



# Fraunhofer

## IZFP

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFVERFAHREN IZFP



# Jahresbericht 2016

### **Umschlagseite / Cover**

Das Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP richtet sich an branchenspezifischen Produktlebenszyklen aus. Dort leitet das Institut die Herausforderungen ab, denen seine Kunden und Partner aktuell gegenüber stehen (»Industrie 4.0«).

In Antizipation davon betreibt und unterstützt das Institut den Paradigmenwechsel von der klassischen ZfP hin zu umfassender Digitalisierung, Monitoring und Prozessregelung: Qualität wird zukünftig nicht länger ‚erprüft‘, sondern gefertigt werden. Zerstörungsfreie Prüfung muss sich daher am Bedarf nach beherrschten Prozessen orientieren und umfassend Aspekte des zerstörungsfreien Monitorings mit seinen Möglichkeiten zur Prozessregelung und -steuerung adressieren.

# DAS FRAUNHOFER IZFP – QUALITÄTSSICHERUNG FÜR INDUSTRIE 4.0

Als international renommiertes FuE-Zentrum für zerstörungsfreie Prüfverfahren (ZfP) forscht und entwickelt das Fraunhofer IZFP an Technologien für zerstörungsfreies Monitoring zur Material-, Bauteil- und Produktcharakterisierung und erarbeitet industrietaugliche High-Performance-Systemlösungen bis hin zur Prototyp- und Serienfähigkeit. Wir richten uns dabei – über die gesamte Breite zerstörungsfreier Prüfverfahren – an branchenspezifischen Produktlebenszyklen aus. Dort leiten wir die Herausforderungen ab, denen unsere Kunden und Partner aktuell gegenüber stehen: Die Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker des Fraunhofer IZFP erarbeiten anwendungsorientierte Monitoring-Lösungen zur Verbesserung der Produktqualität seiner Kunden – von prozessintegrierter Sensorik zum Materials Data Space.

In Antizipation davon betreibt das Institut aktiv den Paradigmenwechsel von der klassischen zerstörungsfreien Prüfung hin zu umfassender Digitalisierung, Monitoring und Prozessregelung: Qualität wird zukünftig nicht länger »erprüft«, sondern gefertigt werden. Die ZfP muss sich daher am Bedarf nach beherrschten Prozessen orientieren und umfassend Aspekte des zerstörungsfreien Monitorings mit seinen Möglichkeiten zur Prozessregelung und -steuerung adressieren.

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. Während nach dem grundlegenden Machbarkeitsnachweis normalerweise Jahre bis zur Leistungserbringung nach Normung vergehen, reichen dank der flexiblen Akkreditierung wenige Wochen aus, bis ein Verfahren nach Spezifikation und Validierung ungenormt in die Applikation überführt werden kann.

In Zusammenarbeit mit dem am Fraunhofer IZFP angesiedelten Fraunhofer-Innovationscluster Automotive Quality Saar AQS bieten wir 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.

## **ALLGEMEINES**

- 4 Fraunhofer IZFP – Lernende Sensorsysteme für Industrie und Forschung
- 8 Fraunhofer-Gesellschaft

- 9 Fraunhofer IZFP in Zahlen
- 11 Kuratorium
- 12 Ansprechpartner / Organigramm

- 14 Highlights 2016
- 18 Messteilnahmen 2016

## **19 MONITORING ENTLANG DES PRODUKTLEBENSZYKLUS – UNSERE FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSFELDER**

- 20 Produktlebenszyklus

## **21 ROHSTOFFE / RAW MATERIALS**

- 22 Übersicht

## **25 MATERIAL / MATERIALS**

- 26 Übersicht
- 28 Einfluss herstellungsbedingter Ungängen auf das Werkstoffverhalten von Stahlguss
- 30 Zerstörungsfreie, orts aufgelöste Bestimmung des Wassergehaltes von Kunststoffen mit Terahertzwellen

## **33 PRODUKTENTWICKLUNG / PRODUCT DEVELOPMENT**

- 34 Übersicht
- 36 Ultraschall-Anwendungen für die optimale Produkt- und Werkstoffgestaltung
- 38 Klebfertigung im Automobilbau

## **41 PRODUKTION / PRODUCTION**

- 42 Übersicht
- 44 Ultraschallunterstütztes Rührreißschweißen (USE-FSW) – Erweiterung der Einsatzgrenzen eines innovativen Fügeverfahrens
- 46 Detektion von Rissen in der Warmblechumformung

49	<b>PRODUKT / PRODUCT</b>
50	Übersicht
52	Standardisierung der Induktionsthermographie für die innovative Oberflächenrissprüfung
54	Maschinelles Lernen
56	Innovatives Radprüfsystem RAWIS zur fertigungsintegrierten Prüfung von Eisenbahnradern
59	<b>HANDEL / TRADE</b>
60	Übersicht
62	Zerstörungsfreies Auslesen von unsichtbaren Nanosignaturen
65	<b>BETRIEB / OPERATION</b>
66	Übersicht
68	Modulare Monitoringplattform zur energieautarken kostengünstigen Zustandsüberwachung
70	BetoFlux XL: Mobiles Streufluss-Prüfsystem zur Spanndrahtbruch-Ortung mit hoher Betondeckung
72	Korrosions- und Fehlerprüfung
75	<b>RECYCLING</b>
76	Übersicht
79	<b>ANHANG</b>
80	Mitarbeit in Fachausschüssen, Gremien und Zeitschriften
87	Teilnahmen an Tagungen, Workshops und Konferenzen 2016
88	Publikationen 2016
97	Patente 2016
98	Kontakt, Anfahrt
100	Impressum

# FRAUNHOFER IZFP – LERNENDE SENSORSYSTEME FÜR INDUSTRIE UND FORSCHUNG

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

in den vergangenen drei Jahren hat sich das Fraunhofer IZFP grundlegend gewandelt. Dabei war es eine zentrale Zielvorstellung, als international renommiertes Forschungs- und Entwicklungszentrum für zerstörungsfreie Prüfverfahren (ZfP) den Fokus unserer Forschungsarbeiten von der klassischen ZfP hin zur automatisierten Erzeugung und intelligenten Auswertung zunehmend hochkomplexer und mehrdimensionaler Datenströme zu verschieben.

Daten, gleich welcher Art, werden zunehmend an Bedeutung als Rohstoff der Zukunft gewinnen. Es ist unsere Aufgabe, aus dieser explodierenden Ressource (Big Data) schnellstmöglich und präzise die nutzbaren, relevanten Informationen zu extrahieren, also mit anderen Worten, aus den Messwerten von beliebigen Sensorsystemen die Informationen zu gewinnen, mit denen beispielsweise geeignete Maßnahmen für konkrete Fragestellungen wie Steuerung und Optimierung von zugrundeliegenden Prozessen abgeleitet werden können.

Dabei konzentriert sich das Fraunhofer IZFP insbesondere auf Fragestellungen zu Prozessen, denen eine Interaktion von Mensch/Material oder Maschine/Material zu Grunde liegt. Diese Prozesse werden im Wesentlichen durch den von uns hierzu neu definierten Produktlebenszyklus – von der Materialentstehung über die Produktentstehung, den Produktbetrieb zur Produktwiederverwertung – charakterisiert.

Unser Paradigmenwechsel – von der klassischen zerstörungsfreien Prüfung hin zum digitalen Monitoring für die Prozessregelung und -optimierung – erfordert neue und intelligente, idealerweise selbstlernende Sensorsysteme.

Unter Sensoren verstehen wir in diesem Kontext in erster Linie komplexe Sensorsysteme wie Ultraschall- oder Röntgen-Computertomographen, Thermographie- und Wirbelstrom-Sensoren

oder elektromagnetische Sensoren, die einerseits intelligent designet und eingesetzt werden und andererseits die riesigen vieldimensionalen und komplexen Datenströme intelligent auswerten müssen. Diese sogenannten »kognitiven Sensoren« werden deshalb zukünftig nicht mehr einfach nur manuell von menschlichen Experten eingerichtet und justiert werden, um nachfolgend Messwerte zu generieren, mit denen man allenfalls noch Material- oder Produktfehler nachweisen kann. Unsere kognitiven Sensoren werden zukünftig vielmehr

- aus ihren hochdimensionalen Datenströmen lernen, wie sie sich ändernden Prozessen anpassen – intelligente Aufnahmeplanung, vom *Supervised Learning* zum *Machine Learning*,
- sich selbst in ihrer Funktionsfähigkeit überwachen,
- sich in einem Sensornetzwerk intelligent vernetzen (Sensorfusion) und
- genau die relevanten Informationen (Metadaten) durch intelligente Bildverarbeitung (*Deep Learning*, Neuronale Netze etc.) generieren, die zur Prozessoptimierung und -steuerung notwendig sind.

Daraus abgeleitet ergeben sich die Kompetenzen, die unser Institut und unsere Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker charakterisieren und für diese Herausforderungen besonders prädestinieren:

- Werkstoff-Know-how
- Sensorsystem-Design
- Intelligente und effiziente Datenverarbeitung
- Systemkompetenz für die Entwicklung von Technologien für zerstörungsfreies Monitoring zur Material-, Bauteil- und Produktcharakterisierung und für industrietaugliche *High-Performance*-Systemlösungen bis hin zur Prototyp- und Serienfähigkeit

In enger Zusammenarbeit mit den Experten des Fürther Fraunhofer-Entwicklungszentrums für Röntgentechnik EZRT des Fraunhofer IIS beherrschen wir die Physik von nahezu allen zerstörungsfreien Sensorprinzipien wie Ultraschall, Infrarot,



Fraunhofer IZFP, Institutsleitung. Von links nach rechts: Prof. Dr. Hans-Georg Herrmann, Prof. Dr. Randolph Hanke (geschäftsführender Institutsleiter), Prof. Dr. Bernd Valeske

Elektromagnetik, Wirbelstrom, Mikrowelle, Magnetresonanz, Röntgen und Optik und entwickeln mit unseren Wissenschaftlern intelligente und lernfähige Algorithmen zur Realisierung unserer gemeinsamen Vision:

Sensorsysteme und -maschinen der Zukunft entscheiden selber, wann sie was und wie beobachten und messen!

Unsere wissenschaftliche Basis bildet die enge Vernetzung mit verschiedenen Lehrstühlen der Universität des Saarlandes sowie mit der htw saar und dem dort neu begonnenen Kooperationsprojekt »AutomaTiQ« (Automatisierte Signal- und Bildverarbeitungstechniken für innovative ZfP-Sensorik zur Qualitätssicherung in der flexibilisierten Produktion von morgen).

In Zusammenarbeit mit dem am Fraunhofer IZFP angesiedelten Fraunhofer-Innovationscluster Automotive Quality Saar AQS bieten wir insbesondere für die Automobil- und Zulieferindustrie im Sinne unserer neuen Philosophie 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 auch berufsbegleitende Zertifikatskurse zur Qualifizierung der technischen Fach- und Führungskräfte im Weiterbildungszentrum des Clusters angeboten. Dies schließt im Bereich der praxisorientierten akademischen Ausbildung für berufstätige Ingenieure sogar den berufsbegleitenden Master-Studiengang *Automotive Production Engineering* ein (Abschluss *Master of Engineering M.Eng.*), der unter der Trägerschaft der htw saar in Kooperation mit dem Fraunhofer IZFP angeboten wird.

Abschließend möchte ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Fraunhofer IZFP für ihren Einsatz, ihre Ideen und ihre konstruktiven Diskussionen auch im Jahr 2016 danken. Ohne die

vielen engagierten und kreativen Beiträge hätte der eingeleitete Paradigmenwechsel des Instituts sicher nur auf dem Papier stattgefunden und wäre eine virtuelle Idee geblieben.

Mein besonderer Dank gilt insbesondere auch allen unseren Kunden aus der Industrie und den öffentlichen Zuwendungsgebern, dem Vorstand und den Vertretern der Fraunhofer-Zentrale, den Kuratoren, der saarländischen Landesregierung, den verbundenen Universitäten und Hochschulen und den Kolleginnen und Kollegen der anderen Fraunhofer-Institute.

Und jetzt wünsche ich Ihnen viel Spaß beim Lesen!

Prof. Dr. Randolph Hanke, Saarbrücken, März 2017

# FRAUNHOFER IZFP – LEARNING SENSOR SYSTEMS FOR INDUSTRY AND RESEARCH

Dear Business Partners and Customers,  
Dear Colleagues,  
Dear Sir or Madam,

Fraunhofer IZFP has fundamentally changed over the past three years. As an internationally-renowned R & D center for nondestructive testing (NDT), one of our central goals was to shift the focus of our research activities from conventional NDT to the automated generation and intelligent analysis of increasingly complex, multi-dimensional data streams.

Data, regardless of what type, is becoming increasingly important as a raw material of the future. Our task is to extract all of the usable and relevant information from this exploding resource (Big Data) as rapidly and precisely as possible. In other words, to glean information from the measurement values of any sensor system, which can then be used to derive appropriate measures to address specific issues, such as controlling and optimizing underlying processes.

In doing so, Fraunhofer IZFP places special emphasis on those processes that involve the interaction of man/materials or machine/materials. These processes are characterized primarily by relying on a new, Fraunhofer IZFP-developed product life cycle that ranges from material creation, product creation and product utilization, to product recycling.

Our paradigm shift – from conventional nondestructive testing to digital monitoring for process control and optimization – requires new and intelligent, self-learning sensors.

In this context, sensors are viewed primarily as complex systems, such as ultrasound or X-ray computed tomographs, thermography and eddy current sensors or electromagnetic sensors. These systems not only require an intelligent design and implementation. The enormous, multidimensional and complex data streams generated by the sensors must also be intelligently analyzed.

In the future, it will no longer be a simple matter of having human specialists set up and adjust these so-called cognitive sensors in order to subsequently generate measured values, which can be used to detect material or product deviations at the most. In the future, our cognitive sensors will do a number of things:

- learn from high-dimensional data streams how to align themselves to changing processes – intelligent record scheduling, from supervised learning to machine learning
- monitor their own operational reliability
- connect intelligently within a sensor network (sensor fusion)
- generate exactly the information (meta data) needed for process optimization and process monitoring by means of intelligent image processing (deep learning, neural networks, etc.)

This narrative forms the underlying basis for identifying and characterizing the skills needed by the institute's scientists, engineers and technicians to address these specific challenges:

- Material know-how
- Sensor system design
- Intelligent and efficient data processing
- Systems-based skills for developing nondestructive testing technologies in the field of material, component and product characterization, as well as for industrial-grade heavy-duty solutions ranging from prototype to series production

In close collaboration with experts from the Fraunhofer Development Center for X-Ray Technologies EZRT in Fürth, a department of Fraunhofer IIS, we understand the underlying physics behind nearly all sensor principles used in the field of NDT, whether ultrasound, infrared, electromagnetics, eddy current, microwave, magnetic resonance, X-ray or optics. Our scientists develop intelligent, self-learning algorithms to realize our common vision:

Sensor systems and machines will one day decide on their own how and what to monitor and measure, and when!



Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP

The scientific basis of our research activities is shaped by cooperation with various schools at the University of Saarland and the University of Applied Sciences in Saarbrücken, particularly through AutomaTiQ, a newly-created joint project that involves automated technologies for signal and image processing using innovative NDT sensors in quality assurance for the flexible manufacturing environment of the future.

In collaboration with the Fraunhofer Innovation Cluster Automotive Quality Saar AQS, which is located at Fraunhofer IZFP, and in line with our new philosophy, we provide market-ready, smart one-stop solutions designed for ensuring the quality of materials and components, especially in the automotive industry. We focus our attention on the main automobile components, an area in which the materials and overall quality are a critical aspect, as well as on innovations that lead to the efficient use of the materials and smooth production flows.

Apart from technically-qualifying new NDT processes in accordance with international standards, the institute offers certified training courses to technical and engineering personnel. The courses are held at the cluster training and education center. This includes application-oriented academic courses, such as the Automotive Production Engineering program (Master's in Engineering) offered through the University of Applied Sciences in Saarbrücken in conjunction with Fraunhofer IZFP.

In conclusion, I'd like to take this opportunity to express my appreciation to my colleagues here at the institute for their dedication, ideas and constructive discussions over the course of the past year. Without their commitment and wealth of creative contributions, the institute's paradigm shift would have been on paper only and remained merely an idea.

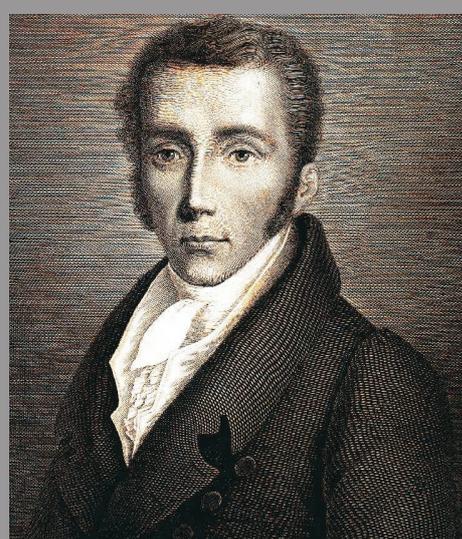
Special thanks go to our industry customers, public sector sponsors, the steering committee, the Fraunhofer headquarters staff, our board of trustees, the State of Saarland and our partner schools and universities, as well as to colleagues within the Fraunhofer network of institutes.

I hope you enjoy reading this annual report!  
Best regards,

Prof. Dr. Randolph Hanke, Saarbrücken, March 2017



Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft in München



Joseph von Fraunhofer (1787 – 1826)

## FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit 69 Institute und Forschungseinrichtungen. 24 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,1 Milliarden Euro. Davon fallen 1,9 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Mehr als 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Knapp 30 Prozent werden von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen entwickeln können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas. Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit

tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studierenden eröffnen sich aufgrund der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung an Fraunhofer-Instituten 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.

# FRAUNHOFER IZFP IN ZAHLEN

## Mitarbeitenden-Entwicklung

Am Fraunhofer IZFP arbeiteten 2016 im Jahresdurchschnitt 217 Mitarbeitende<sup>1</sup>, einschließlich studentischer Hilfskräfte und Gastwissenschaftler. Von insgesamt 124 Personen Stammpersonal sind 90 als Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker tätig, das entspricht einem Anteil von 72,6 Prozent des Stammpersonals.

Stammpersonal	2016
Wissenschaftler	55
Ingenieure	29
Techniker	6
Infrastruktur	34
<b>Summe</b>	<b>124</b>

Sonstige Mitarbeitende	2016
Doktoranden	2 (+5) <sup>2</sup>
Bachelor-/Master-Studenten	10 / 25
Auszubildende	3
Studentische Hilfskräfte	42
Externe Masterstudenten und Doktoranden	3 / 8
<b>Summe</b>	<b>93</b>

1 – Gemeint sind Einzelpersonen, keine Stellen (eine Stelle kann unter mehreren Mitarbeitenden aufgeteilt sein).

2 – 5 Wissenschaftliche Mitarbeitende aus dem Stammpersonal promovieren derzeit am Fraunhofer IZFP außerhalb ihres Vertrages.

### Haushalt 2016<sup>1</sup>

Betriebshaushalt (Mio €)	13,84
Investitionen (Mio €)	0,55 <sup>2</sup>
Gesamthaushalt (Mio €)	14,39
Gesamterträge (Mio €)	7,82
Anteil der Industrieerträge (Mio €)	6,25
Verhältnis der Gesamterträge zum Betriebsaufwand (ρ)	56,5 %
Rho <sub>wl</sub>	45,2 %

1 – Jahresscheibenfeine Darstellung

2 – davon 0,41 Mio € strategische Investitionen

### Projekte aus Angeboten an die Industrie (Neuakquisitionen)

Die im Jahr 2016 insgesamt 597 an privatwirtschaftliche Unternehmen abgegebenen Angebote erbrachten 480 Aufträge; das bedeutet eine Erfolgsquote von 80,4 Prozent. Das daraus resultierende Auftragsvolumen beträgt 5 911 278,55 €.

422	Projekte im Auftragswert bis	15 000 €
37	Projekte im Auftragswert bis	100 000 €
14	Projekte im Auftragswert bis	250 000 €
2	Projekte im Auftragswert über	1 000 000 €

### Ertragsentwicklung 2014 – 2016

	Erträge	davon Industrie	GruFi*
2014	9,96	7,54	3,95
2015	9,56	7,04	4,07
2016	7,82	6,25	3,83

Erträge Gesamthaushalt in Mio €

\* Regelgrundfinanzierung

Das Kuratorium, dem Experten aus Industrie, Wissenschaft und Forschung, Behörden und Institutionen angehören, berät die Institutsleitung und den Vorstand.

---

## Mitglieder des Kuratoriums

---

- Dr. Clemens Bockenheimer (Sprecher des Kuratoriums)  
**Airbus Operations GmbH**  
Head of NDT in Production (ESCHN2)  
Leader SHM & ENDT Technology  
Bremen
- Dr. Annette Groh  
**Saarländische Landesregierung, Staatskanzlei**  
Abteilungsleiterin Wissenschaft, Hochschulen, Technologie  
Saarbrücken
- Prof. Dr. Uwe Hartmann  
**Universität des Saarlandes**  
Vizepräsident für Planung und Strategie  
Saarbrücken
- Prof. Dr. Gisela Lanza  
**Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**  
Institutsleiterin Produktionssysteme  
Karlsruhe
- Dr.-Ing. Katrin Mädler  
**DB Systemtechnik GmbH**  
Leiterin Werkstoff- und Fügetechnik (T.TVI53)  
Brandenburg
- Dr. Heinrich Meyer  
**BMW AG**  
Leiter Werkstofftechnik Nichtmetall  
München
- Prof. Marie-Jeanne Philippe  
**Université de Lorraine**  
LEM 3  
Metz-Cedex, Frankreich
- Dr.-Ing. 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)**  
Rektor  
Saarbrücken
- Dr. Tom Wirtz  
**Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST)**  
Group Leader  
Advanced Instrumentation for Ion Nano-Analytics (AINA)  
MRT – Materials Research and Technology Department  
Belvaux, Luxemburg
- RR Clemens Zielonka  
**Bundesministerium für Bildung und Forschung**  
Ref. 512 Forschung für Produktion, Dienstleistung und Arbeit  
Bonn  
(Herr Zielonkas Mitgliedschaft ruht derzeit aufgrund seiner Tätigkeit bei der Europäischen Kommission in Brüssel)

---

## Ehrenmitglieder des Kuratoriums

---

- Prof. emerit. Dr. rer. nat. Hubertus Nickel, Jülich
- Prof. Dr.-Ing. Erich Tenckhoff, Erlangen

## Institutsleitung



### **Geschäftsführender Institutsleiter**

Prof. Dr.-Ing. Randolph Hanke  
+49 681 9302 3800  
randolf.hanke@izfp.fraunhofer.de



### **Institutsleitung**

Prof. Dr.-Ing. Christian Boller  
+49 681 302 64101  
christian.boller@izfp.fraunhofer.de



### **Verwaltungsleiter**

Dr. rer. pol. Andreas Schmidt  
+49 681 9302 3810  
andreas.schmidt@izfp.fraunhofer.de

## Abteilungen



### **Elektronik für ZfP-Systeme**

Dipl.-Ing. Werner Bähr  
+49 681 9302 3893  
werner.baehr@izfp.fraunhofer.de



### **Fertigungsintegrierte ZfP**

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



### **Komponenten- und Bauteilprüfung**

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



### **Materialcharakterisierung**

Dr.-Ing. Klaus Szielasko  
+49 681 9302 3888  
klaus.szielasko@izfp.fraunhofer.de



### **Zustandsüberwachung und Lebensdauermanagement**

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



Industrielle Produktion



Besuch einer Delegation internationaler Botschafter am Fraunhofer IZFP



Ehrung von Dr. Martin Spies auf der WCNDT in München

## HIGHLIGHTS 2016

### FEBRUAR

#### Bauwerksdiagnose – Praktische Anwendungen zerstörungsfreier Prüfungen und Zukunftsaufgaben

Auf der Fachtagung der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP) standen vom 25. bis 26. Februar 2016 in Berlin Praxisanwendungen im Fokus, die visuell nicht erkennbare Schäden zuverlässig lokalisieren und deren Umfang quantifizieren können. Insbesondere der Einsatz zerstörungsfreier Prüfverfahren als Instrumente zur wiederkehrenden Bauwerksprüfung von Ingenieurbauwerken wurde eingehend dargestellt. Auf der daran angeschlossenen Fachausstellung präsentierte das Fraunhofer IZFP das mobile Streufluss-Prüfsystem BetoFlux zur Detektion von Korrosionsschäden an Spannbetonmasten.

### MÄRZ

#### 9. Fachtagung Zerstörungsfreie Prüfung im Eisenbahnwesen

Rund 350 ZfP-Fachleute der Bahn-Industrie nahmen vom 15. bis 17. März 2016 an der Fachveranstaltung zur ZfP an Schienenfahrzeug- und Fahrbahnkomponenten in Wittenberge teil, denn stetige Weiterentwicklungen von Systemkomponenten und deren Werkstoffe stellen die ZfP hinsichtlich zuverlässig anwendbarer Prüftechniken fortlaufend vor neue Herausforderungen. Die teilnehmenden Wissenschaftler und Ingenieure des Fraunhofer IZFP sind mit zahlreichen guten Kontakten und neuen Projektideen von der Tagung zurückgekommen.

#### Randolf Hanke zum Honorarprofessor der Universität des Saarlandes ernannt

Prof. Dr.-Ing. Randolf Hanke, geschäftsführender Institutsleiter des Fraunhofer IZFP, wurde am 17. März 2016 von Prof. Dr. phil. habil. Volker Linneweber, dem Präsidenten der Universität des Saarlandes, zum Honorarprofessor für das Fachgebiet »Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Materialcharakterisierung« ernannt.

### APRIL

#### Hot Rolling Day

Am 7. April 2016 fand nach dem großen Erfolg der zwei vorherigen Hot Rolling Days in Europa und China nun der erste Hot Rolling Day in Indien, Mumbai, statt. Der HRD in Mumbai war nach Einschätzung der Veranstalter, darunter auch das Fraunhofer IZFP, ein großer Erfolg: Bei den etwa 200 Teilnehmern war das Interesse an ZfP und am Fraunhofer IZFP im Vergleich zu den vorangegangenen Veranstaltungen erheblich gestiegen.

#### Deutscher Gießereitag

Das traditionelle Gießertreffen, welches vom 14. bis 15. April 2016 in Magdeburg tagte, hat ein umfangreiches Vortragsprogramm aus den Bereichen Technik und Wirtschaft mit aktuellen Informationen über Forschungsergebnisse, technische Innovationen und wirtschaftliche Entwicklungen geboten. Das Fraunhofer IZFP präsentierte sich mit einem Vortrag zum Thema »Zerstörungsfreie Materialcharakterisierung und Fehlerprüfung von Gusskomponenten«.

#### Industriepreis – »BEST OF 2016«

Im April wurde das Fraunhofer IZFP mit dem Prädikat »BEST OF 2016« für die Technologielösung *3MA PHS (Press Hardened Steel)* in der Kategorie Automotive ausgezeichnet. Unsere Ingenieure und Wissenschaftler konnten die Jury überzeugen und gehörten damit zur Spitzengruppe der eingereichten Bewerbungen. Eine unabhängige Fachjury aus Industrie-Branchenexperten, Professoren und Fachjournalisten bildete den erlesenen Kreis der Preisrichter.



Dr. Susanne Reichrath, Beauftragte der Ministerpräsidentin für Hochschulen, Wissenschaft und Technologie, überreichte Dr.-Ing. Ahmad Osman die Ernennungsurkunde

Mannschaft des Fraunhofer IZFP beim Dillinger Firmenlauf 2016

## MAI

### Besuch des Bundespräsidenten im Saarland

Anlässlich der jährlich vom Bundespräsidialamt veranstalteten Informations- und Begegnungsreise für das Diplomatische Korps und Missionsvertreter internationaler Organisationen, besuchte Bundespräsident Joachim Gauck auch das Saarland. Im Rahmen seiner Visite an der Universität des Saarlandes empfing das Fraunhofer IZFP rund 40 internationale Botschafter, die sich mit großem Interesse über die Möglichkeiten und Methoden zerstörungsfreier Prüfung informierten und sich von der Bedeutung unserer Forschungsarbeiten beeindruckt ließen.

## JUNI

### Auszeichnung mit dem DGZfP-Studentenpreis 2016

In Würdigung und Anerkennung hervorragender studentischer Leistungen verlieh die DGZfP auch 2016 wieder den Studentenpreis. Ausgezeichnet wurden zwei Fraunhofer IZFP-Kollegen:

Andreas Ehlen hat sich im Rahmen seiner Masterarbeit intensiv mit der Induktionsthermographie zur vollautomatisierten Oberflächenrissprüfung beschäftigt und eine entsprechende Datenaufnahme inklusive Robotereinbindung sowie eine vollautomatisierte bildgebende Auswertung entwickelt. Die Auszeichnung erhielt er für sein Thema »Automatisierte Oberflächenrissprüfung mittels induktiv angeregter Thermographie an komplex geformten Geometrien von Neurädern für Hochgeschwindigkeitszüge«.

Christof Rauber erhielt die Würdigung für seine Bachelorarbeit zu der Thematik »Schaltungs- und Firmware-Entwicklung für eine energieautarke Plattform zur Langzeit-Materialcharakterisierung«.

### 19. Weltkonferenz für Zerstörungsfreie Prüfung (WCNDT)

Mit 2600 angemeldeten Teilnehmern aus 71 Ländern weltweit, 1000 Vorträgen und Postern sowie 660 ausgewählten wissenschaftlichen Beiträgen sprengte die 19. WCNDT, die vom 13. bis 17. Juni 2016 in München stattfand, den bisherigen Rekord. Auf der Konferenz wurden die vier berufenen Vizepäsidenten, darun-

ter Fraunhofer IZFP-Kollege Priv.-Doz. Dr. Martin Spies, für ihre Tätigkeiten und ihr großes Engagement gewürdigt. Als Vorsitzende des Wissenschaftlichen Ausschusses stellten sie u. a. das endgültige Programm der Weltkonferenz zusammen. Die Auszeichnungen verlieh Dr. Mike Farley, Präsident des *International Committee for Non-Destructive Testing (ICNDT)*.

### Ernennung zum Professor für das Lehrgebiet Prüftechnologien und Prüfverfahren an der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes

Dr.-Ing. Ahmad Osman erhielt am 30. Juni 2016 in der Staatskanzlei die Ernennungsurkunde zum Professor an der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes für das Lehrgebiet Prüftechnologien und Prüfverfahren, insbesondere für automatisierte Signal- und Bildverarbeitung von Sensordaten. Der Ernennung von Dr. Osman ging ein gemeinsames Berufungsverfahren der htw saar und der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. voraus. In diesem Rahmen wurde eine Arbeitsgruppe zum Thema »Automatisierte Signal- und Bildverarbeitungstechniken für innovative ZfP-Sensorik zur Qualitätssicherung in der flexibilisierten Produktion von morgen« – kurz Arbeitsgruppe »AutomaTiQ« – eingerichtet, mit der die bestehende erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen dem Fraunhofer IZFP in Saarbrücken und der htw saar weiter intensiviert wird.

## JULI

### B2Run Firmenlauf Dillingen

Auf der 5,2 km langen Strecke rund um den Dillinger-Stadtpark haben auch in diesem Jahr zahlreiche Kolleginnen und Kollegen vom Fraunhofer IZFP ihr sportliches Können und vor allem ihren Teamgeist unter Beweis gestellt. Der ehemalige Wochenspiegel Firmenlauf Dillingen/Saarland wurde am 12. Juli 2016 erstmals als Teil der Deutschen Firmenlaufserie B2Run ausgetragen.



Besuch der saarländischen Wirtschaftsministerin Anke Rehlinger



Kooperationstreffen mit der mexikanischen Privatuniversität ITAM

## Besuch der saarländischen Ministerin für Wirtschaft, Arbeit, Energie und Verkehr

Am 25. Juli 2016 besuchte die Wirtschaftsministerin Anke Rehlinger das eng mit dem Fraunhofer IZFP kooperierende Unternehmen ZWP Anlagenrevision GmbH in Beckingen. Dabei wurden der Ministerin und ihrer Delegation auch Hightech-Prüftechnologien des Fraunhofer IZFP, darunter MoniDAQ, PipeFlux, BetoFlux und natürlich das Erfolgsprodukt Limatest®, vorgeführt. Anke Rehlinger zeigte sich von der saarländischen Zusammenarbeit und dem Forschungs- und Entwicklungspotenzial sehr beeindruckt.

## SEPTEMBER

### Jahrestagung des British Institute of NDT (BINDT)

Das international renommierte British Institute of NDT (BINDT) hielt vom 12. bis 14. September 2016 in Nottingham, Großbritannien, seine alljährliche Tagung ab. Als neuer Bestandteil wurde erstmals eine *Invited International Session* ins Programm der Tagung aufgenommen: Das Fraunhofer IZFP hatte im Rahmen dieser Session die Möglichkeit, sich als Institut vorzustellen. Die Session wurde vom geschäftsführenden Institutsleiter des Fraunhofer IZFP, Prof. Randolph Hanke, mit einem Plenarvortrag eröffnet. Die Organisatoren der Tagung und der Teilnehmerkreis des Instituts äußerten sich hochzufrieden über die gelungene Initiative.

### 21st International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation (ENDE)

Der ENDE-Workshop, der vom 25. bis 28. September 2016 in Lissabon, Portugal, veranstaltet wurde, befasste sich mit Fortschritten auf dem Gebiet der elektromagnetischen zerstörungsfreien Materialcharakterisierung und Fehlerprüfung. Der internationale Teilnehmerkreis umfasste ca. 80 Personen. Das Fraunhofer IZFP war im Organisationskomitee der Veranstaltung vertreten und liefert regelmäßig Beiträge, u. a. zur Abbildung aufgenommener Feuchte in Polyamid mit Terahertz-Verfahren sowie

zur mikromagnetischen Charakterisierung von Kriechschäden im Hochtemperaturstahl P91.

## OKTOBER

### BOSCH Innovationstag

Am 4. Oktober 2016 fand in den Räumlichkeiten des benachbarten Center for IT-Security, Privacy and Accountability CISPA auf Einladung der saarländischen Landesregierung der »BOSCH Innovationstag« mit einer Delegation der Firma BOSCH statt. Dr. Michael Bolle, Vorsitzender der Geschäftsleitung des Zentralbereichs Forschung und Vorausbildung, stellte die Leitlinien und Eckpfeiler der zentralen Forschungsstrategie der Robert Bosch GmbH vor. Die Landesregierung gab einen umfassenden Überblick über die vielfältigen Aktivitäten im Bereich öffentlicher Forschung und Entwicklung im Saarland, über seine Forschungskompetenz an den Hochschulen und den außeruniversitären Forschungseinrichtungen INM Leibniz, DFKI, MPI, CISPA, ZeMA, Steinbeis MECS und Fraunhofer IZFP.

### Cold Rolling Day

Am 6. Oktober 2016 standen wieder alle Zeichen auf *Cold Rolling*. Eines der wichtigsten Industrie-Events der Walzenbranche fand in Chicago, USA, statt. Das Fraunhofer IZFP gehörte auch 2016 wieder zu den Partnern und nahm das Event als Anlass, die Neuentwicklungen aus dem Bereich des zerstörungsfreien Monitoring zu präsentieren. Die Teilnehmer des Cold Rolling Day 2016 kamen aus der gesamten amerikanischen Kaltwalzindustrie.

### Kooperationstreffen mit mexikanischer Privatuniversität

Anlass des Besuches am 19. Oktober 2016 waren weiterführende Kooperationsmöglichkeiten mit der mexikanischen Privatuniversität ITAM (Instituto Tecnológico Autónomo de México, Mexiko-City), zumal die Hochschule für Technik und Wirtschaft (htw saar) als Partner des Fraunhofer-Innovationsclusters Automotive Quality Saar AQS bereits Kooperationen in Mexiko betreibt. Die



9. Technologietag der Fraunhofer-Allianz Vision



18th International Wheelset Congress in Chengdu, China

mexikanischen Besucher konnten sich einen Überblick über das Forschungs- und Entwicklungspotenzial des Fraunhofer IZFP verschaffen.

### VDE Exkursion der Westsächsischen Hochschule Zwickau

Parallel zu dem Besuch der mexikanischen Privatuniversität ITAM fand ein Besuch der westsächsischen Hochschule am Fraunhofer IZFP statt. Während des Besuchs wurden u. a. gemeinsame Projektmöglichkeiten zum Thema »Batteriefertigung für E-Mobility« erörtert.

### 9. Fraunhofer Vision Technologietag

Unter dem Leitthema »Innovative Technologien für die industrielle Qualitätssicherung mit Bildverarbeitung« fand der 9. Technologietag vom 19. bis 20. Oktober 2016 am Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT in Fürth statt. Die Fachveranstaltung gab einen umfangreichen Überblick über die Bandbreite praxisrelevanter Technologien der Bildverarbeitung und optischer Messtechnik. Die begleitende Fachausstellung, an der sich auch das Fraunhofer IZFP mit einem Stand beteiligte, war ein sehr gefragtes Forum zur Vertiefung der Expertendialoge sowie zur Intensivierung und Anbahnung neuer Kooperationen und Kundenkontakte.

### DGZfP-Anwenderseminar des Fachausschusses (FA) Zustandsüberwachung

Vom 25. bis 27. Oktober 2016 tagte in Berlin das 2. Anwenderseminar des FA Zustandsüberwachung der DGZfP. Die Veranstaltung mit dem Namen »Expertenforum Geführte Ultraschallwellen« wurde von zahlreichen Personen aus Wissenschaft und Industrie besucht.

Themen aus den Bereichen Luftfahrt, Automobil- und chemische Industrie wurden unter dem Aspekt der Zustandsüberwachung durch Anwendung von geführten Ultraschallwellen diskutiert und aufbereitet.

## NOVEMBER

### 18th International Wheelset Congress (IWC)

Vom 7. bis 11. November 2016 nahm das Fraunhofer IZFP an dem internationalen Radsatzkongress in Chengdu, China, teil. Die Gründung des alle drei Jahre stattfindenden Kongresses datiert bereits auf das Jahr 1963. Der IWC ist die einflussreichste und bedeutendste Fachveranstaltung im Bereich Radsatz und deckt Themenbereiche wie Materialeigenschaften von Eisenbahnrädern, Herstellungsprozess, Rad-Schiene Verbindung, Prüftechnologien und Instandhaltungsmanagement ab. Das Fraunhofer IZFP war sowohl mit interessanten Vorträgen, als auch mit einem Messestand in Chengdu vertreten.

### TÜV SÜD Fachtagung »Zustandsbewertung in der Energie- und Anlagentechnik«

Nach der rundum positiven Resonanz auf die erste Fachtagung Zustandsbewertung in der Energie- und Anlagentechnik vor zwei Jahren bot der TÜV SÜD der Fachwelt nun zum zweiten Mal vom 15. bis 16. November 2016 in München ein Forum, um sich über aktuelle Trends zu den Themen Zustandsbewertung, Condition Monitoring, Datenanalyse und Lebensdauerbetrachtung praxisnah auszutauschen. Das Fraunhofer IZFP, welches im Fachkomitee vertreten war, gab einen anwendungsorientierten Überblick zu neuen Trends zur zerstörungsfreien Zustandsüberwachung und Monitoring von Energie- und Industrieanlagen.

### Fachausschuss Materialcharakterisierung tagte am Fraunhofer IZFP

Bei einer Führung durch die Prüflabore des Fraunhofer-Innovationsclusters Automotive Quality Saar AQS erhielten die Mitglieder des Fachausschusses am 18. November 2016 Einblicke in praktische Lösungen zu zerstörungsfreien Prüfaufgaben, die zur Qualitätssicherung von Werkstoffen und Bauteilen für die Automobil- und ihre Zulieferindustrie entwickelt werden.



Stand des Fraunhofer IZFP auf der Automotive Testing Expo (links) sowie auf der EuroBLECH (rechts)

## MESSETEILNAHMEN 2016

25.–26. Februar 2016

### **Fachtagung Bauwerksdiagnose mit Fachaussstellung**

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

8.–10. März 2016

### **JEC World – Composites Show & Conferences**

Paris, Frankreich

7. April 2016

### **Hot Rolling Day**

Mumbai, Indien

25.–29. April 2016

### **Hannover Messe**

Hannover

26.–29. April 2016

### **30. Control**

Stuttgart

31. Mai – 2. Juni 2016

### **Automotive Testing Expo**

Stuttgart

13.–17. Juni 2016

### **19th World Conference on Non-Destructive Testing**

München

22. Juni 2016

### **connect@htw saar – Unternehmenskontaktmesse von htw saar und fitt**

Saarbrücken

20.–23. September 2016

### **InnoTrans**

Berlin

6. Oktober 2016

### **Cold Rolling Day**

Chicago, USA

18.–20. Oktober 2016

### **maintain**

München

19.–20. Oktober 2016

### **9. Fraunhofer Vision Technologietag 2016**

Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT, Fürth

25.–29. Oktober 2016

### **EuroBLECH**

Hannover

7.–11. November 2016

### **18th International Wheelset Congress**

Chengdu, China

24.–25. November 2016

### **CastTec 2016 – Die Welt der Gusseisenwerkstoffe**

Darmstadt

**MONITORING ENTLANG DES  
PRODUKTLEBENSZYKLUS –**

**UNSERE FORSCHUNGS- UND  
ENTWICKLUNGSFELDER**





## ROHSTOFF

Sortierung, Identifikation  
oder Bewertung von  
Rohstoffen

Rohstoff



---

## Stichworte

---

Rohstoff, zerstörungsfreie Rohstoffanalyse, Materialcharakterisierung, nachwachsende Rohstoffe, industrielle Wertschöpfung, Reinheitsgrad

---

## Sortierung, Identifikation oder Bewertung von Rohstoffen

---

Pro Jahr verbraucht jeder Mensch in Deutschland mehr als 16 Tonnen Metall, Beton, Holz und andere Rohstoffe, das sind 44 Kilo am Tag: Deutschland liegt damit im internationalen und europaweiten Vergleich auf einem hohen Niveau.

Das geht aus dem Ressourcenbericht des Umweltbundesamtes (UBA) hervor, der im November 2016 auf dem »Nationalen Ressourcen-Forum« in Berlin vorgestellt wurde. Im Zuge technologischer Wandlungsprozesse ist die Nachfrage nach Rohstoffen im Wesentlichen vom Entwicklungsstand unserer Gesellschaft bestimmt: Rohstoffe sind für die industrielle Wertschöpfung, den technologischen Fortschritt und den Erhalt unseres Wohlstands ein unverzichtbares Gut. Aus diesem Grunde steigen neben dem Bedarf auch die Qualitätsansprüche an Rohstoffe: Mit zunehmenden Kenntnissen und Know-how, beispielsweise in der Werkstofftechnik, werden spezifische Rohstoffe gezielt und in immer größerem Umfang für die Optimierung neuer Hochleistungswerkstoffe eingesetzt.

Jeder Rohstoff – je nach vorgesehener Verarbeitungsmethode – wird zu unterschiedlichen Werkstofflegierungen oder Werkstoffverbunden weiterverarbeitet. In dieser Phase des Produktlebenszyklus ist der Anspruch an die ZfP im Wesentlichen von der

zerstörungsfreien Rohstoffanalyse geprägt. Hierfür werden von den Ingenieuren und Forschern des Fraunhofer IZFP anwendungsorientierte und kundenspezifische Lösungen für eine schnelle und präzisere Charakterisierung der Rohstoff-Eigenschaften zur Steigerung der industriellen Wertschöpfungskette und zur Einsparung bzw. effektiveren Nutzung der Ressourcen entwickelt.

Des Weiteren sind für viele Industrieenanwendungen zerstörungsfreie Monitoringverfahren notwendig, um Rohmaterialien beispielsweise auf Verunreinigungen oder ihren Reinheitsgrad im Sinne von Primär- und Sekundär-Rohstoffen (z. B. bei Aluminium) hin zu untersuchen. So betreibt das Fraunhofer IZFP zukunftsweisende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten etwa in den Bereichen Methoden, Verfahren und Systeme, die zur Charakterisierung der eingesetzten Werkstoff-Legierungen und Werkstoffverbunde erforderlich sind.

Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit konventioneller Rohstoffe werden nachwachsende Rohstoffe (Holz, Zellulose, Hanf, Stärke etc.) zunehmend von Bedeutung: Auch hier sind zerstörungsfreie Prüfverfahren ein fundamentaler Bestandteil, um die Qualität und Ressourceneffizienz der nachwachsenden Rohstoffe sicherstellen und optimieren zu können.

---

## Ansprechpartner

---

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





*Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Herrmann, Leiter der Abteilung Zustandsüberwachung und Lebensdauermanagement*

---

### **Keywords**

---

Raw Materials, Nondestructive Analysis of Raw Materials, Materials Characterization, Renewable Resources, Industrial Value Chain, Purity Level

---

---

### **Sorting, identification, or assessment of raw materials**

---

Each year, every person in Germany uses more than 16 tons of metal, concrete, wood and other raw materials. That adds up to 44 kilograms a day. By both European and international standards, Germany places high on the list of resource consumption.

This statistic was highlighted in a resource report from the German Federal Environmental Agency that was presented in November 2016 at the National Resource Forum in Berlin. As the transformation of global technology takes place, the demand for raw materials is essentially determined by the stage at which society is developing. Raw materials are an indispensable asset for the industrial value chain, technological progress and for maintaining our standard of living. For this reason, not only is the demand for raw materials on the rise; the demand for quality is growing as well. As know-how in fields such as materials technology increases, there is a growing reliance on specific raw materials for optimizing innovative high-performance materials.

Each raw material – depending on the intended processing method – is further developed into different material alloys or material composites. In this phase of the product life cycle, the demands placed on NDT are essentially characterized by the destruction-free analysis of raw materials. To this end, Fraunhofer

IZFP engineers and researchers are developing application-oriented and customer-specific solutions for a faster and more precise characterization of the raw material properties, thus optimizing the industrial value chain while simultaneously making more efficient use of the resources.

Moreover, nondestructive monitoring methods are necessary for many industrial applications in order to analyze raw materials for impurities or the degree of purity in primary and secondary raw materials such as aluminum. As a result, Fraunhofer IZFP conducts future-oriented research and development activities into the methods, processes and systems required to characterize the material alloys and material compounds being used.

Given the limited availability of conventional raw materials, renewable raw materials (wood, cellulose, hemp, starch, etc.) are taking on even more importance. Nondestructive inspection processes play a vital role in ensuring and optimizing the quality and resource efficiency of renewable raw materials as well.

---

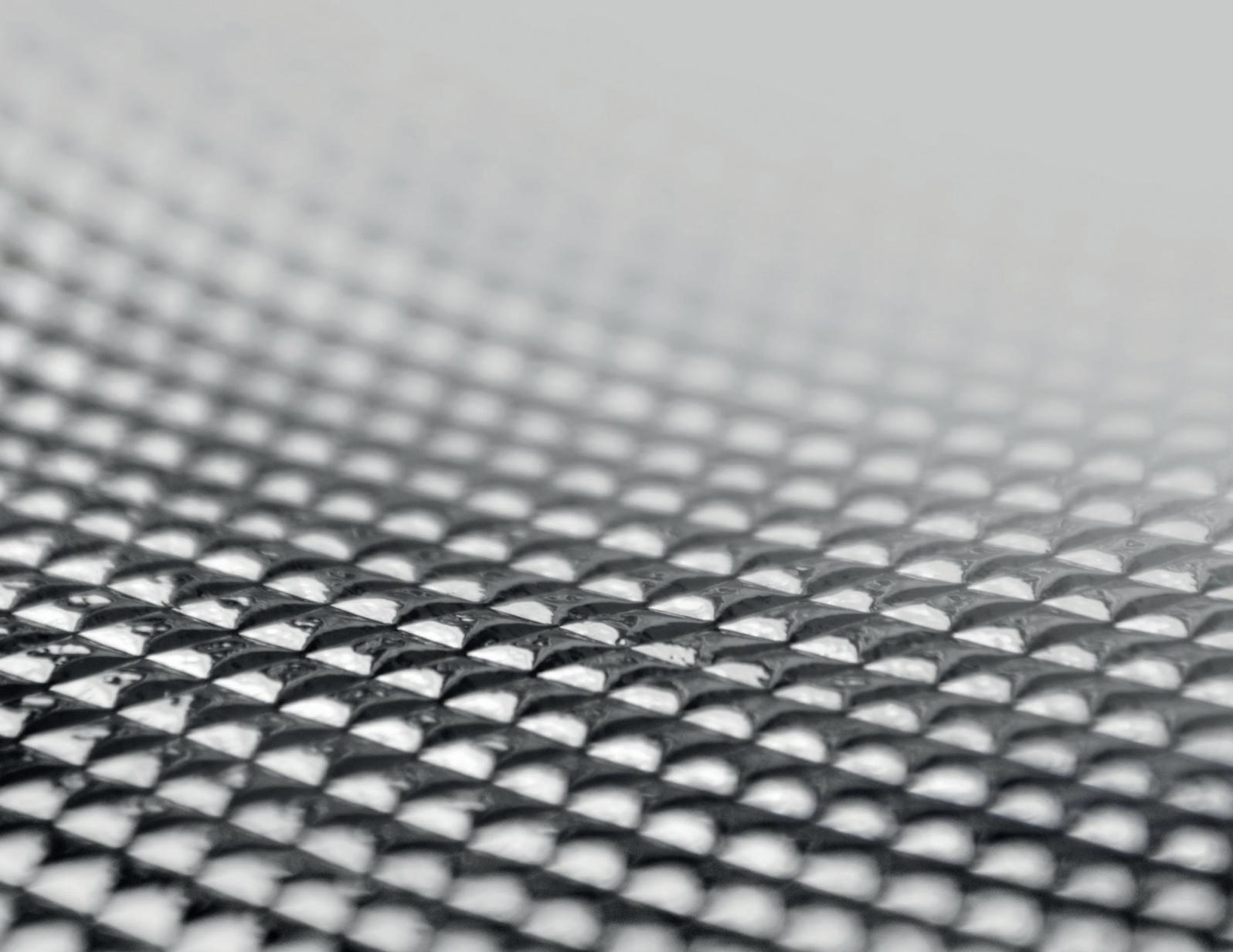
### **Contact**

---

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



*Materialien: Rohstoffe der industriellen Produktion*





## **MATERIAL**

Analyse der statischen oder dynamischen Eigenschaften von Materialien oder Werkstoffen

**Material**



---

## Stichworte

---

Materialcharakterisierung, Eigenschaften, Identifikation

---

## Analyse der statischen oder dynamischen Eigenschaften von Materialien und Werkstoffen

---

Materialien bilden die Ausgangsbasis für sämtliche Formen der Bauteil- und Komponentenfertigung.

Rohstoffe verarbeitende Industrien beliefern weiterverarbeitende Industriezweige mit Materialien in Form von Halbzeugen, meist als Bleche, Platten, Folien oder als Draht und Stabmaterial sowie als Pulver oder Granulat; daneben werden aber auch vorgeformte oder gegossene Rohlinge ausgeliefert. Exaktheit, Reinheit und Gleichmäßigkeit der Materialzusammensetzung sind für die betroffenen Industriezweige essentiell wichtig. Darüber hinaus sind für die Verarbeitbarkeit in Folgeprozessen Gefügestand und mechanische Eigenschaften ausschlaggebend. Im Zuge der Globalisierung und Digitalisierung der Produktion und im Hinblick auf avancierte Produktionsprozesse mit eng tolerierten Materialeigenschaften ist zudem die Identität von Materialien bzw. deren Herkunft im Sinne der Rückverfolgbarkeit von zunehmender Bedeutung.

Material produzierende Industrien benötigen somit zerstörungsfreie Sensorik für Monitoring und Dokumentation der Erzeugnisqualität.

---

## Entwicklungsschwerpunkte

---

Die Bestimmung der mechanisch-technologischen Kenngrößen und die Detektion von Ungängen sowie die Beschreibung der Auswirkungen auf die Weiterverarbeitung sind häufige Aufgabenstellungen. Während viele Handelsformen von Materialien aus messtechnischer Sicht vorteilhafte, mathematisch einfache Geometrien besitzen, stellen die oft noch unbearbeiteten Oberflächen sowie die industriellen Umgebungsbedingungen (z. B. Wärme, Staub in der Stahl herstellenden Industrie) messtechnische Herausforderungen dar. Die robusten magnetischen Prüfverfahren und berührungslose Verfahren auf Grundlage von Ultraschall, Thermographie und Mikro-/Terahertz-Wellen bieten hier Vorteile.

Neben der Materialcharakterisierung ist die Materialidentifikation von Bedeutung – eine Aufgabe, die durch Kombination intelligenter Hybrid-Sensorik, maschineller Lernalgorithmen und schneller Datenbanken bearbeitet wird. Hierbei wird aus einem hochkomplexen mehrparametrischen »Fingerabdruck« der Materialien auf deren Identität und Herkunft geschlossen. Dies ist darüber hinaus in der Identifikation und Rückgewinnung von Rohstoffen von Interesse.

---

## Ansprechpartner

---

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





*Dr.-Ing. Klaus Szielasko, Leiter der Abteilung Materialcharakterisierung*

---

## Keywords

---

Materials Characterization, Properties, Identification

---

## Analysis of static or dynamic properties of materials

---

Materials form the basis of all types of components and component production systems. The raw materials processing industry supplies other industry segments with materials in the form of semi-finished products, mostly sheet metal, plates, films, wire and rod materials, in addition to powders and pellets. Casting moulds are also supplied. The precision, purity and uniformity of the material composition are crucial for these manufacturing industries. In addition, microstructures and mechanical properties are key factors in how well the materials can be processed in subsequent steps. Given the impact of globalization and digitalization on manufacturing, and in light of advanced production processes that include tightly-toleranced material properties, identifying materials and tracing their origin is becoming an increasingly important task.

Material-producing industries therefore need nondestructive sensors for monitoring and documenting product quality.

---

## Development focus

---

The determination of the mechanical-technological parameters and the detection of discontinuities, as well as the description of their effects on the further processing, are frequent tasks in this area. From a measurement point of view, while many trade forms

of materials have favorable, simple geometries, the still frequently unfinished surfaces and harsh operating conditions (heat or dust in the steelmaking industry) present challenges for carrying out measurements. In these environments, robust magnetic test methods and non-contact procedures based on ultrasound, thermography and microhertz/terahertz waves offer advantages.

Apart from material characterization, material identification is also of interest. This process combines intelligent hybrid sensor technology, machine learning algorithms, and fast databases to identify the material's highly-complex, multi-parametric fingerprint and source. This is also of interest in identifying and recovering raw materials.

---

## Contact

---

Dr.-Ing. Klaus Szielasko  
+49 681 9302 3888  
klaus.szielasko@izfp.fraunhofer.de



# EINFLUSS HERSTELLUNGSBEDINGTER UNGÄNZEN AUF DAS WERKSTOFFVERHALTEN VON STAHLGUSS

## Stichworte

Stahlguss, Ungängen, 3D-Ultraschall, Hochenergie-Röntgen-Computertomographie, Zugversuch

Cast Steel, Imperfections, 3D Ultrasound, High-Energy X-Ray Computed Tomography, Tensile Test

## Ausgangssituation

Das Auftreten von Lunkern, Gasblasen, Einschlüssen oder Warmrissen in Stahlussteilen kann trotz ausgereifter Herstellungsprozesse nicht vollständig ausgeschlossen werden. Inwiefern diese herstellungsbedingten Ungängen in einem Bauteil als relevante Fehler zu bewerten sind, ergibt sich für jeden Gussteilbereich aus dem lokalen Ausnutzungsgrad (Quotient aus bauteilspezifischer lokaler Belastung im Einsatz und den dazugehörigen lokalen, gegebenenfalls durch Ungängen geminderten Werkstoffeigenschaften bzw. der Belastbarkeit). Da diese lokalen Ausnutzungsgrade jedoch nur unzureichend bekannt sind, werden bislang konservative, kosten- und ressourcenintensive Vereinbarungen zwischen Kunde und Gießerei getroffen und damit viele Ungängen rein formal und letztlich unnötig als Fehler deklariert. Eine realitätsnahe Trennung zwischen Ungängen ohne Fehlercharakter und Ungängen mit Fehlercharakter ist dementsprechend nur bei Vorliegen entsprechend genauer zerstörungsfreier Prüfergebnisse in Kombination mit geeigneten Werkstoffmodellen möglich.

## Aufgabenstellung und Durchführung

An dieser Stelle setzt ein laufendes Forschungsprojekt an: Ziel ist zum einen die Ermittlung von wissenschaftlich gesicherten Korrelationen zwischen der zwei- bzw. dreidimensionalen Verteilung schwindungs-

bedingter Ungängen in Stahlguss der Legierungen G22NiMoCr5-6 und G20Mn5 und der lokalen bruchmechanischen Festigkeit bzw. der Belastbarkeit unter statischer Beanspruchung. Des Weiteren soll ein numerisches Konzept zur Festigkeitsbewertung von Stahlgussbauteilen mit realen oder postulierten Gießfehlern ermittelt werden.

## Ergebnisse

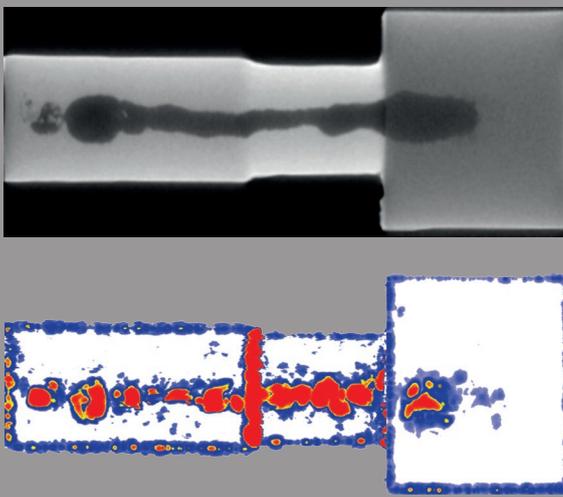
Um diese Ziele zu erreichen, stellt die Qualifizierung zweier geeigneter ZfP-Verfahren zunächst ein Teilziel dar. Hierfür wurden am Fraunhofer IZFP mechanisierte Ultraschall-Prüfungen (Anregung sowohl durch Einzelschwinger als auch durch Array-Sensoren) an Stahlgussstäben in Immersionstechnik durchgeführt. Als Ergebnis dieser Messungen stehen A-Scans sowie zweidimensionale B-, C-, und D-Scans zur Verfügung. Basierend auf den Ultraschall-Messdaten liefert ein am Fraunhofer IZFP entwickeltes Rekonstruktionsverfahren eine dreidimensionale Darstellung der lokalisierten Innendefekte.

Als zweites Prüfverfahren wurden CT-Messungen mit Hochenergie-Röntgenstrahlen durchgeführt. Auch diese Messungen lieferten hochaufgelöste 3D-Darstellungen der Probekörper inklusive der detektierten Ungängen.

Basierend auf den Ergebnissen der beiden Verfahren lassen sich Lage, Position, Größe sowie Verteilung der detektierten Ungängen präzise bestimmen. Diese Daten wurden sowohl untereinander als auch mit Ergebnissen zertifizierter konventioneller ZfP (Durchstrahlungsprüfungen und Ultraschall-Handprüfungen in Kontakttechnik) verglichen und durch zerstörende Prüfungen (metallographische Schliffbilder) validiert (siehe Abbildung).

Eine Abweichung zwischen den rekonstruierten 3D-Daten und den Validierungsdaten wurde genutzt, um das angewendete Rekonstruktionsverfahren zu verbessern. Die ermittelte Ungängenverteilung pro Stahlgussstab wurde anschließend an das Fraunhofer IWM übergeben, wo Finite-Elemente-Simulationen durchgeführt wurden,





Validierung der Ergebnisse aus Hochenergie-Röntgen-CT (links oben) und Ultraschall-Messungen (links unten) anhand von Schlifffbildern (rechts)

um vorherzusagen, wie sich die gefundenen Ungängen unter statischen Belastungen auf das Werkstoffverhalten auswirken. Zeitgleich wurden statische Zugversuche durchgeführt, um das simulierte mit dem realen Bruchverhalten abzugleichen. Die bislang erzielten Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Einfluss von Ungängen auf das Werkstoffverhalten von Stahlguss unter statischen Belastungen je nach Lage und Ausbildung der Ungänge deutlich geringer ist als bislang angenommen. Die Forschungsarbeiten sind jedoch noch nicht abgeschlossen. Weitere Versuche und Auswertungen, darunter auch solche an realen Bauteilen, stehen noch aus.

### Ihr Vorteil

Durch den Einsatz bildgebender ZfP können Größe, Lage und Position innenliegender Ungängen in Gussbauteilen genau bestimmt werden. Verwendet man diese Information ferner als Eingang für eine Simulation des Bauteilverhaltens unter statischer Belastung, kann eine auf die Verwendung angepasste und dadurch optimierte Auslegung erfolgen.

### Projektträger

Das IGF-Vorhaben »Ungängen Stahlguss« der Forschungsvereinigung Gießereitechnik e.V. (FVG) (Förderkennzeichen: 469 ZN) wird über die AiF vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert und gemeinschaftlich mit dem Fraunhofer IWM bearbeitet.

### Summary

Casting materials are utilized whenever the manufacturing process places high demands on the mechanical properties of components with extremely complex designs. Since casting is a relatively expensive process, producers strive to exploit the full potential of the material. Discontinuities, blowholes, dross formation and other surface defects can still occur however.

These manufacturing-related defects result in local deterioration of the material properties. Accurate localization and characterization of the defects is advantageous since it allows for either efficient post-processing or an analysis of the fracture mechanics, which can make post-processing unnecessary. In both cases, nondestructive testing (NDT) leads to significant savings in both costs and material. NDT can also be used to characterize the raw source material or for post-processing quality control.

For these environments, Fraunhofer IZFP develops innovative non-destructive inspection systems based on ultrasonic, X-ray, magnetic flux leakage and electromagnetic methods, which can be used on components with different dimensions, as well as for different types of materials, such as iron, steel and aluminum.

### Ansprechpartner

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



# ZERSTÖRUNGSFREIE, ORTSAUFGELOSTE BESTIMMUNG DES WASSERGEHALTES VON KUNSTSTOFFEN MIT TERAHERTZWELLEN

## Stichworte

Terahertz, Feuchte, Ortsauflösung, Kunststoffe, Gradient

Terahertz, Moisture, Spatial Resolution, Plastics, Gradient

## Ausgangssituation

Polyamide werden in großem Umfang für Bauteile der Fahrzeug- und Motorentechnik eingesetzt. Hierfür sind ihre mechanischen Eigenschaften (Festigkeit und Zähigkeit) sowie die chemische Beständigkeit gegenüber organischen Lösungsmitteln von Vorteil. Faserverstärkte Ausführungen erweitern das Einsatzgebiet zusätzlich.

Das sehr verbreitete Polyamid 6.6 (Nylon) kann ca. 8 Gewichtsprozent an Wasser aufnehmen, wobei sich seine mechanischen Eigenschaften signifikant ändern. Dies ist u. a. für wasserdurchfließende Bauteile im Kühlsystem der Motoren oder für Strukturbauteile relevant, die wiederkehrender Feuchtigkeit ausgesetzt sind. Der Prozess der Wasseraufnahme und -abgabe findet dabei als Diffusion über viele hundert Stunden statt, wobei sich ausgehend von der Oberfläche ein Gradient in die Werkstofftiefe ausbildet. Es besteht Interesse an der Lokalisierung der von Wasseraufnahme betroffenen Bauteilbereiche im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen lokaler Feuchte und mechanischen Eigenschaften. Gewichtsmessungen können derartige Veränderungen nur unter Laborbedingungen und über das gesamte Bauteil hinweg, aber nicht ortsaufgelöst nachweisen.

## Aufgabenstellung und Durchführung

Vor dem geschilderten Hintergrund bestand die Aufgabe in der Untersuchung, auf welche Weise man die Wasseraufnahme von Polyamid 6.6 ortsaufgelöst darstellen kann. Der letztlich verfolgte

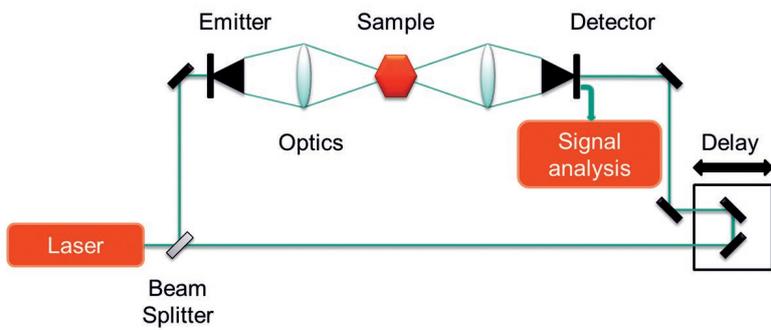
Verfahrensansatz basiert auf Terahertzwellen (THz-Wellen). Ähnlich der Röntgenprüfung können damit Werkstoffe durchleuchtet werden, wobei diese in Abhängigkeit ihrer dielektrischen Eigenschaften mit den Wellen wechselwirken. Die THz-Wellen sind dabei von sehr geringer Intensität und haben keine ionisierende Wirkung, wodurch sie für den Menschen ungefährlich sind und, anders als bei der Röntgenprüfung, keine aufwändigen Schutzmaßnahmen erfordern.

Am Fraunhofer IZFP ist eine Terahertz-Messeinrichtung vorhanden, welche Wellen im Frequenzbereich von 0,1 THz bis ca. 3 THz aussendet. Sobald die ausgesendeten Wellen die Probe durchlaufen, treten quasioptische Effekte wie Absorption, Polarisation, Streuung, Brechung und Reflexion auf, die das am Empfänger gemessene Signal in Bezug auf Frequenz-, Amplituden- und Phasenlage in Abhängigkeit von den dielektrischen Eigenschaften der Probe verändern und somit Aussagen zu ihrer Beschaffenheit zulassen. Zwischen der Sender- und Empfangseinheit wird die Probe im Prüfaufbau durch einen mechanischen X-Y-Scanner verfahren und dadurch eine Positionszuordnung der aufgenommenen Signale ermöglicht.

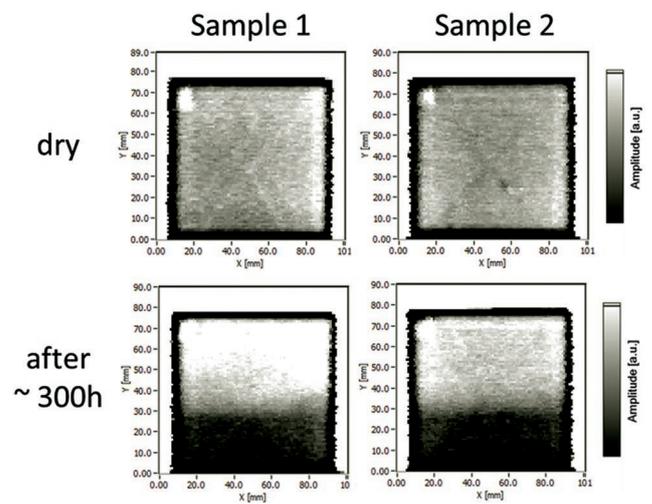
Polyamid 6.6 besitzt im Vergleich zu Wasser eine um den Faktor 40 geringere Dielektrizitätskonstante, was sich in einer erhöhten Absorption der ausgesendeten Signale äußert. Mit zunehmender Wasserkonzentration innerhalb der Probe ist eine Abnahme der Amplituden zu erwarten.

Hierfür wurden Proben in einer Klimakammer getrocknet, anschließend hälftig in Wasser gestellt und in bestimmten Zeitintervallen sowohl mittels Gewichtsbestimmung als auch im Terahertz-Scanner vermessen. Nach 300 Stunden zeigte sich eine Amplitudendifferenz von 8 bis 10 Prozent zwischen der oberen trockenen und der unteren mit Wasser versetzten Hälfte, während die Gewichtszunahme ca. 3 Prozent betrug. Die maximale Gewichtsänderung durch Wasseraufnahme ist für Polyamid 6.6 mit 8 Prozent angegeben, was bei der Fortführung der Versuche zu noch höheren Absorptionsgraden in den Messergebnissen führen sollte.





Prinzip Terahertz-Messverfahren



THz-Absorption für 2 Polyamidproben in trockenem und feuchtem Zustand

## Ergebnisse

Mit der am Fraunhofer IZFP vorhandenen Terahertz-Messtechnik konnte der Wassergehalt von Polyamid-Proben orts aufgelöst dargestellt werden. Dieses Verfahren ist auf zahlreiche weitere nicht-metallische Werkstoffe erweiterbar und bietet in vielen Anwendungsfällen, bei denen die örtliche Verteilung des Wassergehaltes eines Werkstoffes von Interesse ist, eine Alternative zu herkömmlichen Verfahren, die keine Ortsauflösung erlauben. Zukünftige Arbeiten haben das Ziel, den Feuchteverlauf in der Tiefe mittels *Inverse Profiling*-Algorithmen zu rekonstruieren.

## Summary

Terahertz time domain spectroscopy (THz TDS) has a wide variety of applications related to the characterization and inspection of dielectric materials such as plastics, ceramics and wood. Market prices for high-performance equipment have already fallen below 100,000 euros and will soon reach levels where a wide range of industrial applications can be envisaged.

Apart from detecting flaws and foreign bodies in various plastics and measuring coating thickness, THz TDS can detect the diffusion of water in plastics due to the high absorption coefficient of water in the THz range. This project involves scanning a sheet of polyamide 6.6 with a THz TDS system to determine the moisture content. The part of the sample that was exposed to moisture, after 300 hours of immersion, experienced a roughly 3 percent weight increase and a significant decrease in the THz transmission amplitude.

Future research activities will aim to reconstruct the depth of the moisture gradient by means of inverse profiling algorithms.

## Ansprechpartner

Dr.-Ing. Klaus Szielasko  
+49 681 9302 3888  
klaus.szielasko@izfp.fraunhofer.de

Christopher Stumm, M.Sc.  
+49 681 9302 3836  
christopher.stumm@izfp.fraunhofer.de



*Produktentwicklung für reibungslose Produktionsabläufe und qualitätsgesicherte Produkte*



Produkt-  
entwicklung



## PRODUKT- ENTWICKLUNG

Definition der Parameter  
des Produktionsprozesses  
oder des Produkts



# PRODUKTENTWICKLUNG / PRODUCT DEVELOPMENT

---

## Stichworte

---

Intelligente Sensorik, intelligentes Produkt, zerstörungsfreie Produktionsoptimierung und -regelung, sensorgerechte Auslegung und Gestaltung

---

## Definition der Parameter des Produktionsprozesses oder des Produkts

---

Die intelligente Produktentwicklung verfolgt hinsichtlich des Konstruktions- und Fertigungsdesigns zwei wesentliche Ziele: Zum einen müssen bei einer ganzheitlichen Betrachtung die Produkteigenschaften optimal gestaltet werden, um Nutzungsanforderungen und späteren Beanspruchungen zu entsprechen. Zum anderen muss die Effizienz der Produktion optimiert werden.

Hierfür leisten Informationen aus zerstörungsfrei aufgenommenen Sensordaten essentielle Beiträge: Bereits während der Produktentstehung werden u. a. Materialinformationen zur Auslegung (Dimensionierung) berücksichtigt (z. B. Sensordaten aus der zerstörungsfreien Materialcharakterisierung). Darüber hinaus werden aber auch Sensordaten zur angestrebten Qualitäts- und Produktionsoptimierung benötigt, welche in den diversen Produktionsschritten an den Halbzeugen, Komponenten und Bauteilen bzw. Produkten und idealerweise während der Fertigungsprozesse in Echtzeit erfasst werden.

Daraus ergibt sich für zukünftige Produkt- und Produktionsplaner die Aufgabe, neben der üblichen Designoptimierung auch die sensorische Erfassung in den diversen Fertigungsschritten einzuplanen und ingenieurtechnisch optimal zu gestalten.

In der Planung und Befähigung zur sensorischen Erfassung, Implementierung, Diagnose und Steuerung oder Regelung mit zerstörungsfreien, in der Regel multimodalen Sensorsystemen spiegelt sich die Kernkompetenz des Fraunhofer IZFP für das Produktions- und Produktmonitoring wider. Die Integration von Sensoren in die Produktionskette und die Erfassung sowie die Weiterverarbeitung der relevanten und adäquaten Daten für die Produktions- und Prozesssteuerung oder für den Qualitätsnachweis und für die Qualitätsoptimierung muss bereits in der Produktentwicklungsphase berücksichtigt und geplant werden. Während der Produktionsentwicklung liefert das Fraunhofer IZFP sensorische Werkzeuge, mit deren Hilfe die Produktionsprozesse hinsichtlich Qualität, Effizienz und Kosten optimiert werden können. Auf dieser Basis können Entwicklungs- und Anlaufzeiten drastisch reduziert werden. Zum Einsatz kommen diese Verfahren auch während instabiler Prozessphasen, z. B. nach dem Umrüsten bei einem Bauteil- oder Werkzeugwechsel. Intelligent wird die Produkt- und Produktionsentwicklung durch Design-Know-how unter Berücksichtigung der Möglichkeiten des *Tailored Sensing* und *Smart Monitoring* – und dies in der vernetzten Betrachtung der »benachbarten« Phasen und Stadien im Produktlebenszyklus.

---

## Ansprechpartner

---

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

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





*Prof. Dr.-Ing. Bernd Valeske, Leiter der Abteilung Komponenten- und Bauteilprüfung*

---

### Keywords

---

Smart Sensors, Nondestructive Process Monitoring, Smart Product, Smart Production, Tailored Design for Smart Sensing and Optimization

---

### Production process or product parameters

---

Intelligent product development has two main goals with respect to engineering and manufacturing designs. Firstly, the product characteristics must be optimally designed from a holistic standpoint to ensure that they conform to the application requirements and the demands placed on them at a later point. Secondly, the production process must be designed as efficiently as possible.

Information captured by nondestructive sensors play an essential role here. Even during the product design phase, information about the materials, such as data from NDT sensors, can be factored into the layout. Moreover, sensor data is needed to optimize the quality and the production process as desired. This data is captured from semifinished products, components, assemblies and products, ideally in real-time during any phase of the production process.

As a consequence, future product and production planners will be tasked not only with the typical design optimization, but also incorporating and optimally designing sensor-based monitoring in the various production steps.

Fraunhofer IZFP's core competence for production and product monitoring is reflected in the qualification for sensor-based data

recording, sensor implementation and diagnostics or monitoring by nondestructive, mostly multi-modal sensor systems. Even during the product development phase, sensor integration and the capture and processing of all relevant and adequate data for production, process control, quality assurance and quality optimization, have to be taken into account. Fraunhofer IZFP provides sensor-based tools that can be used to rapidly optimize the quality, efficiency and cost of the production processes during the development phase, thus drastically reducing development and start-up timeframes.

These methods can also be applied during unstable process phases, such as after a component change or re-tooling. Intelligent product and production development arises by using design know-how that relies on "tailored sensing" and "smart monitoring" in which these systems track adjacent phases and states during the product life cycle.

---

### Contact

---

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

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



# ULTRASCHALL-ANWENDUNGEN FÜR DIE OPTIMALE PRODUKT- UND WERKSTOFF-GESTALTUNG

## Stichworte

Aluminiumschmelze, Erntemaschine, Reinheitsgrad, Schweißnahtprüfung, Ultraschall

Aluminum Melt, Harvester, Level of Purity, Weld Seam Inspection, Ultrasound

## Situation

Die zerstörungsfreie Prüfung kommt beim Material- wie Prozess-Monitoring entlang des gesamten Produktlebenszyklus zum Einsatz. Eine zentrale ZfP-Technologie stellt die Ultraschalltechnik dar, mit vielfältigen Anwendungsbereichen zwischen klassischer Fehlerprüfung und Materialcharakterisierung. Um individuellen industriellen Anforderungen gerecht zu werden, entwickelt das Fraunhofer IZFP kundenspezifisch zugeschnittene Ultraschallmethoden, die zur Senkung der Produktionskosten bei gleichzeitiger Steigerung der Produktqualität beitragen und somit die internationale Konkurrenzfähigkeit unserer Kunden stärken.

Drei dieser Entwicklungen beziehungsweise Applikationen sollen im Folgenden vorgestellt werden.

## Prüfsystem für Aluminiumschmelze

Der zunehmende Trend zum Leichtbau führt zu immer dünneren Wandstärken bei gleichzeitig immer komplexerer Geometrie der Teile. Verunreinigungen innerhalb von Aluminiumussteilen, z. B. nichtmetallische Einschlüsse, verringern jedoch entscheidend die Werkstoffqualität und führen zu einer erhöhten Ausschussrate. Es sind bereits Messsysteme auf dem Markt verfügbar, mit denen der

Reinheitsgrad von Schmelzen bestimmt werden kann, allerdings weisen diese Schwächen im alltäglichen Gebrauch auf.

Daher wurde gemeinsam mit dem Gießerei-Institut der RWTH Aachen ein neues Verfahren zur Kontrolle der Aluschmelze entwickelt, das – bei niedrigen Investitions- und Betriebskosten – einfach in der Handhabung ist und dennoch ausreichend genaue und reproduzierbare Ergebnisse liefert.

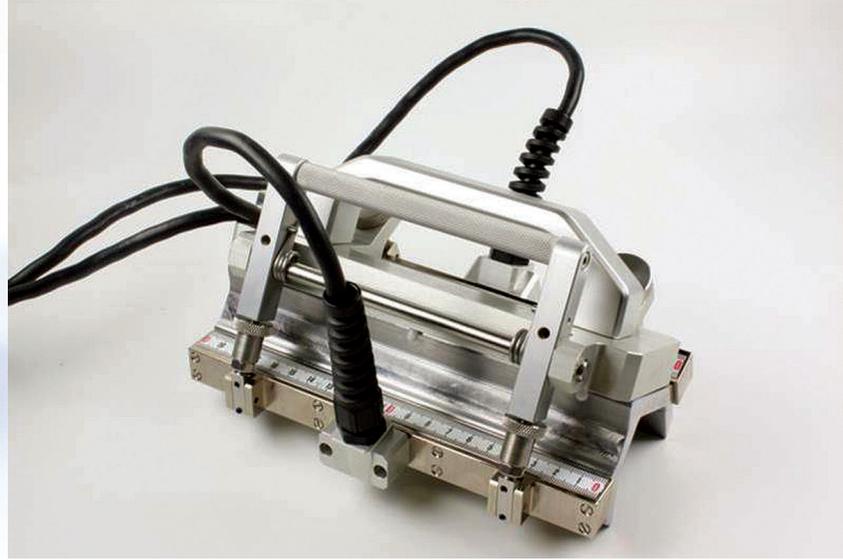
Das Messsystem koppelt hierfür Ultraschallwellen mittels spezieller Wellenleiter in die zu untersuchende Metallschmelze ein. Anschließend werden die an Einschlüssen reflektierten Ultraschallwellen detektiert und ausgewertet. Es können somit Aussagen sowohl zur Konzentration der Verunreinigungen in der Schmelze, als auch zur Größe der Verunreinigungen getroffen werden. Für Aluminiumschmelzen sind ab einer Partikelgröße von 20 µm Konzentrationsbereiche von 1000 bis 100 000 Partikel pro Kilogramm Aluminiumschmelze erfassbar.

## Automatische Schweißnahtprüfung an Erntemaschinen

Heutige Feldbewirtschaftung erfordert die Hilfe von Hochleistungs-Erntemaschinen, um die Produkte zu konkurrenzfähigen Preisen anbieten zu können. Zur Amortisierung der hohen Kosten solcher Maschinen werden diese maximal ausgelastet, was bei einzelnen Bauteilen zu extremen dynamischen Belastungen führen kann. Es ist daher unerlässlich, Qualität und Sicherheitsstatus solcher Bauteile während der Produktion und anlässlich von Instandhaltungs- und / oder Wartungsmaßnahmen regelmäßig zu überprüfen.

Die Schweißnähte, welche die Messerhalter mit der Trommel verbinden, sind in hohem Maße sicherheitsrelevant. In der Vergangenheit wurden sie händisch mittels Ultraschall geprüft. Mit LinScanDuo 2.0 hat das Fraunhofer IZFP die zweite Generation eines Ultraschallprüfsystems entwickelt, welches nunmehr die vollautomatische Inspek-





LinScanDuo 2.0 – Ultraschallapplikation auf Basis der Fraunhofer IZFP eigenen OPTHUS-Elektronik für Erntemaschinen

tion beider Schweißnähte eines Messerhalters erlaubt. Dabei wird die Analyse der erfassten Ultraschalldaten von intelligenten Algorithmen durchgeführt, die eine Zuordnung und Klassifizierung in »gute« und »schlechte« Schweißnähte vornehmen.

LinScanDuo 2.0 kann somit zur Fertigungs- und Prozessoptimierung während des Herstellungsprozesses sowie zur *in field* Überwachung von Häckslertrommeln eingesetzt werden.

### Makroskopischer Reinheitsgrad

Ein wichtiges Merkmal qualitativ hochwertiger Stähle ist deren Reinheitsgrad. Anzahl, Lage und Ausdehnung nichtmetallischer Einschlüsse sind je nach vorgesehener Weiterverarbeitung und späterem Einsatz der daraus entstehenden Komponenten von Relevanz und werden daher ermittelt. Zur Bestimmung des makroskopischen Reinheitsgrades hat sich die Ultraschallprüfung als geeignetes Verfahren zur Erfassung und Bewertung größerer Volumen etabliert.

Am Fraunhofer IZFP wird ein eigenentwickeltes Prüfsystem genutzt, mit dem nach Vorgabe des Stahl-Eisen-Prüfblattes (SEP) 1927 der makroskopische Reinheitsgrad von Stahlproben in Ultraschall-Tauchtechnik bestimmt werden kann. Im Rahmen der flexiblen Akkreditierung nach DIN EN ISO 17025 liefert das Fraunhofer IZFP Herstellern und Abnehmern von Halbzeugen eine objektive und unabhängige Bewertung der Proben und trägt somit zur Sicherheit von Komponenten und Bauteilen unserer Kunden bei.

Durch den flexiblen Hardwareaufbau sowie die Nutzung einer eigenen digitalen Plattform ist das Fraunhofer IZFP in der Lage, auf individuelle Kundenwünsche einzugehen und über die Forderungen der SEP 1927 hinaus das Thema Reinheitsgradbestimmung insbesondere für die Prüfung von Sonderwerkstoffen als Dienstleistung anzubieten.

### Summary

Nondestructive testing (NDT) is deployed during the entire product life cycle for the purpose of monitoring materials and processes. One of the fundamental NDT technologies is ultrasound inspection, which has a wide range of applications from standard defect detection to advanced material characterization. To comply with individual industrial requirements, Fraunhofer IZFP is developing customer-specific ultrasound inspection solutions that lead to lower production costs and enhanced product quality, thus helping our customers become more competitive on the global stage.

This overview highlights three innovative ultrasound applications for detecting non-metallic inclusions in aluminum smelting, automatically inspecting welding seams for harvesting machines and measuring the purity of high-grade steels.

### Ansprechpartner

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



# KLEBFERTIGUNG IM AUTOMOBILBAU

## ENTWICKLUNG, VALIDIERUNG UND PROTOTYPISCHE UMSETZUNG EFFIZIENTER UND QUALITÄTSGESICHERTER ZERSTÖRUNGSFREIER PRÜFTECHNIK

### Stichworte

Zerstörungsfreie Qualitätssicherung, Klebtechnik, Null-Fehler-Produkte, vollautomatisierte Auswertung, Mustererkennung und Klassifizierung, Validierung, Prototypenaufbau

Nondestructive Quality Control, Adhesive Bonding, Zero Defect Bonding, Fully Automated Analysis, Pattern Recognition and Classification, Validation, Prototype Implementation

### Situation

Unabhängig davon, welche Antriebstechnologien und Mobilitätskonzepte (emissionsarme Verbrennungsmotoren, elektrische Antriebe, Hybridfahrzeuge etc.) sich zukünftig durchsetzen werden, steht der Leicht- und Mischbau im Fokus der Automobilentwicklung. Die maßgebliche Herausforderung für den Leichtbau besteht in der Verbindung der unterschiedlichen Materialien (Leichtbauwerkstoffe) und Komponenten. In dieser Hinsicht kommt insbesondere der Hochleistungstechnologie Kleben im Mischbau eine zentrale Rolle zu.

Um die Leichtbaupotenziale durch Klebverbindungen auszureizen, besteht aus Anwendersicht erheblicher Bedarf für die Prozesssicherung und für Methoden zum zerstörungsfreien Nachweis der strukturellen Belastbarkeit. Industriell nutzbare und produktionsseitig integrierbare Sensoren und Prüfsysteme werden für die sichere klebtechnische Fertigung in der Automobilproduktion dringend benötigt. Mit einer sensorisch überwachten Klebfertigung und mit validierter zerstörungsfreier Bauteilprüfung (ZfP) können Leichtbaukonzepte zukünftig besser ausgeschöpft und der technische sowie wirtschaftliche Wettbewerbsvorsprung ausgebaut werden.

### Aufgabenstellung

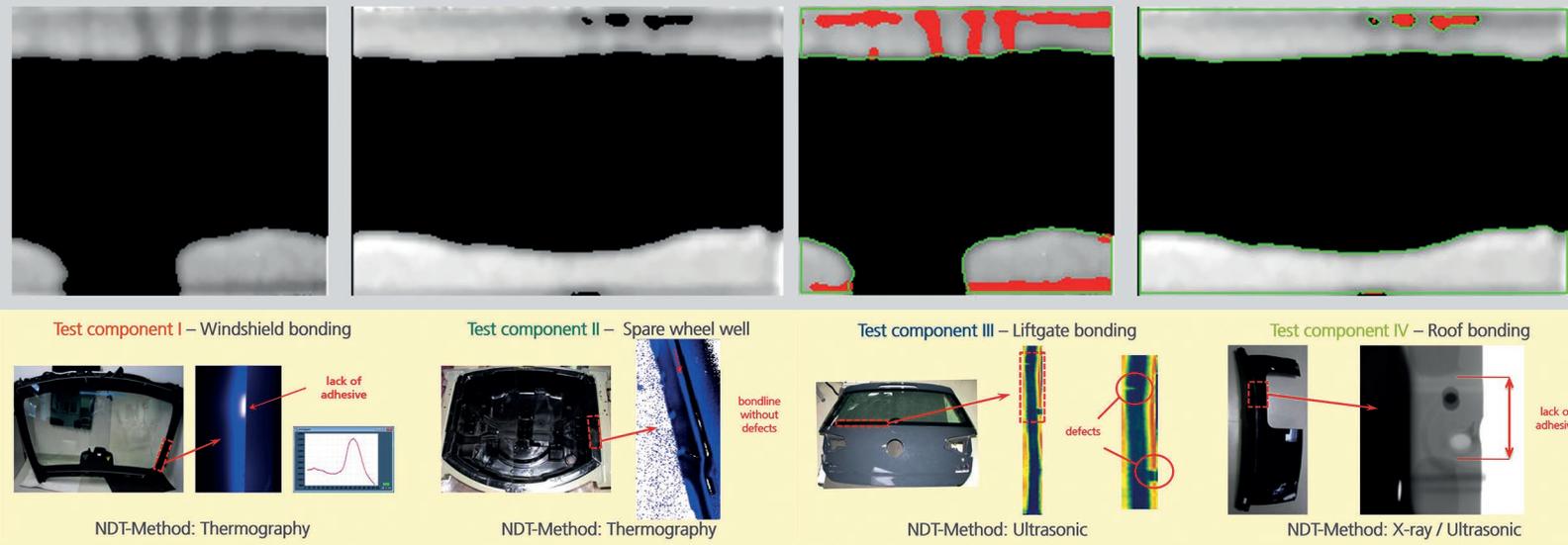
Das Fraunhofer IZFP wurde von einer Allianz automobiler deutscher Automotive-OEM mit der strategischen Entwicklung, Planung und Projektsteuerung einer ganzheitlichen Realisierung der Qualitätssicherung mit Hilfe von zerstörungsfreien Methoden für die klebtechnische Fertigung im Automobilbau beauftragt. Auch in EU-Forschungsvorhaben (CoReNet) werden ZfP-Methoden für die Null-Fehler-Produktion in der Klebtechnik für den Fahrzeugbau weiterentwickelt und validiert (*Zero Defect Manufacturing*).

### Ergebnisse

Das zerstörungsfreie Monitoring mit weiterentwickelten Prüf- und Sensortechnologien kann besonders vorteilhaft für die Qualitätssicherung beim Kleben im Automobilbau eingesetzt und in ein durchgängiges Qualitätskonzept eingebettet werden. Verfahrenseitig werden Applikationen mit automatisierten, robotergestützten ZfP-Methoden auf Basis diverser Ultraschall-Varianten, Thermographie, Shearographie oder 3D-Röntgen-CT genutzt. Die wichtigsten heute von Automobil-OEM eingesetzten Klebapplikationen (Material- und Klebstoffkombinationen für Struktur- und Montageklebungen von Realbauteilen) wurden für einen ZfP-Eignungskatalog analysiert und die jeweiligen Potenziale und Leistungsgrenzen beschrieben. Erstmals wurde eine vollautomatisierte Ergebnisanalyse und fortschrittliche Mustererkennung zur zerstörungsfreien Bewertung und Analyse realisiert und in ein Software-Konzept integriert (obere Abbildung). An repräsentativen Baugruppen wurden vollautomatisierte ZfP-System-Prototypen validiert (untere Abbildung). Diese werden derzeit zusammen mit System-Integratoren industriell eingeführt.

Darüber hinaus werden in den kommenden Jahren erweiterte ZfP-Methoden (E-NDT Sensortechnologien) in den Fokus der FuE-Arbeiten rücken. Diese sind für den industriellen Einsatz an





Oben: Systemanalyse und Mustererkennung; unten: Validierung vollautomatisierter ZfP-System-Prototypen

realen Automobilbauteilen und zum Einsatz in der klebtechnischen, industriellen Fertigung weiter zu entwickeln und zu ertüchtigen (Entwicklung der Technologiereife bis TRL 6). Diese ZfP-Methoden zielen auf die unmittelbare Detektion von »schwachen Klebungen« (*weak bonds*), die Ermittlung der dafür verantwortlichen Ursachen, also des mangelhaften Aushärtungsgrades von Klebstoffen sowie die zerstörungsfreie Klassifizierung der Klebverbundfestigkeit.

Damit kann der Einsatz kostenintensiver, zerstörender Verfahren zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit von Klebungen zukünftig reduziert bzw. eingespart, der Fahrzeugleichtbau durch Verzicht auf zusätzliche Absicherungsstellen und durch Einsparung von konstruktiven Sicherheitszuschlägen vorangetrieben und somit das Leichtbaupotenzial für innovative Fahrzeugkonzepte wesentlich besser genutzt werden.

Durch die gemeinsame Aktivität renommierter nationaler Forschungseinrichtungen unter Leitung des Fraunhofer IZFP mit den fünf führenden deutschen Automobilherstellern sowie mit etablierten klein- und mittelständischen Unternehmen der Sensor- und Automatisierungstechnik wird eine Steigerung der Innovationskraft im internationalen Vergleich und für diese bisher ungelösten Fragestellungen erreicht.

### Auftraggeber

Daimler / Mercedes, Audi, BMW, Porsche, Volkswagen  
EU / CoReNet

### Summary

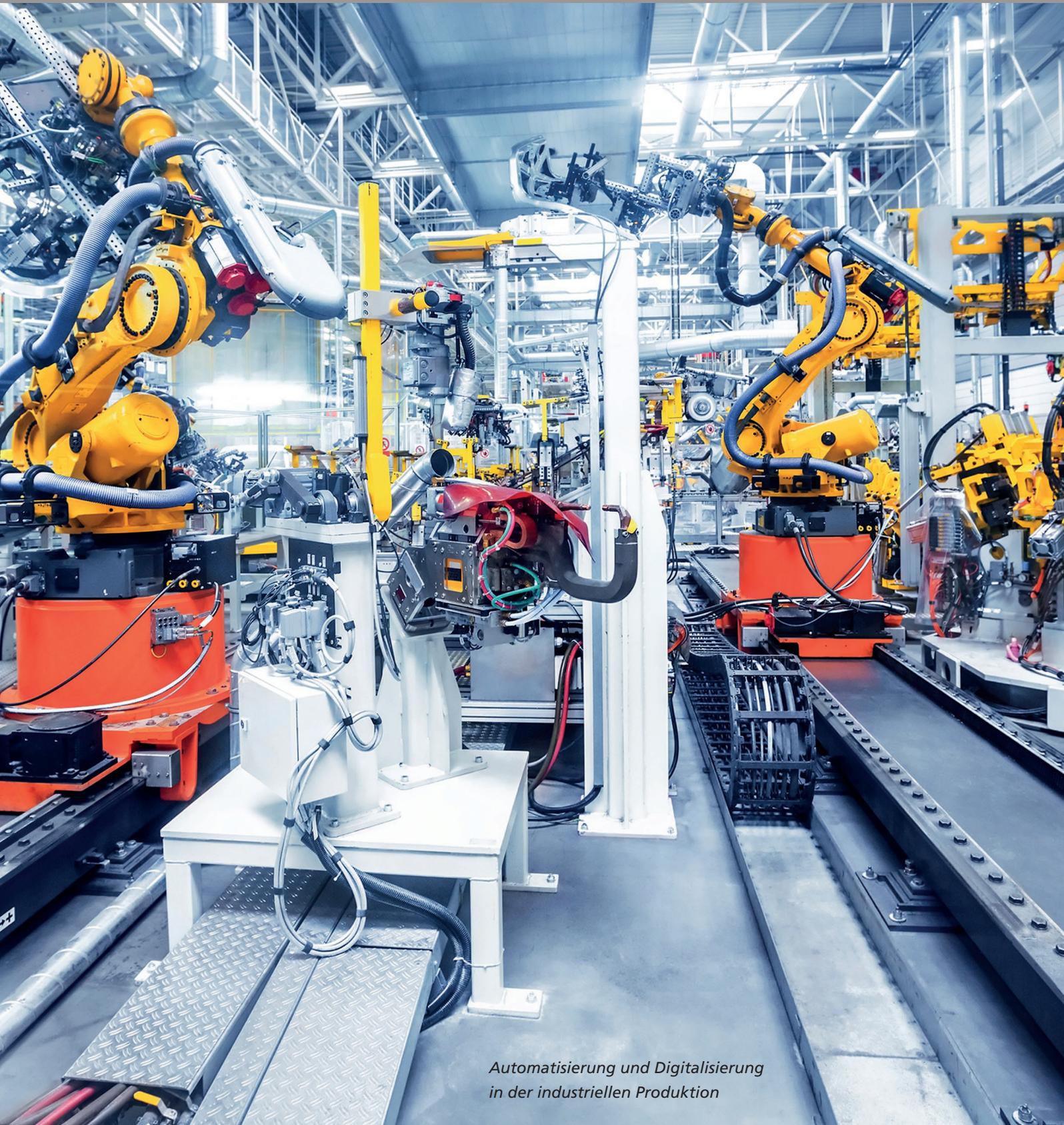
Nondestructive monitoring by means of enhanced inspection and sensor technologies is especially advantageous for assuring the quality of bonding technologies in automotive manufacturing. Moreover, it can be embedded into a consistent quality concept. Potential applications include automated, robot-assisted NDT procedures based on diverse ultrasound variants, thermography, shearography or 3D X-ray CT. This project analyzed the key bonding applications used in automotive manufacturing (combinations of materials and glues for structural and assembly bonding) in order to develop a catalogue of suitable NDT processes. The associated opportunities and limitations were outlined as well.

For the first time, a fully automated analysis of results together with an enhanced procedure of pattern recognition for nondestructive assessment and analysis was realized and integrated into a software concept (upper figure). Additionally, fully automated prototypes of NDT systems were validated by means of representative assemblies (lower figure). These systems are currently implemented in industrial applications by system integrators.

### Ansprechpartner

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





*Automatisierung und Digitalisierung  
in der industriellen Produktion*

Produktion



## PRODUKTION

Monitoring (Überwachung  
und Regelung) des  
Produktionsprozesses



---

## Stichworte

---

Adaptive Fertigungsverfahren, Fertigungsintegration, kollaborierende Roboter, Presshärten, Rührreibschweißen

---

## Monitoring (Überwachung und Regelung) des Produktionsprozesses

---

Industrie 4.0 und Big Data sind Treiber für neue Innovationen in der Prüftechnik. Letztere ist ein unverzichtbares Element in der intelligenten Fabrik der Zukunft. Dabei muss die Prüfung vom Labor in die Produktion verlagert werden. Das Fraunhofer IZFP entwickelt Anwendungsszenarien und Lösungen für diese fertigungsintegrierte Prüfung.

Der Fokus liegt dabei auf neuen Produktionsverfahren, da diese immer auch das Risiko für neue Qualitätsprobleme in sich tragen. Zu den aktuellen Entwicklungsschwerpunkten zählen z. B. das Presshärten, das Rührreibschweißen und Verfahren zur Herstellung von Verbundwerkstoffen und Werkstoffverbunden aus CFK, Aluminium, Titan und Magnesium.

Adaptive Fertigungsverfahren werden zunehmend genutzt, da sie schnell an wechselnde Erfordernisse der *mass customization* angepasst werden können. Um diese komplexen Produktionsprozesse zu überwachen, muss die Qualitätsprüfung *in-process* und *in-situ* durchgeführt werden können, wofür das Fraunhofer IZFP neue Prüflösungen entwickelt. Neue Aufgaben und Herausforderungen erfordern auch neue Qualifikationen und Kompetenzen. Aus diesem Grunde beteiligt sich das Fraunhofer IZFP gemeinsam mit der Grundig Akademie an der Gestaltung von Ausbildungs-

lehrgängen zu neuen Fertigungsverfahren, beispielsweise dem Presshärten und dem Rührreibschweißen.

In naher Zukunft wird die fertigungsintegrierte Prüfung dazu genutzt werden, um mit Hilfe verteilter, vernetzter Sensoren ein nahezu vollständiges Echtzeit-Abbild kompletter Produktionsabläufe zu generieren. Mess- und Prüfdaten werden mit weiteren produktionstechnischen Daten kombiniert; mit Methoden des maschinellen Lernens können dann selbstregelnde bzw. selbstoptimierende Fertigungsprozesse realisiert werden. Dementsprechend ist die fertigungsintegrierte Prüfung auch mit dem Thema Big Data eng verknüpft. Schon heute entwickelt das Fraunhofer IZFP intelligente Überwachungs- und Regelsysteme auf Basis von Datenfusion, z. B. für das Laserstrahlschweißen.

Als Folge von Industrie 4.0 wird der Automatisierungs- und Vernetzungsgrad in der Qualitätssicherung stetig steigen. Neuartige Roboter und autonome Systeme können die Palette von möglichen Anwendungen der fertigungsintegrierten Prüfung deutlich erweitern. Das Fraunhofer IZFP setzt dabei auf kollaborierende Roboter. Deren Einsatz beim Übergang von der manuellen zur automatisierten Prüfung gewährleistet Reversibilität und ermöglicht es, Entwicklungsrisiken zu minimieren.

---

## Ansprechpartner

---

Dr.-Ing. Bernd Wolter  
+49 681 9302 3883  
[bernd.wolter@izfp.fraunhofer.de](mailto:bernd.wolter@izfp.fraunhofer.de)





*Dr.-Ing. Bernd Wolter, Leiter der Abteilung Fertigungsintegrierte ZfP*

---

## **Keyword**

---

Adaptive Manufacturing Processes, Production Integration, Collaborating Robots, Press Hardening, Friction Stir Welding

---

## **Monitoring of the production process**

---

Industry 4.0 und Big Data are the driving force for innovations in the field of test and measurement technology. Big Data in particular will play a key role in the smart factories of the future. This means relocating the testing functionality from the lab to the actual production system. Fraunhofer IZFP is actively developing application scenarios and solutions to support such in-line testing systems for manufacturing environments.

Here the emphasis is on new production processes, which contain an inherent risk of developing new quality issues. The current development activities focus on applications such as press hardening, friction stir welding and other processes for manufacturing composite materials and material composites made from CFRP, aluminum, titanium and magnesium.

Because they can be quickly adapted to the changing requirements of mass customization, adaptive manufacturing processes are being deployed more often. To monitor these complex production processes, quality monitoring must be carried out in process and in situ. Fraunhofer IZFP is developing new inspection solutions to support these applications. Moreover, these new tasks and new challenges also call for new skills and know-how. With this in mind, Fraunhofer IZFP is collaborating with the Grun-

dig Academy to design training courses covering new production processes such as press hardening and friction stir welding.

In the near future, "production-integrated inspection" will be used to generate a nearly real-time map of complete production processes by means of distributed, networked sensors. By combining test and measurement data with other production-related data, self-monitoring and self-optimizing production processes can then be implemented using machine learning techniques. Production-integrated inspection is thus closely linked to the issue of Big Data. Even today, Fraunhofer IZFP is developing intelligent monitoring and control systems based on data fusion for applications such as laser beam welding.

One consequence of Industry 4.0 is that quality assurance applications will continue to be more automated and connected. Innovative robots and autonomous systems can significantly expand the range of potential applications for production-integrated inspection. With this in mind, Fraunhofer IZFP relies on collaborating robots, because their utilization ensures reversibility during the transition from manual to automated inspection services while making it possible to minimize the development risks.

---

## **Contact**

---

Dr.-Ing. Bernd Wolter  
+49 681 9302 3883  
[bernd.wolter@izfp.fraunhofer.de](mailto:bernd.wolter@izfp.fraunhofer.de)



# ULTRASCHALLUNTERSTÜTZTES RÜHRREIBSCHWEISSEN (USE-FSW) – ERWEITERUNG DER EINSATZGRENZEN EINES INNOVATIVEN FÜGEVERFAHRENS

## Stichworte

Rührreibschweißen, Ultraschallunterstützung, Mischverbunde, Prozessüberwachung, Leichtbau

Friction Stir Welding, Ultrasonic Enhancement, Dissimilar Joints, Process Monitoring, Lightweight Construction

## Ausgangssituation

Innovativen Leichtbaukonzepten kommt in der industriellen Fertigung eine stetig wachsende Bedeutung zu. Besonders vorteilhaft hinsichtlich einer hohen Leichtbaugüte erweisen sich Verbindungen, welche die positiven Eigenschaften mehrerer Werkstoffe zugleich ausnutzen. Eine Herausforderung besteht dabei in der Wahl geeigneter Fügeverfahren, welche die Herstellung hochfester Mischverbunde ermöglichen. Durch konventionelle Schmelzschweißverfahren lassen sich solche Verbunde meist nicht mit ausreichender Festigkeit herstellen, da aufgrund auftretender Schmelzphasen die ausgeprägte Entstehung intermetallischer Sprödphasen in der Schweißzone unvermeidbar ist. Aus diesem Grund sind zur Herstellung stoffschlüssiger Verbunde besonders Pressschweißverfahren von technischem Interesse. Diese zeichnen sich durch eine Verbindungsbildung im verformungsfähigen Zustand der beteiligten Werkstoffe bei weitgehender Vermeidung von schmelzflüssigen Anteilen aus. Ein Verfahren, das stoffschlüssiges Fügen zwischen Leichtmetallen, aber auch zwischen Leichtmetallen und Stählen durch plastische Deformation ermöglicht, ist das Rührreibschweißen (*Friction Stir Welding / FSW*).

## Aufgabenstellung und Durchführung

Untersuchungen des *FSW*-Prozesses sowie entsprechender Verbindungen haben gezeigt, dass trotz Fügetemperaturen deutlich

unterhalb der Schmelztemperaturen der beteiligten Werkstoffe, die Entstehung festigkeitsmindernder intermetallischer Phasen nicht vollständig ausgeschlossen werden kann. Daher wurde im Rahmen des beschriebenen Projektes der vom Fraunhofer IZFP gemeinsam mit der TU Kaiserslautern zum Patent angemeldete Ansatz des ultraschallunterstützten Rührreibschweißens (*Ultrasonic Enhanced Friction Stir Welding / USE-FSW*) weiterentwickelt.

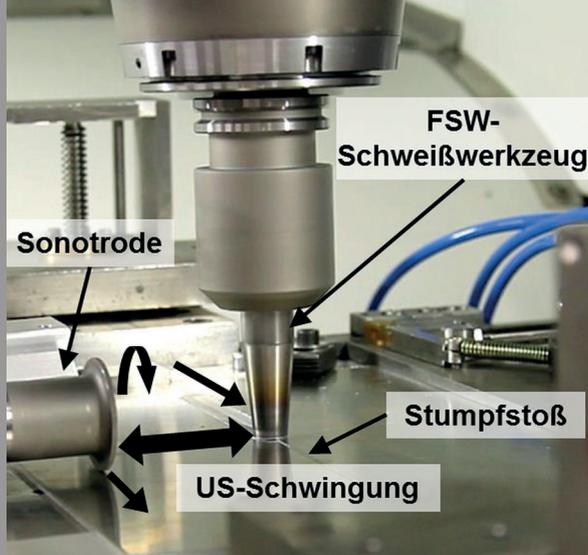
Der synchron zum *FSW*-Prozess in die Fügeteile eingeleitete Ultraschall dient dabei der Beeinflussung der Durchmischung sowie der sich ausbildenden Mikrostruktur, speziell der zu erwartenden intermetallischen Phasen im Bereich der Fügezone und somit der quasistatischen, zyklischen und korrosiven Eigenschaften der Verbunde. Aufgabe des Fraunhofer IZFP in dem noch laufenden Projekt ist zum einen die klassische *Post-Process* Verbindungsprüfung hinsichtlich Nahtunregelmäßigkeiten, aber auch die Steigerung der Effizienz des Prozesses, u. a. durch detaillierte *Pre-Process* Untersuchungen und Parameteroptimierungen der Ultraschalleinleitung.

Im weiteren Projektverlauf soll vom Fraunhofer IZFP eine geeignete Methode zur Prozessüberwachung (*In-Process*) realisiert werden. Eine denkbare Alternative besteht in der Nutzung des ohnehin eingeleiteten Ultraschalls zur Detektion möglicher Inhomogenitäten bereits im laufenden Prozess. Zudem erfolgen weitere mikrostrukturelle, mechanische und korrosive Untersuchungen durch die Konsortialpartner.

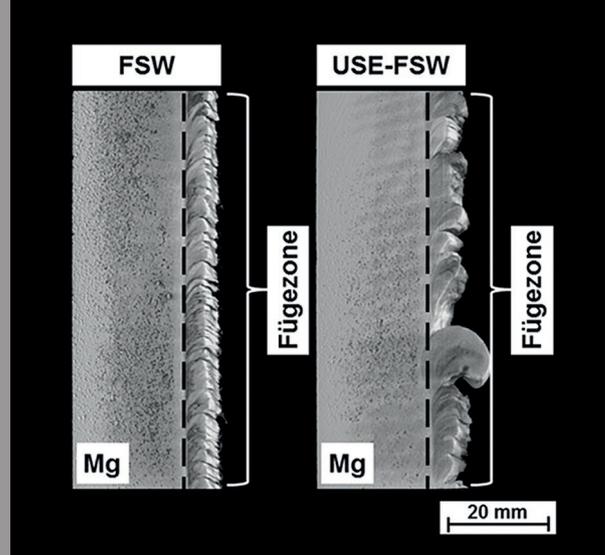
## Ergebnisse und Vorteile

Zur Ermittlung adäquater Parameter des Fügeprozesses wurden *FSW*- und *USE-FSW*-Verbunde im *Post-Process* mittels diverser ZfP-Methoden (u. a. Röntgen, elektromagnetisch angeregter Ultraschall (EMUS)) untersucht. Körperschallmessungen im Bereich der Stoßfuge erlaubten die Identifikation optimaler Parameter der Ultraschalleinleitung im Hinblick auf eine maximale Wirkung. Eine gesteigerte Durchmischung sowie die disperse Verteilung von intermetallischen Phasen





Ultraschallunterstütztes Rührreibschweißen (USE-FSW)



Computerlaminographie azn Al/Mg-Verbunden (Al ausgeblendet)

und Oxidbändern im Fügebereich konnten nachgewiesen werden. Beide Aspekte wirken sich positiv auf die erreichbaren mechanischen Eigenschaften aus. So konnte die quasistatische Zugfestigkeit von Al/Mg-Verbunden um 25 Prozent und die zyklische Lebensdauer um den Faktor 3,5 gesteigert werden. Zudem besteht grundsätzlich das Potenzial, wie vom Bohren oder Fräsen bekannt, die Prozesskräfte durch den Effekt des *Acoustic Softening* im USE-FSW-Prozess zu reduzieren, wodurch der Werkzeugverschleiß minimiert und die Prozesszeiten beschleunigt werden können.

### Projektträger

Das Vorhaben basiert auf dem gemeinsamen Patent von Fraunhofer IZFP und TU Kaiserslautern zum Verfahren »Ultraschallunterstütztes Rührreibschweißen« und wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Schwerpunktprogrammes SPP1640 »Fügen durch plastische Deformation« seit dem Jahr 2013 gefördert.

Das Konsortium besteht aus dem Fraunhofer IZFP, der Professur für Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde der TU Chemnitz und dem Dechema Forschungsinstitut (Frankfurt/Main).

### Summary

In lightweight construction, structures exploiting positive properties of multiple materials are notably favorable. The presented project investigates the influence of ultrasound on the formation of intermetallic and strength-reducing phases in case of the ultrasonic enhanced friction stir welding (USE-FSW). To optimize the parameters of the joining process, FSW and USE-FSW joints were analyzed in the post-process by means of various NDT methods. Pre-process measurements of the acoustic emissions in the area of the butt joint facilitated the identification of optimal parameters for ultrasound insonification. An increased mixing as well as the disperse distribution of intermetallic phases and oxide bands in the joining area have been proven. Both aspects bear positively on the mechanical properties. Thus, the tensile strength of Al/Mg joints was increased by 25 percent and the cyclic lifetime by a factor of 3.5. Moreover, USE-FSW disposes of the potential to reduce the process forces by the effect of "acoustic softening", thus minimizing tool wear and process times. Over the further course of the project, Fraunhofer IZFP will realize a suitable in-process monitoring method. To this, a possible way to detect inhomogeneities during the ongoing process involves the use of the ultrasound already insonified. More microstructural, mechanical and corrosive investigations will be carried out by the project partners.

### Ansprechpartner

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

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



# DETEKTION VON RISSEN IN DER WARMBLECHUMFORMUNG

## Stichworte

Presshärten, Risse, Einschnürungen, Härte, Hot Spots

Press Hardening, Cracks, Constriction, Hardness, Hot Spots

## Ausgangssituation

Presshärten ist eine der Schlüsseltechnologien, um aktuelle und zukünftige Auflagen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion (Minimierung des Fahrzeuggewichts) und das wachsende Bedürfnis nach individueller Sicherheit zu erfüllen. Der Markt für das Presshärten ist in den letzten zehn Jahren geradezu explosionsartig gewachsen, wobei das Verfahren stetig weiterentwickelt wird, um sein Potenzial voll auszuschöpfen. Intensive Forschung hat Innovationen wie das partielle Presshärten, die Laser-Erweichung und die Verwendung von Zi-Ni-Beschichtungen hervorgebracht. Als Folge wird das Presshärten immer komplexer und schwieriger »beherrschbar«. Unvermeidbare Prozessabweichungen, Chargenschwankungen im Ausgangsmaterial, Temperaturvariationen im Ofen oder Anhaftungen an der Oberfläche des Presswerkzeugs können diesen Prozess empfindlich stören, was zu sporadischen Fehlern und Eigenschaftsverschlechterungen führt. Dementsprechend besteht ein großer Bedarf an automatisierten prozessnahen bzw. prozessintegrierten Prüflösungen für die Herstellung pressgehärteter Bauteile. Die eingesetzten Prüfverfahren müssen stetig weiterentwickelt bzw. adaptiert werden, um eine Prüflösung für jede der vielen Verfahrensvarianten des Presshärtens anbieten zu können.

## Aufgabenstellung und Durchführung

Die Entwicklung eines Prüfverfahrens für den automatisierten Nachweis von Reißern und Einschnürungen war das Primärziel des hier dargestellten Forschungsprojekts. Hierfür kamen grundsätzlich

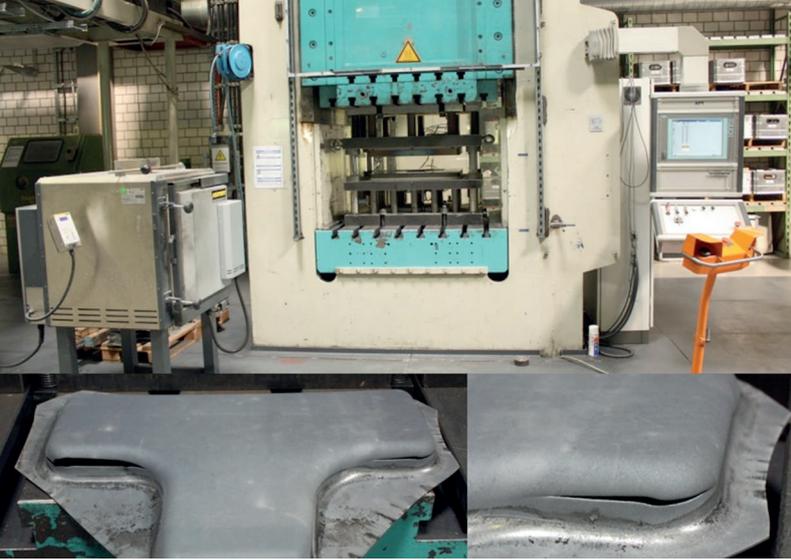
die EMUS-Prüftechnik und die aktive Thermographie in Frage. Im passiven Modus kann die Thermographie eingesetzt werden, um unerwünschte *hot spots* im Bauteil zu identifizieren oder auch gezielt eingestellte inhomogene Temperaturverteilungen (*tailored tempering*) zu untersuchen. Unzulässige Variationen der Härte oder der Eigenspannungen im Bauteil können mit 3MA-Prüftechnik nachgewiesen werden. Abschließend wurden Prozessschritte und -parameter des Presshärtens identifiziert und analysiert, die einen Einfluss auf die mögliche Entstehung und Entwicklung von Unregelmäßigkeiten im Bauteil haben können. Die Arbeiten wurden im Rahmen eines EFB-Projekts gemeinsam mit dem Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) und der Leibniz Universität Hannover durchgeführt.

## Ergebnisse

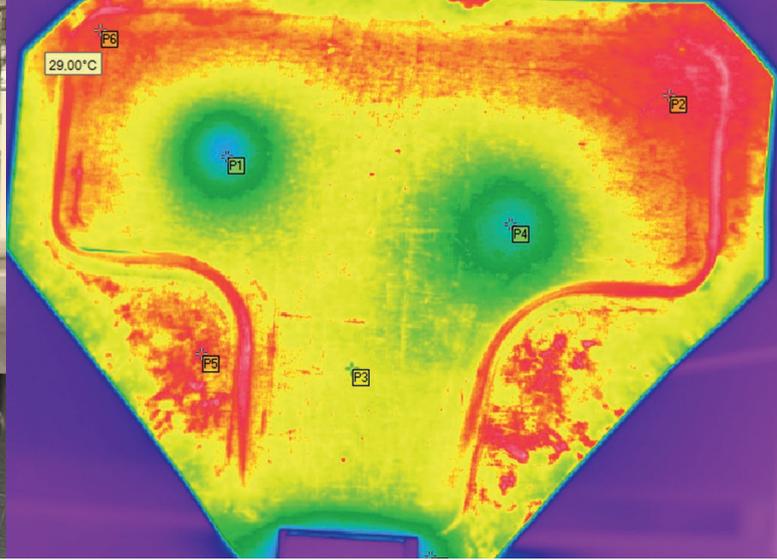
Während des Presshärtevorgangs sind die Bauteile bis 950 °C, unmittelbar danach noch über 150 °C heiß. Deswegen wurde der für die aktive Thermographie erforderliche Wärmestrom mit einer aktiven Abkühlung statt mit der sonst üblichen aktiven Erwärmung erzeugt. Mittels einer integrierten Luftdüse wurde das noch warme Bauteil gezielt abgekühlt. Es zeigte sich, dass die Luftdüsengeometrie einen erheblichen Einfluss auf die Empfindlichkeit bei der Rissbestimmung hat. Mit Hilfe der gefilterten Auswertung der Thermographiemessungen konnten auch kleinste Haarrisse noch gut erkennbar detektiert werden. Einschnürungen waren mit der eingesetzten Thermographie allerdings nicht eindeutig nachzuweisen.

Im Rahmen der Arbeiten wurde ein neuer EMUS-(elektromagnetisch angeregter Ultraschall)-Prüfkopf entwickelt, der auch noch bei Temperaturen um 150 °C einsetzbar ist. Mit EMUS konnten alle Risse und Einschnürungen in den Praxisbauteilen detektiert werden. Um alle Defekte im gesamten Bauteil zu erfassen, musste der Prüfkopf allerdings entlang der Bauteilkante geführt werden. EMUS eignet sich daher insbesondere für die lokale Prüfung von kritischen





Versuchspresse mit Presshärtewerkzeug und Versuchsteil mit Reißern



Beispiel für die Temperaturverteilung auf einem pressgehärteten Bauteil

Versagensbereichen, falls diese bekannt sind, also z. B. zuvor durch Umformsimulation ermittelt wurden. Um Temperaturverteilungen im Bauteil zu charakterisieren, wurde eine Dualband-Infrarotkamera eingesetzt. Durch Kombination von Thermographiebildern aus zwei Frequenzbereichen können Einflüsse von Temperatur und Emissivität getrennt voneinander betrachtet werden. Damit gelang es, *hot spots* prozesssicher nachzuweisen. Der für diese *spots* charakteristische Härteabfall wurde durch scannende 3MA-Messungen am erkalteten Bauteil nachgewiesen.

#### Ihr Vorteil

Auf Basis der Projektergebnisse können Ausschussteile prozesssicher detektiert und ausgeschleust und dadurch erhebliche Fehlerfolgekosten vermieden werden. Mittels hochtemperaturgeeigneter Prüfverfahren kann die Messung direkt nach dem Presshärten oder gegebenenfalls sogar schon während des Prozesses durchgeführt werden, um Irregularitäten und Drifts im Prozessablauf frühzeitig zu erkennen und durch Gegenmaßnahmen zu korrigieren.

#### Projektträger

Forschungsvereinigung Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung (EFB) e.V.

#### Summary

Press hardening enables the manufacturing of complex shaped components of the automobile body with high shape accuracy and highest strengths. However, the process is a highly complex and sophisticated manufacturing process to be carried out within narrow process boundaries in order to produce high quality products. Unavoidable process deviations can adversely affect the process, thus leading to sporadic defects and deterioration of the component properties. If defective parts go undetected without being rejected, the costs to track and rectify faulty components can be significant. One useful approach is to examine the quality of the component directly after press hardening (post-process) or if necessary, during the process itself (in-situ) in order to detect and rectify irregularities and drifts in the process sequence as early as possible. To address this issue, new testing approaches based on EMAT and thermography were developed, which enable the fast and reliable detection of deformed components with defects such as cracks and constrictions. In addition, 3MA and thermography were used to identify local changes in the component characteristics, such as hardness and residual stress. The combined use of these testing techniques offers an innovative concept for minimizing waste, significantly increasing process reliability and last but not least, for improving the efficiency of the press hardening process.

#### Ansprechpartner

Dipl.-Ing. Thorsten Müller  
+49 681 9302 3616  
thorsten.mueller@izfp.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Christian Conrad  
+49 681 9302 5302  
christian.conrad@izfp.fraunhofer.de





*Kollaborierende Roboter und kognitive Sensoren für gefertigte Qualität*

Produkt



**PRODUKT**

Prüfung der Qualität von  
Bauteilen oder Produkten



---

## Stichworte

---

Qualitätssicherung, 3D-Datenerfassung, 3D-Auswertung, Mustererkennung, Künstliche Intelligenz, Mensch-Maschine-Assistenz

---

## Prüfung der Qualität von Bauteilen oder Produkten

---

Zerstörungsfreie Mess- und Prüfsysteme werden zur Qualitätssicherung und zur Kontrolle von Produkten eingesetzt. Sie haben sich für Produkte oder für Zwischenerzeugnisse in der biologischen, medizinischen oder industriellen Technik etabliert. Sie finden Einsatz vor allem in den Branchen Bahn, Automotive oder Luftfahrt und in der produzierenden Industrie, aber auch zunehmend für Erzeugnisse in der Agrarwirtschaft, beim Bio-Engineering und in der Sport- und Freizeitindustrie.

Mit den Fortschritten in der Sensortechnik sowie Mikroelektronik, in der automatisierten Datenerfassung sowie in der schnellen Signal- und Bildverarbeitung / Rekonstruktion oder in der Aus- und Bewertung (Analyse) von komplexen, häufig multimodalen (multi-sensoriellen) zerstörungsfreien Prüfdaten lassen sich bisher nicht prüfbare komplexe Produkte beschreiben, deren Qualität optimieren und die technische Sicherheit erhöhen. Die höhere prüftechnische Komplexität erwächst mit Blick auf die Formgebung (3D-Freiformflächen), aber auch durch die Aufgabe, prüfphysikalisch schwierige, neue Werkstoffklassen und Materialkombinationen zu untersuchen.

Im Zeichen der Digitalisierung ergeben sich neue Möglichkeiten, die relevanten Qualitätsmerkmale aus den Signalen automatisiert zu extrahieren, zu klassifizieren, als Metadaten auszuwerten und

geeignet zu speichern bzw. auf digitalem Weg zu übermitteln. Auch in der 3D-Rekonstruktion und 3D-Visualisierung sowie in der Datenanalyse und Signalkompression großer Datenmengen sind neue Algorithmen durch Transfer von Methoden aus der Nachrichten- und Kommunikationstechnik entwickelt worden. Mit fortschrittlichen Methoden der Mustererkennung und der künstlichen Intelligenz lassen sich neuartige Möglichkeiten der 3D-Datenerfassung und -analyse generieren (maschinelles Lernen, kognitive Maschinen).

Prüfsysteme sind heute interagierende Maschinen mit der Fähigkeit zur Einbettung in digitale Industrieumgebungen (Robotik, Automatisierungstechnik, Datennetze und Cloud-Dienste). Auch in der intelligenten manuellen Inspektion sind erste Prototypen mit innovativer Assistenzfunktion realisiert. Dabei wird das prüftechnische Know-how mit Werkzeugen der erweiterten Realität (*Augmented Reality*), des Sensor-Trackings und unter Verwendung von HM-Interfaces (»Mensch-Maschine-Schnittstellen«) verschmolzen. Die am Fraunhofer IZFP neu entwickelten, validierten Technologie-Plattformen zeigen mit diesen Innovationen den Weg in die digitale Welt von morgen und für eine moderne industrielle Qualitätssicherung auf.

---

## Ansprechpartner

---

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

Dipl.-Ing. Werner Bähr  
+49 681 9302 3893  
werner.baehr@izfp.fraunhofer.de





*Prof. Dr.-Ing. Bernd Valeske, Leiter der Abteilung Komponenten- und Bauteilprüfung*

---

### **Keywords**

---

Quality Assurance, 3D Data Recording, 3D Evaluation, Pattern Recognition, Artificial Intelligence, Human-Machine Assistance

---

### **Product or component quality testing**

---

Nondestructive measurement and inspection systems, which are utilized for quality assurance and product control, are commonly used to analyze products or semifinished products in biological, medical and manufacturing engineering. They are also used in rail, automotive, aerospace and manufacturing applications, as well as for inspecting products in the agriculture, bioengineering, sporting goods and leisure industries.

To date, the complexity of some products has prevented manufacturers from being able to carry out adequate inspection measures. But with advances in sensor technology, microelectronics, automated data recording, rapid signal and image processing / reconstruction and the analysis of complex nondestructive inspection data (often multi-modal based on multiple sensors with different physical measurement principles), manufacturers can now describe these complex components, optimize the quality and improve the engineering reliability. The emergence of new material categories and combinations of materials that are physically difficult to inspect, with a view towards 3D free-form surfaces for instance, is leading to a higher degree of test complexity.

Digitalization is providing new opportunities to automatically extract and classify the relevant characteristics from the measure-

ment signals, then analyze and save the results as metadata and transmit it electronically.

Likewise, new algorithms for three-dimensional reconstruction and visualization, data analysis and signal compression of large data volumes have been developed by porting over methods used in the field of telecommunications. By relying on advanced pattern recognition and artificial intelligence methods, innovative approaches to three-dimensional data recording and data analysis can be developed (machine learning, cognitive machines).

Today's inspection systems are interactive machines that can be embedded into digital industrial environments (robotics, automation technology, data networks, cloud services). In the area of intelligent manual inspection methods, researchers have also developed initial prototypes that feature innovative assistance functions. In this case, the measurement technology is merged with "augmented reality" and "sensor tracking" tools through the use of human-machine interfaces. These new technology platforms developed and validated by Fraunhofer IZFP show the road toward the digital world of tomorrow and state-of-the-art industrial quality assurance.

---

### **Contact**

---

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

Dipl.-Ing. Werner Bähr  
+49 681 9302 3893  
werner.baehr@izfp.fraunhofer.de



# STANDARDISIERUNG DER INDUKTIONS- THERMOGRAPHIE FÜR DIE INNOVATIVE OBERFLÄCHENRISSPRÜFUNG

## Stichworte

Normung, Induktionsthermographie, Oberflächenrisssprüfung, Thermographie

Standardization, Induction Thermography, Surface Crack Testing, Thermography

## Ausgangssituation

Trotz des vorhandenen Bedarfs an innovativen Prüfverfahren in der produzierenden Industrie wird eine weite industrielle Verbreitung durch fehlende Richtlinien und Normung gehemmt. Der Anwender kann gegenüber dem Kunden den Nachweis der Prüfmittel-tauglichkeit des jeweiligen Verfahrens für die spezifische Fragestellung aufgrund der damit verbundenen hohen Kosten, fehlender Ausstattung und / oder fachübergreifender Methodenkompetenz oftmals nicht erbringen. Die aufwändige Einzelqualifizierung über ein Gutachten z. B. durch TÜV, GSI SLV, SGS oder die Validierung durch ein akkreditiertes Prüflabor ist mit enormen Kosten verbunden. Insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen geraten als Zulieferer beim Einsatz nicht genormter Prüfmetho-den in Argumentationsschwierigkeiten oder setzen sich einem hohen finanziellen Risiko aus.

Die Magnetpulverprüfung ist das genormte Standardverfahren für die Oberflächenfehlerprüfung an magnetischen Werkstoffen. Sie arbeitet jedoch mit Chemikalien, erfordert Reinigungsvorgänge und lässt sich nur schwer automatisieren. Die induktiv angeregte Thermographie ist ein berührungsfrei arbeitendes und automatisierbares zerstörungsfreies Prüfverfahren, das sich bei der Prüfung auf Oberflächenfehler als Alternative zur Magnetpulverprüfung anbietet.

## Aufgabenstellung und Durchführung

Im Rahmen des Projekts »InduNorm« aus der BMWi-Fördermaßnahme »Technologie und Innovationstransfer« sollten Grundlagen für eine Normung der Induktionsthermographie geschaffen werden. Dazu wurde eine Arbeitsgruppe bestehend aus Forschungseinrichtungen und Industrievertretern gebildet, in der ein erster Normvorschlag entstand.

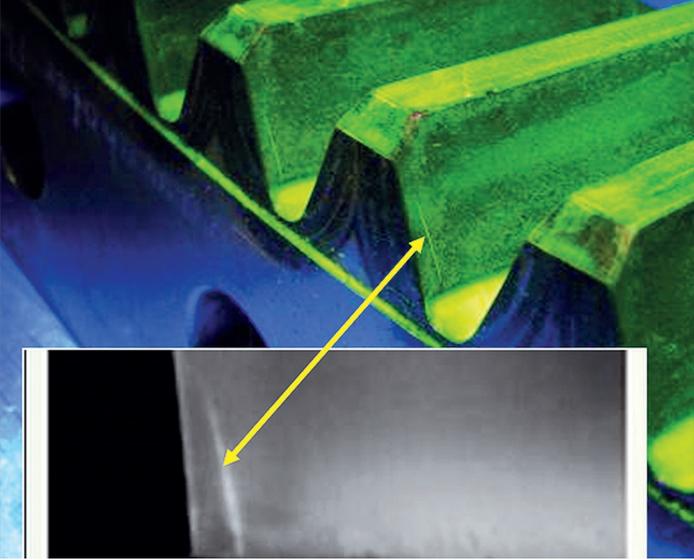
Neben der Erstellung eines Normvorschlags wurden auch einige fachliche Fragestellungen behandelt, die die Normung unterstützen sollen und in den Vorschlag eingingen. Von Interesse war z. B. die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Induktionsthermographie, die auf unterschiedlichen Prüfanlagen erhalten wurden. Erstmals wurde die Abhängigkeit des thermischen Kontrasts von der Induktionsfrequenz an einem ferritischen Stahl untersucht. Dabei ergab sich ein Anstieg des Signals mit der Frequenz, der stärker war als von eindimensionalen Modellen vorhergesagt wird. Die Abhängigkeit des Signals vom Spulenstrom lag im erwarteten Bereich.

Weiterhin wurde das beim Rissnachweis mit zwei verschiedenen Prüfsystemen erhaltene Signal-Rausch-Verhältnis verglichen. Andere Untersuchungen behandelten die gegenüber Metallen schlecht elektrisch leitenden Materialien CFK, Graphit und SiC. Es wurde schließlich ein Vorschlag für Bezugskörper zur Überprüfung und Justierung des Gerätesystems formuliert.

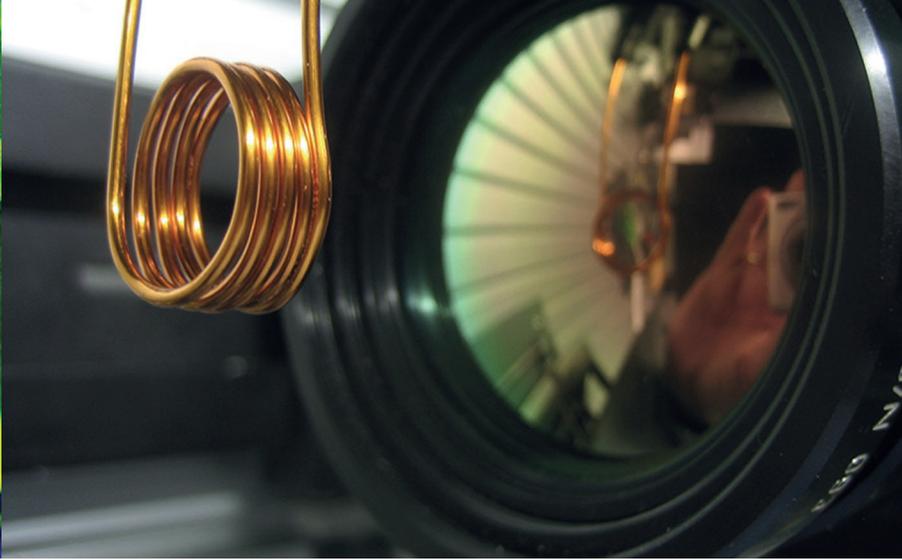
## Ergebnisse

Die rege Beteiligung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe führte dazu, dass nach einer ersten Überarbeitung nun bereits ein relativ ausgereifter Normentwurf vorliegt, der beim DIN als Grundlage für ein formelles Normungsprojekt dient, welches am 1. Juni 2016 eröffnet wurde.





Prüfung auf Oberflächenrisse an Zahnrädern



Thermographietest an Kupferspule

### Ihr Vorteil

Unternehmen können sich zukünftig auf die Verwendung eines genormten Prüfverfahrens berufen, das durch seine Automatisierbarkeit hohes Potenzial für Einsparungen und bessere Prüfzuverlässigkeit besitzt.

### Projektträger

Das Projekt »InduNorm« (2014 bis 2016) wurde über den Projektträger DLR Bonn vom BMWi gefördert (FKZ 01FS14024).

### Summary

Induction thermography is a promising inspection method in great demand by industry for the detection of surface defects in conductive materials. The aim is to use a more objective and automated process in place of established magnetic powder methods. To date, a lack of standards has prevented this method from being implemented however.

A project funded by the German government was launched with the aim of carrying out the remaining steps needed to make induction thermography a standard. This involved the creation of a working group of representatives from research and industry, which discussed various aspects such as inductors, generators, detectable defects and analysis technologies. Also included was research into the frequency dependency of inductively-excited thermography, test system comparability, as well as experiments on materials such as CFK, graphite and SiC that to date have undergone less analysis. The group also formulated recommendations for reference bodies that can be used to analyze equipment systems.

An initial proposal for standardization emerged from the group's research activities, which formed the basis for an on-going formal DIN standardization project.

### Ansprechpartner

Dr. rer. nat. Udo Netzelmann  
+49 681 9302 3873  
udo.netzelmann@izfp.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Steffen Bessert  
+49 681 9302 3650  
steffen.bessert@izfp.fraunhofer.de



# MASCHINELLES LERNEN

## FORTSCHRITTLICHE MUSTERERKENNUNG ZUR AUTOMATISIER- TEN DATENVERARBEITUNG UND ERGEBNISANALYSE

### Stichworte

Big Data, Bildverarbeitung, Mustererkennung, Klassifikation, Maschinelles Lernen

Big Data, Image Processing, Pattern Recognition, Classification, Machine Learning

### Ausgangssituation

Bei der zerstörungsfreien Prüfung von Bauteilen und Komponenten entstehen sehr große Datenmengen unterschiedlicher Modalität, die durch automatische Verarbeitung für den Anwender oft auf eine simple i.O. / n.i.O.- Aussage reduziert werden sollen. Je nach Stufe im Produktlebenszyklus muss eine solche Entscheidung mitunter für viele Komponenten in schneller Abfolge getroffen werden, um fehlerhafte Objekte frühestmöglich aus dem Produktionsprozess zu entfernen oder eventuell anfallende Korrekturschritte im entscheidenden Moment anstoßen zu können. Für den Menschen als Anwender sind solche Entscheidungen im modernen Fertigungsprozess oft nicht mehr treffbar.

Wo früher einzelne Exemplare eines Produkts zur Qualitätskontrolle zeit- und kostenintensiv durch einen geschulten Prüfer nachträglich auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft wurden, muss die vollständig digitalisierte Fabrik in allen Fertigungsstufen die Qualität autonom überwachen, steuern und sicherstellen. Dies stellt hohe Anforderungen an die Überwachungs- und Analysesoftware und macht moderne Methoden der Mustererkennung oder des maschinellen Lernens unumgänglich.

### Aufgabenstellung und Durchführung

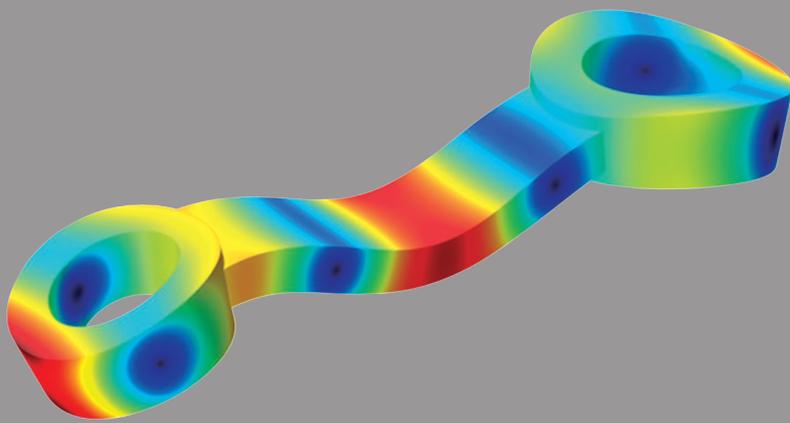
Hinsichtlich automatischer Datenverarbeitung in der ZfP werden neben Thermographie-, Ultraschall-, Wirbelstrom-, Röntgen- und CT-Daten auch akustische und optische Daten betrachtet. Darüber hinaus können zwei oder mehrere Verfahren bei komplexeren Anwendungsfällen auch miteinander kombiniert werden. Anhand der akustischen Resonanzanalyse wird im Folgenden die Klassifikation mittels maschinellen Lernens dargestellt.

Das Ziel besteht darin, aus den ersten  $N$  Eigenfrequenzen von Pleuelstangen (linke Abbildung) automatisch auf bestimmte Geometrieparameter zurückzuschließen. Mit Hilfe des maschinellen Lernens soll ein Klassifikator entwickelt werden, der ein vorhandenes Testobjekt in die Klassen

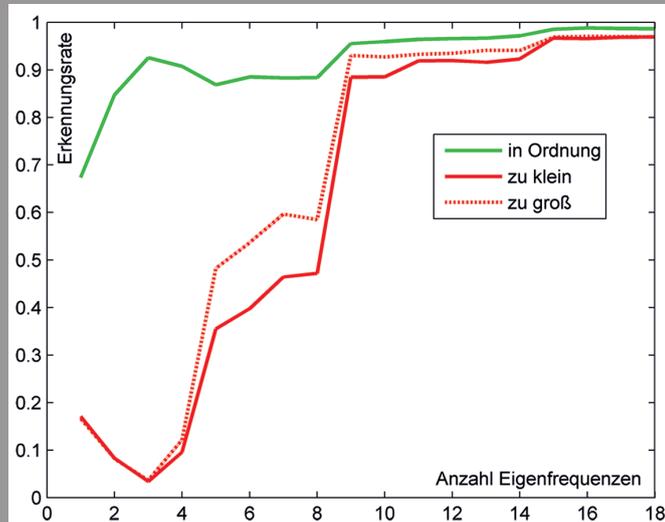
- Stegbreite zu klein
- Stegbreite im Normbereich
- Stegbreite zu groß

einordnet. Die Berechnung des Klassifikators findet mit Hilfe eines Trainingsdatensatzes statt, der aus einer großen Anzahl von Proben bekannter Klassenzugehörigkeit besteht. Dazu wurden mehrere tausend Datensätze mit einer Finite-Elemente-Simulation erzeugt. Entscheidend für die Größe des benötigten Trainingsdatensatzes ist die Anzahl der verwendeten Eigenfrequenzen. Ist diese zu niedrig, können keine sicheren Rückschlüsse auf die Stegbreite gezogen werden. Ist sie zu hoch, bleibt eine Klassifizierung zwar möglich, allerdings müssen dann wesentlich mehr Datensätze zum Training verwendet werden. Nach Abschluss des Trainings ist der Klassifikator in der Lage, in kürzester Zeit die Zuordnung der gewünschten Klassen vorzunehmen. Die Komplexität des Klassifikationsschritts ist dabei in der Regel um mehrere Größenordnungen kleiner als der Aufwand für das vorangegangene Training und daher perfekt geeignet für den Einsatz bei hoher Stückzahl.





Eigenschwingung einer Pleuelstange



Erkennungsrate des Klassifikators für die Klassen: Pleuelstange zu klein, zu groß oder im Normbereich

## Ergebnisse

Zur Evaluation des berechneten Klassifikators wird er auf eine größere Probenanzahl angewendet und bestimmt, wie hoch die Erkennungsraten für die einzelnen Klassen sind. Es zeigte sich, dass die 15 niedrigsten Eigenfrequenzen ausreichen, um eine zuverlässige Zuordnung herzustellen. Im vorliegenden Beispiel wurde für alle Klassen eine Erkennungsrate von über 95 Prozent erreicht.

## Ihr Vorteil

Der wesentliche Fortschritt durch Mustererkennung oder maschinelles Lernen besteht darin, dass für den Menschen komplexe und aufwändige Prüfaufgaben in kürzester Zeit automatisch gelöst werden können. Prüfergebnisse werden deterministisch und exakt wiederholbar und sind beispielweise nicht mehr davon abhängig, ob Prüfer A oder Prüfer B die Entscheidung getroffen hat. Erst durch die schnelle automatische und robuste Entscheidung wird es möglich, große Stückzahlen eines Prüfobjekts zu testen oder sogar eine Hundertprozent-Prüfung aller Teile zu erreichen. Zudem sind Verfahren des maschinellen Lernens in der Lage, auch in hochdimensionalen Messdaten Zusammenhänge zu erfassen, die dem menschlichen Auge verborgen blieben. Durch all diese Eigenschaften zusammen werden sie zu einem integralen Bestandteil der digitalisierten Fabrik.

## Auftraggeber

htw saar (Projekt MERKUR)  
RTE Akustik + Prüftechnik GmbH  
SHW Automotive GmbH

Das Projekt MERKUR wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen O3FH029PX4 gefördert.

## Summary

In the nondestructive testing of assemblies and components, very large data sets of different modality accrue, which for the user are often reduced to a simple okay / not okay statement generated through an automatic process. Particularly in the digital factory, such statements have to be made as early as possible, in fast succession and both, sturdily and reliably. Procedures of machine learning or pattern recognition fulfill these requirements, thus offering ways to qualify themselves for even complex test tasks by means of fitting training.

In this project, piston rod geometric patterns were analyzed using acoustic resonance. Using the lowest ( $N$ ) resonant frequency as a basis, the web width was estimated with a machine learning classification method in order to detect and categorize defects. With a recognition rate of more than 95 percent when using the 15 lowest resonant frequencies, all defect classes were allocated, thus ensuring a reliable distinction between defective and functional components.

## Ansprechpartner

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

# INNOVATIVES RADPRÜFSYSTEM RAWIS ZUR FERTIGUNGSINTEGRIERTEN PRÜFUNG VON EISENBAHNRÄDERN

## Stichworte

Eisenbahnradprüfsystem, Squirtertechnik, Gruppenstrahler, Stegkonturvermessung, vollautomatische Datenanalyse

Rail Wheel Inspection, Squirter, Phased Array, Web Contour Measurement, Full Automated Data Analysis

## Situation

Räder von Schienenfahrzeugen unterliegen hohen dynamischen Beanspruchungen. Sie müssen daher im Rahmen der Fertigung einer zerstörungsfreien Prüfung zum Nachweis von fertigungsbedingten Materialfehlern unterzogen werden. Nach Stand der Technik erfolgt die Prüfung mit automatisierten Prüfsystemen, die eine hohe Nachweisempfindlichkeit erreichen und die Prüfergebnisse vollständig dokumentieren können. Im Bereich der Fertigungsprüfung von Rädern wird mittels Ultraschall die Inspektion von Radkranz, Spurkranz und Radnabe in Übereinstimmung mit internationalen Prüfstandards innerhalb von 60 bis 90 Sekunden einschließlich Be- und Entladen durchgeführt. Die hohen Prüfgeschwindigkeiten sind erforderlich, da große Radhersteller ca. 300 000 bis 500 000 Räder pro Jahr produzieren.

Eine weitere prüftechnische Herausforderung stellen die für den Einsatz in Hochgeschwindigkeitszügen geforderte Prüfempfindlichkeit im Radkranz entsprechend Vergleichsreflektoren von 1 mm Durchmesser sowie die Totzone unterhalb der Prüfoberflächen von 5 mm dar.

Das gemeinsam mit der Firma Rosen Germany GmbH entwickelte Ultraschallprüfsystem RAWIS (*Rail Wheel Inspection System*) bietet Herstellern von Eisenbahnradern aufgrund der modularen Systemdesignplattform die Möglichkeit zur kundenspezifischen Anpassung

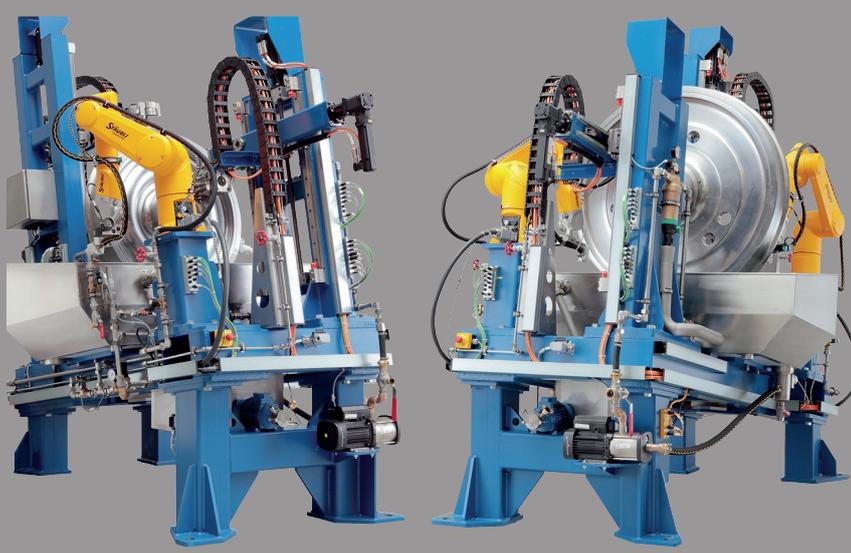
in den Bereichen Prüftechnik, Mechanik, Automatisierung und Datenanalyse. Dadurch werden Kunden über den individuellen Gestaltungsspielraum hinweg in die Lage versetzt, die immer höheren Anforderungen an die Ultraschallprüftechnik zu erfüllen.

## Aufgabenstellung und Durchführung

Zur Reduzierung des mechanischen Aufwands, der optimalen Abdeckung der vorgeschriebenen Prüfbereiche und der aufgrund des breiten Spektrums an unterschiedlichen Radgeometrien notwendigen flexiblen Parametrierung der Prüftechnik werden in RAWIS Gruppenstrahlerprüfköpfe für die Prüfung von Radkranz und Radnabe sowie mittels Robotern geführte Squirter-Prüfköpfe für die Scheibenprüfung verwendet. Die Prüfköpfe wurden mit Hilfe einer Modellierungssoftware (CIVA) ausgelegt und an realen Rädern getestet. Um die geforderten Prüfbereiche bei Radial- und Axialeinschallung des Radkranzes sowie die beidseitige Einschallung in die Radnabe für alle im Herstellerwerk vorkommenden Radtypen abdecken zu können, wurden speziell für dieses Prüfproblem ausgelegte Gruppenstrahlerprüfköpfe mit 64 und 128 Elementen (*Linear Arrays*) entwickelt. Insbesondere im Bereich der Nabe musste eine geeignete Parametrierung der Gruppenstrahlerprüfköpfe gefunden werden, um die geringe Totzone und den gleichzeitig großen Prüfbereich von bis zu 300 mm innerhalb eines Prüfzyklus abzudecken. Weiterhin war es notwendig, einen geeigneten Prüfkopfträger zu entwickeln, der trotz der großen aktiven Apertur der Prüfköpfe eine konstante Ankopplung durch einen Wasserspalt ermöglicht.

Im Rahmen der Neuqualifikation von Rädern ist die Prüfung der Radscheibe gefordert. In diesem Bereich besteht die Aufgabe darin, die teilweise komplexe Geometrie aufzuzeichnen und im Anschluss daran zu prüfen. Insbesondere geschwungene Radscheiben erschweren die Ermittlung der Konturdaten und die Ultraschallprüfung durch prüftechnisch anspruchsvolle Lösungswege. RAWIS wird dieser Herausforderung durch den Einsatz von Robotertechnik gerecht.





Setup RAWIS – Vorder- und Rückseite



RAWIS-Sensoren

Die automatische Berechnung der Roboterscanprogramme sowie die exakte Ausrichtung der Sensoren erfolgt dabei auf Grundlage von CAD-Zeichnungen der Radhersteller oder mittels lasergestütztem Abtasten der Stegkontur. Auf Grundlage dieser Daten muss für ein breites Konturspektrum insbesondere das vertikale Positionieren und die senkrechte Ausrichtung der Sensoren zur Stegoberfläche mit einer Toleranz in der Größenordnung von Zehntel-Millimetern gewährleistet werden.

Auf Seite der Datenauswertung kommen smarte Analysealgorithmen wie das Clustern defektbehafteter Bereiche, die automatische Erkennung von Geometrieanzeigen sowie die Berücksichtigung von Abstands- und Anzahlkriterien zum Einsatz. Diese Werkzeuge erlauben es dem Endkunden, eine vollautomatische Prüfung mit anschließender Bewertung der Prüfergebnisse im Sinne eines Diagnosevorschlags für das Prüfaufsichtspersonal durchzuführen, ohne dass ein Prüfer in den Prozess eingreifen muss. Die Dokumentation der Daten sowie die Erstellung eines Prüfprotokolls wird für jedes Rad durchgeführt. Somit ist eine lückenlose Nachverfolgung im Rahmen der Prozessüberwachung und Qualitätssicherung gewährleistet.

### Projektpartner

Rosen Germany GmbH

### Summary

Rail vehicle wheels are subject to high dynamic loads, which require nondestructive testing to detect production-related material defects.

RAWIS (Rail Wheel Inspection System) is an ultrasound inspection system co-developed by Fraunhofer IZFP and Rosen Germany GmbH. Due to its modular system design, RAWIS can be adapted to the customer's specific requirements as they relate to the inspection technology, mechanics, degree of automation and data analysis needs. Customers are thus able to comply with the steadily increasing requirements for ultrasound inspection technology beyond the limits of the individual creative leeway.

This paper describes some of the challenges that arose during the development process and outlines the corresponding measures that were adopted.

### Ansprechpartner

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

Andreas Knam (Rosen Germany GmbH)  
+49 7244 74124 7048  
aknam@rosen-group.com



*Werkzeuge und Prozesse für weltweit reibungslose  
Waren- und Ressourcen-Ströme*



*Stahlplatte mit Testfehlern*

Handel



## HANDEL

Erfassung von Verbrauchs-,  
Gebrauchs- oder Kultur-  
gütern sowie Sicherung  
des Warenverkehrs



## Stichworte

Handel, Logistik, Fälschung, Identifikation

## Erfassung von Gütern und Sicherung des Warenverkehrs

Aufgrund immer leistungsfähigerer Logistik- und Lagerhaltungssysteme wird der stationäre Einzelhandel auf vielen Gebieten durch *E-Commerce* mit kurzen Lieferzeiten, sofortiger Verfügbarkeitsauskunft und kundenfreundlichen Bedingungen ersetzt. Gleichzeitig bewegt sich der Großhandel weg von bewährten Vertriebskanälen hin zu einem dynamischen, digitalisierten internationalen Warenfluss.

Termintreue, verlässliche Warenqualität und Verfolgbarkeit des Warenstroms in Echtzeit werden heute als selbstverständlich angenommen – im Hintergrund wirkt eine hochgradig optimierte Logistik-, Transport- und Datenerfassungs-Infrastruktur.

Mit der immer weiter fortschreitenden Globalisierung gehen weitgehend elektronische Geschäfts- und Versandabwicklung über dynamisch wechselnde Bezugs- und Vertriebsquellen sowie häufig wechselnde Geschäftsbeziehungen einher. Damit beide Seiten des Handels unter diesen Randbedingungen Vertrauen in die zuverlässige Abwicklung haben können, müssen Warenbeschreibung, -qualität sowie Termin- und Mengenzusagen verlässlich sein.

Die schnelle und sichere Identifikation der Güter ist dafür ebenso wichtig wie ihre verzögerungsarme Verfolgbarkeit auf dem Weg vom Anbieter zum Käufer.

## Entwicklungsbedarf

Vor dem Hintergrund automatisierter Handelsabläufe mit quasi anonymen Zwischenstationen sind sichere, jederzeit abrufbare Informationen über Herkunft, Identität, Integrität und Aufenthaltsort der Waren äußerst wichtig. Der Bedarf beginnt bei robusten, fehlertoleranten maschinell lesbaren Labels wie *Data Matrix Codes* und *RFID-Tags* und setzt sich fort in fälschungs- und manipulationserschwerenden Merkmalen für Produkte und deren Verpackungen. Besondere Bedeutung erlangen solche Merkmale bei Waren, von denen im Falle von Fehllieferung, Beschädigung oder Fälschung eine Gefahr für Leib und Leben ausgeht.

Das Fraunhofer IZFP befasst sich daher im Kontext des Handels mit der Entwicklung von Kennzeichnungs- und Auslesetechniken, die beschädigungstolerant, schnell maschinenlesbar und fälschungserschwerend sind. Neben sensorseitigen Herausforderungen (Geschwindigkeit, Robustheit, Berührungslosigkeit) spielen maschinelle Bildverarbeitung und Mustererkennung eine entscheidende Rolle.

## Ansprechpartner

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





*Dr.-Ing. Klaus Szielasko, Leiter der Abteilung Materialcharakterisierung*

---

## Keywords

---

Trade, Logistics, Counterfeit Goods, Identification

---

## Tracking and securing the movement of goods

---

As logistics and warehousing systems become more efficient, sales from brick-and-mortar retail outlets are being supplanted by e-commerce, which offers short delivery times, around-the-clock availability of information and customer-friendly conditions. Simultaneously, the wholesale sector is shifting away from established distribution channels to a dynamic, international and digitalized flow of goods.

On-time delivery, reliable goods quality and real-time merchandise flow tracking have meanwhile come to be expected. Working in the background is a highly-optimized logistics, transport and data entry infrastructure.

As globalization continues to advance, the logistics industry is becoming involved in largely electronic order and delivery processing through dynamically-changing supply and sales sources, as well as fluctuating business relationships. In this environment, both parties to the business transaction must trust and rely on the clearing system, merchandise description / quality and the deadline and quantity commitment.

That makes fast and reliable goods identification just as important as delay-free traceability from the supplier to the customer.

---

## Development demand

---

Against the backdrop of automated trade flows featuring quasi-anonymous intermediate stations, reliable and permanently accessible information about the origin, identity, integrity and current location of the goods is crucial. This begins with durable, error-free and machine-readable labels such as data matrix codes and RFID tags and continues on to tamper-proof and fraud resistant products and packaging. These features are particularly important in situations where a risk to life or injury stems from damaged or counterfeit goods or incorrect delivery.

In the field of commerce, Fraunhofer IZFP is therefore working on the development of labeling and scanning technologies that are damage tolerant, counterfeit resistant and fast and easy to scan. In addition to sensor-related challenges such as speed, reliability and noncontact scanning, automated image processing and pattern recognition also play a decisive role.

---

## Contact

---

Dr.-Ing. Klaus Szielasko  
+49 681 9302 3888  
[klaus.szielasko@izfp.fraunhofer.de](mailto:klaus.szielasko@izfp.fraunhofer.de)



# ZERSTÖRUNGSFREIES AUSLESEN VON UNSICHTBAREN NANOSIGNATUREN

## Stichworte

GMR, Nanosignatur, Ferrimagnetismus, Superparamagnetismus, Fälschungssicherheit

GMR, Nanosignature, Ferrimagnetism, Superparamagnetism, Counterfeit Protection

## Ausgangssituation

Im Sinne der Bestrebungen hin zur Industrie 4.0 wird es immer wichtiger, jedem Objekt eine aktive, kommunikationsfähige Kennung zuzuordnen, um die Digitalisierung und Automatisierung in den Fertigungsabläufen bis zur Wiederverwertung zu unterstützen. Zudem müssen Originalkomponenten unverwechselbar gekennzeichnet sein, um Produktpiraterie zu erschweren, da durch Fälschungen allein in Deutschland jährlich Schäden im zweistelligen Milliardenbereich entstehen.

## Aufgabenstellung und Durchführung

Aus den genannten Gründen ist es von höchstem Interesse, preisgünstige und zuverlässige Techniken zur Kennzeichnung von Objekten sowie zugehörige zerstörungsfreie Verfahren zum einfachen Auslesen der Kennungen zu entwickeln. Um das Potenzial magnetischer Techniken aufzuzeigen, wurde in Vorarbeiten ein auf GMR-Sensoren (*Giant Magnetoresistance*) basierendes Auslesen von sowohl ferrimagnetischen als auch superparamagnetischen, für das bloße Auge unsichtbaren Nanosignaturen untersucht.

Bei GMR-Sensoren handelt es sich um hochpräzise Magnetfeldsensoren, die aus sich abwechselnden magnetischen und nichtmagnetischen dünnen Schichten mit einigen Nanometern

Schichtdicke bestehen. Der GMR-Effekt ist ein quantenmechanischer Effekt, der durch die Spinabhängigkeit der Streuung von Elektronen an Grenzflächen erklärt werden kann. Er bewirkt bei Variationen des äußeren Magnetfeldes in derartigen Sensoren große Änderungen ihres elektrischen Widerstandes.

Die für die versteckten Signaturen eingesetzten Nanopartikel unterscheiden sich in ihren magnetischen Eigenschaften. Während die superparamagnetischen Teilchen keine Magnetisierung aufweisen, solange kein äußeres magnetisches Feld vorhanden ist, zeigen im Gegensatz dazu die ferrimagnetischen Teilchen auch nach Ausschalten des magnetischen Feldes eine gewisse Remanenz.

Die Nanopartikel wurden als Tinte auf ein handelsübliches weißes Blatt Papier aufgebracht und mit einem Permanentstift überzeichnet. Im Anschluss wurde die Rückseite des Papiers im Bereich der Nanosignaturen mit einem GMR-Sensor vor, während und nach der Magnetisierung mittels eines Elektromagneten abgescannt. So konnten die unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften der in den Signaturen verwendeten Nanopartikel ausgenutzt werden. Die aus den Scans resultierenden Ergebnisplots sind in der oberen Abbildung dargestellt, der Messaufbau in der Abbildung unten rechts.

## Ergebnisse

In den Messungen vor der aktiven Magnetisierung mittels des Elektromagneten wurden in der Ergebnisdarstellung der GMR-Scans keine Signaturen sichtbar. In diesem Fall sind die Nanosignaturen unauffällig und unsichtbar. Im Sinne eines Plagiatsschutzes können die im unmagnetisierten Zustand nicht erkennbaren Signaturen durch aktive Magnetisierung für die GMR-Sensorik sichtbar gemacht werden. Wie aus der oberen Abbildung ersichtlich wird, konnten die Nanosignaturen durch aktive Magnetisierung und GMR-Sensor-Scans während und nach dem Magnetisierungsvorgang nachgewiesen werden. Da superparamagnetische Materialien anhysteretisch sind,



Nanosignatur	Foto Nanosignatur unter Permanentstift	Scan-Ergebnis während Magnetisierung	Scan-Ergebnis nach Magnetisierung
Ferrimagnetisch	ISC & IZFP	ISC & IZFP	ISC & IZFP
Superparamagnetisch	ISC & IZFP	ISC & IZFP	
Wechselnde Typen	ISC & IZFP	ISC & IZFP	ISC & IZFP

Fotos der versteckten Nanosignaturen und Scan-Ergebnisse für unterschiedliche Magnetisierungszustände

zeigen sie im Gegensatz zu ferri- oder ferromagnetischen Materialien keine Remanenz. Signaturen, die aus diesen beiden Materialien zusammengesetzt sind, können nicht einfach mit dem bloßen Auge identifiziert werden, wenn die Teilchen anderen Farbpigmenten untergemischt werden.

#### Ihr Vorteil

Durch die Kombination der beiden unterschiedlichen Partikeltypen können komplexe Muster codiert werden. So könnten eindeutige Schlüssel bzw. Signaturen mit erhöhter Komplexität eingesetzt werden, um einen noch höheren Plagiatsschutz zu erhalten. Unabhängig von den beiden Partikeltypen ist die GMR-Sensorik aber in der Lage, diese unsichtbaren Signaturen auszulesen. Diese könnten im Anschluss digital bearbeitet und zum Beispiel mit einer Datenbank verglichen werden, um eine eindeutige Bestätigung von Originalen und umgekehrt Erkennung von Plagiaten zu ermöglichen. Es ist auch vorstellbar, Materialien mit unterschiedlich abgestuftem Hystereseverhalten zu verwenden, um den Komplexitätsgrad weiter zu erhöhen und dadurch die Fälschungsbeständigkeit zu verbessern. Dies muss jedoch in weiterführenden Forschungsarbeiten detaillierter untersucht werden. Die Vorarbeiten zeigen das enorme Potenzial derartiger Nanosignaturen und zugehörigen zuverlässigen Auslesesystemen auf.

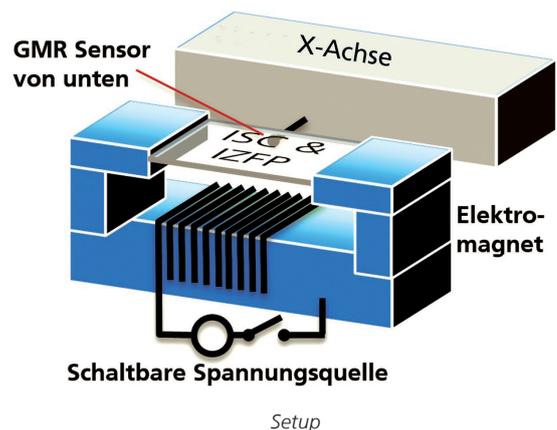
#### Projektpartner

Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC

#### Summary

When analyzing current efforts to make Industry 4.0 a reality, one of the major challenges is the ability to uniquely identify and track objects in every phase of the manufacturing process, all the way to recycling. This can typically be achieved by furnishing an object with small, hidden marker particles that serve as a signature.

To demonstrate the potential of magnetic technologies, researchers looked at the structural arrangements of signatures based on magnetic nanoparticles as part of a preliminary research project. The nanomarkers, applied in the form of inks on paper, were identified by a simple technique using defined magnetization states and GMR sensor scans to acquire a distinctive signal pattern.



#### Ansprechpartner

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



*BetoFlux: Prüfsystem zur Detektion von Korrosion*



## BETRIEB

Inspektion bzw. Zustands-  
überwachung von Produk-  
ten in der Nutzungsphase

Betrieb



---

## Stichworte

---

Condition Monitoring, Lebensdauermanagement, Monitoring, Zustandsüberwachung

---

## Inspektion und Zustandsüberwachung von Produkten in der Nutzungsphase

---

Im Themenbereich Inspektion und Monitoring von Strukturen im Betrieb beziehungsweise während der Wartung beschäftigt sich das Fraunhofer IZFP schwerpunktmäßig mit der Entwicklung von Methoden und Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung zur Zustandsüberwachung und -bewertung einschließlich Lebensdauermanagement. Dies umfasst Prüfverfahren für die Wartung und Instandhaltung von Bauteilen bis hin zu *Condition Monitoring*-Systemen zur zustandsbasierten Inspektion.

Dabei werden ZfP-Verfahren wie Ultraschall, Mikromagnetik, Wirbelstrom, Mikrowelle und Thermographie und deren Kombination im Sinne multimodaler ZfP betrachtet. Darauf basierend werden Prüfkonzepte sowie Labormuster und Prototypen für die Anwendungsbereiche Automobil, Bahn, Luftfahrt, Energietechnik, Infrastruktur entwickelt.

Fragestellungen zum Bereich *Service / Maintenance* werden sich zunehmend in Richtung der zustandsbasierten Wartung im Sinne einer *Predictive Maintenance* verlagern, bei der die Zustandsüberwachung auf Basis zerstörungsfreier Prüfverfahren einen wesentlichen Bestandteil einnimmt. Besondere Forschungsschwerpunkte ergeben sich aus der Entwicklung quantitativer Ultraschall-Prüfsysteme, insbesondere kommen elektromagnetisch

angeregter Ultraschall (EMUS) in Hinblick auf geführte Wellen oder Ultraschall-*Phased-Array*-Verfahren für dreidimensionale Bildgebung in Betracht.

Diese Verfahren kommen für verschiedene prüftechnische Fragestellungen im Rahmen der Wartung und Diagnose von sicherheitsrelevanten Bauteilen zum Einsatz, z. B. in den Bereichen Bahn (Radsatzprüfung), Infrastruktur (Betonprüfung) und Anlagen (Pipelineprüfung).

Daran anknüpfend steht die Entwicklung neuer Rekonstruktions- und Bildverarbeitungs-Algorithmen zur Datenbewertung und Datenvisualisierung auch für die Kombination mehrerer ZfP-Methoden für multimodale Prüfverfahren im Mittelpunkt diverser Forschungsaktivitäten. Ein wichtiger Zukunftstrend zeichnet sich im Bereich des *Condition Monitoring* ab, d. h. in der permanenten Überwachung mit dem Ziel der optimierten Ressourceneffizienz und / oder der Bewertung der Sicherheitsreserven von Bauteilen bzw. Anlagen im Betrieb.

Dieses Feld gewinnt nicht nur im Energiebereich oder in der Luftfahrt immer mehr an Bedeutung, sondern auch im Bahn-, Infrastruktur- oder Anlagenbereich. Hier steht die Entwicklung einer multimodalen Sensorplattform mit spezifischer Sensorik und Datenauswertung im Vordergrund aktueller Arbeiten.

---

## Ansprechpartner

---

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





*Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Herrmann, Leiter der Abteilung  
Zustandsüberwachung und Lebensdauermanagement*

---

## Keywords

---

Condition Monitoring, Lifecycle Management, Controlling

---

## Product inspection or condition monitoring during the utilization phase

---

In the field of inspection and monitoring of structures during operation or maintenance, Fraunhofer IZFP focuses on the development of nondestructive methods and procedures for condition monitoring and condition assessment, including lifecycle management. These activities range from processes for component and parts maintenance, to complete monitoring systems for condition-based inspection applications.

In this area, researchers evaluate various NDT technologies such as ultrasound, electromagnetics, eddy current, microwave, thermography and combinations thereof (multimodal NDT). Using these technologies as a foundation, inspection concepts, laboratory samples and prototypes are developed for applications in the automotive, railway, aerospace, energy technology and infrastructure industries.

Challenges in the field of Service / Maintenance will increasingly shift towards condition-based maintenance in the sense of "predictive maintenance," where NDT-based condition monitoring will be an essential part of the value chain. Much of this research focuses on quantitative ultrasound inspection systems. In this context, EMAT (electromagnetically excited ultrasound transducer) is of special interest for guided waves, while ultrasound-based

sampling phased array is of special interest for three-dimensional image processing.

These methods are used for various inspection-related issues in the maintenance and diagnostics of safety-relevant components, such as for railway (wheel set inspection), infrastructure (concrete inspection) and plant (pipeline inspection) systems. With this in mind, the institute carries out diverse R&D activities that focus on the development of new reconstruction and image processing algorithms for data evaluation and data visualization. This also applies to the combination of multiple NDT methods for multi-modal inspection applications. An important trend here is the entire field of condition monitoring, which involves permanent monitoring with the goal of optimized resource efficiency and/or for assessing the safety margins of components or operational systems. This field is becoming increasingly important not only in the energy (nuclear power plants et al.) and aerospace sectors, but also in the railway, infrastructure and plant industries. The development of a multi-modal sensor platform with specific sensor technology and data analysis is at the forefront of current research activities.

---

## Contact

---

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



# MODULARE MONITORINGPLATTFORM ZUR ENERGIEAUTARKE KOSTENGÜNSTIGEN ZUSTANDSÜBERWACHUNG

## Stichworte

Infrastruktur, Monitoring-Plattform, Zustandsüberwachung

Infrastructure, Monitoring Platform, Condition Monitoring

## Ausgangssituation

Bestehende Infrastruktursysteme (z. B. Brücken) stellen hinsichtlich der Anforderungen an die technische Sicherheit große Herausforderungen dar. Viele dieser Objekte erreichen derzeit ihre projektierten Lebensdauergrenzen und bedürfen einer regelmäßigen Zustandsbewertung, um die sichere Weiternutzung zu gewährleisten sowie den möglichen Sanierungsbedarf zu erkennen. Die gesetzlich festgelegten wiederkehrenden Prüfungen können diese Aufgabe zwar erfüllen, aufgrund der Vielzahl betroffener Infrastrukturobjekte ist eine regelmäßige manuelle Prüfung jedoch mit hohem Personal- und Kostenaufwand verbunden. Alternativ zur manuellen Prüfung bieten sich Monitoringsysteme zur Zustandsüberwachung an.

Diese fest installierten Monitoringsysteme nutzen sensorseitig meist einfache physikalische Effekte (Temperatur, Lage etc.), um Änderungen des Objektzustands zu erfassen. Komplexere Monitoringsysteme setzen zur Datenübertragung und Kommunikation häufig Sensornetzwerke ein, welche allerdings Server-Infrastrukturen und Kommunikationsnetze erfordern und somit ein datentechnisches Sicherheitsrisiko darstellen, da es grundsätzlich möglich ist, sich illegalen Zugang zu den Messdaten zu verschaffen.

## Aufgabenstellung und Durchführung

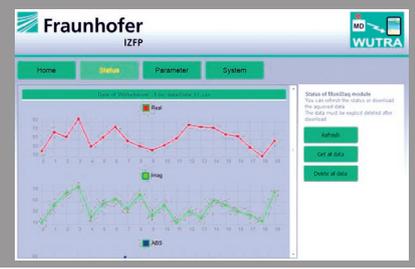
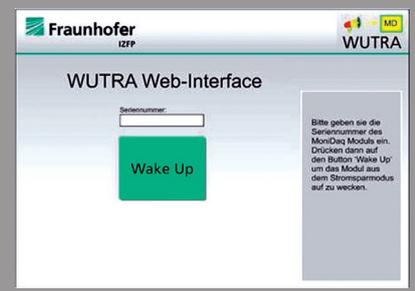
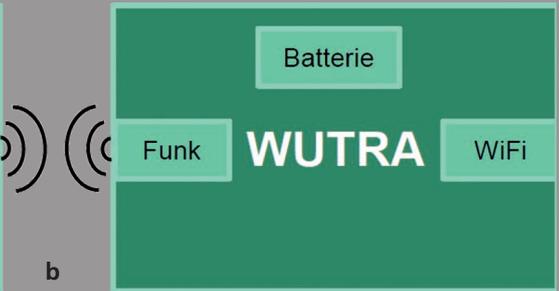
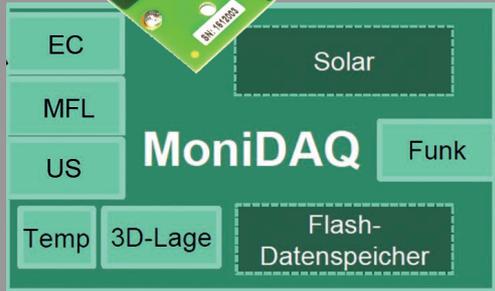
Es soll ein flexibles Monitoringsystem entwickelt werden, welches auf einfache Art und Weise an die Bedürfnisse eines dauerhaften

*in-situ* Monitorings von Infrastrukturbauten adaptiert werden kann. Daraus resultieren diverse Anforderungen an den Praxiseinsatz, wie eine energieautarke und langlebige Gerätetechnik. Im Hinblick auf die Datenübertragung wird eine sichere Kommunikation ohne die aufwändige Infrastruktur von Sensornetzwerken auf Grundlage von Serversystemen erarbeitet. Ferner werden am Fraunhofer IZFP entwickelte geeignete Prüfverfahren im Hinblick auf die beschriebenen Anforderungen adaptiert und in entsprechende messtechnische Lösungen umgesetzt. Da die Systeme gegebenenfalls in großer Stückzahl fest installiert werden, stellt der Kostenaspekt einen wichtigen und von Beginn an zu berücksichtigenden Faktor dar.

Zur Lösung der Aufgabenstellung wurde am Fraunhofer IZFP das Monitoringsystem *MoniDAQ (Monitoring Data Acquisition)* entwickelt. Dieses System zur Zustandsbewertung besteht aus energieautarken *MoniDAQ-Basisplatinen* (Abbildung a) mit modularen Anschlussmöglichkeiten und einer funkbasierten Ausleseinheit *WUTRA (Wakeup-Transceiver)*, welche die Ergebnisse per Knopfdruck via WLAN an ein beliebiges Endgerät (z. B. Tablet, Smartphone) sendet (Abbildung b) und im sogenannten *WUTRA-Web-Interface* (Abbildung c) darstellt.

Die kostengünstigen *MoniDAQ-Basisplatinen* bieten die Möglichkeit, Sensoren modular und aufgabenspezifisch optimiert einzusetzen. Beispielsweise können fest installierte *MoniDAQ-Basisplatinen* an Brücken physikalische Parameter aufzeichnen und damit eine Datenbasis für die Bewertung der Tragfähigkeit des Bauwerks liefern. Mit variablem Energiemanagement einschließlich langlebiger Primärbatterie, integrierter Solarzelle, Langzeitdatenspeicher und speziell für den Außeneinsatz entwickelter Hardware wird ein Einsatzzeitraum von mindestens zehn Jahren angestrebt. Die erste Generation an *MoniDAQ-Basisplatinen* mit integriertem Lage- und Wirbelstromsensor sowie zusätzlichen modularen Sensoreingängen wurde bereits aufgebaut.





MoniDAQ: Platine (a) und Prinzipskizze (b) sowie WUTRA-Interface mit Aufweckfunktion und Ergebnisdarstellung (c)

## Ergebnisse

Die Ergebnisdateien werden im WUTRA-Web-Interface durch »Aufwecken« der MoniDAQ-Basisplatinen auf Knopfdruck bereitgestellt und können mit Hilfe eines beliebigen Endgerätes ausgelesen werden.

## Ihr Vorteil

Das Monitoringsystem MoniDAQ kann die manuelle Prüfung so optimieren, dass diese bedarfsgerecht, also lediglich im Verdachtsfall oder auf Basis der gewonnenen Messdaten erfolgt. Die Modularität der Basisplatinen ermöglicht den flexiblen Einsatz unterschiedlicher Sensoren mit verschiedenen zerstörungsfreien Prüfverfahren. Die direkte Kommunikation ohne Sensornetze erlaubt eine sichere Datenübertragung ohne aufwändige Server-Infrastrukturen. Neben Wirbelstrom bieten zahlreiche weitere zerstörungsfreie Prüfverfahren das Potenzial zum Einsatz im Rahmen des Monitorings der hier geschilderten Art.

## Auftraggeber

ZWP Anlagenrevision GmbH

## Summary

Existing infrastructure systems provide major challenges for safety-related issues. Many of these infrastructure objects are reaching the end of the projected life cycle and thus require regular condition analyses to ensure that they can continue to be used safely and to identify if and when repairs are required. The sheer number of infrastructure objects that require manual inspection results in high costs in terms of manpower and money. Condition monitoring solutions provide an alternative to manual inspection methods. These permanently-installed monitoring systems typically rely on simple physical characteristics, such as temperature and position, to detect changes in the structure of the object. More complex systems frequently use sensor networks for data transmission and communication. This requires server infrastructures and communication networks that harbor data security risks. This project aims to develop a flexible and easily adaptable monitoring system. This places various demands on practical implementation, such as deploying energy self-sufficient, long-lasting device technology. With respect to data transmission, researchers are developing a secure communication platform that eliminates the need for a sophisticated infrastructure. Researchers are furthermore adapting these inspection methods to the requirements described above and transforming them into cost-effective measurement technology solutions.

## Ansprechpartner

Sargon Youssef, M.Sc.  
+49 681 9302 3997  
sargon.youssef@izfp.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Ute Rabe  
+49 681 9302 3863  
ute.rabe@izfp.fraunhofer.de



# BETOFLUX XL: MOBILES STREUFLUSS-PRÜFSYSTEM ZUR SPANNDRAHTBRUCH-ORTUNG MIT HOHER BETONDECKUNG

---

## Stichworte

Beton, Spanndraht, Streufluss

Concrete, Tension Wire, Magnetic Flux Leakage

---

## Ausgangssituation

Beton besitzt eine im Vergleich zur Druckfestigkeit geringe Zugfestigkeit. Durch die Integration vorgespannter Stahlstäbe in den Beton wird die Zugfestigkeit erhöht. Im Hinblick auf ihre Belastbarkeit werden diese sogenannten Spannglieder bevorzugt aus ferromagnetischen Baustählen gefertigt. Diese Bauweise kommt in der urbanen Infrastruktur bei den nach dieser Technik benannten Spannbetonbauwerken zum Einsatz, so wird beispielsweise im Brückenbau der Beton mit Hilfe von Spanngliedern auf Druck vorgespannt, um die Aufnahme der infolge des Eigengewichts und der Belastung entstehenden Zuglastspannungen zu ermöglichen.

---

## Aufgabenstellung und Durchführung

Die Tragfähigkeit von Spannbetonbauwerken definiert sich unter anderem darüber, ob die eingebauten Spannglieder intakt sind und in Folge dessen ein sicherer Weiterbetrieb möglich ist. Aufgabe war die Entwicklung und Erprobung eines unter Praxisbedingungen einsetzbaren, mobilen und zerstörungsfreien Prüfsystems zur Beurteilung des Zustandes von Spanngliedern in Spannbetonbauwerken bis zu einer maximalen Betondeckung von 15 cm. Die Prüflösung soll die besonderen Anforderungen berücksichtigen, die sich unter Praxisbedingungen im Hinblick auf Mobilität und Energieverbrauch ergeben.

Das magnetische Streuflussverfahren eignet sich zur Detektion rissartiger Fehler in ferromagnetischen Materialien. Das Verfahren beruht auf dem gleichen physikalischen Effekt, der auch bei der Magnetpulverprüfung ausgenutzt wird. Ein homogenes, magnetisiertes Bauteil führt den magnetischen Fluss. An Unterbrechungen der Oberfläche bilden sich zusätzliche Magnetpole, die ein oberflächennahes magnetisches Streufeld hervorrufen. Moderne rauscharme Hall-Sonden sind imstande, diese magnetischen Streufelder messtechnisch zu erfassen. Die Sonden können in Form von Sensorarrays (Zeilen, Matrizen) über die Oberfläche des magnetisierten Bauteils geführt werden. Im gegebenen Anwendungsfall ist somit eine Detektion beschädigter oder gebrochener Spannstähle durch die Betondeckung hindurch möglich.

Unter Einsatz eines Hall-Sonden-Zeilensensors mit 80 Elementen wurde ein Prüfsystem mit im Sensorgehäuse integrierter Datenerfassungselektronik aufgebaut und erprobt. Zur Magnetisierung kam eine Permanentmagnet-Jochanordnung zum Einsatz.

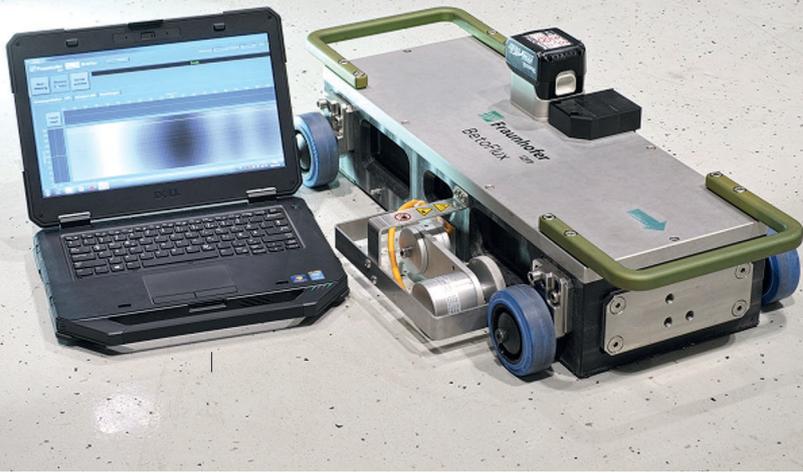
Die Stromversorgung erfolgt dabei über einen wechselbaren Akku. Die Messergebnisse werden kabellos, via WLAN an einen Laptop übertragen, was den mobilen Einsatz des Prüfsystems ermöglicht. Durch optimiertes Energiemanagement wird mit einer einzigen Akkuladung eine Laufzeit von über sechs Stunden erreicht. Die eigens für diese Anwendung entwickelte Software erlaubt es, die Ergebnisse ortsgenau darzustellen und zu dokumentieren, und dies sowohl visuell in Form eines Bildes der Streufeldverteilung, als auch numerisch in Form von ASCII-Daten.

---

## Ergebnisse

Das entwickelte Prüfsystem BetoFlux XL (linke Abbildung) erzielt eine deutliche Darstellung rissartiger Defekte der Spannstähle in Spannbetonstrukturen, wobei Betondeckungen auch über 15 cm zulässig sind. Querschnittsreduktionen ab 25 Prozent konnten nachgewiesen





BetoFlux XL: Gerät und Steuerungs-/Auswertungs-PC



BetoFlux XL im Einsatz

werden. Die Software verfügt über Filter, welche unterschiedliche Ergebnisdarstellungen erlauben. Erste Außeneinsätze des Systems durch den Industriepartner wurden bereits erfolgreich absolviert (rechte Abbildung).

### Ihr Vorteil

Der wesentliche Fortschritt von BetoFlux XL besteht in der Mobilität und Flexibilität im Anwendungsfall für maximale Betondeckungen jenseits 15 cm Dicke. Es erlaubt flexible Prüfabläufe einschließlich Bearbeitung und Dokumentation der Ergebnisse ohne Notwendigkeit einer stationären Energieversorgung vor Ort.

### Auftraggeber

BauConsulting Dr. Walther GmbH & Co. KG

### Summary

Concrete has a low tensile strength compared to the compressive strength. Through the integration of prestressed ferromagnetic steel rods into the concrete the tensile strength is increased. This so called prestressed concrete is used for example in bridge constructions. Among other things, the load capacity of prestressed concrete structures is defined as to whether the tension rods are intact. The magnetic flux leakage method is suitable for detecting crack-like defects in ferromagnetic materials and is based on the same physical effect used in magnetic particle inspection. A homogeneous, magnetized component induces the magnetic flux. Additional magnetic poles form on the surface interruptions, which creates a magnetic stray field near the surface. These magnetic stray fields can be measured using low-noise, state-of-the-art Hall probes.

The aim of this project was the development of a mobile, non-destructive test system based on magnetic flux leakage technology for analyzing the condition of reinforcement tendons integrated to a depth of 15 cm in prestressed concrete structures. The solution is designed to take into account the special environmental requirements related to mobility and energy consumption.

### Ansprechpartner

Sargon Youssef, M.Sc.  
+49 681 9302 3997  
sargon.youssef@izfp.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Klaus Szielasko  
+49 681 9302 3888  
klaus.szielasko@izfp.fraunhofer.de



# KORROSIONS- UND FEHLERPRÜFUNG

## PRÜFUNG UNZUGÄNGLICHER KOMPONENTEN UND KONSTRUKTIONSTEILE MIT LANGREICHWEITIGER ULTRASCHALL-TECHNIK

### Stichworte

Geführte Ultraschallwellen, Plattenwellen, elektromagnetischer Ultraschall, EMUS, Korrosion

Guided Waves, Plate Waves, Electromagnetic Ultrasound, EMAT, Corrosion

### Ausgangssituation

Sicherheitsrelevante Infrastrukturen wie Pipelines in chemischen und petrochemischen Anlagen, Gas- und Wasserleitungen sowie Tragkonstruktionen aus Pfeiler-, Mast- oder Säulen-Elementen können bei unzureichender oder fehlerhafter Isolierung korrodieren. Da die Sichtprüfung vielfach nicht anwendbar ist und die Korrosionsbereiche für andere Verfahren oft nicht direkt zugänglich sind, ist die Erfassung und Bewertung der Schäden schwierig (linke Abbildung). Zusätzlich führt die Oberflächenkorrosion gewöhnlich zu einer meist flächig ausgebildeten und wenig tiefenbetonten Wanddickenschwächung mit komplexer Geometrie, so dass kommerzielle Mess- und Prüfverfahren an ihre Grenzen stoßen und keine belastbaren Aussagen über den schadhafte Bereich treffen können.

Unzugängliche Bereiche können mit langreichweitigen Ultraschallwellen, sogenannten geführten Wellen, untersucht werden. Unter idealen Bedingungen können damit Prüfbereiche von bis zu 50 m erfasst werden, ohne dass mit großem Aufwand die Isolierung entfernt oder das Bauteil komplett ausgegraben werden muss. Werden Wandler auf Grundlage von elektromagnetisch angeregtem Ultraschall (EMUS-Wandler) eingesetzt, ist kein direkter Kontakt zwischen Prüfkopf und Prüfling erforderlich, es kann also auf ein Koppelmittel verzichtet werden. Da nichtleitende Werkstoffe die Kopplung nicht beeinflussen, brauchen dünne Isolationsschichten nicht vom Testkörper entfernt werden.

### Aufgabenstellung und Durchführung

Der Einsatz von dispersiven geführten Ultraschallwellenmoden bietet die Möglichkeit, sehr geringe Wanddickenschwächungen im Schallweg einer Ultraschall-Transmissions- und / oder -Reflexionsmessung zu detektieren. Daher eignen sie sich zum Erfassen kleiner Korrosionsschäden. Der Messeffekt basiert auf der Veränderung sowohl der Phasen- als auch der Gruppengeschwindigkeit des dispersiven Ultraschallwellenmode über die Wanddicke. Durch Auswertung der Phase und / oder der Schalllaufzeit des Empfangssignals sind somit quantitative Informationen über die Fehler zugänglich.

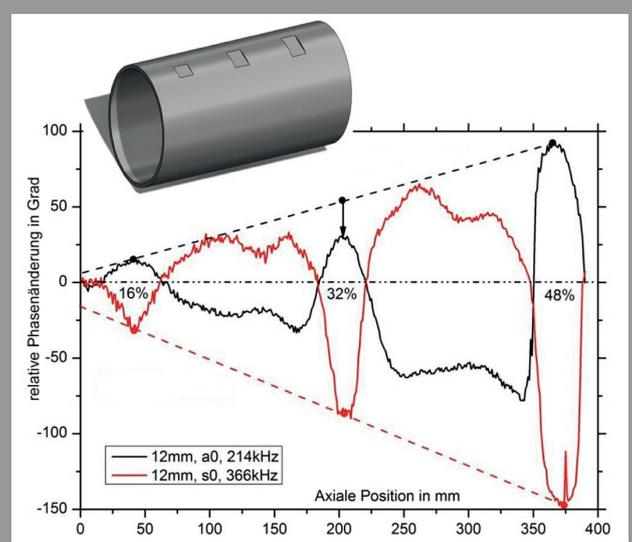
Zur Anregung und zum Empfang der modenrein geführten Wellen werden EMUS-Wandler verwendet. EMUS-Prüfköpfe haben gegenüber der klassischen Anregung den entscheidenden Vorteil, dass die Ultraschallwandlung direkt in der Testkörperoberfläche durch magnetostruktive Wechselwirkung und Lorentz-Kräfte stattfindet. Damit sind koppelmittelfreie und berührungslose Anregung sowie Empfang der Ultraschallsignale möglich. Oberflächeneinflüsse werden minimiert und Ankoppelprobleme sind weitgehend ausgeschlossen. Hierdurch wird eine präzise Phasenmessung möglich.

Durch den speziellen Prüfkopfaufbau kann räumlich periodisch eine Kraftwirkung eingepreßt werden, wodurch besonders effektiv und selektiv reine Moden geführter Ultraschallwellen angeregt werden. Die Periodizität der Krafteinwirkung entspricht hier der Spurwellenlänge. Um einen weiten Bereich an Spurwellenlängen abdecken zu können, wurden EMUS-Wandler entwickelt, die ein Umschalten auf verschiedene Spurwellenlängen ermöglichen. Somit können mit einem einzigen Wandler ohne Prüfkopfwechsel ein großer Parametersatz abgedeckt und verschiedene Arbeitspunkte im Dispersionsdiagramm gezielt angesteuert werden.





Rohrleitungen in einer petrochemischen Fabrik



Detektion künstlich eingebrachter Flachstellen, Ergebnisse

## Ergebnisse

Im Rahmen von Labormessungen konnten mit der vorgestellten Methode auch geringe Wanddickenreduktionen im Schallweg erkannt werden. Bei einer optimalen Wahl der Arbeitspunkte im Dispersionsdiagramm der verwendeten geführten Wellenmoden können sogar lokal begrenzte Wanddickenänderungen mit einer minimalen Tiefe von weniger als 10 Prozent der nominellen Wanddicke sicher detektiert werden.

Für ein Testrohr mit künstlich eingebrachten Flachstellen zur Simulation von Auflagekorrosionsstellen (maximale Tiefe der Flachstellen 16, 32 und 48 Prozent der Wandstärke) zeigt die rechte Abbildung exemplarisch die Änderung der Phasenlage des Transmissionsignals für zwei unterschiedliche Lamb-Wellenmoden (A0 und S0). Das Rohr wurde in axialer Richtung abgescannt, die Einschallung erfolgte in Umfangsrichtung.

## Ihr Vorteil

Nicht direkt zugängliche Bereiche von Komponenten und Anlagenteilen können mit geführten Ultraschallwellen inspiziert werden. Diese Methode ist auch äußerst sensitiv gegenüber flachen Wanddickenreduktionen und kann lange Distanzen erfassen. Quantitative Fehlerinformationen können aus Laufzeit, Phasenlage sowie dem Transmissions- als auch Reflexionsverhalten ermittelt werden. Durch Datenfusion erhält man deutlich genauere und zuverlässigere Informationen über die Wanddickenreduktion im Schallweg.

## Summary

In light of government regulations and the potential risks to public safety and the environment, recurring structural inspections are essential in the context of condition-oriented maintenance. These inspections are time-consuming and present a major challenge when large or difficult-to-access structures are involved. Through the targeted application of long-range, couplant-free ultrasound inspection methods, defects can be detected at an early stage to prevent further deterioration from occurring.

The methods described above also provide quantitative information about the damage, making it possible to carry out a more precise analysis.

## Ansprechpartner

Dipl.-Phys. Patrick Jäckel  
+49 681 9302 3941  
patrick.jaeckel@izfp.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Frank Niese  
+49 681 9302 3921  
frank.niese@izfp.fraunhofer.de



*Effektive Wiederverwertung von Ressourcen für eine saubere Zukunft*





## RECYCLING

Identifikation, Bewertung oder Sortierung von Wertstoffen

Recycling



# RECYCLING

## Stichworte

Recycling, Urban Mining, Wertstoffe, Sekundärrohstoff

## Identifikation, Bewertung und Sortierung von Wertstoffen

Die Verwertung von Abfall gehört zu den weltweit größten gesellschaftlichen Herausforderungen und Chancen unserer Zeit.

Neben Verpackungen und Biomasse stellen *End-of-life-* bzw. *Post-Consumer-*Abfälle (Schrott) und Produktionsabfälle einen erheblichen Anteil am Gesamtvolumen dar. Während beim gewöhnlichen Hausmüll (nach Abspaltung von größeren Metallteilen) die thermische Verwertung dominiert, bildet der Schrott der Industriegesellschaft eine interessante Quelle für sogenannte sekundäre Rohstoffe, weshalb in Analogie zum Bergbau der Begriff *Urban Mining* für die technische Rückgewinnung nutzbarer Materialien geprägt wurde.

Während der Wertstoffkreislauf für Glas, Papier und Stahl heute als weitgehend geschlossen angesehen werden darf, ist die hochwertige, sortenreine Rückgewinnung von Kunststoffen, seltenen Erden, Nichteisenmetallen und Bestandteilen von Verbundwerkstoffen wie faserverstärkten Kunststoffen (CFK, GFK) nach wie vor äußerst schwierig und wenig erfolgreich. Oft findet daher eine minderwertige Weiternutzung, ein sogenanntes Downcycling, statt.

Darüber hinaus stellt der oft hohe Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Ausstoß einen entscheidenden Faktor für die Wirtschaftlichkeit und bilanzierte Umweltfreundlichkeit des Recyclings dar.

## Entwicklungsschwerpunkte

Im Zuge der sortenreinen Wiedergewinnung von Rohstoffen aus Schrott (vollständige oder zerkleinerte Baugruppen oder Verbundstoffe) werden neben energieeffizienten Techniken zur Aufspaltung der Verbunde neue Messprinzipien und Sensortechniken benötigt, die eine verbesserte Materialidentifikation und -charakterisierung der Ein- und Ausgangsstoffe ermöglichen. Die Sensordaten und die daraus mittels maschinellem Lernen gewonnenen Kennwerte liefern entscheidende Beiträge zur Auswahl optimaler Prozessparameter (z. B. in der Pyrolyse oder Solvolyse von CFK) und erlauben die Bewertung der Rezyklate hinsichtlich ihrer Materialidentität sowie ihrer mechanisch-technologischen Eigenschaften.

Die Randbedingungen der Recyclingprozesse erfordern dabei Berührungslosigkeit und hohe Messgeschwindigkeit, weshalb quasi-optische und akustische sowie akustoelastische Techniken Vorzüge für den Praxiseinsatz bieten.

## Ansprechpartner

Dr.-Ing. Klaus Szielasko  
+49 681 9302 3888  
klaus.szielasko@izfp.fraunhofer.de





Dr.-Ing. Klaus Szielasko, Leiter der Abteilung Materialcharakterisierung

---

### Keywords

---

Recycling, Urban Mining, Recyclable Materials, Secondary Raw Materials

---

### Identification, assessment, scrap sorting

---

Waste recovery is one of the great challenges and opportunities of our time.

Next to packaging and biomass, end-of-life, or post consumer waste products (scrap) as they are also called, in addition to manufacturing waste, represent a significant share of the world's total waste. Whereas thermal disposal is the dominant recycling method for ordinary household refuse (after the separation of larger metal parts), industrial society scrap offers an interesting source of so-called secondary raw materials. Thus the phrase "urban mining" – in reference to industrial mining – was created to describe the technical recovery of usable materials.

While glass, paper and steel are regarded as closed loop recycling materials for the most part, the high-quality and completely separate recovery of plastics, rare-earth elements, nonferrous metals and composite materials such as fiber-reinforced plastics (CFRP, GRP) continues to be a difficult, often unsuccessful process. This is why an inferior approach, so-called downcycling, is frequently used.

Furthermore, the often high demand for primary energy and the impact of CO<sub>2</sub> emissions represent key factors for the economic feasibility and ecobalance of the chosen recycling method.

---

### Development focus

---

When sorting and recovering raw materials from scrap (whole or shredded components or composite materials), apart from energy-efficient technologies for separating the composites, the recovery systems require new measurement principles and sensor technologies to enable better material identification and characterization of the source and output materials. The sensor data and key values derived from machine learning systems are important contributors in selecting the optimal process parameters (such as in the pyrolysis or solvolysis of CFRP) and allow the recycled materials to be analyzed with respect to their material identity and their mechanical-technical properties.

Recycling processes require contactless technologies and high measurement speeds, which is why quasi-optic, acoustic and acousto-elastic methods are more suitable for real applications.

---

### Contact

---

Dr.-Ing. Klaus Szielasko  
+49 681 9302 3888  
klaus.szielasko@izfp.fraunhofer.de



*Intelligente Assistenz-Systeme für die Zukunft des Prüfens:  
3D-SmartInspect*



# ANHANG

# MITARBEIT IN FACHAUSSCHÜSSEN, GREMIEN UND ZEITSCHRIFTEN

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

- AMA Fachverband für Sensorik e. V., Wissenschaftsrat
- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
- Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS), Mitglied
- Verein der Deutschen Eisenhüttenleute (VDEh), Werkstoffausschuss, Unterausschuss für ZfP und Messtechnik, Gast
- Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V. (DVM)

## Dipl.-Ing. Steffen Bessert

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP), persönliches Mitglied
  - Fachausschuss »Zerstörungsfreie Prüfung im Eisenbahnwesen«, Mitglied
    - Unterausschuss »Tagung«, Mitglied
    - Unterausschuss »Ausbildung«, Mitglied
  - Fachausschuss »Oberflächenrissprüfung«, Mitglied
    - Unterausschuss »Ausbildung«, Mitglied
    - Unterausschuss »Messtechnische Rückführung«, Vorsitzender
- DIN-Normungsausschuss, Arbeitsausschuss NA 062-08-27 AA »Visuelle und thermografische Prüfung«

## Prof. Dr.-Ing. Christian Boller

- »Encyclopaedia on Structural Health Monitoring«, John Wiley & Sons, 2008, Editor-in-chief
- Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR), Mitglied
- American Institution of Aeronautics and Astronautics (AIAA), Mitglied
- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP), kooptiertes Beiratsmitglied
- Journal of Aerospace Sciences and Technologies, Aeronautical Society of India, Redaktionsmitglied
- »European Micro Aerial Vehicle Conference and Flight Competition«, Mitglied des wissenschaftlichen Komitees
- »SPIE Annual International Symposium on Smart Structures and Materials«, Mitglied des Organisationskomitees der Konferenz »Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies«
- »International Workshop on Structural Health Monitoring«, Stanford Univ., Stanford/CA, Mitglied des International Scientific Committees seit 1997
- »European Workshop on Structural Health Monitoring«, Mitglied des Scientific Committee seit 2002, Vorsitz seit 2012
- »Smart Materials and Structures«, herausgegeben vom Institute of Physics Publishing, Bristol/UK, Redaktionsmitglied seit 1997, europäischer Herausgeber seit 2000, Mitherausgeber seit 2005
- Institute of Physics, Bristol/UK, Fellow
- Institute of Smart Structural Systems (ISSS), Bangalore/Indien, Mitglied
- Canadian Institute of Non-Destructive Evaluation (CINDE), Mitglied
- Far East NDT (FENDT) 2014 in Chengdu/China, Präsident
- Deutscher Hochschulverband, Mitglied
- Beirat der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Mitglied
- Projektkomitee »Komponentenverhalten« (PKKOM) des Bundesministers für Wirtschaft und Technologie, Mitglied
- »Physics & Engineering Panel« des European Research Council (ERC), Mitglied seit 2009
- »Scientific Reports« (Nature Group), Reviewer seit 2012

### **Caspary, Stefan**

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

### **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

### **Prof. Dr.-Ing. Randolph Hanke**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Persönliches Mitglied
  - Beirat, kooptiertes Mitglied
  - Fachausschuss »Hochschullehrer«, Mitglied
  - Fachausschuss »Durchstrahlungsprüfung FA D«, Mitglied
    - Unterausschuss »Digitale Radiologie UA DR«, Mitglied
- Kuratorium zur Förderung des Andenkens an Wilhelm Conrad Röntgen in Würzburg e.V. (Röntgen-Kuratorium Würzburg e.V.), Mitglied
- Julius-Maximilians-Universität Würzburg
  - Graduate School of Science & Technology (GSST), Mitglied
  - Fakultätsrat der Fakultät Physik und Astronomie, Mitglied
- 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

### **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)
- »World Conference on NDT« 2016, Mitglied des wissenschaftlichen Gutachterausschusses
- American Society for Nondestructive Testing

- »Smart Materials and Structures«, herausgegeben vom Institute of Physics Publishing, Bristol/UK, Reviewer
- Fraunhofer-Allianz Leichtbau
- Materials and Design (Elsevier), Gutachter
- Science and Engineering of Composite Materials (de Gruyter), Gutachter
- Smart Materials and Structures (IOPscience), Gutachter

#### **Dipl.-Phys. Patrick Jäckel**

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

#### **Dipl.-Phys. Wolfgang Kappes**

- Fraunhofer-Allianz Verkehr, Rail-Gruppe
- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Ultraschallprüfung«
    - Unterausschuss »Automatische Ultraschallprüfsysteme«
- SECTOR Cert, Fachausschuss »Ultraschall«

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

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Oberflächenrissprüfung«, Gast
    - Unterausschuss »Ausbildung«, Mitglied

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

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Arbeitsgruppe Bildverarbeitung
  - Ausschuss für Durchstrahlungsprüfung mit Strahlenschutz
    - Unterausschuss CT

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

- Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV), persönliches Mitglied
  - Arbeitskreis AK 7.6.3 »Zerstörungsfreie Messverfahren«, Mitglied
- Fraunhofer-Allianz BAU
- Fraunhofer-Allianz SysWasser
- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP), persönliches Mitglied
  - Fachausschuss »Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen«, Mitglied
- Deutscher Verband Schweißen und verwandte Verfahren e.V.
  - Arbeitsgruppe und Fachausschuss V 4 »Unterwassertechnik«

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

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Thermographie«
  - Fachausschuss »Materialcharakterisierung«
- Fraunhofer-Allianz 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«

#### **Dr.-Ing. Frank Niese**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Arbeitskreis Saarbrücken, Leiter

#### **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
- CCEV – AG-Engineering / NDE / Klebtechnik

#### **Dipl.-Ing. Hans Rieder**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP), persönliches Mitglied
  - Fachausschuss »Ultraschallprüfung«, Mitglied
    - Unterausschuss »Phased Array«, Vorsitzender
    - Unterausschuss »Automatische Prüfsysteme«
- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDE/VDI), persönliches Mitglied

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

- DIN-Normungsausschuss, Berlin (Arbeitsausschuss NA 062-08-23 AA »Ultraschallprüfung«; Non-destructive testing of welds – Ultrasonic testing – Use of (semi-)automated Phased Array Technology)
- VDI-Arbeitskreis »Automatisierter Ultraschall« (Reinheitsgradbestimmung, Georgsmarienhütte)
- Fachausschuss Leichtmetall-, Sand- und Kokillenguss im Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie, Düsseldorf (BDG)

### **Dr. rer. nat. Christoph Sklarczyk**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Mikrowellen- und Terahertzverfahren«
  - Unterausschuss »Feuchte« des Fachausschusses »ZfP im Bauwesen«
- Shota Rustaveli National Science Foundation, Tiflis, Georgien, Internationaler Peer Reviewer

### **Priv.-Doz. Dr. rer. nat. habil Martin Spies**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP), persönliches Mitglied
  - Beirat, kooptiertes Mitglied
  - Fachausschuss »Hochschullehrer«, Mitglied
  - Fachausschuss »Ultraschallprüfung«, Vorsitzender
    - Unterausschuss »Modellierung & Bildgebung«, Vorsitzender
    - Unterausschuss »Ausbildung«, Mitglied
    - Unterausschuss »Phased Array«, Mitglied
- Programmausschuss der DGZfP-Jahrestagung / DACH-Tagung, Mitglied
- International Advisory Group of the UK Research Centre in NDE, United Kingdom, Mitglied
- Fraunhofer-Allianz NUSIM, Mitglied

### **Dr.-Ing. Benjamin Straß**

- Verein Deutscher Ingenieure VDI, Mitglied
- Deutsche Physikalische Gesellschaft DPG, Mitglied
- Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren DVS e.V.
  - Fachausschuss FA4 - »Widerstandsschweißen«
  - Arbeitsgruppe V3.9 – »Prüfen von Widerstandsschweißverbindungen«
  - FA5 – »Sonderschweißverfahren«
  - Arbeitsgruppe V11.2 – »Rührreißschweißen (FSW)«

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

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

### **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«

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

- Verband für Angewandte Thermografie e. V. (VATH)
- Fraunhofer-Allianz Verkehr, Mitglied des Lenkungskreises
- Fraunhofer-Strategiekreis Fügetechnik
- Mitglied im Wissenschaftlich-Technischen Rat (WTR) der Fraunhofer-Gesellschaft
- Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. (DVS)
  - Fachausschuss 8 »Klebtechnik«
  - Fachausschuss 11 »Kunststoff-Fügen«
- Arbeitsgruppe »Automotive Saar«
- »autoregion e.V.« (Cluster der Großregion Saar-Lor-Lux und Rheinland-Pfalz für die Automobilwirtschaft), Vorsitzender
- SECTOR Cert, Vorsitzender Lenkungsausschuss
- Wissenschaftlicher Beirat der »Deutsch-Mexikanischen Gesellschaft im Saarland e.V.«, Mitglied
- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Faserkunststoffverbunde (FA FKV) und Hybridmaterialien«

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

- European Association of Geoscientists & Engineers (EAGE), Mitglied
- Society of Exploration Geophysicists (SEG), Mitglied
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Mitglied

### **Dipl.-Phys. Günter Walle**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Arbeitsgruppe »Aktive Thermographie« im Unterausschuss »Ausbildung TT« des Fachausschusses »Thermographie«

### **Dr.-Ing. Thomas Waschkies**

- Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP)
  - Fachausschuss »Ultraschallprüfung«
- Deutsche Gesellschaft für Materialkunde (DGM), persönliches Mitglied

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

- Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V. (FVA)
  - AK »Fertigungstechnik«
  - AK »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)



 18<sup>th</sup> IWC  
INTERNATIONAL WHEELSET CONGRESS

# 18TH INTERNATIONAL WHEELSET CONGRESS

Innovative Wheelset Technology Driving Sustainable Mobility

 ICA ICAE CARS IEEE



# TEILNAHMEN AN TAGUNGEN, WORKSHOPS UND KONFERENZEN 2016

	<b>2016</b>
<b>Anzahl der besuchten Veranstaltungen</b>	<b>37</b>
innerhalb Deutschlands	23
außerhalb Deutschlands	14
<b>Veranstaltungsteilnahmen gesamt</b>	<b>102</b>
aktive Teilnahmen	60
passive Teilnahmen	42
<b>Verteilung der ausländischen Veranstaltungen</b>	<b>15</b>
Europa	11
Asien	2
Amerika	2

16001 | Rieder, Hans; Spies, Martin; Bamberg, Joachim; Henkel, Benjamin

**On- and offline ultrasonic characterization of components built by SLM additive manufacturing**

Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 42, AIP Conference Proceedings 1706, 2016, p. 130002-1-7

16002 | Kappes, Wolfgang; Hentschel, Dieter; Oelschlägel, Thomas

**Potential improvements of the presently applied in-service inspection of wheelset axles**

International Journal of Fatigue, Vol. 86, May 2016, p. 64–76

16003 | Szielasko, Klaus; Youssef, Sargon; Moryson, Ralf; Tschuncky, Ralf; Niese, Frank; Rabe, Ute; Herrmann, Hans-Georg

**Zerstörungsfreie Materialcharakterisierung und Zustandsbewertung von Beton- und Stahlkomponenten im Bauwesen**

Bauwerksdiagnose 2016, DGZFP-Berichtsband 157, Berlin, 2016, P3

16004 | Netzelmann, Udo; Walle, Günter; Lugin, Sergey; Ehlen, Andreas; Bessert, Steffen; Valeske, Bernd

**Induction thermography: principle, applications and first steps towards standardization**

Quantitative InfraRed Thermography Journal, Vol. 13, Issue 2, 2016, p. 170-181

<http://dx.doi.org/10.1080/17686733.2016.1145842>

16005 | Netzelmann, Udo; Walle, Günter; Ehlen, Andreas; Lugin, Sergey; Finckbohner, Michael; Bessert, Steffen

**NDT of Railway Components Using Induction Thermography**

Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 42, AIP Conference Proceedings 1706, 2016, p. 150001-8

16006 | Valeske, Bernd

**Report of the German OEM Working Group Adhesive Bonding and Fraunhofer IZFP: Non-destructive testing of adhesive bonds in automobile production – potential, possibilities, constraints**

Joining in Car Body Engineering 2016, ed. by Automotive Circle International, 2016, p. 179-185

16007 | Summa, Jannik; Schwarz; Michael; Bernarding, Simon; Herrmann, Hans-Georg

**Thermography Assisted Characterisation of Production-Induced Defects in CFRP and their Influence on the Mechanical Behaviour**

2nd International Conference Euro Hybrid – Materials and Structures, ed. by the Institute of Materials, Kaiserslautern, 2016, p. 201-206

16008 | Schwarz; Michael; Summa, Jannik; Herrmann, Hans-Georg

**Using Nondestructive Testing Methods to Characterise Production-Induced Defects in a Metal CFRP Hybrid Structure**

2nd International Conference Euro Hybrid – Materials and Structures, ed. by the Institute of Materials, Kaiserslautern, 2016, p. 207-210

16009 | Quirin, Steven; Neuhaus, Selina; Herrmann, Hans-Georg

**Testing Ultrasonic SH Waves To Estimate the Quality of Adhesive Bonds in Small Hybrid Structures**

2nd International Conference Euro Hybrid - Materials and Structures, ed. by the Institute of Materials, Kaiserslautern, 2016, p. 216-223

16010 | Hübschen, Gerhard; Altpeter, Iris; Tschuncky, Ralf; Herrmann, Hans-Georg (Eds.)

**Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods**, Woodhead Publishing / Elsevier, Amsterdam, 2016

16011 | Hanke, Randolph; Fuchs, Theobald; Salamon, Michael; Zabler, Simon

**X-Ray microtomography for materials characterization**

Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods, ed. by Hübschen, Gerhard et al., 2016, p. 45-77

16012 | Sklarczyk, Christoph

**Microwave, millimeter wave and terahertz (MM) techniques for materials characterization**

Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods, ed. by Hübschen, Gerhard et al., 2016, p. 125-157

16013 | Hübschen, Gerhard

**Ultrasonic techniques for materials characterization**

Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods, ed. by Hübschen, Gerhard et al., 2016, p. 177-220

16014 | Altpeter, Iris; Tschuncky, Ralf; Szielasko, Klaus

**Electromagnetic techniques for materials characterization**

Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods, ed. by Hübschen, Gerhard et al., 2016, p. 225-259

16015 | Tschuncky, Ralf; Szielasko, Klaus; Altpeter, Iris

**Hybrid methods for materials characterization**

Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods, ed. by Hübschen, Gerhard et al., 2016, p. 263-291

16016 | Edelmann, Jonas

**Ansätze zur Optimierung der Versuchsdurchführung bei der akustischen Resonanzanalyse mit dem Ziel der verbesserten Prüfauswertung**

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Studiengang Maschinenbau (Bachelorarbeit), 2016

16017 | Groß, Nadja

**Erweiterung einer bestehenden Ultraschallmethode zur zerstörungsfreien Bestimmung von Vorspannkräften für die Anwendung an unbekanntem Schraubenverbindungen**

Universität des Saarlandes, Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät III, Fachrichtung Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Bachelorarbeit), 2016

16018 | Zins, Werner

**SPS Konzept zur Steuerung eines Prüfroboters und eines zerstörungsfreien Prüfverfahren-Datenaufnahmesystems am Beispiel Thermographie**

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Studiengang Elektrotechnik (Bachelorarbeit), 2016

16019 | Youssef, Sargon; Veile, Ines; Szielasko, Klaus; Tschuncky, Ralf; Niese, Frank; Weikert-Müller, Miriam

**Hybride Materialcharakterisierung von Stahlblech in Echtzeit**

Blechnet, Ausgabe 005/2016, 5 Seiten

16020 | Rubert, Kimberly

**Untersuchung der Frequenzabhängigkeit bei der Bildaufnahme mit einer akustischen Kamera**

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Studiengang Erneuerbare Energien / Energiesystemtechnik (Bachelorarbeit), 2016

16021 | Becker, Michael; Groß, Nadja; Herzer, Rüdiger

**Determination of preload in bolts by ultrasound without referencing in unloaded state**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, Tu.3.C.5

16022 | Herrmann, Hans-Georg; Schwarz, Michael; Summa, Jannik

**New approaches in nondestructive characterisation of the interface in metal-CFRP hybrid structures**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, WE.2.I.5

16023 | Rabe, Ute; Netzelmann, Udo; Hirsekorn, Sigrun

**In-situ ultrasonic testing of polymeric adhesive bonds exposed to complex mechanical and environmental loads**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, Th.4.B.2

16024 | Kurz, Jochen Horst; Rabe, Ute

**Porosity determination of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) in aviation applications using ultrasound without a back wall echo**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, We.2.A.2

16025 | Schorr, Christian; Dörr, Laura; Maisl, Michael

**Advanced computed laminography using a priori information**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, We.4.B.1

16026 | Walle, Günter; Sklarczyk, Christoph; Netzelmann, Udo

**Non-destructive testing of green sanitary ceramics by an active thermographic technique**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, Th.4.D.5

16027 | Rothbart, Nick; Maierhofer, Christiane; Goldammer, Matthias; Hohlstein, Felix; Koch, Joachim; Kryukov, Igor; Mahler, Guido; Stotter, Bernhard; Walle, Günter; Oswald-Tranta, Beate; Sengebusch, Martin

**A Round Robin Test on Flash Thermography**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, We.3.D.4

16028 | Rieder, Hans; Spies, Martin; Bamberg, Joachim; Henkel, Benjamin

**On- and offline ultrasonic inspection of additively manufactured components**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, Th.2.E.1

16029 | Spies, Martin; Rieder, Hans; Rauhut, Markus; Kreier, Peter

**Surface, near-surface and volume inspection of cast components using complementary NDT approaches**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, Fr.2.B.4

16030 | Spies, Martin

**Modeling and simulation of ultrasonic testing – a practical guide by the Sub-Committee, Modeling and Imaging’ within the DGZfP Committee of Experts on UT**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, Tu.1.H.1

16031 | Pandala, Abishek; Balasubramaniam, Krishnan; Spies, Martin

**Simulation of ultrasonic inspection of complex components using a 3D-FDTD-approach**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, Th.2.H.4

16032 | Knam, Andreas; Schwender, Thomas; Kappes, Wolfgang; Baumgarten, Rolf

**RAWIS: The Next Generation of Automated Inspection Systems for Railway Wheels**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, Tu.2.A.4

16033 | Bastuck, Matthias; Herrmann, Hans-Georg; Wolter, Bernd; Böttger, David; Zinn, Peter-Christian

**AkuProLas: Acoustic inline process monitoring for laser welding applications**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, Th.1.B.3

16034 | Gabi, Yasmine; Wolter, Bernd; Kern, Rolf; Conrad, Christian; Gerbershagen, Andreas

**Simulation of electromagnetic inspection techniques using FEM analysis**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, We.2.H.2

16035 | Manavipour, Maryam; Sklarczyk, Christoph; Szielasko, Klaus; Kurz, Jochen Horst; Boller, Christian

**Detection of hydrothermal aging in Cured-In-Place Pipes (CIPP) based on microwave system**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, Mo.2.E.1

16036 | Kurz, Jochen Horst; Manavipour, Maryam; Kopp, Melanie; Bruche, Dietmar; Pudovikov, Sergey; Tschuncky, Ralf; Szielasko, Klaus

**NDT-based assessment of shrinkages and dross in heavy nodular cast iron components of wind energy turbines**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, We.4.D.3

16037 | Manavipour, Maryam; Sklarczyk, Christoph; Szielasko, Klaus

**Monitoring of drying of cement screed with the help of ultra-wideband microwaves and air-coupled antennas (Poster)**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, P105

16038 | Rabung, Madalina; Kopp, Melanie; Tschuncky, Ralf; Kuhn, Bernd; Uchimoto; Tetsuya

**Nondestructive characterization of ageing phenomena in heat resistant steels by means of micromagnetic techniques**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, Tu.2.C.3

16039 | Rabung, Madalina; Kopp, Melanie; Szielasko, Klaus; Sheikh Amiri, Meisam

**Time efficient nondestructive characterization of customized magneto-optical thin layers for industrial use (Poster)**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, P38

16040 | Kurz, Jochen Horst; Moryson, Ralf Marcel; Prybyla, Davy; Chassard, Carsten; Wundsam, Timo; Exner, Jan-Philipp

**CURe MODERN – French-German infrastructure inspection, urban and regional planning (Poster)**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, P170

16041 | Szielasko, Klaus; Gupta, Bhaawan; Kurz, Jochen Horst

**Magnetic susceptibility imaging as a new approach towards characterization and testing of para- and diamagnetic materials**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, Th.2.I.2

16042 | Youssef, Sargon; Szielasko, Klaus; Surkov, Alexander; Gupta, Bhaawan; Youssef, Amir

**Surface inspection and remanence imaging with magnetic field distortion measurement**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, Th.2.F.3

16043 | Youssef, Sargon; Szielasko, Klaus; Kurz, Jochen Horst; Tschuncky, Ralf

**Nondestructive testing systems with magnetic flux leakage (MFL) (Poster)**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, P100

16044 | Veile, Ines; Tempel, Peter; Weikert-Müller, Miriam

**To what extent may we accept manufacturing-related microscopic defects in cast steel? (Poster)**

19th World Conference on Nondestructive Testing, DGZfP-Berichtsband 158, Berlin, 2016, P180

16045 | Porsch, Felix

**CT-Automat für das Prüflabor - Ein schnelles Prüfsystem für die Qualitätssicherung**

inspect, Heft 3/2016, S. 56-57

16046 | Maierhofer, Christiane; Rothbart, Nick; Goldammer, Matthias; Hohlstein, Felix; Koch, Joachim; Kryukov, Igor; Mahler, Guido; Stotter, Bernhard; Walle, Günter; Oswald-Tranta, Beate; Sengebusch, Martin

**A round robin test of flash thermography – detectability and quantification of artificial and natural defects in CFRP and metal structures**

QIRT 2016 – International Conference on Quantitative InfraRed Thermography, Gdansk, 2016, p. 076

16047 | Summa, Jannik; Schwarz, Michael; Herrmann, Hans-Georg

**Evaluating the Severity of Defects in a Metal to CFRP Hybrid-Joint with In-situ Passive Thermography Damage Monitoring**

New Trends in Integrity, Reliability and Failure, IRF 2016, 2016, Paper 6243

16048 | Schwarz, Michael; Summa, Jannik; Herrmann, Hans-Georg

**Characterising Metal – CFRP Hybrid Structures by Nondestructive Testing Methods**

New Trends in Integrity, Reliability and Failure, IRF 2016, 2016, Paper 6263

16049 | Thomä, Marco; Wagner, Guntram; Straß, Benjamin; Conrad, Christian; Wolter, Bernd; Benfer, Sigrid; Fürbeth, Wolfram

**Recent developments for ultrasonic-assisted friction stir welding: Joining, testing, corrosion – an overview**

18th Chemnitz Seminar on Materials Engineering – 18. Werkstofftechnisches Kolloquium, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 118, 2016, Art. 012014, 8 Seiten

16050 | Szielasko, Klaus; Youssef, Amir; Sporn, Dieter; Mandel, Karl

**Fingerprint signatures based on nanomagnets as markers in materials for tracing and counterfeit protection**

Journal of Nanoparticle Research, Vol. 18, Nr. 5, 2016, p. 131-136

16051 | Gupta, Bhaawan; Szielasko, Klaus

**Magnetic sensor principle for susceptibility imaging of para- and diamagnetic materials**

Journal of Nondestructive Evaluation, Vol. 35, 2016, p. 41

16052 | Vogelgesang, Jonas; Schorr, Christian

**A Semi-Discrete Landweber–Kaczmarz Method for Cone Beam Tomography and Laminography Exploiting Geometric Prior Information**

Sensing and Imaging, Vol. 17, December, 2016, 20 pages

16053 | Klos, Andreas

**Integrable open source libraries for image processing and analysis of non-destructive testing images**

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Studiengang Biomedizinische Technik (Masterarbeit), 2016

16054 | Rauber, Christof

**Schaltungs- und Firmwareentwicklung für eine energieautarke Plattform zur Langzeit-Materialcharakterisierung**

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Studiengang Informatik/Mechatronik und Sensortechnik (Bachelorarbeit), 2016

16055 | Veile, Ines; Tschuncky, Ralf; Weikert-Müller, Miriam; Bruche, Dietmar; Weber, Fabian; Kopp, Melanie; Szielasko, Klaus

**Nondestructive materials characterization and testing of casting materials**

NDT 2016 Conference, ed. by the British Institute of Nondestructive Testing, Northampton, 2016, 4A1

16056 | Ehlen, Andreas; Netzelmann, Udo; Lugin, Sergey; Finckbohner, Michael; Valeske, Bernd; Bessert, Steffen

**Automated NDT of railway wheels using induction thermography**

NDT 2016 Conference, ed. by the British Institute of Nondestructive Testing, Northampton, 2016, 4A2

16057 | Spies, Martin; Rieder, Hans; Bamberg, Joachim; Henkel, Benjamin

**On- and offline ultrasonic characterization and inspection of additively manufactured components**

NDT 2016 Conference, ed. by the British Institute of Nondestructive Testing, Northampton, 2016, 4A3

16058 | Schorr, Christian; Fritsch, Thomas

**Röntgenanalyse der Pyxis von Bierfeld, Gemeinde Nonnweiler, Flur »Vor dem Erker«, Fundstelle 5**

Bulletin de la Société Préhistorique Luxembourgeoise, 36-37, 2014-2015, 2016, p. 219-224

16059 | Berger, Dietrich; Brabandt, Daniel; Bakir, Can; Hornung, Tim; Lanza, Gisela; Summa, Jannik; Schwarz, Michael; Herrmann, Hans-Georg; Pohl, Markus; Stommel, Markus

**Effects of defects in series production of hybrid CFRP lightweight components – detection and evaluation of quality critical characteristics**

Measurement, Journal of the International Measurement Confederation (IMEKO), Vol. 95, 2016, online verfügbar, p. 389–394

16060 | Schladitz, Katja; Büter, Andreas; Godehardt, Michael; Wirjadi, Oliver; Fleckenstein, Johanna; Gerster, Tobias; Hassler, Ulf; Jaschek, Katrin; Maisl, Michael; Maisl, Ute; Mohr, Stefan; Netzelmann, Udo; Potyra, Tobias; Steinhauser, Martin O.

**Non-destructive characterization of fiber orientation in reinforced SMC as input for simulation based design**

Composite Structures, Vol. 160, 2016, online verfügbar, p. 195–203

16061 | Conrad, Christian; Kern, Rolf; Wolter, Bernd

**Testing of PHS CarBodyParts: process integrated, reliable and in a matter of seconds!**

4th PHS Suppliers Forum, Grundig Akademie, Nürnberg, 2016, p. 156-171

16062 | Conrad, Christian

**PHS Process Monitoring & Product Quality Control with 3MA**

4th PHS Suppliers Forum, Grundig Akademie, Nürnberg, 2016, p. 219-226

16063 | Maisl, Michael; Scholl, Hagen; Schorr, Christian; Seemann, Ralf

**Reconstruction of Fluid Flows in Porous Media using Geometric a Prio Information**

Review of Scientific Instruments, Vol. 87, Nr. 12, 2016, p. 126105 – 3

16064 | Movahed, Ali

**Testing and investigation of possible applications in the field of nondestructive testing by means of an acoustic camera**

Hochschule Kaiserslautern (Masterarbeit), 2016, vertraulich

16065 | Veile, Ines; Tschuncky, Ralf; Bruche, Dietmar; Kopp, Melanie; Szielasko, Klaus  
**Zerstörungsfreie Materialcharakterisierung und Fehlerprüfung von Gusskomponenten**  
Die Giesserei, Jhrg. 103, Nr. 11, 2016, S. 32-35

16066 | Hanke, Randolph; Bessert, Steffen; Niese, Frank; Schwender, Thomas  
**Future research and development fields for railway inspection**  
18th International Wheelset Congress, ed. by Springer, Karlheinz, Chengdu, Session 8, 235

16067 | Tikamchue Tchamou, Wilfred  
**Implementierung eines kamera- und beschleunigungsbasierten Sensor-Tracking-Verfahrens für Magnetic Field Distortion- (MFD-) Messungen an großen Prüfobjekten**  
Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Studiengang Elektrotechnik (Masterarbeit), 2016

16068 | Bastuck, Matthias  
**In-Situ-Überwachung von Laserschweißprozessen mittels höherfrequenter Schallemission**  
Universität des Saarlandes, Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät III, Chemie, Pharmazie, Bio- und Werkstoffwissenschaften (Dissertation), 2016

16069 | Böttger, David  
**Vorentwicklung zur einseitigen berührungslosen und zerstörungsfreien Prüfung von Werkstoffen, durch Optimierung der piezoelektrischen Signalanregung von Luftschallwandlereinheiten mittels optischer Messverfahren**  
Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Studiengang Informatik/Mechatronik und Sensortechnik (Masterarbeit), 2016

16070 | Presti, Jaqueline  
**Hochtemperatur Ultraschall-Wandler für den Dauerbetrieb ohne aktive Kühlung**  
Fachhochschule Lübeck, Fachbereich Angewandte Naturwissenschaft, Studiengang Hörakustik (Bachelorarbeit), 2016

16071 | Kirchhof, Jan; Krieg, Fabian; Römer, Florian; Ihlow, Alexander; Osman, Ahmad; Del Gado, Giovanni  
**Speeding up 3D SAFT for ultrasonic NDT by sparse deconvolution**  
2016 IEEE International Ultrasonics Symposium, DOI: 10.1109/ULTSYM.2016.7728434

16072 | Schorr, Christian; Dörr, Laura; Maisl, Michael; Schuster, Thomas  
**Registration of a priori information for computed laminography**  
NDT&E International, Vol. 86, 2016, online verfügbar  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2016.12.005>

16073 | Ehlen, Andreas, Netzelmann, Udo; Bessert, Steffen; Lugin, Sergey; Finckbohner Michael; Walle, Günter

**Oberflächenprüfung an Eisenbahnrädern und -schiene mit induktiver Thermographie – eine innovative Prüflösung**

Ingenieurspiegel, Ausgabe 2, 2016, S.44-46

16074 | Ehlen, Andreas

**Automatisierte Oberflächenrissprüfung mittels induktiv angeregter Thermografie an komplex geformten Geometrien von Neurädern für Hochgeschwindigkeitszüge**

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, (Masterarbeit), 2016

16075 | Rabe Ute; Veile, Ines; Herrmann, Hans-Georg; Kurz, Jochen

**Bestimmung der Porosität von Faserverbundwerkstoffen durch spektrale und statistische Auswertung von Ultraschallsignalen**

DAGA 2016, Postervortrag, 2016,

[http://www.daga2016.de/fileadmin/uploads/2016.daga-tagung.de/Programm/AEnderungsbroschuere\\_DAGA2016.pdf](http://www.daga2016.de/fileadmin/uploads/2016.daga-tagung.de/Programm/AEnderungsbroschuere_DAGA2016.pdf)

16076 | Herrmann, Hans-Georg; Niese, Frank; Jäckel, Patrick; Pudovikov, Sergey; Rabe, Ute

**Neue Trends für zerstörungsfreie Zustandsüberwachung und Monitoring von Energie- und Industrie-Anlagen**

TÜV SÜD Tagung Zustandsbewertung in der Energie- und Anlagentechnik, Themenschwerpunkt »Condition Monitoring«, 2016, Vortrag 2

16077 | Oswald, Jan

**Entwicklung einer erweiterbaren C++-Klassenbibliothek zur Ansteuerung eines Ultraschallprüfsystems**

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Studiengang Elektrotechnik (Bachelorarbeit), 2016

16078 | Müller, Tobias

**Entwicklung einer Benutzerschnittstelle für die Bedienung von Prüfhardware zur Lichtmastenprüfung**

Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Studiengang Elektrotechnik (Bachelorarbeit), 2016

---

## 2016 angemeldete Patente

---

Böttger, David; Straß, Benjamin; Wolter, Bernd

**Verfahren, Vorrichtung und Verwendung der Vorrichtung zur Ansteuerung eines elektroakustischen Ultraschallwandlers**

Jäckel, Patrick; Niese, Frank; Rabe, Ute

**Verfahren zur Positionsbestimmung der Spitze einer Elektro-roofen-Elektrode, insbesondere einer Söderberg-Elektrode**

Waschkies, Thomas; Reuther, Andrea; Licht, Rudolf; Weikert-Müller, Miriam; Feikus, Friederike; Badowski, Mark; Fischer, Sebastian; Hahn-José, Thomas

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

Jäckel, Patrick

**Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung einer dünnwandigen Struktur auf Basis einer tomographischen Ultraschallwellenanalyse**

Osman, Ahmad; Valeske, Bernd; Hanke, Randolph; Bähr, Werner; Gemmeke, Hartmut; Rüter, Nicole; Zapf, Michael; Hopp, Torsten  
**Apparatus and method for inspecting an object using ultrasonic waves in the field of material testing**

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

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

Theado, Hendrik; Stopp, Philipp

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

Maisl, Michael; Herrmann, Hans-Georg; Moryson, Ralf; Sklarczyk, Christoph; Herrmann de Valliere, Esther

**Vorrichtung und Verfahren zur entfernungs aufgelösten Bestimmung eines physikalischen Parameters in einer Messumgebung**

---

## 2016 erteilte Patente

---

Szielasko, Klaus; Sheikh Amiri, Meisam; Herrmann, Hans-Georg; Tschuncky, Ralf

**Sensoranordnung zur berührungslosen und zerstörungsfreien Charakterisierung von Proben oder Bauteilen aus nichtferromagnetischen Werkstoffen**

Wolter, Bernd; Bastuck, Matthias

**Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen eines pressgehärteten Bauteils**

Kern, Rolf; Kopp, Harald; Conrad, Christian; Wolter, Bernd

**Verfahren, Vorrichtung und Verwendung der Vorrichtung zur zerstörungsfreien quantitativen Bestimmung von Schichtdicken eines Schichten aufweisenden Körpers**

Niese, Frank

**Elektromagnetisches Ultraschall (EMUS)-Wandlersystem sowie ein Verfahren zur Erzeugung linear polarisierter Transversalwellen mit variabel vorgegebbarer Polarisationsrichtung innerhalb eines Prüfkörpers**

---

## Postadresse

---

Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP

Campus E3 1  
66123 Saarbrücken

Telefon: +49 681 9302 0

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

---

## Anfahrt

---

### Auto

Aus Richtung Koblenz, Trier Autobahn A1/A8 bis Kreuz »Göttelborner Höhe« (1), von dort zum Autobahndreieck Friedrichsthal (2), dort auf die A623 bis Stadtrand Saarbrücken, dort der linken Abzweigung »Rodenhof« (3) folgen, aber auf der Autobahn bleiben bis sie in innerstädtische Straßen übergeht. Nach etwa 1,5 km Abfahrt links »Meerwiesertalweg« (4) bis zur Universität, an der Universität vorbei bis Ausfahrt Universität-Ost (5), am Ende der Ausfahrt nach links, und nach etwa 500 Metern nach rechts zum Institut (6).

Aus Richtung Mannheim, Kaiserslautern Autobahn A6 bis Ausfahrt St. Ingbert-West (7), Hinweisschildern »Universität« folgen, bis Ausfahrt Universität-Ost (nach etwa 5 km, rechte Abzweigung). Ab hier ist das Fraunhofer IZFP ausgeschildert, die Zufahrt befindet sich ungefähr 500 m weiter auf der rechten Seite.

### Flugzeug

Ab Saarbrücken Flughafen nur mit Taxi; etwa 20 – 30 Minuten

### Bahn

ICE, IC und EC von Frankfurt oder Stuttgart kommend (meist via Mannheim); Schnell- bzw. Eilzüge aus Richtung Koblenz via Trier bis Saarbrücken Hauptbahnhof. Von dort mit Taxi bis zum Institut (ca. 15 min). Alternativ per Bus:

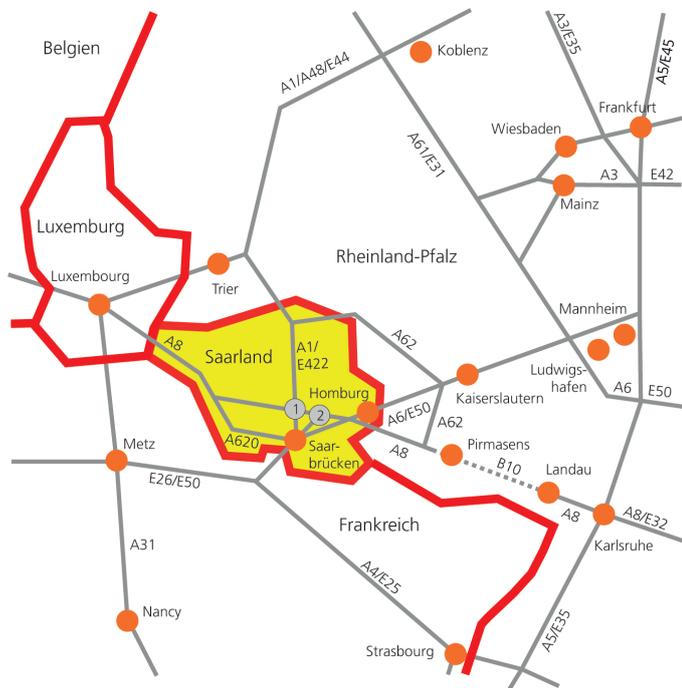
Buslinien 102 und 124, direkt vor dem Bahnhof an der Europa-Galerie (bis Universität, Haltestelle Busterminal, unmittelbar vor unserem Haus);

Buslinie 109 ab Rathaus (mit Saarbahn ab Bahnhofsvorplatz bis Haltestelle Johanneskirche, von dort 100 Meter zu Fuß bis Rathaus), ebenfalls bis Haltestelle Busterminal;

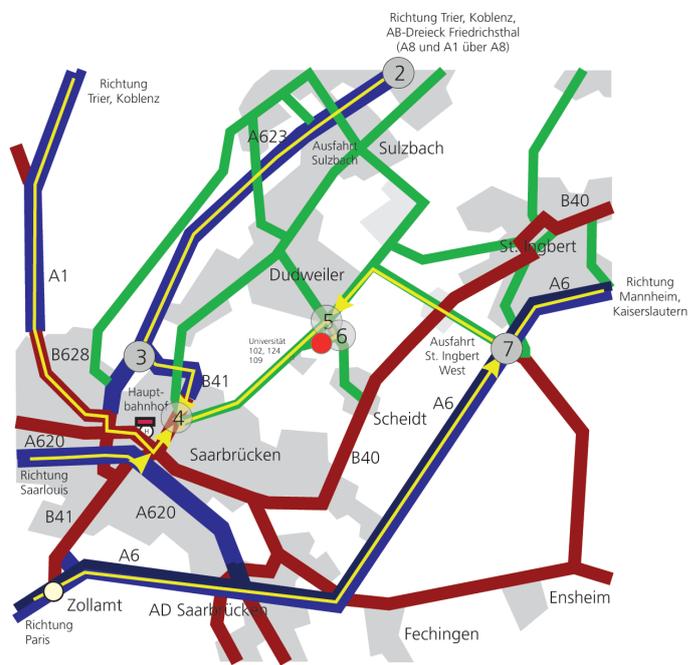
während der Vorlesungszeit der Universität fährt auch die Buslinie 111 (wie Linie 109 ab Rathaus) bis zum Campus



Fraunhofer IZFP

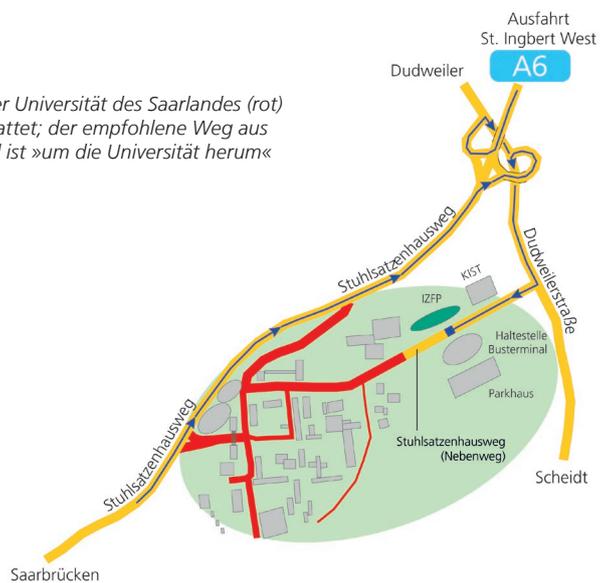


Karte Großraum Saarland und Umgebung



Karte Saarbrücken und Umgebung

Die Zufahrt über den Campus der Universität des Saarlandes (rot) ist nur mit Einfahrplaketten gestattet; der empfohlene Weg aus Richtung Saarbrücken kommend ist »um die Universität herum« (blaue Pfeile)



Karte Universität des Saarlandes und Umgebung

## 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

## Institutsleitung

Prof. Dr.-Ing. Randolph Hanke  
(Geschäftsführender Institutsleiter)

## Presse und Öffentlichkeitsarbeit

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

## Redaktionsteam

Dip.-Übers. Sabine Poitevin-Burbes  
Roger Pfau

## Wissenschaftliche Supervision

PD Dr. rer.nat. habil. Martin Spies

## Layout, Satz, Bildverarbeitung

Roger Pfau

## Druck

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB  
Fraunhofer-Verlag

## Bildquellen

© Cover-Hintergrund 3dkombinat - Fotolia  
Seite 5 © Tom Gundelwein  
Seite 12 (Portrait Prof. Hanke) © Foto Glasow  
Seiten 12 (alle Portraits außer Prof. Hanke und Dr. Szielasko),  
23, 35, 43, 48, 51, 64, 67 © Uwe Bellhäuser  
Seiten 12 (Portrait Dr. Szielasko), 27, 61, 77 © Klaus Szielasko  
Seite 13 © industrieblick - Fotolia  
Seite 14, rechtes Bild © DGZfP  
Seite 15, linkes Bild © Staatskanzlei / PF  
Seite 17, linkes Bild © Fraunhofer-Vision  
Seite 18, rechtes Bild © Marta Krajinovic / EFB  
Seite 24 © PhotoSG - Fotolia  
Seite 32 © everythingpossible - Fotolia  
Seite 40 © Nataliya Hora - Fotolia  
Seite 57 © Rosen Germany GmbH  
Seite 58 © chungking - Fotolia  
Seite 71, rechtes Bild © BauConsulting / Dr. Andrei Walther  
Seite 74 © Thaut Images - Fotolia  
Seite 78 © Tom Gundelwein

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

Abdruck und Vervielfältigung jeder Art nur mit Genehmigung des Herausgebers

© 2017 Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

Dokumentenummer izfp17.03.1.1.de