

# 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



Fraunhofer

Fraunhofer  
ILR  
IPW  
← Hauptzugang  
Aufsicherung  
↓ City  
↓ Besucher

BESUCHER

Fraunhofer  
ILR  
IPW  
← Hauptzugang  
Aufsicherung  
↓ City  
↓ Besucher



## 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.

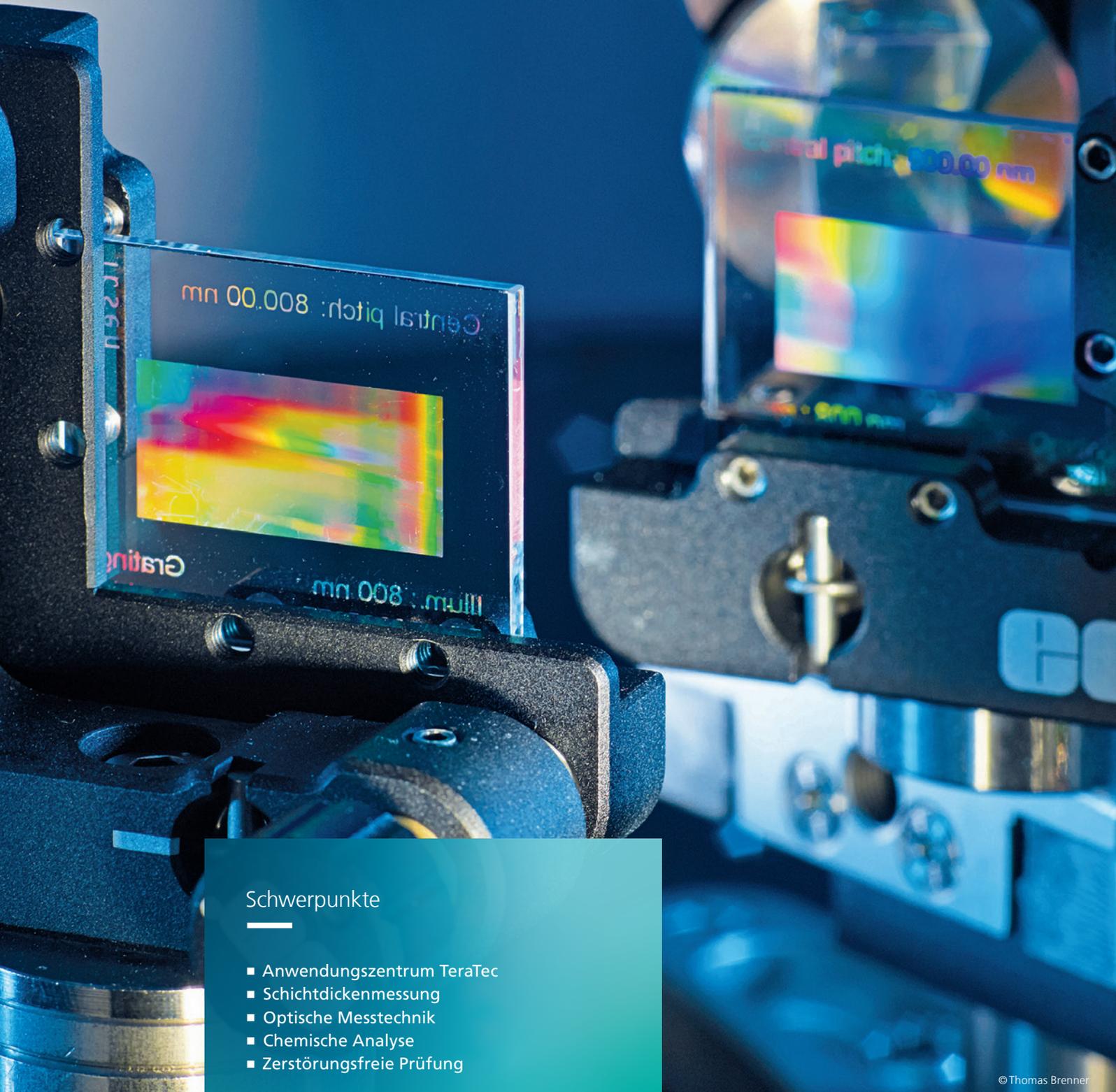
### Themen der Abteilung in diesem Bericht:

- 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

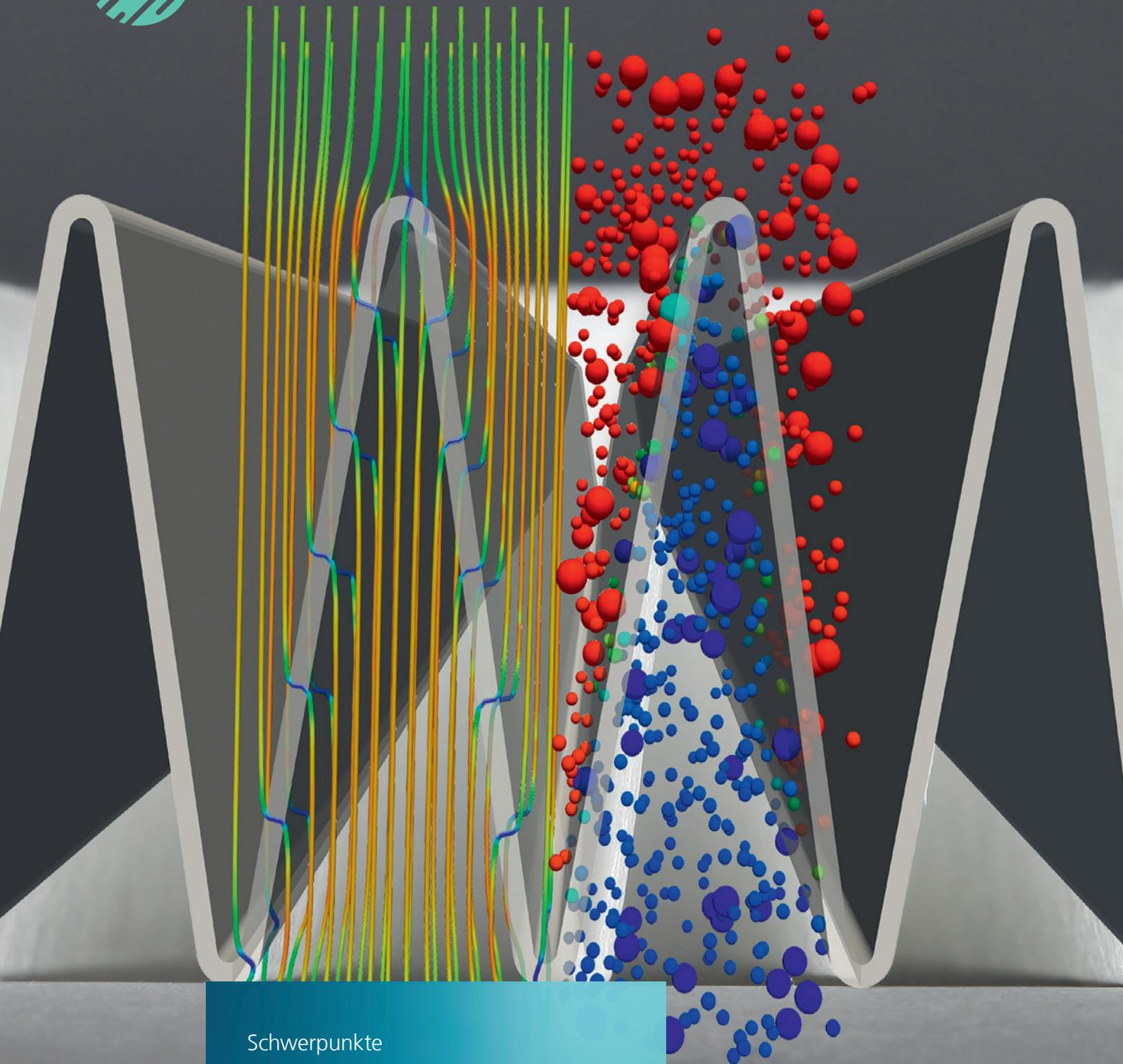
### Themen des Bereichs in diesem Bericht:

- 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

