oben: Qualitätskontrolle eines Meltblown-Materials im Reinraumbereich. Unten: Wolkigkeit: Wie homogen ist das Vlies? Simulierte Flächengewichtsverteilung als Maß der Homogenität des Vlieses*

Hier kommt ITWM-Software ins Spiel. »Mit unserem Fiber Dynamics Simulation Tool FIDYST werden die Bewegungen der Fasern, die Verstreckung, ihr Fallen und die Ausrichtung, mit der sie auf einem Transportband landen, vorausgesagt. Je nach Prozesseinstellungen entstehen spezifische Turbulenzen und damit Vliesqualitäten, die sich z. B. in Struktur, Wolkigkeit, Flächengewicht und Festigkeit unterscheiden«, erklärt Arne.



### Simulation über die ganze Prozesskette hinweg

Digitale Zwillinge und Berechnungen aus dem Hause Fraunhofer ITWM unterstützen dabei, die Prozesse simulativ zu überschauen und besser zu verstehen. Die Produktion der technischen Textilien wird so nicht nur effizienter, sondern die Vliesstoffe lassen sich virtuell entwickeln, ohne dies vorab in einer Versuchsstätte zu realisieren. So können Produktionskapazitäten bei gleichbleibender Qualität gesteigert werden. Simulationen sparen Experimente, erlauben neue Einblicke, ermöglichen systematische Parameter-

variationen und lösen Upscaling-Probleme, die zu Fehlinvestitionen beim Übergang von der Laboranlage zur Industrieanlage führen können.

Die virtuelle Umsetzung des Meltblown-Prozesses eröffnet aber auch neue Möglichkeiten zur Optimierung auf anderen Ebenen: Bei der Hochskalierung industrierelevanter Prozesse wie bei der Maskenproduktion fließt ebenso die ITWM-Expertise rund um Filter ein. Das Team »Filtration und Separation« um Dr. Ralf Kirsch beschäftigt sich schon seit vielen Jahren mit dem mathematischen Modellieren und Simulieren verschiedenster Filter.

### Kontakt

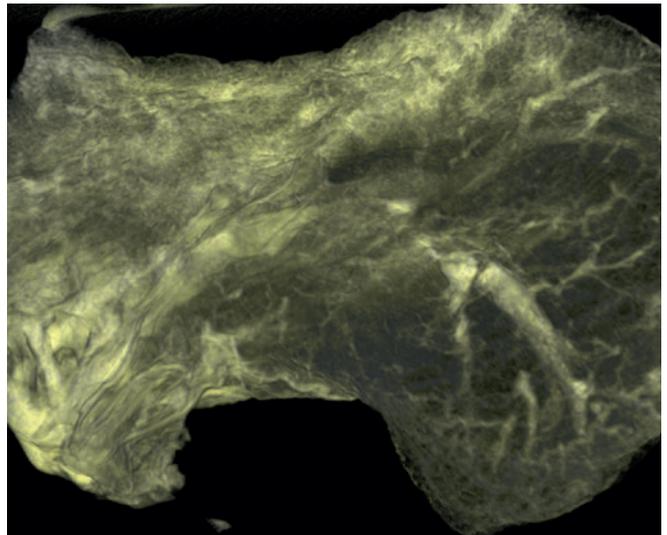
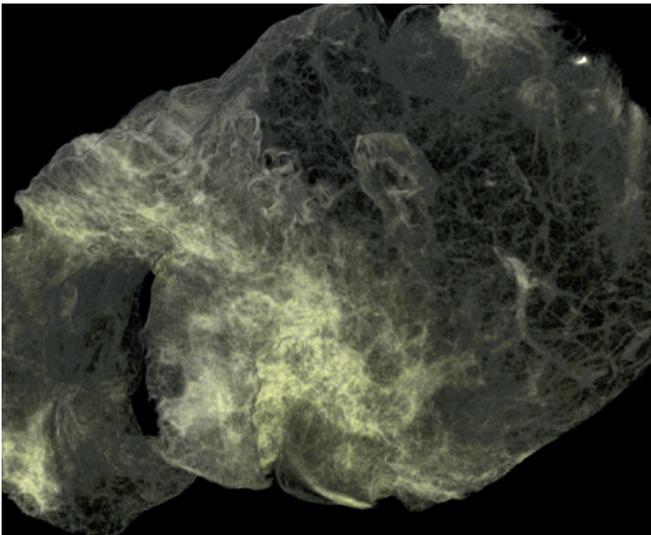
Dr. Walter Arne  
Abteilung »Transportvorgänge«  
Telefon +49 631 31600-4347  
walter.arne@itwm.fraunhofer.de



Weiterführende Informationen inklusive Simulationsvideo gibt es unter [www.itwm.fraunhofer.de/meltblown](http://www.itwm.fraunhofer.de/meltblown)

# Lungenschädigung durch Covid-19 besser verstehen

Wie genau schädigt das Sars-CoV-2-Virus die Lunge? Um diese Frage zu beantworten, haben Mediziner:innen tief in die Mikrostruktur der Lunge geblickt. Mit klassischem Röntgen oder Thorax-Computertomografie lassen sich Veränderungen durch Covid-19 leicht detektieren. Um aber auch die mikrostrukturellen Veränderungen und die Pathophysiologie des Covid-19-induzierten Herz-Lungenversagens zu verstehen, brauchen sie mikroradiologische Untersuchungen. Die Bildanalyse-Algorithmen des Fraunhofer ITWM helfen der Klinik Heidelberg bei der Analyse der Bilddaten.

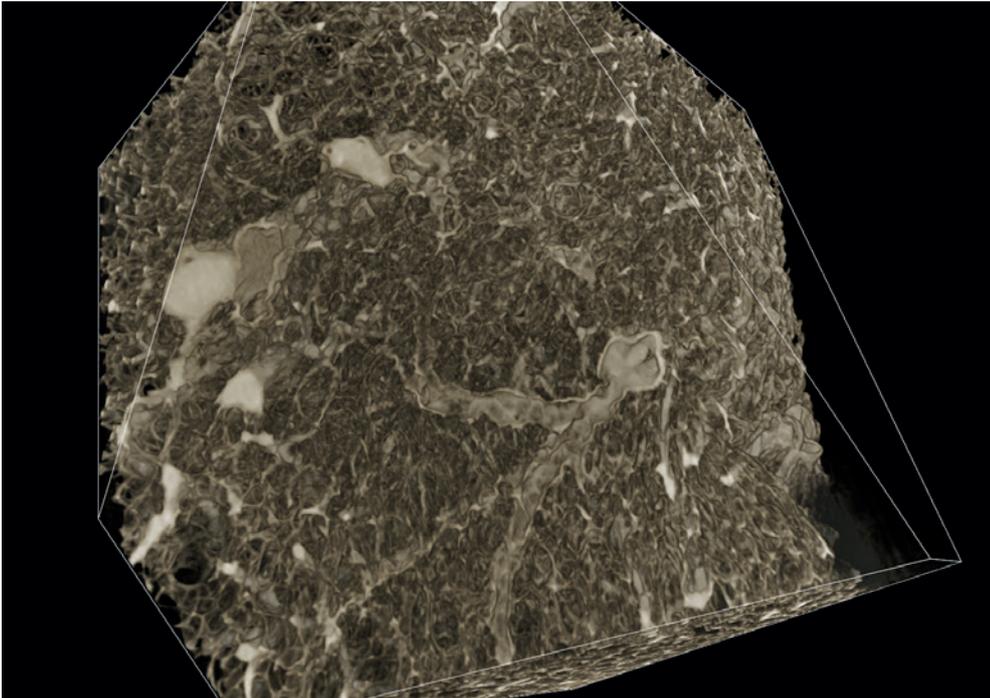


*Volumenvisualisierungen aus dem linken oberen Lungenlappen; dargestellt sind hier Ausschnitte der Größe 14 cm x 14 cm x 1,4 cm.*

Die Universitätskliniken Göttingen und Heidelberg untersuchen Lungengewebe von Patientinnen und Patienten, die an Covid-19 gestorben sind, mit Computertomografie mit Synchrotron-Strahlung (SR $\mu$ CT). Dank der hohen Auflösung und des guten Signal-Rausch-Verhältnisses können in den SR $\mu$ CT-Volumenbildern kapillare Gefäße visualisiert und analysiert werden. »Allerdings fallen dabei sehr große Datenmengen auf sehr verschiedenen Skalen an; diese können wir mit unseren Methoden analysieren und interpretieren«, so Projektleiterin Dr. Katja Schladitz.

## Ähnlichkeit von Maus und Mensch – zumindest beim Lungengewebe

Bereits vor Jahren entwickelte die Abteilung »Bildverarbeitung« Algorithmen zur Analyse kapillarer Gefäßsysteme in SR $\mu$ CT-Bildern präparierter Mäuse-Lungen und beobachtete dabei regeneratives Wachstum in verschiedenen Stadien. Typische Anzeichen für Gefäßwachstum wurden erstmals in 3D-Bildern detektiert und quantifiziert. Im Fall der Covid-geschädigten Lungen ist das Ziel, die Ursachen typischer, im klinischen CT beobachteter Veränderungen



*Ein hochaufgelöster Bildausschnitt aus der Visualisierung des Lungengewebes von 5,4 mm x 5,4 mm x 4,5 mm: Sichtbar ist das Gefäßwandssystem; die Lungenbläschen können als Poren erahnt werden.*

aufzudecken: Sind lokale Verdichtungen auf Gewebevernarbung, -verstopfung oder Einblutungen zurückzuführen? Verändert sich die Gefäßmorphologie? Welche Gefäße sind wie geschädigt?

Die Antworten auf diese Fragen helfen, den Krankheitsverlauf und typische Symptome besser zu verstehen und spezifizieren die Behandlungsoptionen der Covid-19 induzierten Lungenentzündung.

## »Fraunhofer vs. Corona«

Die Fraunhofer-Gesellschaft reagierte sehr schnell auf die Pandemie und legte bereits im April 2020 das Aktionsprogramm »Fraunhofer vs. Corona« auf. Expertinnen und Experten arbeiteten und arbeiten noch immer ganz vorne mit an der Bekämpfung der Pandemie und unterstützen Wirtschaft und Gesellschaft bei der Bewältigung direkter Auswirkungen und späterer Folgen. Schwerpunkte liegen auf Anti-Corona-Projekten aus dem Medizin- und Gesundheitssektor, zum Beispiel der Impfstoffentwicklung, innovativer Diagnostik und Medikamentenentwicklung, aber auch in der Bereitstellung von IT-Kapazitäten. Darüber hinaus unterstützt Fraunhofer technologisch bei der Produktion von Komponenten für Schutzausrüstungen. Begleitende Vorlaufforschung ebnet zudem den Weg in eine resilientere Gesellschaft.

Das Fraunhofer ITWM war mit acht Projektanträgen erfolgreich am Aktionsprogramm beteiligt – die hier vorgestellte Covid-19-Analyse für Synchrotron-Aufnahmen gehört zu den geförderten Projekten.

## Kontakt

Dr. Katja Schladitz  
Abteilung »Bildverarbeitung«  
Telefon +49 631 31600-4625  
katja.schladitz@itwm.fraunhofer.de





# Mobilität

---

Mobilität bestimmt einen großen Teil des Lebens, global wie lokal. Um den Verkehr zu lenken, sicherer zu gestalten und ressourcenschonend abzuwickeln, bedarf es geeigneter technischer und konzeptioneller Lösungen. Mit unseren Partnern in der Fahrzeugindustrie fokussieren wir unsere Aktivitäten auf die Fahrzeug-Umwelt-Mensch-Interaktion und entwickeln Softwaretools für die virtuelle Produktentwicklung und Produktentstehung in der digitalen Fabrik.



# Das Technikum – Versuche und Simulationen unter einem Dach

Simulationen spielen in der Mobilitätsforschung seit langem eine große Rolle und werden immer wichtiger, gerade bei der virtuellen Produktentwicklung im Fahrzeugsektor. Damit beschäftigt sich unser Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung« und vereint die benötigten technischen Versuchseinrichtungen in seinem Technikum. Hier werden eigene Mess- und Simulationstechniken entwickelt, die Hand in Hand mit den Modellierungs- und Simulationsmethoden sowie Softwaretools aufgebaut werden.

## Hardware und Software als technisches Rückgrat unserer Forschung

Das Simulator-Zentrum umfasst den Roboterbasierten Fahrsimulator RODOS® (Robot based Driving and Operation Simulator), den statischen Fahrsimulator VI-Grade compact DIM und das Virtual-Reality-Labor. Die Messtechnik liefern REDAR (Road and Environment Data Acquisition Rover) – ein 3D-Laserscanner Fahrzeug – und die hoch automatisierte Messmaschine MeSOMICS (Measurement System for the Optically Monitored Identification of Cable Stiffness); mit ihr werden Kabelsteifigkeiten ermittelt.

## Virtuelle Umgebung für Pkw und Nutzfahrzeuge

Der Fahrsimulator RODOS® stellt die größte der Anlagen des Technikums dar und erlaubt es, Situationen bis unmittelbar vor einem Crash detailliert, sehr gut reproduzierbar und risikolos mithilfe interaktiver Simulation zu untersuchen. Mit 1000 kg Nutzlast ermöglicht der Roboterarm die Verwendung von Serienbaggerkabinen und echten Pkw-Karosserien. Innerhalb eines sphärischen Projektionsdomes mit zehn Metern Durchmesser erzeugen 18 Projektoren eine nahtlose Projektion einer

interaktiven Szene, wodurch beispielsweise Fahrer-Fahrzeug-Umwelt-Interaktionen untersucht werden. RODOS® ist derzeit der leistungsfähigste Fahrsimulator der Fraunhofer-Gesellschaft. Zur Modellentwicklung sowie zur kooperativen Fahrsimulation und Abbildung von komplexen Mischverkehrssituationen verwenden wir zusätzlich den statischen Simulator VI-Grade compact-DIM. Dieses System ist für die interaktive Simulation von Pkw optimiert und wird besonders zur Entwicklung unserer Software CDTire/Realtime genutzt.

## VR-Labor für Menschen in komplexen Umgebungen

Das Virtual-Reality-Labor eröffnet die Möglichkeit, Menschen in komplexe Umgebungen und Szenarien zu versetzen. Anwendungen finden sich in der Fahrsimulation, der Produktions- und Fabrikplanung sowie in der Visualisierung. In unserem Labor können eine oder mehrere Personen eine virtuelle Realität als Fußgängerin oder Fußgänger erleben, auf einer Fläche von zehn auf sechs Meter. Menschliche Reaktionen können auch in hochkomplexen Verkehrssituationen durch die Verschaltung mit den Simulationsumgebungen von RODOS® und VI-Grade compact DIM über eine Echtzeit-Datenschnittstelle untersucht werden.

## Kontakt

Dr.-Ing. Michael Kleer  
Leiter Technikum  
Telefon +49 631 31600-4628  
michael.kleer@itwm.fraunhofer.de



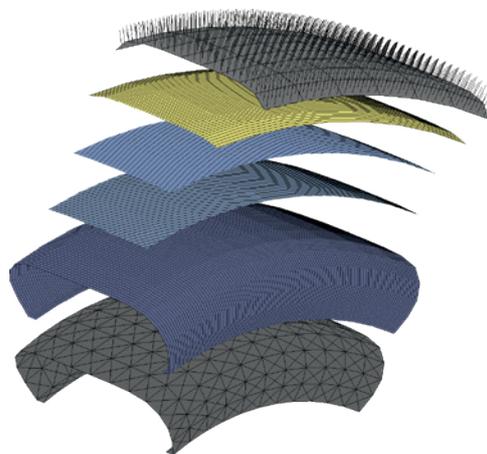
Weiterführende Informationen gibt es auf unserer Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/technikum](http://www.itwm.fraunhofer.de/technikum)

# CDTire – mit Simulation den Reifen neu erfinden

Die Reifenmodellierungs-Software ist seit langem fester Bestandteil der Produktpalette im Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung«. Von Dr. Manfred Bäcker, Leiter der Gruppe »Reifenmodellierung«, wollten wir im Interview wissen, worin das Alleinstellungsmerkmal von CDTire liegt:

## CDTire ist ein Tool für die Simulation und Entwicklung von Reifen. Was leistet es und wer arbeitet damit?

Historisch gesehen wurden Modelle zur Berechnung von Reifen wie CDTire zuerst von der Automobilindustrie verwendet. Sie wurden gebraucht, um in der virtuellen Fahrzeugentwicklung Gesamtfahrzeug-Simulationen auf digitalen (vermessenen) Teststrecken zu ermöglichen, um im Entwicklungsprozess früh Aussagen über Komfort, Betriebsfestigkeit und fahrdynamische Eigenschaften eines Entwicklungsstandes zu erhalten und diesen weiter zu optimieren. Die Reifenindustrie hingegen benutzt detaillierte Reifenmodelle, die aber wegen des sehr hohen Rechenzeitbedarfs in der Gesamtfahrzeug-Simulation nicht anwendbar sind. Zudem werden sie nicht gerne an Dritte, also auch nicht an die Kundinnen und Kunden in der Fahrzeugindustrie, weitergegeben, weil



CDTire/3D: Funktionales Layer-Konzept

darin auch konstruktive Details abgebildet sind, die als eigenes Know-how angesehen werden. Deshalb war die Fahrzeugindustrie schon immer auf Reifenmodelle angewiesen, die außerhalb der Reifenindustrie entwickelt wurden. Wegen der Forderung nach geringer Rechenzeit waren diese Modelle gegenüber den Finite-Elemente-Modellen (FE-Modelle) der Reifenindustrie sehr stark vereinfacht.

## Und an dieser Stelle kommt dann CDTire ins Spiel?

Genau! Mit der CDTire-Modellgeneration, die zwischen 2010 und 2012 entwickelt wurde, haben wir zum ersten Mal Simulationsmodelle von Reifen bereitgestellt, die sowohl in der Fahrzeugindustrie als auch in der Reifenindustrie als Entwicklungswerkzeuge akzeptiert und benutzt werden. Der Schlüssel zu diesem Erfolg liegt darin, dass ein Modellrahmen entwickelt wurde, der die Reifengeometrie und die Reifenstruktur ähnlich genau abbildet, wie die FE-Modelle der Reifenindustrie – aber in der hundertfachen Rechengeschwindigkeit.

## Was leistet CDTire bei der virtuellen Vorentwicklung von Reifen? Wie sehen die einzelnen Prozessschritte aus?

Da CDTire/3D für alle Applikationen von Fahrdynamik über Komfort bis hin zu »Noise Vibration Harshness« geeignet ist, erlaubt die Software Suite Objektive-Bewertungen für diese Entwicklungskriterien in einer sehr frühen Phase. Darüber hinaus haben wir seit 2018 in



© freepik/newfabrika

Kooperation mit dem Reifenhersteller Goodyear über entsprechende Pilotprojekte mit Fahrzeugherstellern wie Maserati eine neue Methode zur Subjektivbewertung von Reifen an Fahrsimulatoren etabliert. Dafür nutzen wir das echtzeitfähige CDTire/Realtime, das aus CDTire/3D abgeleitet wird. Diese Innovation ist deshalb so bedeutend, da die Subjektivbewertung eines Reifens durch professionelle Testfahrende immer noch am Ende des Entwicklungsprozesses steht: Erst ihr Okay gibt den Reifen frei. Dafür braucht es aber in der Regel sehr viele Iterationen und in jeder Iteration muss ein entsprechender Reifenprototyp produziert werden. Fahrzeugprototypen müssen natürlich auch zur Verfügung stehen. Ziel ist es, 90 Prozent dieses zeit- und kostenintensiven Prozesses am Fahr-Simulator durch virtuelle Reifen- und Fahrzeugprototypen zu erledigen, damit idealerweise nur noch die Endabnahme auf der realen Teststrecke erfolgen muss. Damit können immense Kosten und Entwicklungszeit eingespart werden.

### Was waren die größten Herausforderungen bei der Softwareentwicklung in den letzten Jahren?

Wir haben die neue Generation von CDTire konsequent als »Multiphysics-Tool« konzipiert. So wurde das eigentliche strukturdynamische Reifenmodell in den letzten Jahren durch ein thermodynamisches Modell (CDTire/Thermal) zur Simulation der Wärmeentstehung und des Wärmetransports im Reifen sowie ebenfalls um ein Modell zur dynamischen Innenluft-Simulation – dem sogenannten Cavity-Modell – erweitert. Diese verschiedenen physikalischen Teilmodelle erfordern eine hohe Modularität in der Softwareentwicklung und stellen auch eine

Herausforderung an die Numerik des Gesamtmodells dar, denn Strukturmodell, Temperaturmodell und Innenluftmodell interagieren natürlich miteinander. Das Gesamtmodell wird dadurch zu einem sogenannten »Mehrskalensmodell«. Die Rechenschrittweiten der Teilmodelle liegen auf unterschiedlichen Skalen und müssen gegeneinander koordiniert werden, um eine gute Gesamtperformance zu erzielen. Die Modularität und Erweiterbarkeit im Sinne eines Multiphysics-Tools bei gleichzeitig hoher Rechengeschwindigkeit stellt die größte Herausforderung dar.

### CDTire beinhaltet eine ganze Familie von Reifenmodellen, die sowohl bei Reifen- als auch Fahrzeugherstellern zur Anwendung kommen. Welche neuen Eigenschaften werden zukünftig in CDTire berücksichtigt?

Den größten Entwicklungsfortschritt und gleichzeitig die größten Erfolge im Einwerben von Neukundinnen und -kunden erzielten wir durch die Erweiterung mit dem dynamischen Innenluftmodell. Die neue Applikation erlaubt bei der Gesamtfahrzeugsimulation in einem Frequenzbereich bis 300 Hz eine gute Prädiktionsgüte; Pilotanwendende waren dabei Audi und Maserati, die wir als Unternehmen gewinnen konnten. In naher Zukunft soll die Prädiktionsgüte durch die Anbindung an ein flexibles Felgenmodell noch einmal gesteigert werden. Darüber hinaus soll CDTire auch für die »Air-Borne Noise«-Anwendung erweitert werden. Dabei simulieren wir den Transfer von Strukturschwingungen der Reifenoberfläche in die Außenluft und deren Rückkopplung über die Karosserie in den Fahrzeuginnenraum.

### Kontakt

Dr. Manfred Bäcker  
Teamleiter »Reifensimulation«  
Telefon +49 631 31600-4249  
manfred.baecker@itwm.fraunhofer.de



Weiterführende Informationen gibt es auf unserer Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/cdtire](http://www.itwm.fraunhofer.de/cdtire)

# Daten besser nutzen – KI und ML in der Fahrzeugentwicklung

Ob in Versuchsfahrzeugen gemessen oder in modernen Fahrzeugen während des Betriebs aufgezeichnet: Im Automobilbereich nimmt die Verfügbarkeit von Daten seit Jahren zu. Das gilt auch für Menge und Qualität: Digitale Karten, Klima-, topografische Daten und auch sozioökonomische Informationen fließen ein in den wachsenden Daten-Pool. Technologien zu ihrer Erfassung und Verarbeitung werden ebenso stetig verbessert; und deshalb kann man Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) und des Machine Learning (ML) heute sehr effizient und effektiv nutzen, um aus den schieren Mengen an Daten wertvolle Informationen zu gewinnen.

Moderne Fahrzeuge sind sprudelnde Datenquellen. KI-Methoden helfen, die Datenflut zu nutzen und zu verstehen.

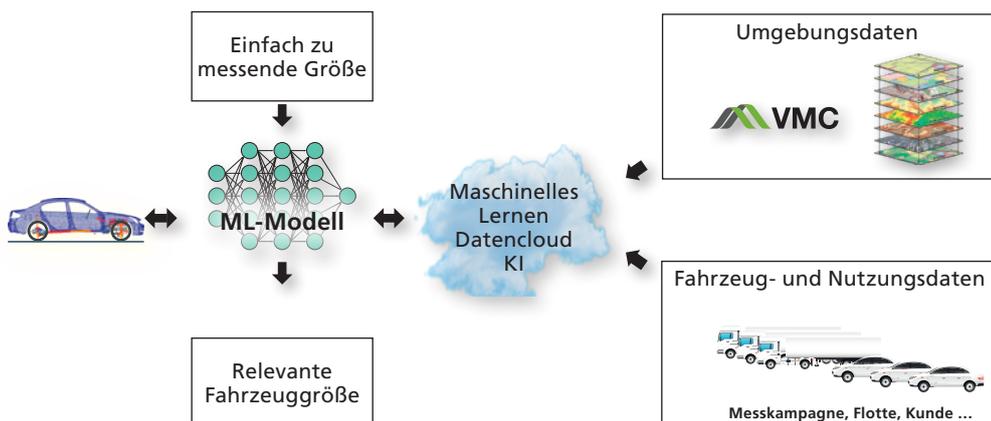


In unserer Abteilung »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung – Dynamik, Lasten und Umgebungsdaten« werden solche Methoden eingesetzt, um die dabei gewonnenen Erkenntnisse frühzeitig in den Entwicklungsprozess von Fahrzeugen einfließen zu lassen. Zum Beispiel in Form der Software-Suite Virtual Measurement Campaign VMC®. Ihr Ziel ist es, Umgebungsdaten in einer georeferenzierten Datenbank weltweit möglichst flächendeckend zusammenzustellen, zu pflegen und mit mathematischen Analysewerkzeugen zu verbinden. Mithilfe von Fahrer-, Fahrzeug- und Umgebungsmodellen können mit VMC® dank effizienter Simulationstechnologie verkehrshängige Geschwindigkeitsprofile vorhergesagt

und – darauf aufbauend – Aussagen über Fahrzeugbeanspruchung und Energiebedarfe abgeleitet werden. Ein weiterer tiefgreifender Nutzen für den gesamten Entwicklungs- und Absicherungsprozess entsteht im nächsten Schritt durch die Kombination von Nutzungsdaten auf der einen und Fahrzeug- und Umgebungsdaten auf der anderen Seite.

## Kaum erzeugt, schon in der Cloud

Moderne Fahrzeuge verraten viel über ihren Einsatz, denn sie zeichnen zahlreiche Zustandsgrößen auf; Nutzfahrzeuge sind darüber hinaus oft mit einem Telematiksystem ausge-



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

stattet, das die erhobenen Daten in regelmäßigen Abständen an eine Cloud schickt. Gerade bei Nutzfahrzeugen, insbesondere bei Land- und Baumaschinen, ist die Nutzungsvariabilität sehr hoch, je nach Kundengruppe und Einsatzregion: So ist beispielsweise ein Lkw in den bergigen Regionen des Kaukasus anderen Belastungen ausgesetzt als ein Lkw, der seine Ladung hauptsächlich in Mitteleuropa transportiert. Oder ein Bagger in der Sandgrube im Vergleich zu einem Bagger, der Bauschutt zerkleinert und in »Metall« und »Beton« getrennt aufhäuft.

Für den Entwicklungsprozess ist es daher von besonders großem Interesse, möglichst viel über die tatsächliche Nutzung eines Fahrzeuges zu wissen, um die richtigen Auslegungsziele und Erprobungskriterien festzulegen.

### KI erkennt Nutzungsart

Um die richtigen Schlüsse aus den vorliegenden Daten zu ziehen, kommen KI und ML ins

Spiel. »Wir setzen an dieser Stelle einen ML-basierten Detektionsalgorithmus ein, der die Nutzungsart erkennt, also zum Beispiel »Graben« beim Bagger«, erläutert Dr. Michael Burger, stellvertretender Abteilungsleiter »Dynamik, Lasten und Umgebungsdaten«. »Ist ein entsprechendes ML-Modell trainiert, können wir zeitnah sehr genaue Nutzungsprofile erstellen, spezifisch für Personengruppen und ihre jeweiligen Einsatzregionen.

Allerdings ist die Ausstattung einer großen Anzahl von Nutzfahrzeugen mit ebenso präzisen wie empfindlichen Sensoren aufwändig und der robuste Betrieb in der Regel kosten- und zeitintensiv. »Als alternativen bzw. ergänzenden Ansatz verwenden wir am Fraunhofer ITWM auch datenbasierte und hybride Modelle, die relevante innere Größen, wie zum Beispiel innere Bauteilkräfte, vorhersagen. Dafür nutzen wir leicht messbare äußere Größen wie Beschleunigungen an Achsen oder am Rahmen«, so Michael Burger. Damit können viele Sensoren sowie der Einsatz komplexer Messtechnik vermieden werden.

### Kontakt

Dr. Michael Burger  
Stv. Abteilungsleiter »Dynamik,  
Lasten und Umgebungsdaten«  
Telefon +49 631 31600-4414  
michael.burger@itwm.fraunhofer.de



Weiterführende Informationen gibt es auf unserer Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/umgebungsdaten](http://www.itwm.fraunhofer.de/umgebungsdaten)

# DEFACTO – E-Mobilität gewinnt auf Zellebene an Fahrt



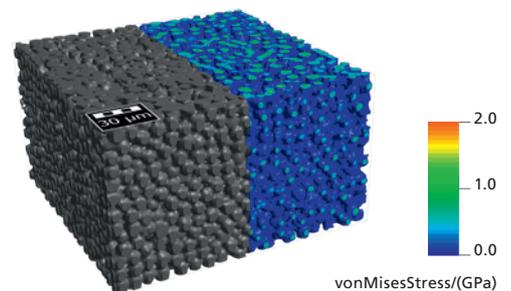
©freepik/Zaiets Roman

## Europäische Batteriezellproduktion revolutionieren

Das EU-Projekt DEFACTO hat sich ein ehrgeiziges Ziel gesetzt: Ein Tool zur Modellierung von Batterien für die Elektromobilität entwickeln – d. h. zum Modellieren sowohl der Batteriematerialien, des Herstellungsprozesses als auch des Zellverhaltens. Das verbesserte Verständnis soll dann zu schnelleren, günstigeren Entwicklungsprozessen für neuartige Zelltypen führen und die Lebenszeit der Batterien verlängern. Beim ITWM-Team rund um Dr. Jochen Zausch stehen das Modellieren und Simulieren der Zelleistung und der Alterungsmechanismen im Fokus.

Die Basiskomponenten der Batterien für E-Mobilität sind komplexe elektrochemische Zellen. »In unserem Beitrag zu DEFACTO konzentrieren wir uns auf die mechanische Alterung der Zellen, die durch Volumenänderungen in den Batterieelektroden verursacht wird«, so Dr. Jochen Zausch, Leiter des Teams »Elektrochemie und Batterien« der Abteilung »Strömungs- und Materialsimulation«.

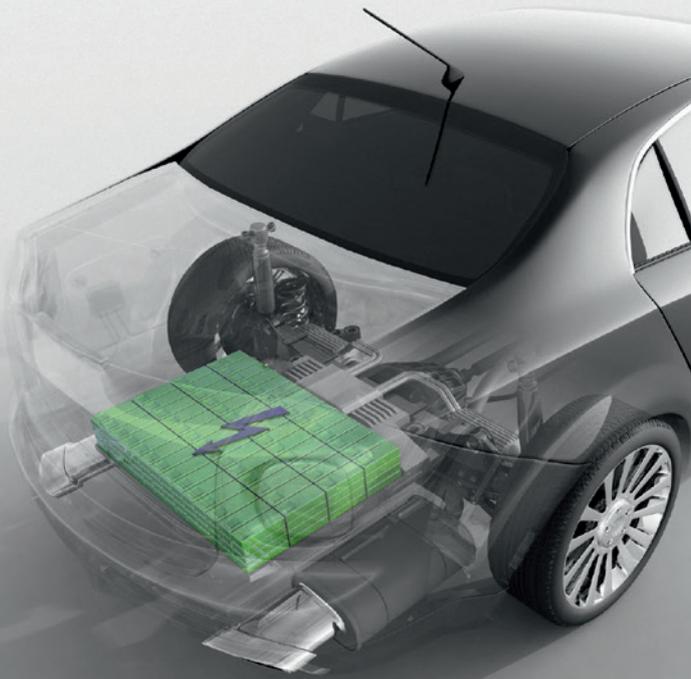
Die vielversprechenden, hochkapazitiven siliziumhaltigen Anoden zersetzen sich schon nach einigen Ladezyklen. Grund für die geringe Lebensdauer sind die Siliziumpartikel in der Anode, die sich ausdehnen und zusammenziehen. Diese sogenannte Zellatmung verstärkt



*Simulation: Berechnete mechanische Spannungen in einem Kompressionsexperiment einer virtuellen Batterieelektrode.*

den Verschleiß, denn dabei entstehen Risse und Schäden. Der Zusammenhalt der Elektrodenmaterialien und damit auch die Ladekapa-





## »Structure.e«: Schneller laden

Ein weiteres aktuelles Projekt zum Thema E-Mobilität, in dem die ITWM-Simulationssoftware BEST eine Rolle spielt, ist »Structure.e«. Lange Wartezeiten für Elektrofahrzeuge an Ladestationen sollen künftig der Vergangenheit angehören. Im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekt erforscht das Team rund um Zausch Methoden, die die Leistungs- und Ladefähigkeit von Lithium-Ionen-Batterien verbessern. 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. Die Arbeiten werden durch computerbasierte Simulationen unterstützt, die wir bei uns am ITWM entwickeln.

© istockphoto

zität werden nach und nach reduziert. Vereinfacht gesagt erhöhen diese neuen Materialien zwar die Reichweite des Elektrofahrzeugs, aber gleichzeitig ist die Lebensdauer der Zellen geringer, als es das typische Alter eines Autos erfordert.

### Zellmaterialverhalten mit ITWM-Simulationen besser verstehen

Solchen Problemen geht Zausch mit seinem Team auf den Grund, und zwar mit dem ITWM-Tool »BEST«. Damit simulieren sie das elektrochemische Verhalten der Zelle. »Die große Herausforderung besteht jedoch nicht nur in der Berechnung des idealen Batterieverhaltens, sondern wir wollen mehr Realitätsnähe durch die Vorhersage schaffen, wie sich die Batterieeigenschaften über ihre Lebensdauer ändern«, so Zausch. Dies soll durch die Kopp-

lung und Erweiterung zweier ITWM-Software-Tools gelingen: BEST (für die Elektrochemie) und FeelMath (für die Strukturmechanik).

»Im Idealfall lässt sich diese mikroskopische Betrachtung dann auf die makroskopische Skala übertragen. Wir wollen das Verständnis hinsichtlich der Materialwahl, der Elektrodenherstellung sowie -verarbeitung auf europäischer Ebene vertiefen.« Um Innovationen in der E-Mobilität zu fördern, finanziert die Europäische Kommission das Projekt DEFACTO mit einem Gesamtbudget von rund sechs Millionen Euro. Es läuft seit Januar 2020. Das Konsortium der Initiative besteht aus 13 Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus Spanien, Frankreich, Belgien, Griechenland und Deutschland und soll dieses ambitionierten Ziele noch bis Juni 2024 verfolgen, um die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie zu erhöhen.

### Kontakt

Dr. Jochen Zausch  
 Teamleiter »Elektrochemie und Batterien«  
 Telefon +49 631 31600-4688  
[jochen.zausch@itwm.fraunhofer.de](mailto:jochen.zausch@itwm.fraunhofer.de)



Weiterführende Informationen gibt es auf unserer Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/defacto](http://www.itwm.fraunhofer.de/defacto)



## Digitalisierung

---

Jeden Tag entstehen überall auf der Welt große Mengen unterschiedlichster Daten in hoher Geschwindigkeit – in Unternehmen, urbanen Infrastrukturen und privaten Haushalten. Dabei wächst das Volumen stetig und die Verarbeitung und Analyse dieser riesigen Datenmengen wird zur Schlüsselkompetenz für Hochtechnologieländer. Mit Rat und Tat stehen wir Unternehmen beim Aufbau von Know-how sowie bei der Entwicklung von Lösungen in Geschäftsprozessen wie der Produktion und Logistik zur Seite. Gleichmaßen legen wir Wert auf Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit sowie auf Datenschutz und Sicherheit.

# Europaweiter Kongress: Trust in AI

Können wir Künstlicher Intelligenz (KI) trauen? Dieser Frage stellten sich die Teilnehmenden des europaweiten digitalen Kongresses »Trust in AI. Responsible AI for Science and Society« am 26. November 2020. Übertragen aus dem Fraunhofer-Zentrum in Kaiserslautern konnte das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) gemeinsam mit den beiden Fraunhofer-Instituten ITWM und IESE über 650 Interessierte erreichen und aktuelle Beispiele aus der Forschungspraxis vorstellen. Auch die Zukunftsinitiative Rheinland-Pfalz (ZIRP) lud zu der Konferenz im Rahmen der deutschen EU-Ratspräsidentschaft ein, an welcher unter anderem Ministerpräsidentin Malu Dreyer teilnahm: Dreyer hob in ihrer Begrüßung den Beitrag rheinland-pfälzischer Forschender und Unternehmen zu verantwortungsvoller KI hervor. Katarina Barley, Vizepräsidentin des Europäischen Parlaments, kam ebenso zu Wort wie



der damalige rheinland-pfälzische Wissenschaftsminister Prof. Dr. Konrad Wolf. Institutsleiterin Prof. Dr. Anita Schöbel betonte den Anwendungsaspekt der KI, vor allem in den Bereichen Mobilität, Gesundheit und Produktion.

*Diskussionsrunde mit Prof. Dr.-Ing. Martin Ruskowski (SmartFactoryKL, DFKI), Prof. Dr. Anita Schöbel (Fraunhofer ITWM) und Prof. Dr. Peter Liggesmeyer (Fraunhofer IESE)*



Informationen zum Kongress unter [www.itwm.fraunhofer.de/trustinai](http://www.itwm.fraunhofer.de/trustinai)

## Anita Schöbel wird KI-Lotsin

Ein Highlight des Jahres 2020: Am 16. November ernannte der ehemalige Wissenschaftsminister Konrad Wolf unsere Institutsleiterin Anita Schöbel zur ersten KI-Lotsin von Rheinland-Pfalz. »Sie ist eine international ausgewiesene Expertin im Bereich Künstliche Intelligenz und Mobilität und kann bereits auf eine Vielzahl von innovativen Projekten verweisen. Frau Schöbel wird der Anwendung Künstlicher Intelligenz in Rheinland-Pfalz einen weiteren Schub geben«, erklärte der Wissenschaftsminister bei der Ernennung. Die KI-Lotsen sollen,

als Teil der KI-Agenda des Landes Rheinland-Pfalz, als Bindeglied zwischen Wissenschaft und Wirtschaft fungieren, um so die Potenziale der KI für Unternehmen und Betriebe zu heben. Anita Schöbel selbst verortet ihre Tätigkeit als KI-Lotsin vor allem im Bereich der Beratung und steht als Ansprechpartnerin für Expert:innen und Anwender:innen zur Verfügung. Um den Einsatz von KI dort zu ermöglichen, wo diese einen Mehrwert bieten kann, finden außerdem Vorträge zum Thema Künstliche Intelligenz am Institut statt.



Die Pressemeldung gibt es unter [www.itwm.fraunhofer.de/ki-lotsin](http://www.itwm.fraunhofer.de/ki-lotsin)

# Forschende der Finanzmathematik rechnen smartes Solvenzkapital

Versicherungsunternehmen müssen der Öffentlichkeit regelmäßig die so genannte Solvenzquote vorlegen. Diese soll Anhaltspunkte liefern, wie krisenfest die Anbietenden sind. Die Berechnung ist sehr komplex, spezifisch und wird von vielen Unternehmen nur einmal im Jahr durchgeführt. Finanzmathematikerinnen und -matematiker unterstützen dabei, die Solvenzquote mit Künstlicher Intelligenz (KI) zu berechnen. Was das heißt, erklärt Dr. Stefan Mai, Geschäftsfeldentwickler »Altersvorsorge« der Abteilung »Finanzmathematik« im Interview:

**Erstmal sollten wir klären, was bedeutet die Solvenzquote aktuell für Versicherungsunternehmen und wie wird damit umgegangen?**

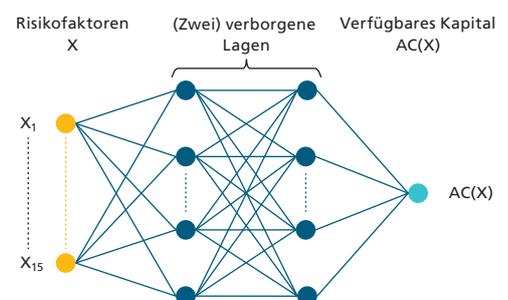
Solvvenzquote:  
Mehr Transparenz, aber auch höhere Komplexität.  
KI schafft Abhilfe.

Seit Januar 2016 gilt das neue europäische Aufsichtsregime Solvency II – mit dem Ziel Zahlungsunfähigkeit von Versicherungsunternehmen zu vermeiden bzw. sicherzustellen, dass die Unternehmen ihre Zusagen auch unter extremen Umständen wie Krisen erfüllen können. Das Solvenzkapital wird unterschiedlich berechnet, wobei das rechnende Unternehmen jeweils alle für sich relevanten Risikoszenarien berücksichtigen muss. Beispiele für große Krisen können Naturkatastrophen sein, Aktiencrashes oder auch ein starker Bedarf von Krankenversicherungsleistungen durch Epidemien/Pandemien. Die Solvenzquote ist dabei ein punktueller Anhaltspunkt für die getroffene Vorsorge des Versicherungsunternehmens.

**Wie kann da unsere Expertise unterstützen?**

Die Solvency II Berechnungen im Bereich der Lebensversicherung sind nicht nur gesetzlich vorgeschrieben, sondern extrem aufwändig, da hier wirklich jeder einzelne Vertrag in mind. 10.000 zukünftigen Kapitalmarktszenarien bis zum Ablauf berechnet wird. Wegen des Aufwands – viele Versicherungsunternehmen verwalten Millionen Verträge in ihrem Bestand – wird i. d. R. nur einmal im Jahr gerechnet.

Aus unseren Gesprächen mit Versicherungen wissen wir, dass die Entscheidenden gern ein Neuronales Netz einsetzen würden, das eine Sensitivitätsanalyse des Solvenzkapitals in »Echtzeit« ermöglicht. Unser Forschungskonzept: Das Neuronale Netz wird auf vorhandenen Daten und dem internen Modell des Unternehmens trainiert. Hier kann auch das preisgekrönte ITWM-Softwaretool NASE zur Bestimmung der optimalen Architektur des Netzes zum Einsatz kommen. Mit meinem Kollegen Dr. Roman Horsky bin ich auch immer im Gespräch, welchen Beitrag Quantencomputing im Rahmen eines solchen Forschungsprojekts leisten könnte, aber das ist Zukunftsmusik. Jedenfalls, im Ergebnis sollen Entscheidende nicht nur einmal im Jahr, sondern in »Echtzeit« Informationen zur exakteren Steuerung bekommen – beispielsweise um die Rendite für die Kundinnen und Kunden zu optimieren.

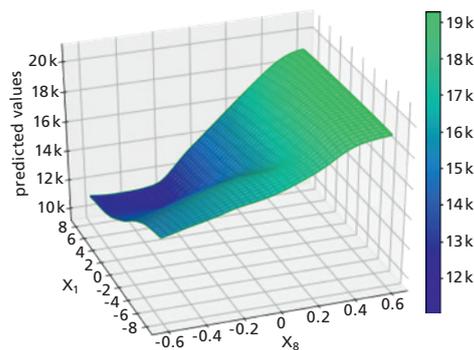


*Schematisches Neuronales Netz zur Berechnung des verfügbaren Kapitals*  
(© <https://doi.org/10.3390/risks8040116>)



### Was heißt das in der praktischen Zusammenarbeit? Wie kann ich mir das vorstellen?

Ausgangspunkt sind Gespräche in Form eines intensiven Workshops, um die Parameter, Modelle und Variablen auf der Aktiv- und Passivseite der Versicherung zu verstehen. Anschließend wird gemeinsam die Datengrundlage gesichtet und der Bearbeitungsaufwand der Vorbereitung abgeschätzt. Danach geht es erst an die eigentliche Entwicklung und Evaluierung. Hier unterstützt uns insbesondere Dr. Stefanie Grimm als Expertin für Data Science. Abschließend wird die Software gemeinsam in das Unternehmenssystem integriert. Dabei gehen wir in allen Prozessschritten nach den Prinzipien der agilen Zusammenarbeit vor. Das heißt, dass wir mit Kundinnen und Kunden flexibel auf geänderte oder zusätzliche Fragestellungen eingehen. Die Zusammenarbeit kann in einem gemeinsamen Innovation-Lab stattfinden. Dabei kooperieren Mitarbeitende unserer Abteilung mit Mitarbeitenden des Unternehmens in einem Team. Regelmäßige



*Verhalten eines Neuronales Netzes bei Variation der Risikofaktoren  $X_1$  und  $X_8$*   
(© <https://doi.org/10.3390/risks8040116>)

Absprachen sorgen für direkten Informationsfluss und führen so zu einem bestmöglichen Projektergebnis.

In solch einem Industrieprojekt können wir unser Alleinstellungsmerkmal im Markt auspielen, eine exklusive Kombination aus Domänenwissen in der Finanz- und Versicherungsmathematik, kombiniert mit Methodenkompetenz in Data Science und Quantencomputing.

### Kontakt

Dr. Stefan Mai  
Geschäftsfeldentwickler  
»Altersvorsorge«  
Telefon +49 631 31600-4090  
[stefan.mai@itwm.fraunhofer.de](mailto:stefan.mai@itwm.fraunhofer.de)



Weiterführende Informationen gibt es auf unserer Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/altersvorsorge](http://www.itwm.fraunhofer.de/altersvorsorge)

# Dem Betrug mit Algorithmen und KI auf der Spur



Im Geschäftsfeld »Abrechnungsprüfung und Auffälligkeitsdetektion« hat sich in den vergangenen Jahren geballte Expertise entwickelt, wie sie wahrscheinlich sonst nicht oder nur schwer zu finden ist. Zwei Wissenschaftlerinnen spielen dabei eine besondere Rolle: Dr. Stefanie Schwaar, Geschäftsfeldentwicklerin »Abrechnungsprüfung«, und Dr. Elisabeth Leoff, stellvertretende Abteilungsleiterin der »Finanzmathematik«. Klassische Methoden und moderne KI bzw. Machine Learning zur Detektion von Auffälligkeiten stehen im Fokus ihrer Arbeit.

Das junge Team arbeitet an ausgefeilten Methoden und Softwaretools zum Prüfen von Abrechnungen und hat sich bereits in Branchen wie der Automobilindustrie, der Pflege und Gesundheit sowie der öffentlichen Verwaltung etabliert.

## Forschungsprojekt: Ein KI-Spürhund für Abrechnungen in der Pflege

Abrechnungsbetrug und Korruption im Gesundheitswesen führen zu großen Schäden in den Sozialversicherungen. Es entstehen enorme Kosten von mehreren Milliarden Euro jährlich für die Solidargemeinschaft. Das genaue Prüfen von Abrechnungen von Pflegediensten und Vertragsärzt:innen ist bisher sehr aufwändig; einen Betrug zu entdecken mit viel komplexer, manueller Papierarbeit verbunden. Gleichzeitig ist es aufgrund der besonderen Situation in der Pflege (demente Patient:innen, viele »kleine« Services) schwierig, bei einzelnen Leistungen eine

Beanstandung nachzuweisen. Im Verbundprojekt »PflegeForensik – Effektive Strafverfolgung bei Pflegebetrug durch automatisierte Bildverarbeitung«, das vom BMBF im Rahmen des Programms »Forschung für die zivile Sicherheit« gefördert wird, unterstützen ITWM-Forscher:innen aus zwei Abteilungen mit modernen Algorithmen der Künstlichen Intelligenz (KI) im Bereich der Bild- sowie Texterkennung bei der Strafverfolgung. Es wird in Zusammenarbeit mit der Polizeidirektion Leipzig und der Generalstaatsanwaltschaft in Dresden durchgeführt.

Kernziel des Projektes ist das Entwickeln von Algorithmen zum automatischen Einlesen und intelligenten Auswerten der Papierberge. Denn jeder Pflegedienst hat seine eigenen Papierdokumente, sie sind unterschiedlich aufgebaut und oft liegt auch nicht alles digital vor. Sie werden teilweise handschriftlich verfasst, mal sind es Tabellen, mal nicht. Ein automatisiertes Prüfen ist also eine echte Herausforderung. »Bisher werden

### Kontakt

Dr. Stefanie Schwaar  
Geschäftsfeldentwicklerin  
»Abrechnungsprüfung«  
Telefon +49 631 31600-4967  
stefanie.schwaar@itwm.fraunhofer.de



die verschiedenen Dokumente manuell in Tabellen übertragen und geprüft. Mit Bildverarbeitung kann man hier einiges Automatisieren. Sowohl die Dokumentenstruktur lässt sich mit intelligenten Algorithmen erfassen, als auch die Inhalte. Beispielsweise kann man so Unterschriften in Dokumenten finden und sie den richtigen Mitarbeitenden zuordnen«, erklärt Dr. Henrike Stephani, stellvertretende Leiterin der Abteilung »Bildverarbeitung« beim Fraunhofer ITWM.

### Machine Learning Verfahren unterstützt smarte Betrugserkennung

Die Abrechnungsunterlagen sind ein Zusammenspiel aus Leistungsnachweisen, Touren- und Dienstplänen sowie anderen Dokumenten. Diese gilt es bei der Prüfung zu kombinieren, um einen Betrug aufzudecken. »Eine Auffälligkeit kann z. B. darin bestehen, dass im Leistungsnachweis viele Leistungen des Pflegenden gleichzeitig abgerechnet wurden, aber der Dienstplan nur einen kurzen Einsatz listet. Solche Besonderheiten müssen wir automatisiert finden«, so Leoff.

Im Forschungsprojekt kommen Machine Learning (ML) Methoden zum Einsatz – genauer Deep Learning Verfahren. Mit Hilfe von sogenanntem »Supervised Learning« lernt der Algorithmus aus einer Mischung aus echten und künstlich erzeugten Daten entscheidende Infos erst zu erkennen und dann Auffälligkeiten aufzuspüren. Zum Trainieren dieser KI-Algorithmen wird vom ITWM-Team eine Datenbank entworfen und mit Daten befüllt. Das heißt mehrere tausend Dokumente müssen von Menschen erstellt und mit Eigenschaften markiert worden sein, um den Algorithmus überhaupt intelligent zu gestalten. Die Algorithmen werden programmiert und immer wieder mit Daten aus echten Ermittlungsverfahren getestet. Auf der Analyse der Dokumente setzt dann die Auswertung auf und Auffälligkeiten werden automatisch gesucht.

Aber mit Algorithmen allein ist die Arbeit nicht getan: »Am Ende wollen wir den Ermittelnden

ein Softwaretool an die Hand geben, das hilft die Betrugsfälle schneller systematisch aufzudecken. Dieses muss für die Staatsanwaltschaft und Polizei einfach zu bedienen sein und möglichst gerichts feste Ergebnisse liefern. Außerdem darf die Rechenzeit nicht zu lange dauern, da die Polizei in der Lage sein soll, die Software eigenständig für unbekannt Formate nachzutrainieren. Was bei Deep Learning Verfahren heute häufig noch schwierig sein kann«, betont Leoff.

### KI-Kompetenzen werden stetig erweitert

Das Geschäftsfeld wird durch das sechsköpfige EP-KI Team (EP-KI: KI-Entscheidungsunterstützung für betriebswirtschaftliche Prozesse) rund um Stefanie Schwaar ergänzt. Dieses kümmert sich auch um die Entwicklung smarter KI-Prozesse für die Anwendung, jedoch mit anderer Zielgruppe. Viele Entscheidungen in Unternehmen und Verwaltungen basieren heute immer noch auf manuell ausgewerteten Datenbeständen. Das Wissen vieler Mitarbeitenden in Unternehmen verbleibt bei diesen und wird für zukünftige Entscheidungen selten berücksichtigt. Gleichzeitig sehen sich gerade die öffentlichen Verwaltungen einem großen technologischen Umbruch ausgesetzt, der zur Digitalisierung zahlreicher weiterer Prozesse führt. Dabei unterstützt die KI-Nachwuchsgruppe Unternehmen und Verwaltungen.

Die durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Gruppe fokussiert sich bei der Forschung auf die zukunftsorientierten Fragestellungen und deren Lösung durch anwendungsfreundliche Verfahren. Die Anwendungsfelder beschränken sich nicht nur auf Abrechnungsprüfung und Betrugsdetektion. Hier werden auch Methoden der Erklärbarkeit (Warum ist eine Abrechnung auffällig?) und Prognose (Wie ist die Entwicklung zu erwarten?) betrachtet. Auf der Website und im Blog des Teams berichten sie mehr über ihre Arbeit und Aktivitäten.

#### Kontakt

Dr. Elisabeth Leoff  
Stv. Leiterin der Abteilung  
»Finanzmathematik«  
Telefon +49 631 31600-4857  
elisabeth.leoff@itwm.fraunhofer.de



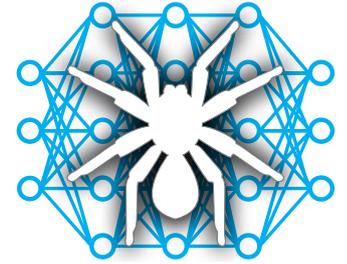
Mehr Informationen zum Geschäftsfeld »Abrechnungsprüfung«  
[www.itwm.fraunhofer.de/abrechnungspruefung](http://www.itwm.fraunhofer.de/abrechnungspruefung)



Zum Blog des EP-KI Teams [www.itwm.fraunhofer.de/epki-blog](http://www.itwm.fraunhofer.de/epki-blog)



# Tarantella spinnt schnelle Netze – Rechenpower für Deep Learning



Die Entwicklung von Werkzeugen, die Deep Learning-Nutzenden den Einstieg ins High Performance Computing erleichtern, war Ziel eines BMBF-Projektes; den Anteil der Abteilung »High Performance Computing« erläutert Projektleiter Dr. Peter Labus.

## Ihr Team hat das Framework Tarantella entwickelt – ein ungewöhnlicher Name für eine Software. Wie kam er zustande? Und wie gefährlich ist Tarantella?

Tarantella ermöglicht das Training künstlicher Neuronaler Netze auf Hochleistungsrechnern. Damit wird der zeitaufwändige Prozess schneller, weil mehr Daten durch das Netz geschickt werden. Die künstlichen Neuronen werden häufiger aktiviert – sie beginnen also quasi zu tanzen. Tarantella drückt das sehr gut aus, weil es ein ausgelassener sizilianischer Tanz ist, der in großen Gruppen getanzt wird. Eine Spinne webt also metaphorisch das Neuronale Netz, deshalb ist sie auch in unserem Logo zu sehen. Und natürlich vollkommen ungefährlich!

## Was kann Tarantella?

Neben der schon erwähnten Eigenschaft, dass Neuronale Netze mit mehr Rechnern schneller trainiert werden können, unterstützen wir auch das Training beliebig großer Neuronaler Netze. Das war bisher wegen des begrenzten Speichers einer Grafikkarte nicht möglich. Nun können noch tiefere Neuronale Netze trainiert werden, die komplexere mathematische Funktionen lernen und damit auch schwierigere Probleme lösen können. Geholfen hat uns zum einen das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI), das sich mit der Frage der Partitionierung des Neuronalen Netzes auf die

verschiedenen Rechner des Supercomputers befasste. Unterstützung bei der Performance-Evaluierung unserer Software kam vom Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen (ZiH) in Dresden. Und schließlich die Uni Heidelberg: das Team beschäftigte sich mit Anwendungsszenarien besonders großer Neuronaler Netze, für deren Training man Tarantella benötigt.

## Das Framework ist also einsatzbereit; welche Anwendungsbereiche haben sich herauskristallisiert?

Das Training Neuronaler Netze wird immer relevanter, da die in KI investierte Rechenzeit exponentiell wächst. Das hat viele Durchbrüche in der Sprach- und Bildverarbeitung erst möglich gemacht, die wir in Sozialen Medien, Online-Shops, aber auch im Smart Home bereits nutzen. Auch die Wissenschaft profitiert vom Einsatz großer Neuronaler Netze, z. B. Kosmologie, Klimaforschung, Teilchenphysik. Unser Ziel war es, Supercomputer für Deep-Learning-Anwender nutzbar zu machen, ohne Kenntnisse dieser Systeme (oder des parallelen Programmierens) voraussetzen und damit die Entwicklung neuer KI-Lösungen zu demokratisieren. Tarantella ermöglicht das, indem es auf eines der meist genutzten Deep Learning Frameworks – TensorFlow – und dessen Interface aufsetzt. Bestehende KI-Anwendungen können dank Tarantella mit minimalen Änderungen für die Ausführung auf einem Hochleistungsrechner portiert werden.

## Kontakt

Dr. Peter Labus  
Abteilung »High Performance Computing«  
Telefon +49 631 31600-4982  
peter.labus@itwm.fraunhofer.de



Weitere Infos [www.itwm.fraunhofer.de/HP-DLF](http://www.itwm.fraunhofer.de/HP-DLF)



Tutorials auf unserer Webseite [www.tarantella.org](http://www.tarantella.org)

# Maßgeschneiderte digitale Planungsprozesse

Die Digitalisierung von Planungsprozessen soll in produzierenden Unternehmen dazu beitragen, das Optimum aus deren gewohnten Abläufen herauszuholen. Ein Team aus dem Bereich »Optimierung« unterstützt mit der Entwicklung maßgeschneiderter Software.

Bestehende Planungsprozesse zu hinterfragen, das ist oftmals die Aufgabe der Forschenden im Bereich »Optimierung« in ihren Industrieprojekten. In der Regel sind beauftragende Unternehmen davon überzeugt, den Engpass im eigenen Prozess zu kennen. Die Erfahrung der Forschenden zeigt: Durch die Prozesssimulation ergibt sich oft ein anderes Bild.

## Denkweise erfahrener Arbeitskräfte mathematisch imitieren

Ein Team um Dr. Heiner Ackermann und Dr. Elisabeth Finhold unterstützt Unternehmen bei ihrem Einstieg in die digitale Produktionsplanung. »In jeder Produktion gibt es viele Aufgaben, die sehr gut aufeinander abgestimmt werden müssen. Wir schauen in einem solchen Fall genau auf das Setting und hinterfragen: Wie werden einzelne Abläufe koordiniert? Auf welcher Maschine geschieht was? Wie gut sind diese ausgelastet?«, beschreibt Finhold die erste Phase eines solchen Projekts. »Dann wird's mathematisch: Wir entwickeln Algorithmen, die sehr genau auf die komplexen Regeln des Unternehmens abgestimmt sind.«

Das Ziel ist eine individuelle Anpassung von Planungsprozessen. Mit maßgeschneiderten Algorithmen bildet das Projektteam ein Stück weit nach, was erfahrene Produktionsplanende im Arbeitsalltag leisten. »Wer eine Produktion plant, kennt das Arbeitsumfeld ganz genau,



©istockphoto/FG Trade

verfügt über viel Know-how. Wir versuchen zu imitieren, wie diese Mitarbeitenden ihre Aufgaben strukturieren«, erläutert Ackermann und betont: »Es geht dabei auch um Wissensmanagement und Digitalisierung von Wissen. Wir können dazu beitragen, einen hohen Anteil an Routineaufgaben zu automatisieren.« Dadurch würden Spezialistinnen und Spezialisten entlastet und gleichzeitig Ressourcen für Sonderaufgaben geschaffen.

## Effektiver produzieren

Durch die speziell auf die Bedürfnisse eines Unternehmens entwickelte Software lässt sich dann erforschen, welche Varianten im Ablauf möglich sind. Verbesserungspotenziale kommen zu Tage und es gibt Anhaltspunkte, wie die Produktion insgesamt effektiver laufen kann.

## Kontakt

Dr. Heiner Ackermann  
Stv. Leiter der Abteilung  
»Optimierung – Operations  
Research«  
Telefon +49 631 31600-4517  
heiner.ackermann@itwm.fraunhofer.de



Weitere Informationen unter [www.itwm.fraunhofer.de/opt](http://www.itwm.fraunhofer.de/opt)



# Energie

---

Unser Schwerpunkt liegt auf erneuerbaren Energien, Effizienztechnologien, intelligenten Netzen sowie auf der Digitalisierung der Energiewirtschaft. Zugang zu einem großen Spektrum an Forschungs- und Entwicklungsangeboten erhalten dabei kleine und mittelständische Unternehmen, aber auch Industrie und Energiewirtschaft. Immer steht dabei eine sichere, nachhaltige, wirtschaftliche sowie sozial gerechte Versorgung im Zentrum.



# Smarte Software für das Management fluktuierender Energieproduktion

In der Abteilung »High Performance Computing« hatten Nachhaltigkeit und der smarte Umgang mit Energie von Beginn an einen hohen Stellenwert – nicht zuletzt zu erkennen an der bereits 2009 formierten Gruppe »Green by IT«. Das Engagement mündete 2019 sogar in einem Spin-off, der Wendeware AG. Matthias Klein-Schlöbl, Leiter der Gruppe »Green by IT«, skizziert einige Highlights:

Seit vielen Jahren erforschen wir Soft- und Hardware-Lösungen für die Energiewende. Dabei sind der Energiemanager Amperix und die Plattform myPowerGrid, die viele dezentrale Energiemanager als zusammengefasste virtuelle Einheit koordiniert, entstanden. Die Wendeware AG kümmert sich nun um die Vermarktung unserer Produkte und entwickelt diese Technologien weiter. Seit Mitte 2020 gibt es sogar einen Ankerkunden: ein führender deutscher Batteriesystemhersteller. Er nutzt unser Energiemanagementsystem, um Energieflüsse in Betrieben zu erfassen, zu überwachen und das Speichersystem und andere Erzeuger und Verbraucher in der Liegenschaft intelligent zu steuern.

## Guter Winter für Schoonschip

»Green by IT« begleitet seit längerem Schoonschip, ein schwimmendes Wohnquartier in Amsterdam Nord. Die Energiegemeinschaft ist richtig gut über ihren ersten Winter gekommen. Um zu verstehen, was wir geleistet haben, muss man zuerst wissen, dass sich 30 Häuser (47 Wohneinheiten) einen sehr klein dimensionierten Netzanschluss mit rund 150 kW Gesamtleistung teilen und mittels Wärmepumpen geheizt werden. D. h. im Winter ist hier mit einer hohen Leistungsaufnahme zu rechnen, in Spitzenzeiten gar zu hoch für den Netzanschluss.

Alle Häuser sind mit Batteriespeichern ausgestattet. Diese Speicher nutzt unsere Energiecommunity-Steuerung zur koordinierten Unterstützung des Netzanschlusses, sogenanntes Peak-Shaving. In Spitzenzeiten lieferten die Speichersysteme in Summe bis zu 63 kW. Der geteilte Netzanschluss war aufgrund der Leistungsaufnahme der Wärmepumpen nah am Maximum, wurde jedoch durch den Einsatz der Batteriespeicher nicht überlastet. In sonnigen Zeiten werden die Speicher zur Tag-Nacht-Pufferung genutzt.

Die Technologie wird in einem weiteren Wohnprojekt eingesetzt: »Wohnen mit Freu[n]den« in Oggersheim. Wir haben ein Mehrfamilienhaus, das auch eine Energiegemeinschaft bildet, neben den Hauptzählern mit jeder Menge Technik zum Messen von Strom, Wasser und Wärme, sogenanntem Submetering, ausgestattet. Dies dient der Energietransparenz der Bewohner:innen und als Grundlage für die Abrechnung. Eine Auswertung der Kennzahlen ergab, dass »Wohnen mit Freu[n]den« bereits rund 60 Prozent seines elektrischen Energiebedarfs aus dem eigenen Blockheizkraftwerk (BHKW) selbst deckt und bilanziell mehr als doppelt so viel Strom erzeugt, als die Bewohner:innen verbrauchen. Deshalb kann zur weiteren Steigerung der Selbstversorgung die Koppelung des BHKW mit einem Batteriespeichersystem sinnvoll sein.



© Isabel Nabuurs Fotografie

*Schwimmende Wohn- und Energiegemeinschaft mit ITWM-Technologie: Amperix steuert die Energieflüsse in Schoonschip.*

## Kontakt

M.Sc. Matthias Klein-Schlöbl  
Stv. Abteilungsleiter »High Performance Computing«  
Telefon +49 631 31600-4475  
matthias.klein@itwm.fraunhofer.de



Weitere Informationen unter [www.itwm.fraunhofer.de/greenbyit](http://www.itwm.fraunhofer.de/greenbyit)



Unsere Kooperationen unter [www.wendeware.com/ueber-uns](http://www.wendeware.com/ueber-uns)

# Damit der Strom fließt: Zerstörungsfreies Prüfen von Kraftwerksgeneratorstäben



*Vorprüfung: Dr. Friederich im Kraftwerksgenerator, dessen teilweise schwer zugängliche Glimmerisolierung mit Terahertz-Technik untersucht werden kann.*

Die Inspektion von Kraftwerksgeneratoren ist ein komplexes Unterfangen, zum einen wegen der schieren Größe der Generatoren, zum anderen wegen ihres Aufbaus; nicht alle Stellen sind zugänglich und der Raum für den Einsatz von Messtechnik oftmals begrenzt. In den letzten Jahren haben sich jedoch viele Terahertz- und Millimeterwellen-Technologien aus dem wissenschaftlichen Hintergrund heraus in spezifische industrielle Anwendungen hineinentwickelt – so auch in die zerstörungsfreie Prüfung auf Defekte unterhalb der Oberfläche in der Qualitätskontrolle und Produkt-

wartung. Gemeinsam mit der Firma Siemens Energy konnten wir in mehreren Machbarkeitsstudien die Einsatzfähigkeit der neuen Technologie auch für die Inspektion von Kraftwerksturbinen unter Beweis stellen.

**»Bereits an dem ersten Probekörper, der im Vorfeld tomographisch erfasst war, konnten wir die Fehlstelle im Terahertzbild wiedererkennen.«**

**Dr. Andrey Mashkin**  
Siemens Energy

Untersucht wurde die Glimmerisolierung von Stromleitern im Generator – eine frühzeitige Erkennung von Defekten und Rissen in der Isolierung ist entscheidend für die Funktionsfähigkeit und Laufzeit der Generatoren. Ziel war es, innenliegende Defekte zu erkennen, bevor das Oberflächenmaterial abplatzt. Kamerabasierte Methoden der Inspektion detektieren nur Defekte an der Oberfläche und kommen deshalb allein nicht infrage. Denn für die Wartung und rechtzeitige Reparatur ist das zu spät. Die Fehler müssen aufgespürt werden, bevor sie von außen sichtbar sind.

## **Radarbasierte Messtechnik kombiniert mit Terahertzwellen**

»Hierfür eignet sich die bildgebende Terahertz-Prüfung besonders gut,« so Projektleiter Dr. Fabian Friederich aus der Abteilung »Materialcharakterisierung und -prüfung«. »Radarbasierte

Ansätze ermöglichen nämlich die Erfassung von Tiefeninformationen und vereinfachen die Unterscheidung einzelner Merkmale des Messobjekts.« Entsprechende Terahertz-Bildgebungssysteme basieren oft auf quasioptischen Linsensystemen, die ein gewisses Maß an Flexibilität bieten, z. B. in Bezug auf die Wahl der Brennweite und damit des Arbeitsabstandes. Die quasioptischen Komponenten für den Terahertz-Bereich sind meist recht groß und eignen sich daher nicht für die Inspektion von Generatorstäben. Abhilfe schafft hier die Kombination aus radarbasierter Messtechnik und dem Einsatz einer Art Endoskop, welches zwischen die Generatorstäbe geführt wird. Dieses besteht aus einem Kunststoffwellenleiter als Nahfeldantenne in Verbindung mit einem Terahertz-Radarsensor.

Ergebnissen, so dass im nächsten Schritt konkrete Lösungsansätze für den Einsatz der Methode in typischen Zwischenräumen der Generatorstäbe erprobt wurden.

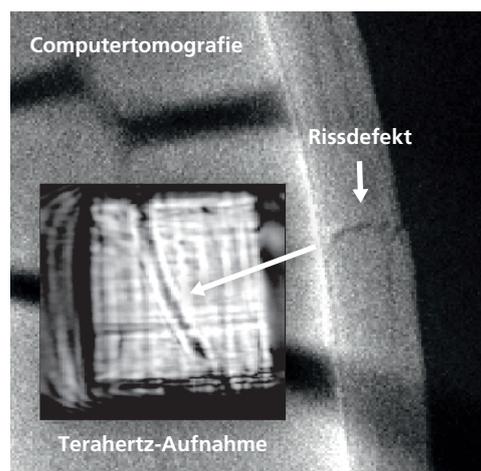
Hierfür untersuchten die ITWM-Experten zunächst geeignete Materialien für die Führung und die Einflüsse durch Biegung der Messspitze, in Form weiterer vergleichender Messungen an dem entnommenen Generatorprobekörper. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden darauffolgend angepasste Messspitzen auf Kunststoffplatten herausgearbeitet und zu einem Endoskop zusammengeführt. Schließlich wurde exemplarisch an zusammengesetzten Generatorstäben gemessen, um die Einsatzfähigkeit zu validieren.

### Erfolgsversprechende Testmessungen

Getestet wurde die Messspitze zunächst an einem defekten Generatorstab im Labor. Dabei wurde sie über die Oberfläche im Bereich des Defekts geführt und die Oberfläche des Generatorstabes punktuell abgetastet, um eine volumetrische Aufnahme des Bereichs zu erzeugen. Vergleichende Aufnahmen mit Röntgen-CT dienen zum Erfassen und Ausschließen der Defekteigenschaften. Die Untersuchungen führten zu sehr vielversprechenden

### Wie geht es weiter?

In den nächsten Schritten werden nun andere Aspekte der Messgeometrie untersucht; zum Beispiel: Wie ist der Einfluss des Einfallswinkels auf das Messsignal? Geprüft werden auch weitere Lösungsansätze für das Verfahren der Messspitze im Feldeinsatz. »Auf dieser Basis wollen wir ein vollständig angepasstes Messsystem realisieren, das routinemäßig zur Überprüfung von Generatorstäben eingesetzt werden kann«, so Dr. Fabian Friederich.



Im Foto links ist ein Teilstück eines Generatorstabs abgebildet. Das rechts im Hintergrund dargestellte Röntgen-CT-Bild des Probenquerschnitts, zeigt einen Riss im Inneren der Isolierung. Die eingebettete Terahertz-Aufnahme zeigt in einer anderen Perspektive, dass sich der Riss über die gesamte Breite des Generatorstabs erstreckt.

### Kontakt

Dr. Fabian Friederich  
 Gruppenleiter »Elektronische Terahertz-Messtechnik ETM«  
 Telefon +49 631 31600-4908  
 fabian.friederich@itwm.fraunhofer.de



# FlexEuro: Wer flexibel und klug steuert, gewinnt am Energiemarkt

Das produzierende Gewerbe braucht viel Strom. Energie und Stromeinsatz sind deshalb oft entscheidende Kostenfaktoren im Industriesektor. Flexibilität im Stromversorgungssystem ist gleichzeitig zum Schlagwort der Stunde avanciert. Denn wer smart auf die Schwankungen am Markt eingeht und seinen Stromverbrauch steuert, profitiert davon. Im BMWi-geförderten Projekt FlexEuro entwickeln Forschende der Abteilung »Finanzmathematik« und des Bereichs »Optimierung« Modelle und Methoden für die optimale Vermarktung von Lastflexibilitäten an verschiedenen Strommärkten.

Was in der Vergangenheit bei Atom- und Kohlekraftwerken keine Rolle gespielt hat, ist jetzt für den Preis im Strommix entscheidend: die sogenannte dargebotsabhängige Energieerzeugung. Das heißt, durch die erneuerbaren Energien – wie Wind- und Solarstrom – hängt die Stromproduktion immer stärker vom Wetter ab und schwankt auch im Verlauf eines Tages, teilweise stündlich oder gar im Sekundentakt. Aber nicht nur die Erzeugung, sondern auch die unterschiedlich starke Nachfrage hat einen Einfluss auf die Märkte und Preise. Unternehmen, die auf solche Flexibilität beim Einkauf von Strom eingehen, haben zukünftig entscheidende Vorteile, besonders die energieintensiven Unternehmen. Gleichzeitig entlasten sie damit das Energienetz.

## Aluminiumherstellung smart steuern

Zu diesen Industrieprozessen mit besonders hohem Energieverbrauch zählt zum Beispiel die Herstellung von Aluminium, genauer: die Aluminiumelektrolyse. Im Projekt FlexEuro ist als Anwendungspartner TRIMET Aluminium an Bord. Im mittelständischen Familienunternehmen dreht sich alles um Leichtmetallprodukte. »Beim Kick-off zum Projekt wurden uns bei einer Werksbegehung auch die beeindruckenden Herstellungsprozesse in den Elektrolyseöfen demonstriert. Das hat unser Verständnis auf jeden Fall geschärft. Sie müssen rund um die Uhr 24/7 laufen, damit am Ende

der Output nicht leidet,« so Dr. Neele Leithäuser. Das braucht viel Energie. Einige der Öfen sind bereits so konzipiert, dass Abweichungen der Stromeinspeisung durch steuerbare Wärmetauscher kompensiert werden, ohne dass die Produktion unterbrochen wird.

»TRIMET nennt diese flexiblen Öfen auch virtuelle Batterie«, erklärt die stellvertretende Abteilungsleiterin »Optimierung – Operations Research«. Das Besondere: In den umgebauten Zellen kann je nach Wetterlage die Produktion hoch- und runterfahren werden. Wenn die Sonne scheint und der Wind bläst, können die Öfen mit überschüssigem Ökostrom bis zu 25 Prozent mehr schmelzen. Ist es dunkel oder windstill, fahren sie die Produktion um bis zu 25 Prozent runter. Das ist hochkomplex, denn die Elektrolyse verlangt eine konstante Betriebstemperatur von 960 °C. Schon 10 Grad darüber oder drunter sind nicht gut für das Endprodukt. Ziel im Projekt ist es, den Stromverbrauch so zu steuern, dass der benötigte Strom am Markt möglichst effizient genutzt werden kann.

## Mathematik behält kurzfristige Vermarktungsoptionen im Blick

»Dabei konzentrieren wir uns auf kurzfristige Vermarktungsoptionen für Flexibilität«, erklärt Elias Röger, ITWM-Experte aus der Finanzmathematik. Als Beispiel nennt Röger den sogenannte

### Kontakt

Elias Röger  
Geschäftsfeldentwickler »Flexible Lasten am Energiemarkt«  
Telefon +49 631 31600-4050  
yukio.elias.roeger@  
itwm.fraunhofer.de





© TRIMET Aluminium SE

## Kurzfristige Vermarktungsoptionen

- **Regelenergiemarkt:** Die Regelleistung, auch als Reserveleistung bezeichnet, gewährleistet die Versorgung bei unvorhergesehenen Ereignissen im Stromnetz. Sie wird von zertifizierten Marktteilnehmenden bereitgestellt und von den Netzbetreibern vergütet.
- **Day-Ahead Auktion:** Handel von Strom für den folgenden Tag. Für die verschiedenen Lieferzeiträume gibt es je einen Preis, der mit dem Ende der Auktion bekannt wird.
- **Intraday-Markt:** Er bezeichnet den kontinuierlichen Kauf und Verkauf von Strom, der noch am gleichen Tag geliefert wird. Strom kann bis kurz vorm Lieferzeitpunkt hin und her gehandelt werden, was Spekulationen ermöglicht. Positionen aus der Day-Ahead Auktion können hier wieder verändert werden.

*Flexibler Elektrolyseofen bei der TRIMET Aluminium SE.*

Day-Ahead-Markt. »Immer am Mittag eines jeden Tages ermittelt die Börse den Strompreis für jede Stunde des Folgetags. Dieser ergibt sich abhängig von der Höhe des erwarteten Verbrauchs und der prognostizierten Erzeugung aus erneuerbaren Energien.« Die unterschiedlichen Eigenschaften und Restriktionen der Märkte erfordern für jede Vermarktungsoption eine individuelle Kombination von mathematischen Modellen (Unterschiede der Märkte siehe Infokasten). In der Praxis von TRIMET kann das heißen, dass die Öfen dann in einer »teureren Stunde« im besten Falle weniger Strom verbrauchen und dafür in kostengünstigeren Stunden weiter hochfahren.

Inzwischen ist Halbzeit im Projekt und die Forschenden ziehen eine erste Zwischenbilanz.

Leithäuser fasst zusammen: »In den ersten eineinhalb Jahren beschäftigten wir uns am ITWM intensiv mit der Vermarktung am Day-Ahead-Markt. Zu diesem Zweck wurde die Möglichkeit des flexiblen Verbrauchs als multi-kriterielles Optimierungsproblem modelliert. Mit Hilfe von mathematischen Prognosen wurden dann optimale Lastfahrpläne für den kommenden Tag berechnet. Hier konnten wir zeigen, dass Flexibilität wirtschaftlich sehr rentabel ist.«

FlexEuro läuft noch bis August 2022. Am Ende sollen konkrete Handlungsempfehlungen für die Praxis stehen. Der Plan ist dann anschließend, die entwickelten Modelle und Methoden als Software-Prototypen in die Anwendung beim Projektpartner zu bringen.

## Kontakt

Dr. Neele Leithäuser  
Stv. Abteilungsleiterin »Optimierung – Operations Research«  
Telefon +49 631 31600-4621  
neele.leithaeuser@itwm.fraunhofer.de



Mehr Informationen auf der Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/flexeuro](http://www.itwm.fraunhofer.de/flexeuro)

# Industrie 5G – nicht nur Zukunftsmusik durch Expertise aus der Mathematik



*Dr. Paulo Renato da Costa Mendes bringt in seinem Team 5G und Industrie 4.0 näher zusammen; besonders, wenn es um das Thema Flexibilität und erneuerbare Energien geht.*

Schlagworte wie Internet der Dinge (IoT) oder Industrie 4.0 sind in den Medien allgegenwärtig. Klar scheint, zukünftig werden immer mehr Maschinen, Anlagen und Geräte miteinander vernetzt – besonders in der Produktion. 5G ist ebenfalls in aller Munde und gilt als Nachfolger von 4G (LTE). Dabei ist die fünfte Generation wesentlich mehr als nur ein neuer Mobilfunkstandard. Denn 5G bahnt der Industrie 4.0 ganz neue Perspektiven, weil es genau auf die Kommunikation zwischen Maschinen abzielt. Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte Projekt »5Gain« bildet einen Kern der ITWM-Aktivitäten zum Thema 5G.

Dabei geht es im Team um Dr. Paulo Renato da Costa Mendes und Dr. Christian Salzig um sehr praktische Problemstellungen und Industrie 4.0 im Bereich Energie, genauer um »5G Infrastrukturen für zellulare Energiesysteme unter Nutzung Künstlicher Intelligenz«. Im Interview erklärt uns Paulo Renato da Costa Mendes, was die 5G-Entwicklungen bedeuten:

**5G gilt als Zukunftstechnologie par excellence. Siemens oder das Handelsblatt sprechen schon von »Industrial**

**5G«. Welche Vorteile bringt 5G im Bereich Industrie 4.0? Und wann ist das überhaupt absehbar?**

5G gilt als zehn bis 20 Mal schneller als 4G, dazu flexibler, autonomer, sicherer und effizienter. Es ermöglicht höhere Datenübertragungsraten und kürzere Latenzen. Je nach Anwendung sind die Vorteile nicht in vollem Umfang gleichzeitig in ein und demselben Netzwerk nutzbar. Der Consumer-Bereich benötigt da vielleicht eher hohe Datenraten, um unterwegs z. B. Videos zu streamen.

Bei industriellen Anwendungen sind Zuverlässigkeit und niedrigste Latenzzeiten wichtig. Besonders dort, wo der industrielle Automatisierungsgrad bereits hoch ist, bietet 5G schnelle Chancen Industrie 4.0 zu Industrial 5G werden zu lassen. 5G ist zwar noch weitestgehend Zukunftsmusik. Wir sprechen aber hier von einer relativ nahen Zukunft. In drei bis fünf Jahren ist einiges auch real umsetzbar.

### Wie kann die Mathematik, bzw. wir beim Fraunhofer ITWM, da in der Praxis unterstützen? Welche Herausforderungen stellen sich im Projekt und welche Expertise bringen wir ein?

Besonders unsere jahrelangen Erfahrungen und die methodischen Kompetenzen im Bereich des Maschinellen Lernens qualifizieren uns. Wir entwickeln KI-Algorithmen für die unterschiedlichsten Bereiche. Das ebnet den Weg, das Potenzial für 5G optimal auszuschöpfen. Im Projekt »5Gain« hilft das gepaart mit unserer Projekterfahrung in der Überwachung und Regelung von Energienetzen. KI-Verfahren für die verteilte Regelung zellulärer Energiesysteme sind ebenso gefragt wie Prognosemodelle. Diese sollen Kommunikationsanforderungen bedarfsabhängig vorhersagen. Der Lösungsweg ist Mathematik mit dem Ziel eine intelligente Netzregelung zu entwickeln.

Genauer kann man das auch so erklären: Durch den dezentralen Ausbau erneuerbarer Energiequellen mit steuerbaren Lasten und Speichern (z.B. Elektromobilität) wird die Regelung von Energiesystemen immer komplexer. Der meiste Strom aus erneuerbaren Energien ist wetterabhängig. Er wird unabhängig von der Nachfrage produziert, und zwar dann,

wenn der Wind weht oder die Sonne scheint. Es muss flexibler gedacht werden. Gleichzeitig soll das Stromnetz möglichst wenig weiter ausgebaut werden. Unser Lösungsansatz: die Einteilung des Energienetzes in regionale Zellen. Jede Zelle besitzt unterschiedliche Teilnehmende und Eigenschaften und führt dezentral Last-, Einspeisemanagement und Vermarktung durch. Wir entwickeln adaptive Verfahren (z. B. Reinforcement Learning), die die Regelung solcher individuell vorliegenden Energienetze erlernen.

### Das heißt, es werden KI und Machine Learning eingesetzt. Und was hat das am Ende mit 5G zu tun?

Die Regelung erfordert eine Kommunikationsinfrastruktur, die die benötigten Datenraten, Antwortzeiten und Ressourcen für unterschiedlich viele Teilnehmende bereitstellt und zwar zu jeder Situation, flexibel und schnell. All das schlummert in den Vorteilen von 5G. Wir arbeiten an der Weiterentwicklung verschiedener Systemkomponenten und erproben diese mit unseren Partnern, auch in realer Umgebung. So zum Beispiel im Reallabor der Stadt Dortmund sowie mit Partnern von der Verbrauchenseite oder Energieerzeugenden.

Spannend sind aber natürlich auch andere Bereiche, in denen 5G ganz neue Chancen schafft. Ein weiteres Anwendungsbeispiel in naher Zukunft kann da die Fernwartung von Anlagen über 5G-Netze sein, so dass 5G zukünftig auch in unserem Anwendungsfeld Predictive Maintenance eine wesentliche Rolle spielen wird. Da bieten sich in Zukunft sicher noch weitere spannende Projekte zum Forschen und Entwickeln.

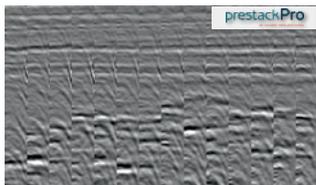
 **Mehr Informationen auf unserer Webseite unter [www.itwm.fraunhofer.de/5gain](http://www.itwm.fraunhofer.de/5gain)**

#### Kontakt

Dr. Paulo Renato da Costa Mendes  
Abteilung »Systemanalyse, Prognose und Regelung«  
Telefon +49 631 31600-4034  
[paulo.mendes@itwm.fraunhofer.de](mailto:paulo.mendes@itwm.fraunhofer.de)



# Deep Learning beschleunigt seismische Datenverarbeitung



*Seismische Gather nach Prestack Tiefenmigration. Gekrümmte Einsätze (oberes Bild) stammen von multiplen Reflexionen und werden von der ML-Software als solche erkannt und eliminiert (unteres Bild).*

Die Energieversorgung der Industrienationen basiert zunehmend auf einem Mix unterschiedlicher Quellen; trotz ihrer Verschiedenheit eint sie ein wichtiges Merkmal: die Beschaffenheit des Erduntergrundes. Egal, ob es um das Auffinden von Öl- und Gasfeldern geht, um die Standortplanung von Offshore-Windanlagen oder das Identifizieren geeigneter Gebiete für Geothermie: Seismische Datensätze werden gemessen, bearbeitet und interpretiert, um die Geologie des Untergrundes zu erkennen. Wie Deep-Learning-Methoden dabei unterstützen können, untersucht ein Forschungsprojekt der Abteilung »High Performance Computing«.

In vielen Anwendungsbereichen hat Deep Learning (DL) seinen Nutzen bewiesen; für seismische Daten hingegen gestaltet sich die Anwendung schwieriger, da die Daten vom unbekanntem und unzugänglichen Erduntergrund stammen. Gesucht werden DL-Methoden, welche die seismische Interpretation beschleunigen; die meisten gängigen Methoden sind zu kompliziert aufgrund vieler Parameter. Der Arbeitsgruppe um Dr. Norman Ettrich ist nun ein wichtiger Schritt gelungen: Sie entwickelte Machine-Learning-Methoden (ML-Methoden), die ohne Parameter auskommen. Auch die Subjektivität menschlicher Dateninterpretation entfällt.

»Wir trainieren ausschließlich auf synthetischen Daten und übertragen das Gelernte auf beliebige Felddatensätze«, so Projektleiter Dr. Norman Ettrich. »Dies gelingt, da unsere Datenmodellierung die Eigenschaften und Vielfalt real gemessener Daten sehr gut abbildet. Eingesetzt werden unsere Methoden im Processing; vereinfacht ausgedrückt: der Input sind Daten mit Störsignalen, der Output bereinigte Daten. Also solche ohne Störsignale, was die Interpretation sehr erleichtert.«

## Enorme Verkürzung der Rechenzeit

Die neu entwickelten Methoden vereinfachen die seismische Arbeitskette, vor allem verkürzen sie die erforderliche Arbeitszeit um Tage und sogar Wochen – jeweils abhängig von der Datenmenge. Und die kann riesig sein, denn betrachtet werden Gebiete von 1000 bis 10000 Quadratkilometern!

Die neuen ML-Methoden wurden in der ebenfalls in der Abteilung »High Performance Computing« entwickelten Software ALOMA eingebunden. Damit ist prototypisch ein Softwarepaket zum parallelen ML-gestützten Processing seismischer Daten entstanden.

## Kontakt

Dr. Norman Ettrich  
Stv. Abteilungsleiter »High Performance Computing«  
Telefon +49 631 31600-4626  
norman.ettrich@itwm.fraunhofer.de



## Training durch Supervised Learning

Grundlage ist das Trainieren tiefer Neuronaler Netze. Das ist nicht unüblich, aber bisher werden die Netze nur auf einem Teil der Daten trainiert und die Lernschritte peu à peu auf den gesamten Datensatz übertragen. Wie ein Katze ausieht, lernt ein Neuronales Netz schnell, weil man es mit Fotos von Katzen trainieren kann. Ganz anders bei seismischen Daten: hier gibt es kein klares Zielbild. Darum wird mit synthetischen Daten trainiert, die die große Variantenvielfalt realer Daten widerspiegeln.



Weiterführende Informationen gibt es auf unserer Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/seismik](http://www.itwm.fraunhofer.de/seismik)

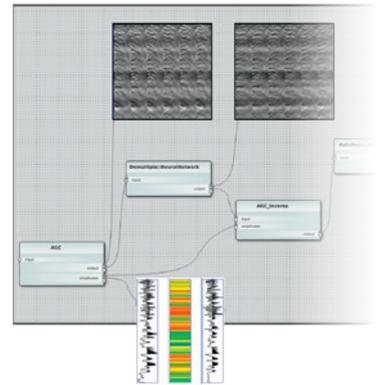


# ALOMA: Ein Parallelisierungsframework – nicht nur für seismische Anwendungen

Komplexe Rechenoperationen auf wachsenden Datenmengen korrekt auszuführen, ist eine der Herausforderungen von Big Data. Gemeistert werden kann sie nur mit der massiven Parallelisierung von Rechnern beziehungsweise Rechenleistung.

Die Forschenden der Abteilung »High Performance Computing« nutzen bereits seit Jahren GPI-Space als Programmier-Plattform für Hochleistungssysteme. Das Besondere ist die Userfreundlichkeit: Kundinnen und Kunden müssen sich kein spezielles HPC-Wissen aneignen, denn das Softwaresystem übernimmt die effiziente Ausführung der Algorithmen. Das gilt auch für die spezialisierte Version ALOMA.

mit den Eingängen weiterer Module verbinden. Informationen über die einzelnen Module werden bei deren Einbindung in ALOMA angegeben. Diese Informationen beinhalten die Anzahl und Typen der Ein- und Ausgabedaten des Moduls sowie deren Granularität. Dies sind für die Seismik spezifische Werte (z. B. »Seismische Daten« oder »Geschwindigkeitsmodell«) sowie die Granularitäten »Trace«, »Gather« oder »Inline«.



Ausschnitt eines exemplarischen Workflows mit ALOMA

## ALOMA erkennt Datenabhängigkeiten

Eingesetzt wird das Tool meist in der Seismik. Konzipiert ist es aber als generelles Framework für die Ausführung von Workflows auf verteilten Systemen, denn ALOMA erkennt Abhängigkeiten in den Datensätzen, die als Input geliefert werden – unabhängig von der Datenquelle und beantwortet folgende Fragen: Wie werden die Daten verteilt? Welche können gleichzeitig und unabhängig voneinander bearbeitet werden? Wo können sie bearbeitet werden?

»Um Abhängigkeiten zu erkennen und diese Fragen zu beantworten, muss ALOMA entsprechende Informationen über die einzelnen Module und deren Kombination im Workflow zur Verfügung haben oder generieren. Für diesen Workflow verwenden wir eine Darstellung als Petri-Netz, welche die interne Workflow-Engine entsprechend analysieren kann«, erläutert Projektleiter Dr. Dirk Merten. Die Nutzenden müssen dazu nur in einem graphischen Workflow-Editor Ausgänge von algorithmischen Modulen

## Klassische Algorithmen und ML

Neben den für die Seismik typischen Granularitäten unterstützt ALOMA auch Datenaufteilungen aus der Mustererkennung und dem Maschinellen Lernen. Damit können ebenso Module eingebunden werden, die aus dem Deep Learning hervorgegangen sind. In einem exemplarischen Workflow kann ein Volumen von Eingangsdaten mehrfach korrigiert, zu einem Volumen gestapelt und auf Fehlermuster analysiert werden. Verarbeitungs- und Analysemodule für klassische Algorithmen und neuronale Netzinferenz werden einfach in einem Arbeitsablauf kombiniert. Die Parallelisierung aller Module innerhalb des Workflows übernimmt ALOMA automatisch.

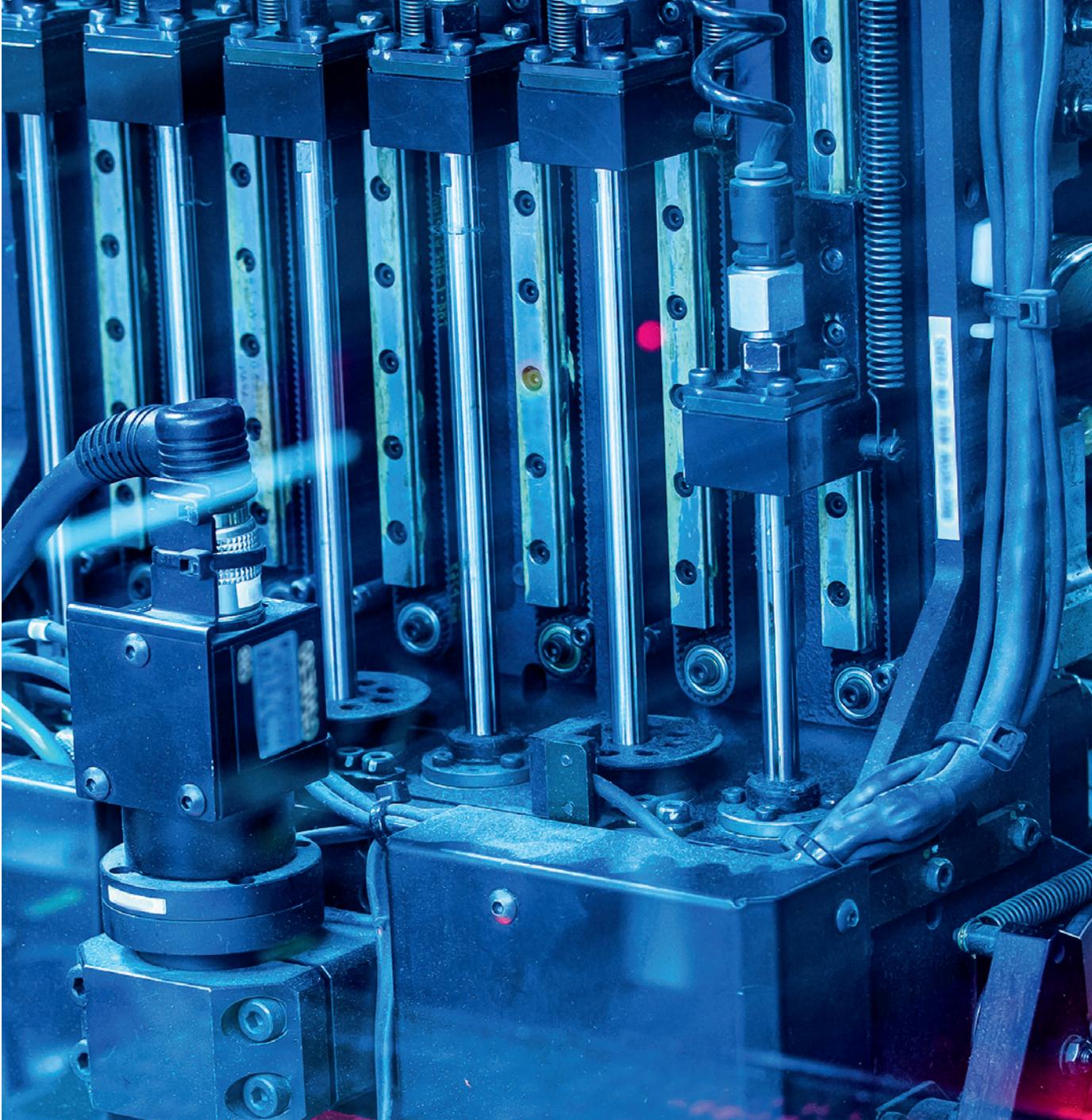
Dank ALOMA können Seismik-Expertinnen und -Experten neue klassische oder auf Machine Learning basierende Algorithmen und Prototypen innerhalb kürzester Zeit einbinden, mit vorhandenen Algorithmen in Workflows kombinieren und parallelisiert auf realistischen Datenmengen und unter Alltagsbedingungen testen.

## Kontakt

Dr. Dirk Merten  
Abteilung »High Performance Computing«  
Telefon +49 631 31600-4616  
dirk.merten@itwm.fraunhofer.de



Weiterführende Informationen gibt es auf unserer Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/aloma](http://www.itwm.fraunhofer.de/aloma)



# Anlagen- und Maschinenbau

---

Weltweit und am Standort Deutschland stehen Anlagen- und Maschinenbau vor einer großen Bewährungsprobe: neben Lösungen für CO<sub>2</sub>-neutrale und digitale Technologien müssen auch resiliente Wertschöpfungsstrukturen entwickelt und eingesetzt werden. Wir stellen uns diesen Herausforderungen und bringen unsere technologische Kompetenz ein, zum Beispiel durch die Simulation von Anlagen oder die Erstellung digitaler Zwillinge.



# MESHFREE – Prozesssimulation auf den Punkt gebracht

Wie verhält sich Wasser, wenn ein Auto durch eine Pfütze fährt? Wie effizient ist eine Wasserstrahlmaschine? Was passiert beim Zerspanen oder beim Befüllen eines Bierglases? All das sind komplexe Fragen, auf die es eine innovative ITWM-Antwort im Bereich der Simulationen gibt: MESHFREE.

Das interdisziplinäre Team um Dr. Jörg Kuhnert und Dr. Isabel Michel ist inzwischen siebenköpfig und entwickelt die gitterfreie Simulation als Schlüssellösung für die unterschiedlichsten Anwendungsfelder. Ihre MESHFREE-Software vereint dabei über 15 Jahre Expertise der Fraunhofer-Institute ITWM und SCAI.

## Dynamische Prozesse simulieren

»Lange wurde über jede Geometrie im Simulationsprozess zunächst ein Rechengitter gelegt. Das ist und war meist teuer, langwierig und auch für viele Prozesse im Ergebnis nicht optimal«, so Kuhnert. »Unsere Simulationsmethode macht solche Rechengitter überflüssig. Stattdessen nutzen wir Ansätze der Finite-Pointset-Methode (FPM). Dabei kommen Punktwolken zum Einsatz, in denen jeder Punkt freipositionierbar ist«. Das bietet entscheidende Vorteile gegenüber den klassischen Methoden und das haben inzwischen auch immer mehr Kooperationspartner auf dem Schirm.

»Im Automobilbereich unterstützen wir schon seit einiger Zeit mit Simulationen. MESHFREE macht Prozesse digital verständlicher«, erklärt Michel. Die Angabe der Materialeigenschaften reicht aus, um das Verhalten mit MESHFREE vorherzusagen. Der Benutzende exportiert die Geometrie aus gängigen CAD-Tools. »Beim

Weiterentwickeln unserer Methodik arbeiten wir Hand in Hand mit der Industrie. Beispiele sind Mehrphasensimulationen oder 3D-2D-Übergänge. Genauso erforschen wir die Interaktion von Fluiden und Festkörpern. Damit wachsen die Anforderungen an Simulationen: MESHFREE wird immer effizienter und genauer, gleichzeitig möchten wir die Bedienung einfacher gestalten. Auch kleinere Unternehmen sollen von der Lösung profitieren.«

## Neuer Auftrieb für Turbinen

Eines dieser Praxisbeispiele sind Wasserkraftturbinen, genauer Pelton-Turbinen. »In einem Projekt, das wir u. a. mit Voith Hydro umsetzen, greifen unterschiedliche Modellansätze ineinander«, berichtet Kuhnert. »Wir untersuchen die Wasserströmung im Zusammenspiel mit der Luft sowie das Verhalten der Komplettrichtung. Auch der Verschleiß, die sogenannte Abrasion, wird von MESHFREE abgebildet.«

Das Beispiel Abrasion verdeutlicht, wie wichtig Simulationen sind, weil sie vor allem zeit- und kostensparend sein können, betont Kuhnert. »Die Oberfläche eines Turbinenlaufrades wird mit der Zeit durch Sand oder Steinchen beschädigt, die im Wasser enthalten sind. Das führt zu Veränderungen der Strömung und die Turbine wird schwächer. Das Laufrad muss irgendwann ausgetauscht werden«, so der Teamleiter. Kommt es zur Modernisierung, unterstütze das Team beim Optimieren der Anlage. »Die Simulation ist ein großartiges Werkzeug zur Vorhersage der Strömung, der Bildung von Wasserschichten und der Materialabnutzung – bei der Anlagenkonzeption sogar lange bevor ein Prototyp gebaut wird.«



Die Simulation mit MESHFREE zeigt das Strömungsverhalten und die Abrasion (Verschleiß) in einer Pelton-Turbine.

## Kontakt

Dr. Isabel Michel  
Abteilung »Transportvorgänge«  
Telefon +49 631 31600-4667  
isabel.michel@itwm.fraunhofer.de



Weitere Infos auf der englischen Projektseite [www.meshfree.eu](http://www.meshfree.eu)

# Smart überwachen, automatisiert vorausschauen

»Condition Monitoring«, permanente Überwachung des Maschinenzustands, und »Predictive Maintenance«, Machine-Learning-basierte Vorhersage auf Datenbasis – in diesen Schwerpunkten hat sich das Team um Dr. Benjamin Adrian Expertise aufgebaut. Dabei liefern Mathematik und KI maßgeschneiderte Lösungen. Ein Praxisbeispiel ist die Zusammenarbeit mit der Berger Holding (Memmingen Allgäu), bei der sich alles um Kugelgewindetriebe (KGT) dreht.

Predictive Maintenance ist die optimale Instandhaltungsstrategie.

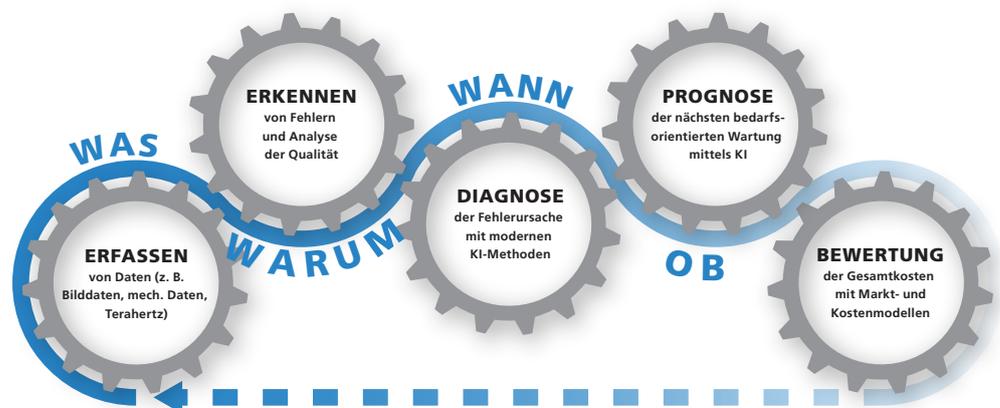
Ein KGT wird z.B. in Werkzeugmaschinen verbaut, kommt in der Automobilindustrie, der Messtechnik, Medizin oder in Luft- und Raumfahrt zum Einsatz. Dabei wirken große Kräfte auf das Bauteil ein und die Lebensdauer hängt mit der Belastung der Kugeln zusammen. Warten und Ausfälle vermeiden, sind Ziele in der Produktion – am besten automatisiert und smart.

nose und Regelung«. Dieses Profil dient als Referenz. Betreibende des KGT können dann Vergleichsmessungen durchführen bzw. automatisch durchführen lassen und beobachten, wie sich das Profil verändert hat. Diese Daten beantworten Fragen wie: Ist der KGT korrekt eingebaut? Wie verändert sich der Zustand? Wann muss der KGT gewechselt werden?

Im Projekt heißt das für das Team schrittweise vorgehen: »Anhand von Sensordaten und deren komplexer Analyse berechnen wir das Profil, quasi den Fingerabdruck jedes KGT im neuwertigem Zustand«, erklärt Adrian, Projektleiter in der Abteilung »Systemanalyse, Prog-

**Ziel: Ein Kugelgewindetrieb, der sich selbst kontrolliert**

»Wir schauen nicht nur auf Daten selbst, sondern prüfen, wo sie herkommen. Wir wollen genau verstehen, was die Daten uns sagen und



Condition Monitoring und Predictive Maintenance: Daten erfassen, analysieren, vorhersagen und bewerten aus einer Hand.

»Wir werden durch die Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ITWM unsere Qualitätskontrolle verbessern und unseren Kundinnen und Kunden Ausschuss sowie ungeplante Maschinenstillstände ersparen können.«

**Dr. Martin Körner**

Entwicklungsingenieur bei der Berger Holding



©Berger Holding GmbH & Co. KG

wie sie entstehen. Auch mit unserer Erfahrung rund um Sensorik.« Auf Basis dessen wird der Prüfstand erweitert, Messtechnik ausgebaut und ein Konzept zum Überwachen entwickelt (Condition Monitor). Im Falle von Berger heißt das inzwischen: eine eigene Software.

Berger treibt diese Weiterentwicklung der KGTs im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekts »Pay-per-Stress« voran. Das Ziel ist die Einführung eines neuen Leasingmodells für Maschinen und Anlagen, dessen Raten sich nicht nur nach der Nutzungsdauer, sondern auch nach dem tatsächlichen Verschleiß berechnet. Dafür bedarf es für jede kritische Maschinenkomponente, wie zum Beispiel den KGT, ein zuverlässiges Verschleißmodell. So wird die Transparenz der Kosten erhöht und

*Projektbeispiel Berger: Digitalisierung eines Kugelgewindetriebes (KGT). Ein KGT übersetzt Rotations- in Translationsbewegung und umgekehrt.*

Risikoaufschläge in der Leasingrate verringert. Damit ist das Konzept ebenso für kleinere und mittlere Unternehmen mit beschränkten finanziellen Mitteln attraktiv. Der Endanwendende erkennt zudem Fehlmontagen oder wo Probleme behoben werden müssen und kann vorausschauend sehen, wann er ein Teil erneuern oder austauschen muss (Predictive Maintenance). Das große Ziel von Berger ist ein Kugelgewindetrieb, der seinen Verschleiß selbst überwacht.

## Kontakt

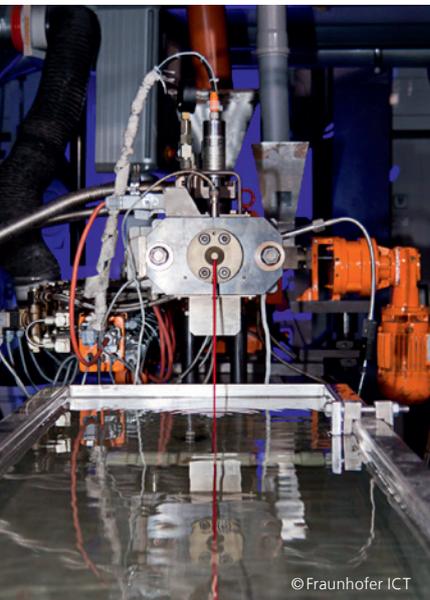
Dr. Benjamin Adrian  
Abteilung »Systemanalyse, Prognose und Regelung«  
Telefon +49 631 31600-4943  
[benjamin.adrian@itwm.fraunhofer.de](mailto:benjamin.adrian@itwm.fraunhofer.de)



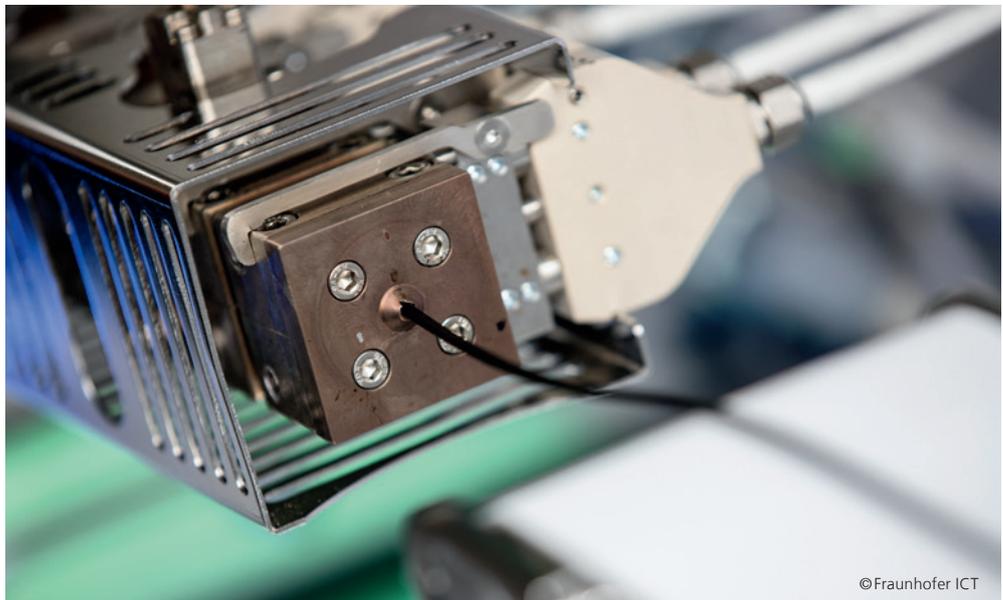
Weitere Informationen auf unserer Webseite unter [www.itwm.fraunhofer.de/predictive-maintenance](http://www.itwm.fraunhofer.de/predictive-maintenance)

# Hybrides Rückwärtsrechnen für die Kunststoffindustrie

Im Fraunhofer-internen Projekt HyTwin entwickelt das ITWM-Team um Dr. Alex Sarishvili gemeinsam mit Forschenden des Fraunhofer-Instituts für Chemische Technologie ICT einen hybriden digitalen Zwilling. Dieser unterstützt mit Methoden des Machine Learning (ML) Unternehmen bei der Optimierung und Regelung ihrer Kunststoffverarbeitung, genauer ihrer Extrusionsprozesse.



©Fraunhofer ICT



©Fraunhofer ICT

*Im Labor des Fraunhofer ICT wird ein an reale Produktionsprozesse angelehnter und mit umfangreicher Messtechnik ausgestatteter Versuchsaufbau erstellt.*

Extruder, Additive, Doppelschnecke, Düse – das sind alles Fachbegriffe aus der Welt der Kunststoffverarbeitung, dabei gibt es natürlich viele komplexe Varianten der Produktion. Der Prozess der Extrusion ist aber allen gemein. Hier wird Kunststoff als zähe Masse unter hohem Druck und hoher Temperatur durch eine formgebende Öffnung gepresst. Am Ende erhält das Unternehmen als Produkt zum Beispiel Wärmedämmplatten oder Plastikgranulat für die Weiterverarbeitung zu PET-Flaschen oder zu Rohren aus Kunststoff. »Die Extrusion ist ein physikalisch-chemisch hoch komplexer Prozess, bei dem hunderte Parameter eine Rolle spielen und der

dementsprechend schwer zu modellieren und optimieren ist«, erklärt Sarishvili. Fast alle zum Produkt weiterverarbeiteten Kunststoffe durchlaufen einen solchen Schritt in der Prozesskette.

Diese zu optimieren bedeutet in der Kunststoffindustrie nach wie vor oft mit Hilfe von »Try and Error« zu testen, wie durch Variation von Einzelparametern die Qualität eines Produkts verbessert und optimiert werden kann. Notwendige Materialkennwerte werden für jede Materialmischung des realen Prozesses neu bestimmt und getestet. Das ist aufwändig und kostenintensiv.



*Dem Fraunhofer ICT steht ein modern ausgestattetes Technikum mit Doppelschneckenextrudern von 16–43 mm sowie vielseitigen Dosiermöglichkeiten zur Verfügung.*

### Smart modelliert und rückwärts gerechnet

Computersimulationen bzw. digitale Zwillinge bieten die Möglichkeit, nahezu den gesamten Extrusionsprozess simulationsgestützt zu optimieren. Das Projekt-Team setzt dabei auf einen hybriden Ansatz: Sie entwickeln einen sowohl datenbasierten als auch modellbasierten digitalen Zwilling, der unter Einsatz von KI prognostiziert und optimiert. Im besten Falle denkt dabei der digitale Zwilling das Ende zuerst und rechnet rückwärts: Welche Produkteigenschaften bzw. Qualität möchte ich und was muss ich dafür an Parametern einstellen? Machine-Learning-Verfahren brauchen, wenn sie gut funktionieren sollen, massenweise Daten. Zu Beginn entstanden im Projekt deshalb zunächst reale Versuchsdaten im Fraunhofer ICT. Sie werden auf ein physikalisch-chemisches Prozessmodell adaptiert und damit eine Datenwolke aus Mess- und Simulationsdaten generiert. Daraus lernt dann die KI.

Die Expertise der Forschenden am Fraunhofer ITWM liegt besonders in der mathematischen

Modellbildung und Simulation technischer Prozesse. »Seit vielen Jahren werden auch Verfahren des (tiefen) Maschinellen Lernens (Deep Learning) bei uns entwickelt. Wir sind zuständig für smarte Algorithmen« so Sarishvili. Dabei ist z. B. das Software-Tool Design zur Qualitätsprognose entstanden, das wesentliche Funktionen zur Erstellung einfacher datenbasierter Modelle z. B. für Extrusionsprozesse zur Verfügung stellt. Im Ergebnis soll der digitale Zwilling dann u.a. höhere Produktionsgeschwindigkeiten, mehr Flexibilität und höhere Produktqualität bei möglichst geringen Kosten realisierbar machen. Und nicht nur das, am Ende des Projektes steht das Ziel einer gut bedienbaren Software-Plattform, die auch bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zum Einsatz kommt.

Außerdem gibt es schon nächste Vorhaben des Teams: Das Projekt ENERDIG, gefördert vom Land Rheinland-Pfalz mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), läuft gerade an. Hier steht das Ermitteln und das Optimieren der energetischen Flexibilität von Extrusionsprozessen im Fokus.

### Kontakt

Dr. Alex Sarishvili  
Abteilung »Systemanalyse, Prognose und Regelung«  
Telefon +49 631 31600-4683  
[alex.sarishvili@itwm.fraunhofer.de](mailto:alex.sarishvili@itwm.fraunhofer.de)



**Mehr Informationen zur Prozessanalyse mittels Machine-Learning unter [www.itwm.fraunhofer.de/prozessanalyse-extrusion](http://www.itwm.fraunhofer.de/prozessanalyse-extrusion)**

# EMMA lernt fahren – Dynamisches Menschmodell für autonome Fahrzeuge

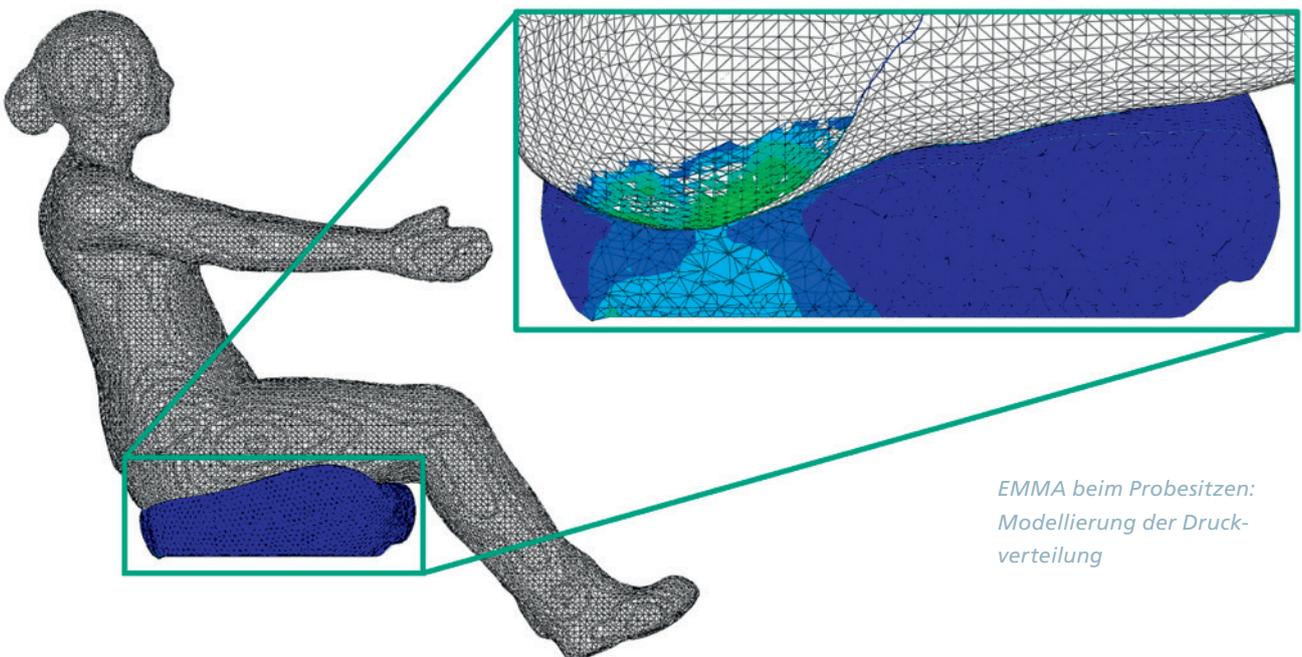
**5** Disziplinen in EMMA4Drive vereint: Mechatronik, Ergonomie, Psychologie, Fahrzeugtechnik und Technomathematik

Um die Erwartungen von Kundinnen und Kunden autonomer Fahrzeuge zu verstehen, ihr Vertrauen zu stärken und die Sicherheit nachzuweisen, werden neue digitale Werkzeuge für Forschung, Entwicklung und Validierung der Technologie benötigt. Mit dem Projekt EMMA4Drive entwickeln Forschende im Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung« das dynamische Menschmodell EMMA-CC weiter für den Einsatz in voll- oder teilautonom fahrenden Fahrzeugen.

EMMA-CC steht für »Ergo-dynamic Moving Manikin with Cognitive Control« und ist eine alte Bekannte: In dem gleichnamigen MAVO-Projekt hatten sechs Fraunhofer-Institute an der digitalen Menschmodellierung für die simulationsgestützte ergonomische Auslegung von Arbeitsplätzen zusammengearbeitet. Die Weiterentwicklung EMMA4Drive nimmt nun quasi im Auto Platz und simuliert dynamisch die Wechselwirkungen von menschlichen Körperteilen und dem Fahrzeugsitz bei Fahrmanövern. Der daraus entstehende Software-Prototyp wird als digitales Abbild der Insassen dabei helfen, neue Sitzkonzepte im Fahrgastraum in Bezug auf Sicherheit und Ergonomie bei Fahrmanövern zu analysieren und zu bewerten.

## Bewegungsabläufe anstelle quasi-statischer Tests

Bisher werden Menschmodelle meist in Crash-Simulationen zur Abschätzung des Verletzungsrisikos verwendet. Allerdings kommen hier detaillierte, rechenzeitintensive Modelle für Berechnungen im Millisekunden-Bereich zum Einsatz, die für die Simulation dynamischer Fahrmanöver nicht geeignet sind, da hier längere Vorgänge simuliert werden müssen. Ein weiteres Einsatzgebiet für digitale Menschmodelle sind Ergonomieanalysen in der Montageplanung. Die hierfür eingesetzten Modelle bilden oft nur Haltungen des menschlichen Körpers oder quasistatische Bewegungssequenzen mittels einer stark verein-



EMMA beim Probesitzen: Modellierung der Druckverteilung



fachten Mehrkörper-Kinematik ab. Dynamische Effekte berücksichtigen solche Modelle nicht und die Analyse physischer Belastungen ist kaum möglich, da reine Kinematik-Modelle wenig Informationen über Biomechanik liefern können.

### Besser sitzen, bequemer bedienen

»Unser Menschmodell berechnet hingegen mit einem Optimierungsalgorithmus automatisch neue Körperhaltungen und ganze Bewegungsabläufe über ein längeres Zeitfenster mit den dazugehörigen Muskelaktivitäten«, erklärt Projektleiter Dr. Marius Obentheuer. »Damit können im Simulationsmodell auch die Wirkung dynamischer Fahrmanöver auf den Menschen und dessen (Reaktions-)Verhalten untersucht werden – z. B. bei der Auslegung von Assistenzsystemen oder Steuerungsalgorithmen beim (teil)autonomen Fahren.« EMMA4Drive ermöglicht somit eine vergleichsweise einfache Umsetzung neuer Bewegungsmuster und eine effiziente virtuelle Untersuchung von Sicherheit, Komfort und Ergonomie beim (teil-)autonomen Fahren.

### EMMA auf RODOS®

Und bevor EMMA auf die Straße darf, muss sie natürlich ihre Fahrprüfung ablegen – virtuell in unserem interaktiven Fahrsimulator RODOS® (RObot based Driving and Operation Simulator). Dort nimmt aber zunächst ein realer Mensch Platz, um physikalische Messdaten zu erheben und Input für die Simulationssoftware zu liefern. Untersucht wird die Wechselwirkung zwischen Fahrendem und Sitz, beispielsweise die Druckverteilung. Diese Daten sollen helfen, grundlegende Fragestellungen des autonomen oder

teilautonomen Fahrens besser zu beantworten: Wie schnell soll man die gekippte Rückenlehne eines Sitzes mit der integrierten Elektromotorik wieder hochstellen? Oder den gedrehten Sitz in seine Ausgangsposition zurückbringen? Wie lange dauert es, bis der Mensch wieder das Steuer ergreifen kann, wenn das Fahrzeug im teilautonomen Betrieb signalisiert: »Gefahr von rechts, bitte übernehmen!«?

Der Fahrsimulator ist zentraler Bestandteil des Technikums im Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung« und erlaubt die Verwendung unterschiedlicher Serienkabinen und echter Pkw-Karosserien, die auf einen starken Roboterarm montiert werden. Derzeit arbeiten die Forschenden an einem kombinierten biomechanisch-mechatronischen Modell des gekoppelten Sitz-Systems, mit dem die im Projekt EMMA4Drive entwickelte Simulationssoftware parametrisiert und kalibriert werden kann.

### Weniger Hardware-Umbauten nötig

Damit kann man bestimmte Untersuchungen, die primär auf eine physische Beanspruchung der Insassen abzielen, zukünftig auch rein virtuell durchführen, ergänzend zu einzelnen RODOS®-Simulatorstudien in einer realen Fahrkabine. Beim Austesten neuer Konzepte oder vergleichenden Untersuchungen alternativer Varianten erspart dies zeitaufwändige Umbauten der Hardware. Für Studien, bei denen psychologische Aspekte des Fahrverhaltens im Vordergrund stehen, bleibt die Simulation mit RODOS® in einer realitätsnahen Kabinenumgebung jedoch unverzichtbar, da nur damit ein perfektes Eintauchen des Menschen in die Fahrsituation erreicht wird.

*Testfahrten für das Emma4-Drive-Projekt im RODOS®: Marker und Body-Sensoren ermöglichen die Validierung der Modelle.*

### Kontakt

Dr.-Ing. Marius Obentheuer  
Abteilung »Mathematik für die digitale Fabrik«  
Telefon +49 631 31600-4766  
marius.obentheuer@itwm.fraunhofer.de



Weitere Informationen gibt es in der Pressemeldung unter [www.itwm.fraunhofer.de/emma4drive-pm](http://www.itwm.fraunhofer.de/emma4drive-pm)

# Virtuell sieht man besser: Neue Wege in der Bildverarbeitung

Was macht ein gutes Inspektionssystem für den industriellen Produktionsprozess aus? In erster Linie Beleuchtungs- und Kamera-Aufbau; denn je nachdem, wie der Lichtstrahl auf eine Oberfläche fällt, treten Defekte wie Dellen oder Kratzer deutlicher zutage. Natürlich spielen auch die Eigenschaften des Materials, das geprüft werden soll, eine Rolle. Kunststoff hat ein anderes optisches Verhalten als Metall.



*Hier ist gut zu sehen, dass bestimmte Bereiche im Bild übersteuert sind. Eine sichere Fehlerdetektion ist dort nicht möglich.*

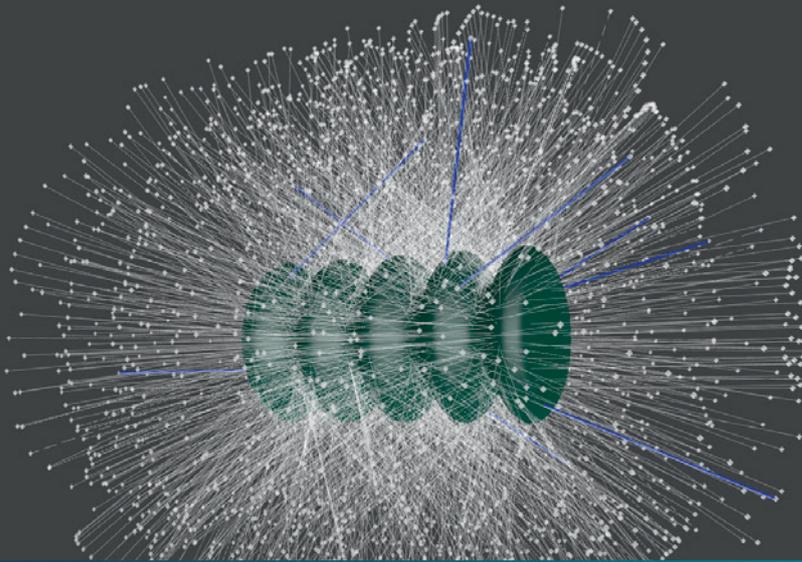
Solange die Geometrie der Prüfstücke einfach ist – wie beispielsweise bei Gummidichtungen, Tabletten oder Metallplatten – kann das Setup in wenigen Schritten angepasst werden. Bei komplexen Geometrien sieht es ganz anders aus: Nimmt man z. B. eine handelsübliche bauchige Thermoskanne aus Aluminium mit einem Handgriff aus Kunststoff, so ist es fast unmöglich, eine Maschine zur vollautomatischen Inspektion zu entwickeln. Verwendet man einen Roboter, um den Winkel zwischen Oberfläche und Beleuchtung präzise einzuhalten, scheitert dies spätestens am Handgriff. Hinzu kommt, dass Aluminium und Kunststoff ein unterschiedliches Reflexionsverhalten an den Tag legen. Der Winkel von Beleuchtung und Kamera muss darum während des Prüfens geändert werden.

## **Bildverarbeitung, Computergrafik, Robotik: Gemeinsam zum Ziel**

Was also tun? Eine Lösung wäre, die gesamte Inspektion im Rechner zu konstruieren und physikalisch zu simulieren – also eine virtuelle Bildverarbeitung. Daran wird am Fachbereich Informatik der TU Kaiserslautern und am Fraunhofer ITWM interdisziplinär gearbeitet: Mittels vorhandener Computergrafikmethoden wie dem Raytracing, Materialmodellen, CAD und Kameramodellen erzeugt das Team synthetische Bilder und testet Bildverarbeitungsalgorithmen auf diesen. Zusätzlich implementiert es Verfahren zur Bestimmung der optimalen Positionen von Kamera und Beleuchtung.

Das erste Forschungsergebnis ist ein Algorithmus, der berechnet, welche Oberflächenbereiche überhaupt sicher geprüft werden können. Er nutzt dafür ein 3D-Modell des Prüflings und berücksichtigt Kamerapositionen und Beleuchtungswinkel. Dabei entstand auch ein Demonstrator, bestehend aus Roboter mit Kamera und Beleuchtung.

Ein ganzes Inspektionssystem zu simulieren und anschließend seine Effektivität zu modellieren, ist jedoch eine wesentlich komplexere Aufgabe. Darum fragten sich die Forschenden: Wie berechnet man optimale Kamera- bzw. Beleuchtungspositionen in Bezug zum Prüfstück? Und können sie auch teilweise beantworten – mit einem weiteren Algorithmus. Dieses Verfahren tastet anhand des 3D-Modells die gesamte Oberfläche ab und berechnet anhand der lokalen Krümmung, welche



Basierend auf der Geometrie des geprüften Objekts erstellt unsere Software eine Liste von Viewpoint-Kandidaten (weiß) und reduziert diese auf eine Reihe von Viewpoints, die benötigt werden, um die wichtigsten Bereiche (blau) abzudecken. Ein Blickwinkel markiert einen physikalischen Punkt im Raum, relativ zum Objekt, an dem die Kamera während der Inspektion positioniert werden muss.

»Neben der Computergrafik und Visualisierung brauchen wir auch Modellbildungen, die auf physikalischen Prinzipien basieren, für eine tragfähige Simulation. Mit dem Planungstool V-POI machen wir einen großen Schritt in diese Richtung.«

Prof. Hans Hagen

Fachbereich Informatik der TU Kaiserslautern

Oberflächenpunkte potenziell wichtig sind und somit im Blickfeld der Kamera sein müssen. Diese Positionen werden für die Bahnplanung des Roboters oder auch feste Kamerapositionen verwendet.

### Lernfähiges System: Viewpoint of Interest V-POI

Mit Bauteilgeometrie und Oberflächenbeschaffenheit kommt das vom Projektteam entwickelte Planungstool V-POI schon gut zurecht und hat auch gelernt, mögliche Problemstellen bei der Analyse zu erkennen. Damit das Inspektionssystem weiß, wie ein Gutteil aussehen soll, wird es zunächst mit den CAD-Daten eines Werkstückes »gefüttert«. Die Software ist so konzipiert, dass sie anhand des spezifischen Produkts

individuelle Scanpfade für die z. B. auf einem Drehteller platzierten Objekte berechnet.

### Ziel: Herstellerunabhängiges System

Forschungsziel ist eine Softwareinfrastruktur, welche die komplette Inspektionsumgebung simuliert, also sowohl die Eigenschaften des Prüfstücks als auch die Eigenschaften aller Hardwarekomponenten (Beleuchtung, Kamera, Optik etc.). Die Architektur der Software soll dabei so gestaltet werden, dass kommerzielle Anbieter von Sensoren, Beleuchtungen etc. ihre produktspezifischen Eigenschaften wie beispielsweise Kameraparameter einpflegen, ohne sensibles Knowhow preisgeben zu müssen. Das System wird also herstellerunabhängig sein.

### Kontakt

Dipl.-Inf. Markus Rauhut  
Abteilungsleiter »Bildverarbeitung«  
Telefon +49 631 31600-4595  
markus.rauhut@itwm.fraunhofer.de



Weitere Informationen unter [www.itwm.fraunhofer.de/virtuelle-bv](http://www.itwm.fraunhofer.de/virtuelle-bv)

# Aus RGB wird hyperspektral: Mehr sehen, als das Auge erlaubt

Die Überwachung einzelner Schritte und Parameter in der Produktion wird seit Jahren im Kontext von »Industrie 4.0« mit viel Energie vorangetrieben. Durch die Entwicklung neuer, effizienter Sensoren und Messsysteme werden Daten erhoben, ausgewertet und zur Optimierung der Produktion genutzt. Im Bereich optischer Sensorik ist die hyperspektrale Bildgebung ein wichtiger Baustein zur Erfassung von Informationen, die dem Auge zunächst verschlossen bleiben.

Mit hyperspektralen Bilddaten im Infrarot-Wellenlängenbereich kann man beispielweise Holzarten in der Produktion in Echtzeit erkennen, um so die korrekte Zusammensetzung und damit die Qualität der Erzeugnisse sicherzustellen. Eine wichtige Anwendung ist die Spanplattenherstellung.



*Hyperspektralkamera mit Beleuchtungseinheit: Die Kamera erfasst die Holzproben wie am Fließband – bis zu 300 Zeilenaufnahmen pro Sekunde.*

## Die Mischung macht's – auch bei Spanplatten

Die Zusammensetzung der verarbeiteten Holzspäne spielt eine entscheidende Rolle für die Festigkeit der Platten. Laubhölzer wie Buche und Eiche bilden dabei die Basis, sind aber auch teurer als weichere Nadelhölzer wie Kiefer und Fichte: Die richtige Mischung zwischen hartem Laub- und kostengünstigem Nadelholz entscheidet also über die effiziente Spanplattenherstellung.

Mit der hyperspektralen Bildgebung wird im Nahinfrarotbereich zwischen 1000 nm und 2500 nm Wellenlänge die spektrale Information der Holzsplitter auf dem Fließband über eine Zeilenaufnahme erfasst – mit bis zu 300 Messungen pro Sekunde! Diese Bilder enthalten die komplette spektrale Information an jedem Pixel. Aufgrund geringer, aber messbarer Unterschiede in der Antwort der verschiedenen Hölzer werden diese nach einem einmaligen Anlernprozess in Echtzeit den Holzarten zugeordnet. Das funktioniert, weil die Messdaten nach einer

Aufbereitung und Datenreduzierung einzelnen Klassen zugeteilt werden. Hierfür stehen verschiedene Klassifikatoren zur Verfügung, um flexibel auf spezifische Anwendungen zu reagieren. Im Beispiel gelingt die korrekte Zuordnung in über 95 Prozent der Fälle.

## Weit mehr als nur Holzerkennung

Das Verfahren eignet sich nicht nur für die Holzartenerkennung, sondern kann auch Fremdstoffe in Schüttungen detektieren, den Reifegrad von Obst und Gemüse bestimmen oder zur Sortierung verschiedener Materialien eingesetzt werden. Je nach Anwendung wird das Messprinzip inklusive Hard- und Software für verschiedene Szenarien angepasst.

### Kontakt

Dr. Stefan Weber  
Abteilung »Materialcharakterisierung und -prüfung«  
Telefon +49 631 31600-4924  
stefan.weber@itwm.fraunhofer.de



Weitere Infos unter [www.itwm.fraunhofer.de/optische-messtechnik](http://www.itwm.fraunhofer.de/optische-messtechnik)



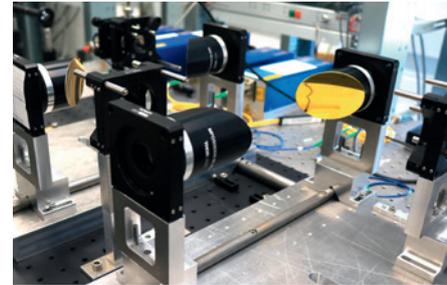
# TeraSpect für multispektrale Messungen

Zusammen mit dem Industriepartner TOPTICA Photonics AG haben das Fraunhofer ITWM und die Goethe-Universität Frankfurt am Main zwei erfolgreiche Technologien der Terahertz-Messtechnik zu einem neuen Messprinzip kombiniert: dem Terahertz-Spektroskopie-System TeraSpect.

Transistoren aus Standardprozessen der Halbleiterindustrie können über einen breiten Frequenzbereich als hochsensitive Terahertz-Detektoren verwendet werden. Wird eine Reihe dieser Detektoren gezielt für mehrere Einzel-

frequenzen optimiert – man spricht dann von resonanten Detektoren – so lassen sich diese Einzelfrequenzen aus einer breitbandigen Terahertz-Strahlungsquelle effektiv herausfiltern. Damit lassen sich dann sogenannte »spektrale Fingerabdrücke« vermessen. Das sind charakteristische Absorptionslinien, mit denen Materialien eindeutig identifiziert werden können.

Das System kann unter anderem für Echtheitsprüfungen in der Warenkontrolle eingesetzt werden.



*Mit dem TeraSpect-System werden schnelle multispektrale Terahertz-Messungen möglich.*



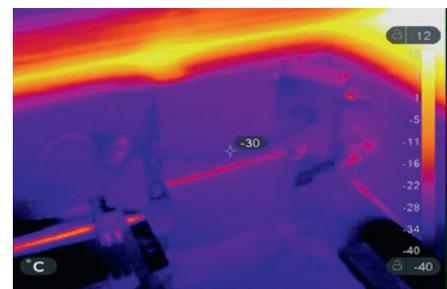
Weitere Informationen unter [www.itwm.fraunhofer.de/teraspect-pm](http://www.itwm.fraunhofer.de/teraspect-pm)

# Neue Features für MeSOMICS®

Sie sieht schlicht aus, hat es aber in sich: Die hoch automatisierte Messmaschine MeSOMICS®, die im Bereich Mathematik für die Fahrzeugentwicklung konzipiert und konstruiert wurde. MeSOMICS® steht für »Measurement System for the Optically Monitored Identification of Cable Stiffnesses« und unterstützt die Produktfamilie IPS Cable Simulation; diese Software simuliert und optimiert die Verlegung von Kabeln und Schläuchen, vor allem in den beengten Bauräumen moderner Fahrzeuge. Damit die Simulation möglichst realitätsnah gelingt, müssen die mechanischen Eigenschaften der einzelnen Leitungen bestimmt werden. Wichtig sind hier vor allem Biege- und Torsionssteifigkeiten. Mit

MeSOMICS® können sogar die Nutzenden der IPS-Software schnell und einfach die benötigten Parameter selbst ermitteln: Die gewünschten Datensätze liegen in nur drei Stunden vor und werden für die numerische Simulation in IPS Cable Simulation genutzt.

Doch MeSOMICS® kann noch mehr: nämlich Prüflinge unter Druck (bis 1000 bar) und Umgebungstemperaturen zwischen -30°C und 130°C vermessen. »Diese Optionen wurden von unseren Kundinnen und Kunden verstärkt nachgefragt. Nun können wir sie als Dienstleistung in unserem Technikum anbieten«, freut sich dessen Leiter Dr.-Ing. Michael Kleer.



*Eine Wärmebildkamera überprüft die Temperatur des Prüflings in der MeSOMICS-Klimakammer.*



Weitere Informationen unter [www.mesomics.eu](http://www.mesomics.eu)



# Chemische Industrie

---

Die chemische Industrie ist als Zulieferer für die Kunststoffindustrie, aber auch für die Agrar- und Nahrungsmittelbranche, von großer Bedeutung für Wirtschaft und Gesellschaft. In Deutschland, der größten Chemienation Europas, nimmt sie einen essentiellen Platz ein. Wir unterstützen Unternehmen in der chemischen Industrie sowohl in der Prozess- als auch in der Produktionsoptimierung; unsere Werkzeuge sind hier Modellierung, Simulation und Optimierung (MSO).

# KI trifft auf 100 Jahre Ingenieurskunst

Die Innovationsplattform KEEN (Künstliche Intelligenz Inkubator Labore in der Prozessindustrie) soll den Einsatz von KI-Technologien und KI-Methoden in der Prozessindustrie beschleunigen. Mitarbeitende des Bereichs »Optimierung« bringen ihr Know-how rund um die Digitalisierung der chemischen Produktion in das Projekt ein.

Die chemische Industrie gilt seit mehr als 100 Jahren als treibend für Fortschritt in Deutschland. Das Projekt KEEN vereint insgesamt 20 Start-ups, Konzerne und Forschungseinrichtungen. Zusammen arbeiten die Beteiligten daran, die Erfahrungen der traditionell wissensbasierten Industriewelt mit den Möglichkeiten der Künstlichen Intelligenz auf neue Wege zu führen. Denn klar ist: »KI alleine wird nicht funktionieren. Es kommt darauf an, Wissen und Daten zusammenzubringen, um in der Praxis einen Nutzen zu entfalten«, sagt PD Dr. Michael Bortz.

## Was wäre wenn ...

Dafür gibt es am Fraunhofer ITWM zwei Teilprojekte: Im ersten Schritt müssen Stoffe und Stoffgemische modelliert werden, damit KI für eine Vorhersage von Stoffeigenschaften genutzt werden kann. Im zweiten Schritt folgt die Durchführung von Prozesssimulationen. »Erst wenn wir wissen, wie sich Stoffe verhalten, können wir beispielsweise überhaupt ein Verfahren zur Trennung entwerfen«, so Bortz.

Konkret arbeitet das Team an einem Entscheidungsunterstützungssystem, mit dem »was-wäre-wenn«-Szenarien in Echtzeit durchgeführt werden können. Durch den Einsatz von KI gelingt es auch bei rechenintensiven und zeitaufwändigen Prozesssimulationen, die Auswirkungen von Änderungen im Prozess in Echtzeit darzustellen: »Wir setzen KI-Modelle auf, die wir mit Simulationsdaten trainieren, und die dann erheblich schneller rechnen und



sogar echtzeitfähig sein können«, beschreibt Bortz die Vision.

## Drei große Forschungsbereiche

Das KEEN-Konsortium erforscht drei große Themenbereiche: die Modellierung von Prozessen, Produkteigenschaften und Anlagen, das Engineering sowie die Realisierung selbstoptimierender Anlagen. Die Forschungsarbeiten laufen bis 2023. Bis 2025 sollen die ersten kommerziellen KI-Produkte für die Prozessindustrie verfügbar sein. Das Projekt wird zu 60 Prozent gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und verfügt über Gesamtfördermittel von 23 Millionen Euro.

## Kontakt

PD Dr. Michael Bortz  
Abteilungsleiter »Optimierung –  
Technische Prozesse«  
Telefon +49 631 31600-4532  
michael.bortz@itwm.fraunhofer.de



Weiterführende Informationen gibt es auf der Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/keen](http://www.itwm.fraunhofer.de/keen)

# Chemische Formulierungen risikoarm optimieren



Gute Entscheidungsgrundlagen sind das Ziel von FORCE.

Ein erfolgreiches Produkt zu verändern, erfordert gewissen Mut. Kosten und Nutzen müssen miteinander abgewogen werden, um die Entscheidung auf soliden Grundlagen zu treffen. Im Projekt FORCE (Formulations and Computational Engineering) entwickeln Forschende des Fraunhofer ITWM ein System, das solche Entscheidungen unterstützt.

Der Mensch ist ein Gewohnheitstier. Wenn das Lieblingsshampoo sich plötzlich anders anfühlt, empfinden viele das als störend und wechseln eventuell das Produkt beim nächsten Kauf. »Unternehmen tun sich nicht leicht damit, chemische Formulierungen erfolgreicher Produkte zu verändern, ganz gleich, ob das im kosmetischen Bereich ist oder in anderen Branchen«, sagt Dr. Peter Klein, der als Wissenschaftler im Bereich »Optimierung« das Projekt FORCE leitet.

## Konsequenzen abschätzen – Entscheidungen treffen

Ziel von FORCE ist es, ein Business Decision Support System (BDSS) zu entwickeln, das speziell auf die Optimierung chemischer Formulierungen zugeschnitten ist. Das softwaregestützte Optimierungs- und Entscheidungssystem soll die Geschäftsprozesse der Produktoptimierung, Entwicklung und der Qualitätskontrolle abdecken. Um möglichst nah an den Be-



*Links: Zehn internationale Projektpartner waren an FORCE beteiligt – zum Auftakt kam das gesamte Team zusammen.*

*Rechts: Neuer Duft, andere Haptik? Veränderungen im Produktionsprozess müssen gut überlegt sein.*



dürfnissen der Industrie zu sein, werden Fallbeispiele aus drei unterschiedlichen Unternehmen mit ihren speziellen Produkten herangezogen: Projektpartner sind Dow Benelux (PU-Schäume zur Wärmeisolierung), Megara Resins SA (PU-basierte Flüssigkeiten für Farben, Lacke oder Druckerpatronen) sowie Unilever UK Central Resource Ltd. (Shampoos).

»Produktionsprozesse sind komplex. Wer in diese eingreift, muss sehr viele Parameter berücksichtigen«, so Klein. »Unsere Plattform soll dem Nutzenden daher offenlegen, was

welche Stellschrauben bewirken und verschiedene Optionen aufzeigen.« Letztlich gehe es immer darum, bestmögliche Kompromisse zwischen Zielen zu finden, die miteinander im Konflikt stehen. Das System zeigt seinen Anwenderinnen und Anwendern die bestmöglichen Kompromisse anhand von Pareto-Fronten.

### Interaktive Entscheidungsfindung

Für eine Entscheidungsstrategie stellt man dabei beispielsweise gegenüber, welche Stoffe man in ihren Konzentrationsverhältnissen verändern kann und erhält dann Ergebnisse, die es zu bewerten gilt: »Dann heißt es abwägen. Man stellt zum Beispiel die Produktionskosten der Qualität gegenüber«, beschreibt Klein ein typisches Dilemma. »Diesen Prozess können wir durch eine interaktive Entscheidungsfindung unterstützen, etwa indem wir simulieren, dass sich durch die Veränderung von Attributen aus dem chemischen Prozess die Konsistenz eines Shampoos ändert. Auf dieser Basis kann man entscheiden, ob das Produkt auch weiterhin der Erwartungshaltung seiner Zielgruppe entspricht und ob die eingesparten Produktionskosten für die spürbare Veränderung am Produkt in Kauf zu nehmen sind.«

Zusätzlich bindet das BDSS auch Nebenbedingungen ein, etwa die Gesetzgebung oder bestimmte Standardwerte, die auch veränderbar sein müssen: Ändert sich eine Verordnung, müssen die Performanzindikatoren in der Formel erneuert werden. Für die Nutzerinnen und Nutzer der Software heißt das, dass sie ein Optimierungsproblem inklusive neuer Nebenbedingungen immer wieder überprüfen können. »Gleiches gilt für den Preis, wenn man Produktions- und Materialkosten mit technischen Wünschen zusammenbringt: Wir können verschiedene Zutaten für ein gleiches Ergebnis simulieren und dabei die Kostenfrage überprüfen.«

Das Projekt FORCE startete im Januar 2017 und endete nach Verlängerung im März 2021. Es wird im Rahmen der Säule »Leadership in Enabling Industrial Technologies LEIT« des EU Programms H2020 gefördert.

 Weiterführende Informationen gibt es auf unserer Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/force](http://www.itwm.fraunhofer.de/force)

#### Kontakt

Dr. Peter Klein  
Bereich »Optimierung«  
Telefon +49 631 31600-4591  
[peter.klein@itwm.fraunhofer.de](mailto:peter.klein@itwm.fraunhofer.de)



# Take a seat – Simulation der PU-Schaumexpansion beim Spritzgießen von Autositzen

Autositze haben eine komplexe Struktur: Rahmen, tragende Strukturen, Heizsysteme sowie Rücken- und Sitzpolster. Letztere werden aus Polyurethanschäumen (PU-Schaum) hergestellt – oft auch in unterschiedlichen Härtegraden. Das ITWM-Tool FOAM simuliert den Expansionsprozess bei der Herstellung solcher PU-Schäume – und zwar in beliebigen Geometrien und mit der Möglichkeit, Schaumbildung sowie die Schaumdichte bereits digital vorab zu berechnen.

Simulation ermöglicht Vorhersage: Wie breitet sich Schaum aus?

## Optimales Ausschäumen als komplexer Prozess

Der Prozess unterteilt sich in folgende Schritte: Zunächst wird das Material in eine offene Form gespritzt, dabei fängt der Schaum bereits an zu expandieren. Danach wird die Form geschlossen und es ist möglich, das Fließen des Schaumes durch Kippen in eine bestimmte Richtung zu beeinflussen. In der geschlossenen Form dehnt sich der Schaum weiter aus, bis er den gesamten Hohlraum ausfüllt. Sowohl Einspritzwege als auch die Menge des Materials sind für die Einspritzphase bedeutend, um am Ende des Prozesses eine gleichmäßige Schaumdichte zu erhalten.

Zu beachten ist zudem, dass beim Aufschäumen Kohlendioxid freigesetzt wird. Dieser Gasüberschuss wird meist durch Entlüftungen aus der Form abgeführt. Dabei ist wiederum die Anordnung der Entlüftungen wichtig, da eine falsche Platzierung zu Gasblasen oder großen Hohlräumen führen kann. All diese genannten

Aspekte im Prozess berücksichtigen wir mit unserem Tool FOAM in der Simulation.

## Projektziel und Zusammenarbeit: Vom Experiment zur Simulation

Ziel des Projekts zwischen Fehrer Automotive, Audi und unserem Institut ist es, diese Stärken von FOAM zu validieren. Dabei lag unser Augenmerk vor allem auf der Vorhersage der Expansion von PU-Schaum – auch in einer realen Autositzgeometrie. Letztere wurde von Audi zur Verfügung gestellt, während Fehrer Automotive die Durchführung der Experimente übernahm.

Zu Beginn des Projekts wählte das Team zwei Schaumsysteme aus und führten für jedes System von Fehrer vereinfachte Schaumexpansionsversuche durch. Diese gaben Aufschluss über die zeitliche volumetrische Expansion sowie die Entwicklung der Schaumtemperatur. Eine bestimmte Menge Schaummaterial wurde in ein zylindrisches Rohr eingespritzt. Die



Die Simulationen (jeweils rechts) zeigen die sehr gute qualitative Übereinstimmung mit den Experimenten bezüglich der Lage einer Gießbahn (gelb) in Ober-/Unteransicht.



**»Das ITWM hat eine einzigartige Kompetenz in der virtuellen Abbildung komplexer physikalischer Prozesse, von der physikalischen und mathematischen Modellierung bis zur effizienten numerischen computergestützten Berechnung. Die Zusammenarbeit mit dem ITWM ist stets angenehm und unkompliziert.«**

**Dr.-Ing. Johannes Spahn**  
Audi AG

Schaumhöhe wurde an der Mittellinie und die Schaumtemperatur an der Sensorposition fünf cm vom Boden gemessen. Diese Daten stellten die Basis für den Identifikationsschritt der Eingangsparameter des FOAM-Modells dar. Auf dieser Grundlage kalibrierten wir die Eingabedaten des Modells so, dass sie mit den Experimenten übereinstimmten.

Nach erfolgreicher Modellkalibrierung wurden Validierungstests in einer Kasten geometrie durchgeführt, dabei wurden verschiedene Konfigurationen getestet. In allen Fällen galt es eine Materialmenge in den offenen Kasten einzuspritzen. Die Form wurde nach dem Schuss mit einem transparenten Deckel geschlossen und die Schaumausdehnung mit einer Kamera ge-

filmt. So konnte die Entwicklung der Schaumfront genau beobachtet und zur Validierung der Simulationsergebnisse genutzt werden. Zwischen solchen Experimenten, auch mit der realen Autositzgeometrie von Audi, und der Simulation konnten sehr gute qualitative Übereinstimmung festgehalten werden.

FOAM hat sich als Simulationswerkzeug zur Vorhersage der Schaumströmungsausdehnung in komplexen Bereichen bewiesen. Es ermöglicht die Erprobung verschiedener Injektionspfade und der korrekten Entlüftungspositionierung in frühen Designphasen. Mit dem Einsatz von FOAM sparen Unternehmen nicht nur eine große Anzahl an experimentellen Versuchen, sondern auch Zeit und Kosten.

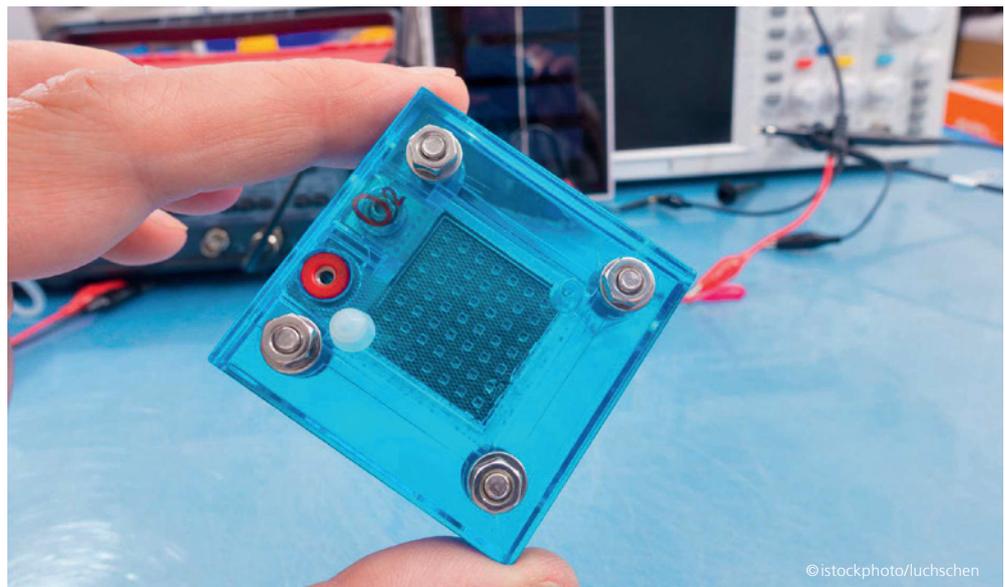
#### Kontakt

Dr. Dariusz Niedziela  
Abteilung »Strömungs- und  
Materialsimulation«  
Telefon +49 631 31600-4545  
dariusz.niedziela@itwm.fraunhofer.de



**Weiterführende Informationen inklusive Simulationsvideos gibt es auf der Website unter [www.itwm.fraunhofer.de/pu-simulation-autositz](http://www.itwm.fraunhofer.de/pu-simulation-autositz)**

# Wasserstoffelektrolyse im Kleinen verstehen – Großes für grünere Energie erreichen



Wasserstofftechnologien gelten als wegbereitend für klimaneutrale Mobilität, als hoffnungstragend für die klimaneutrale Gestaltung der Energiewirtschaft und der chemischen Industrie. Doch dafür gilt es die chemischen Prozesse der Zellen besser zu verstehen. Ein Team der Abteilung »Transportvorgänge« unterstützt bei der Auslegung und Optimierung der Zellen mit neuartigen Simulationsmethoden.

Die Brennstoffzelle scheint der ideale Fahrzeugantrieb: leise, sauber und unabhängig von Öl. Der dafür benötigte Wasserstoff kann über die Elektrolyse aus grünem Strom gewonnen werden. Eine Elektrolysezelle ähnelt einer Brennstoffzelle, nur dass der gesamte Prozess umgekehrt abläuft: Unter Einsatz von elektrischer Energie wird Wasserstoff durch die Aufspaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff gewonnen. Eine Zelle besteht unter anderem aus zwei metallischen Platten (Bipolarplatte) und einer Membran. »Ganz entscheidend für die Leistung der Zelle ist die Strömungsdynamik der Bipolarplatte«, so Dr. Christian Leithäuser aus der Abteilung »Transportvorgänge«. »Diese wollen wir so gestalten, dass der entstehende Sauerstoff ausreichend schnell abge-

leitet wird, um die Zelle effizienter zu machen. Dazu simulieren wir ein Multiphysics-Problem und nutzen Formoptimierungsmethoden.«

## Doktorarbeit mündet in Simulationstool CASHOCS zur Auslegung

Diese Thematik der »Auslegung von Bipolarplatten für die Wasserstoff-Elektrolyse« hat sein Kollege Sebastian Blauth in seiner Doktorarbeit genauer untersucht: »Auf Basis meiner Arbeit ist ein Open-Source-Softwarepaket mit dem Namen CASHOCS entstanden,« berichtet Blauth. Das steht für »Computational, Adjoint-Based Shape Optimization and Optimal Control Software«. »Inzwischen ist CASHOCS ein ge-

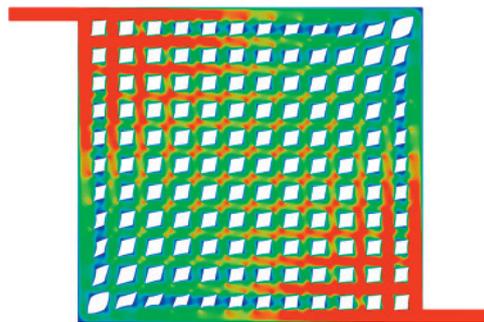
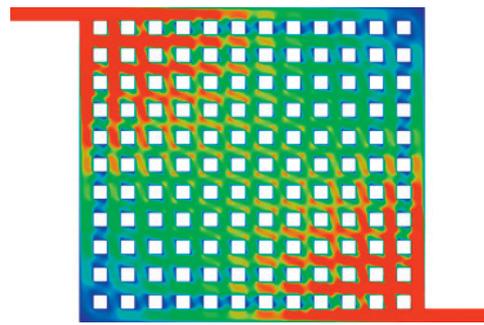
nerisches Werkzeug, das wir jetzt auch für die Auslegung von chemischen Reaktorkomponenten einsetzen«. Ähnliche Fragestellungen ergeben sich bei der strömungsdynamischen Stackauslegung. Auch hier ist es wichtig, dass alle Zellen möglichst gleichmäßig und ohne größere Druckverluste angeströmt werden.

### Beispiel PEM-Elektrolyse: Frei von Todzonen optimieren

Bei der Proton Exchange Membrane (PEM) Elektrolyse wird über die Bipolarplatte auf der Anodenseite Wasser zugeführt. Dieses wird ebenfalls durch die Zuführung von Energie in Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) aufgespalten. Der Wasserstoff wandert durch die Membran und wird auf der Kathodenseite aufgefangen. Der entstehende Sauerstoff muss über die Bipolarplatte auf der Anodenseite abgeführt werden, damit die Zelleffizienz nicht sinkt.

Die Bipolarplatte sollte also immer gleichmäßig durchströmt sein – ohne sogenannte Todzonen, aus denen der Sauerstoff nicht schnell genug entweicht. Die Grafik rechts illustriert die Auslegung mit dem Tool CASHOCS. Oben ist das Referenzdesign dargestellt mit der Zuführung in der linken oberen Ecke und dem Abfluss in der rechten unteren Ecke. Die Strömungsgeschwindigkeit ist über die Farbigkeit abgebildet. In der linken unteren und der rechten oberen Ecke der Referenz-Bipolarplatte befinden sich Todzonen mit schlechter Durchströmung. Die untere Grafik zeigt eine bereits optimierte Bipolarplatte. Der Algorithmus des Tools manipuliert die Referenzgeometrie so lange auf geschickte Weise, bis eine gleichmäßige Durchströmung bestmöglich erreicht ist. Die optimierte Bipolarplatte ist dann frei von Todzonen.

Insbesondere eröffnet ein solcher Ansatz mit digitalem Zwilling einen detaillierten Einblick in die komplexen Vorgänge innerhalb der Mi-



*Optimiertes Stack-Design: Zwei Bipolarplatten vor und nach der Formoptimierung.*

*Blau Bereiche sind Todzonen mit unzureichender Durchströmung (Referenz oben, Optimierung unten).*

crostrukturen, der rein experimentell gar nicht möglich wäre. In die Zukunft geschaut: Eine Umsetzung des neuen Designs ist mittlerweile mit additiven Fertigungsverfahren problemlos möglich. Die Entwicklungsergebnisse werden so in die nächste Generation von Elektrolysezellen einfließen.

#### Kontakt

Dr. Christian Leithäuser  
Abteilung »Transportvorgänge«  
Telefon +49 631 31600-4411  
christian.leithaeuser@  
itwm.fraunhofer.de



Mehr zum Schwerpunkt »Strömungsdynamische Prozessauslegung«  
[www.itwm.fraunhofer.de/tv-prozessauslegung](http://www.itwm.fraunhofer.de/tv-prozessauslegung)



Mehr zum Tool CASHOCS: [www.pyri.org/project/cashocs/](http://www.pyri.org/project/cashocs/)

# Wir sind das Fraunhofer ITWM



## **Bildverarbeitung**

Mathematische Modelle und Bildanalysealgorithmen für die Industrie . . . . . 84



## **Finanzmathematik**

Methodenkompetenz in Finanzmathematik, Stochastik und Data Science . . . . . 86



## **High Performance Computing**

Innovation, Disruption und ganzheitliches Denken in der Welt des verteilten Rechnens . . . . . 88



## **Materialcharakterisierung und -prüfung**

Durchblick mit Millimeter-, Terahertz- und optischen Wellen . . . . . 90



## **Mathematik für die Fahrzeugentwicklung**

Simulationsgestützte Entwicklung und Produktionsoptimierung in der Fahrzeugindustrie . . . . . 92



## **Optimierung**

Interaktive Entscheidungsunterstützung auf Basis von Modellen und Daten . . . . . 94



## **Strömungs- und Materialsimulation**

Industriell einsetzbare Multiskalensimulation und kundenspezifische Softwarelösungen . . . . . 96



## **Systemanalyse, Prognose und Regelung**

Analyse und Vorhersage von komplexem System- und Prozessverhalten . . . . . 98



## **Transportvorgänge**

Mathematische Modellierung, Simulation und Optimierung von Transportvorgängen . . . . . 100





## Schwerpunkte

- Oberflächen- und Materialcharakterisierung
- Qualitätssicherung und Optimierung
- Virtuelle Bildverarbeitung
- Industrial Image Learning
- Condition Monitoring und Predictive Maintenance

©Istockphoto/4X-image

# Bildverarbeitung

## Mathematische Modelle und Bildanalysealgorithmen für die Industrie

Die Abteilung entwickelt mathematische Modelle und Bildanalysealgorithmen und setzt diese in industrietaugliche Software – vorwiegend für die Produktion – um. Die Anwendungsgebiete umfassen insbesondere anspruchsvolle Oberflächenprüfungen und Analyse von Mikrostrukturen. Wir entwickeln und vertreiben seit über 15 Jahren Software für die 2D- und 3D-Bildanalyse und entwickeln sowohl neue Methoden als auch domänenspezifische Machine-Learning-Algorithmen.

In den vergangenen Jahren lag ein Schwerpunkt 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 Fertigung viele Bilder von fehlerfreien Produkten vorhanden, aber nur wenige von Produkten mit Defekten. Wir setzen deshalb häufig Hybride aus den »klassischen« parametrisierbaren Verfahren (Filter, Morphologie, Kantendetektoren) und Machine Learning ein. Neben Lösungen für die Produktion bieten wir auch »typische« Machine-Learning-Lösungen für die Bildverarbeitung an. Häufig sind dies Projekte, in denen sehr große Bilddatenmengen manuell verarbeitet und dieser Prozess durch eine Software automatisiert werden soll.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die **Mikrostrukturanalyse**. Die Mikrostruktur moderner Werkstoffe bestimmt maßgeblich deren makroskopische Materialeigenschaften. Wir entwickeln Algorithmen zur Charakterisierung und stochastischen Modellierung solcher Mikrostruk-

turen anhand von Bilddaten, z. B. aus CT, FIB-REM, REM. Unsere Produkte dienen dem tieferen Verständnis der komplexen Geometrie und der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen in Werkstoffen und eröffnen so neue Möglichkeiten wie Optimierung von Materialeigenschaften durch virtuelles Materialdesign. Anhand der aus Bilddaten gewonnenen Kenngrößen werden stochastische Geometriemodelle an die realen Mikrostrukturen angepasst, die die geometrischen Strukturverhältnisse gut widerspiegeln und so numerische Simulationen vereinfachen bzw. erst ermöglichen.

Neuestes Forschungsgebiet ist die **Virtuelle Bildverarbeitung**. Geplant ist hier die vollständige, physikalisch korrekte Simulation von Inspektionssystemen. Ziel ist eine Software-Infrastruktur, welche die komplette Inspektionsumgebung simuliert. Dazu gehören neben den Eigenschaften des Prüfstücks auch die Eigenschaften aller Hardwarekomponenten (Beleuchtung, Kamera, Optik etc.).

### Themen der Abteilung in diesem Bericht:

- Betonbalken biegen und beobachten – Quantencomputing beschleunigt die Auswertung von CT-Daten, S. 21
- Lungenschädigung durch Covid-19 besser verstehen, S. 34
- Dem Betrug mit Algorithmen und KI auf der Spur; PflegeForensik, S. 48
- Virtuell sieht man besser: Neue Wege in der Bildverarbeitung, S. 70

### Kontakt

Dipl.-Inf. Markus Rauhut  
Abteilungsleiter  
»Bildverarbeitung«  
Telefon +49 631 31600-4595  
markus.rauhut@itwm.fraunhofer.de





## Schwerpunkte

---

- Abrechnungsprüfung
- Altersvorsorge und Lebensversicherung
- Flexible Lasten am Energiemarkt
- Data Science

# Finanzmathematik

## Methodenkompetenz in Finanzmathematik, Stochastik und Data Science

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

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

Im Geschäftsfeld **Altersvorsorge** haben wir in enger Kooperation mit der Produktinformationsstelle Altersvorsorge (PIA) einen ganzheitlichen Blick auf die Altersvorsorge in Deutschland und Europa. Dabei nutzen wir beispielsweise unsere Technologie der stochastischen Simulation von Altersvorsorgeprodukten zur Chancen-Risiko-Einstufung von Tarifen aus Sicht der Kundinnen und Kunden.

Im Energiesystem der Zukunft werden **flexible Lasten** zunehmend wichtiger. Diese werden preissensitiv im Stromhandel agieren; damit ist eine derzeit noch bestehende Grundannahme vieler Modelle hinfällig. Dafür entwickeln wir

neue Lösungen, denn die Integration der Flexibilität erfordert neue mathematische Algorithmen, die wir gemeinsam mit energiewirtschaftlicher Expertise erarbeiten.

Durch die Digitalisierung von Prozessen ergeben sich neue Möglichkeiten, Abrechnungsvorgänge effizient zu prüfen. Wir haben bereits Prüfmethodik und -software für mehrere Branchen entwickelt und arbeiten in laufenden Projekten eng mit der Industrie an neuen Algorithmen. Wir erweitern unsere Kompetenz in Richtung der Gesundheitswirtschaft und arbeiten gemeinsam mit Staatsanwaltschaft und Polizei an Methoden zur **Prüfung von Pflegedienst-Abrechnungen**.

Gemeinsam mit Industriepartnern sind wir im **Quantencomputing** aktiv und entwickeln neue Lösungsansätze für Aufgabenstellungen.

### Themen der Abteilung in diesem Bericht:

- Quantencomputing: Verbundprojekt »EnerQuant«, S. 20
- Forschende der Finanzmathematik rechnen smartes Solvenzkapital, S. 46
- Dem Betrug mit Algorithmen und KI auf der Spur, S. 48
- FlexEuro: Wer flexibel und klug steuert, gewinnt am Energiemarkt, S. 56

### Kontakt

Dr. habil. Jörg Wenzel  
Abteilungsleiter  
»Finanzmathematik«  
Telefon +49 631 31600-4501  
joerg.wenzel@itwm.fraunhofer.de





## Schwerpunkte

---

- Green by IT
- Fraunhofer paralleles Dateisystem (BeeGFS)
- Visualisierung
- Seismische Datenverarbeitung
- Datenanalyse und Maschinelles Lernen
- Skalierbare parallele Programmierung



# High Performance Computing

## Innovation, Disruption und ganzheitliches Denken in der Welt des verteilten Rechnens

Unsere IT-Systeme gehören zu den größten einzelnen Energieverbrauchern und CO<sub>2</sub>-Emittenten mit weiter ansteigendem Energieverbrauch. Aktuell liegen wir damit bei fünf bis zehn Prozent des Stromverbrauchs; vermutlich wächst dieser Anteil aber auf zwanzig Prozent – die Größenordnung eines komplett elektrifizierten Pkw-Verkehrs. Meist richtet sich der Blick dann auf »grüne« Datacenter, die mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden, und auf effiziente Kühltechnik. Das deutlich größere Potenzial liegt jedoch in der Software und wie sie auf welchen Prozessoren eingesetzt wird und damit in seiner Wirkung auch im großen Rest der IT-Systeme.

Im High Performance Computing sind die Energiekosten heute bereits ein entscheidender Faktor bei der Hardwarebeschaffung; noch größere Bedeutung hat jedoch die Effizienz der eingesetzten Software. Software, die nicht die Parallelität moderner Prozessoren und deren Architektur ausnutzt, verliert hier schnell eine Größenordnung auch an energetischer Effizienz. High Performance Computing bedeutet für uns in der Abteilung HPC den Einsatz und die Entwicklung von hoch optimierter Software auf dazu passender Hardware. Bereits 2008 war das Pegasus-System des ITWM unter den TOP 500 der schnellsten HPC-Systeme und die Nummer Eins in den Green 500! Unsere Software war um Größenordnungen effizienter als die ursprüngliche Kundensoftware. Hier hätten allein die eingesparten Energiekosten eines Jahres den Pegasus-Rechner und die Entwicklung der Software finanziert. Unsere Erfahrungen in vielen Industrieprojekten zeigen, dass nicht-optimierte Software oft um

mindestens eine Größenordnung verbessert werden kann. Wir sind heute die Spezialistinnen und Spezialisten für energieeffiziente Programmierung, dem **Green Computing**. Es muss jedoch für alle einfacher werden, effiziente Software zu schreiben. Mit dem STX-Prozessor, den wir im EPI-Projekt entwickelt haben, kommen wir diesem Ziel ein großes Stück näher. Sein Design ist so gestaltet, dass es für eine große Klasse von Algorithmen mit Unterstützung des Compilers einfach ist, Energie und Kosten zu sparen. Energy Efficient Computing bedeutet heute die perfekte Ausnutzung von Parallelität, optimalen Datentransport sowie passende Algorithmen in Verbindung mit der richtigen Hardware. Dieser ganzheitliche Ansatz des Green Computing ist Kern unseres Selbstverständnisses und Motivation für die Mitarbeitenden der Abteilung HPC.

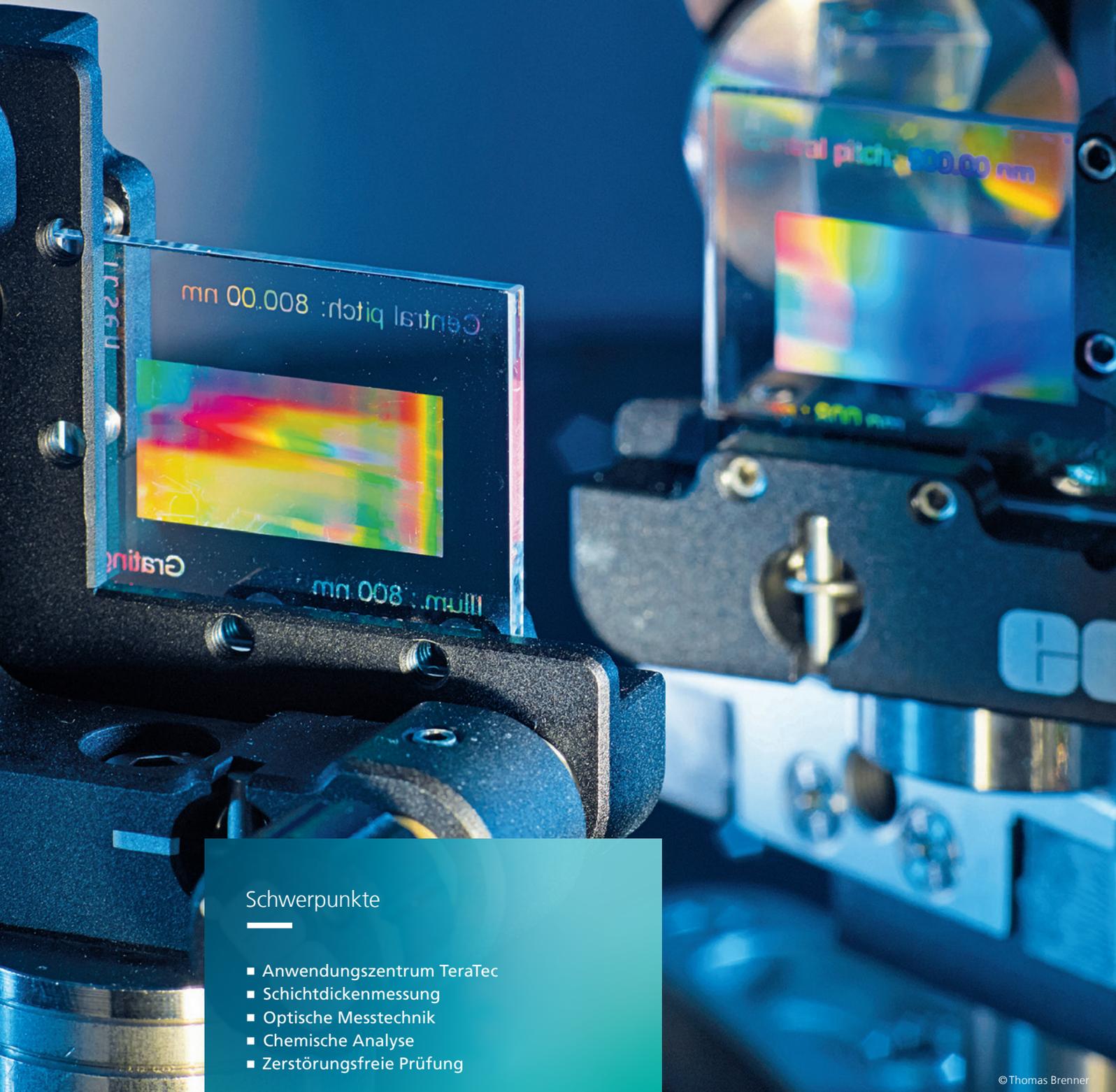
### Themen der Abteilung in diesem Bericht:

- Next Generation Computing steht auf drei Säulen, S. 17
- Quantencomputing »EnerQuant«, S. 20
- Energieeffiziente KI-Chips für die Erkennung von Vorhofflimmern, S. 26
- Tarantella spinnt schnelle Netze – Rechenpower für Deep Learning, S. 50
- Smarte Software für das Management fluktuierender Energieproduktion, S. 53
- Deep Learning beschleunigt seismische Datenverarbeitung, S. 60
- ALOMA: Ein Parallelisierungsframework – nicht nur für seismische Anwendungen, S. 61

### Kontakt

Dr. Franz-Josef Pfreundt  
Abteilungsleiter  
»High Performance Computing«  
Telefon +49 631 31600-4459  
franz-josef.pfreundt@  
itwm.fraunhofer.de





## Schwerpunkte

---

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

# Materialcharakterisierung und -prüfung

## Durchblick mit Millimeter-, Terahertz- und optischen Wellen

Dem menschlichen Auge bleibt vieles 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, etwa 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 Rohrspektionssystemen wird die Wandstärke direkt am Extruder kontrolliert. Defekte in Verbundwerkstoffen spürt unser FMCW-Radar-basiertes Prüfsystem auf. Auch Verklebungen lassen sich so untersuchen. Und manchmal prüfen wir sogar die Farbschichten berühmter Kunstwerke.

**Maschinelles Lernen** hilft uns beim Aufspüren feinsten Materialunterschiede, so dass zum Beispiel Holzarten selbst in den Spänen, die für die Spanplattenherstellung eingesetzt werden, zuverlässig unterschieden werden können – die Mischung ist hier entscheidend für die Qualität und Haltbarkeit der Spanplatten.

Unsere Mitarbeitenden greifen für maßgeschneiderte Lösungen auf Technologien von der optischen Kohärenztomographie (OCT) im sichtbaren Spektralbereich über die Zeitbereichsspektroskopie im Terahertz-Frequenzbereich

bis zu elektronischen Systemkonzepten im Millimeterwellenbereich zurück. Erste Erfolge im Einsatz der **Quantentechnologie** ermöglichen uns die Detektion von Materialeigenschaften im Terahertz-Frequenzbereich ausschließlich mit sichtbarem Licht. Die Kompetenz unserer Mitarbeitenden umfasst ein detailliertes Prozessverständnis. Das erlaubt uns die Übertragung von Ergebnissen aus der Grundlagenforschung in die Anwendung – neueste technologische Entwicklungen können dadurch als Lösung für herausfordernde Anwendungen identifiziert und eingesetzt werden.

### Themen der Abteilung in diesem Bericht:

- Quantencomputing: Fraunhofer-Leitprojekt »QUILT« (Quantum Methods for Advanced Imaging Solutions), S. 19
- Damit der Strom fließt: Zerstörungsfreies Prüfen von Kraftwerksgeneratorstäben, S. 54
- Aus RGB wird hyperspektral: Mehr sehen als das Auge erlaubt, S. 72
- TeraSpect für multispektrale Messungen, S. 73

### Kontakt

Prof. Dr. Georg von Freymann  
Abteilungsleiter »Material-  
charakterisierung und -prüfung«  
Telefon +49 631 31600-4901  
georg.von.freymann@  
itwm.fraunhofer.de





## Schwerpunkte

- Digitale Umgebungsdaten
- Lastdaten und Betriebsfestigkeit
- Dynamik und Systemsimulation
- Menschmodelle und Mensch-Maschine-Interaktion
- Kabel, Schläuche und flexible Strukturen
- Reifenmodelle – CDTire
- Technikum: Human Machine Interaction und Fahrsimulatoren



# Mathematik für die Fahrzeugentwicklung

## 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) sowie die Querschnittseinheit MF-Technik, die das Simulatorlabor mit dem interaktiven Fahrsimulator 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 problemangepasste bestmögliche Kombination von physikbasierter und datenbasierter (KI, ML) Modellierung. Die steigende Verfügbarkeit von Daten aus Fahrzeugentwicklung, Betrieb und Produktion führt hier ständig zu neuen Möglichkeiten und Herausforderungen, die perfekt zu unserer langjährigen Erfahrung in datenbasierter Mathematik und hybrider Modellierung passen. Besonderes Augenmerk gilt der Einbeziehung von digitalen Umgebungsdaten und der Simulation der Nutzungsvariabilität. Damit adressieren wir die Fahrzeugentwicklungsattribute Betriebsfestigkeit, Zuverlässigkeit, Energieeffizienz und die Absicherung von Assistenzsystemen und automatisierten Fahrfunktionen. Passend dazu fokussieren wir unsere Aktivitäten zur Systemsimulation auf die Fahrzeug-Umwelt-Mensch-Interaktion und entwickeln **Reifensimulationsmodelle (CDTire)** sowie Methoden zur interaktiven Simulation.

**Mathematik für die digitale Fabrik** bündelt die Aktivitäten zur Entwicklung von Softwaretools für die virtuelle Produktentwicklung und

Produktentstehung. Unser gemeinsam mit dem Fraunhofer Chalmers Research Centre for Industrial Mathematic (FCC) in Göteborg (S) 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 biomechanisches Menschmodell entwickelt, um Montageprozesse virtuell zu optimieren. Effiziente und schnelle Algorithmen ermöglichen hier eine effiziente Bewertung und Optimierung der Ergonomie von Montageprozessen.

### Themen des Bereichs in diesem Bericht:

- Streuspanne: Statistik-Blog und -Podcast, S. 29
- Das Technikum – Versuche und Simulationen unter einem Dach, S. 37
- CDTire – mit Simulation den Reifen neu erfinden, S. 38
- Daten besser nutzen – KI und ML in der Fahrzeugentwicklung, S. 40
- EMMA lernt fahren – Dynamisches Menschmodell für autonome Fahrzeuge, S. 68
- Neue Features für MeSOMICS®, S. 73

### Kontakt

Dr. Klaus Dreßler  
Bereichsleiter »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung« und  
Abteilungsleiter »Dynamik, Lasten und Umgebungsdaten«  
Telefon +49 631 31600-4466  
klaus.dressler@itwm.fraunhofer.de





## Schwerpunkte

---

- Verfahrens- und Prozesstechnik
- Medizin und Gesundheitswesen
- Maschinelles Lernen und hybride Modelle
- Produktions- und Ablaufplanung
- Anordnungs- und Zerlegeprobleme
- Versorgungsnetzwerke

# Optimierung

## Interaktive Entscheidungsunterstützung auf Basis von Modellen und Daten

Zentrale Aufgabe des Bereichs ist die Entwicklung individueller Lösungen für Planungs- und Entscheidungsprobleme in Logistik, Ingenieur- und Lebenswissenschaften, stets in Kooperation mit Partnern aus Forschung und Industrie.

Methodisch ist die Arbeit des Bereichs von einem 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.

Kernkompetenzen des 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 in maßgeschneiderten User Stories.

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

zur Modellergänzung und Erklärung nicht explizit modellierbarer Phänomene. Wichtige Anwendungsdomänen sind:

- **Produktionsplanung:** Herausforderung ist eine gute Balance von Termintreue, Lagerbestand und Auslastung der Produktionsmittel vor dem Hintergrund schwankender Nachfrage und Wachstumsperspektiven, in guter Anbindung an die Lieferkette.
- **Chemische Verfahrenstechnik:** Prozessplanung zur Beherrschung des Spannungsfeldes von Produktqualität, Produktionsgeschwindigkeit und Energieverbrauch (CO<sub>2</sub>-Footprint) bei schwankenden Rohstoffpreisen
- **Medizinische Therapieplanung:** Individuelle Therapiepläne im Ausgleich von Heilungschancen und Komplikationswahrscheinlichkeiten
- **Erneuerbare Energie:** Nutzung von erneuerbarer Energie und Speichertechnologie zur robusten und kosteneffizienten Versorgung

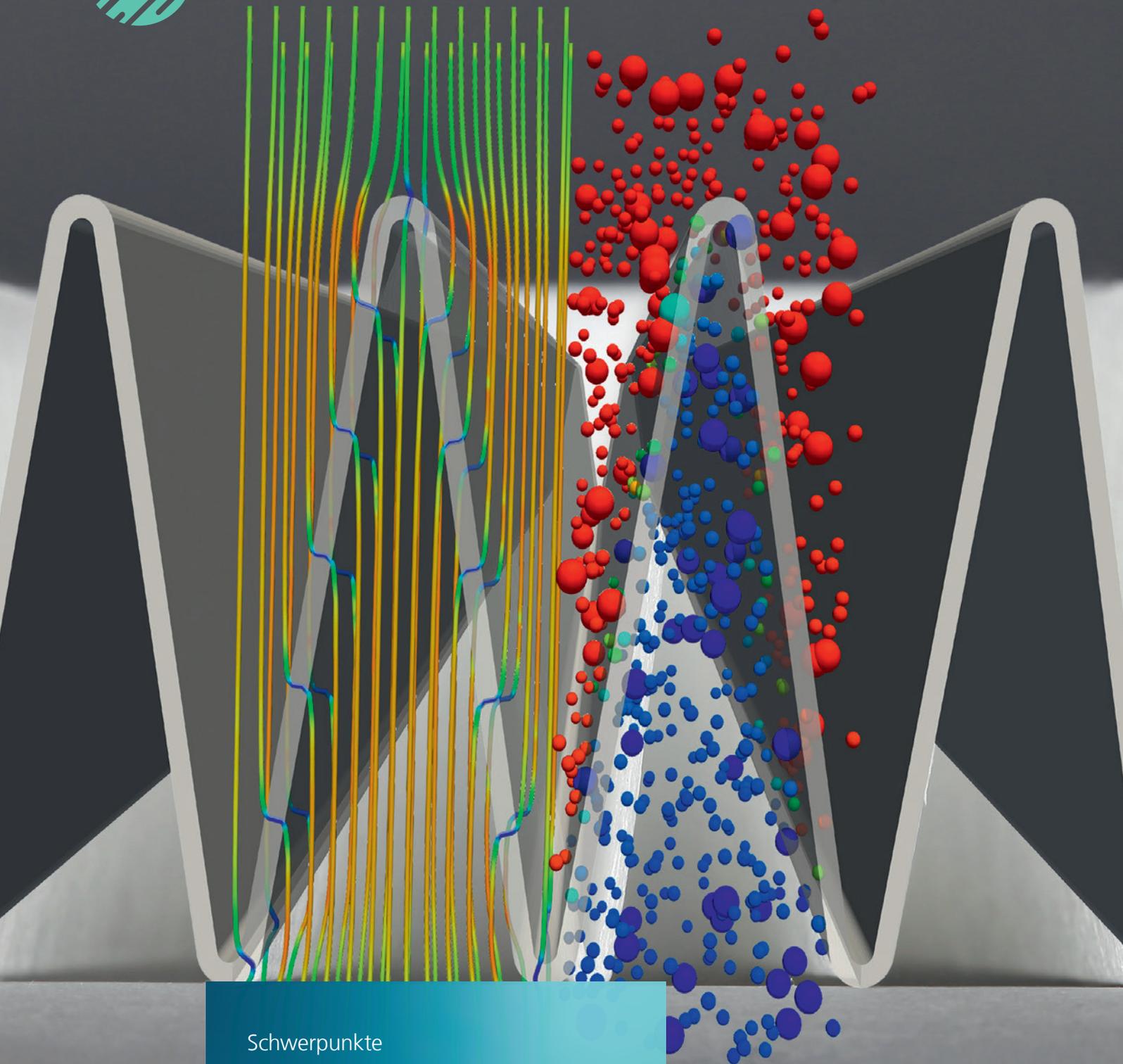
### Themen des Bereichs in diesem Bericht:

- Gesundheit 4.0: Entwicklung und Produktion neuer Medikamente beschleunigen, S. 23
- Unsicherheiten planbar machen, S. 24
- Patientenpositionierung: Neue Ansätze für die Strahlentherapie, S. 27
- Mit Mathematik gegen Covid-19, S. 28
- Digitale Planungsprozesse, S. 51
- FlexEuro: Wer flexibel und klug steuert, gewinnt am Energiemarkt, S. 56
- KI trifft auf 100 Jahre Ingenieurskunst, S. 75
- Chemische Formulierungen risikoarm optimieren, S. 76

### Kontakt

Prof. Dr. Karl-Heinz Küfer  
Bereichsleiter »Optimierung« und  
Abteilungsleiter »Optimierung –  
Operations Research«  
Telefon +49 631 31600-4491  
karl-heinz.kuefer@itwm.fraunhofer.de





## Schwerpunkte

---

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

# Strömungs- und Materialsimulation

## Industriell einsetzbare Multiskalensimulation und kundenspezifische Softwarelösungen

Die Abteilung »Strömungs- und Materialsimulation« bietet kompetente Forschungs- und Entwicklungsunterstützung beim Modellieren, Simulieren und Optimieren der Herstellung, der Funktionalisierung und des Einsatzes von porösen Werkstoffen und Verbundmaterialien für verschiedenste Anwendungen. Anfragen betreffen beispielsweise die Herstellung und Funktionalisierung von Filtermaterialien und technischen Filtersystemen, von Batterie- bzw. Brennstoffzellen, von technischen Textilien für Hygieneprodukte oder Sporttextilien, von Schäumen zur Dämmung und Dämpfung oder von faser- und partikelverstärkten Leichtbauteilen.

Unsere Alleinstellung ist gekennzeichnet durch die Entwicklung, Bereitstellung und spezifische Anwendung von industriell tauglichen Multiskalen- und Multiphysics-Methoden, dem Aufbau von digitalen Material- und Produktzwillingen und firmenspezifischen Softwarelösungen. Unsere Simulationstools nutzen neueste Forschungsergebnisse wie Modellreduktionsverfahren, automatische Parameteridentifikation, Maschinelles Lernen, moderne Software- und Datenbankkonzepte zur Effizienzsteigerung.

Die **Mikrostruktursimulation und das virtuelle Materialdesign** ermöglichen die numerische Simulation und Optimierung funktionaler Eigenschaften von porösen Materialien und Verbundwerkstoffen. Stark gefragt sind unsere hocheffizienten, mikromechanischen Methoden zur Materialauslegung faserverstärkter Verbundwerkstoffen, von Schäumen und technischer Textilien. Die effiziente Einbindung der Mikromechanik und -dynamik als Multiskalenmaterialmodell an CAE-Software ermöglicht die detail-

lierte Vorhersage von lokalem Crash-, Schädigungs- oder auch Kriechverhalten. Zur Vervollständigung von digitalen Materialzwillingen verbinden wir unsere Simulationsmethoden mit geeigneten Datenraumbeschreibungen und Datenbankkonzepten.

Die simulationsgestützte Auslegung komplexer Strömungsprozesse befasst sich mit den zugehörigen Herstellungsprozessen wie Beschichten, Mischen, Aufschäumen, Einspritzen, Filtrieren und Separieren. Schwerpunkte der Industrieanwendung sind **Filtrations- und Separationsprozesse** und dazu die Produktauslegung von Filteranlagen. Reaktive Prozesse wie die katalytische Filtration, das Aufschäumen von Polyurethan oder die elektrochemischen Vorgänge in Batterie- und Brennstoffzellen sind in unseren Simulationsprogrammen korrekt abgebildet.

In Verbindung mit den entsprechenden digitalen Materialdatenräumen erstellen wir multiskalige digitale Zwillinge u. a. für Filterelemente, Batteriezellen, Textilprodukte und Leichtbauteile, die eine virtuell unterstützte Produktauslegung, Produktion und Betriebskontrolle ermöglichen.

### Themen der Abteilung in diesem Bericht:

- AVATOR – Wie breiten sich Aerosole in Innenräumen aus?, S. 30
- Meltblown: Weniger Wolken am Simulationshimmel, S. 32
- DEFACTO – Simulation von Batterien, S. 42
- Simulation der PU-Schaumexpansion, S. 78

### Kontakt

Dr. Konrad Steiner  
Abteilungsleiter »Strömungs- und Materialsimulation«  
Telefon +49 631 31600-4342  
konrad.steiner@itwm.fraunhofer.de





## Schwerpunkte

- Energieerzeugung und -verteilung
- Echtzeit-Anlagenbetrieb und Antriebstechnik
- Biosensorik und Medizingeräte
- Maschinelles Lernen
- Regelung komplexer Systeme
- Modellidentifikation und Zustandsschätzung

# Systemanalyse, Prognose und Regelung

## Analyse und Vorhersage von komplexem System- und Prozessverhalten

Der Fokus der Abteilung liegt im Echtzeitanlagenbetrieb und Antriebstechnik in Produktion und Energieerzeugung mittels Digitalisierung. Zur Modellierung dynamischer, multiphysikalischer Systeme kombinieren wir physikalisches Wissen mit auf Messdaten basierenden Verfahren des (tiefen) Maschinellen Lernens. Wir erstellen digitalisierte Repräsentationen komplexer Anlagen, einzelner Maschinen und Bauteile auch unter Berücksichtigung möglicher Störungsüberlagerungen der Messdaten. Gemeinsam mit unseren Kundinnen und Kunden integrieren wir diese als digitale Zwillinge in vielseitigen Applikationen und innovativen Geschäftsmodellen.

Anwendungen sind **Qualitätsanalyse und -prognose** (z.B. Elektromotoren, Extruder) oder **Condition Monitoring (CM)** sowie **Predictive Maintenance (PM)** bei Produktionsanlagen und Energieerzeugern (z. B. Blockheizkraftwerke oder Windanlagen). Eine zielgerichtete, agile Projektdurchführung schafft bei Projektpartnern ein tiefes Systemverständnis. In engem Austausch mit Betreibern werden Betriebszustände von Produktionsanlagen überwacht und prognostiziert, um die Produktionsqualität sicherzustellen, Ausfälle zu vermeiden und Wartungsvorgänge zu optimieren.

Wir betreiben **Energieeffizienz- und Flexibilitätanalysen** von Produktionsprozessen zur verteilten prädiktiven energetischen Prozesssteuerung als Demand-Side-Management und erstellen das Design innovativer Regelungen zur Produktionsoptimierung. Die Systemintegration in elektronische Steuereinheiten wird mittels **Hardware-in-The-Loop-Verfahren (HiL)** validiert, um den Einsatz auch in Extremsitua-

tionen zu testen. Hierfür nutzen wir einen HiL-Simulator mit umfangreichen I/O-Schnittstellen, um elektronische Steuereinheiten durch Systemsimulationen zu untersuchen.

Wir erstellen schlüsselfertige CM- oder PM-Systeme oder Steuereinheiten und testen deren realen Einsatz ohne ressourcenintensive Experimente. Unsere Projekte unterstützen Kundinnen und Kunden von der Idee bis zum Betrieb bei der Entwicklung und Integration von Analyse-, Prognose- oder Regelungssystemen. Wir setzen neue Konzepte um, z. B. **5G-Kommunikation** zur Datenübertragung zwischen Sensoren, Reglern und Aktoren. Hierbei entwickeln wir problemgetriebene Lösungen auf Basis von Methoden der System- und Kontrolltheorie und des Maschinellen Lernens. Dies wenden wir auch in biologisch-medizinischen Systemen für die **Analyse von Biosignalen** z. B. EEGs, Medikation oder Diagnoseunterstützung an.

### Themen der Abteilung in diesem Bericht:

- Industrie 5G – Nicht nur Zukunftsmusik durch Expertise aus der Mathematik, S. 58
- Smart überwachen, automatisiert vorausschauen, S. 64
- Hybrides Rückwärtsrechnen für die Kunststoffindustrie, S. 66

### Kontakt

Dr. Andreas Wirsén  
Abteilungsleiter »Systemanalyse,  
Prognose und Regelung«  
Telefon +49 631 31600-4629  
andreas.wirsén@itwm.fraunhofer.de





## Schwerpunkte

---

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

© istockphoto/Sbayram

# Transportvorgänge

## Mathematische Modellierung, Simulation und Optimierung von Transportvorgängen

Die Abteilung modelliert komplexe industrielle Fragestellungen und entwickelt effiziente Algorithmen zur numerischen Simulation und Optimierung dieser Probleme. Die Aufgabenstellungen liegen im technisch-naturwissenschaftlichen Kontext (Strömungsdynamik, Strukturmechanik, Strahlungstransport, Optik etc.) und führen in der Modellierung auf partielle Differentialgleichungen, die zumeist als Transportgleichungen zu charakterisieren sind.

Aus Sicht von Kundinnen und Kunden geht es typischerweise um die Auslegung von Produktionsprozessen und die Optimierung von Produkten. Unser Angebotsspektrum erstreckt sich von Kooperationsprojekten mit den ingenieurwissenschaftlich ausgerichteten Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der Partnerfirmen über Studien mit Auslegungs- und Optimierungsvorschlägen bis hin zu Softwarelösungen – vom Baustein bis zum kompletten Tool.

Die Abteilung ist nach vier Forschungsfeldern strukturiert. Im Zentrum des Feldes »Flexible Strukturen« steht die mathematische Modellierung, Simulation und Optimierung der Dynamik von Fäden, Fasern und Filamenten mit Fokus auf die Auslegung von Produktionsprozessen technischer Textilien. Das Team »Strömungsdynamische Prozessauslegung« deckt in seinen Kompetenzen die vielfältigen Bereiche der Strömungsdynamik ab. Einen wissenschaftlichen Schwerpunkt bildet die Entwicklung von Werkzeugen zum Shape-Design. Das Team »Gitterfreie Methoden« erforscht einen auf einer Partikelmethode basierenden Simulationsansatz, von dem ausgehend die Software MESHFREE für ein breites Spektrum

industrieller Anwendungen entwickelt wird. Ein Schwerpunkt im Forschungsfeld »Energienetze und Modellreduktion« ist die Modellierung und Simulation des Energietransports in Netzwerken. Begleitend dazu werden Modellreduktionsmethoden auf industrielle Aufgabenstellungen angewandt.

Den Corona-bedingten Rückgang in der industriellen Auftragsforschung konnten wir durch Einwerbung zusätzlicher öffentlicher Forschungsprojekte auffangen und das Jahr mit einem positiven Gesamtergebnis abschließen. Eine besondere Rolle haben diverse Beteiligungen an **Anti-Corona-Projekten** eingenommen. Hier konnten wir sowohl unser Know-how zur Produktion von Vliesstoffen (Schutzmasken), unsere strömungsdynamischen Kompetenzen (Aerosolausbreitung) als auch neue Ideen zu retardierten Differentialgleichungen (epidemiologischen Modelle) einbringen.

### Themen der Abteilung in diesem Bericht:

- AVATOR – Wie breiten sich Aerosole in Innenräumen aus?, S. 30
- Meltblown: Weniger Wolken am Simulationshimmel, S. 32
- MESHFREE – Prozesssimulation auf den Punkt gebracht, S. 63
- Wasserstoffelektrolyse im Kleinen verstehen – Großes für grünere Energie erreichen, S. 80

### Kontakt

Dr. Dietmar Hietel  
Abteilungsleiter »Transportvorgänge«  
Telefon +49 631 31600-4627  
dietmar.hietel@itwm.fraunhofer.de



Dr. Raimund Wegener  
Abteilungsleiter »Transportvorgänge«  
Telefon +49 631 31600-4231  
raimund.wegener@itwm.fraunhofer.de





# Impressum

---

## **Anschrift der Redaktion**

Fraunhofer-Institut für Techno- und  
Wirtschaftsmathematik ITWM  
Team Kommunikation  
Fraunhofer-Platz 1  
67663 Kaiserslautern

[presse@itwm.fraunhofer.de](mailto:presse@itwm.fraunhofer.de)  
[www.itwm.fraunhofer.de](http://www.itwm.fraunhofer.de)

## **Redaktion**

Ilka Blauth, Eva Fröhlich, Steffen Grützner, Esther Packullat  
Annika Dreßler (Redaktionsassistentin)

## **Grafikdesign und Layout**

Gesa Ermel

## **Fotografie**

Gesa Ermel, Fraunhofer ITWM

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Redaktion erforderlich.

© Fraunhofer-Institut für Techno- und  
Wirtschaftsmathematik ITWM, Kaiserslautern 2021







## Kontakt

---

Fraunhofer-Institut für Techno- und  
Wirtschaftsmathematik ITWM

Fraunhofer-Platz 1  
67663 Kaiserslautern

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