



# Fraunhofer

## IZFP

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFVERFAHREN IZFP

# JAHRESBERICHT 2020

## NDE 4.0



Industrie 4.0

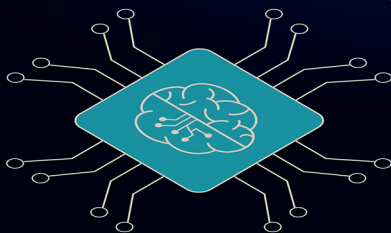


Kognitive Sensorsysteme

# Circular Economy

Künstliche Intelligenz

Relevant Data





## Kognitive Sensorsysteme. Effiziente Prozesse.

Das Fraunhofer IZFP ist ein international vernetztes Forschungs- und Entwicklungsinstitut im Bereich angewandter, industrienaher Forschung. Im Zentrum der Tätigkeiten steht die Entwicklung sogenannter »kognitiver Sensorsysteme« für das zerstörungsfreie Monitoring industrieller Prozesse und Wertschöpfungsketten. Das Verständnis der technischen Prüf- und Sensorphysik wird am Institut durch Technologien und Konzepte aus der KI-Forschung ergänzt, anhand derer Sensorsysteme für die ZfP von morgen entwickelt werden. Neben reinen Produktionsprozessen gehören Prozesse aus Werkstoff- und Produktentwicklung, Wartung, Instandhaltung und Wiederverwertung zum Portfolio der FuE-Aktivitäten.

Aktuelle Forschungsthemen betreffen die Entwicklung von Sensoren, die imstande sind, fertigungsbedingte Mikrostrukturmuster zu erfassen und im Sinne eines individuellen Fingerabdrucks zu einer Art »Produkt-DNA« zusammenzufassen. Diese »digitalen Produktakten« eröffnen zukünftig völlig neue Vorgehensweisen für die Optimierung der einzelnen Bereiche eines Material- und Produktkreislaufs.

Die Arbeit des Fraunhofer IZFP stützt sich auf ein über Jahrzehnte gewachsenes Know-how zu nahezu allen bekannten Verfahren der ZfP. Die am Institut entwickelten Geräte- und Sensorsysteme werden mit moderner Informations- und Kommunikationstechnik verzahnt, z. B. für die intelligente Signal- und Bildverarbeitung sowie zur automatischen Interpretation und Bewertung von Prüf- und Messdaten auf Basis von Machine Learning-Methoden.

Mit seinem nach DIN EN ISO / IEC 17025 flexibel akkreditierten Prüflabor besitzt das Fraunhofer IZFP beste Voraussetzungen für die rasche Praxiseinführung seiner Entwicklungen. Die Akkreditierung bescheinigt dem Institut die Kompetenz zur qualifizierten Entwicklung, Validierung und Anwendung innovativer zerstörungsfreier Prüfverfahren, die auf diese Weise schnell in die industrielle Anwendung gelangen können.

In Zusammenarbeit mit dem am Fraunhofer IZFP angesiedelten Fraunhofer-Innovationscluster Automotive Quality Saar AQS bietet das Institut insbesondere für die Automobil- und Zulieferindustrie marktgerechte smarte Lösungen zur Qualitätssicherung von Werkstoffen und Bauteilen aus einer Hand. Das Hauptaugenmerk liegt auf den werkstoff- und qualitätsintensiven automobilen Hauptmodulen sowie auf Entwicklungen für den effizienten Materialeinsatz und für reibungslose Produktionsabläufe. Neben der Technologie-Qualifizierung neu entwickelter ZfP-Verfahren gemäß internationaler Standards werden im Weiterbildungszentrum des Clusters auch berufsbegleitende Zertifikatskurse zur Qualifizierung der technischen Fach- und Führungskräfte angeboten.

# Inhaltsverzeichnis

4 **Vorwort | Preface**

Die Fraunhofer-Gesellschaft

7 **Anwendungsorientierte Forschung**

Das Institut in Zahlen

8 **Haushalt und Personal 2020**

Kuratorium

9 **Kuratorinnen und Kuratoren des Fraunhofer IZFP**

So erreichen Sie uns

10 **Ansprechpersonen 2021**

Corona-Forschung

12 **Wie das Fraunhofer IZFP auf die Pandemie reagierte**

## **KOGNITIVE SENSORSYSTEME. EFFIZIENTE PROZESSE.**

Kognitive Sensorsysteme

16 **Digitale Transformation, Industrielles Internet der Dinge, Industrie 4.0 und »NDE4.0«**

Industrie 4.0

18 **Smart Materials Data für Industrie 4.0**

Traceability

22 **Markerfreie Rückverfolgung von Umformteilen**

Tierwohl

24 **Digitalisierung und kognitive Sensorsysteme als Chance für transparentere Nutztierhaltung**

Food Supply Chain

26 **Multimodale Sensorik und Deep Learning-Verfahren für die Lebensmittelversorgungskette**

Metamaterialien

28 **Mechanische Metamaterialien: Traum der Forschung oder revolutionäre Technologie für industrielle Anwendungen?**

- 30**    **Additive Fertigung**  
**Prozessbegleitende Qualitätssicherung für die additive Fertigung**

## **INNOVATIVE TECHNOLOGIEN. SICHERE ZUKUNFT.**

- 33**    **Zukunftsorientierung**  
**Innovationstreiber »Forschungslandschaft Fraunhofer IZFP«**

- 34**    **Monitoring**  
**Zustandsüberwachung alternder Bau-Infrastruktur**

- 36**    **Wasserstoff**  
**Wasserstoff als alternativer Energieträger für die Energiewirtschaft von Morgen**

- 38**    **SealS II**  
**Sealing Stacks II**

- 40**    **RSF – EURATOM**  
**Laufende EU-Projekte zur Reaktorsicherheitsforschung im Rahmen des »EURATOM research and training programme«**

- 44**    **Recycling**  
**Kognitive Sensorik für das Recycling von Morgen: Next Life anstelle von End-of-Life**

## **ANHANG**

- 48**    **Mitgliedschaften 2020**  
**54**    **Veröffentlichungen 2020**  
**60**    **Patente 2020**  
**61**    **Ihre Notizen**  
**64**    **Impressum**



## Vorwort

Von links: Prof. Dr. Hans-Georg Herrmann, Prof. Dr. Randolf Hanke,  
Prof. Dr. Bernd Valeske

# Kognitive Sensorsysteme. Effiziente Prozesse.

Liebe Geschäftspartnerinnen und Geschäftspartner,  
liebe Kundinnen und Kunden,  
liebe Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter,  
sehr geehrte Damen und Herren,

Das Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP hat sich erfolgreich als Vorreiter für Forschung und Innovation zu kognitiven Sensorsystemen etabliert. Mit diesem Kompetenzfokus sind wir weltweit gefragter Partner in Netzwerken der Wissenschaft und für industrielle Anwendungen.

Beflügelt wurde die Relevanz unserer Forschungsprogrammatik für kognitive Sensorsysteme nicht nur durch die immense Dynamik, mit welcher die digitale Transformation nach wie vor nahezu alle Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft durchdringt. Basierend auf unserer fundierten Expertise in den zerstörungsfreien Prüfmethoden bieten kognitive Sensorsysteme signifikante Potenziale für zukünftige Anwendungsfelder. Sensorisch erfasste Daten und die daraus abgeleitete Informations- und Wissensgenerierung rücken in den Mittelpunkt digitaler Wertschöpfungsketten – und dies für zahlreiche Anwendungsdomänen. Diese betreffen den schon seit langem am Fraunhofer IZFP etablierten Material- und Produktbereich »Circular Materials / Circular Plastics«. Aber auch darüber hinaus findet unsere Kompetenz für kognitive Sensorsysteme inzwischen zunehmend Anwendung in weiteren Bereichen der Kreislaufwirtschaft, z. B.

- für Segmente wie Nahrungs- und Lebensmittelerzeugung bzw. -versorgung,
- für nachhaltige und ressourcenschonende Prozessentwicklungen zum Umweltschutz
- oder für Anwendungen und zur Unterstützung im menschlichen Umfeld, d. h. kognitive Sensorlösungen zur Gestaltung des gesunden und selbstbestimmten Lebens.

Einige spannende Projektbeispiele dazu sind in diesem Jahresbericht zusammengestellt.

Natürlich haben die Corona-Pandemie und ihre Auswirkungen auf gesellschaftliche Alltags- und Arbeitsprozesse auch uns in diesem Jahr vor Herausforderungen gestellt. Wir haben dies am Fraunhofer IZFP als Chance begriffen und damit Innovationen vorangetrieben – sowohl im Bereich unserer FuE- und Technologieangebote zur Bewältigung und Prävention für den Gesundheits- und Infektionsschutz – aber auch für Innovationen zur Gestaltung einer modernen Arbeitswelt mit Möglichkeiten zur orts- und zeitflexiblen Arbeit.

Den Arbeitsplatz von morgen für zukünftige Bedürfnisse in der Forschung weiterzuentwickeln wird uns dabei auch in den nächsten Jahren antreiben: Für das Jahr 2021 haben wir dazu das Pilotprojekt »NewWork@IZFP« im Zusammenwirken aller Mitarbeitenden am Institut aufgesetzt und dies eng verknüpft mit der Weiterentwicklung unserer zukünftigen FuE-Ausrichtung im Projekt »Strategie IZFP / ZSI 2025+«.

Flankierend zu unserer strategischen Weiterentwicklung wurden in 2020 unsere Leitinitiativen am Fraunhofer IZFP fortgeführt, z. B. die Fraunhofer Attract-Forschergruppen »SigMaSense« und »MatBeyoNDT«. Neue Initiativen kommen hinzu und gehen 2021 an den Start, wie etwa das Fraunhofer-Zentrum für Sensorintelligenz (ZSI) und das Leistungszentrum Saarland, welche im engen Schulterschluss mit unserem Partnerinstitut Fraunhofer IBMT vorangetrieben werden, oder auch das Leistungszentrum »Intelligente Signalanalyse- und Assistenzsysteme« (InSignA) unter Beteiligung unserer Fraunhofer IZFP-Gruppe und Fraunhofer-Partnern in Ilmenau, Thüringen.

Auch in den für Deutschland und Europa zukunftsweisenden Themenfeldern zur Systemforschung in den Bereichen »Wasserstoff«, »Mobilität« und »Resiliente Technologiekonzepte für Infrastruktur und Versorgungssouveränität« nehmen wir mit kognitiven Sensorsystemen eine relevante Rolle zur Informations-

## Preface

# Cognitive Sensor Systems. Efficient Processes.

gewinnung und damit in den entsprechend entstehenden digitalen Ökosystemen ein.

Forschung für kognitive Sensorsysteme inspiriert – durch ihre hohe Interdisziplinarität, durch ihre spezifischen vertieft zu beherrschenden Wissenschaftsbereiche und Kompetenzsäulen sowie durch ihre insgesamt hohe Relevanz in der Systementwicklung und ihre Lösungen für zunehmend komplexe Fragestellungen für die Welt von morgen.

Wir möchten auch Sie begeistern und wünschen viel Spaß bei der Lektüre dieses Jahresberichts!

Prof. Dr. Randolph Hanke,  
Prof. Dr. Hans-Georg Herrmann,  
Prof. Dr. Bernd Valeske

Saarbrücken, März 2021

Esteemed Business Partners and Customers,  
Dear Colleagues,  
Ladies and Gentlemen,

The Fraunhofer Institute for Nondestructive Testing IZFP has successfully established itself as a vanguard for research and innovation on cognitive sensor systems. With this focus on competence, we are in demand worldwide as a partner in scientific networks and for industrial applications.

The relevance of our research program for cognitive sensor systems has not only been spurred by the immense momentum with which the digital transformation continues to pervade almost all areas of business and society. Our profound expertise in nondestructive testing methods is the foundation which facilitates cognitive sensor systems to offer significant potential for future fields of application. Sensor-captured data and the information and knowledge generation derived from it are advancing to the center of digital value chains for numerous application domains. These applications concern the material and product area “Circular Materials / Circular Plastics”, which has long been established at Fraunhofer IZFP. Beyond this, our expertise in cognitive sensor systems is now increasingly being applied in other areas of the circular economy, e.g.

- for segments such as food, food production or food supply,
- for sustainable and resource-conserving process developments in the area of environmental protection,
- or for applications and support in the human environment, i.e. cognitive sensor solutions for shaping healthy and self-determined lives.

Some exciting project examples are compiled in this annual report.

Of course, the Corona pandemic and its impact on social everyday and work processes have also confronted our institute with

new challenges. At Fraunhofer IZFP, we have grasped this as an opportunity to drive innovation – with regard to our R&D and technology offerings in the area of health management, health prevention and infection protection as well as to design a modern working world with ways to site- and time-flexible work.

Developing the workplaces to-be for future needs in research will continue to drive us in the coming years: For 2021, we have set up the “NewWork@IZFP” pilot project with the participation and cooperation of all employees at the institute. Additionally, “NewWork@IZFP” is closely linked to the further development of our future R&D orientation as it is currently mapped out in Fraunhofer IZFP’s “Strategy IZFP / ZSI 2025+” project.

Alongside its strategic further development, Fraunhofer IZFP’s flagship initiatives were continued in 2020, e.g. the Attract research groups “SigMaSense” and “MatBeyoNDT”. New initiatives are being added and will be launched in 2021, such as the Fraunhofer Center for Sensor Intelligence (ZSI) or the Competence Center Saarland, both in tight collaboration with our partner institute Fraunhofer IBMT. Another initiative concerns the Competence Center “Intelligent Signature Analysis and Assistance Systems” (InSignA) with the participation of a Fraunhofer IZFP group and Fraunhofer partners in Ilmenau, Thuringia.

With cognitive sensor systems, we also play a relevant role in the future-oriented fields of systems research, both in Germany and in Europe, i.e. in the areas of “hydrogen”, “mobility” and “resilient technology concepts for sovereignty in infrastructure and supply”. This applies to the acquisition of information and thus to the emerging digital ecosystems.

Research for cognitive sensor systems is inspiring – due to its high level of interdisciplinarity, its specific scientific fields and competence pillars to be mastered in depth, its overall high

relevance in system development and its solutions to increasingly complex problems for the world to-be.

We hope that our work will inspire you! Thank you for reading our annual report.

Prof. Dr. Randolph Hanke,  
Prof. Dr. Hans-Georg Herrmann,  
Prof. Dr. Bernd Valeske

Saarbrücken, March 2021



## Die Fraunhofer-Gesellschaft

### Anwendungsorientierte Forschung

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Sie ist Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz. Mit inspirierenden Ideen und nachhaltigen wissenschaftlich-technologischen Lösungen fördert die Fraunhofer-Gesellschaft Wissenschaft und Wirtschaft und wirkt mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft.

Interdisziplinäre Forschungsteams der Fraunhofer-Gesellschaft setzen gemeinsam mit Vertragspartnern aus Wirtschaft und öffentlicher Hand originäre Ideen in Innovationen um, koordinieren und realisieren systemrelevante, forschungspolitische Schlüsselprojekte und stärken mit werteorientierter Wertschöpfung die deutsche und europäische Wirtschaft. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Austausch mit den einflussreichsten Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 75 Institute und Forschungseinrichtungen. Rund 29 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,8 Milliarden Euro. Davon fallen 2,4 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund zwei Drittel davon erwirtschaftet Fraunhofer mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Rund ein Drittel steuern Bund und Länder als Grundfinanzierung bei, damit die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft entscheidend wichtig werden.

Die Wirkung der angewandten Forschung geht weit über den direkten Nutzen für die Auftraggeber hinaus: Fraunhofer-Institute stärken die Leistungsfähigkeit der Unternehmen, verbessern die Akzeptanz moderner Technik in der Gesellschaft und sorgen für die Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Hochmotivierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf dem Stand der aktuellen Spitzenforschung stellen für uns als Wissenschaftsorganisation den wichtigsten Erfolgsfaktor dar. Fraunhofer bietet daher die Möglichkeit zum selbstständigen, gestaltenden und zugleich zielorientierten Arbeiten und somit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung, die zu anspruchsvollen Positionen in den Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft befähigt. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und des frühzeitigen Kontakts mit Auftraggebern hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

Erfahren Sie mehr über die Fraunhofer-Gesellschaft unter [www.fraunhofer.de](http://www.fraunhofer.de).

[Stand der Zahlen: Januar 2021]



# Das Institut in Zahlen

## Haushalt und Personal 2020

### Haushalt 2020

Betriebshaushalt	14,20	Mio €
Investitionshaushalt	0,62	Mio €* <sup>1</sup>
Gesamthaushalt	14,82	Mio €
Summe externe Erträge	8,00	Mio €
davon Wirtschaftserträge	5,92	Mio €
Verhältnis Gesamterträge / Betriebshaushalt ( $\rho_{\text{Gesamt}}$ )	56,4	%
Verhältnis Wirtschaftsertrag / Betriebshaushalt ( $\rho_{\text{Wt}}$ )	41,7	%

\* davon 0,31 Mio € strategische Investitionen

Personal

### Personal 2020

2020 waren am Fraunhofer IZFP im Jahresdurchschnitt 116 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter als Stammpersonal angestellt.

Weitere 59 Personen arbeiteten an Bachelor- (11) und Masterabschlüssen (25) oder an Promotionen (23).



## Kuratorium

### Kuratorinnen und Kuratoren des Fraunhofer IZFP

Dem Kuratorium gehören Expertinnen und Experten aus Industrie, Forschung und Wissenschaft, Behörden und Institutionen an; es berät die Institutsleitung und den Vorstand.

**Dr. Clemens Bockenheimer** (Sprecher des Kuratoriums)

Airbus Operations GmbH  
Leader SHM & ENDT Technology, Materials, Processes & Testing  
Bremen

**Dr. Thomas Fröhlich**

Uvex Safety Group GmbH & Co. KG  
Strategic Research & Development  
Fürth

**Dr. Annette Groh**

Saarländische Landesregierung, Staatskanzlei  
Abteilungsleiterin Wissenschaft, Hochschulen, Technologie  
Saarbrücken

**Dr. Michael Koch**

BMW AG  
Hauptabteilungsleiter Technologie, Produktkonfiguration  
München

**Prof. Dr. Gisela Lanza**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Institutsleiterin Produktionssysteme  
Karlsruhe

**Prof. Dr. Dieter Leonhard**

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (htw saar)  
Präsident  
Saarbrücken

**Dr. Katrin Mädler**

DB Systemtechnik GmbH  
Werkstoff- und Fügetechnik  
Brandenburg

**Dr. Matthias Purschke**

Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V.  
Geschäftsführendes Vorstandsmitglied  
Berlin

**Prof. Dr. Wolrad Rommel**

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes  
(htw saar)  
Präsident a. D.  
Saarbrücken

**Prof. Dr. Manfred Schmitt**

Universität des Saarlandes  
Präsident  
Saarbrücken

**Dr. Tom Wirtz**

Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST)  
MRT – Materials Research and Technology Department  
Belvaux, Luxemburg

# So erreichen Sie uns

## Ansprechpersonen 2021

### Institutsleitung (IL)

<b>Geschäftsführender Institutsleiter</b>	<b>Prof. Dr. Randolph Hanke</b>	<b>+49 681 9302 3800</b>	<b>randolf.hanke@izfp.fraunhofer.de</b>
Chief Scientific Officer	Dr. Ralf Tschuncky	+49 681 9302 3821	ralf.tschuncky@izfp.fraunhofer.de
IL-Stab	Dipl.-Geogr. Dirk Henn	+49 681 9302 3856	dirk.henn@izfp.fraunhofer.de
Koordination Software-Projekte	Bernd Sprau, M. Sc.	+49 681 9302 3826	bernd.sprau@izfp.fraunhofer.de
Mechanische Konstruktion und Werkstatt	Giuseppe Di Gregorio, B. Eng.	+49 681 9302 3971	giuseppe.di-gregorio@izfp.fraunhofer.de
Zentrum für Sensorintelligenz (ZSI)	Prof. Dr. Hans-Georg Herrmann	+49 681 9302 3820	hans-georg.herrmann@izfp.fraunhofer.de

### Stellvertretende Institutsleiter

<b>Prof. Dr. Hans-Georg Herrmann</b>	<b>+49 681 9302 3820</b>	<b>hans-georg.herrmann@izfp.fraunhofer.de</b>
<b>Prof. Dr. Bernd Valeske</b>	<b>+49 681 9302 3610</b>	<b>bernd.valeske@izfp.fraunhofer.de</b>

### Kaufmännischer Direktor / Verwaltung

<b>Dr. Andreas Schmidt</b>	<b>+49 681 9302 3810</b>	<b>andreas.schmidt@izfp.fraunhofer.de</b>
----------------------------	--------------------------	---

Bestandsverwaltung, Controlling, Debitoren, Einkauf, Empfang, Finanzen, Gerätewirtschaft, Kreditoren, Recht, Reise	Christine Hegerfeld-Sauber	+49 681 9302 3813	christine.hegerfeld-sauber@izfp.fraunhofer.de
	Sabine Komes	+49 681 9302 3913	sabine.komes@izfp.fraunhofer.de
Personal, Bau, Liegenschaftsangelegenheiten	Dr. Andreas Schmidt	+49 681 9302 3810	andreas.schmidt@izfp.fraunhofer.de

### Fachabteilungen / Gruppen

<b>Algorithmen / Signal- und Datenverarbeitung</b>	<b>Prof. Dr. Bernd Valeske</b>	<b>+49 681 9302 3610</b>	<b>bernd.valeske@izfp.fraunhofer.de</b>
--	--------------------------------	--------------------------	---

Attract SigMaSense	Dr. Florian Römer	+49 3677 69 4286	florian.roemer@izfp.fraunhofer.de
AutomaTiQ	Prof. Dr. Ahmad Osman	+49 681 9302 3628	ahmad.osman@izfp.fraunhofer.de
Quality Control & Maintenance	Prof. Dr. Bernd Valeske	+49 681 9302 3610	bernd.valeske@izfp.fraunhofer.de

<b>Elektronik für ZfP-Systeme</b>	<b>Martin Schuppmann, M. Sc.</b> Abteilungsleitung (Sprecher) und Leitung Entwicklung und Technologie	<b>+49 681 9302 3845</b>	<b><a href="mailto:martin.schuppmann@izfp.fraunhofer.de">martin.schuppmann@izfp.fraunhofer.de</a></b>
	<b>Dr. Sarah Fischer</b> Abteilungsleitung und Leitung Forschung / Attract-Gruppe MatBeyoNDT	<b>+49 681 9302 3848</b>	<b><a href="mailto:sarah.fischer@izfp.fraunhofer.de">sarah.fischer@izfp.fraunhofer.de</a></b>
	<b>Dipl.-Ing. Michael Becker</b> Abteilungsleitung und Leitung Produkte und Geschäftsmodelle	<b>+49 681 9302 3975</b>	<b><a href="mailto:michael.becker@izfp.fraunhofer.de">michael.becker@izfp.fraunhofer.de</a></b>

<b>Fertigungsintegrierte ZfP</b>	<b>Dr. Bernd Wolter</b>	<b>+49 681 9302 3883</b>	<b><a href="mailto:bernd.wolter@izfp.fraunhofer.de">bernd.wolter@izfp.fraunhofer.de</a></b>
Herstellung	Dr. Bernd Wolter (kommissarisch)	+49 681 9302 3883	<a href="mailto:bernd.wolter@izfp.fraunhofer.de">bernd.wolter@izfp.fraunhofer.de</a>
Verarbeitung	Dr. Benjamin Straß	+49 681 9302 3619	<a href="mailto:benjamin.strass@izfp.fraunhofer.de">benjamin.strass@izfp.fraunhofer.de</a>

<b>Komponenten und Bauteile</b>	<b>Dipl.-Ing. Thomas Schwender</b>	<b>+49 681 9302 3657</b>	<b><a href="mailto:thomas.schwender@izfp.fraunhofer.de">thomas.schwender@izfp.fraunhofer.de</a></b>
3D-Akustik	Dr. Thomas Waschkies	+49 681 9302 3637	<a href="mailto:thomas.waschkies@izfp.fraunhofer.de">thomas.waschkies@izfp.fraunhofer.de</a>
3D-Thermographie	Dr. Sergey Lugin	+49 681 9302 3702	<a href="mailto:sergey.lugin@izfp.fraunhofer.de">sergey.lugin@izfp.fraunhofer.de</a>

<b>Materialcharakterisierung</b>	<b>Dr. Klaus Szielasko</b>	<b>+49 681 9302 3888</b>	<b><a href="mailto:klaus.szielasko@izfp.fraunhofer.de">klaus.szielasko@izfp.fraunhofer.de</a></b>
Methodenentwicklung	Dr. Ines Veile	+49 681 9302 3846	<a href="mailto:ines.veile@izfp.fraunhofer.de">ines.veile@izfp.fraunhofer.de</a>
	Sargon Youssef, M. Sc.	+49 681 9302 3997	<a href="mailto:sargon.youssef@izfp.fraunhofer.de">sargon.youssef@izfp.fraunhofer.de</a>

<b>Zustandsüberwachung und Lebensdauermanagement</b>	<b>Prof. Dr. Hans-Georg Herrmann</b>	<b>+49 681 9302 3820</b>	<b><a href="mailto:hans-georg.herrmann@izfp.fraunhofer.de">hans-georg.herrmann@izfp.fraunhofer.de</a></b>
Methodenentwicklung für die Zustandsüberwachung	Prof. Dr. Ute Rabe	+49 681 9302 3863	<a href="mailto:ute.rabe@izfp.fraunhofer.de">ute.rabe@izfp.fraunhofer.de</a>
Multimodale Zustandsüberwachung	Dipl.-Ing. Patrick Jäckel	+49 681 9302 3941	<a href="mailto:patrick.jaeckel@izfp.fraunhofer.de">patrick.jaeckel@izfp.fraunhofer.de</a>
Prüfsystem-Software	Dipl.-Inf. Wolfgang Schäfer	+49 681 9302 3985	<a href="mailto:wolfgang.schaefer@izfp.fraunhofer.de">wolfgang.schaefer@izfp.fraunhofer.de</a>

# CORONAVIRUS COVID-19

## Corona-Forschung

### Wie das Fraunhofer IZFP auf die Pandemie reagierte

2020 als Jahr der Corona-Pandemie hat seit Beginn des ersten Lockdowns auch für das Fraunhofer IZFP zum Ausfall vieler Veranstaltungen und Besuche geführt; seit März 2020 fanden praktisch keine Präsenztreffen oder andere Präsenzereignisse mehr statt. Wir stellen stattdessen daher an dieser Stelle einige der Forschungsaktivitäten vor, die am Institut zur Unterstützung des Kampfes gegen die Pandemie begonnen wurden.

#### Neue Rahmenbedingungen durch COVID-19

##### Chancen und Lösungen für Wirtschaft und Gesellschaft durch kognitive Sensorsysteme

COVID-19 – umgangssprachlich als »Corona« bekannt – wirkt derzeit in hohem Maß auf gesellschaftliche und wirtschaftliche Rahmenparameter ein. In diesem Kontext entstehen aber auch erhebliche Chancen und Potenziale, um mit innovativen Lösungen auf Grundlage kognitiver Sensorsysteme und digitaler Technologien die industrielle ZfP von morgen und übermorgen im Sinne einer umfassenden Digitalisierung zu gestalten. Das Fraunhofer IZFP hat das vergangene Jahr zur Schärfung seiner FuE- und Technologieangebote genutzt. Selbstverständlich stehen unsere Innovationen auch in diesen schwierigen Zeiten bereit, um gemeinsam mit unseren Industriepartnern flexible und kundenspezifische kognitive Sensorsysteme für das zerstörungsfreie Monitoring resilienter industrieller Prozesse und Wertschöpfungsketten zu entwickeln.

Remote Control, Assistenzsysteme, sensornahe KI zur Prozessoptimierung sowie die digitale Einbettung von Daten- und Informationsströmen in Industrie 4.0-Landschaften werden in innovativen Technologieplattformen des Fraunhofer IZFP erprobt und maßgeschneidert in industrietaugliche Applikationen umgesetzt. Unsere Lösungen bieten bereits heute als Bestandteile des Industrial Internet of Things (IIoT) umfassende Möglichkeiten

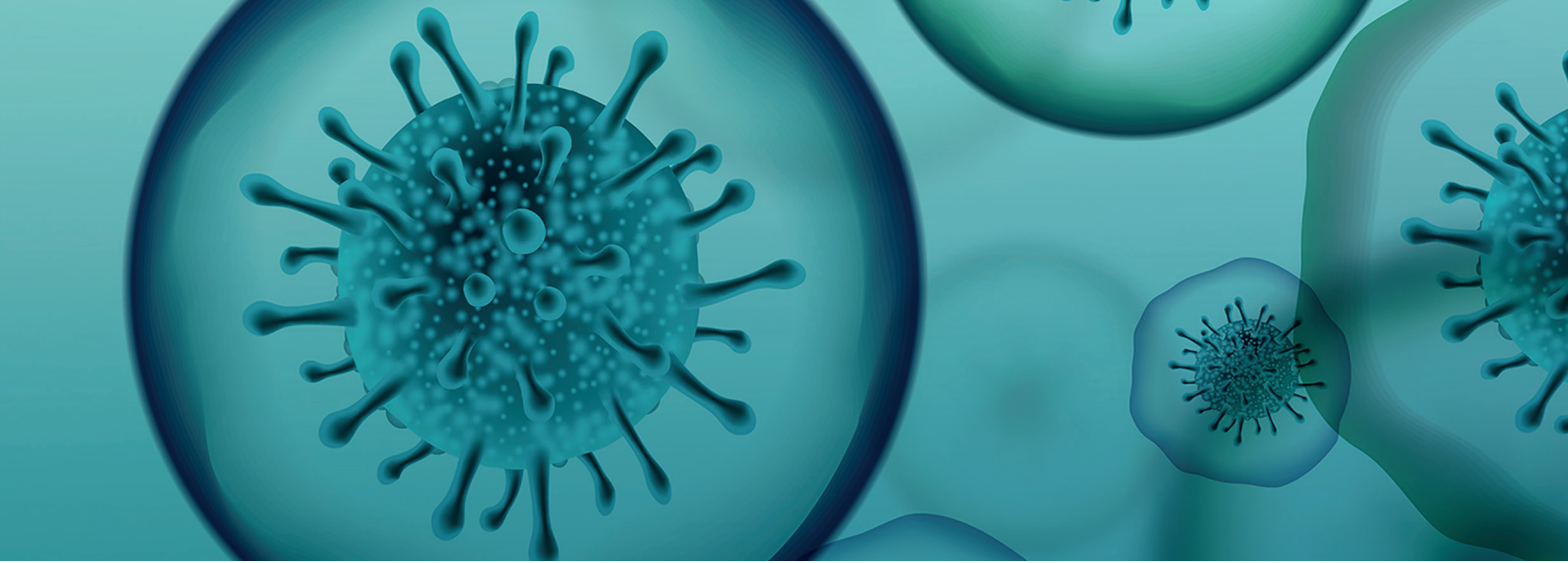
zur Steuerung und Datenkommunikation für »Smart Factory«-Konzepte (z. B. via OPC UA); sie erlauben zudem neuartige Leistungsangebote im Fokus von Qualitäts-, Produktions- und Materialdaten.

#### Veränderungen in der Produktionslandschaft

Zusätzlich zu diesen anerkannten Anwendungsoptionen eignen sich unsere kognitiven Sensorsysteme bestens für die unmittelbare Nutzung im Rahmen der geänderten Bedürfnisse und Herausforderungen einer im Zeichen von Corona veränderten Produktionslandschaft: Zur effizienten, abgesicherten Produktion von Materialien für Schutzausrüstung (Kleidung, Fasern, Filter etc.) wurden am Fraunhofer IZFP neue technologische Entwicklungen vorangetrieben und bestehende Angebote für Assistenzsysteme und Dienstleistungen zur Verwendung im Gesundheits- und Hygienemonitoring angepasst und erweitert. Hier einige Beispiele:

##### Intelligente und effiziente Produktions- und Qualitätsprozesse mit OPC UA-Sensorplattformen

- Automatische, sensorische Überwachung und Regelung von Produktionsprozessen
- Sensorische Überwachung von Maschinen, Anlagen und Infrastruktur (auch mit Remote Access)
- Qualitätssicherungsverfahren für flexible Produktionsverfahren (z. B. Additive Manufacturing)
- Automatische Bestimmung des Wartungs- und Instandhaltungsaufwands (Predictive Maintenance)
- Erweiterung und Optimierung bestehender sensorischer Überwachungssysteme für den Einsatz in der digitalisierten Produktion
  - Schnittstellen (z. B. OPC UA)
  - Datenverarbeitung und -interpretation (z. B. ML)



- Gesteigerte Produktivität, vorausschauende Qualitätssicherung und Maschinenwartung durch
  - intelligente Verknüpfung vorhandener Produktionsdaten und zusätzlicher Sensordaten
  - Identifikation und Überwachung von Key Performance Indikatoren (KPIs)
  - KI-basierte Steuerungs- und Regelungsstrategien

#### **Sensorsysteme zur Produktion und Dienstleistungsassistentz im Bereich Healthcare**

- Sicherstellung der Qualität hochsensibler medizintechnischer Produkte und Schutzausrüstung
- Erkennung schadhafter Filtermaterialien in der Produktion
- Prüfung der Wiederverwendbarkeit / Filterwirksamkeit gebrauchter Masken

#### **Im Anlauf befindliche FuE-Projekte zum Gesundheitsschutz**

- Explainable KI zur Unterstützung der Interpretation von Röntgen-CT-Aufnahmen der Lunge
- Handlungshilfe zur Auswahl von Textilien und Design von Community-Atmenschutzmasken
- Desinfektionsassistentz im Rettungsdienst durch sensornaher KI
- Sensorentwicklungen zur Früherkennung von Virusbefall durch Nasen-Rachen-Abstrich
- Bildgebende Dichtheitsprüfung von Schutzmasken
- Sensorgestützte Erkennung erkrankter Personen
- Smartphone-basiertes Multisensorsystem zur Überwachung von COVID-19-Patienten

#### **Teilnahmen an Konferenzen und Veranstaltungen 2020**

- 17 besuchte Veranstaltungen, davon
  - 5 innerhalb Deutschlands
- 12 außerhalb Deutschlands, davon
  - 6 in Europa
  - 6 in USA / Kanada
- 30 teilnehmende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer IZFP, davon
  - 27 aktive Teilnahmen
  - 3 passive Teilnahmen

Die Veranstaltungen vor dem ersten Lockdown waren Präsenzveranstaltungen, die weiteren wurden als Online-Veranstaltungen durchgeführt.

Nähere Hinweise zu unseren Konferenz- und Veranstaltungsteilnahmen finden Sie auf unserer Webpräsenz ([https://www.izfp.fraunhofer.de/de/messen\\_tagungen.html](https://www.izfp.fraunhofer.de/de/messen_tagungen.html)).



**KOGNITIVE  
SENSORSYSTEME.**

**EFFIZIENTE  
PROZESSE.**



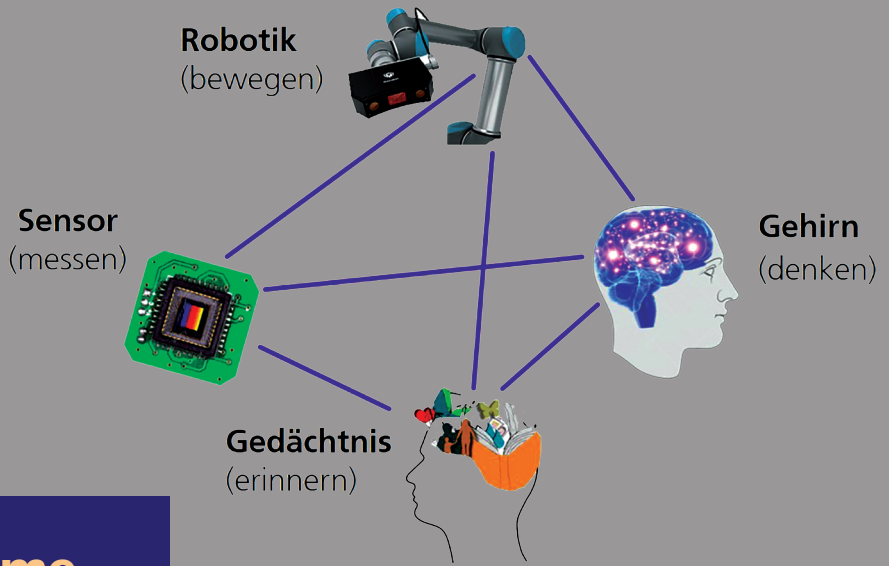


Abbildung 1: Vergleich Mensch – Sensorsystem

## Kognitive Sensorsysteme

# Digitale Transformation, Industrielles Internet der Dinge, Industrie 4.0 und »NDE4.0«

Die digitale Transformation erfasst nahezu alle Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft – von unserem privaten Alltagsleben bis zur digitalisierten Berufswelt mit entsprechenden Infrastrukturen und Ökosystemen für die Unternehmen und Industrie. »Industrie 4.0« (I4.0) und das »Industrielle Internet der Dinge« bestimmen den Entwicklungsfortschritt für korrespondierende Technologien. Geräte und Maschinen werden zu Daten- und Informationsquellen, welche sich über das »Industrial Internet of Things« (IIoT) vernetzen und miteinander kommunizieren. Daten- bzw. Informationsaustausch und -bereitstellung werden zu zentralen Elementen im Konzept der digitalen Transformation.

Die sensorische Befähigung der »Dinge« im Sinne des IIoT und die zugehörige Informationsgenerierung stellen die Basis für die intelligente und sich individuell selbst steuernde Produktion im Konzept von I4.0 und der sogenannten »Smart Factory« dar. »Intelligente« Sensoren werden dabei zunehmend zu komplexen »kognitiven« Systemen, welche mit immer mehr »Künstlicher Intelligenz« (KI) versehen werden – und dies sowohl in der Elektronik und Hardware als auch auf der gesamten Strecke der Signal- und Datenverarbeitung (Soft- und Firmware). Sogar die Parametrierung des Sensors lässt sich mit KI unterstützen.

Basis ist und bleibt dabei die physikalische Sensortechnik – nur mit fortschrittlicher Sensortechnologie und dem Ausreizen der Physik (d. h. dem Verständnis der Signalerzeugung, Signalwechselwirkung mit Materie, Signalempfang und Interpretation) ist ein verlässliches Fundament für mikroelektronisch zunehmend miniaturisierte intelligente Sensorsysteme gelegt.

Am Fraunhofer IZFP forschen und entwickeln wir für unterschiedliche Anwendungsfelder an derartigen »Kognitiven Sensorsystemen«. Kognitive Sensorsysteme entscheiden eigenständig, wie, wann und was sie messen. Vorbild ist der Mensch: Wir setzen unsere Sinnesorgane (»Sensoren«) in passender Kombination so ein, dass wir in Echtzeit bereits erhaltene Infor-

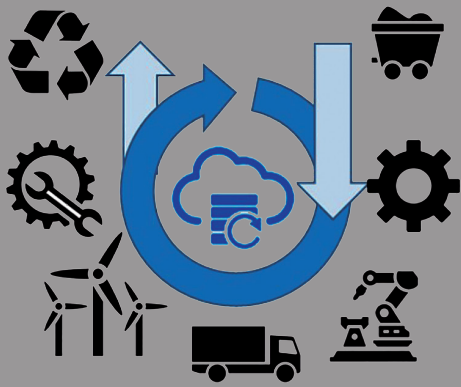
mationen in unserem Gehirn weiterverarbeiten, dabei erkennen, was noch an Daten (Wahrnehmung) ergänzt werden muss, steuern währenddessen simultan unsere Bewegung (Hände und Kopf) für die bestmögliche Datenerfassung (Blick oder Hörrichtung) und bauen bei der Interpretation und Entscheidung auf einen reichhaltigen Schatz an Erfahrung (Gedächtnis), vergleiche Abbildung 1.

Auch unsere technischen Sensorsysteme vollziehen diese Weiterentwicklung. Einige Beispiele für unsere neuesten Entwicklungen rund um kognitive Sensorsysteme werden in diesem Themenblock 1 vorgestellt.

In der Anwendungsdomäne der Materialien und Produkte beschreiben die kognitiven Sensorsysteme dabei das Technologiefeld und ein zugehöriges Daten-Ökosystem, welches die Forschungs- und Entwicklungsleitplanken für die zukünftige zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) vorgeben. Alle modernen Lösungen im inzwischen als Kurzbezeichnung etablierten Feld »NDE4.0« orientieren sich daran (Literaturreferenz, siehe auch Abbildung 2).

Wir setzen dabei fortschrittliche, häufig KI-basierte Sensortechnik, Signal- und Datenverarbeitung ein und nutzen sie zur Erzeugung von Mehrwerten in der digitalen Material-, Produkt- und Datenwertschöpfungskette sowie für zugehörige Datenräume (siehe Beitrag »Smart Materials Data«) und ermöglichen damit neue Material- und Produktionsfelder (siehe Beiträge »Traceability«, »Additive Fertigung«, »Metamaterialien«).

Aber auch viele weitere Anwendungsdomänen jenseits des Material- und Produktbereichs lassen sich über kognitive Sensorsysteme erschließen. Einige Beispiele sind in diesem Jahresbericht ausgeführt, so z. B. die Charakterisierung des Frische- und Reifegrades von Obst und Gemüse entlang der Lebensmittellieferkette, also von der Feldernte bis zum Verkauf im Groß- oder Einzel-



# NDE 4.0

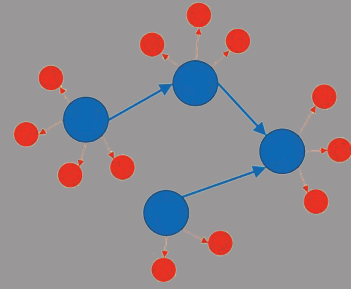


Abbildung 2: Forschungsfelder im Vergleich

handel (siehe Projektbericht »Food Supply Chain«). Ebenfalls im Lebensmittel- und Agrarsektor angesiedelt sind unsere Projekte und Beiträge zum »Tierwohl« durch kognitive Sensorsysteme.

Ganz aktuelle Vorteile konnten wir im Bereich der Gesundheitswirtschaft aufzeigen – hier insbesondere unter den Vorzeichen der COVID-19-Pandemiebekämpfung und der Unterstützung präventiver Maßnahmen mit sensorischer Zustandserfassung. Einen umfassenden Überblick hierzu bietet unsere dazugehörige Themenseite auf der Webpräsenz des Fraunhofer IZFP (siehe [https://www.izfp.fraunhofer.de/de/technologien/Forschungsleistungen\\_COVID-19.html](https://www.izfp.fraunhofer.de/de/technologien/Forschungsleistungen_COVID-19.html)).

In diesem Kontext wurden am Fraunhofer IZFP zur effizienten, abgesicherten Produktion von Materialien für Schutzausrüstung (Kleidung, Fasern, Filter etc.) neue technologische Entwicklungen vorangetrieben sowie bestehende Angebote für Assistenzsysteme und Dienstleistungen zur Verwendung im Gesundheits- und Hygienemonitoring angepasst und erweitert.

Diese mannigfaltigen FuE- und Anwendungsfelder machen deutlich: Wir gestalten Zukunft mit kognitiven Sensorsystemen. Dabei repräsentieren die NDE4.0-Entwicklungen in unserem angestammten Kernkompetenzfeld der zerstörungsfreien Prüfung aus unserer Sicht den Blick in Richtung der Material- und Produktdomäne; viele weitere Domänen wie Lebensmittel, Gesundheitswesen, Sport und Fitness oder Umwelt- und Ressourcenschutz eröffnen zusätzliche Blickrichtungen für fortschrittliche Sensorsysteme.

»Kognitive Sensorsysteme« und »NDE4.0« des Fraunhofer IZFP spiegeln somit zwei Seiten ein und derselben Medaille wider.

## Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Bernd Valeske  
+49 681 9302 3610  
bernd.valeske@izfp.fraunhofer.de

## Literaturreferenz

B. Valeske, A. Osman, F. Römer, R. Tschuncky:  
**Next Generation NDE Sensor Systems as IIoT Elements of Industry 4.0**  
<https://doi.org/10.1080/09349847.2020.1841862> (Volltext)  
RNDE, Vol. 31 – Number 5-6 (Special Issue on NDE4.0),  
30 pages, Nov. 2020

## Industrie 4.0

# Smart Materials Data für Industrie 4.0

### Ausgangssituation

In allen Technologiebranchen dominiert die digitale Transformation derzeit die Entwicklungen und Innovationsbestrebungen. Dieser Wandel basiert für NDE4.0 (Nondestructive Evaluation 4.0) auf fortschrittlichen Technologien zur Signalerzeugung, Signalverarbeitung und Mikroelektronik sowie auf der Einbettung mit weiterentwickelten Hard- und Softwareschnittstellen in das »Industrial Internet of Things« (IIoT). Die digitale Transformation in der Material- und Produktwertschöpfung ist Treiber für den Paradigmenwechsel in der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) und bestimmt deren Rolle und Aufgabe im Kontext von Industrie 4.0 (I4.0). NDE4.0 wird zu einer essentiellen Daten- und Informationsquelle für I4.0-Datenräume und -Ökosysteme.

Der Wert von Daten und den damit verbundenen Informationen soll sowohl in industriellen vernetzten Umgebungen als auch in der Forschungslandschaft durch geeignete Infrastrukturen und Plattformmodelle (Datenrepositorien und Internetservice-Portale) generiert und ausgeschöpft werden. In der Forschungswelt wird dieses Thema über die Plattform »Nationale Forschungsdateninfrastruktur« (NFDI) adressiert. Ein generelles nachhaltiges Forschungsdatenmanagement kann durch die Berücksichtigung der »FAIR«-Prinzipien sichergestellt werden. Hierbei kommen (Daten-)Formate zum Einsatz, mit denen Daten und zugehörige Metadaten so aufbereitet und gespeichert werden können, dass sie von Dritten genutzt und gegebenenfalls weiterverarbeitet werden könnten. »FAIR« steht für »Findable« (auffindbar), »Accessible« (zugänglich), »Interoperable« (interoperabel), »Reusable« (wiederverwendbar). Auf Seiten der Industrieunternehmen entstehen verschiedene Plattformangebote, so zum Beispiel die Initiative »International Data Spaces Association«, die seitens Fraunhofer federführend organisiert wird (siehe <https://www.internationaldataspaces.org/>).

Für I4.0-Datenwelten und »Smart Factory«-Umgebungen sind für NDE4.0-Systeme einheitliche generische Datenformate und Schnittstellen passend zu den bereits implementierten Designrichtlinien bzw. -architekturen zu entwickeln. Bei NDE4.0 setzen sich in Europa als Datenformat DICONDE (Digital Imaging and Communication in Non-Destructive Evaluation) und als Schnittstellenstandard für den plattformunabhängigen Datenaustausch OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) immer deutlicher durch. Beide werden vom Fachausschuss »ZfP 4.0« der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) in ihren Entwicklungs-Roadmaps favorisiert. Für »Smart Factory« wird im Konsens der Unternehmen auf das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0) gesetzt.

### I4.0-Schnittstellen für intelligente Sensorsysteme

Die Entwicklung geeigneter Schnittstellen zu bestehenden Steuerungs- und Management-Systemen wie ERP / MES (Enterprise Resource Planning / Manufacturing Execution System) oder Industrie 4.0-Umgebungen (IIoT, Digitaler Zwilling) stellt im Vergleich zu anderen Technologien der Aktorik und Sensorik eine besondere Herausforderung für die ZfP dar. Neben den Kommunikationsschnittstellen für das Gerät müssen auch die Prozesse digitalisiert und in Schnittstellen abgebildet werden. Ebenso erfolgt eine begrenzte Weitergabe der Daten und Weiterverarbeitung der Ergebnisse.

Gegenüber der dritten industriellen Revolution, in deren Kontext Schnittstellen sowohl für Maschinen als auch Kommunikationsebenen noch hersteller- und technologieunabhängig entwickelt wurden, ändert sich dieses Vorgehen im Rahmen von I4.0, nämlich hin zu der Entwicklung einheitlicher Parameter und Technologien, welche über mehrere Kommunikationsebenen und Bereiche einsetzbar sind.



*OPC UA-Demonstrator: Mittels OPC UA koordinierte Prüfaufgabe an einem industriellen Bauteil mit drei Sensortypen (Wirbelstrom, Ultraschall und 3MA II) sowie gemeinsamer Ergebnisdarstellung und Dokumentation im DICONDE-Format*

Vor diesem Hintergrund des Einsatzes in IIoT-Netzwerken bietet sich für die ZfP die Möglichkeit, die dringend erforderliche Weiterentwicklung hin zu einem einheitlichen Informationsmodell umzusetzen. Eine Schlüsseltechnologie hierfür stellt der Kommunikationsstandard OPC UA dar – ein offener Standard zur hersteller- und plattformübergreifenden Kommunikation über verschiedene Ebenen und Automatisierungsgrade. Diverse Firmen der Automatisierungsbranche (Siemens, KUKA, ABB u. a.) sowie Fachverbände wie der VDMA oder die DGZfP verwenden diese Technologie bereits bzw. setzen sich mit ihrem Einsatz auseinander. Dadurch soll das Bestreben, intelligente Systeme zu vernetzen, vorangetrieben werden. So wird eine einheitliche Kommunikation, z. B. zwischen Fertigungsmaschinen und Sensorsystemen miteinander und untereinander ermöglicht.

Am Fraunhofer IZFP wurden bereits Entwicklungsmodule zur Implementierung von OPC UA-Schnittstellen umgesetzt, die hier anhand zweier Sensortechnologien vorgestellt werden. Diese Entwicklungen dienen als Muster, um zukünftig weitere Sensormodalitäten mit OPC UA-Schnittstellen zu realisieren. Es handelt sich um die Systeme inspECT-PRO und 3MA II.

Das wirbelstrombasierte Prüfsystem inspECT-PRO kann Bauteileigenschaften sehr schnell detektieren und eine Sortierung in Echtzeit vornehmen. Somit ist es prädestiniert zur Prüfung von Masseteilen auf Fehler wie Rissen, Kerben und Schlagstellen, genauso wie auf Materialeigenschaften, z. B. die Zusammensetzung oder der Vergütungszustand (Härtung). Eine lückenlose Dokumentation jedes Bauteils sowie die Bereitstellung aller Informationen an weitere Anlagen in der Produktionslinie eröffnet ein hohes Potenzial zur Optimierung der Wertschöpfungskette.

Beim 3MA II-Prüfsystem handelt es sich um eine Kombination von vier mikromagnetischen Verfahren, mit denen 41 Kenngrößen ausgewertet werden können und dadurch Eigenschaften, wie Härte und Zugfestigkeit von ferromagnetischen Bauteilen

und Materialien erfasst werden. Durch OPC UA ist es möglich, das Verfahren automatisiert in die Fertigung zu integrieren (beispielsweise als Werkzeug eines Industrieroboters). Die Ergebnisse der Messungen können direkt in den Fertigungsprozess zurückgeführt werden, um u. a. Prozessparameter zu optimieren.

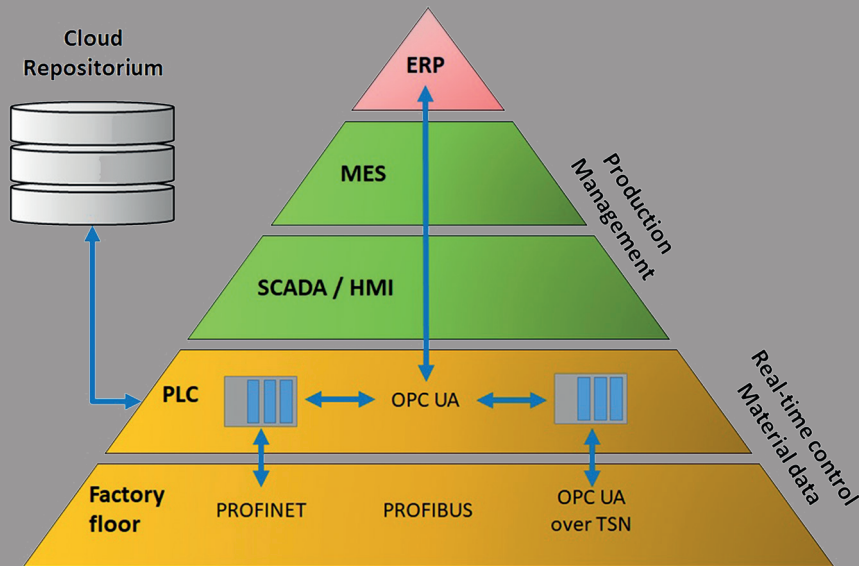
#### **Vorteile OPC UA**

- Einfach zu implementierende, echtzeitfähige Sensoransteuerung
- Einheitliche RAMI4.0-konforme Kommunikation mit Aktoren, Sensoren und MES- / ERP-Systemen
- Basis für die Entwicklung von kognitiven und IIoT-fähigen Sensorsystemen

#### **Generisches Datenformat für NDE4.0 – DICONDE**

Zur nachhaltigen und technologieunabhängigen Datenarchivierung, -verarbeitung und zum Datenaustausch für NDE4.0 wird ein generisch und qualifiziert beschriebenes Format zwingend notwendig. Das unter anderem auch seitens der DGZfP favorisierte offene generische Datenformat DICONDE adaptiert hierbei das in der Medizinbranche längst etablierte Datenformat DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine).

DICONDE stellt einen erweiterbaren Datencontainer dar, der jegliche Rohdaten für unterschiedlichste Sensortechnologien aufnehmen, strukturieren und verwalten kann. Darüber hinaus können weitere Informationen in Form von Ergebnis- und Metadaten in DICONDE integriert und strukturiert beschrieben und zugeordnet werden. Über die im Container enthaltene Datendefinition und -beschreibung bietet DICONDE auch Verknüpfungsmöglichkeiten zu Datenplattformen, welche in der weiteren Auswertung von Daten in Form von Wissensgraphen auf



OPC UA-Automatisierungspyramide: Darstellung der Verwendung und Einordnung von OPC UA in aktuellen Kommunikationsstrukturen

ontologische Beschreibungsmodelle setzen. Neben der Archivierung in Form von Datenrepositorien bietet DICONDE zudem die Basis, um neue Geschäftsmodelle und Services für NDE4.0 zu entwickeln. Erst durch ein einheitliches generisches Datenformat erschließt sich das Potenzial, Datensätze zu fusionieren und darauf KI- und Machine Learning-Algorithmik anzuwenden, um die Ergebnisse in NDE4.0-Systeme zu überführen. Derartige gut dokumentierte und strukturierte Datensätze können dann auch zur Entwicklung bzw. Weiterentwicklung von KI- und Machine Learning-Algorithmen verwendet werden. Innerhalb einer Organisation wird außerdem das Datenrepositorium und ein entsprechendes Datenmanagementsystem benötigt, welches die Zugriffsrechte und die etwaige Datenhoheit sicherstellt. Am Fraunhofer IZFP haben wir eine derartige Serverstruktur gemeinsam mit unserem Partner DIMATE GmbH eingeführt und aufgebaut.

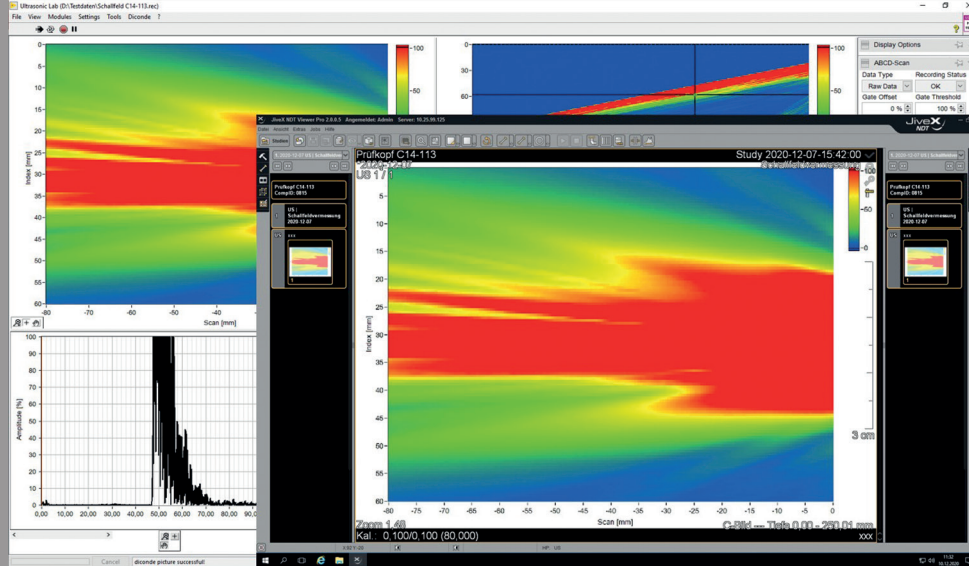
Die Einführung und damit einhergehende Implementierung von DICONDE zur nachhaltigen Archivierung und zum Austausch von unseren Sensordaten bzw. daraus ableitbaren Informationen, die mittels unterschiedlichster Sensorsysteme gewonnen wurden, erfolgt unter Einsatz von Bibliotheken. Diese Bibliotheken wurden so eingesetzt, dass die teilweise noch auf den medizinischen Standard DICOM verweisenden Parts in den Kontext der NDE4.0-Landschaft transferiert wurden.

Im Bereich der Ultraschallsoftware wurde DICONDE sowohl für Einkanal- als auch Mehrkanal-Sensoren (z. B. Phased Array) eingeführt und umgesetzt, so dass jetzt Mess-, Meta- und Ergebnisdaten direkt aus den Ultraschall-Softwarevarianten auf eine mit Hilfe unseres Partners DIMATE GmbH aufgebaute Serverstruktur hochgeladen und strukturiert archiviert werden können. Die auf diesem Server archivierten Daten können von einem Fraunhofer IZFP-internen Rechencluster ausgelesen, weiterverarbeitet und, um Ergebnisse ergänzt, zurückgespeichert werden. Diese Verknüpfung zwischen dem DICONDE-Server und

dem Rechencluster stellt die Grundlage für die großflächige und effiziente Anwendung von KI- und maschinellen Lernalgorithmen auf fusionierte Sensordaten dar.

Für die Wirbelstromprüfung wurde die Software der inspECT-PRO-Systeme ebenfalls DICONDE-fähig gemacht. Somit können auch wirbelstrombasierte Sensordaten nachhaltig archiviert, gegebenenfalls mit weiteren Daten anderer Sensormodalitäten fusioniert und weiterverarbeitet werden. Am Beispiel von wirbelstrombasierten Daten konnte DICONDE bereits seine volle Stärke in einem noch laufenden institutsübergreifenden Gemeinschaftsprojekt ausspielen. Es ist in diesem Projekt notwendig, gewonnene Daten den beteiligten Instituten zugänglich zu machen. Durch den Einsatz von DICONDE und mithilfe unserer Serverstruktur konnten Wege geschaffen werden, die ein Zusammenarbeiten institutsübergreifend ermöglichen und somit die erste Datenmanagementfunktionalität unter Einhaltung der FAIR-Prinzipien aufgezeigt werden. Des Weiteren wurden ebenso DICONDE-Implementierungen für Laserabstandsmessdaten (Dickenmessungen durch zwei Laserprofilometer), Röntgenspektrometer-, Metallographie- und Mikroskopie-Anwendungen umgesetzt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass DICONDE als internationaler Standard alle Anforderungen der modernen NDE4.0-Bedürfnisse abdecken und bewältigen kann. Durch die offenen Implementierungsmöglichkeiten, die Containerauslegung sowie die damit einhergehende Erweiterbarkeit steht einer zukünftigen weiteren Verbreitung von DICONDE innerhalb des Fraunhofer IZFP und auch darüber hinaus nichts im Wege. Die Arbeiten daran werden in vielfältigen Bereichen (z. B. für weitere Sensormodalitäten, Ausbau des Datenmanagementsystems usw.) fortgesetzt. Wir werden uns weiterhin bei der Standardentwicklung in der ASTM, aber auch in etwaigen anderen Gremien aktiv einbringen und so den Prozess der Standardisierung mit vorantreiben.



Schallfeldvermessung eines Piezo-Ultraschallwandlers mit einer internen DICONDE-fähigen Datenerfassungssoftware und Darstellung in einem DICONDE-Viewer

## Vorteile DICONDE

- Einheitliches, offenes, generisches und erweiterbares Datenformat
- Austauschbarkeit von Daten im DICONDE-Format
- Durch Datenmanagementsystem unveränderbar, nachhaltig und revisionsicher archiviert

## Ausblick

Der Fokus unserer NDE4.0-Bestrebungen liegt in der nächsten Zeit darauf, die Soft- und Hardware unserer neuen Sensorsysteme auf DICONDE und OPC UA auszurichten sowie die Bestandssoftware diesbezüglich weiter zu ertüchtigen, um das volle DICONDE- und OPC UA-Potenzial für Smart Materials Data im Sinne von I4.0/NDE4.0 umzusetzen und ausschöpfen zu können.

## Kontakt

Dr.-Ing. Ralf Tschuncky  
+49 681 9302 3821  
ralf.tschuncky@izfp.fraunhofer.de

Frank Leinenbach, M. Sc.  
+49 681 9302 3627  
frank.leinenbach@izfp.fraunhofer.de

Bernd Sprau, M. Sc.  
+49 681 9302 3826  
bernd.sprau@izfp.fraunhofer.de

## Keywords

Digitale Material-, Produkt- und Datenwertschöpfung, IIoT, RAMI4.0, DICONDE, OPC UA

Digital materials, products and data value chain, IIoT, RAMI4.0, DICONDE, OPC UA

## Abstract

Compared to conventional actuator and sensor technologies, the development of fitting interfaces and documentation formats for NDE4.0 applications within I4.0 environments represents a particular challenge for NDT. In addition to the communication interfaces for the device, the processes must also be digitized, mapped in interfaces and forwarded for documentation. Since the beginning of the fourth industrial revolution, development trends have therefore been towards the standardization of parameters, with technologies that can be used across several communication levels and areas. This applies to the internal communication of a single technology, irrespective of the manufacturer, and extends to almost arbitrarily complex communication between several different technologies. For non-destructive testing this current starting situation implies further developments of existing technologies to a uniform information model, as required for use in IIoT networks. The key to this is the OPC UA communication standard. At Fraunhofer IZFP, testing techniques for implementations have already been identified for this purpose and have been equipped with OPC UA interfaces. Based on these results, OPC UA is also to be implemented in further test methods. A second key element is provided by the data documentation standard DICONDE as an extensible data container that can record, structure and manage any raw data for a wide range of sensor technologies as well as result and meta data. This includes linking options to data platforms. At Fraunhofer IZFP, DICONDE is currently already being used in the field of ultrasonic and eddy current testing.

# Traceability

## Markerfreie Rückverfolgung von Umformteilen

### Ausgangssituation

Die eindeutige Identifikation und Rückverfolgbarkeit (Traceability) jedes Halbzeugs und Bauteils mit seinen individuellen Merkmalen zu jedem Zeitpunkt der Verarbeitung stellt eine wesentliche Voraussetzung für prozessbeeinflussende wissensbasierte Entscheidungen in der Produktion dar und trägt wesentlich dazu bei, Qualität, Produktivität und Kosten zu optimieren. Gerade in den sich selbst organisierenden, unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerken der Zukunft (»Industrie 4.0«) wird diese Traceability unverzichtbar sein. Konventionelle Objektkennzeichnungen wie Barcodes oder RFID können produktionsbedingt meist nicht dauerhaft und unbeschädigt auf dem zu identifizierenden Objekt verbleiben. Generell sind optisch erfassbare Merkmale auf der Objektoberfläche nur begrenzt für die Rückverfolgung verwendbar. Ändert sich die Oberfläche während eines Verarbeitungsschrittes zu stark, ist eine Identifikation im Anschluss nicht mehr möglich. Es fehlt also an sensorischen Verfahren, die eine durchgängige Traceability der Bauteile erlauben, wenn diese während ihrer Verarbeitung, z. B. durch Umformung, spanende Bearbeitung oder Beschichtung, tiefgreifend verändert wurden.

### Aufgabenstellung und Durchführung

Das hier vorgestellte Verfahren basiert auf der zerstörungsfreien Erfassung von Informationen wie Werkstoffeigenschaften und tolerierbaren »Fehlern« aus dem Bauteilinneren, sogenannte intrinsische Strukturmerkmale. Diese Merkmale sind so gewählt, dass sie durch die verarbeitungsbedingten Veränderungen des Bauteils (Umformen, Wärmebehandlung, Lackieren etc.), nicht zerstört oder »unlesbar« gemacht werden. Individuelle Merkmale des Halbzeugs oder Bauteils werden dabei mittels intelligenter zerstörungsfreier Sensorik zusammen mit den Prozessdaten erfasst und anhand von Methoden der Datenanalyse weiter-

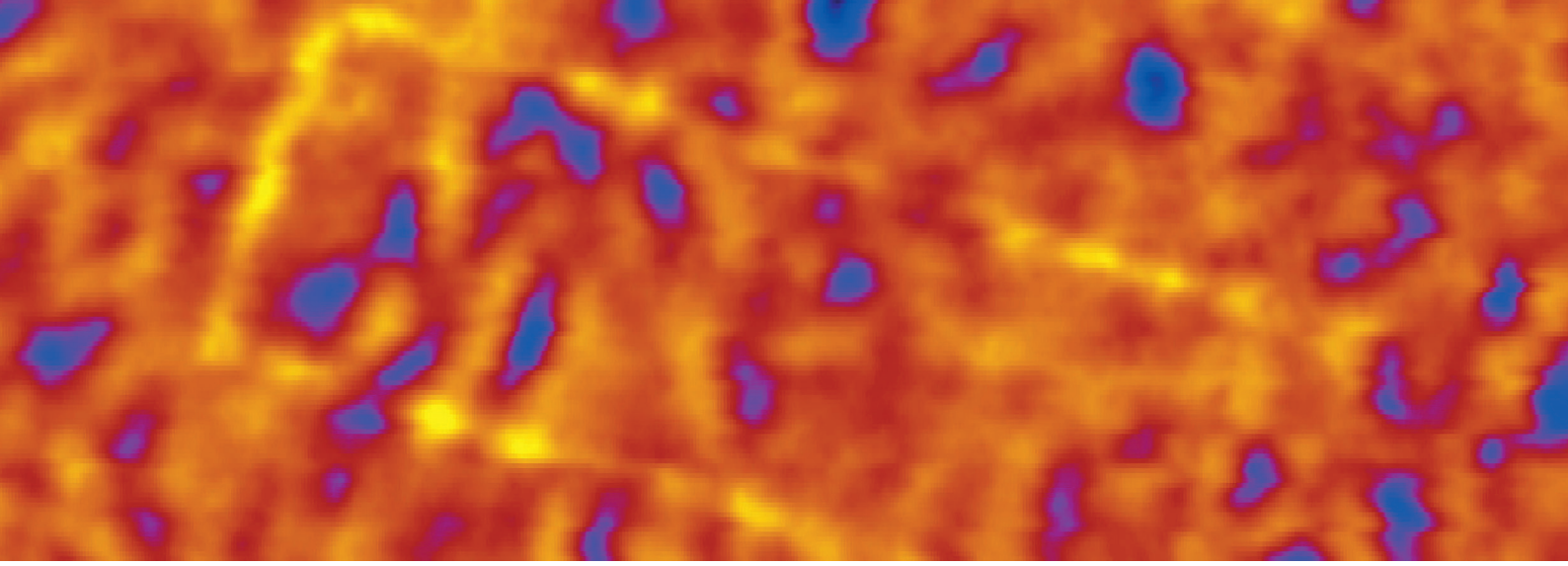
verarbeitet. Die Individualität ergibt sich grundsätzlich aus der Kombination von verschiedenen mikro- und makrostrukturellen Merkmalen des Bauteils, wobei zusätzlich auch weitere verfügbare Informationen wie Prozessdaten (Stellgrößen des Fertigungsprozesses) und Simulationsdaten (Umformsimulation) genutzt werden können, um das Bauteil eindeutig zu identifizieren.

Die vorliegenden Identifikationsdaten werden in einem Merkmalsraum gespeichert und stellen das Objekt als eindeutiges Individuum dar. Der entstandene Merkmalsraum wird anschließend mittels geeigneter Methoden klassifiziert und erlaubt eine probabilistische Identifikation individueller Bauteile, d. h. eine Identifikation auf Basis der individuellen Kombination der einzelnen Merkmale, die die Teile voneinander unterscheidbar machen. Durch die Nutzung intelligenter ZfP-Sensorik können Identifikationsvorgänge mit Qualitätskontrollen kombiniert und auf Basis der kontinuierlich verfügbaren Information über Identität und Qualität des Bauteils neue, selbstlernende Strategien der Prozesssteuerung ermöglicht werden. Unterstützt wird dieser Schritt durch ein digitales Objektgedächtnis und das Mitführen von Prozess- sowie Qualitätsdaten.

### Ergebnisse

In einem Datensatz aus insgesamt 5568 Messungen, verteilt auf 48 Messbereiche des Materials »HC280LAD«, wurde eine hundertprozentige Wiedererkennungsrate erreicht.

Die Herangehensweise ermöglicht eine lückenlose Rückverfolgbarkeit jedes Bauteils, ohne dass zusätzliche Objektkennzeichnungen notwendig wären. Durch das digitale Gedächtnis kann jederzeit auf eine lückenlose Dokumentation der Bauteilhistorie zugegriffen werden. Daraus ergeben sich signifikante Optimierungspotenziale für die Qualitätssicherung, zumal die einge-



Fingerabdruck einer Probe des Materials »HC280LAD«

setzte Sensorik auch simultan zur zerstörungsfreien Prüfung im klassischen Sinne Verwendung findet.

Aber auch über die Produktionskette hinaus wird ein Mehrwert generiert, so können Produktfälschungen sowie Diebesgut zuverlässig erkannt werden. Zum Ende des Produktlebenszyklus erlauben im digitalen Zwilling hinterlegte Materialkennwerte ein sauberes Recycling.

Die markerfreie Rückverfolgung wird gemeinsam mit den Fraunhofer-Instituten IWU und ITWM im Rahmen eines WISA-Projektes entwickelt.

## Kontakt

Dr.-Ing. Bernd Wolter  
+49 681 9302 3883  
bernd.wolter@izfp.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Benjamin Straß  
+49 681 9302 3619  
benjamin.strass@izfp.fraunhofer.de

Kevin Jacob  
+49 681 9302 3854  
kevin.jacob@izfp.fraunhofer.de

## Keywords

Verfolgung und Rückverfolgung, markerfrei, Identifizierung, Fingerabdruck, intrinsische Struktur

Track and trace, marker free, identification, fingerprint, intrinsic structure

## Abstract

Due to the conditions of the production process conventional object markings such as barcodes or RFID usually cannot remain permanently and undamaged on the object to be identified. In general, optically detectable features on the object surface can only be used for traceability to a limited extent. If the surface changes too much during a process pass, identification is no longer possible afterwards. Generally spoken, there is a lack of sensory methods that allow continuous traceability of the components if they have been profoundly changed during processing, e.g. by forming, machining or coating.

Thus, Fraunhofer IZFP develops and uses sensory methods to identify the component on the basis of intrinsic features, such as material properties or tolerable "defects" from within the component. Any irregularity in the structure of the component – concerning grain boundaries, grain sizes, inclusions, stresses, etc. – has an influence on the measurement signal allowing the intrinsic structure of the individual component to be recorded.



## Tierwohl

# Digitalisierung und kognitive Sensorsysteme als Chance für transparentere Nutztierhaltung

### Ausgangssituation

Die Digitalisierung in der Nutztierhaltung entwickelt sich rasant. Die Komplexität der Sensorsysteme und deren Datennachverarbeitung entsprechen aber insbesondere in der Geflügel- und Schweinehaltung noch bei Weitem nicht den Erfordernissen der multifaktoriellen Einflussgrößen, die das Tierverhalten bestimmen.

Bei der Analyse des Tierverhaltens bezüglich des Wohlbefindens wird aus Mangel an verfügbaren Methoden häufig der Einfluss einzelner Parameter beschrieben, ohne die komplexen Zusammenhänge der Einzelparameter auswerten zu können.

Die menschliche Herangehensweise, nämlich seinen Fokus und seine Sinne gezielt bei der Analyse von Information einzusetzen, ist von großer Bedeutung für intelligente digitale Informationsgewinnung. Insbesondere im Umgang mit Nutztieren kann die Herangehensweise genutzt werden, um Sensorsysteme zu entwerfen und darauf aufbauende computerbasierte Algorithmen zu trainieren, um multifaktorielle Korrelationen und neue Zusammenhänge aufzudecken. Diese können dann in Handlungsvorschläge zur Steigerung des Tierwohls umgesetzt werden, um die Landwirte zu unterstützen.

Ziel der Bemühungen der Tierwohl-Projekte am Fraunhofer IZFP ist die Adressierung der Forschungsfrage, wie Assistenz auf Basis von computergestützten Methoden den Menschen in die Lage versetzen kann, Tierhaltung nachhaltig zu verbessern.

Sensoren gehören in Stallungen aufgrund der überschaubaren Investitionskosten zum Standard, wenn es um die Bestimmung von Umweltdaten geht. Jedoch ist die Datenerfassung im Hinblick auf die Tiere selbst oder deren Verhalten bereits kein allgemeiner Standard mehr. Hier spielt heute der Wert des einzelnen Tieres bereits eine große Rolle. Dies zeigt sich auch in der Anzahl

der wissenschaftlichen Arbeiten bezogen auf die verschiedenen Nutztierarten. Rund um den Stall und die Tiere werden viele Daten gesammelt, die hauptsächlich für die Steigerung der Wirtschaftlichkeit genutzt werden. Da das Tierwohl aber immer mehr in das Bewusstsein der Verbraucher rückt, entsteht hier allmählich ein Wirtschaftsfaktor, den die produzierenden Betriebe nicht außer Acht lassen können und der sich sukzessive in der Forschung zeigt.

Die Erkenntnisse der Forschungsvorhaben sind insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen wichtig, da hier das Ungleichgewicht des Tierwohls oder sogar der Verlust bereits weniger Tiere wirtschaftlich starke Auswirkungen auf die Betriebe hat. Das Wohl jedes einzelnen Tieres hat dadurch, selbst bei kleineren Tieren wie Geflügel, einen hohen Stellenwert, und Betriebe sind besonders bemüht, Maßnahmen zum Erhalt und zur Steigerung des Tierwohls umzusetzen. Für die erfolgreiche Einsetzbarkeit der vorgeschlagenen Herangehensweise in der Nutztierüberwachung ist eine hohe Flexibilität der angestrebten Lösungen erforderlich, da sich die Betriebe in ihrer Stallarchitektur, Ausstattung aber auch den Umgebungsbedingungen unterscheiden. Dies ist eine Herausforderung, der sich dieses Projekt aktiv annimmt und durch ein einfach durchzuführendes, individuelles Training der Systeme realisieren wird.

Die Innovation der Projekte besteht darin, Assistenzkonzepte und -systeme zu entwickeln, die Landwirte in ihrer Arbeit unterstützen, und ihnen verständlich ganzheitliche Einblicke in die multifaktoriellen Ursachen von Ungleichgewichten beim Tierwohl unter den realen Bedingungen in ihren Stallungen ermöglichen. Die intelligenten, berührungslosen Sensorsysteme wandeln die mehrdimensionalen Korrelationen ihrer ermittelten Daten in, für den Benutzer verständliche Informationen um, und werden durch die Erfahrung der Landwirte trainiert, indem die Daten mit dem Zustand der Tiere verknüpft werden.



*Das Wohlergehen von Nutztieren wird gesellschaftlich verlangt und wird zunehmend eine wichtige Einflussgröße für den wirtschaftlichen Erfolg der Halter.*

## **Kontakt**

Dr.-Ing. Sarah Fischer  
+49 681 9302 3848  
sarah.fischer@izfp.fraunhofer.de

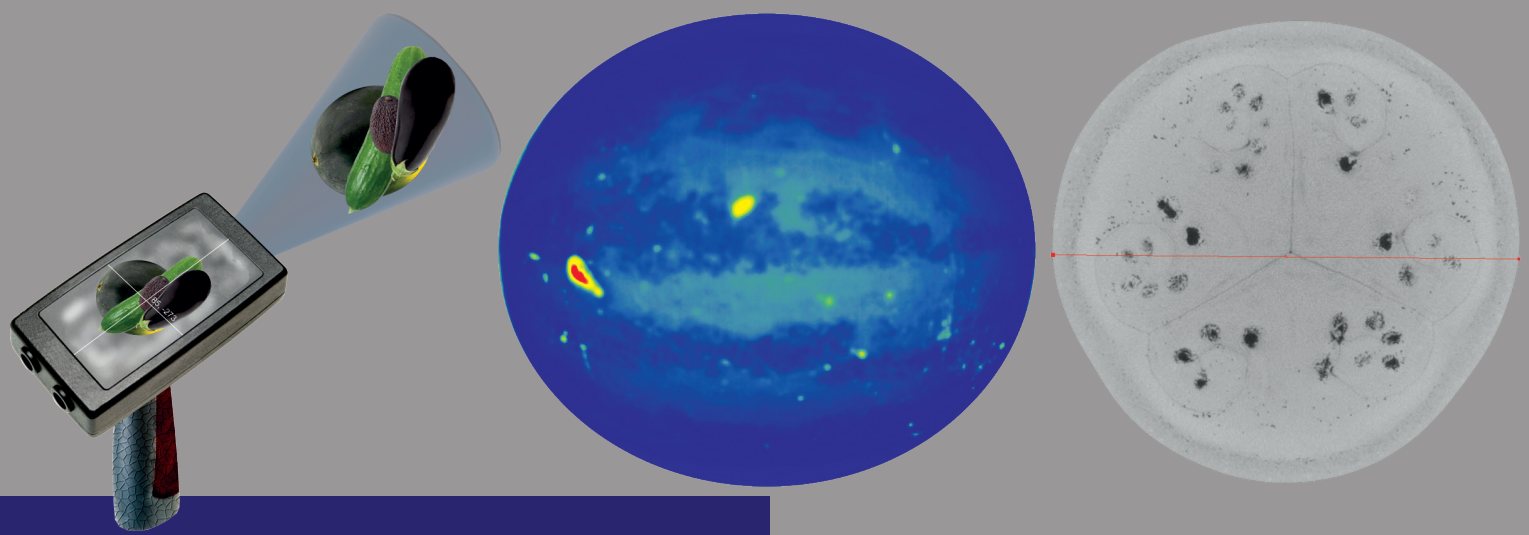
## **Keywords**

Nutztierhaltung, Sensorik, Digitalisierung, Tierwohl, Tierverhalten

Livestock breeding, sensor technology, digitization, animal welfare, animal behavior

## **Abstract**

Despite the rapid development of digitization in livestock farming, the complexity of the sensor systems and data analysis used for this purpose to date falls short of the requirements of animal welfare assessment, especially for small animals such as poultry and pig farming. Since the aspect of animal welfare is becoming more and more important for consumers it is one aspect to increase profitability, i.e. the value of an animal as a commodity, for farmers in the future. Therefore, concepts for assistance systems are currently being developed at Fraunhofer IZFP to support farmers in their daily work by providing them with information on the condition of their animals depending on the behavior in the stables.



## Food Supply Chain

links: Konzept für ein portables Fruchtreifegerät  
Mitte: Melone in Thermographieaufnahme, rechts: in CT-Aufnahme

# Multimodale Sensorik und Deep Learning-Verfahren für die Lebensmittelversorgungskette

## Ausgangssituation

An frisches Obst und Gemüse werden hohe Anforderungen hinsichtlich Frische, Aussehen und Haptik gestellt. Lebensmittel, die diesen Anforderungen nicht entsprechen, bleiben liegen und müssen oft entsorgt werden. Zudem erhalten die Kunden häufig keine Informationen zu Lagerfähigkeit oder Genussreife. Handel und Lebensmittelindustrie stehen zudem aufgrund der »Nationale(n) Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung« des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft vor der Herausforderung, sowohl auf Einzelhandels- wie auf Verbraucherebene die Lebensmittelverschwendung bis zum Jahr 2030 zu halbieren, sowie die entlang der Produktions- und Lieferketten entstehenden Lebensmittelabfälle und Nachernteverluste zu verringern. Die zerstörungsfreie Bewertung der Qualität und Reife von Lebensmitteln ist somit ein wichtiges Thema entlang der Lebensmittelversorgungskette (Food supply chain).

Am Fraunhofer IZFP werden derzeit zwei Projekte zum Thema Frische, Haltbarkeit und Reife von Agrarprodukten durchgeführt: In »KI-UltraHaltbarkeit« wird für Wasser- und Zuckermelonen ein portables Handgerät konzipiert, das auf akustischer Resonanz und der Verarbeitung von Bildern im infraroten und optischen Bereich basiert. Dieses liefert innerhalb kürzester Zeit Vorhersagen über Reife und Haltbarkeit der Melonen. Ziel des Projektes »Frische-Sensor« ist – in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IOSB – die Entwicklung eines kostengünstigen Multispektralsensors, basierend auf einer Multispektralkamera und einem Radarsensor.

Die Interpretation der Multisensorsignale erfolgt in beiden Projekten mittels Deep Learning-Methoden, wobei zerstörende Methoden als Referenz zur Nachahmung der Haptik und Textur eingesetzt werden. Ziel ist es, aus den Sensorsignalen die organoleptische Wahrnehmung – süß, sauer, herb – und zudem den Reifegrad abzuleiten.

## Aufgabenstellung und Durchführung

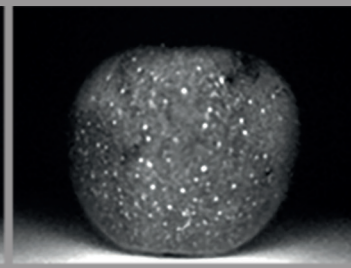
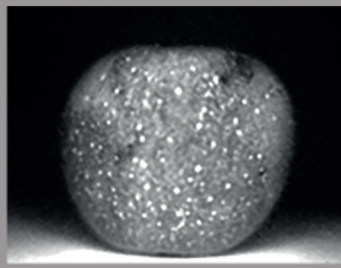
In »KI-UltraHaltbarkeit« erfasst ein multimodales System in situ komplementäre Merkmale zur Bewertung des Reife- und Frischegrades. Gekoppelt werden akustische und optische Verfahren, wodurch eine frühzeitige Aussage zum Reifeverhalten möglich wird. Ziel des Projektes »Frische-Sensor« ist die Entwicklung eines kostengünstigen Multisensors basierend auf einer Multispektralkamera und Radartechnik. Die Bewertung der Früchte erfolgt mittels Multispektralanalyse in fünf Wellenlängen, zwei infraroten und drei sichtbaren Bereichen und zusätzlichem Radarsensor zur Ermittlung der Feuchtigkeit.

Durch den Einsatz von Algorithmen aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz (KI) soll der Reifeprozess von Agrarprodukten entlang des kompletten Lebenszyklus abgedeckt werden. Um mit einem Scanner eine Vielzahl von unterschiedlichen Agrarprodukten zu bewerten, wird speziell auf KI-Methoden gesetzt, deren Anwendung für das Trainieren von neuronalen Netzen lediglich eine geringe Datenmenge benötigen. Im Gegensatz zur üblichen Herangehensweise beim überwachten Lernen, wird hier ein interaktiver Ansatz gewählt, bei dem ein direkter Austausch zwischen Algorithmus und Mensch möglich ist, das sogenannte »Aktive Lernen«. Diese Methode ermöglicht eine Reduzierung der zugeordneten Daten, indem interaktiv nach einem Label gefragt wird. Nicht zuletzt besteht die Herausforderung darin, die verwendete Sensorik in einem portablen Handgerät unterzubringen, die an einer beliebigen Position in der Lebensmittelkette die Beurteilung der Qualität der Frucht zulässt und so erst eine praktikable Anwendung ermöglicht.

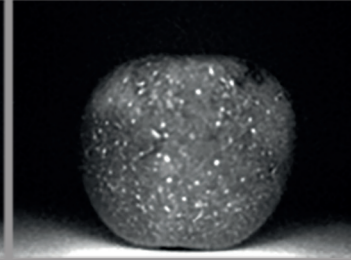
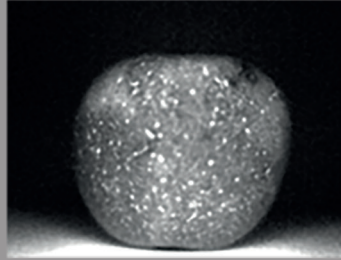
## Ergebnisse

In »KI-UltraHaltbarkeit« wurde ein Konzept für ein portables Fruchtreifegerät entworfen und in einem ersten hardwarenahen

Tag 0



Tag 30



Vergleich zwischen Farbbild und Nahinfrarotaufnahmen eines Apfels im Verlauf von 30 Tagen. Die Nahinfrarotaufnahmen in zwei verschiedenen Wellenlängen (mittlere und rechte Spalte) zeigen nach 30 Tagen deutliche Änderungen im Inneren des Apfels, die Farbbilder (linke Spalte) hingegen weniger.

Aufbau umgesetzt. Es wurden umfangreiche Messreihen mit zerstörenden sowie zerstörungsfreien Methoden an Melonen unterschiedlicher Sorte erstellt. Ganz gezielt wurden Melonen aus unterschiedlichen Chargen, Lieferquellen und Reifegraden untersucht und Qualitätsparameter wie Reifegrad, Zuckergehalt, Gewicht, Texturparameter oder Geschmack bestimmt. Qualitätskriterien wurden mit Messungen zerstörungsfreier Prüfverfahren, wie Thermographie, CT oder Ultraschall korreliert. Speziell mit Daten der akustischen Resonanz wurde ein neuronales Netz erfolgreich trainiert. Als erstes Ergebnis konnte ein klarer Zusammenhang zwischen Reifegrad und akustischer Resonanz hergestellt werden.

## Ihr Vorteil

Beschäftigen Sie sich im Agrarprodukte-Bereich als Produzent oder entlang der Lebensmittelversorgungskette oder im Handel mit Fragen nach Reife, Frische und Qualität? Mithilfe der vom Fraunhofer IZFP entwickelten Sensoren ist eine direkte Prüfung der Reife und Frische von Früchten – speziell für Wassermelonen – möglich. Die in Zukunft geplante Erweiterung auf weitere Agrarprodukte soll in den nächsten Jahren vertieft werden und lässt somit auch die Berücksichtigung Ihrer Wünsche zu.

## Projektträger

In dem vom BMBF geförderten Projekt »KI-UltraHaltbarkeit« (Förderkennzeichen 13FH566IX6) besteht eine Kooperation mit den Projektpartnern htw saar, Globus und EDEKA.

Das von der Fraunhofer-Gesellschaft geförderte CCIT-Projekt »Frische-Sensor« wird in Kooperation mit Fraunhofer-Instituten und dem Industriepartner SAP durchgeführt.

## Kontakt

Dominique Albert-Weiß  
+49 681 9302 3632  
dominique.albert-weiss@izfp-extern.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Ahmad Osman  
+49 681 9302 3628  
ahmad.osman@izfp.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Herrmann  
+49 681 9302 3820  
hans-georg.herrmann@izfp.fraunhofer.de

## Keywords

Lebensmittelüberwachung, Reifeuntersuchung von Agrarprodukten, Fruchtreife, Tiefes Neuronales Netz, KI

Food monitoring, agricultural commodity inspection, fruit ripeness, Deep Learning, AI

## Abstract

Precise knowledge of the degree of ripeness and freshness are important parameters for optimizing logistics processes within the agricultural industry and the food supply chain. The sensitive food products require a non-contact, fast and nondestructive assessment. Within the project "KI-UltraHaltbarkeit" a portable handheld device is developed, which allows a determination of the degree of ripeness of watermelons. Within the project "Frische-Sensor" a cost-efficient sensor system for fruits is developed, which is used in the area of food supply chain.

## Metamaterialien

# Mechanische Metamaterialien: Traum der Forschung oder revolutionäre Technologie für industrielle Anwendungen?

### Ausgangssituation

Mechanische Metamaterialien haben durch ihre außergewöhnlichen Eigenschaften ein großes Potenzial. Sie bieten einen enormen Design-Spielraum, erfordern jedoch aufgrund der strukturellen Hierarchien die Schaffung neuer Wege zur Entwicklung und Beschreibung von Materialien. Die bereits komplizierte Beziehung zwischen Verarbeitung, Mikrostruktur und Eigenschaften wird bei diesen Materialien nochmals komplexer, da deren mechanische Eigenschaften durch die Strukturen von funktionalen Elementarzellen auf der Mesoskala abhängen.

Derzeit liegt das Hauptziel der Forschung und Entwicklung mechanischer Metamaterialien auf der Erreichung der gewünschten Funktionalitäten. Dadurch wird sicherlich das Potenzial mechanischer Metamaterialien gezeigt, jedoch werden viele andere Aspekte mit hoher Relevanz für technische Anwendungen immer noch vernachlässigt. Die Zuverlässigkeit mechanischer Metamaterialien ist eine Voraussetzung für industrielle Anwendungen und stand bisher nicht im Fokus der Forschung. Um zuverlässige Metamaterialien zu erhalten, müssen relevante Eigenschaften wie Festigkeit, Bruchzähigkeit und Ermüdungsverhalten berücksichtigt werden.

### Aufgabenstellung und Durchführung

Bei komplexen Werkstoffen wie Metamaterialien ist die Konzeption von Charakterisierungsstrategien entlang des Produktlebenszyklus von entscheidender Bedeutung:

Die Charakterisierung während des Herstellungsprozesses ist ein vielversprechender Ansatz, insbesondere für die additive Fertigung, bei der die Teile schrittweise hergestellt werden. Überwachungstechniken sollen online Abweichungen erfassen, die durch Prozess- und Maschinenfehler verursacht werden und im

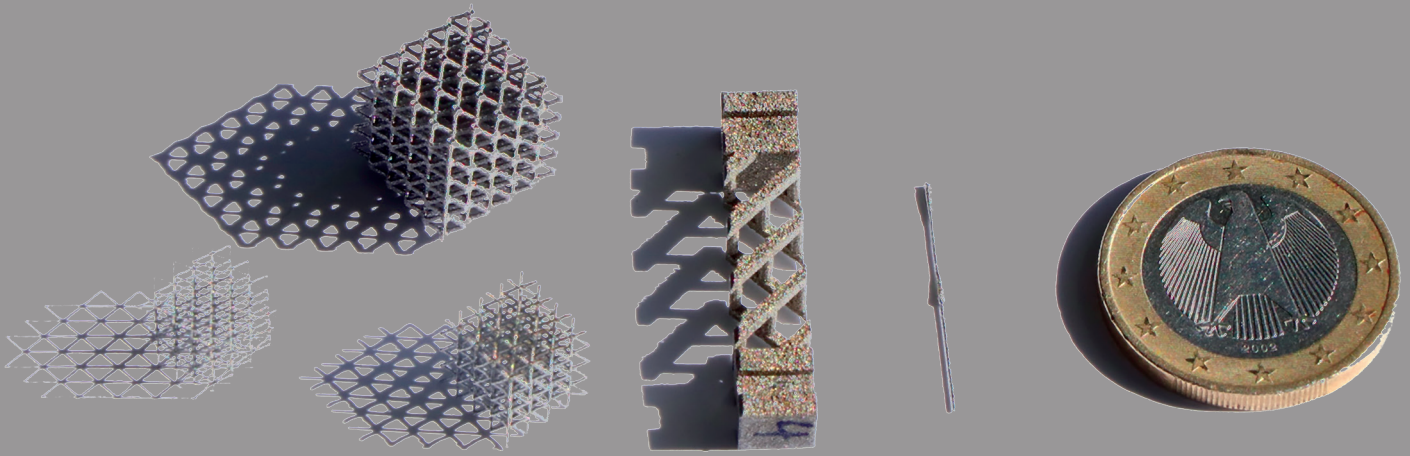
Idealfall eine sofortige dreidimensionale Darstellung von Defekten sowie Aussagen über Auswirkungen auf Bauteileigenschaften liefern.

Die Charakterisierung nach der Herstellung ist gleichermaßen wichtig für die Charakterisierung des Produktes und als Grundlage für Monitoringfragen sowie für die Qualitätsmerkmale, die zur Beurteilung der verbleibenden Lebensdauer von Metamaterialprodukten verwendet werden kann.

Berechnungsmethoden und -algorithmen spielen eine wichtige Rolle für das Verständnis der gesammelten Daten und die Korrelation mit physikalischen Effekten. Fortgeschrittene Methoden der Datenfusion und die Verwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz werden als Schlüssel angesehen, um Daten miteinander zu verknüpfen und aussagekräftigere Informationen zu erstellen.

Das Verständnis der Widerstandsfähigkeit mechanischer Metamaterialien wird von entscheidender Bedeutung sein, wenn sie mehr als Materialien im Labormaßstab werden sollen. Daher müssen neben dem Design und der Entwicklung mechanischer Metamaterialien geeignete zerstörungsfreie Charakterisierungsmethoden entwickelt werden. Eine Kombination verschiedener klassischer Charakterisierungsverfahren – kombiniert mit fortgeschrittenen Berechnungsmethoden – wird benötigt, um die Qualität und Funktionalität von Teilen zu korrelieren. Dieser multimodale Ansatz ist nicht für jedes Metamaterial identisch, da die zu bestimmenden Eigenschaften anwendungsspezifisch sind. Eine geeignete Toolbox von Methoden wird die Grundlage für die Skalierung mechanischer Metamaterialien in industriellen Anwendungen bilden.

Die Berücksichtigung der beschriebenen allgemeinen Zusammenhänge ist unabdingbar, um Metamaterialien herzustellen, die zuverlässig und für industrielle Anwendungen geeignet



*Größenvergleich aktueller metallischer Metamaterialien aus dem Fraunhofer Cluster of Excellence Programmierbare Materialien CPM*

sind. Alle diese Eigenschaften sind nicht nur Eigenschaften eines Metamaterialsystems, sondern die Überlagerung aller seiner Konstruktionseigenschaften sowie intrinsischer Toleranzen und Defekte. Damit Metamaterialien die Branche revolutionieren können, muss das Design vom Fokus auf reine Funktionalität wegrücken, um Aspekte der Zuverlässigkeit zu berücksichtigen und die Auswirkungen auftretender Anomalien zu minimieren.

## Ausblick

Der Traum, durch Metamaterialien industrielle Anwendungen zu revolutionieren, ist noch nicht verwirklicht. Es sind erheblich mehr Anstrengungen erforderlich, um die Wechselwirkungen verschiedener Konstruktionsparameter und Fehler in mechanischen Metamaterialien vollständig zu verstehen und integraler Bestandteil des Produktentwicklungsprozesses werden zu lassen. Nur dann werden große Innovationen auf der Basis von Metamaterialien in neuartigen Industrie-, Transport-, Lifestyle- oder Haushaltsprodukten Realität.

Mehr Informationen finden Sie in der Publikation »Mechanical Metamaterials on the Way from Laboratory Scale to Industrial Applications: Challenges for Characterization and Scalability« von Sarah Fischer et al. (DOI: 10.3390/ma13163605).

## Kontakt

Dr.-Ing. Sarah Fischer  
+49 681 9302 3848  
sarah.fischer@izfp.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Michael Becker  
+49 681 9302 3975  
michael.becker@izfp.fraunhofer.de

## Keywords

Programmierbare Materialien, Materialcharakterisierung, Metamaterialien

Programmable materials, materials characterization, meta materials

## Abstract

Mechanical metamaterials promise extraordinary potential for the development of new products, but represent a challenge for materials scientists and engineers as the relationships between processing, microstructure and product properties involves even more variables as for traditional materials. In favor of the development of new designs and architectures, many aspects of high technological relevance – such as strength, fracture toughness or fatigue behavior – are currently still mostly neglected in research, so that there is a considerable need at this point. Understanding the resilience of mechanical metamaterials through novel characterization methods will be of decisive importance in determining whether these materials will find their way into industrial applications beyond laboratory use.

## Additive Fertigung

# Prozessbegleitende Qualitätssicherung für die additive Fertigung

### Ausgangssituation

Additive Fertigung (englisch Additive Manufacturing, AM) bietet gegenüber konventionellen Fertigungsverfahren die Möglichkeit, neben der Serienfertigung auch kleinste Stückzahlen (bis zur Losgröße 1) sowie Bauteile mit komplexen Geometrien zu fertigen, was das Verfahren insbesondere für Leichtbauanwendungen attraktiv macht.

Die Bewertung der Qualität von additiv gefertigten Bauteilen durch Detektion von Defekten und von deren Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit im jeweiligen Anwendungsszenario ist für robuste und zuverlässige industrielle Anwendungen ein entscheidender Faktor. Gerade für additive Fertigungsprozesse stellt dies allerdings eine anspruchsvolle Aufgabe dar, denn AM umfasst eine Vielzahl von Fertigungsverfahren mit sehr unterschiedlichen verfahrensspezifischen Qualitätsmerkmalen (u. a. Defekte, Eigenschaften). Zudem können Qualitätsmerkmale wie Art, Anzahl, Position und Auswirkungen der Defekte von Bauteil zu Bauteil stark variieren.

Herkömmliche AM-Anlagen geben keine/wenig Auskunft über die Qualität des Bauteils während des Prozesses. Defekte wie Poren, Anbindungsfehler und Risse können erst nach Fertigstellung des Bauteils mittels aufwendiger Untersuchungen, wie Metallographie oder Röntgen-CT nachgewiesen werden. Weiterhin sind die Zusammenhänge zwischen Art, Form und Größe der Defekte und den resultierenden Bauteileigenschaften (Effect of Defect) bisher nicht hinreichend geklärt.

### Aufgabenstellung und Durchführung

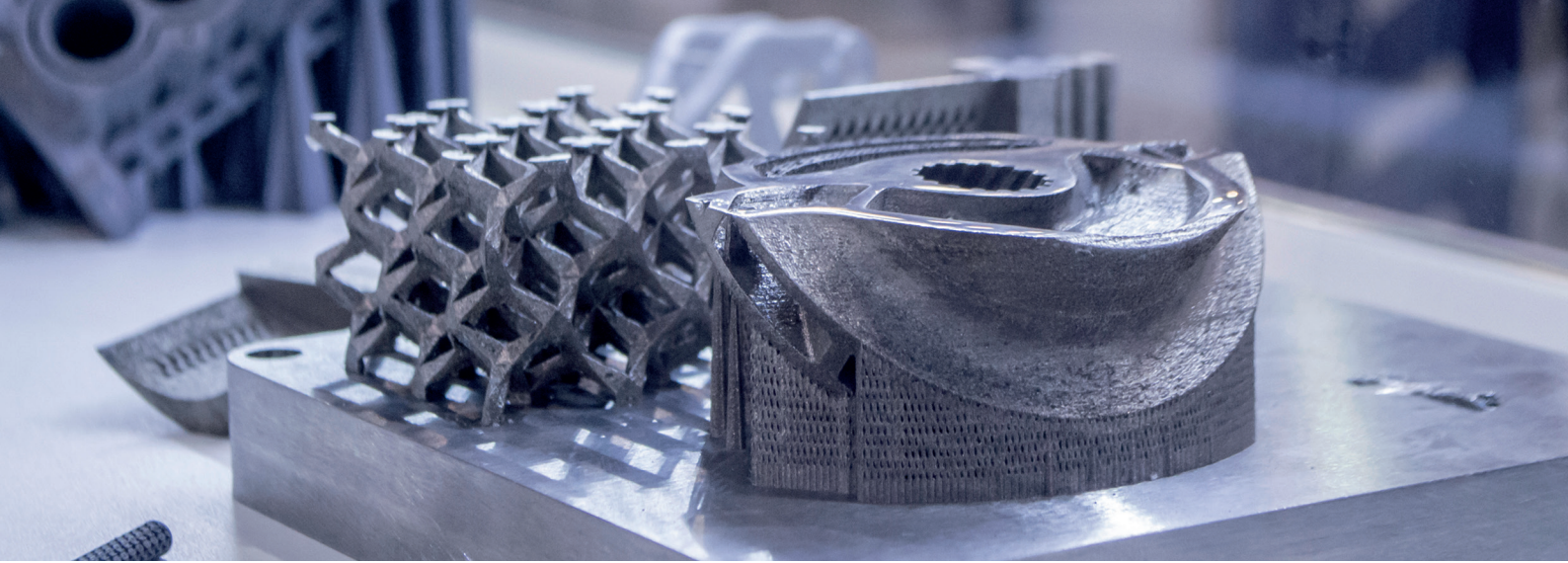
Forschungs- und Entwicklungsziel ist eine Online-Prozessüberwachung zur Früherkennung entstehender Fehler und eine adaptiv Prozessregelung, welche die Herstellung fehlerfreier Bauteile

mit gezielt eingestellten mechanischen Kennwerten ermöglicht. Dies erfordert die Betrachtung der gesamten Fertigungskette, von den technologischen Grundlagen bis zur Anwendung der erstellten Baugruppe. Eine Säule des Überwachungs- und Regelungskonzepts ist die Bauteilsimulation. Ausgehend vom CAD-Modell werden Simulationsgrößen aus den Fertigungsplänen gewonnen. Diese Simulationsdaten werden durch kontinuierlich erfasste Maschinen- und Sensordaten während des Fertigungsprozesses erweitert. Im Anschluss an die Fertigung erfolgt die Bewertung der Baugruppe durch eine nachgelagerte zerstörungsfreie Prüfung und zerstörende Belastungstests. Als Resultat steht am Ende ein Datenpool mit umfassenden Informationen über das Bauteil(-Design), dessen Fertigungsparameter, die dabei auftretenden Bauteildefekte und deren Einfluss auf das Verhalten bei Belastung (mechanisch-technologische Eigenschaften) zur Verfügung.

Die Zusammenhänge werden anschließend mit Hilfe von KI-Methoden analysiert, relevante Einflussgrößen identifiziert, klassifiziert und bewertet. Auf diese Weise entsteht ein digitaler Zwilling des Bauteils, welcher Informationen über alle vorliegenden Fehlerarten, -größen, -positionen und resultierenden Bauteileigenschaften beinhaltet.

### Ergebnisse

Zum Erreichen dieses Ziels stehen eine Vielzahl an Prüfverfahren zur Verfügung, welche je nach AM-Prozess zum Einsatz kommen können. So können hochfrequente Schallemissionen sowohl als Körper- oder auch als Luftschall während des Prozesses erfasst werden und geben in Echtzeit Rückschlüsse auf Anomalien. Mittels Körperschall können Poren und Risse während der Fertigung beim LPBF-Prozess (Laser Powder Bed Fusion) erkannt werden. Dieses Verfahren eignet sich neben pulverbettbasierten auch für auftragsbasierte additive Fertigungsprozesse. Der



Mittels AM angefertigte Objekte

Einsatz von thermographischen Kamerasystemen ist ebenfalls für strahlbasierte Verfahren geeignet und erlaubt eine Beobachtung des Heiz- und Abkühlverhaltens des Bauteils. Mittels Wirbelstromprüftechnik ist es außerdem möglich, die Qualität jeder Fertigungsschicht bei pulverbettbasierten AM-Prozessen zu kontrollieren und damit frühzeitig Anomalien zu identifizieren. Hierfür ist jedoch die elektrische Leitfähigkeit des Werkstoffs eine wesentliche Voraussetzung.

Die Messergebnisse des Online-Monitorings mittels Schallemission korrelieren mit den Befunden der Post-Prozess-Verfahren (beispielsweise aktive Thermographie, Ultraschallprüfung oder CT) sowie der zerstörenden Prüfung (Metallographie etc.) und erlauben somit eine flexible, schnelle und zerstörungsfreie Qualitätssicherung für die additive Fertigung.

## Ihr Vorteil

- Reduzierung erforderlicher Nachuntersuchungen
- Verbesserte Bauteilqualität
- Früherkennung von irreparablen Schäden
- Reduzierung der Vorversuche zur Prozessoptimierung
- Kostenersparnis durch beschleunigte Produktentwicklungszeit

## Kontakt

Frank Leinenbach, M. Sc.  
+49 681 9302 3627  
frank.leinenbach@izfp.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Benjamin Sträß  
+49 681 9302 3619  
benjamin.strass@izfp.fraunhofer.de

## Keywords

Additive Fertigung, Online Monitoring, KI, Qualitätssicherung

Additive manufacturing, online monitoring, AI, quality assurance

## Abstract

Compared to conventional manufacturing processes, additive manufacturing (AM) allows to produce small quantities (even down to batch size 1) as well as components with complex geometries in addition to series production. Thus, the process is particularly attractive for lightweight construction applications. For robust and reliable industrial applications it is a crucial factor to evaluate the quality of additively manufactured components by detecting defects and their effects on reliability in the respective application scenario. Which is a challenging task for additive manufacturing processes, as AM comprises a multitude of manufacturing processes with very different process-specific quality characteristics (e.g. defects, properties). Quality characteristics, such as type, number and position of defects, may vary greatly from component to component.

Conventional AM equipment provides none or only little information on the component during the process. Defects such as pores, bonding defects and cracks can only be detected after completion of the component by means of complex examinations such as metallography or X-ray CT. Furthermore, the relationships between the type, shape and size of the defects and the resulting component properties (effect of defect) have not yet been adequately clarified. Therefore, the research and development objective is the online process monitoring for the early detection of emerging defects including the adaptive process control, which enables the targeted adjustment of mechanical-technological parameters.



**INNOVATIVE  
TECHNOLOGIEN.**

**SICHERE  
ZUKUNFT.**



# INNOVATION

## Zukunftsorientierung

### Innovationstreiber »Forschungslandschaft Fraunhofer IZFP«

Im Zuge der neuen globalen Megatrends und der Fraunhofer-internen »Prioritären Strategischen Forschungsfelder« (PSF) wurden am Fraunhofer IZFP strategische Leitlinien und Initiativen definiert, um mit Hilfe von kognitiven Sensorsystemen spezifische Lösungsansätze in die Anwendung zu bringen. Damit soll die Fraunhofer IZFP-Forschungslandschaft als Innovationstreiber intern gebündelt und extern sichtbar dokumentiert werden. Hierzu wurden die relevanten Kompetenzfelder auf die strategischen Leitlinien mit zukünftiger Wachstumsperspektive fokussiert.

So erweist sich der Bereich »Infrastruktur-Monitoring« als zukünftig stark wachsendes Anwendungsfeld, wobei insbesondere die Zustandsüberwachung während des Betriebes im Kontext eines optimalen, vorausschauenden Facility Managements für die Betreiber zunehmend in den Vordergrund rückt. Darauf wird in einem nachfolgenden Beitrag näher eingegangen.

Hinsichtlich »Wasserstoff« als zukünftig relevantem Energieträger ergeben sich vor dem Hintergrund von Anforderungen zur Sicherheit, Lebensdauer und Zuverlässigkeit vielfältige Fragestellungen für ein Monitoring von Bauteilen und Infrastruktur. In diesem Kontext ist das Fraunhofer IZFP entsprechend seiner Aufstellung entlang des Produktlebenszyklus in den Feldern Werkstoffcharakterisierung, Prozess- und Qualitätsüberwachung aktiv, z. B. hinsichtlich Brennstoffzellen-Komponenten oder Zustandsüberwachung beim Betrieb von wasserstoffrelevanten Bauteilen und Strukturen. Diese Fragestellungen werden anschließend anhand von konkreten Beispielen beschrieben.

Im Zusammenhang von zukünftigen nachhaltigen Wirtschaftssystemen spielen die Lösungsansätze für eine Kreislaufwirtschaft eine tragende Rolle. Hierbei ist eine frühzeitige Identifikation von unterschiedlichen Materialien oder Materialverbänden mittels kognitiver Sensorsysteme für einen optimierten Recyclingprozess von entscheidender Bedeutung.

Die oben genannten Leitlinien sind auch zentraler Bestandteil zukünftiger EU-Förderprogramme, z. B. des »Green Deals«. Um die Sichtbarkeit und Rolle des Fraunhofer IZFP bei EU-weiten Programmen und Projekten zu stärken, hat sich das Fraunhofer IZFP in den verschiedenen relevanten EU-Gremien positioniert. Anhand von Projektbeispielen aus der europäischen EURATOM-Reaktorsicherheitsforschung im Rahmen von Horizon 2020 wird darauf in einem nachfolgenden Beitrag eingegangen.

#### Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Herrmann  
+49 681 9302 3820  
[hans-georg.herrmann@izfp.fraunhofer.de](mailto:hans-georg.herrmann@izfp.fraunhofer.de)

## Monitoring



Mobiler Seilzug-Scanner

## Zustandsüberwachung alternder Bau-Infrastruktur

Das Problem einer alternden Infrastruktur, alternder Gebäude oder des Verfalls kulturhistorischer Bauwerke ist kein rein nationales, sondern ein globales Problem. Um Infrastruktur und kulturhistorische Bauwerke auch weiterhin erhalten und unterhalten zu können oder modernen Ingenieurbauwerken zu einer möglichst langen Lebensdauer zu verhelfen, muss generell der Zustand der Bausubstanz geprüft und überwacht werden. Heute kommen neben den verschiedenen baukonstruktiven Ansätzen zunehmend Verfahren bzw. Messmethoden zum Einsatz, die eine zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) von Bauwerken ermöglichen. Vor allem die Sicherheit alternder Infrastrukturbauwerke stellt ein drängendes Problem dar. Größtenteils errichtet zu einer Zeit, in der ZfP-Technologien noch nicht existierten, müssen diese Bauwerke heute ständig wachsenden Verkehrsbelastungen angepasst werden. Dies stellt die Baulastträger vor besondere Aufgaben, gerade im Bereich der Zustandserfassung.

Im Rahmen von FuE-Vorhaben ist es Ziel des Fraunhofer IZFP, moderne Prüfverfahren, städteplanerische Anwendungsmodelle sowie Techniken und Verfahren zur Zustandserfassung auf nationaler und internationaler Ebene verstärkt in die Anwendung zu führen. Der Schwerpunkt liegt hier allgemein auf der Entwicklung und Einführung neuer automatisierter zerstörungsfreier Prüfsysteme, die anschließend in entsprechenden Dienstleistungen zur Zustandserfassung Anwendung finden. Für die Inspektion von Bauwerken stehen mittlerweile eine Reihe gut entwickelter und in Praxiseinsätzen erprobter zerstörungsfreier Prüfverfahren zur Verfügung. Das Fraunhofer IZFP war und ist – im Rahmen einer gemeinsamen Projektgruppe (Joint Lab) auch zusammen mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) – an mehreren Entwicklungen und Erprobungen beteiligt.

Ein Entwicklungsschwerpunkt am Fraunhofer IZFP im Bereich Bauwesen lag auf der Ultraschallprüfung. Geräte auf Basis von »trocken-Punktkontakt«-Arrays haben die Ultraschallprüfung

von Beton in den letzten Jahren entscheidend vorangebracht. Verschiedene Hersteller bieten mittlerweile derartige Sensoriken an. Bereits in den 1990er Jahren wurde erkannt, dass die Heterogenität von Beton ein entscheidendes Hindernis bei der Ultraschallprüfung darstellt, dass aber durch die lauffzeitkorrigierte Überlagerung von Signalen mit verschiedenen Schallwegen (Combination Synthetic Aperture Focusing Technique, C-SAFT) eine Mittelwertbildung erzielt werden kann, die das Gefügerauschen minimiert und den Signal-Rausch-Abstand verbessert. C-SAFT wurde später im Bereich der Ultraschallprüfung von Metallen als »Full Matrix Capture and Total Focusing Method«, oder im Rahmen einer Eigenentwicklung des Fraunhofer IZFP als »Sampling Phased Array« bekannt. Derzeit werden am Fraunhofer IZFP fortgeschrittene Auswerte- und Rekonstruktionsalgorithmen für die Bewertung von senkrechten Rissen in Beton entwickelt und angewandt. Neben einer Reihe von Praxiseinsätzen im Rahmen des INTERREG-Projektes »GRONE« an Bauwerken in Deutschland und Frankreich wurden auch weitere Bauwerksbefliegungen mittels unbemannten autonomen Flugplattformen mit integrierten ZfP-Modulen durchgeführt.

Regionen wie das Saarland, in denen bereits in den Jahrhunderten vor der industriellen Revolution Bergbau betrieben wurde, verfügen über zahlreiche historische Nachbergbauanlagen, deren Sicherung zum Schutz unserer modernen Infrastruktur hinreichend notwendig ist. In einem von der RAG-Stiftung finanzierten Projekt konnte zusammen mit der BAM in den vergangenen Jahren mit Hilfe eines neuen zerstörungsfreien Monitoring-Verfahrens als wissenschaftlichem Lösungsansatz die wirtschaftlich aufwendige objektbezogene Schadensanalyse an historischen Bauwerken erprobt und inzwischen deutlich optimiert und vereinfacht werden. Ziel war hierbei die technologische und prozessuale Konzeption eines neuen zerstörungsfreien Monitoring-Verfahrens auf Basis von RADAR- und akustischen Verfahren. Beide Verfahren dienen zur Rekonstruktion von auffälligen Strukturen innerhalb der Bauwerke. Zur Abrasterung



»MIRA« Ultraschallprüfgerät

hoher Strukturen wurde eine Seilscannerkonstruktion eingesetzt, die es ermöglicht, Wände bis zu ca. 15 Meter mittels RADAR zu untersuchen (Abbildung linke Seite). Große Strukturen bzw. Reflektoren können so auch an senkrechten Bauwerken gefunden und untersucht werden.

Zusätzlich konnte mit innovativer ambienter Thermographie eine spezielle, passive Aufzeichnungsmethode von Wärmebildern (Thermogrammen) über einen so langen Zeitraum angewendet werden, dass sämtliche Umwelteinflüsse die Anregungsmethode für die zu messende Struktur darstellen. Die Haupteinflussfaktoren sind Sonneneinstrahlung und Konvektionswärme, die sich wetterbedingt stark ändern können. Um eine gleichmäßige Erwärmung und Abkühlung von Tag zu Tag zu erhalten, ist es wichtig, den Messzeitraum so zu wählen, dass keine zu großen Variationen bzw. Wetterumschwünge auftreten. Für die spezifische Anwendung wurde ein autarkes Messsystem entwickelt, das alle Funktionen zur permanenten Aufzeichnung von Thermogrammen beherbergt. Damit lassen sich interne Defekte in den Mauerstrukturen erkennen. Mit diesem Vorhaben soll eine deutlich bessere integrale Zustandsbewertung von historischen Bauwerken im Kontext des Nachbarbaus erreicht werden, die nicht nur einen zusätzlichen Wissensgewinn, sondern auch eine genauere Aussage zur Standsicherheit der Bauwerke und damit resultierend auch ein Kostenoptimierungspotenzial bei Sanierungsprojekten erwarten lassen.

Perspektivisch ermöglicht eine Verbindung von realen, mit ZfP-Verfahren gewonnenen Substanzdaten und den rekonstruierten Modellen eine vollkommen neuartige Qualität der Zustandserfassung und Schadensdiagnostik, mittels »Building Information Modeling« (BIM) auch in Verbindung mit der Digitalisierung. Damit können bereits entstandene Schäden besser erkannt, analysiert und eine gezielte, kostengünstige Sanierung der Bauwerke erreicht werden.

## Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Herrmann  
+49 681 9302 3820  
hans-georg.herrmann@izfp.fraunhofer.de

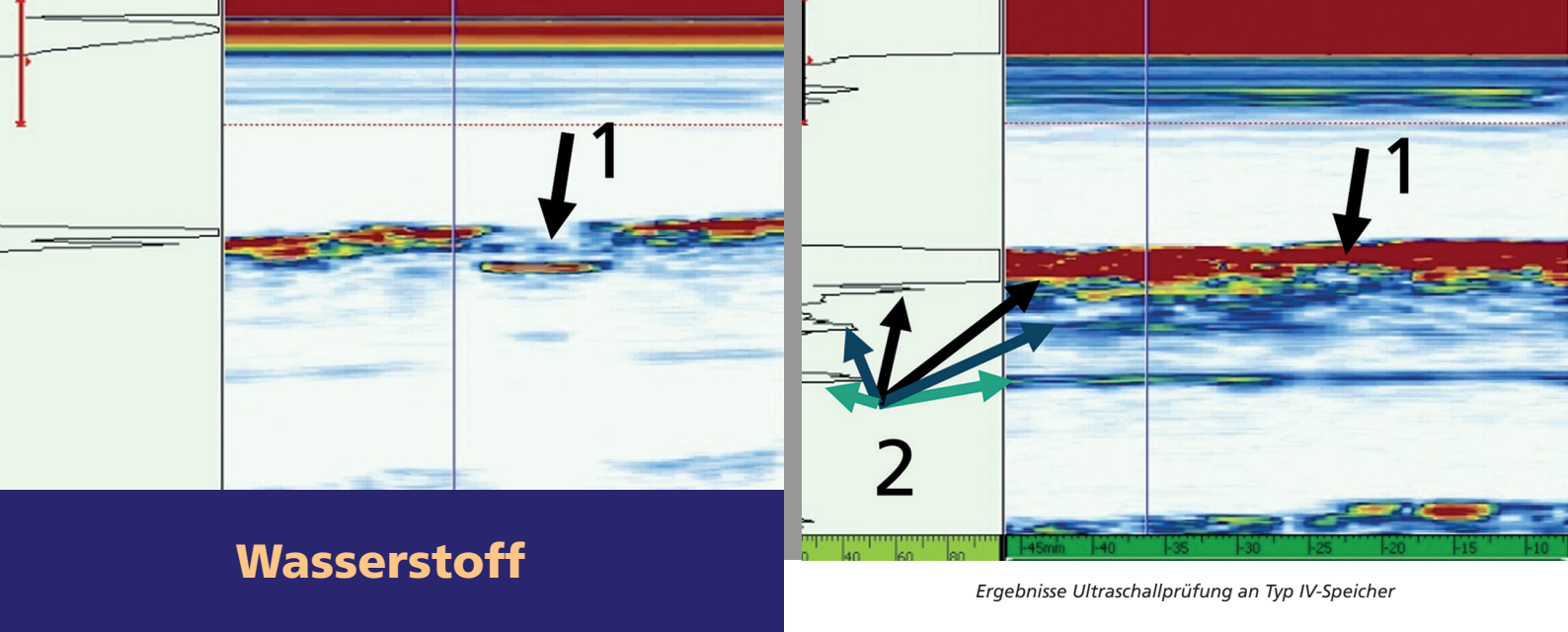
## Keywords

Bauwerke, ZfP im Bauwesen, Zustandserfassung, Schadensdiagnose

Construction, NDT in civil engineering, condition monitoring, damage detection

## Abstract

To solve the increasingly global problem of aging infrastructure, the institute is working on projects that combine modern non-destructive inspection methods with urban planning application models and strategies for permanent condition monitoring of roads, buildings or bridges towards the end of their planned service life. Technologies used in these projects include autonomous flight platforms with integrated NDT modules and mobile scanning systems with integrated RADAR for the inspection of historic structures. By combining the substance data obtained in this way with the reconstructed models, a completely new quality of condition recording and damage diagnostics will be possible in the future, also in combination with digitization via Building Information Modeling (BIM).



# Wasserstoff als alternativer Energieträger für die Energiewirtschaft von Morgen

## Ausgangssituation

Die Diskussion um den Klimawandel hat das Thema Nachhaltigkeit nochmals stärker ins Zentrum der Diskussion gerückt. Auf viele Fragen liefert Wasserstoff eine wichtige Antwort. Er dürfte daher zum Schlüsselmolekül der Energie- und Rohstoffwende werden.

Der Bedarf für Wasserstofftechnologien liegt auf der Hand: Da ist zunächst die Energieversorgung, wo es immer stärker darum geht, regenerativ erzeugte Energie flexibel zwischenspeichern, solange sie in großen Mengen erzeugt werden kann, und sie ins System zurückzuspeisen, sobald Sonne und Wind sich rar machen. Wenn die Klimaziele erreicht werden sollen, muss die regenerative Energieerzeugung konsequent ausgebaut werden.

Um den Prozess dieses Aufbaus nachhaltig und zukunftssicher zu gestalten, arbeiten 25 Institute des »Fraunhofer-Wasserstoffnetzwerks« an der gemeinsamen Vision des Aufbaus einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland. Durch das Wasserstoffnetzwerk und weitere Fraunhofer-interne Elemente wie das »Strategische Forschungsfeld Wasserstofftechnologien« kann dabei auf etablierte Strukturen und Projektmanagementmethoden zurückgegriffen werden. Die dafür zentralen Fragestellungen werden in vier thematischen Schwerpunkten bearbeitet: Neben der Produktion von Wasserstoff mittels Elektrolyse, der systemischen Gesamtbetrachtung und der Digitalisierung der Wertschöpfungskette kommen insbesondere der sicheren Infrastruktur und sicheren Technologien für Transport, Speicherung, Verteilung und Anwendung eine Schlüsselrolle bei der Implementierung zu. In diesem Kontext übernimmt das Fraunhofer IZFP eine führende und koordinierende Rolle in der Fraunhofer-Arbeitsgruppe »Sicherheit, Lebensdauer und Zuverlässigkeit«, in der über White-Spot-Analysen zukünftige Handlungsfelder und Forschungsbedarfe abgeleitet werden.

## Aufgabenstellung

Der Schwerpunkt der Fraunhofer IZFP-Kompetenzen für sichere Wasserstofftechnologie liegt im Bereich kognitiver Sensorsysteme, vor allem auf Grundlage von Infrarotspektroskopie, mikromagnetischen Verfahren und Ultraschallverfahren zur betrieblichen Strukturüberwachung (Condition Monitoring) von wasserstoffbeaufschlagten Bauteilen in stationären und mobilen Systemen. Diese Bauteile unterliegen Degradationsmechanismen wie Wasserstoffversprödung, wasserstoffinduzierter Spannungsrisskorrosion oder Ermüdung.

Die Prüfung von Wasserstoffspeichern stellt in diesem Kontext eine besondere Herausforderung dar, insbesondere in den Fällen

- mobiler Speicher nach einem Crash,
- stationärer LH2-Speicher bei kryogenen Temperaturen oder
- bei H2-Hochdruckspeichern bis 900 bar.

Daraus entstehen Sicherheitsrisiken, die es zu erkennen und zu beherrschen gilt.

Einen weiteren Forschungsschwerpunkt bilden kognitive Sensorsysteme zur Fertigungsprozessüberwachung von wasserstoffrelevanten Bauteilen wie Brennstoffzellen, Leitungen, Tanks (mobil, stationär), um sicherheitsrelevante Bauteile kosteneffizient realisieren zu können.

Konkret kann das Fraunhofer IZFP seine Kompetenzen für folgende Anwendungsbereiche einbringen:

- Kognitive Sensorsysteme zur Überwachung / Optimierung der Erzeugung bzw. der Verfahrenstechnik von Wasserstoff
- Kognitive Sensorsysteme zur Zustandsüberwachung der Speicher- und der Transportinfrastruktur von Wasserstoff (Leitungen, mobile / stationäre Tanks etc.)

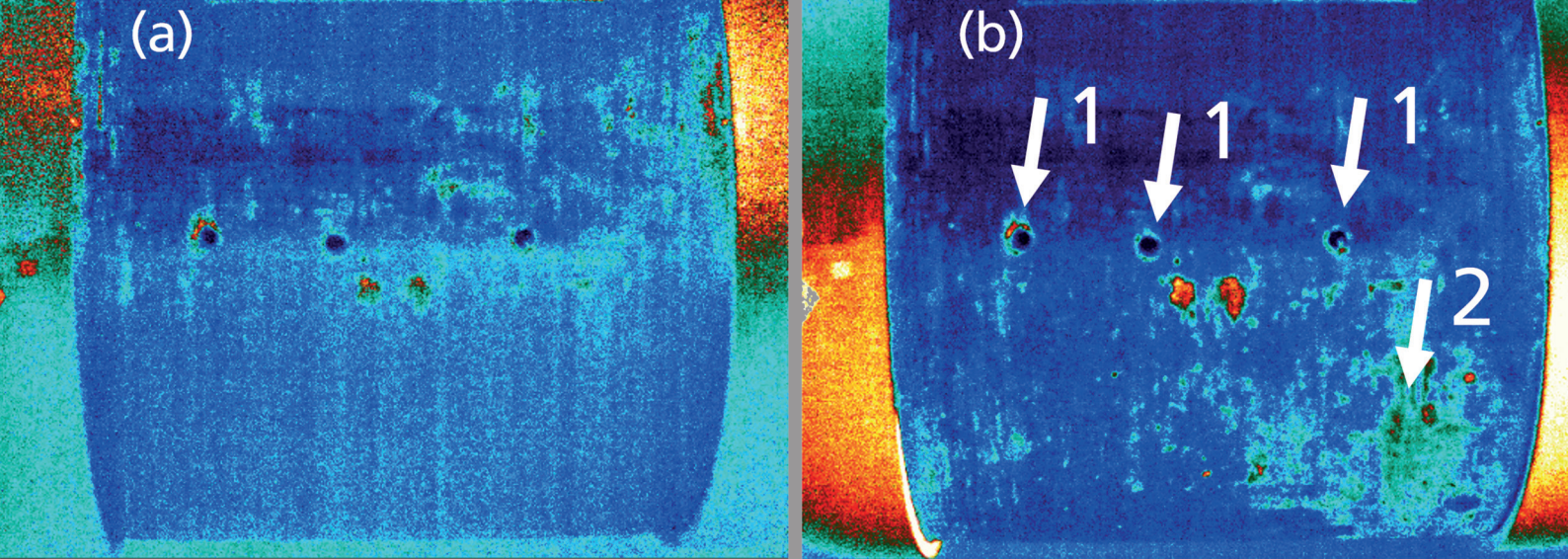


Abbildung 1: Ergebnisse TT-Prüfung an Typ IV-Speicher

- Kognitive Sensorik zur Bewertung der Unversehrtheit mobiler H<sub>2</sub>-Druckspeicher nach einem Crash
- Kognitive Sensorsysteme zur Überwachung und Optimierung des Herstellungsprozesses von Brennstoffzellen und Tanks
- Zertifizierte Prüfung und Inspektion von sicherheitskritischen Komponenten im Betrieb
- Kognitive Sensorik für Condition Based Maintenance (vorausschauende Instandhaltung) von sicherheitskritischen Prozessen / Strukturen

Nachfolgend wird der aktuelle Forschungsschwerpunkt im Bereich der Zustandsüberwachung von Wasserstoffspeichern anhand eines konkreten Beispiels beschrieben.

Die Bauformen für Druckbehälter zur Wasserstoffspeicherung sind überwiegend von der Erdgastechnik bereits bekannt und entsprechen einer Klassifizierung in unterschiedliche Typen. Verbreitet ist ein Aufbau mit innerem PE-Liner, der von einem mehrschichtigen Aufbau aus Faserverbundstoffen (CFK, GFK) in lastgerechter Wickelrichtung umgeben ist. Solche Behälter sind robust, leicht und damit geeignet für mobile Anwendungen. Turnusmäßig, aber auch nach einem Crash, ist die Beurteilung des sicheren Weiterbetriebs erforderlich, wobei ZfP-Techniken einen entscheidenden Beitrag zur Sicherheit der Aussage leisten können.

Ein Druckbehälter des Typs IV mit Testfehlern wurde unter Einsatz von Ultraschallverfahren und Thermographie untersucht, um die charakteristische Antwort der einzelnen Techniken auf gravierende und weniger deutliche Anomalien quantifizieren zu können. Sowohl mittels Phased Array-Ultraschallprüfung als auch mit Impulsthermographie werden Bilder erhalten, welche die lokale Homogenität abbilden und auch unter der Oberfläche liegende Unregelmäßigkeiten erkennen. Abbildung 1 zeigt beispielhafte Ergebnisse dieser Untersuchungen für Referenzfehler in Form von Bohrungen sowie Unregelmäßigkeiten im Faserauf-

bau. Eine künftige Herausforderung wird in der Unterscheidung zwischen tolerablen Materialvariationen und kritischen Unregelmäßigkeiten bestehen.

### Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Herrmann  
 +49 681 9302 3820  
 hans-georg.herrmann@izfp.fraunhofer.de

### Keywords

Werkstoffcharakterisierung, Wasserstoffversprödung, sensorbasierte Prozessüberwachung, Brennstoffzellen-Komponenten, Condition Monitoring, vorausschauende Instandhaltung

Materials characterization, hydrogen embrittlement, sensor-based process monitoring, fuel cell components, condition monitoring, provident upkeep

### Abstract

As a temporary storage medium, hydrogen technologies are key enablers to solve current problems of sustainable energy supply with respect of the requirements of environmental and climate protection. This requires further research and development work, which at Fraunhofer IZFP is mainly addressed by participating in strategic research initiatives. The institute's contributions are primarily based on its competencies in the field of cognitive sensor systems for infrared spectroscopy, micromagnetic methods and ultrasonic methods for operational structural monitoring.



## Seals II

Prüfstand zur Brennstoffzellen-Prüfung

# Sealing Stacks II

## Ausgangssituation

Brennstoffzellen sind hocheffiziente elektrochemische Energiewandler, die geräuscharm und mit vergleichsweise geringen Schadstoffemissionen aus Kraftstoff direkt elektrischen Strom erzeugen. Während für Niedrigtemperatur-Brennstoffzellen bereits Produkte aus der Serienproduktion angeboten werden, besteht bei SOFC-Hochtemperatur-Brennstoffzellen (solid oxide fuel cell) noch Entwicklungsbedarf, der sich im Wesentlichen auf die Kosten pro Kilowattstunde zurückführen lässt. Effiziente Kostenreduzierung kann aber nur durch den Einsatz neuer Materialien und alternativer Fertigungsprozesse umgesetzt werden. Die größte Herausforderung bei der Entwicklung dieser Brennstoffzelle ist eine beständige, gasdichte Fügeverbindung zwischen den einzelnen Stackkomponenten. Die statistische Absicherung und die Entwicklung eines Verfahrens, das mit minimalem Zeitaufwand die Bauteile in Bezug auf die Verbundqualität prüft, sind daher dringend notwendig. Hier setzte das Verbundprojekt »Seals II« in Form einer Kooperation zwischen ErlingKlinger, dem Fraunhofer ISC, dem IAM-KWT und dem Fraunhofer IZFP an.

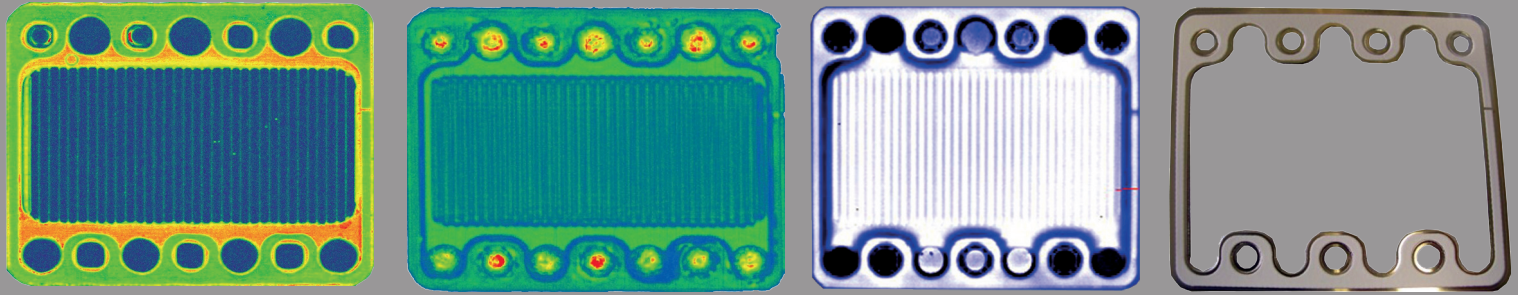
## Aufgabenstellung und Durchführung

Im Rahmen des Projektes sollte eine unter Stackbetriebsbedingungen langlebige, prozesstechnisch einfach zu applizierende Fügung zwischen Zelle und Fensterblech (Metall / Keramik) auf Basis von Glasloten entwickelt werden. Weiterhin sollte ein zerstörungsfreies Prüfverfahren entwickelt werden, das eine hinreichend schnelle, sichere, genaue und möglichst ohne Expertenwissen auskommende Prüfmethodik für die Bewertung der Glaslotverbindungen bereitstellt. Das zu entwickelnde Prüfverfahren sollte weiterhin bis zum Projektende einen Reifegrad als Testmuster erreicht haben, welches zum Zwecke von Vorführung bereits eingesetzt werden kann; weiterhin sollte ein Konzept zur mechanisierten Prüfung erarbeitet werden.

In einem breit angelegten Screening von ZfP-Methoden sollten Verfahren identifiziert werden, die es erlauben, Fehler in der Glaslotfügung nachzuweisen. Hierbei erwiesen sich die blitzlichtangeregte Thermographie sowie die Luftultraschalltechnik als die geeignetsten Verfahren. Bei der thermographischen Prüfung wurden zur Lokalisierung von Kurzschlüssen erstmals eine konduktive und eine induktive Anregung von Strömen eingesetzt. Alle Prüftechniken wurden durch angepasste Abschirm- und Anregungskonzepte verfahrensseitig optimiert, wodurch das Fehlernachweisvermögen erhöht werden konnte.

Das Fehlernachweisvermögen beider Verfahren wurde über eine POD-Analyse (probability of detection) validiert. POD-Kurven für den Nachweis künstlich eingebrachter Fehler in der Glaslot-schicht ergaben bei der Thermographie eine 90-prozentige Nachweiswahrscheinlichkeit ab einer Fehlergröße von 3,6 mm (Einschlüsse). Beim Luftultraschall ergab die POD-Analyse, dass Defektypen wie Einschlüsse und fehlendes Glaslot mit einem Durchmesser von 3 mm mit einer Wahrscheinlichkeit größer 90 Prozent nachgewiesen werden können. Als Ergebnis der Untersuchungen konnte zusammengefasst werden, dass beide Verfahren komplementäre Stärken aufweisen. Daraus ergab sich die Schlussfolgerung, dass eine Kombination beider Modalitäten die Leistungsfähigkeit deutlich verbessert.

Auf Laborebene wurde mittels kollaborativem Zweiarmroboter eine robotergestützte Prüfung mit nachgelagerter Auswertung realisiert. Zur Auswertung der Messergebnisse wurde eine intelligente Bild- und Signalauswertungssoftware entwickelt, die es erlaubt, Thermographiedaten sowie Luft- und konventionelle Ultraschalldaten vergleichend auszuwerten. Speziell für die Auswertung von Thermographiedaten wurden Methoden zur Defekterkennung und -markierung auf Basis von Deep Learning (KI) entwickelt und erfolgreich eingesetzt. Bereits während der Entwicklung des Prüfkonzeptes wurden die Versuchsergebnisse genutzt, um die Probenfertigung zu optimieren.



Ergebnisbilder der verschiedenen Verfahren am Beispiel von unterbrochenem Glaslot (Breite der Unterbrechung: 2 mm); von links nach rechts: Ultraschall-Tauchtechnik, Luftultraschall, Thermographie, Originalprobe

## Ergebnisse

Die Projektpartner konnten eine gute Anhaftung der Glaskeramik an Stahl bzw. Keramik realisieren, die entscheidend für die Stabilität und Gasdichtigkeit der Verbindung ist. Die dabei entstehenden Grenzflächenreaktionen zwischen den einzelnen Fügepartnern konnten im Zuge des Projekts genauestens untersucht werden. Mithilfe eines multimodalen Verfahrens und intelligenter Auswertelgorithmen konnten Defekte im Glaslot zerstörungsfrei detektiert werden. Sowohl Unterbrechungen in der Glaslotschicht, als auch Fremdkörper, wie Metallspäne, konnten detektiert und mittels der speziell entwickelten Software visualisiert werden.

## Ihr Vorteil

Der wirtschaftliche Erfolg einer SOFC-Systeme hängt von den Herstellkosten, den Betriebskosten, der Effizienz, der Betriebszuverlässigkeit und dem zusätzlichen Nutzen wie der Minderung von Rohstoffverbrauch und Emissionen ab. Das Projekt »SealS II« zielte auf die Entwicklung eines technisch funktionellen Systems hin zur Marktreife ab. Die entwickelte Glaslotfübung spart Produktionskosten (keine Notwendigkeit für zwei Lotschichten mehr, Verzicht auf Silberlot), senkt die Ausschussquote (zerstörungsfreie Prüfung von Bauteilen) und erhöht die Lebensdauer von Brennstoffzellenstacks (kaum Degradation während des Betriebs).

## Projektpartner

- ElringKlinger AG
- Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC
- Institut für Angewandte Materialien – Keramische Werkstoffe und Technologien (IAM-KWT)

## Projektträger

Forschungszentrum Jülich GmbH

## Kontakt

Dipl.-Ing. Thomas Schwender  
+49 681 9302 3657  
thomas.schwender@izfp.fraunhofer.de

## Keywords

SOFC-Hochtemperatur-Brennstoffzelle, Glaskeramik, Glaslot, Thermographie, Ultraschall, Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP)

Solid oxid fuel cell (SOFC), glass-ceramics, glass solder, thermography, ultrasound, nondestructive testing (NDT)

## Abstract

The final ambition of BMWi's 6th Energy Research Program is to reduce greenhouse gas emissions as much as 85-90 percent by the year 2050. One input to achieve this goal is the development of a market-ready fuel cell system. The joining quality – which is the main failure criterion of most stacks – influences both the lifetime and the process waste and thus directly the costs. The objective of the joint project "SealS II" is to develop a glass-ceramics-based joint between the electrolyte (ceramics) and the interconnector (ferritic steel) of a high-temperature fuel cell. Additionally, an applicable NDT process or process combination (Fraunhofer IZFP part) shall be developed, which allows the 100 percent inspection of the interconnector's joint as well as of the new joint to-be.



# HORIZON 2020

## RSF – EURATOM

### Laufende EU-Projekte zur Reaktorsicherheitsforschung im Rahmen des »EURATOM research and training programme«

#### Ausgangssituation

Als Reaktion auf den Klimawandel hat die EU-Kommission den »Sustainable Energy Transition«-Plan (SET) ins Leben gerufen, der Initiativen zur beschleunigten Entwicklung und Anwendung kohlenstoffarmer Technologien, der sogenannten Dekarbonisierung, definiert. Innerhalb des SET-Plans hat die EU festgelegt, dass die Kernenergie einen wesentlichen Beitrag zur Verringerung der Treibhausgas-Emissionen leistet und in hohem Maße zur Verbesserung der Unabhängigkeit, Sicherheit und Vielfalt der europäischen Energieversorgung beiträgt. Als wichtiger Baustein zur Erreichung der Zwischenziele für die Dekarbonisierung beim Energiewandel bis zum Jahre 2050 wurde der Langzeitbetrieb (Long Term Operation, LTO) bestehender Kernkraftwerke (KKW) identifiziert.

Das »Forschungs- und Ausbildungsprogramm der Europäischen Atomgemeinschaft – Euratom« ergänzt das europäische Forschungsrahmenprogramm und fördert Forschungs- und Ausbildungsmaßnahmen im Nuklearbereich, wobei der Schwerpunkt auf der kontinuierlichen Verbesserung der nuklearen Sicherheit und des Strahlenschutzes liegt, insbesondere um auf sichere und effiziente Weise zur langfristigen Dekarbonisierung des Energiesystems beizutragen. Kernkraftwerke enthalten eine Reihe von Komponenten, die aufgrund ihrer Größe, Aufgabe oder aus wirtschaftlichen Gründen nicht austauschbar sind und nicht für Probenentnahmen beschädigt werden dürfen. Der sichere Langzeitbetrieb setzt daher den Einsatz aussagekräftiger und zuverlässiger zerstörungsfreier Techniken zur Materialcharakterisierung und Fehlerdetektion voraus.

#### Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die effektive Instandhaltung von Kernkraftwerken ist für ihren sicheren Betrieb unerlässlich. Betriebsbedingte Werkstoffver-

änderungen können zu unwiderruflichen Komponentenschädigungen führen. Durch eine effektive Wartung und Zustandsüberwachung wird die Zuverlässigkeit und Wirksamkeit aller sicherheitsrelevanten Komponenten und Systeme gemäß des ursprünglichen Designs gewährleistet. Zerstörungsfreie Materialcharakterisierung ermöglicht die Detektion, Ortung und Bestimmung solcher betriebsbedingten Werkstoffveränderungen sowie die frühzeitige Erkennung von Schädigungen und leistet dadurch einen signifikanten Beitrag zu ihrem sicheren Betrieb.

Mit dem Ziel, auf europäischer Ebene einen Beitrag zur verbesserten Sicherheit in der Kerntechnik zu leisten, arbeitet das Fraunhofer IZFP aktuell in fünf Projekten mit einem Gesamtvolumen von knapp 22 Millionen Euro. Davon entfallen knapp 2 Millionen Euro auf das Fraunhofer IZFP. Diese Projekte werden im Rahmen des EURATOM-Forschungsprogramms der EU gefördert. Die einzelnen Aufgaben ergeben sich aus den Randbedingungen der verschiedenen Komponenten (Rohrleitungen, Reaktordruckbehälter und Kabel), Werkstoffklassen (Stähle und Kunststoffe) und Betriebsbedingungen (hohe Temperaturen, mechanische Belastungen, Neutronenbestrahlung) in Kernenergieanlagen östlicher und westlicher Konstruktions- und Betriebsdesigns.

#### Umsetzungsbeispiele

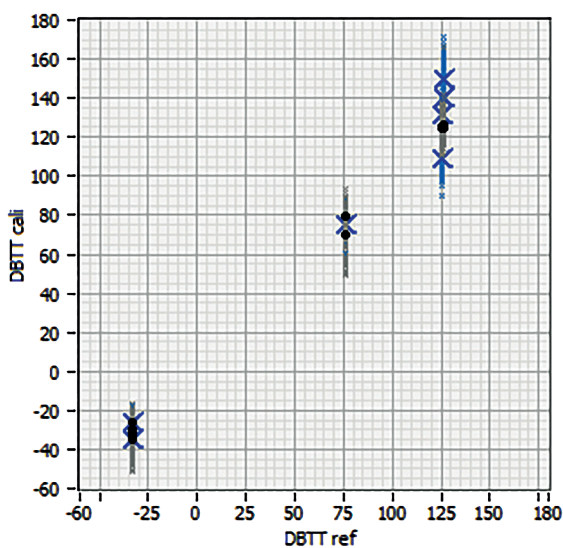
Eine der Herausforderungen im Kontext des sicheren Langzeitbetriebs betrifft die hauptsächlich durch Neutronenstrahlung verursachte Versprödung von nicht ersetzbaren Komponenten wie dem Reaktordruckbehälter (RDB). Da einerseits zunehmend ein Mangel an Überwachungsmaterial (ISO-Standard »Charpy-Proben«) besteht und andererseits die Repräsentativität des ISO-Standards »Charpy-Proben« für den gesamten (möglicherweise mikrostrukturell heterogenen) RDB infrage gestellt wird, werden zwei Lösungsansätze verfolgt:



- Übergang zur Zustandsüberwachung des RDB und
- Übergang zu Überwachungstests an Miniaturproben.

»NOMAD« verfolgt den ersten Lösungsansatz und zielt dabei auf die zerstörungsfreie Charakterisierung der Neutronenversprödung von repräsentativen europäischen RDB-Stählen, um die Integrität des RDB besser beurteilen zu können und einen signifikanten Beitrag zum sicheren Betrieb zu leisten.

Zur Prüfung von plattiertem, möglicherweise mikrostrukturell heterogenem RDB-Material wird ein hybrides ZfP-Tool entwickelt. Mehrere ZfP-Techniken, einschließlich mikromagnetischer, elektrischer und ultraschallbasierter Verfahren wurden entwickelt und sowohl an ISO-Standard Charpy-Proben als auch an großen, plattierten RDB-Blöcken in unterschiedlichen Bestrahlungszuständen angewendet. Da diese Methoden volumetrisch bis in unterschiedliche Probentiefen arbeiten, geben sie Aufschluss über verschiedene Eigenschaften des Grundmaterials.



Bestimmung der Versprödung in Charpy-Proben aus dem RDB-Stahl A508Cl.2 mittels mikromagnetischer Prüfverfahren

In dieser systematischen Studie an einem repräsentativen, gut charakterisierten Probensatz werden die Mikrostruktur, die mechanischen Eigenschaften, die Neutronenbestrahlungsbedingungen und verschiedene zerstörungsfreie Eigenschaften in verschiedenen KI-basierten Modellen zusammengeführt, um die Entwicklung einer Technik zur ganzheitlichen Charakterisierung des Versprödungszustands des RDB voranzutreiben.

In »STRUMAT-LTO« werden vor dem Hintergrund begrenzter Verfügbarkeit von ISO-Standard-konformen Charpy-Proben Fragestellungen bezüglich des Übergangs zu Miniaturproben (sub-Charpy-Größe) für Überwachungstests und bezüglich der Mechanismen der Neutronenversprödung behandelt, die in früheren Versuchsprogrammen aufgeworfen wurden. Hierzu werden Testmethoden, die auf Miniaturproben basieren, zur Charakterisierung von Änderungen der Materialeigenschaften in Folge der Neutronenbestrahlung in Betracht gezogen.

Die invasive qualitative und quantitative Materialcharakterisierung der Versprödung von Miniaturproben wird um zerstörungsfreie Hochfrequenz-Ultraschallverfahren ergänzt, die eine Charakterisierung der Mikrostruktur von Werkstoffen ermöglichen. Einerseits kann auf diese Weise das mögliche Voranschreiten von Versprödung erkannt werden. Andererseits werden Referenzdaten aus zerstörenden Untersuchungen der Partner genutzt, um eine Methode zur zerstörungsfreien Vorhersage von Materialparametern oder mechanischen Eigenschaften der Proben zu entwickeln.

Außer dem RDB stellen komplexe Strukturen, wie gegossene, grobkörnige und geschweißte Materialien in kerntechnischen Anlagen eine Herausforderung für den sicheren Langzeitbetrieb dar. In diesem Kontext zielt »ADVISE« darauf ab, die Ultraschallprüfung solcher komplexen Strukturen, bei denen herkömmliche Ultraschalltechniken aufgrund der Mikro- und / oder Makrostruktur nur eingeschränkt anwendbar sind, voranzutreiben.



»TeaM Cables«: Kenntnisse über das Alterungsverhalten verschiedener Polymere unter realen Bedingungen sowie die zerstörungsfreie Zustandsüberwachung von Kabelisolationen nimmt im Kontext der Laufzeitverlängerung eine immer wichtigere Rolle ein.

Mit seiner langjährigen Erfahrung in der simulationsbasierten Ultraschallprüfung und -bewertung komplexer Komponenten, einschließlich Streueffekten in Materialien wie gegossenen, grobkörnigen und geschweißten Materialien sowie in Signalverarbeitungsalgorithmen für verbesserte Bildgebungstechniken und im Bereich EMUS-Design und -Anwendung, befasst sich das Fraunhofer IZFP mit der Entwicklung von Simulationswerkzeugen für die Wellenausbreitung, mit experimentellen Ansätzen zur Materialcharakterisierung, mit der Entwicklung und Anwendung neuartiger elektromagnetischer Ultraschallwandler (EMUS) für die Schweißnahtprüfung sowie der Entwicklung / Modifikation von Bildgebungstechniken zur Fehlerrekonstruktion und -charakterisierung in stark streuenden Materialien.

Neben dem Materialverhalten metallischer Komponenten spielen die Alterungsphänomene in Kunststoffisolationen oder Kunststoffrohren eine relevante Rolle im sicheren Langzeitbetrieb. Allein im Reaktorgebäude werden Kunststoffe mit einer Gesamtmasse von ungefähr fünf Tonnen eingesetzt. Durchschnittlich werden 25 000 Kabel mit einer Gesamtlänge von 1500 km verlegt. Teilweise sind diese schwierigen Umgebungsbedingungen wie erhöhter Temperatur und radioaktiver Strahlung ausgesetzt, welche eine Alterung der Kabelisolationen und infolge dessen Versprödung vorantreiben und Betriebsstörungen begünstigen. Im Extremfall kann dies zu Signalfehlern oder gar Kurzschlüssen mit Brandfolge führen.

»TeaM Cables« befasst sich mit der Modellierung und dem zerstörungsfreien Nachweis von temperatur- und strahlungsinduzierten Alterungseffekten in Kabelisolation aus XLPE unter realistischen Betriebsbedingungen. Das Fraunhofer IZFP trägt mit Terahertz-Zeitbereichsspektroskopie-Messungen und der zugehörigen Datenverarbeitung bei. Dabei stellen die Analyse, Interpretation und Korrelation der Messergebnisse mit Referenzwerten zur Bestimmung alterungsspezifischer Parameter eine zentrale Herausforderung dar. Der Vorteil von Terahertz-Metho-

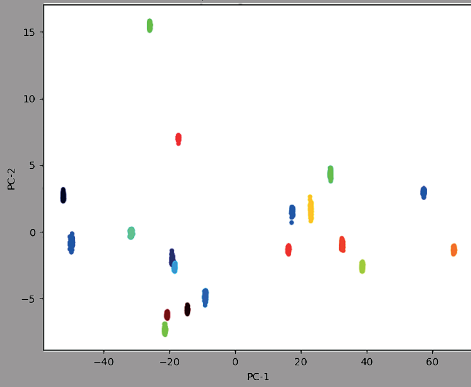
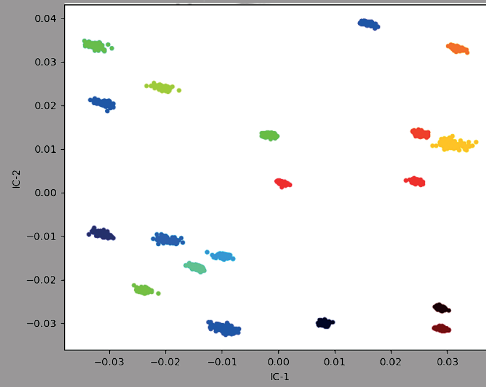
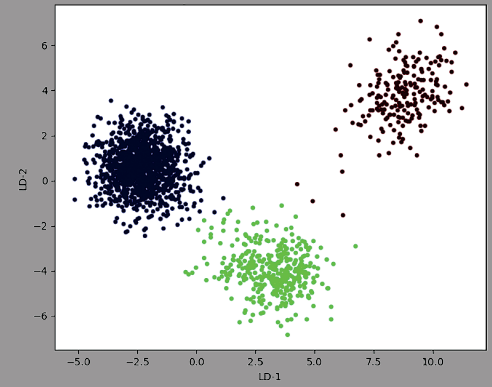
den zur Kabelcharakterisierung in Kernkraftwerken liegt darin, dass diese Methoden berührungslos über Abstände von vielen Zentimetern angewandt werden können.

»El-Peacetolero« hat als übergeordnetes Ziel die Entwicklung eines KI-basierten tragbaren optoelektronischen Handsystems mit geringem Stromverbrauch zur In-situ-Echtzeitmessung, Identifizierung und Zustandsdiagnose alternder Polymere. Von besonderem Interesse sind entsprechende Rohrleitungen in kerntechnischen Anlagen. Neben seiner Fachexpertise im Bereich der Terahertz-Spektroskopie, befasst sich das Fraunhofer IZFP im Vorhaben schwerpunktmäßig mit der Entwicklung und Anwendung von Algorithmen des maschinellen Lernens zum Nachweis der Materialschädigung in gealterten Polymeren anhand einer Vielzahl zerstörungsfrei bestimmter Messdaten. Die entwickelten Modelle dienen der Lösung des inversen Problems der zerstörungsfreien Materialidentifikation und Zustandsbewertung anhand indirekt für den Materialzustand charakteristischer Merkmale.

## Projektträger

Diese Projekte sind durch das »Euratom research and training programme« der EU finanziert.



**Principal Component Analysis (PCA)****Independent Component Analysis (ICA)****Linear Discriminant Analysis (LDA)**

*ML-Daten: Maschinelle Lernalgorithmen ermöglichen das Gruppieren und Klassifizieren hochkomplexer Datenmengen. Die Farben des PCA- und des ICA-Bildes entsprechen Polymerproben aus dem Projekt »TeaM Cables«, die unterschiedliche Alterungsmechanismen erfahren haben. Aufbauend auf PCA und ICA wurde die LDA zur Klassifizierung durchgeführt, die u. a. die Unterscheidung von Probenzuständen im Sinne von »i.O.«, »n.i.O.« und »Zur Beobachtung« ermöglicht.*

## Kontakt

Dr.-Ing. Madalina Rabung  
 +49 681 9302 3882  
 madalina.rabung@izfp.fraunhofer.de

## Keywords

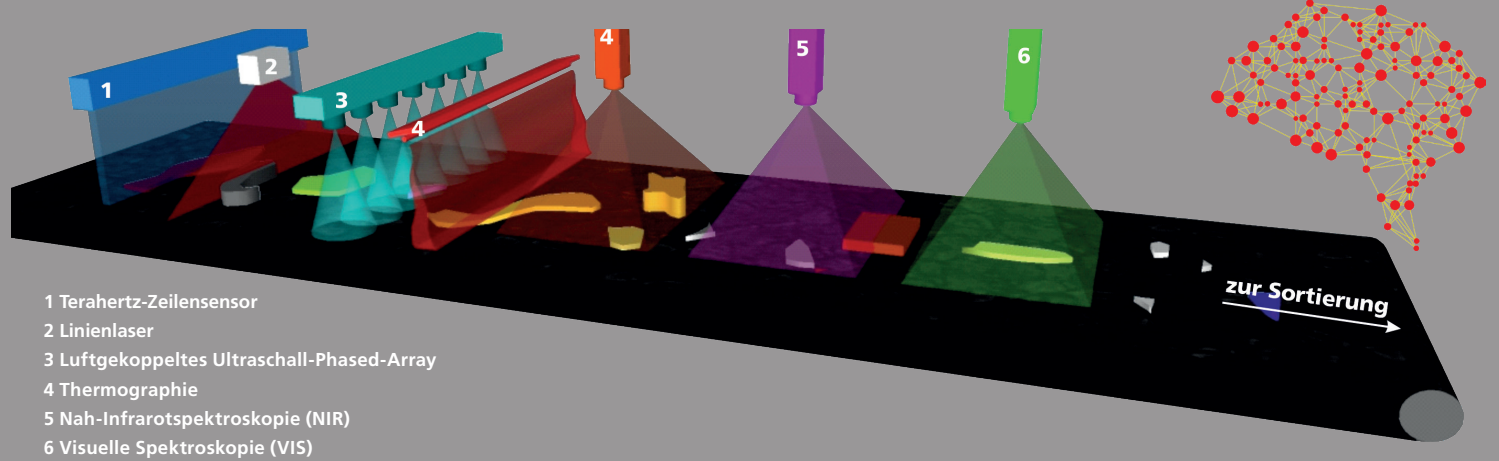
Reaktorsicherheit, zerstörungsfreie Materialcharakterisierung,  
 betriebsbedingte Werkstoffveränderungen

Reactor safety, nondestructive materials characterization, opera-  
 tion-induced material changes

## Abstract

Within the framework of its “Sustainable Energy Transition” plan, the EU Commission has stated that nuclear energy will make a significant contribution to reduce greenhouse gas emissions, thus contributing greatly to the improvement of the independence, safety and diversity of Europe’s energy supply. In this context, the “Research and Training Programme of the European Atomic Energy Community – Euratom” supports research and training activities in the civil nuclear field with a focus on the continuous improvement of nuclear safety and radiation protection, in particular to contribute in a safe and efficient way to the long-term decarbonization of the energy system.

The Fraunhofer IZFP is currently involved in five EURATOM funded research projects with a total budget of almost 22 million euros in the field of nondestructive material characterization for the detection, localization and determination of operation-related material changes. These projects focus on the early detection of damage in metallic safety-relevant components, among others on alternatives for ISO-V-Charpy samples as well as the detection of ageing-related, safety-relevant material changes in cables.



- 1 Terahertz-Zeilensensor
- 2 Linienlaser
- 3 Luftgekoppeltes Ultraschall-Phased-Array
- 4 Thermographie
- 5 Nah-Infrarotspektroskopie (NIR)
- 6 Visuelle Spektroskopie (VIS)

## Recycling

Abbildung 1: Mehrere Sensormodalitäten erfassen Materialinformationen der Partikel auf dem Förderband.

# Kognitive Sensorik für das Recycling von Morgen: Next Life anstelle von End-of-Life

## Ausgangssituation

Ein nachhaltiger Umgang mit begrenzten Ressourcen ist eine der großen Herausforderungen unserer Zeit und erfordert Lösungen, die über die bekannten Formen des Recyclings hinausgehen. Hier spielen die Materialdaten, zyklische Geschäftsmodelle, Modelle der Abfallentropie und der ökologische Fußabdruck über sämtliche Lebenszyklen eines Ausgangsstoffs hinweg entscheidende Rollen. Ziel ist es, am Ende der Nutzlebensdauer eines Produkts oder seiner Verpackung die thermische Verwertung oder energieintensive Aufbereitungsprozesse zu vermeiden und stattdessen mit niedrigem Energieaufwand einen hochwertigen neuen Lebenszyklus, ggf. in anderer Anwendung, zu beginnen. Das so angestrebte »Recycling 4.0« erfordert in der Rezyklierungsphase die Bestimmung einer absoluten Objektidentität auf sämtlichen Skalenebenen (Material, Bauteil, Komponente, Produkt) unter Einsatz einer Kombination aus innovativen Sensorensystemen und maschinellem Lernen – der sogenannte »digitale Zwilling« ist an dieser Stelle keine Worthülse, sondern repräsentiert deutlich, wohin die Entwicklungsbedarfe gehen.

## Aufgabenstellung

Das Fraunhofer IZFP leistet im Kontext der Materialcharakterisierung und -identifikation einen Beitrag zum »Recycling 4.0«. Die Vision besteht darin, einzigartige Merkmale von Materialien, Bauteilen, Komponenten und Produkten auf nichtinvasivem, berührungslosem Wege zu erfassen und daraus sowohl Eigenschaften wie Alterungszustand, besondere Inhaltsstoffe, Schichtaufbau etc. abzuleiten als auch die absolute Identität (eine Art global einzigartiger »Name«) von Objekten unterschiedlicher Skalen zu bestimmen. Die Herausforderung ist, hierbei beherrschbare Mengen relevanter Daten anstelle ungefilterter »Big Data« zu verarbeiten. Dabei kann an bisherige Sen-

sortechniken zur Materialsortierung angeknüpft werden (z. B. VIS-, NIR- und Multispektralkameras), aber es werden auch neue Techniken wie luftgekoppelter Ultraschall, Millimeterwellen- und Terahertz-Sensorik sowie aktive Thermographie zum Einsatz gelangen. An dieser Stelle wird eng mit anderen Fraunhofer-Instituten wie dem FHR und dem IOSB zusammengearbeitet. Im Gegensatz zu bestehenden Sortieranlagen mit individueller Verarbeitung der Sensordaten einzelner Modalitäten besteht eine Besonderheit des Fraunhofer IZFP-Ansatzes in einer Fusion aller Sensordaten zu einem gemeinsamen »Fingerprint«, der zugleich die Grundlage für Charakterisierung und Identifikation bildet (vergleiche Abbildung 1).

Innovatives Recycling wird gesellschaftlich immer bedeutender und dadurch europaweit politisch vorangetrieben; das Feld ist material- und produktseitig aber auch weit gespannt. Weil die Verwertungsprozesse sich material- und produktspezifisch erheblich unterscheiden, wird vorerst keine allumfassende Lösung gesehen, sondern ein Fokus auf bestimmte Materialklassen gesetzt. Kunst- und Verbundstoffabfälle bilden den aktuellen Schwerpunkt, unter anderem weil Kunststoffabfälle derzeit noch zu ca. 50 Prozent thermisch verwertet (verbrannt) werden. Wird dies nach neustem Stand der Technik durchgeführt, geschieht es zwar recht umweltverträglich, stellt aber definitiv das Ende der Kreislaufführung dar. Hinzu kommt, dass durch die Einführung der CO<sub>2</sub>-Bepreisung zunehmend auch ein wirtschaftlicher Anreiz für die Minimierung der thermischen Verwertung geschaffen wurde. Da die Recyclingrate von Kunststoffen in Deutschland in den letzten zehn Jahren nur marginal gestiegen ist und unterhalb mehrerer anderer EU-Länder, u. a. weit unterhalb der Recyclingrate in Litauen liegt, wird von der Legislative zudem auch der regulatorische Rahmen enger gespannt, beispielsweise durch die gesetzliche Einführung höherer Recyclingquoten.

Als Konsortialpartner im Fraunhofer-Leitprojekt WASTE4FUTURE trägt das Fraunhofer IZFP zu einer Steigerung des Anteils an che-

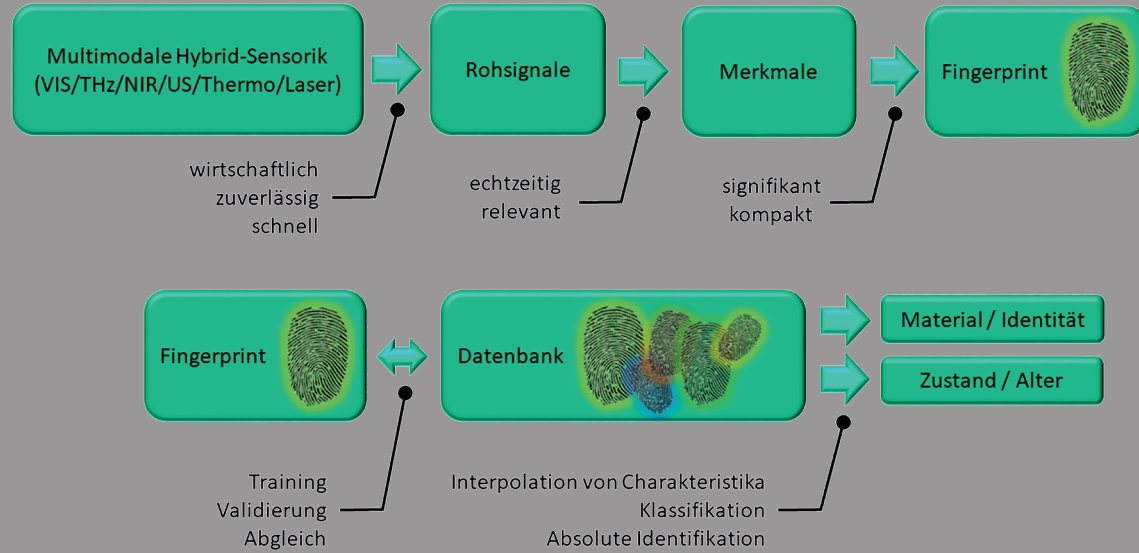


Abbildung 2: Extraktion und Nutzung material- und zustandsspezifischer Fingerprints aus Multisensordaten

mischer Verwertung bei, die aus Post-Consumer-Range-(PCR-) Abfällen neue hochwertige Rohstoffe für die chemische Industrie gewinnen wird. Während überlegene Identifikations- und Sortiertechnik bereits kurzfristig eine signifikante Verringerung des Anteils thermischer Verwertung ermöglicht, wird mittelfristig durch Designempfehlungen für bessere Sortierbarkeit / besseres Recycling eine weitere Reduktion erzielt. Langfristig führen die kurz- und mittelfristigen Erfolge bei entsprechend vielschichtiger Einspeisung in die Kreislaufsysteme auch zu höherer Sortiermoral und mehr Abfallbewusstsein der Endverbraucher, was den Bedarf an thermischer Verwertung zusätzlich senkt.

Im Falle von CFK ist selbst die thermische Verwertung äußerst schwierig, und eine hochwertige Nutzung von CFK-Abfällen erfordert schonende Prozesse wie Solvolyse, die empfindlich gegenüber Sortenverunreinigungen des Eingangsmaterials sind. Im Kontext der entsprechenden Identifikations-, Charakterisierungs- und Sortieraufgaben ist das Fraunhofer IZFP Teil eines EU-Projektkonsortiums und erwartet zeitnah die Freigabe eines vierjährigen Vorhabens.

Grundlage für alle aktuellen Fraunhofer IZFP-Aktivitäten rund um das Thema Recycling stellt neben der Entwicklung bzw. Implementierung von Techniken, die Sensoreffekte auf Hard- und Softwareebene synergetisch zusammenführen, ein am Fraunhofer IZFP entwickeltes Softwareframework dar, das den Mess- und Datenverarbeitungsablauf modularisiert (vergleiche Abbildung 2). Bislang wurden weit über 100 Softwaremodule entwickelt, die zum Auslösen von Messungen, zur Steuerung von Aktoren, Abfrage von Sensoren, Signalverarbeitung, Merkmalsextraktion und Merkmalsverarbeitung sowie zur Visualisierung und Dokumentation dienen. Die jüngste Erweiterung berücksichtigt Algorithmen des maschinellen Lernens, da diese von hohem Interesse sind, wenn es um die Identifikation und Separation komplexer Zusammenhänge zwischen Zielmerkmalen und messtechnischen Merkmalen geht.

## Kontakt

Dr.-Ing. Klaus Zielasko  
+49 681 9302 3888  
klaus.zielasko@izfp.fraunhofer.de

Dr. rer. nat. Ines Veile  
+49 681 9302 3846  
ines.veile@izfp.fraunhofer.de

## Keywords

Recycling, Nachhaltigkeit, sekundäre Rohstoffe, Sortierung, Materialidentifikation

Recycling, sustainability, secondary raw materials, sorting, materials identification

## Abstract

The sustainable handling of limited resources requires solutions at the end of the life cycle that go beyond previous forms of recycling. These include, among other things, the avoidance of energy-intensive forms of recycling and the start of a new life cycle for the materials used. In the future, the concept of the "digital twin" will enable the determination of a scale-independent absolute object identity in this context. For this purpose, Fraunhofer IZFP researches and develops innovative cognitive sensor systems which, based on machine learning, are able to combine sensor effects on hardware and software level and to use them for the identification of complex correlations between target features and measured parameters.



# ANHANG



# Mitgliedschaften 2020

## Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP (Mitgliedschaften des Instituts)

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
- Fraunhofer-Allianzen
  - Bau
  - Big Data und Künstliche Intelligenz
  - Forschungsfeld Leichtbau
  - Geschäftsbereich Vision
  - Leitmarktorientierte Allianz für Maschinen- und Anlagenbau
  - Netzwerk Simulation
  - Verkehr
- Fraunhofer-Verbünde
  - Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS
  - Mikroelektronik (Gaststatus)
- SNETP / NUGENIA – Nuclear Generation II & III Association
- EERA – European Energy Research Association
  - EERA-JPNM – Joint Programme on Nuclear Materials
  - EERA-JP FCH – EERA Joint Programme on Fuel Cells and Hydrogen
  - EERA- tJP DfE – EERA transversal Joint Programme on Digitalisation for energy

## Dipl.-Ing. Michael Becker

- Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V. (DGM), persönliches Mitglied

## David Böttger, M. Sc.

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Zustandsüberwachung«, Mitglied

## Dipl.-Ing. (FH) Stefan Caspary

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Ultraschallprüfung«, Unterausschuss »Phased Array«
- Fraunhofer »Leitmarktorientierte Allianz für Maschinen- und Anlagenbau«

## Dipl.-Ing. Christian Conrad

- Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. (DVS)
  - DVS/AG V 11.2 / DIN NA 092-00-27 AA »Rührreißschweißen«
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI) / Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik (VDE)
  - VDI/VDE-GMA FA 3.23 »Härteprüfung« AG 2616-1

## Birgit Conrad-Markschläger

- Sprecherkreis Fachinformation der Fraunhofer-Gesellschaft, Vorsitzende

## Dipl.-Ing Andreas Haas

- Fraunhofer »Leitmarktorientierte Allianz für Maschinen- und Anlagenbau«, Mitglied
- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Automotive«, Mitglied

## Prof. Dr.-Ing. Randolph Hanke

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Persönliches Mitglied
  - Beirat, kooptiertes Mitglied
  - Fachausschuss »Hochschullehrer«, Mitglied
  - Fachausschuss »Durchstrahlungsprüfung«, Mitglied
    - Unterausschuss »Digitale Radiologie«, Mitglied

- Kuratorium zur Förderung des Andenkens an Wilhelm Conrad Röntgen in Würzburg e.V., Mitglied
- Julius-Maximilians-Universität Würzburg
  - Graduate School of Science & Technology (GSST), Mitglied
  - Mitglied im Vorstand des Physikalischen Instituts der Fakultät für Physik und Astronomie
- Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG), Mitglied
- Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des Deutschen Verbands für Schweißen und verwandte Verfahren e.V., Mitglied
- Hochschulrat der Hochschule Deggendorf, Mitglied
- Hochschulrat der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (htw saar), Saarbrücken, Mitglied

### **Dipl.-Geogr. Dirk Henn**

- Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. (DGQ), Mitglied

### **Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Herrmann**

- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI)
- Society of Automotive and Aeronautical Engineers (SAE), USA, Mitglied
- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
- American Society for Nondestructive Testing (ASNT)
- »Smart Materials and Structures«, herausgegeben vom Institute of Physics Publishing, Bristol/UK, Reviewer
- Fraunhofer
  - Forschungsfeld Leichtbau, Mitglied
  - Bau, Mitglied
- Materials and Design (Elsevier), Gutachter
- Science and Engineering of Composite Materials (de Gruyter), Gutachter
- Production Engineering – Research and Development (Springer), Gutachter
- Metals (MDPI), Gutachter
- Production Engineering, Gutachter
- Smart Materials and Structures (IOPscience), Gutachter
- Vertreter des Saarlandes beim BMWi-Strategiekreis Leichtbau
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi, Gutachter
- Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Gutachter
- Bayerische Forschungsförderung, Gutachter
- Deutscher Akademischer Austauschdienst e.V. DAAD, Gutachter
- Stiftung Industrieforschung, Gutachter
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Gutachter
- Wissenschaftsrat (WR), Gutachter

### **Dipl.-Phys. Patrick Jäckel**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Zustandsüberwachung« (FA SHM), Mitglied
- Fraunhofer »Netzwerk Simulation«

### **Dirk Koster, M. Sc.**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Wirbelstromprüfung«, Mitglied
    - Unterausschuss »Ausbildung«, Mitglied
    - Unterausschuss »Seminar Wirbelstromprüfung«, Mitglied
    - Arbeitsgruppe »Rohrinnenprüfung«, Mitglied
  - Fachausschuss »Faserkunststoffverbunde«, Mitglied

### **Frank Leinenbach, M. Sc.**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »ZfP 4.0«, Mitglied
    - Arbeitsgruppe »Additive Fertigung«, Mitglied
    - Arbeitsgruppe »OPC UA«, Mitglied
      - Unterausschuss »Schnittstellen, Dokumentation, Datensouveränität, Speicherung & Archivierung«, stellv. Leiter

### **Dr.-Ing. Michael Maisl**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP), persönliches Mitglied
  - Fachausschuss »Durchstrahlungsprüfung«, Mitglied
    - Unterausschuss »Bildverarbeitung«, Mitglied
    - Unterausschuss »Computertomographie«, Mitglied
  - Leitung Arbeitskreis Saarbrücken

### **Dipl.-Ing. (FH) Ralf Marcel Moryson**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP), persönliches Mitglied
  - Fachausschuss »Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen«, Mitglied

### **Dr. rer. nat. Udo Netzelmann**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Thermographie«
- Fraunhofer »Geschäftsbereich Vision«
- Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG)
- DIN-Normenausschuss NA 062-08-27 »Visuelle und thermographische Prüfung«
- CEN-Normenausschuss CEN/TC 138/WG11 »Infrared thermographic testing«

### **Dr.-Ing. Holger Neurohr**

- DIN Normenausschuss: NA 062-08-20-01
  - Arbeitskreis »Shearographie«

### **Dipl.-Übers. Sabine Poitevin-Burbes**

- Fraunhofer PR-Netzwerk

### **APL Prof. Dr.-Ing. habil. Ute Rabe**

- Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG)
- Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA)
- Vorstand DGM Regionalforum Saar
- Composites United e.V. (CU) – AG-Engineering / NDE / Klebtechnik
- Mitglied des Board der EEIGM (École Européenne d'Ingénieurs en Génie des Matériaux), Nancy
- Mitglied des Conseil Scientifique et Industriel, Institut Carnot ICÉEL (Institut Carnot Énergie et Environnement en Lorraine)

### **Dr.-Ing. Madalina Rabung**

- Fraunhofer EU-Netzwerk
- SNETP / NUGENIA
  - Technical Area 4 »Integrity assessment of Systems, Structures and Components«
- EERA
  - Steering Committee und Management Board des EERA Joint Programme »Nuclear Materials«
  - Steering Committee des EERA Joint Programme »Fuel Cells and Hydrogen«
  - EERA transversal Joint Programme »Digitalization for Energy«, Mitglied

### **Dr.-Ing. Florian Römer**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Senior Member
  - Access, Gutachter
  - Journal on Selected Areas in Communications, Gutachter
  - Journal of Selected Topics in Signal Processing, Gutachter
  - Signal Processing Letters, Gutachter
  - Signal Processing Society, Mitglied
  - Transactions on Information Theory, Gutachter
  - Transactions on Instrumentation and Measurement, Gutachter
  - Transactions on Signal Processing, Associate Editor & Gutachter
  - Transactions on Wireless Communications, Gutachter
  - Wireless Communications Letters
- VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE), Mitglied
  - Informationstechnische Gesellschaft

- European Association for Signal Processing (EURASIP), Mitglied
  - Technical Area Committee (TAC) zu »Signal Processing for Multisensor Systems«, gewähltes Mitglied
- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Gutachter
- Elsevier Signal Processing (Eurasip), Gutachter
- Elsevier Digital Signal Processing (Eurasip), Gutachter
- Sensors (MDPI), Gutachter
- SpringerOpen EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Gutachter
- Institution of Engineering and Technology (IET)
  - IET Radar, Sonar & Navigation, Gutachter
  - IET Electronics Letters, Gutachter
- Elsevier Neurocomputing, Gutachter
- Journal of Nondestructive Evaluation (Springer Nature), Gutachter

### **Dipl.-Inf. Wolfgang Schäfer**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »ZfP 4.0«, Mitglied
    - Unterausschuss »Schnittstellen, Dokumentation, Datensouveränität, Speicherung & Archivierung«, Mitglied
- Fraunhofer »Smart Maintenance Community«, Mitglied

### **Christian Schmidt, M. Sc.**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Zustandsüberwachung«, Mitglied
    - Unterausschuss »Geführte Wellen«, Mitglied

### **Dipl.-Ing. Thomas Schwender**

- DIN-Normungsausschuss, Berlin
  - Arbeitsausschuss NA 062-08-23 AA »Ultraschallprüfung«
- VDI-Arbeitskreis »Automatisierter Ultraschall« (Reinheitsgradbestimmung, Georgsmarienhütte)
- Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie, Düsseldorf (BDG)
  - Fachausschuss »Leichtmetall-, Sand- und Kokillenguss«

### **Bernd Sprau, M. Sc.**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Unterausschuss »Schnittstellen, Dokumentation, Datensouveränität, Speicherung & Archivierung« im FA ZfP 4.0, Arbeitsgruppe »DICONDE«, Mitglied

### **Philipp Stopp, M. Sc.**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »ZfP 4.0«
    - Arbeitsgruppe »Additive Fertigung«, Mitglied

### **Dr.-Ing. Benjamin Straß**

- Verein Deutscher Ingenieure VDI, Mitglied
- Deutsche Physikalische Gesellschaft DPG, Mitglied
- Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. (DVS)
  - Fachausschuss 4 »Widerstandsschweißen«
    - Arbeitsgruppe V3.9 »Prüfen von Widerstandsschweißverbindungen«
  - Fachausschuss 5 »Sonderschweißverfahren«
    - Arbeitsgruppe V11.2 »Rührreißschweißen (FSW)«
- Fraunhofer »Leitmarktorientierte Allianz für Maschinen- und Anlagenbau«
- Materials and Design (Elsevier), Gutachter
- Metals (MDPI), Gutachter
- Practical Metallography, Gutachter
- DIN-Arbeitsausschuss NA 092-00-27
  - AA Rührreißschweißen

## **Christopher Stumm, M. Sc.**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Mikrowellen- und Terahertzverfahren«, Mitglied
  - Fachausschuss »ZfP im Bauwesen«
    - Unterausschuss »Feuchte«, Mitglied

## **Dr.-Ing. Jannik Summa**

- DVM- Deutscher Verband für Materialforschung, persönliches Mitglied
- MDPI Polymers, Reviewer

## **Dr.-Ing. Klaus Zielasko**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen«
    - Unterausschuss »Magnetische Verfahren zur Spannstahlbruchortung«, Mitglied
  - Fachausschuss »Materialcharakterisierung«
  - Fachausschuss »ZfP 4.0«
    - Arbeitsgruppe »Intelligente Sensortechnologie«, Mitglied

## **Prof. Dr.-Ing. Bernd Valeske**

- Lenkungskreis von Fraunhofer »Verkehr«
- Wissenschaftlicher Beirat von »autoregion e.V.« (Cluster der Großregion Saar-Lor-Lux und Rheinland-Pfalz für die Automobilwirtschaft)
- Wissenschaftliche Beratung in der Arbeitsgruppe des Netzwerkes »Automotive Saar«, saar.is / IHK
- Vorsitzender Lenkungsausschuss von SECTOR Cert GmbH
- Mitglied im Sector-Ausschuss Thermografie
- Mitglied im Verband für Angewandte Thermografie e.V. (VATh)
- Wissenschaftlicher Beirat der »Deutsch-Mexikanischen Gesellschaft im Saarland e.V.«
- Wissenschaftlicher Beirat der »Deutschen Crowdinvest GmbH«
- Mitglied im Präsidium von saarland.innovation&standort e.V. (saar.is)
- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP), Mitglied
  - Leiter des Fachausschusses »ZfP 4.0: ZfP im Zeichen der Digitalisierung«
- Wissenschaftlicher Beirat des »Bavarian Journal of Applied Sciences«
- Deutscher Wissenschaftsrat
  - Ausschuss für Forschungsbauten (Labor- und Geräteinvestitionen), Mitglied

## **Dr. rer. nat. Ines Veile**

- European Association of Geoscientists & Engineers (EAGE), Mitglied
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Mitglied
- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Materialcharakterisierung«, Mitglied

## **Dipl.-Phys. Dietmar Weber**

- Fraunhofer »Netzwerk Simulation«
- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Unterausschuss »Modellierung und Bildgebung«

## **Dr.-Ing. Bernd Wolter**

- Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA)
  - Arbeitskreis »Fertigungstechnik«
  - Arbeitskreis »Werkstoffe«
- Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. (DVS)
  - Fachausschuss 6 »Strahlverfahren«
- RILEM TC ATC
  - Technical Committee: Advanced Testing of Fresh Cementitious Materials
- IEEE
  - Sensors, member
  - IEEE technical communities
- AIP ADVANCES journal, Reviewer
- NDT & E International, Reviewer
- MDPI journal, Expert
- 1&2 Dimensional Magnetic Measurement and Testing, Expert
- Journal Magnetism and Magnetic Material (JMMM), Expert
- Fraunhofer »Netzwerk Simulation«, Mitglied
- European Magnetometry Network, Mitglied
- International conference and workshop »colloque sur l'inductique«, member of lecture committee
- International association of »Inducticiens«, Mitglied

Rabung, Madalina; Amiri, Meisam; Becker, Michael M.; Kopp, Melanie; Tschuncky, Ralf; Veile, Ines; Weber, Fabian; Weikert-Müller, Miriam; Szielasko, Klaus

## **Nondestructive Characterization of Residual Stresses Using Micromagnetic and Ultrasonic Techniques**

In: New Challenges in Residual Stress Measurements and Evaluation, IntechOpen, 2020, 25 p., ISBN 978-1-78984-952-3

DOI: 10.5772/intechopen.90740

Bolotina, Irina O.; Kröning, Michael; Sednev, Dmitry A.; Veile, Ines

## **Nodularity Control of Spheroid Ductile Cast Iron by Rayleigh Backscattering**

Journal of Nondestructive Evaluation, Vol. 39 (1), Article 4, 2020, 7 p.

DOI: 10.1007/s10921-019-0645-y

Figueiredo, Alisson Augusto Azevedo; Fernandes, Henrique Coelho; Malheiros, Fernando Costa; Guimarães, Gilmar

## **Influence Analysis of Thermophysical Properties on Temperature Profiles on the Breast Skin Surface**

International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 111, February 2020, Article 104453, 13 p.

DOI: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2019.104453

Shalayel, Sami

## **Using Column Generation for the Reconstruction of Ultrasound Full Matrix Capture Data**

Universität des Saarlandes, Fachbereich Informatik (Bachelorarbeit), 2020

Becker, Michael M.; Fischer, Sarah C. L.

## **Exploring Multimodal Non-Destructive Testing Techniques for Adhesion Science**

43rd Annual Meeting of the Adhesion Society, 23.-26. February 2020, Charleston, South Carolina, United States (Poster)

Daudré, Julie

## **Analysis of the Behaviour between Measuring Distance and Image Resolution for Air Coupled Beamforming Microphone Array**

Universität des Saarlandes, Naturwissenschaftlich-technische Fakultät, Experimentalphysik (Bachelorarbeit), 2020

Moryson, Ralf

## **Erfahrungsaustausch zum Aufbau von 3D-Zustandsmodellen in der Grenzregion Saar-Lor-Lux-Wallonie-Westpfalz**

Bauwerksdiagnose 2020, Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen und Zukunftsaufgaben, DGZfP-Berichtsband 174, 2020, 22 S.

Grossmann, Felix

## **Einfluss der Temperatur auf das mechanische Schädigungsverhalten von Al-CFK-Hybridbauteilen und deren Komponenten**

Universität des Saarlandes, Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät III, Fachrichtung Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Masterarbeit), 2020

Porsch, Felix

## **Automated Seed Testing by 3D X-Ray Computed Tomography**

Seed Science and Technology, Vol. 48 (1), 2020, p. 73-81

DOI: 10.15258/sst.2020.48.1.10

Rabe, Ute; Pudovikov, Sergey

## **Application of the Total Focusing Method for Quantitative Nondestructive Testing of Anisotropic Welds with Ultrasound / Anwendung der Total Focusing Method für die quantitative Ultraschallprüfung anisotroper Schweißnähte**

tm – Technisches Messen, Jhrg. 87 (6), 2020, S. 438-450

DOI: 10.1515/teme-2019-0102

Becker, Christian

## **Relaxationsverhalten von additiv gefertigtem GFK mittels In-Situ Röntgenverfahren**

Universität des Saarlandes, Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät III, Fachrichtung Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Masterarbeit), 2020

Weber, Daniel

**Auslegung, Validierung und Optimierung eines Endstufenkonzeptes zur Sondenanregung inklusive Strommessung für das mikromagnetische Messverfahren 3MA-X8**

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Saarbrücken (htw saar), Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Studiengang Elektrotechnik (Bachelorarbeit), 2020

Sedira, Dounia; Gabi, Yasmine; Kedous-Lebouc, Afef; Jacob, Kevin; Wolter, Bernd; Straß, Benjamin

**ABC Method for Hysteresis Model Parameters Identification**

Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 505, 10 March 2020, 166724

DOI: 10.1016/j.jmmm.2020.166724

Gabi, Yasmine; Jacob, Kevin; Wolter, Bernd; Conrad, Christian; Straß, Benjamin; Grimm, Joachim

**Analysis of Incremental and Differential Permeability in NDT via Simulation and Experiment**

Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 505, 1 July 2020, 166695

DOI: 10.1016/j.jmmm.2020.166695

Chaves, Esdras; Gonçalves, Caroline B.; Albertini, Marcelo K.; Lee, Soojeng; Jeon, Gwanggil; Fernandes, Henrique Coelho

**Evaluation of Transfer Learning of Pre-Trained CNNs Applied to Breast Cancer Detection on Infrared Images**

Applied Optics, Vol. 59 (17), 2020, p. E23-E28

DOI: 10.1364/AO.386037

Sharma, Prateek; Sambale, Anna; Stommel, Markus; Maisl, Michael; Herrmann, Hans-Georg; Diebels, Stefan

**Moisture Transport in PA6 and its Influence on the Mechanical Properties**

Continuum Mechanics and Thermodynamics, 32, 2020, p. 307-325

DOI: 10.1007/s00161-019-00815-w

Zhang, Hai; Sfarra, Stefano; Osman, Ahmad; Ibarra-Castaneda, Clemente; Maldague, Xavier P.V.

**Using Through-Transmission Mid-Wave Infrared Vision and Air-Coupled Ultrasound for Artwork Inspection: A Case Study on Mock-ups of Portrait of the Painter's Mother**

Insight, Vol. 62 (3), p. 123-128

DOI: 10.1784/insi.2020.62.3.123

da Siva Ignacio, Luís Henrique; Malheiros, Fernando Costa; Figueiredo, Alisson Augusto Azevedo; Duarte, Carlos Antonio Ribeiro; Fernandes, Henrique Coelho

**Heat Flux Estimation using Simplified Models by means of Deviation Time**

International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 114, May 2020, Article 104592, 10 p.

DOI: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.104592

Yu, Shuanglu; Sui, Hao; Zhu, Hongna; Netzelmann, Udo; Müller, David

**Laser Line Generation for Optimized Interaction with Hidden Defects in Active Thermography**

Proceedings of 2019 IEEE Far East NDT New Technology & Application Forum (IEEE FENDT 2019), IEEE, Piscataway, 2020, p. 213-217

DOI: 10.1109/FENDT47723.2019.8962578

Netzelmann, Udo; Walte, Henning; Weber, Dietmar; Neurohr, Holger

**Fast Detection of Defects in Glass-soldered Fuel Cell Assemblies by Active Infrared Thermography**

Thermosense: Thermal Infrared Applications XLII, Proceedings of SPIE, Vol. 11409, 2020, 9 p.

DOI: 10.1117/12.2558109

Weikert-Müller, Miriam; Veile, Ines

**Detection of Chunky Graphite in Iron Casting using Ultrasonic Scattering**

2019 International Congress on Ultrasonics, 03.-06.09.2019, Brügge, Belgien

Proceedings of Meetings on Acoustics, Vol. 38 (1), 045024, 2020, 5 p.

DOI: 10.1121/2.0001138



Zabler, Simon; Maisl, Michael; Hornberger, Peter; Hiller, Jochen; Fella, Christian; Hanke, Randolph

**X-Ray Imaging and Computed Tomography for Engineering Applications /  
Röntgenbildgebung und Computertomografie für technische Anwendungen**

tm – Technisches Messen, Jhrg. 87 (aop), 2020, 16 S.

DOI: 10.1515/teme-2019-0151

Beyerer, Jürgen; Hanke, Randolph

**Modern Non-Destructive Testing / Moderne zerstörungsfreie Prüfung**

tm – Technisches Messen, Jhrg. 87 (6), 2020, S. 381-382

DOI: 10.1515/teme-2020-0033

Pérez, Eduardo; Kirchhof, Jan; Semper, Sebastian; Krieg, Fabian; Römer, Florian

**Cramér-Rao Bounds for Flaw Localization in Subsampled Multistatic Multichannel Ultrasound NDT Data**

ICASSP 2020 - 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), IEEE, 2020, p. 4960-4964

DOI: 10.1109/ICASSP40776.2020.9053523

Römer, Florian

**Misspecified Cramér-Rao Bound for Delay Estimation with a Mismatched Waveform: A Case Study**

ICASSP 2020 – 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), IEEE, 2020, p. 5994-5998

DOI: 10.1109/ICASSP40776.2020.9054370

Weiß, Julian

**Charakterisierung des Schädigungsverhaltens additiv gefertigter PLA-Prüfkörper mittels In-situ-Thermografie**

Universität des Saarlandes, Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät III, Fachrichtung Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, Lehrstuhl für Leichtbausysteme (Masterarbeit), 2020

Stampfer, Benedict; Böttger, David; Gauder, Daniel; Zanger, Frederik; Häfner, Benjamin; Straß, Benjamin; Wolter, Bernd; Lanza, Gisela; Schulze, Volker

**Experimental Identification of a Surface Integrity Model for turning of AISI4140**

Procedia CIRP, Vol. 87, 2020, p. 83-88

DOI: 10.1016/j.procir.2020.02.067

Lee, Soojeung; Son, Chan-Hwan; Albertini, Marcelo K.; Fernandes, Henrique Coelho

**Multi-Phases and Various Feature Extraction and Selection Methodology for Ensemble Gradient Boosting in Estimating Respiratory Rate**

IEEE Access, Vol. 8, 2020, p. 125648-125658.

DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3007524

Netzelmann, Udo; Müller, David

**Modified Pulse-Phase Thermography Algorithms for Improved Contrast-to-Noise Ratio from Pulse-Excited Thermographic Sequences**

NDT & E International, Vol. 116, December 2020, 102325, 8 p.

DOI: 10.1016/j.ndteint.2020.102325

Bechtel, Stephan; Meisberger, Mirko; Klein, Samuel; Heib, Tobias; Quirin, Steven; Herrmann, Hans-Georg

**Estimation of the Adhesion Interface Performance in Aluminum-PLA Joints by Thermographic Monitoring of the Material Extrusion Process**

Materials, Vol. 13 (15), 2020, 3371, 19 p.

DOI: 10.3390/ma13153371

Benyahia, Ahmed; Osman, Ahmad; Benammer, Abdessalem; Guessoum, Abderrezak

**New Algorithm Based on S-Transform to Increase Defect Resolution Within Ultrasonic Images**

In: Farouk, Mohamed Hesham; Hassanein, Maha Amin (Eds.). Recent Advances in Engineering Mathematics and Physics – Proceedings of the International Conference RAEMP 2019. Springer, Cham, p. 245-259, 2020, ISBN 978-3-030-39846-0

DOI: 10.1007/978-3-030-39847-7\_21

Schäfer, Marius

**Optimierung von korrelationsbasierten Verfahren zur Ultraschalllaufzeitmessung in Hinblick auf Störanfalligkeit und Mehrdeutigkeiten in der Signalauswertung durch Einsatz von »Coded Excitation«**

Hochschule für Technik und Wirtschaft (htw saar), Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Studiengang Elektro- und Informationstechnik (Masterarbeit), 2020

Leinenbach, Frank; Koster, Dirk; Sprau, Bernd

**Digitalisierung manueller Prüfaufgaben – Schlüsseltechnologien optimieren ZfP-Systeme für Industrie 4.0**

QZ Qualität und Zuverlässigkeit, Jhrg. 65 (9), 2020, S. 54-56

Heinrich, Matthias; Rabe, Ute; Valeske, Bernd

**Simulation-Based Generation of Representative and Valid Training Data for Acoustic Resonance Testing**

Applied Sciences, Vol. 10 (17), 2020, 6059, 20 p.

DOI: 10.3390/app10176059

Koster, Dirk

**Prozessintegrierte Materialprüfung im Zeichen der Digitalisierung**

JOT Journal für Oberflächentechnik, Vol. 60 (9), p. 64-66

DOI: 10.1007/s35144-020-0624-1

Fischer, Sarah C. L.; Hillen, Leonie; Eberl, Chris

**Mechanical Metamaterials on the Way from Laboratory Scale to Industrial Applications: Challenges for Characterization and Scalability**

Materials, Vol. 13 (16), 2020, 3605, 16 p.

DOI: 10.3390/ma13163605

Müller, David; Netzelmann, Udo; Valeske, Bernd

**Defect Shape Detection and Defect Reconstruction in Active Thermography by means of Two-Dimensional Convolutional Neural Network as well as Spatiotemporal Convolutional LSTM Network**

Quantitative Infrared Thermography Journal, Vol. 17, 2020, 19 p.

DOI: 10.1080/17686733.2020.1810883

Schmitz, Kevin

**Entwicklung und Erprobung eines multimodalen Sensorsystems zur mikromagnetischen Materialcharakterisierung**

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (htw saar), Fachbereich Elektrotechnik (Masterarbeit), 2020

Posse, Marie-Theres

**Applikation der elektrischen Widerstandsmessung zur Charakterisierung von komplexen metallischen Bauteilen**

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (htw saar), Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Studiengang Elektrotechnik (Bachelorarbeit), 2020

Schulze, Volker; Zanger, Frederik; Stampfer, Benedict; Seewig, Jörg; Uebel, Julian; Zabel, Andreas; Wolter, Bernd; Böttger, David

**Surface Conditioning in Machining Processes / Oberflächenkonditionierung in der Zerspanung**

tm – Technisches Messen, Jhrg. 87 (11), 2020, S. 661-673

DOI: 10.1515/teme-2020-0044

Schmidt, Leander; Römer, Florian; Böttger, David; Leinenbach, Frank; Straß, Benjamin; Wolter, Bernd; Stricker, Klaus; Seibold, Marc; Bergmann, Jean Pierre; Del Galdo, Giovanni

**Acoustic Process Monitoring in Laser Beam Welding**

Procedia CIRP, Vol. 94, 2020, p. 763-768

DOI: 10.1016/j.procir.2020.09.139

Valeske, Bernd; Osman, Ahmad; Römer, Florian; Tschuncky, Ralf

**Next Generation NDE Sensor Systems as IIoT Elements of Industry 4.0**

Research in Nondestructive Evaluation, Vol. 31 (5-6), 2020, p. 340-369

DOI: 10.1080/09349847.2020.1841862

Pérez, Eduardo; Kirchhof, Jan; Krieg, Fabian; Römer, Florian

**Subsampling Approaches for Compressed Sensing with Ultrasound Arrays in Non-Destructive Testing**

Sensors, Vol. 20 (23), 2020, 23 p.

DOI:10.3390/s20236734

Herter, Simon

**Steigerung der Zuverlässigkeit der Laufzeitmessung mittels Machine Learning Algorithmen zur ultraschallbasierten Vorspannkraftbestimmung**

Universität des Saarlandes, Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät III, Fachrichtung Materialwissenschaften und Werkstofftechnik (Masterarbeit), 2020

Sauer, Jonas

**Entwicklung einer methodischen Vorgehensweise zur in situ Prüfung von Metall-CFK 3D-Hybridbauteilen bei mechanischer Beanspruchung**

Universität des Saarlandes, Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät III, Fachrichtung Materialwissenschaften und Werkstofftechnik (Masterarbeit), 2020

Graetz, Jonas; Balles, Andreas; Hanke, Randolph; Zabler, Simon

**Review and Experimental Verification of X-ray Dark-field Signal Interpretations with Respect to Quantitative Isotropic and Anisotropic Dark-field Computed Tomography**

Physics in Medicine & Biology, Vol. 65 (23), 2020, 23 p.

DOI: 10.1088/1361-6560/abb7c6

Nagel, Sven; Ummenhofer, Thomas; Veile, Ines; Tschuncky, Ralf; Jung, Matthias; Faradjian, Majid

**Ermüdungsbeanspruchbarkeit bei Stahlguss – Berücksichtigung prozessbedingter Ungängen in der Bauteilbemessung**

Giesserei, Jhg. 107 (12), 2020, S. 32-42

Pérez Blanco, Isabel Cristin

**A Model Development for Reconstruction of Three-Dimensional Defects based on MFL Signals**

Universität des Saarlandes, Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät, Ingenieurwissenschaften (Dissertation), 2020

Engstler, Michael; Fell, Jonas; Maisl, Michael; Herrmann, Hans-Georg; Mücklich, Frank

**Correlative Tomography – Combining X-ray Nanotomography and FIB/SEM Serial Sectioning to analyze Al-Si cast alloys**

10th Conference on Industrial Computed Tomography, iCT 2020, Session: Non-Destructive Testing

Janßen, Matthias; Koster, Dirk

**Bestimmung und Klassifizierung von Korrosionserscheinungen in ferromagnetischen Tankbodenblechen mit einer Wirbelstromapplikation in Verbindung mit der Streuflussmethode**

ZfP-Zeitung, Ausgabe 172, Dezember 2020, S. 42-48

Summa, Jannik; Grossmann, Felix; Herrmann, Hans-Georg

**Quantitative passive thermography for evaluation of fatigue damage in an intrinsic hybrid composite**

4th International Conference Hybrid Materials and Structures 2020, Web-Conference, Karlsruhe, Germany, 2020, p. 160-165

Fernandes, Henrique Coelho; Quirin, Steven; Schwarz, Michael; Herrmann, Hans-Georg

**Infrared thermography for defect detection on aluminium-CFRP hybrid 3D structure**

15th Quantitative InfraRed Thermography Conference, 2020, 5 p.

DOI: 10.21611/qirt.2020.067

Müller, David; Netzelmann, Udo; Ehlen, Andreas; Finckbohner, Michael; Valeske, Bernd

**Neural network based automated defect detection using induction thermography for surface cracks of forged parts**

15th Quantitative InfraRed Thermography Conference, 2020, 3 p.

DOI: 10.21611/qirt.2020.015

Schwarz, Michael; Hell, Alexander; Herrmann, Hans-Georg

**Characterizing complex metal-CFRP-hybrid structures by thermography**

15th Quantitative InfraRed Thermography Conference, 2020, 2 p.

DOI: 10.21611/qirt.2020.083

Quirin, Steven; Herrmann, Hans-Georg

**A simulation of the capability of multispectral infrared imaging for thermographic inspection of multi-material systems**

15th Quantitative InfraRed Thermography Conference, 2020, 2 p.

DOI: 10.21611/qirt.2020.142

Netzelmann, Udo; Müller, David

**Improvement of the contrast-to-noise ratio in pulse-phase thermography by frequency dependent windowing**

15th Quantitative InfraRed Thermography Conference, 2020, 10 p.

DOI: 10.21611/qirt.2020.016

Winter, Lukas

**Verwendung statistischer Signalverarbeitungsmethoden zur multivariaten Analyse extrahierter Ultraschallmerkmale**

Hochschule für Technik und Wirtschaft (htw saar), Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Studiengang Elektro- und Informationstechnik (Masterarbeit), 2020

Fernandes, Henrique Coelho; Summa, Jannik; Daudré, Julie; Rabe, Ute; Sfarra, Stefano; Gargiulo, Gianfranco;

Herrmann, Hans-Georg

**Non-Destructive Inspection of a Decorative Marquetry Sample**

SHM-NDT 2020. Virtual: 3rd International Symposium on Structural Health Monitoring and Nondestructive Testing 25-26 Nov 2020, Quebec, Canada, 7 p.

Krieg, Fabian; Kirchhof, Jan; Pérez, Eduardo; Schwender, Thomas; Römer, Florian; Osman, Ahmad

**Locally Optimal Subsampling Strategies for Full Matrix Capture Measurements in Pipe Inspection**

SHM-NDT 2020. Virtual: 3rd International Symposium on Structural Health Monitoring and Nondestructive Testing 25-26 Nov 2020, Quebec, Canada, 10 p.

Albert-Weiss, Dominique;

**CNN for Ripeness Classification of Watermelon Fruits Based on Acoustic Testing**

SHM-NDT 2020. Virtual: 3rd International Symposium on Structural Health Monitoring and Nondestructive Testing 25-26 Nov 2020, Quebec, Canada, 10 p.

Pauli, Roman

**Gepulste Thermografie mit induktiver Anregung im Vergleich zur Magnetpulververrisprüfung**

Management Center Innsbruck, Mechatronik/Maschinenbau (Bachelorarbeit), 2020

Valeske, Bernd; Tschuncky, Ralf; Leinenbach, Frank; Weingard, Christoph; Sprau, Bernd; Römer, Florian; Lugin, Sergey

**ZfP 4.0: Assistenzsysteme, Schnittstellen, vernetzte Sensor-Systeme und Einbettung in digitale Umgebungen**

11. Fachtagung ZfP im Eisenbahnwesen, DGZfP Rail-2020, 2020, Poster 9

Becker, Michael; Schuchhardt, Jörg

**Rückführbare Überprüfung von Ultraschall-Eigenspannungsprüfsystemen für klotzgebremste Eisenbahnräder am Beispiel des neuen UER-mobil Prüfsystems**

11. Fachtagung ZfP im Eisenbahnwesen, DGZfP Rail-2020, 2020, Paper 12

Berger, Andreas W.; Mädler, Katrin; Kurz, Jochen; Geburtig, Thorsten; Hucklenbroich, Irina; Sargon, Youssef

**Eigenspannungen in Radsatzwellen – Vergleichende zerstörende und zerstörungsfreie Untersuchungen**

11. Fachtagung ZfP im Eisenbahnwesen, DGZfP Rail-2020, 2020, Paper 3

Böttger, David; Stampfer, Benedict; Gauder, Daniel; Straß, Benjamin; Häfner, Benjamin; Lanza, Gisela; Schulze, Volker; Wolter, Bernd

**Concept for soft sensor structure for turning processes of AISI4140**

tm – Technisches Messen, Jhrg. 87 (12), 2020, S. 745-756

DOI: 10.1515/teme-2020-0054

# Patente 2020

## Erteilte Patente

Licht, Rudolf; Reuther, Andrea; Waschkies, Thomas; Weikert-Müller, Miriam et al.

**Verfahren, Vorrichtung und Verwendung der Vorrichtung zur quantitativen Bestimmung der Konzentration oder Partikelgrößen einer Komponente eines heterogenen Stoffgemisches**

Russland

Herrmann, Hans-Georg; Jäckel, Patrick; Moryson, Ralf; Niese, Frank; Pudovikov, Sergey; Rabe, Ute

**System zum zerstörungsfreien Untersuchen eines über wenigstens eine frei zugängliche Oberfläche verfügenden dreidimensionalen Objektes**

Einzelpatente für Deutschland, Frankreich, Spanien

Stopp, Philipp; Theado, Hendrik

**Vorrichtung zur Innenprüfung von elektrisch nichtleitenden, nichtmagnetischen Hohlkörpern langer axialer Ausdehnung mittels eines magnetisch gelagerten Sensors und Verwendung hiervon**

Deutschland

Lugin, Sergey; Osman, Ahmad; Valeske, Bernd

**Verfahren und Anordnung zur überwachten, räumlich-aufgelösten Prüfung eines dreidimensionalen Objektes**

Deutschland

Both, Norbert; Niese, Frank

**Ultraschallprüfkopf und Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung eines flächig ausgebildeten Prüfkörpers**

Einzelpatente für Deutschland und EP

## Offengelegte Patentanmeldungen

Waschkies, Thomas; Rabe, Ute; Römer, Florian et al.

**Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung einer orts aufgelösten Schallintensitätskarte**

EP

Waschkies, Thomas; Dengiz, Nizamettin; Presti, Jaqueline

**Vorrichtung und Verfahren zur Bestimmung einer Wickelhärte in einer Wickelrolle**

Deutschland



# Ihre Notizen





## Impressum

Herausgeber  
Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP  
Campus E3 1  
66123 Saarbrücken

Telefon: +49 681 9302 0

info@izfp.fraunhofer.de  
www.izfp.fraunhofer.de

Hinweise zur Anfahrt finden Sie unter »Kontakt« auf unserer  
Webpräsenz [www.izfp.fraunhofer.de](http://www.izfp.fraunhofer.de)

Institutsleitung  
Prof. Dr. Randolph Hanke  
Geschäftsführender Institutsleiter

Unternehmenskommunikation  
Dipl.-Übers. Sabine Poitevin-Burbes  
+49 681 9302 3869  
sabine.poitevin-burbes@izfp.fraunhofer.de

Redaktionsteam  
Dipl.-Übers. Sabine Poitevin-Burbes  
Roger Pfau

Layout, Satz, Bildverarbeitung  
Dipl.-Übers. Sabine Poitevin-Burbes  
Roger Pfau

Druck  
KRÜGER Druck+Verlag, Merzig

Bildquellen  
Cover: Auf Grundlage eines Copyright-geschützten Motivs von  
Piusillu - shutterstock.com  
S. 1 © Dr. Udo Netzelmann  
S. 4 © Tom Gundelwein  
S. 9 © Fraunhofer IZFP / Uwe Bellhäuser  
S. 12/13 © Mike Fouque - stock.adobe.com  
S. 25 © Jürgen Fälchle - stock.adobe.com  
S. 31 © Shutterstock / Marina Grigorivna  
S. 33 © thodonal - stock.adobe.com  
S. 40 © European Union, 1995-2021  
S. 41 (oben) © ARTTIC  
S. 42 (oben) © ARTTIC

Alle weiteren Bilder und Graphiken:  
© Fraunhofer IZFP, Fraunhofer-Gesellschaft

Abdruck und Vervielfältigung jeder Art nur mit Genehmigung  
des Herausgebers

© 2021 Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren  
IZFP, Saarbrücken

Dokumentenummer izfp20.03.1.1.de