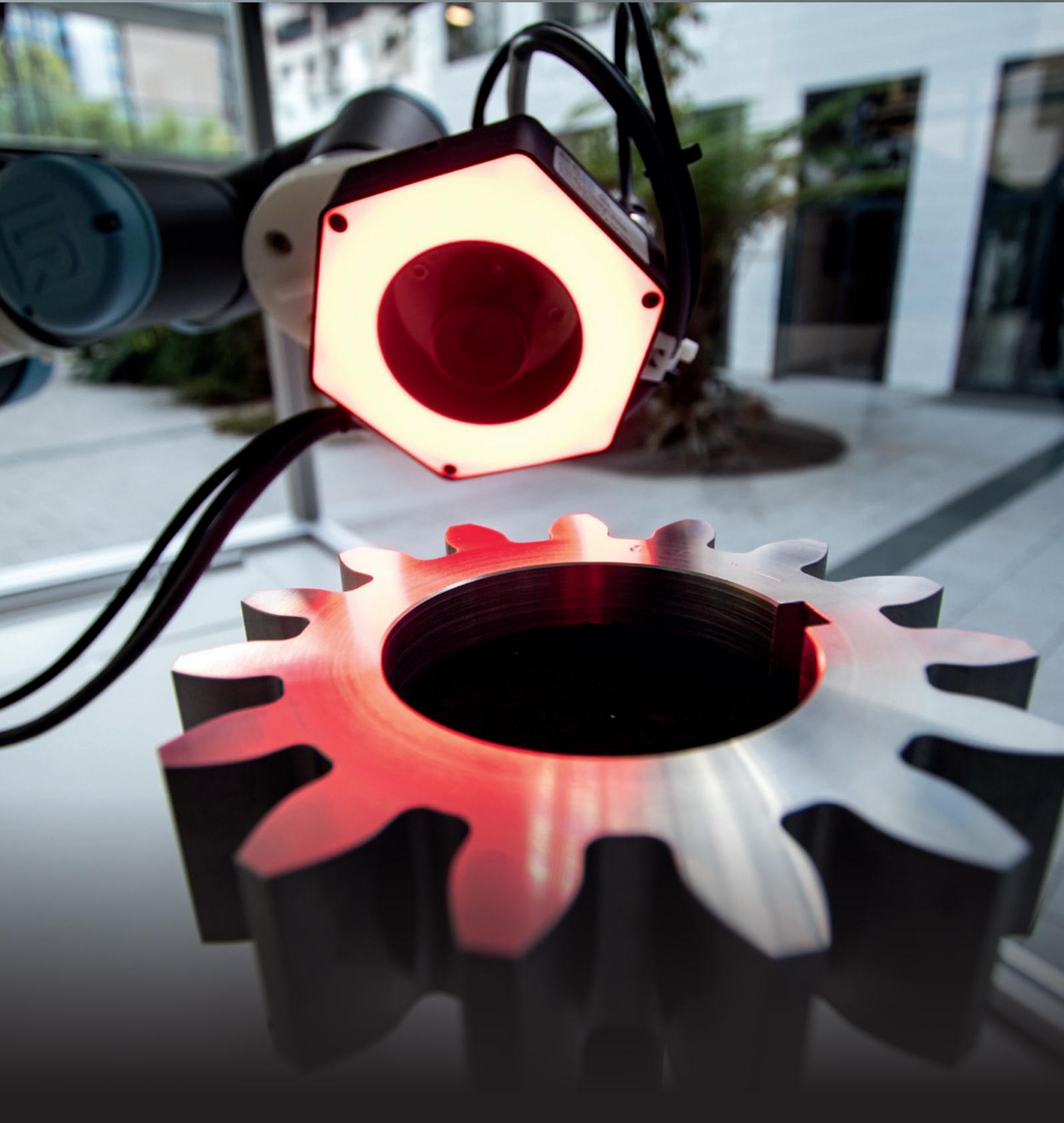




# BILDVERARBEITUNG





## MASSGESCHNEIDERTE BILDANALYSE FÜR DIE PRODUKTION UND ANALYSE VON MIKROSTRUKTUREN

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

Die Anwendungsgebiete umfassen insbesondere anspruchsvolle Oberflächenprüfungen und Analyse von Mikrostrukturen. Unser großes Algorithmen-Portfolio ermöglicht es uns, auch Bildverarbeitungsaufgaben zu lösen, für die kommerziell verfügbare Systeme noch nicht oder nur zum Teil eingesetzt werden können. Für diese Fragestellungen erarbeiten wir maßgeschneiderte anspruchsvolle Bildverarbeitungslösungen.

Maschinelles Lernen ist in der Abteilung seit Jahren fester Bestandteil vieler Projekte und Forschungstätigkeiten. Im Bereich Oberflächeninspektion sind zudem zunehmend Hybride aus »klassischen« Bildverarbeitungsalgorithmen und Lernansätzen im Einsatz. Lernverfahren benötigen eine hohe Anzahl annotierter Daten, die in einem Industrieprojekt meist weder finanziert noch generiert werden können. Deshalb nutzen wir modellbasierte Lernverfahren (model-based machine learning): Wir modellieren Eigenschaften der zu findenden Objekte und nutzen diese Modellierung als Teilinput für automatisierte Verfahren.

Auch die Beratung nimmt einen großen Stellenwert ein, zum Beispiel zur Hardware-Konfiguration bei der Konzeption von Bildverarbeitungssystemen oder zur Integration zusätzlicher Komponenten in ein bereits bestehendes System, aber auch unabhängige Beratung im Bereich optische Qualitätskontrolle oder bei der Algorithmenentwicklung.

### Kontakt

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

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

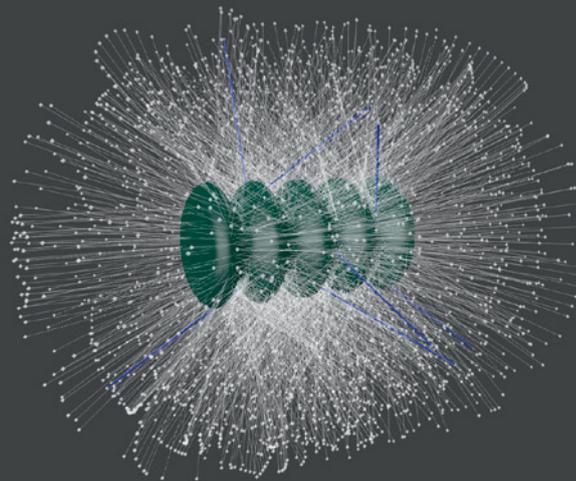


---

## SCHWERPUNKTE

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





1

1 CAD-Modell eines Testobjektes mit Kamerablickpunkt-Kandidaten (weiß) und den im Optimierungsschritt ausgewählten finalen Blickpunkten (blau)

## VIRTUELLE BILDVERARBEITUNG

Fabriken werden immer stärker automatisiert. Produktionsanlagen werden flexibler, sodass bei der Umstellung auf neue Produkte keine neuen Anlagen gebaut werden müssen. Die Qualitätskontrolle wird dabei jedoch oft vernachlässigt. Inspektionssysteme dagegen sind immer noch starr und müssen mit viel Aufwand für spezifische Produkte konstruiert werden. Einen neuen Weg geht die virtuelle Bildverarbeitung.

Ein Prüfsystem besteht aus vielen Hardwarekomponenten, die typischerweise von erfahrenen Ingenieuren auf Basis physischer Tests ausgewählt und parametrisiert werden. Neue Systeme werden iterativ entwickelt. Experten entwerfen ein initiales System, das anschließend solange modifiziert wird, bis es das Produkt ausreichend genau inspizieren kann. Diese Tests verschiedener Hardwarelösungen kosten viel Mühe und Zeit – mehrere Stunden pro Testlauf. Daher wird oft eine Konfiguration gewählt, die funktioniert, jedoch nicht annähernd optimal ist. Daran erwachsende Schwächen bei der Bildqualität müssen später algorithmisch ausgeglichen werden.

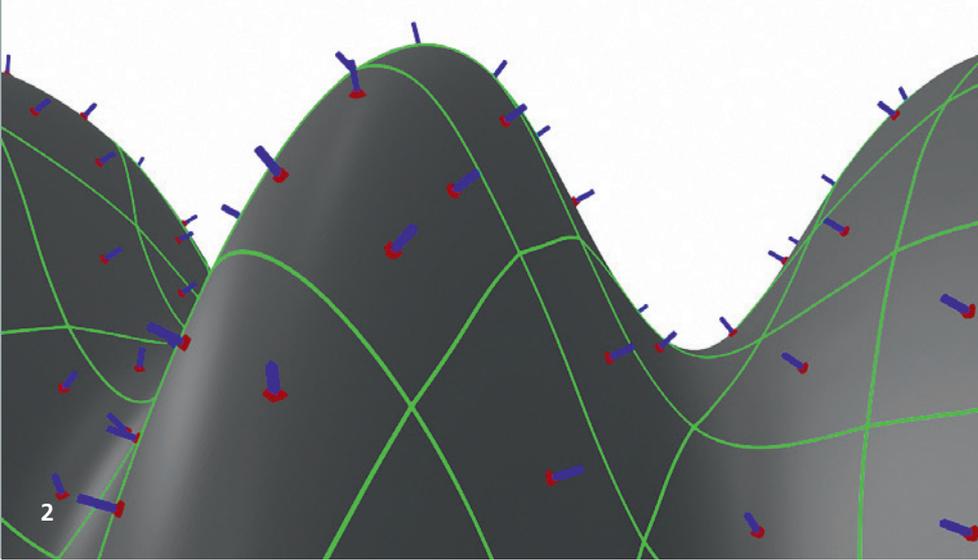
### Digitale Zwillinge erleichtern Qualitätskontrolle

Um diesen Prozess flexibler und effizienter zu gestalten, entwickeln wir ein adaptives, simulationsbasiertes Framework, das den Entwicklungsprozess für Inspektionssysteme revolutionieren wird. In der Zukunft werden industrielle Prüfsysteme mithilfe dieses Frameworks vollständig virtuell entworfen und auf ihre Zuverlässigkeit geprüft.

Für die meisten produzierten Komponenten wird es ein CAD-Modell geben, den sogenannten digitalen Zwilling. Jeder Schritt des Produktionsprozesses wird durch Computer gesteuert werden. Es wird möglich sein, verschiedene Produkte in kleinen Mengen mit der gleichen Anlage herzustellen. Parallel wachsen auch die Anforderungen an die Qualität. Wie muss also ein Prüfsystem in einer solchen Fabrik aussehen? Vor allem muss es sich schnell und ohne großen Aufwand an geänderte Produktionsbedingungen anpassen lassen. Dabei werden mehrere Roboter zum Einsatz kommen, die Freiformflächen und selbst komplizierte Geometrien abbilden können. Das Inspektionssystem der Zukunft kann zudem vorhersagen, mit welcher Sicherheit bestimmte Fehler an verschiedenen Stellen detektiert werden können.

### Virtualisierungskern beinhaltet Planung und Simulation

Auf dem Weg zum kompletten Framework für virtuelle Inspektionsplanung und Bildverarbeitung optimieren wir zunächst die Positionierungen von Produkt und Kamera. Darüber hinaus



entwickeln wir Simulationsalgorithmen, um ausreichend viele Bilder aller zu findenden Defekte zu generieren. An diesen mangelt es häufig gerade da, wo Fehler verheerende Auswirkungen haben können, wie zum Beispiel bei Turbinenscheiben oder Bremsen.

### Multiple Systemkonfigurationen berechenbar

Der Virtualisierungskern des Systems besteht aus den Komponenten Planung und Simulation. Wir simulieren, was die Kamera sieht, und nutzen diese Information, um das Inspektionssystem zu konstruieren. Die Planungskomponente berechnet multiple Systemkonfigurationen, bestehend aus Kamera, Optik, Beleuchtung etc., die der Roboter später für die optimale Inspektion nutzen kann. Der Virtualisierungskern berechnet aus dem CAD-Modell – der Geometrie – des Produkts sowie verschiedenen Prüfparametern wie Fehlerarten, Produktmaterial und Prüfungsgeschwindigkeit mögliche Hardware-Lösungen. Zudem erhält der Nutzer eine Reihe simulierter Bilder, mit denen wiederum das Inspektionssystem während der Entwicklung getestet werden kann.

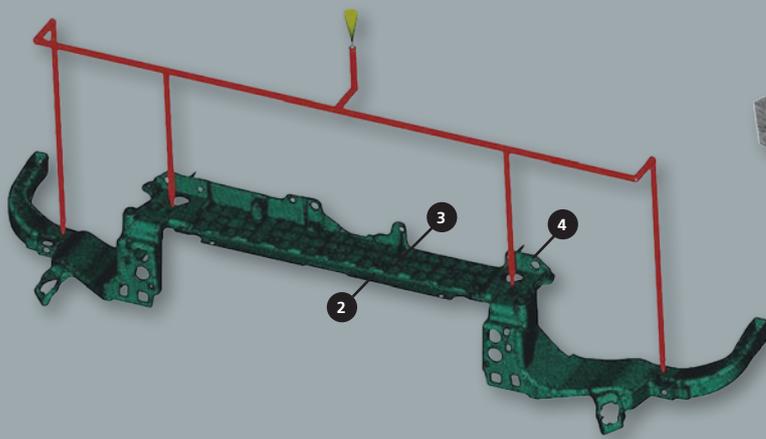
Die Planungskomponente berechnet einen Inspektionsverlauf mit optimaler Abdeckung des Produkts gemäß der vorher festgelegten Anforderungen. Mithilfe der Simulationskomponente ist es möglich, diese Planung auch für geometrisch komplexe Produkte durchzuführen, bei denen die Automatisierung heutiger Systeme bisher scheitert. Dabei werden aus dem CAD-Modell des Produkts die notwendige Beleuchtung sowie eine Liste von Kamerablickpunkten berechnet. Für diesen Prozess wird die gesamte Inspektionsumgebung modelliert und das Verhalten der Sensoren wird unter Verwendung eines physikalisch realistischen Renderings simuliert. Basierend auf diesen Blickpunkten wird dann der Pfad der Kamera geplant.

### Aktueller Forschungsgegenstand: Positionsplanung

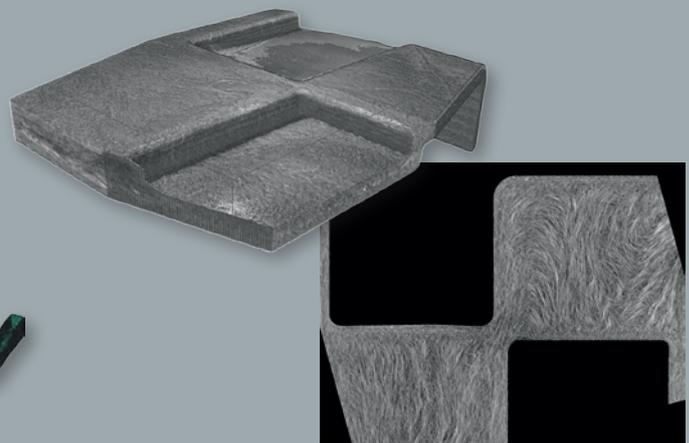
Unser Framework wird derzeit an mehreren Seiten parallel erforscht und entwickelt: parametrische Oberflächenrekonstruktion, aktive modellbasierte Positionsplanung, Kameraobjektivmodellierung, positionsbasierte Fehleraugmentierung und Oberflächenlichtmodellierung. Der Schwerpunkt liegt primär auf der Positionsplanung – dem Rückgrat des Gesamtsystems. Diese kann dann modular erweitert und um neue Funktionalität ergänzt werden, um an produktspezifische Anforderungen angepasst zu werden.

*2 Nahaufnahme der Pivotpunkte für die Kamera-Blickpunkt-Kandidaten; flache Stellen werden durch wenige Punkte abgedeckt, während an stark gekrümmten Regionen mehrere Punkte generiert werden.*





1



2

## ZERSTÖRUNGSFREIE MIKROSTRUKTURANALYSE FÜR BAUTEILE AUS FASERVERSTÄRKTEM KUNSTSTOFF

**1** Langglasfaserverstärkter Träger, Oberflächennetz aus Moldflow

**2 – 4** Volumenrenderings und virtuelle Schnitte der in **1** markierten Bereiche, die mittels Region-of-Interest-Mikro-Computertomografie abgebildet wurden  
Farbig: Orientierungskomponente in Fließrichtung

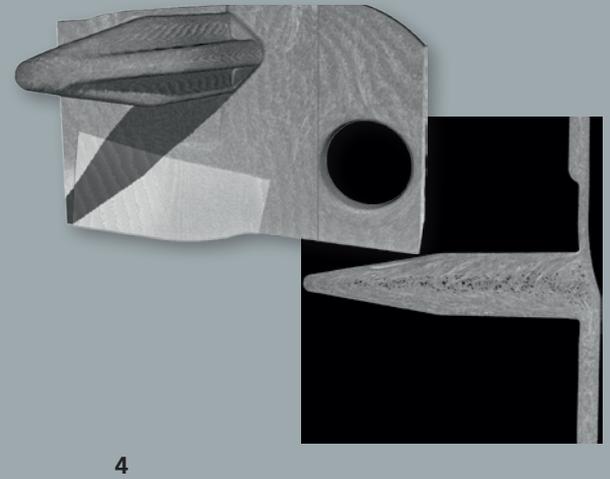
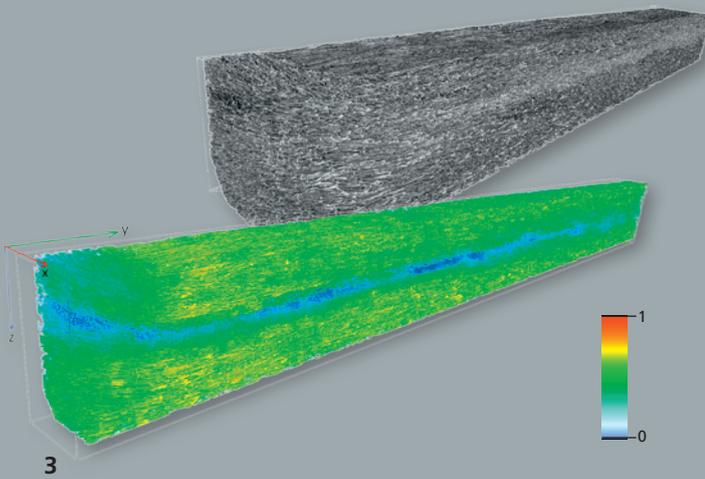
Bauteile aus faserverstärktem Kunststoff ersetzen immer mehr Bauteile, die früher aus Metalllegierungen hergestellt wurden, denn sie sind bei gleichem mechanischem Verhalten leichter und ihr Einsatz spart so Energie. Sie bestehen aus einer Kunststoffmatrix und eingearbeiteten Fasern, meist aus Glas oder Kohlenstoff. Diese Fasern sind mechanisch steifer als der sie umgebende Kunststoff. So ergibt sich im Verbund eine hohe Festigkeit entlang der Fasern. Durch ihr geringes Gewicht sowie ihre hohe spezifische Steifigkeit und Festigkeit sind faserverstärkte Kunststoffe für Leichtbauanwendungen etwa in der Automobil- und Flugzeugproduktion besonders geeignet.

Auf der anderen Seite ist es schwieriger, Bauteile aus Verbundmaterialien belastungsgerecht auszulegen, denn die mechanischen Eigenschaften wie Belastbarkeit und Lebensdauer hängen kritisch von ihrer speziellen Mikrostruktur ab. Im Vergleich zu klassischen Werkstoffen wie Metallen ist dieser Zusammenhang weniger gut verstanden – nicht zuletzt, da die Mikrostruktur schon deshalb komplexer ist, weil sie aus mehreren Komponenten besteht. Zudem variieren wichtige Mikrostrukturkenngrößen produktionsbedingt innerhalb eines Bauteils. Mechanisch stark beanspruchte und sicherheitsrelevante Bauteile müssen deshalb belastbar zerstörungsfrei geprüft werden.

### Fasorientierung beeinflusst Materialeigenschaften

Durch die unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften der Fasern und der Kunststoffmatrix ändern sich je nach Anordnung der Fasern in einer Probe die Materialeigenschaften: Parallel liegende Fasern ergeben eine hohe Zugbelastbarkeit des Verbundes in Faserrichtung, während vollkommen zufällig orientierte (isotrope) Fasersysteme Verbundstoffe ergeben, deren mechanische Belastbarkeit richtungsunabhängig ist. Deshalb sind für das Bauteilverhalten faserverstärkter Kunststoffteile vor allem die lokale Volumendichte und die lokale Orientierung der Verstärkungsfasern entscheidend.

Räumliche Abbildung mit Mikro-Computertomografie liefert auch bisher schon diese wertvolle Mikrostrukturinformation. Die tomografische Rekonstruktion erzeugt aus Projektionen 3D-Bilder, deren Grauwerte im Wesentlichen die lokale Röntgenabsorption widerspiegeln. Glasfasern erscheinen demzufolge in einer Polymermatrix deutlich heller. Einzelne Fasern können im Dreidimensionalen nicht als Bildobjekte identifiziert werden; die Faserkomponente lässt sich aber gut von der Matrix trennen. Der lokale Faservolumengehalt ergibt sich aus der Anzahl von Faservoxeln zur Gesamtzahl der Voxel im untersuchten Bereich.



### Algorithmen errechnen Vorzugsrichtung aus Grauwerten

In den letzten zehn Jahren wurden u. a. am ITWM zudem Bildverarbeitungsalgorithmen entwickelt, die aus den lokalen Grauwerten für jedes Voxel in der Faserkomponente eine Vorzugsrichtung im Raum berechnen. Daraus wird der Orientierungstensor 2. Ordnung abgeleitet. Für diese Analyse muss der Faserdurchmesser von 10–20  $\mu\text{m}$  mit mindestens drei Voxeln aufgelöst werden. D. h., die Voxelkantenlänge muss bei Faserdicke 10  $\mu\text{m}$  unter 3,5  $\mu\text{m}$  liegen. Deshalb mussten bisher kleine Proben mit Kantenlängen von wenigen Millimetern geschnitten werden, um sie im Kegelstrahl mit dieser hohen Auflösung abbilden zu können. Damit wird die Methode zu aufwändig für die Serienprüfung. Vor allem aber ist sie für große Bauteile nicht zerstörungsfrei und damit für die Qualitätsprüfung ungeeignet.

Mikro-Computertomografie kann bei geeigneter Konfiguration des Tomografen auch kleine Probenausschnitte aus einem Bauteil räumlich abbilden, ohne diese tatsächlich auszuschneiden. Diese Tatsache ist schon lange bekannt, in der Praxis führten jedoch Abbildungsartefakte zu Qualitätseinbußen, die die quantitative Analyse der 3D-Bilder solcher »Regions-of-Interest« verhinderten.

### »3d Volant« vermeidet Abbildungsartefakte und beschreibt Materialeigenschaften zutreffend

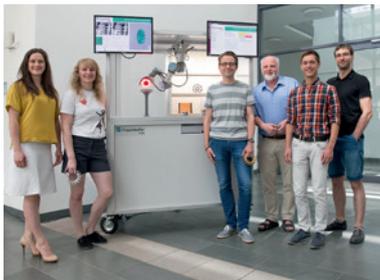
Im MEF-Projekt »3d Volant« des ITWM mit der Projektgruppe »NanoCT-Systeme« des IIS wurde dieses Problem gelöst. Erstmals wurden praxisrelevante Bauteile aus der Automobilindustrie mit Mikro-Computertomografie so gut räumlich abgebildet, dass die resultierenden Volumebilder besonders interessanter Bauteilbereiche quantitativ analysiert werden können. Die lokalen Mikrostruktureigenschaften der Bauteile können so vollständig beschrieben werden. Darüber hinaus kann anhand der 3D-Bilder die tatsächliche lokale Mikrostruktur mit der verglichen werden, die durch Simulation des Fließverhaltens in ganzen Bauteil vorhergesagt wird.

Aus der Möglichkeit, in einem Bauteil von ca. 0,5 m Länge Regions-of-Interest mit Voxelgröße 3  $\mu\text{m}$  abzubilden, ergeben sich gleichzeitig neue Herausforderungen. Die anfallenden riesigen Datenmengen können nicht mehr interaktiv verarbeitet werden. In einem weiteren Projekt soll deshalb daran gearbeitet werden, alle Schritte von der Wahl der abzubildenden Regionen bis zur Ausgabe der Analyseergebnisse zu automatisieren.





## NEWS AUS DER ABTEILUNG



### FORSCHUNGSGRUPPE GEHT NEUE WEGE IN DER BILDVERARBEITUNG

Online-Inspektionssysteme haben sich in vielen Produktionsumgebungen bewährt. Aber was passiert, wenn die Bauteile komplizierter werden? Wie lässt sich trotz zunehmender Individualisierung von industriell hergestellten Produkten ihre Prüfung automatisieren? Antworten liefert die virtuelle Bildverarbeitung, die den Inspektionsvorgang komplett simuliert und optimiert.

Wichtige Impulse brachte die Zusammenarbeit der AG Computergrafik der TU Kaiserslautern und der Abteilung Bildverarbeitung in den vergangenen beiden Jahren im Leistungszentrum »Simulations- und Software-basierte Innovation«. Gerade im interdisziplinär aufgestellten Leistungszentrum wurde klar, dass die Forschung im Bereich virtuelle Bildverarbeitung nur weiterkommt, wenn das Wissen unterschiedlicher Fachrichtungen zusammenfließt. Die Kooperation besteht schon seit vielen Jahren und führte nun zur Gründung einer internationalen Forschungsgruppe. Ein Schritt auf dem Weg zur virtuellen Inspektion ist bereits getan: Die am Fraunhofer ITWM entwickelte Revolving Product Inspection: Sie berücksichtigt nicht nur Rahmenbedingungen wie Bauteilgeometrie und Oberflächenbeschaffenheit, sondern weiß auch, wo mögliche Problemstellen bei der Analyse liegen können.

### ABTEILUNG BILDVERARBEITUNG JETZT MITGLIED DER EMVA



Im Rahmen der Messe Control ist die Abteilung Bildverarbeitung Mitglied der European Machine Vision Association geworden. Die EMVA ist ein gemeinnütziger und nicht kommerzieller Verband, der die Machine-Vision-Industrie in Europa vertritt. Der Verband wurde 2003 in Barcelona von Industrievertretern aus ganz Europa als Netzwerk zur Förderung der Entwicklung und Nutzung der Bildverarbeitungstechnologie gegründet.

### ORGANISATION DES WORKSHOPS »3D FIB-SEM IMAGING AND ANALYSIS«

Im Projekt »Reconstruction of POrous Structures from FIB-SEM Images« (REPOS), gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, hat die Abteilung im Oktober den Workshop zum Thema 3D FIB-SEM Imaging & Analysis mit organisiert. Der Workshop fand am KIT Campus Nord statt; sein Fokus lag auf der Erfassung von 3D Slice&View Stacks und der Segmentierung und Analyse von FIB-Datensätzen mit Schwerpunkt auf porösen Materialien.



Von vorne, links nach rechts: Yuli Afrianti, Annika Schwarz, DamjanHatić, Tessa Kuschnerus, Dr. Ronald Rösch, Petra Gospodnetić, Bess, Dr. Xiaoyin Cheng, Dascha Dobrovolskij, Markus Rauhut, Kai Taeubner, Dr. Katja Schladitz, Dr. Ali Mogiseh, Michael Godehardt, Falco Hirschenberger, Dr. Markus Kronenberger, Franz Schreiber, Konstantin Hauch, Thomas Redenbach, Dennis Mosbach, Martin Braun, Nikita Nobel, Dr. Thomas Weibel