



Mathematik für Industrie und Produktion

Unsere moderne, industrialisierte Welt, ohne Mathematik? Unvorstellbar. Denn Mathematik steckt fast überall mit drin. An unserem Institut arbeiten rund 500 Menschen, die angewandte Mathematik in die Umsetzung bringen. Sie ist ein interdisziplinäres Feld, das mathematische Methoden und Modelle zum Lösen von Fragestellungen zur Effizienzsteigerung, Kostenreduktion oder Qualitätsverbesserung einsetzt. Damit ist Mathematik ein wichtiger Motor für die Wirtschaft.

Das Arbeiten in der Industrie hat sich in den vergangenen Jahren stark verändert. Produktionsprozesse werden digitalisiert, der Einsatz von automatisierten Maschinen und Robotern hat zugenommen. Ein geringerer Energieverbrauch ist überall gefragt, um Kosten zu sparen, aber auch aus Nachhaltigkeitsgründen. Das beeinflusst auch die Anforderungen an die Mitarbeitenden: Neben handwerklichem Geschick wird technisches Verständnis und ein routinierter Umgang mit neuen Technologien vorausgesetzt.

Wir am Fraunhofer ITWM entwickeln, oft gemeinsam mit Partnern aus der Industrie, maßgeschneiderte Lösungen. Diese sollen Unternehmen voranbringen, aber auch Mitarbeitenden konkrete Werkzeuge für ein besseres Arbeiten an die Hand geben.

Was bietet das Fraunhofer ITWM für Industrie und Produktion?

■ Datenanalyse und Machine Learning

Mit dem Aufkommen von Big Data spielt die Datenanalyse eine zentrale Rolle. Machine-Learning-Algorithmen, die auf mathematischen Modellen basieren, helfen Unternehmen, Muster in großen Datensätzen zu erkennen und Analysen durchzuführen.

■ Simulation

Simulationstechniken helfen dabei, komplexe Systeme zu modellieren und deren Verhalten unter verschiedenen Bedingungen vorherzusagen. Dies ist besonders nützlich in der Fertigung, um Engpässe zu identifizieren, die Produktionsplanung effizienter zu gestalten oder Produktionsfehler zu vermeiden.

■ Optimierung

Mathematische Optimierung wird verwendet, um Ressourcen effizient zu nutzen. Unternehmen setzen Optimie-

rungsalgorithmen ein, um Produktionsprozesse zu verbessern, Materialkosten zu minimieren und Lieferketten zu optimieren. Aber auch in der Personaleinsatzplanung kommt die Optimierung zum Einsatz.

■ Statistik

Statistische Methoden sind entscheidend für Qualitätskontrolle und Prozessverbesserung. Unternehmen verwenden statistische Verfahren, um Daten zu analysieren, Trends zu erkennen und Entscheidungen auf Basis von Fakten zu treffen.

■ Risiko-Analyse

Mathematische Modelle werden verwendet, um Risiken zu bewerten und Strategien zur Risikominderung zu entwickeln. Dies ist besonders in der Finanz- und Versicherungsbranche von Bedeutung, findet aber auch Anwendung in der Produktionsplanung.

»Mathematik ist die Sprache von Naturwissenschaft und Technik«

Was leistet die Mathematik für Industrie und Produktion? Antworten auf diese Frage wollen wir in diesem Bericht geben. Dazu haben wir mit Dr. Klaus Dreßler gesprochen, der seit vielen Jahren unseren Bereich »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung« leitet.

Mathematik ist für viele Menschen vor allem Theorie. Wie bringt man Mathematik in die Industrie?

Das ist eine Grundsatzfrage, die uns seit der Gründung unseres Instituts begleitet. Mathematik ist die Sprache von Naturwissenschaft und Technik. Mathematik ist bei allen technischen Entwicklungsprozessen essenziell – in der Produktentwicklung, die heute überwiegend virtuell stattfindet, in der Produktabsicherung, der Produktionsplanung und der dazu gehörigen Qualitätssicherung.

Wie sieht das in der Praxis aus, an welchen Themenfeldern arbeitet Ihr Bereich?

Wir ermöglichen die simulationsgestützte, virtuelle Entwicklung von Fahrzeugen, Systemen und Anlagen. Schwerpunkte bei den Fahrzeugen sind die Reifen, Kabelsätze und die Nutzungsvariabilität der Fahrzeuge. Ein Forschungsfeld sind beispielsweise unsere digitalen Menschmodelle: Die Körpergröße von Menschen variiert, aber ein Fahrzeug muss von möglichst vielen problemlos und sicher genutzt werden können. Außerdem unterstützen wir die Entwicklung qualitätssichernder Inspektionslösungen.

Statistik ist ein Feld, unter dem sich viele etwas vorstellen können. Wie kommt beispielsweise Statistik zum Einsatz in der Fahrzeugindustrie?

Statistik ist besonders bedeutend am Anfang und am Ende der Entwicklungs- und Absicherungsprozesse. Am Anfang, wenn ein Fahrzeug entwickelt wird, muss modelliert und quantifiziert werden, was ein Fahrzeug in seinem Fahrzeugleben alles mitmacht – was kommt zum Beispiel im Laufe von 300 000 Kilometern wie häufig vor? Dabei ist die Nutzungsart, also fährt eine Pendlerin oder ein Paketdienstfahrer, sowie die Geografie variabel. Das ist Statistik! Und daraus leiten sich alle Bemessungsgrundlagen für das Fahrzeug ab. Am Ende des Entwicklungsprozesses sichert man die Fahrzeuge und ihre Komponenten. Dafür werden Test- und Validierungsszenarien entworfen und durchlaufen, die sicherstellen, dass ein Fahrzeug den Anforderungen genügt. Auch das ist Statistik.

Kann Mathematik Fehler in der Produktion verhindern?

Sie kann wesentlich dazu beitragen, dass in der Produktion möglichst wenig Fehler passieren. Beispielsweise indem wir Montagevorgänge mittels digitaler Menschmodelle simulieren und danach optimieren. Mathematik kann durch sogenannte »Condition Monitoring«-Prozesse dazu beitragen, dass man geringste Abweichungen in der Prozessführung frühzeitig erkennt und korrigiert, bevor diese Prozessabweichungen zu Produktionsfehlern führen. Die Mathematik im »Condition Monitoring« nennt man heute oft Künstliche Intelligenz (KI). Bildverarbeitungsgestützte Inspektionslösungen, auch mit mathematischen KI-Algorithmen, dienen dazu, Fehler zu detektieren und Folgefehler zu vermeiden.

»Mathematik kann Fehler in der Produktion verhindern.«



Wie wichtig ist die mathematische Ausbildung in den Ingenieurwissenschaften für die Industrie?

Sehr wichtig! Wie schon gesagt, Mathematik ist die Sprache der Technik. Es reicht aber heute nicht mehr, mathematisch gut ausgebildete Ingenieurinnen und Ingenieure in der Industrie zu haben, es kommt auf eine gute interdisziplinäre Zusammenarbeit mit Menschen an, die einen mathematischen oder informationswissenschaftlichen Hintergrund haben.

Was müssen Mathematikerinnen und Mathematiker mitbringen, wenn Sie an unser Institut kommen?

Sie müssen sehr gut in ihrem Fach sein. In unserem Bereich setzen wir auch ein Interesse an Physik und Technik voraus. Und sie müssen offen sein für das interdisziplinäre Arbeiten. Insbesondere müssen sie darauf eingestellt zu sein, Problemstellungen aus der »echten Welt« zu bearbeiten. Hier sehen wir oft, dass im universitären Bereich anders gearbeitet wird. In der Industrie sind die Probleme nicht immer »methodisch sauber« zu fassen. Mit Mathematik können wir Strukturen formal abbilden. Da haben wir bei uns Menschen mit mathematischem Wissen und Können vor Ort, mit denen wir insbesondere dadurch einen Mehrwert generieren, wie ein Problem verstanden wird. Ein Ingenieursinstitut würde nicht so tief in die Analyse gehen, wie wir es hier tun.

Es reicht heute nicht mehr, mathematisch gut ausgebildete Ingenieurinnen und Ingenieure zu haben, es kommt auf eine gute interdisziplinäre Zusammenarbeit an.«

Dr. Klaus Dreßler,
Bereichsleiter »Mathematik für die Fahrzeugentwicklung«

Gibt es Trends oder Entwicklungen in der mathematischen Anwendung, die Sie spannend finden?

Durch die seit langem stark steigende Verfügbarkeit von Daten ergeben sich immer mehr Möglichkeiten für die datenbasierte Modellierung – Machine Learning, KI, Predictive Maintenance – in allen technischen Bereichen. Um aber etwas vorherzusagen und entscheiden zu können, muss man aber nach wie vor die Physik verstehen. Dadurch entstehen ständig neue Chancen, aber auch Herausforderungen an die sogenannte hybride mathematische Modellierung. So bleibt es auch weiterhin spannend für uns.

Kontakt

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



www.itwm.fraunhofer.de/mf

Branchenblick: Was wir der Fahrzeugindustrie bieten

© freepik

Digitale Umgebungsdaten

Wie muss ein Fahrzeug konstruiert sein, damit es in verschiedenster Weise an unterschiedlichen Orten eingesetzt werden kann? Wie werden bestimmte Fahrzeugteile belastet? Wie wirken sich Umgebungsbedingungen auf Assistenzsysteme aus? Tests, die Antworten auf Fragen wie diese geben, werden heute überwiegend virtuell durchgeführt. Die Simulation ermöglicht es, einen Test beliebig oft mit verschiedenen Parametern zu wiederholen. Digitale Umgebungsdaten, die Auf-

schluss über die Bedingungen geben, unter denen ein Fahrzeug genutzt wird, spielen bei Simulationen eine große Rolle: Bergige oder eher flache Landschaften, Stadtverkehr oder weitläufige Strecken – sie müssen alle bei der Planung und der statistischen Auswertung von Tests berücksichtigt werden. Am Fraunhofer ITWM können wir auf unterschiedliche digitale Umgebungsdaten zurückgreifen und so Baumaschinen, Nutzfahrzeuge oder Lastkraftwagen auf ihre Betriebsfestigkeit überprüfen.



www.itwm.fraunhofer.de/umgebungsdaten

Lastdaten und Betriebsfestigkeit

Bei Fragen rund um Zuverlässigkeit und Betriebsfestigkeit werden die Eigenschaften der Systeme und Bauteile sowie die Lastdaten benötigt. Um eine kundenspezifische Auslegung zu ermöglichen, ermitteln unsere Forschenden die im Feld auftretenden Beanspruchungen und deren Varianz. Dies erfolgt durch eine geeignete Mischung aus direkter Lastmessung und Simulation in ausgewählten Zuständen,

allgemeiner Beobachtung des Kundenverhaltens und statistischer Hochrechnung von Teildaten.

Das bieten wir an:

- Daten erheben, simulieren und auswerten
- Betriebsfestigkeit mit statistischen Methoden ermitteln
- Datensimulation und Belastungstests



www.itwm.fraunhofer.de/lastdaten

Dynamik und Systemsimulation

In der System- und Fahrzeugentwicklung ist es entscheidend, die physikalischen Systemeigenschaften frühzeitig und in verschiedenen Phasen des Entwicklungsprozesses rechnerisch zu simulieren, um Konstruktionsstände zu bewerten, zu verbessern und abzusichern. Immer wichtiger wird die Möglichkeit der hybriden und interaktiven Simulation, um elektronische

Steuergeräte und den Fahrer realistisch in die Berechnung einzubeziehen.

Daran arbeiten wir:

- Weiterentwicklung und Anwendung von Methoden in der Systemsimulation mechatronischer Systeme
- Verkehrssimulation

- Regelung und optimale Steuerung technischer Systeme
- Datenbasierte Mathematik, insbesondere Datenanalyse und Maschinelles Lernen
- Simulation gekoppelter physikalischer Systeme (Co-Simulation)

Wir beschäftigen uns dabei insbesondere mit echtzeitfähigen Verfahren, aber auch mit Methoden, die im Rahmen einer virtuellen Messkampagne das Fahrzeugverhalten in beliebigen Regionen oder Märkten der Welt simulieren (VMC[®] Simulation).



www.itwm.fraunhofer.de/dynamik-system-simulation

Menschmodelle und Mensch-Maschine-Interaktion

Zahlreiche High-End-Produkte werden nach wie vor – und absehbar auch in naher Zukunft – von Menschen gefertigt. Überall da, wo Geschicklichkeit, Intelligenz und Erfahrung für eine hohe Produktqualität unverzichtbar sind, sind Menschen im Einsatz.

Die Digitalisierung des Produktentstehungsprozesses erfordert Simulationswerkzeuge.

Diese sollten menschliche Arbeitstätigkeit so gut abbilden, dass man damit den Einfluss des »Faktors Mensch« auf die Produktqualität abbilden und die Produktqualität sichern kann. Die ergonomische Gestaltung von Arbeitsplätzen ist gleichermaßen wichtig, unterstützt Arbeitskräfte bei der Erhaltung ihrer Gesundheit und kommt letztlich ebenfalls einer hohen Produktqualität zugute.



www.itwm.fraunhofer.de/Menschmodelle

Kabel, Schläuche und flexible Strukturen

Die virtuelle Montageplanung erfordert eine schnelle und physikalisch korrekte Beschreibung des Verhaltens von Kabeln und Schläuchen, wie sie beispielsweise im Motorraum eines Fahrzeugs verlegt oder als Schlauchpakete (»dress packs«) an Industrierobotern montiert sind. Für die Montagesimulation mit IPS Cable Simulation haben wir spezielle

nichtlineare Strukturmodelle entwickelt. Mit ihnen berechnen wir die Verformung von Kabeln und Schläuchen realitätsnah und interaktiv. Für den praktischen Einsatz der IPS-Software ist die Bedatung der Simulationsmodelle wichtig. Die von uns entwickelte Messmaschine MeSOMICS[®] bietet hierfür die optimale Lösung.



www.itwm.fraunhofer.de/kabel-schlaeuche

Reifenmodelle CDTire

Reifen zu simulieren ist herausfordernd, denn sie verhalten sich komplex und nicht linear. CDTire unterstützt als Bestandteil moderner MKS-Programme Entwicklungsingenieurinnen und -ingenieure in fast allen Analyseszenarien. Besonderes Augenmerk auf die Gürteldynamik und Interaktion mit 3D-Fahrbahnoberflächen erlaubt eine gute Vorhersagegenauigkeit –

sowohl der transienten Amplituden als auch im Frequenzbereich. CDTire bietet als Softwaretool eine Familie von Reifenmodellen mit unterschiedlicher Modellierung von Gürtel, Seitenwand und Lauffläche, um für verschiedene Anwendungen eine optimale Mischung aus Genauigkeit und rechnerischem Aufwand anzubieten.



www.itwm.fraunhofer.de/cdtire

Versuchseinrichtungen für die Fahrzeugindustrie



Das Technikum des Fraunhofer ITWM beheimatet technische Versuchseinrichtungen, die zur Bedatung unserer Simulationsmodelle ausgelegt sind. Außerdem entwickeln unsere Forschenden dort Mess- und Simulationstechniken, die in der Fahrzeugindustrie eingesetzt werden.

- Für die interaktive Fahrsimulation stehen im Technikum drei Labore zur Verfügung: Die größte Anlage ist der roboterbasierte Fahrsimulator RODOS[®], in dem Serien-Fahrzeugkabinen durch einen Roboterarm bewegt werden, um eine realistische Bewegungsrückmeldung mit der Haptik des realen Fahrzeugs zu kombinieren. Zudem gibt es einen statischen Fahrsimulator für die interaktive Simulation von PKW. Vulnerable Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger können im speziell ausgestatteten Virtual Reality-Labor in die Simulation integriert werden. Eine Verschaltung der drei Labore ermöglicht die Untersuchung menschlicher Interaktionen in hochkomplexen Verkehrssituationen.
- Die MeSOMICS[®]-Messmaschine wird im Technikum gefertigt und weiterentwickelt. MeSOMICS[®] ist ein automatisiertes System zur Bestimmung von Parametersätzen für Kabel und Schläuche, die in der Software IPS Cale Simulation direkt verwendet werden können. Die Messung der effektiven Kabelsteifigkeiten ist dank optischer Überwachung äußerst robust und liefert innerhalb weniger Minuten automatisiert Ergebnisse.
- Mit unserem 3D-Messfahrzeug REDAR können wir Umgebungsdaten mittels Kameras und Laserscanner erfassen. Die hochgenauen, realistischen virtuellen Umgebungen, die wir durch Sensorfusion daraus erzeugen können, werden in der Industrie zur virtuellen Absicherung von Fahrerassistenzsystemen oder der interaktiven Fahrsimulation genutzt.
- Aktuell wird das Technikum um ein Reifenlabor zur Untersuchung von Reifenemission erweitert. Die dort verorteten Prüfstände ermöglichen künftig die Bedatung und Validierung von Simulationsmodellen zur Reifenemission hinsichtlich Abrieb, Lärm und Luftverschmutzung – und damit optimale Voraussetzung für ein zukunftsträchtiges Forschungsthema.



Zerstörungsfreier Blick ins Innere – Terahertz prüft Halbleiter

Halbleiter sind das Herzstück moderner Technologien – ob im Smartphone, im Auto, in Solaranlagen oder Hochleistungscomputern. Damit sie zuverlässig funktionieren, müssen sie schon während der Produktion genau geprüft werden – idealerweise schnell und ohne sie dabei zu berühren. Im Projekt »THz-SEMICON« (Terahertz-Semiconductor Inspection) entwickeln wir gemeinsam mit unseren Partnern ein zerstörungsfreies Prüfsystem für die Halbleiterindustrie.

»Mithilfe unserer Terahertz-Zeitbereichsspektroskopie (THz-TDS) können wir dünne Schichten von Halbleitermaterialien hochpräzise und in kürzester Zeit vermessen,« erklärt Joshua Hennig aus der Abteilung »Materialcharakterisierung und -prüfung«. Dabei sendet die Technologie ultrakurze Impulse durch die feinen Schichten. Die reflektierten Signale liefern detaillierte Informationen über den inneren Aufbau – ganz ohne Berührung.

Größere Wafer, immer dünnere Schichten, neues Material

So lassen sich selbst hauchdünne Schichten aus modernen Materialien wie Siliziumcarbid oder Galliumnitrid zuverlässig auf Schichtdicke, elektrischen Widerstand oder Ladungsträgerdichte prüfen. Ein großer Vorteil für die Halbleiterbranche, die unter hohem Kostendruck steht und gleichzeitig immer leistungsfähigere und komplexere Bauelemente entwickelt.

Während klassische Messmethoden direkten Kontakt zur Probe erfordern – mit dem Risiko von Beschädigungen oder Verunreinigungen – arbeitet die Terahertz-Technologie vollkommen berührungslos und erhöht zudem auch die Messgeschwindigkeit: Selbst große Halbleiterwafer mit Durchmessern bis zu 450 Millimetern werden so innerhalb weniger Minuten vollständig geprüft.



Das Projekt »THz-SEMICON« wird im Förderprogramm »Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand« (ZIM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert.

Produktion im Takt halten

Das Projektziel: ein voll integriertes Prüfsystem, das kleinste Abweichungen und Defekte erkennt, ohne die Produktionslinie auszubremsen. So trägt »THz-SEMICON« zukünftig dazu bei, dass unsere Smartphones, Solarmodule oder Computerchips noch zuverlässiger, leistungsfähiger und im besten Falle nachhaltiger werden.

Kontakt

Dipl.-Phys. Joshua Hennig
Abteilung »Materialcharakterisierung
und -prüfung«
Telefon +49 631 31600-4168
joshua.hennig@itwm.fraunhofer.de



Das Optimum rausholen

Ein Teilgebiet der angewandten Mathematik ist die mathematische Optimierung. Nach ihr ist bei uns ein ganzer Bereich benannt. Seine Expertise: Das Lösen von Optimierungsproblemen, wie sie sich in der Industrie, insbesondere der Produktion, stellen. Ob chemische Industrie, Maschinenbau, Energiewirtschaft, Gesundheitswesen, Produktionsplanung, Machine Learning oder Supply-Chain-Management – Optimierungsbedarf gibt es überall. Ein Einblick in einige aktuelle Projekte.

Produktionsnetzwerke über Abteilungs- und Unternehmensgrenzen hinweg

Die Abteilung »Optimierung – Operations Research« entwickelt Lösungen für komplexe Planungsaufgaben in Produktion, Logistik und für dienstleistende Unternehmen. Diese sorgen dafür, dass Ressourcen effizient eingesetzt und Abläufe verbessert werden. Produktionsprozesse erstrecken sich oft über verschiedene Abteilungen und Standorte hinweg oder schließen sogar andere Unternehmen ein. Damit in solchen Fällen alles reibungslos läuft, entwickeln die Forschenden Software-Lösungen, die komplexe Produktionsnetzwerke koordinieren.

Ein Beispiel für den Einsatz von Produktionsnetzwerken ist die Pharmaindustrie: Arzneimittelhersteller vergeben Teile ihrer Produktion an spezialisierte Unternehmen (Contract Management Organizations, CMO). Durch eine gute Planung werden Produktionsmengen, Produktausprägungen und das Zeitmanagement der zusammenarbeitenden Unternehmen koordiniert. »Wenn es um die zuverlässige Versorgung mit lebenswichtigen Medikamenten geht, sollte man nichts dem Zufall überlassen«, sagt Dr. Heiner Ackermann. »Unsere Software-Lösungen sind optimal auf die Bedürfnisse des jeweiligen Auftraggebers zugeschnitten.

Mit Mathematik zur gerechteren Personalplanung

Wer die Dienstplanung in einem Krankenhaus verantwortet, der sorgt dafür, dass Kranke jederzeit durch medizinisches Fachpersonal versorgt werden. Auch an Wochenenden und Feiertagen. »Diese Dienste sind oft weniger beliebt als andere, aber sie müssen besetzt werden«, so Ackermann. Für die Einsatzplanung des ärztlichen Personals der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsklinik Heidelberg entwickelt ein Team daher eine maßgeschneiderte Software-Lösung auf der Grundlage mathematischer Modelle und Optimierungsalgorithmen.

»Der Anspruch ist es, die individuellen Wünsche der Mitarbeitenden in der Dienstplanung zu berücksichtigen und eine Plattform zu schaffen, die die bislang händische Planung automatisiert und dabei für eine rollierende Fairness sorgt«, erklärt Ackermann. Bislang nimmt dieser Prozess viel Zeit hochqualifizierten Personals in Anspruch. Ziel ist es, den manuellen Planungsaufwand deutlich zu reduzieren. »Das ist ein spannender Einsatz von Mathematik, die hier für mehr Gerechtigkeit sorgen kann, weil die Planung datenbasiert durchgeführt wird. Wichtig ist aber auch: Sie ersetzt nicht den Dialog zwischen den Menschen, die miteinander arbeiten und sich letztlich einig sein müssen.«

Kontakt

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



www.itwm.fraunhofer.de/produktionsplanung



© Fraunhofer-Gesellschaft

Die Expertise unserer Forschenden ist in zahlreichen Projekten der chemischen Industrie und der Pharmazie gefragt.

Mathematische Methode erstmals auf Chemie übertragen

Sei es das Design einer technischen Anlage oder die Frage nach einer optimalen Steuerungsstrategie eines bestimmten Arbeitsschritts, fast niemals sind solche Fragen isoliert zu beantworten. Sie müssen im Kontext vieler verschränkter Prozesse und Abläufe betrachtet werden. In der Verfahrens- und Prozesstechnik liegt der Fokus an unserem Institut in der Abteilung »Optimierung – Technische Prozesse« besonders in den Branchen und Anwendungsfeldern der Chemie, Pharmazie und Biotechnologie.

Ein aktuelles Kooperationsprojekt mit der BASF SE widmet sich der Optimierung von Gesamtverfahren in der chemischen Industrie. »Eine zentrale Frage, die uns immer wieder beschäftigt: Wie berücksichtigt man Unsicherheiten beim Prozessdesign und in der Betriebsführung?«, sagt Prof. Dr. Michael Bortz. »Die Methoden zu einer solchen Einschätzung sind in der Mathematik bekannt: Man unterscheidet zwischen »Here-and-Now«- und »Wait-and-See«-Variablen, die Entscheidungen zur Prozessgestaltung oder auch zum tatsächlichen Betrieb beschreiben.« Hinzu kommt, dass es typischerweise konkurrierende Ziele in nahezu jedem Prozess gibt – wie etwa Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit oder Qualität. Dies führt dies zu mehrkriteriellen, zweistufigen Optimierungsproblemen.

Erstmals wenden unsere Forschenden in dem Projekt diese mathematischen Konzepte für die Chemie an: Gemeinsam mit der BASF SE wurden die Methoden für deren Fließbildsimulator Chemasim verfügbar gemacht, um auf Unsicherheiten im Betriebsablauf besser reagieren zu können.

Optimierung von Gesamtverfahren in der chemischen Industrie

In einem weiteren Projekt geht es nicht um die konkrete Betriebsführung, hier setzen unsere Forschenden früher an und unterstützen bei der Entscheidung: Welche Apparate und Anlagen werden zur Trennung von Stoffgemischen benötigt? Ausgangspunkt der Überlegungen sind hier bestimmte Eigenschaften eines Stoffgemischs, die genutzt werden sollen. Die Mathematik liegt in der Beschreibung der Stoffeigenschaften: »Das ist mindestens so viel Physik und Mathematik wie Chemie«, sagt Bortz. Um aus einem Stoffgemisch bestimmte Stoffe zu extrahieren, müssen unterschiedliche Siedepunkte berücksichtigt werden. »Wir erstellen eine Software, die Ingenieur:innen im Design komplexer Trennprozesse unterstützt. Dazu wird vorher die Topologie des Phasendiagramms erfasst und darauf basierend Apparateverschaltungen vorgeschlagen.«

Kontakt

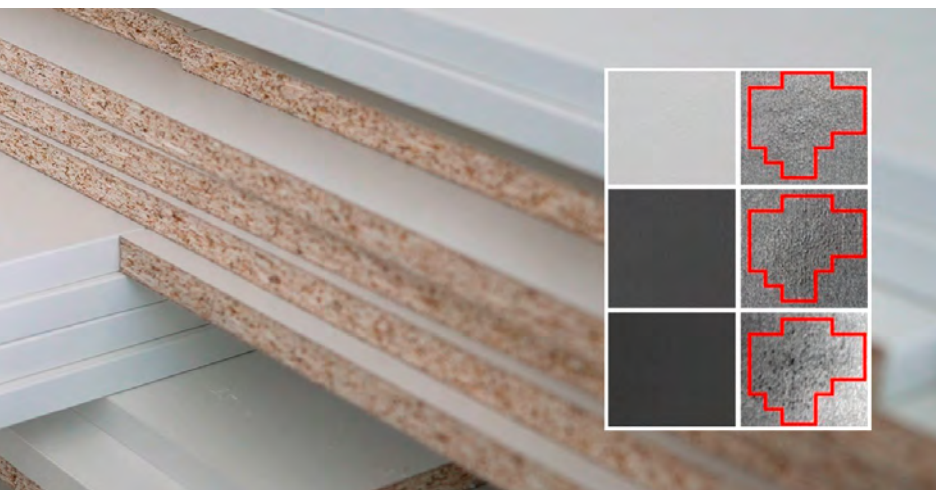
Prof. Dr. Michael Bortz
Abteilungsleiter »Optimierung –
Technische Prozesse«
Telefon +49 631 31600-4432
michael.bortz@itwm.fraunhofer.de



www.itwm.fraunhofer.de/verfahrenstechnik-chemie

Für bessere Qualitätskontrollen – Oberflächeninspektion für Holzplatten

Bei den meisten Industrieprodukten spielt die Qualität der Oberflächen eine entscheidende Rolle: In der Abteilung »Bildverarbeitung« werden neue Methoden entwickelt, um das Erkennen von Fehlern auf Oberflächen in der Produktion zu automatisieren.



Ein benutzungsdefiniertes Tool ermöglicht die detaillierte Darstellung von Auffälligkeiten.

Ein Anwendungsbeispiel aus der Forschungspraxis ist das Inline-Inspektionssystem für Regalplatten. Es soll in der Produktion von Holzplatten zukünftig die manuelle Inspektion ersetzen. Dabei nutzen unsere Forschenden verschiedene Bildaufnahme- und Bildverarbeitungstechniken. So stellen sie eine hohe Erkennungsrate von Defekten sicher und werden gleichzeitig den gestiegenen Produktionsanforderungen und Forderungen an Nachvollziehbarkeit von Qualitätsentscheidungen gerecht.

»Unsere Technologie ermöglicht es, Oberflächen in Echtzeit zu analysieren und sofortige Rückmeldungen an die Produktion zu geben«, erklärt Ansprechpartnerin Dr. Henrike Stephani. »Dies reduziert nicht nur Ausschuss, sondern spart auch Zeit und Kosten für die Hersteller. Damit erhöht sich auch die Wettbewerbsfähigkeit.«

Maschinelles Lernen kommt zum Einsatz

Die Forschenden nutzen hybride Methoden, die klassische Bildverarbeitung mit Künstlicher Intelligenz (KI) kombinieren und ermöglichen durch diese Kombination einen stabilen industriellen Einsatz von aktuellen KI-Methoden. So können selbst kleinste Unregelmäßigkeiten sicher erkannt werden, die für das menschliche Auge kaum sichtbar sind. »Wir setzen auf eine KI-gestützte Analyse, die sich kontinuierlich weiterentwickelt und an die spezifischen Anforderungen der Kunden anpasst«, so Stephani weiter. Dies stellt sicher, dass die Holzplatten nicht nur ästhetisch ansprechend, sondern auch funktional einwandfrei sind.

Einblick in den umfangreichen Fehlerkatalog

Im Falle der Regalplatten bestehen die Produktvarianten aus einfarbigen Paneelen sowie Holzdekor. Die Platten haben unterschiedliche Größen. Der Fehlerkatalog umfasst zahlreiche typische Fehler, zu diesen gehören Kratzer, Löcher, Verfärbungen, Leimüberschüsse oder Linien. Insbesondere für die holzartigen Dekore mit unregelmäßigen Mustern ihrer Oberflächen bietet es sich an, mit einem Deep-Learning-Algorithmus zu arbeiten. Das am Fraunhofer ITWM entwickelte System erreicht hohe Präzisionswerte für verschiedene Defektkategorien.

Kontakt

Dr. Henrike Stephani
Stellvertretende Abteilungsleiterin
»Bildverarbeitung«
Telefon +49 631 31600-4365
henrike.stephani@itwm.fraunhofer.de

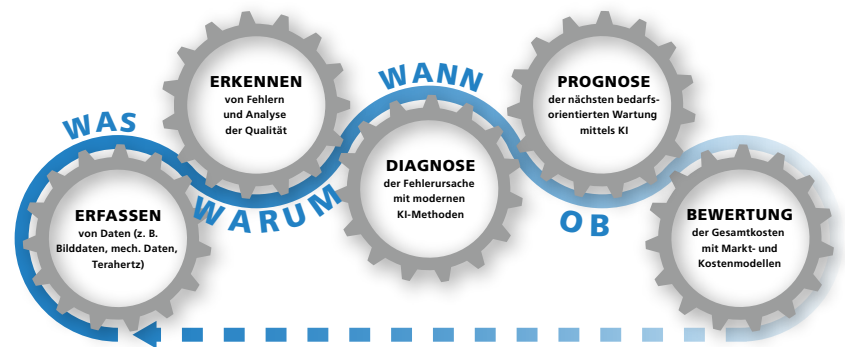


www.itwm.fraunhofer.de/holzplatten-ki

Kosten reduzieren durch vorausschauende Instandhaltung

Außerplanmäßige Reparaturen sind dreimal so teuer und aufwändig wie geplante Instandhaltungsmaßnahmen. Maschinenausfälle verursachen vermeidbare Opportunitätskosten sowie unnötigen Ausschuss. Eine vorausschauende Instandhaltungsplanung (Predictive Maintenance) vermeidet diese Probleme.

Am Fraunhofer ITWM gibt es durch zahlreiche bereits umgesetzte Systeme eine hohe Expertise, um Produktionslinien in der Instandhaltung und Qualitätsüberwachung effizienter und kostenoptimal zu betreiben. Auf die Maschine angepasste Lösungen helfen zahlreichen Unternehmen dabei, die Möglichkeiten der Digitalisierung für sich zu nutzen und sie in die industrielle Praxis zu überführen.



Das leistet »Predictive Maintenance«

- Produktionsausfall und Ausschuss durch ungeplante Stillstände vermeiden
- Nötige Ausfallzeiten rechtzeitig zu produktionsfreien Zeiten planen
- Ersatzteile, Werkzeuge und Experten zur schnellen Instandsetzung parat haben
- Geringere manuelle Aufwände durch digitalisierte Inspektionen
- Effektivere und zuverlässigere Anlagen

»Predictive Maintenance ermöglicht es, unnötige Reparaturen, Folgeschäden und dadurch entstehenden Stress zu vermeiden«, erklärt Benjamin Adrian. »Die kontinuierliche Überwachung von Maschinen hilft nicht nur, deren Lebensdauer zu verlängern, sondern auch die Qualität der produzierten Waren zu sichern. Wenn Maschinen reibungslos laufen, hat das direkte Auswirkungen auf die Produktqualität. Darüber hinaus wird die Arbeitssituation der beteiligten Mitarbeitenden erheblich verbessert.«

Die Module umfassen ausleihbare Messsysteme, das Erheben bzw. die Analyse von Daten, die Erstellung von Zustandsmonitoren, RUL-Prognosen, Soll-Ist-Vergleichen und das kaufmännische Erstellen von Markt- und Kostenmodellen, sowie eine kombinierte automatisierte Qualitätsanalyse.

Durch »Condition Monitoring« beispielsweise wird der Betriebszustand von Maschinen digital überwacht. Intelligente Algorithmen werten die gesammelten Daten aus, die präzise Vorhersagen über den Wartungsbedarf liefern. Dies ermöglicht eine bedarfsorientierte Wartung anstelle von festen Intervallen.

Modularer Einstieg möglich

Die Forschenden am Fraunhofer ITWM unterstützen Unternehmen dabei, die Effektivität von Anlagen zu steigern. Dabei greifen sie auf vorhandene Module zurück und passen sie auf die Anforderungen des Kunden an.

Kontakt

Dr. Benjamin Adrian
Geschäftsfeldkoordinator
»Condition Monitoring und Predictive Maintenance«
Telefon +49 631 31600-4943
benjamin.adrian@itwm.fraunhofer.de



Mehr Effizienz, Qualität und Nachhaltigkeit für die Produktion von Batterien

Die Nachfrage nach leistungsfähigen Energiespeichern wächst, genauso wie das Bestreben nach Unabhängigkeit von internationalen Märkten. Daher arbeiten wir am Fraunhofer ITWM daran, mit unseren digitalen Methoden die Qualität und Effizienz der Batteriezellfertigung zu optimieren – insbesondere im Hinblick auf die Elektromobilität.

An unserem Institut entwickeln wir Software-Tools, mit denen wir auch die Produktionsprozesse von Lithium-Ionen-Zellen und Batteriepacks verbessern und die Entwicklung neuer Batterietechnologien vorantreiben können. Abteilungsübergreifend bringen im Projekt »DiBaZ« unsere Forschenden ihre Expertise ein. Ein Ziel ist es, einen Digitalen Zwilling für alle Prozessschritte der Batteriefertigung zu entwickeln. Wir können umfassende Modelle anbieten, die Prozesse aus der Batterieproduktion simulieren, eine zerstörungsfreie Qualitätskontrolle ermöglichen sowie Energiemanagement mit prädiktiver Regelung beinhalten.

Simulation einzelner Prozessschritte der Batterieproduktion

Die Produktion von Batterien besteht aus einer Reihe komplexer Prozesse, die von der Elektrodenfertigung über die Zelleassemblierung bis hin zur Modul- und Packmontage reichen. Um diese Produktionsprozesse zu optimieren, haben wir unsere Simulationstechniken weiterentwickelt und können diese für die wesentlichen Prozesse der Zellproduktion einsetzen. Dazu gehört das Mischen der sogenannten Elektrodenslurries, einer Mischung aus granularen Ausgangsstoffen und Lösungsmittel, für die beiden Elektroden-schichten, sowie die Trocknung, Kalandrierung und die Elektrolytbefüllung von Zellen. Auch beim Ausschäumen von Batteriemodulen führen die Simulationen unserer Software zu mehr Effizienz.

Elektrochemische Simulation zur Zellauslegung, Analyse und Performancevorhersage

Mit unserer Software BEST führen wir die physikbasierte, dreidimensionale Simulation von Lithium-Ionen-Batterien durch. »Unser Simulationstool BEST ist ganz vielfältig einsetzbar: Zum Beispiel können wir damit die Zelleistung prognostizieren, die Zelle sowohl auf mikroskopischer Elektrodenoberfläche als auch auf makroskopischer Zellebene virtuell designen. Wir können Ladestrategien optimieren oder Alterungs- und Degradationsphänomene untersuchen,« erklärt Jochen Zausch, Teamleiter »Elektrochemie und Batterien«.

Qualitätskontrolle durch zerstörungsfreie Prüfung

Für die optimale Leistung von Batterien muss die Beschichtung der Batteriefolie hohe Anforderungen an Dicke und Homogenität erfüllen. Die kontinuierliche Überwachung dieser Materialparameter ist entscheidend für die Produktqualität. Um sie inline bereits während der Produktion zu überwachen, haben unsere Forschenden unsere Terahertz-Messtechnik weiterentwickelt.

Die Messungen werden inline an ein- und mehrlagigen Beschichtungen an verschiedenen Stellen im Nass- oder Trockenprozess durchgeführt. »Terahertz ist immer berührungslos und



Im Projekt »DiBaZ« (Digitale Methoden zur Produktion und Anwendung von Batteriezellen) entwickeln wir abteilungsübergreifend einen Digitalen Zwilling für alle Prozessschritte der Batterie-fertigung – von der Elektrodenfertigung über die Qualitätskontrolle bis hin zum Energiemanagement der Produktion.

zerstörungsfrei, ist geeignet für die Anoden- und Kathodenbeschichtung und ist unbedenklich für die Gesundheit – aufwendige Strahlenschutzvorkehrungen sind also nicht notwendig«, erläutert Dr. Joachim Jonusch, stellvertretender Abteilungsleiter »Materialcharakterisierung und -prüfung«, die Vorteile der Dickenmessung von Beschichtungen mit Terahertz-Technologie.

Energiemanagement und prädiktive Regelung

Auch um den Energieeinsatz vorausschauend zu steuern, haben wir für verschiedene Abschnitte der Batteriefertigung Digitale Zwillinge entwickelt. Diese Modelle simulieren das Verhalten der Maschinen und ermöglichen präzise Vorhersagen zum Energiebedarf. Besonders im Formierungsprozess stimmt unsere prädiktive Regelung die Lade- und Entladezyklen optimal aufeinander ab – entsprechend der gewünschten Verbrauchskurve. So lassen sich Lastspitzen gezielt vermeiden oder in

Zeiten mit hohem Anteil erneuerbarer Energien verlagern. Auch Photovoltaikanlagen und Energiespeicher können wir flexibel einbinden.

Fraunhofer-Allianz Batterien: Lösungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette

In der Fraunhofer-Allianz Batterien vereinen wir mit Expertinnen und Experten von 25 anderen Fraunhofer-Instituten unsere Kompetenzen im Bereich der Batterietechnologie. Ziel dabei ist der schnelle Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Industrie und damit in den Markt. Dafür erarbeiten die Mitgliedsinstitute der Fraunhofer-Allianz Batterien im direkten Kundenauftrag oder in geförderten Projekten zusammen mit der Industrie technische und konzeptionelle Lösungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Energiespeicher – von der Materialentwicklung bis zur Systemintegration mobiler und stationärer elektrochemischer Speichersysteme.

Kontakt

Dr. Jochen Zausch
 Teamleiter »Elektrochemie und Batterien« in der Abteilung
 »Strömungs- und Materialsimulation«
 Telefon +49 631 31600-4688
 jochen.zausch@itwm.fraunhofer.de



www.itwm.fraunhofer.de/DiBaZ

Textilindustrie: Simulation des Spinnprozesses

Der Maschinenbau ist ein Grundpfeiler der deutschen Wirtschaft und spielt eine entscheidende Rolle in der Förderung von Innovation und technologischer Entwicklung in vielen Branchen. Besonders die Textilbranche steht vor der Herausforderung, sich kontinuierlich an die Anforderungen der Globalisierung, Nachhaltigkeit und an den rasanten Fortschritt der Digitalisierung anzupassen. Digitale Simulationen sind dabei unverzichtbare Werkzeuge, um Produktionsprozesse zu optimieren, Designalternativen zu testen und die Effizienz zu steigern.

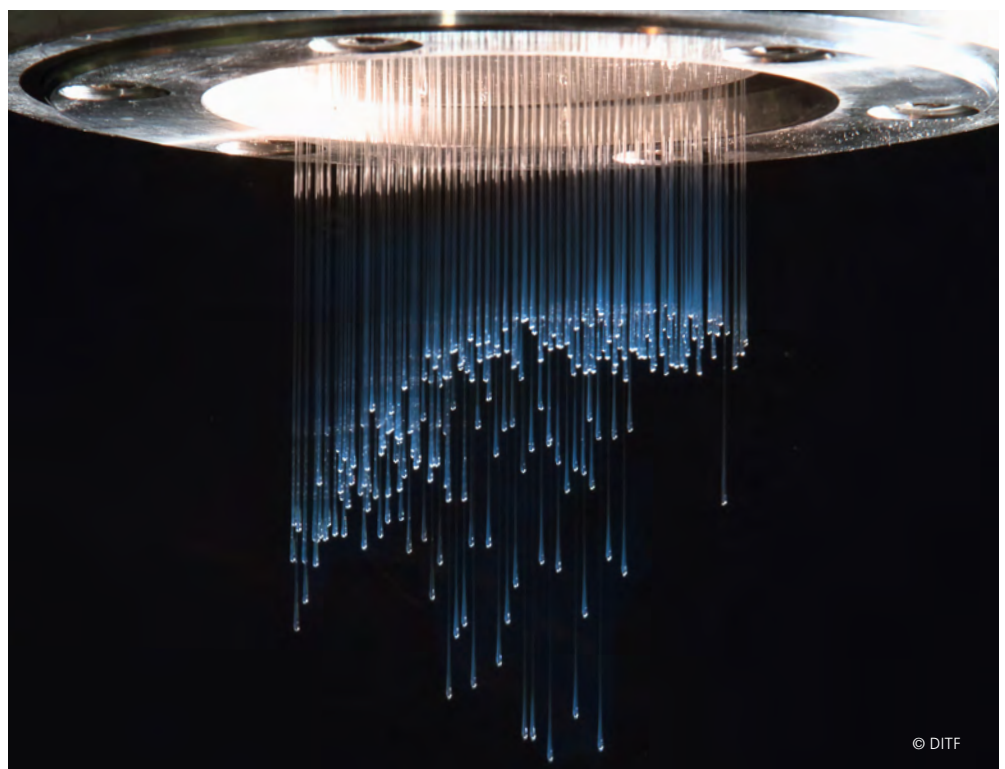
Ein zentrales Ziel von VISPI (Virtuelles Spinnen) ist es, die Flexibilität der Textilproduktion zu erhöhen. Die Fähigkeit, schnell auf Marktveränderungen zu reagieren, ist auch für diese Branche entscheidend. Das virtuelle Spinnen ermöglicht es Unternehmen, den Einfluss verschiedener Prozesseinstellungen zu testen, ohne dass dafür physische Prototypen erstellt werden müssen. »Wir möchten den Herstellern helfen, ihre Produktentwicklung zu beschleunigen

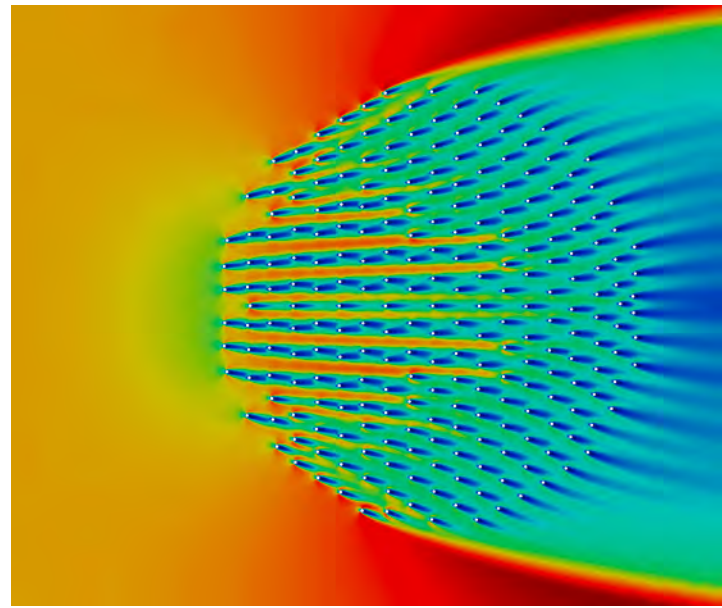
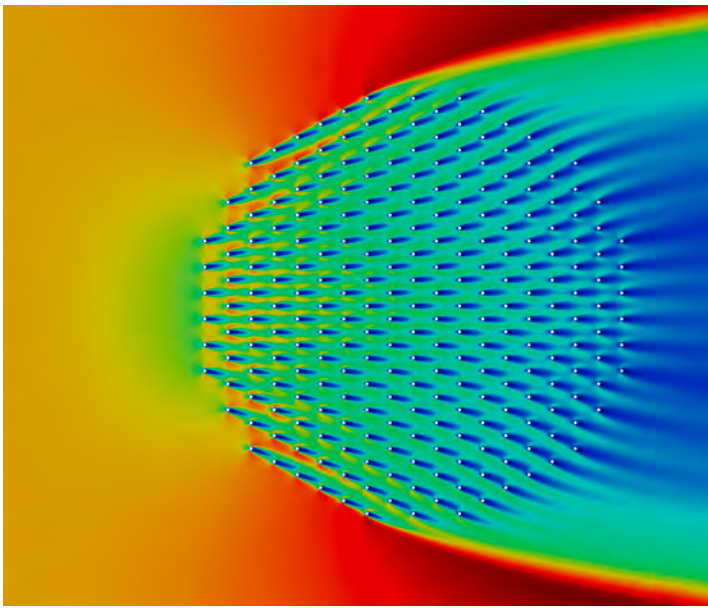
und gleichzeitig Kosten zu senken«, erklärt Dr. Walter Arne, der die Software mitentwickelt.

Tests ohne physische Prototypen

VISPI nutzt modernste digitale Technologien, um den Spinnprozess virtuell zu simulieren. Dadurch können die Eigenschaften von Fasern bereits in der Planungsphase digital abgebildet

VISPI optimiert
Spinnprozesse vor
der eigentlichen
Produktion





Eine optimierte Anordnung der Lochpositionen verbessert die Durchströmung und somit die Abkühlung der Filamente erheblich.

und analysiert werden. Die Simulation des Spinnvorgangs erlaubt es auch, den Einfluss verschiedener Prozessparameter auf die Qualität der Fasern zu untersuchen. »Durch die virtuelle Simulation können wir den Spinnprozess optimieren, noch bevor die eigentliche Produktion beginnt«, so Arne. Diese Herangehensweise kann die Zeit bis zur Markteinführung neuer Textilprodukte signifikant verkürzen und gleichzeitig die Qualität bestehender Spinnprozesse deutlich verbessern.

Software-Tool »cashocs« ermöglicht Optimierung von Spinndüsen

Beim Herstellungsprozess synthetischer Fasern wird die Polymerschmelze durch feine Düsen gepresst, so zu Fasern versponnen und dann durch Kaltluftströmung ausgehärtet. VISPI simuliert ab der Spinndüse bis zur ersten Gallette und berücksichtigt auch die Zufuhr des Luftstroms zum Kühlen der Fasern. »Wir simulieren am Fraunhofer ITWM aber nicht nur verschiedene Spinnverfahren, sondern konnten kürzlich auch ein neues Tool zur Designoptimierung von Düsen in unsere Untersuchungen

integrieren«, berichtet Arne. Gemeint ist die Software-Lösung cashocs, die im Rahmen der Doktorarbeit seines Kollegen Dr. Sebastian Blauth entstanden ist. Mit cashocs wird die Düse selbst, aus der die Fasern herauskommen, optimiert. Dafür wird die Luftströmung um die Fasern detailliert simuliert und deren Anordnung mit mathematischen Optimierungsmethoden verbessert. »Für die Produktqualität ist eine gleichmäßige Kühlung der Fasern wichtig, damit alle Fäden möglichst einheitliche Eigenschaften aufweisen«, erklärt Blauth.

Durch die Optimierung mit cashocs entstehen zum Beispiel Gassen in der Faseranordnung, durch welche die Kühlluft auch die oft schlecht gekühlten hinteren Fäden erreichen kann. Die Optimierung verändert dazu die Anordnung der Fäden, sodass alle die effektivste Kühlung an der richtigen Stelle erhalten – dafür müssen die Austrittsstellen in der Düse an anderen Positionen gebohrt werden. »Die Optimierung mit cashocs gibt klare Handlungsempfehlungen, die recht einfach umzusetzen sind und eine große Auswirkung auf die Qualität des Spinnprozesses haben.«

Kontakt

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



Kontakt

Dr. Sebastian Blauth
Abteilung »Transportvorgänge«
Telefon +49 631 31600-4968
sebastian.blauth@itwm.fraunhofer.de



Gitterfreie Rechensoftware – komplexe Prozesse zeitsparend abbilden

Ob im Automotive-Bereich oder in der Produktion: Simulationen und Digitale Zwillinge sind für viele Unternehmen unverzichtbar. Weil hochdynamische Prozesse mit herkömmlicher Software oft nicht zufriedenstellend abgebildet werden können, haben Forschende unseres Instituts mit dem Tool MESHFREE eine Lösung entwickelt, die ohne starres Rechengitter arbeitet und in der Lage ist, komplexe Abläufe mit großer Zeitersparnis und damit kostengünstig zu simulieren. Dafür wurden sie mit dem Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2024 ausgezeichnet.

Starre Vorgaben passen selten zu agilen Prozessen – was für Organisationen zutrifft, gilt auch für Simulationsmethoden. Sollen komplexe Vorgänge wie zum Beispiel Aquaplaning oder die Zerspanung von Metall virtuell abgebildet werden, lassen sich vorab nicht alle Bewegungen der Komponenten vorhersehen und in einem passenden Rechengitter, wie es für Simulationen üblicherweise verwendet wird, anlegen.

teilweise erstmals, besonders komplexe und dynamische Situationen in der Simulation zu zeigen. Sämtliche seither erzielten Forschungsergebnisse flossen in das Software-Tool MESHFREE ein. Das Resultat ist ein Simulationstool mit einem echten Alleinstellungsmerkmal: Weltweit macht kein anderes Simulationswerkzeug die Generalisierte Finite-Differenzen-Methode (GFDM) industriell nutzbar.

MESHFREE ersetzt den realen Versuch

Vor dieser Herausforderung stand vor über 20 Jahren eine Forschungsgruppe am Fraunhofer ITWM. »Unsere allererste Aufgabe im Projektteam bestand darin, die Entfaltung eines Airbags während des Fahrzeug-Crashes zu simulieren«, berichtet Dr. Jörg Kuhnert, bereits damals Teil der Gruppe. »Bis auf real durchgeführte, kostenintensive Crashtests gab es damals keine Möglichkeit, die Sicherheit von Neuentwicklungen in diesem Bereich schnell zu überprüfen.« Denn: Je mehr Objekte sich in einer Situation bewegen und miteinander interagieren, desto schwieriger ist es, sie unter vertretbarem Aufwand mit klassischen Simulationsmethoden zuverlässig abzubilden.

Basierend auf der Dissertation von Jörg Kuhnert entwickelte das Team – seit dem Jahr 2012 auch unter Mitarbeit von Dr. Isabel Michel im Schwerpunkt Freistrahlturbinen – daher den innovativen gitterfreien Ansatz. Dieser ermöglicht es

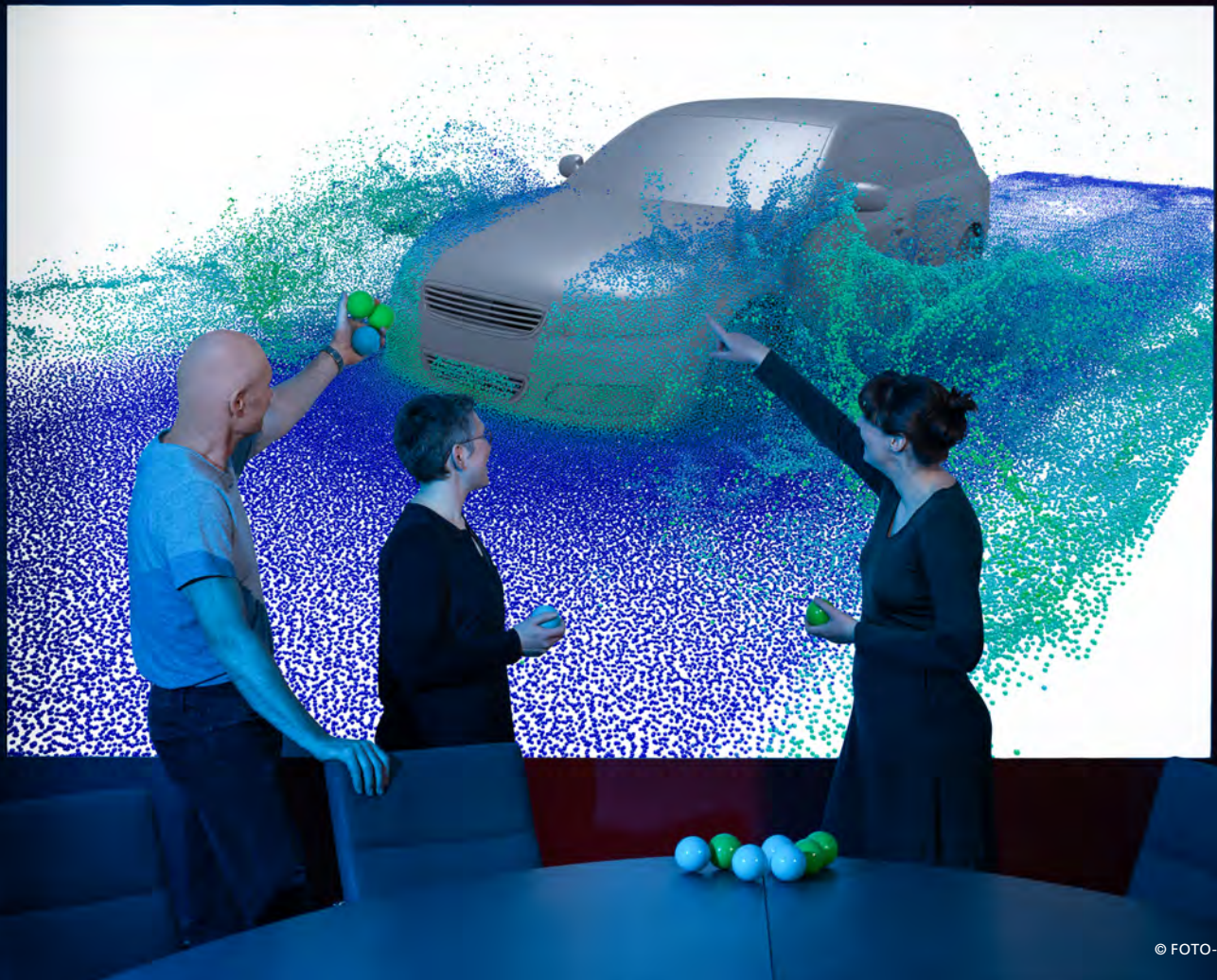
Flexible Methode für dynamische Prozesse

Klassischerweise kommt bei Simulationen die Finite-Elemente-Methode zum Einsatz: Ingenieurinnen und Ingenieure konstruieren dafür ein Gitternetz passend für die jeweilige Geometrie und berechnen darauf aufbauend die Veränderungen in jedem einzelnen Element. Bereits das Aufsetzen der Gitterstruktur ist sehr zeitaufwändig; auch während der Simulation muss sie immer wieder angepasst werden. Die Software MESHFREE kombiniert dagegen die GFDM zur Lösung der Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls und Energie mit effizienten Algorithmen zur Lösung linearer Gleichungssysteme, die vom Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAL mitentwickelt wurden – ein gewaltiger Vorteil, denn die verwendete numerische Punktwolke ist dazu in der Lage, sich flexibel an bewegliche Geometrien anzupassen. Aufwändige Nachkorrekturen im Rechengitter entfallen.

Kontakt

Dr. Jörg Kuhnert
Stellvertretender Abteilungsleiter
»Transportvorgänge«
Telefon +49 631 31600-4448
joerg.kuhnert@itwm.fraunhofer.de





© FOTO-by-SOUSA

Von Automotive bis Verfahrenstechnik – und darüber hinaus

Die ausgezeichnete Methodik lässt sich für eine große Bandbreite von Anwendungen einsetzen. Ein Schwerpunkt liegt aktuell im Automotive-Bereich: Neben der Airbag-Simulation konnten die Forschenden ihre Industriepartner bislang unter anderem mit Modellierungen von Wasserdurchfahrten oder des Verhaltens von Fahrzeugen auf Sand oder Kies unterstützen. In der Verfahrenstechnik half MESHFREE Unternehmen dabei, die Prozessparameter bei der Verarbeitung von Glasschmelze sowie der Herstellung von Kunststoffteilen zu optimieren.

Grundsätzlich lässt sich die Methode überall dort nutzen, wo Messungen oder Versuche ersetzt werden sollen oder nur schlecht bis gar nicht funktionieren. Isabel Michel fasst zusammen: »Wir sind nicht fixiert auf die klassischen

Anwendungsfälle der numerischen Strömungsmechanik. MESHFREE kann viel mehr: Das Tool ist bewusst generisch gehalten.« Die Software besitzt also großes Potenzial, in Zukunft noch in vielen weiteren Anwendungsfeldern Kosten, Zeit und Material zu sparen.

Joseph-von-Fraunhofer-Preis

Für ihre Entwicklung, die reale Versuche ersetzen kann, erhielten Dr. Jörg Kuhnert und Dr. Isabel Michel den Joseph-von-Fraunhofer-Preis 2024.

Seit 1978 verleiht die Fraunhofer-Gesellschaft jährlich Preise für herausragende wissenschaftliche Leistungen ihrer Mitarbeitenden, die anwendungsnahe Probleme lösen. 2024 wurden drei Preise mit jeweils 50 000 Euro an Gruppen mit Forschenden aus unterschiedlichen Instituten vergeben.

Kontakt

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



www.itwm.fraunhofer.de/meshfree