



# JAHRESTAGUNG 2019

## *Zerstörungsfreie Materialprüfung*

- Kurzfassungen der Vorträge und Posterbeiträge
- Ausstellerplan und -profile



# Friedrichshafen

27. – 29. Mai 2019

ZFP IN FORSCHUNG, ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG

# ÜBERSICHT

Montag, 27. Mai 2019

09:00 – 11:00

**Eröffnungsveranstaltung**

11:30 – 12:30

**Mo.1.A**

**Vorträge der Preisträger**

*A. Erhard, D. Treppmann*

13:30 – 14:50

**Mo.2.A**

*Seite 12*

**Materialcharakterisierung**

*C. Boller, V. Trappe*

15:10 – 16:50

**Mo.3.A**

*Seite 25*

**Bahn**

*J. Kurz, T. Müller*

17:00 – 18:00

**Mo.4.A**

*Seite 124*

**Poster mit Kurzpräsentation**

*A. Erhard*

18:30 – 21:30

Poster- & Ausstellerabend mit Prämierung

Dienstag, 28. Mai 2019

08:30 – 10:00

**Di.1.A**

*Seite 40*

**Phased Array**

*S. Dugan, T. Heckel*

10:30 – 12:10

**Di.2.A**

*Seite 54*

**Thermographie**

*P. Blaudszun, F. Jonietz*

13:00 – 14:00

**Di.3.A**

*Seite 70*

**Strahlenschutz**

*U. Cohrs, A. Hetterich*

14:30 – 17:00

**Mitgliederversammlung der DGZfP**

20:00 – 24:00

Konferenzabend im Dornier Museum

Mittwoch, 29. Mai 2019

08:30 – 09:50

**Mi.1.A**

*Seite 80*

**UT – Bildgebende Verfahren**

*J. Büchler, H. Rieder*

10:20 – 11:20

**Mi.2.A**

*Seite 93*

**Algorithmen/Simulation**

*D. Algernon, M. Spies*

11:30 – 12:30

**Mi.3.A**

*Seite 104*

**Automotive**

*D. Büchel, M. Gierling*

13:00 – 14:00

**Mi.4.A**

*Seite 114*

**ZfP 4.0**

*S. Kasperl, C. Pick*

14:00

Schlusswort

**Mo.2.B****Verbundwerkstoffe***H.-G. Herrmann, W. Kollmann***Mo.3.B****Mikrowellen/Terahertz***J. Hinken, C. Stumm***Mo.4.B****Poster mit Kurzpräsentation***W. Schmid***Mo.2.C****Schallemissionsprüfung***G. Lackner, H. Marihart***Mo.3.C****Kulturgüter***T. Becker, C. Metz***Mo.4.C****Poster mit Kurzpräsentation***G. Heck***Di.1.B****Additive Fertigung – Röntgenverfahren***F. Herold, T. Lüthi***Di.2.B****Reliability***M. Bertovic, R. Holstein***Di.3.B****Additive Fertigung***J. Bamberg, M. Spies***Di.1.C****Normen und Regelwerke***G. Aufricht, R. Klieber***Di.2.C****Oberflächenverfahren***P. Fisch, J. Pielmeier***Di.3.C****Luftfahrt***C. Bockenheimer, C. Dürager***Mi.1.B****Zustandsüberwachung***M. Scherrer, L. Schubert***Mi.2.B****Wirbelstromverfahren***J. Maier, G. Mook***Mi.3.B****Zustandsüberwachung mit Schallemission***A.J. Brunner, M. Sause***Mi.4.B****Ultraschall – Anwendungen***M. Goldammer, P. Weber***Mi.1.C****Bauwesen***S. Feistkorn, R. Arndt***Mi.2.C****Akkreditierung***G. Idinger, M. Purschke***Mi.3.C****Ausbildung***T. Dür, R. Girardier***Mi.4.C****Faserkunststoffverbunde***H. Höller, M. Kreuzbruck*

Wir danken unseren Sponsoren für die freundliche Unterstützung.

HAUPTSPONSOREN



BMB Gesellschaft für  
Materialprüfung mbH

KARL DEUTSCH Prüf- und  
Messgerätebau GmbH + Co KG

Österreichische Gesellschaft für  
Zerstörungsfreie Prüfung e. V.

Schweizerische Gesellschaft für  
zerstörungsfreie Prüfung



ARGE QS3-Ausbildung

arxes-tolina GmbH

BHGE Inspection Technologies

BIS Inspection Service GmbH



Block  
Materialprüfungsgesellschaft mbH



DEKRA Incos GmbH



DÜRR NDT GmbH & Co. KG



GMA-Werkstoffprüfung GmbH

Helling GmbH



Hillger Ingenieurbüro für Ultraschall-  
prüftechnik



IT-Service Leipzig GmbH



Helmut Klumpf Technische Chemie KG



Magnaflux GmbH



Mittli GmbH & Co KG



NDT-Service GmbH



Olympus Deutschland GmbH



PELZ GmbH & Co. KG



PLR Prüftechnik Linke & Rühle GmbH



Qualitech AG



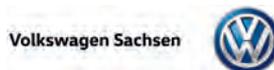
ROSEN Gruppe



Tuboscope Vetco Deutschland GmbH



VOGT Ultrasonics GmbH



Volkswagen Sachsen GmbH



Wilhelm Nosbüsch GmbH



YXLON International GmbH

## SONDERVERANSTALTUNGEN

### Sonntag, 26. Mai 2019

Sitzung der DGZfP-Prüfungsbeauftragten Alfred-Colsman-Saal   Graf-Zeppelin-Haus (GZH)	13:00 – 15:30 Uhr
Sitzung des DGZfP-Fachausschusses Hochschullehrer ZfP Kapitän-Flemming-Zimmer 1 + 2   GZH	15:00 – 17:00 Uhr
Sitzung der DGZfP-Mitgliedergruppe U 35 Kapitän-Lehmann-Zimmer 1 + 2   GZH	16:00 – 17:30 Uhr

### Montag, 27. Mai 2019

Sitzung der DGZfP-Mitgliedergruppe D Kapitän-Lehmann-Zimmer 1 + 2   GZH	12:30 – 13:30 Uhr
Meeting ASNT German Section Besprechungsraum   GZH	14:00 – 15:00 Uhr

### Dienstag, 28. Mai 2019

Sitzung der DGZfP-Mitgliedergruppe B Kapitän-Lehmann-Zimmer 1 + 2   GZH	12:00 – 13:00 Uhr
Sitzung des DGZfP-Fachausschusses Thermographie und Unterausschusses Ausbildung Graf-Soden-Zimmer   GZH	12:00 – 14:00 Uhr
Mitgliederversammlung der DGZfP Hugo-Eckener-Saal   GZH	14:30 – 17:00 Uhr

### Mittwoch, 29. Mai 2019

Sitzung VDA AK ZfP Besprechungsraum   GZH	09:00 – 10:30 Uhr
--	-------------------

## RAHMENPROGRAMM

### Sonntag, 26. Mai 2019

Begrüßungsabend Schiff „MS Graf Zeppelin“, Hafen Friedrichshafen 18:00 Uhr Einstieg, 19:00 Uhr Abfahrt	18:00 – 23:00 Uhr
--	-------------------

### Montag, 27. Mai 2019

Poster- und Ausstellerabend mit Posterprämierung   GZH	18:30 – 21:30 Uhr
--	-------------------

### Dienstag, 28. Mai 2019

Konferenzabend Dornier Museum   <a href="http://www.dorniermuseum.de">www.dorniermuseum.de</a> individueller Museumsrundgang ab 18:30 Uhr, Busshuttle vom GZH ab 18:00 Uhr, letzte Abfahrt 19:00 Uhr	20:00 – 24:00 Uhr Einlass ab 19:30 Uhr
---	---

## Tagungsort

Graf-Zeppelin-Haus  
Olgastr. 20 | 88045 Friedrichshafen | <https://gzh.de>

## Tagungsbüro

26. Mai 2019 12:00 – 17:30 Uhr  
27. Mai 2019 08:00 – 18:00 Uhr  
28. Mai 2019 08:00 – 15:00 Uhr  
29. Mai 2019 08:00 – 14:30 Uhr

## Programmausschuss

F. Ahrens, DGZfP, Berlin  
G. Aufricht, ÖGfZP, Wien  
G. Dobmann, Saarbrücken  
A. Erhard, DGZfP, Berlin  
R. Girardier, SGZP, Dübendorf  
G. Heck, ÖGfZP, Wien  
G. Idinger, ÖGfZP, Wien  
R. Klieber, SGZP, Dübendorf  
M. Kreuzbruck, IKT, Universität Stuttgart  
M. Purschke, DGZfP, Berlin  
W. Schmid, SGZP, Dübendorf  
M. Spies, Process & Pipeline Services – Baker Hughes, a GE company, Stutensee  
D. Treppmann, DGZfP, Berlin

## Ausflugsprogramm

Montag, 27.05.2019, 14:00 – 15:30 Uhr; 4,00 EUR

## Stadtrundgang

Die Tour führt am historischen Schlosssteg vorbei zum Wahrzeichen der Stadt Friedrichshafen, der barocken Schlosskirche. Entlang der schönen Uferpromenade mit dem einzigartigen See- und Alpenpanorama geht es zum Zeppelin Museum. Die Stadtführung endet dort mit einer kurzen Einführung der weltweit größten Ausstellung zur Luftschiffahrt. Museumsbesuch auf eigene Kosten.

Treffpunkt: Graf-Zeppelin-Haus

## GRUSSWORT

Grußwort der DACH-Gesellschaften für Zerstörungsfreie Prüfung

Friedrichshafen, die zweitgrößte Stadt am deutschseitigen Ufer des Bodensees oder wie die Einheimischen sagen: „am schwäbische Meer“, ist Austragungsort der DACH-Jahrestagung 2019.

Das malerische Städtchen mit seinen Museen, viel Kultur und der unbeschreiblichen Aussicht auf die Schweizer Alpen war auch die Wirkungsstätte von bekannten Größen wie Graf Zeppelin, Claude Dornier, Theodor Kober, Graf von Soden-Fraunhofen und Karl Maybach. Auch heute prägen die Luftfahrtindustrie und der Maschinenbau, aber auch angesehene Hochschulen, das Bild von Friedrichshafen und Umgebung – ein ideales Umfeld, das Thema „ZfP in Forschung, Entwicklung und Anwendung“ in Vorträgen und Posterpräsentationen zu vertiefen.

Mit dem unter Denkmalschutz stehenden und von den Friedrichshäflern als ihre „gute Stube“ bezeichneten Graf-Zeppelin-Haus, bietet Friedrichshafen den Teilnehmerinnen und Teilnehmern ein modernes und zweckmäßiges Tagungszentrum.

Vielseitige Gastronomie, gemütliche Hotels und eine gute Verkehrsanbindung an alle DACH-Länder sind garantiert. Wussten Sie übrigens, dass bis April 2017 die kürzeste internationale Flugverbindung mit ca. 8 Minuten Flugzeit von Friedrichshafen über Österreich nach Altenrhein in der Schweiz durchgeführt wurde, also eine sogenannte DACH-Verbindung?

Dem aufgeschlossenen Geist von Friedrichshafen entsprechend sollen sich bei dieser DACH-Jahrestagung alle Bereiche der Wissenschaft, der Forschung und der praktischen Anwendung von ZfP-Verfahren wiederfinden. Erfahrungsberichte und -austausch, Ergebnisse von praktischen Prüfungen, von Handprüfung in der Fertigung bzw. Instandhaltung sind ebenso gefragt wie jene aus der automatisierten, industriellen Prüfung.

Erstmalig wird interessierten Firmen die Möglichkeit zu einer Geräteausstellung gegeben. Höhepunkt wird der Ausstellertag am Montag, den 27. Mai 2019 sein, zu dem auch Tageskarten angeboten werden, die ausschließlich zum Besuch der Ausstellung berechtigen.

Wir freuen uns auf Ihre Teilnahme, interessante Vorträge und Diskussionen und natürlich wieder auf viele persönliche Begegnungen. Wir sind sicher, dass die diesjährige DACH-Jahrestagung erneut zu einem vollen Erfolg im Sinne der gelebten, gemeinsamen Zusammenarbeit wird.

DGZfP Der Vorsitzende Dr. Anton Erhard

ÖGfZP Der Präsident Dr. Gerhard Heck

SGZP Der Präsident Prof. Dr. Werner Schmid



Sehr geehrte Damen und Herren, verehrte Gäste,

ich heiÙe Sie herzlich willkommen zur DACH-Jahrestagung der Schweizerischen, Österreischen und Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung in Friedrichshafen.

Am baden-württembergischen Ufer des Bodensees in der Vierländerregion Deutschland, Österreich, Liechtenstein und der Schweiz gelegen, ist Friedrichshafen, mit heute rund 60.000 Einwohnern, die Geburtsstadt der Zeppeline. Traditionell ist Friedrichshafen eine Industriestadt, in der Menschen arbeiten, denen der Alltag hohe Qualifikationen abfordert. Die Stadt ist Sitz führender Industrieunternehmen wie ZF, Zeppelin oder MTU. Mit dem internationalen Flughafen ist die Wirtschaftsregion Friedrichshafen angebunden an den internationalen Luftverkehr. Auch als Messestandort hat sich Friedrichshafen international einen Namen gemacht. Darüber hinaus kommt auch dem Tourismus eine hohe Bedeutung zu.

Mit Blick auf das imposante Alpenpanorama der österreichischen und Schweizer Berge schlendert es sich wunderbar die weitläufige Uferpromenade entlang. Ganz neue Perspektiven auf die Bodenseelandschaft eröffnen sich allen, die mit dem Zeppelin abheben. Der nahezu lautlose Riese schwebt beinahe schwerelos durch die Lüfte – ein faszinierendes, weltweit einzigartiges Erlebnis. Dramatik und Leichtigkeit bieten auch Kunst, Kultur und Feste. Im ehemaligen Hafenbahnhof an der Seepromenade gelegen, ist das Zeppelin Museum längst zur ersten Adresse für technisch Interessierte und Kunstliebhaber geworden. Revolutionäre Flugkonstruktionen in authentischer Umgebung lassen sich auch im Dornier Museum am Flughafen bewundern.

Der Bodensee prägt das Leben in der Stadt. Die Licht- und Wetterstimmungen zeichnen unterschiedlichste Nuancen auf sein Gesicht. Im Sommer ein belebtes Wassersportparadies, gewinnt der See im Winter seine Stille zurück.

Ich wünsche Ihnen interessante Vorträge und Diskussionen und freue mich, wenn Sie Gelegenheit haben, die besondere Atmosphäre des Bodensees und die Gastfreundlichkeit der Menschen kennenzulernen.

Andreas Brand

Oberbürgermeister der Stadt Friedrichshafen und Schirmherr der DACH-Jahrestagung 2019

### **Der Zeppelin NT:**

#### **Was macht ihn so speziell und wie wird er betrieben?**

Hans Paul Ströhle

Leiter Abteilung Passagierservice/Luftschiffkapitän und Zeppelinkapitän a. D.,  
Deutsche Zeppelin-Reederei, Friedrichshafen

Die Stadt Friedrichshafen ist nicht nur die Geburtsstätte der Zeppelin-Luftschiffe.

Graf Zeppelin, der selbst kein Ingenieur war, hatte die Gabe, mit seinem Enthusiasmus hoch qualifizierte Menschen für seine Idee und seine Unternehmung zu begeistern.

Noch während der Blütezeit der Zeppeline entstanden so aus der Entwicklung und dem Bau der Zeppelin-Luftschiffe weltbekannte Unternehmen mit einer Vielzahl von technischen Innovationen, die noch heute global erfolgreich sind. Die ZF-AG, die Zeppelin Baumaschinen GmbH, Namen wie Dornier, MTU aber auch Rolls Royce Power Systems, eine stattliche Zahl größerer und kleinerer Zulieferer der Raumfahrtindustrie usw. gingen direkt oder indirekt aus der ZEPPELIN-Idee hervor.

Woher kam die Faszination für die Zeppeline der Vorkriegszeit? Wie wurden diese Giganten gebaut, was war ihr Zweck und weshalb verschwanden sie noch vor dem zweiten Weltkrieg auf einmal?

Was für eine Bedeutung stellen dem gegenüber die modernen Zeppeline unserer Tage dar? Wie werden sie gebaut, wie werden sie betrieben? Was ist ihr Zweck?

Wie schafft der vergleichsweise kleine Zeppelin NT es auch heute noch, in unserer von Angeboten, Geschwindigkeit und Innovationen gesättigten Welt, den einzelnen Betrachter und Fluggast zu begeistern und letzterem ein einmaliges Erlebnis zu bieten, das einzigartig in Erinnerung bleibt?

Hans Paul Ströhle wird uns das anhand einiger Bilder und erlebten Erzählungen schildern.

## KURZFASSUNGEN DER VORTRÄGE UND POSTER

---

## Zerstörungsfreie Charakterisierung von Dichtungsringen in metallischen Filtergehäusen mittels umlaufender Ultraschallwellen

Y. Bernhardt<sup>1</sup>, I. Solodov<sup>1</sup>, J. Rittmann<sup>1</sup>, M. Kreuzbruck<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IKT, Universität Stuttgart

Dichtungsringe können aus verschiedenen elastomeren Werkstoffen hergestellt werden. Für O-Ringe wird typischerweise auf Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) oder Hydrierter Acrylnitrilbutadien-Kautschuk (HNBR) zurückgegriffen. Oftmals werden die Ringe durch einen hohen Rußanteil schwarz eingefärbt und sind optisch nicht voneinander zu unterscheiden. Allerdings weisen die Werkstoffe verschiedene chemische Eigenschaften hinsichtlich der Beständigkeit gegenüber Betriebsflüssigkeiten wie Kraftstoffe, Öle oder Hydraulikflüssigkeiten auf.

Es hat sich nun herausgestellt, dass im eingebauten Zustand keine ZfP-Verfahren aus z. B. RT, CT, UT oder TT für eine Charakterisierung der verbauten Dichtringe erfolgreich sind. In diesem Beitrag wird ein akustisches Verfahren zur Unterscheidung von Dichtungsringen vorgestellt, mit dem durch ein geschlossenes, zylinderförmiges Stahlgehäuse, Dichtringe charakterisiert werden können. HNBR und EPDM haben verschiedene, temperaturabhängige E-Modulen und Abschwächungskoeffizienten für Schallwellen. Um zwischen den beiden Dichtungswerkstoffen zu unterscheiden, werden in der Außenwand des Stahlgehäuses, umlaufende Ultraschallwellen angeregt. Durch die Interaktion der Wellen mit den direkt innen an der Blechhaut anliegenden Dichtung, kann auf den Elastomerwerkstoff zurückgeschlossen werden. Bei HNBR- und EPDM-Dichtungsringen ergeben sich jeweils unterschiedliche Abschwächungen und Phasenverschiebungen der wiederaufgenommenen Ultraschallwellen nach einem Umlauf um die Zylinderwand. Die lange Interaktionsstrecke zwischen Schallwelle und Dichtungsring über den gesamten Umfang, sorgt für deutliche Detektierbarkeit, trotz der bei Raumtemperatur ähnlichen E-Moduln beider Werkstoffe. In weiteren Untersuchungen wurde durch die Variation der Umgebungstemperatur die Werkstoffeigenschaft des Dichtungsringes verändert und die Differenzen zwischen den Werkstoffsteifigkeiten vergrößert. Hierdurch konnte wiederum ein größerer Unterschied im Ultraschallsignal festgestellt werden, wodurch die Abhängigkeit des Ultraschallsignals vom Dichtungsringwerkstoff nochmals bestätigt wurde.

## **Neue Analysemöglichkeiten des Barkhausen-Rauschens zur zerstörungsfreien Bestimmung partieller Härteunterschiede**

S. Barteldes<sup>1</sup>, C. Radek<sup>1</sup>, S. Kriegel<sup>1</sup>, W. Holweger<sup>2</sup>

<sup>1</sup> QASS GmbH, Wetter; <sup>2</sup> Schaeffler Technologies AG & Co. KG, Herzogenaurach

Das Prinzip des Barkhausen-Effektes wird seit Jahren zur Prüfung ferromagnetischen Materials hinsichtlich Härte, Eigenspannungen und Schleifbrandprüfung angewendet. Das entstehende induktive Messsignal wird erstmals mittels einer FPGA-basierten Realzeit-Fourier-Transformation betrachtet. Dadurch entsteht eine dreidimensionale Informationsquelle als Spektrallandschaft mit Frequenz-Zeit-Amplitude.

Dies ermöglicht die Anwendung elektronischer Filter und Betrachtung des Energieinhalts der Fourier-Spektren und lässt die Härte auch berührungslos in einem industriellen Arbeitsumfeld zerstörungsfrei und berührungslos messbar werden. Es sind Konzepte zur quantitativen Bestimmung von Härte nach Vickers, Rockwell oder Brinell in der Zusammenarbeit mit konventionellen Härteprüfern mit unserem Verfahren entstanden. Durch das zeitliche Abfahren lassen sich Oberflächenscans realisieren, die die partiellen Härteunterschiede der Bauteiloberfläche darstellen (z. B. Schleifbrandprüfung).

Durch das Rapid-Prototyping-Verfahren werden neue Wege im Sensordesign gegangen und automatisierte Lösungen zur Prüfung angestrebt. Die flexible Einstellung von Spulenspannung und Magnetfeldfrequenz lässt Aussagen aus unterschiedlichen Volumina/Tiefen des Untersuchungswerkstoffs möglich werden.

### **Nachweis der Schädigungsentwicklung in einer Al-Mg-Legierung während des Kriechversuchs mittels Synchrotron-Refraktionstechnik**

B.R. Müller<sup>1</sup>, S. Cabeza<sup>2</sup>, R. Pereyta<sup>3</sup>, R. Fernández<sup>3</sup>, G. González-Doncel<sup>3</sup>, A. Kupsch<sup>1</sup>, G. Bruno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> Institut Laue-Langevin, Grenoble, Frankreich; <sup>3</sup> Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), CSIC, Madrid, Spanien

Um die Gültigkeit der Vorhersagen des aktuellen Solid-State-Transformation-Creep (SSTC)-Modells zu verifizieren, wurde die Schadensakkumulation während eines Kriechversuchs an einer Al-3,85Mg Legierung mittels Synchrotron Röntgenrefraktionstechnik untersucht. Das Röntgenrefraktionsverfahren erfasst die innere spezifische Oberfläche (d.h. Oberfläche pro Volumeneinheit) im durchstrahlten Volumen. Dabei liegt die Detektierbarkeit von Rissen und Poren in der Größenordnung von wenigen Nano- bis Mikrometern. Im Vergleich zu CT-Messungen mit vergleichbarer Sensitivität ist das untersuchte Probenvolumen jedoch um den Faktor 10 größer. Ein signifikanter Anstieg der inneren spezifischen Oberfläche mit zunehmender Kriechzeit wurde beobachtet, was den Nachweis für die Entstehung einer feinkörnigen Substruktur liefert, wie sie im SSTC-Modell vorhergesagt wird. Diese feinkörnige Substruktur wurde auch mittels Rasterelektronenmikroskopie beobachtet.

## **Integration der Röntgencomputertomographie in das PVT Züchtungsverfahren zur Beobachtung des Kristallwachstums**

M. Salamon<sup>1</sup>, M. Arzig<sup>2</sup>, P.J. Wellmann<sup>2</sup>, N. Uhlmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IIS, Fürth; <sup>2</sup> Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

In der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung sowie in der dimensionellen Messtechnik hat sich die Röntgen-Computertomographie mittlerweile zu einem wichtigen Werkzeug etabliert. Die integrierte Bauform moderner CT Systeme und der dadurch vereinfachte Umgang mit den komplexen externen Einflussgrößen wie z.B. Temperatur, Vibration oder Strahlenschutz stützen diese Entwicklung. Vorausgesetzt das zu messende Objekt erfordert keine speziellen Umgebungsbedingungen ist das die einfachste Lösung. In Fällen jedoch, bei denen das zu messende Objekt, bzw. sein temporärer Zustand eine ausgeprägte Peripherie, zur Erzeugung und Erhaltung, erfordert ist die Nutzung einer konventionellen CT Anlage nicht immer möglich. Der komplexe Aufbau eines Physical Vapor Transport (PVT) Züchtungsreaktors stellt so einen Fall dar. Innerhalb eines evakuierten und induktiv auf ca. 2400 °C beheizten Tiegels erfolgt die Abscheidung von Silizium und Kohlenstoff Atomen auf einem Kristallisationskeim. Über einen Zeitraum von ca. 100 – 200 Stunden wächst unter diesen Bedingungen ein Kristall von etwa 20 – 30 mm Höhe und aktuell 150 mm Durchmesser. Die Wachstumskinetik ist dabei stark von dem Temperaturfeld und der Ausprägung der im Tiegel ablaufenden Prozesse abhängig. Die Geometrie des Tiegellinneren sowie der Wachstumsgrenze des Kristalls sind relevante Messgrößen die mittels Computertomographie erstmalig im Prozess erfasst werden können. Im Rahmen der Publikation wird die Integration eines CT Systems in einen PVT Kristallzüchtungsprozess mit 75 mm Kristalldurchmesser vorgestellt und die dabei auftretenden Herausforderungen beschrieben. Darüber hinaus werden Ergebnisse des Verfahrens vorgestellt und die einhergehenden neuen Möglichkeiten zur Überwachung des Wachstums diskutiert.

## Zerstörungsfreie Überwachung der Klebstoffaushärtung mittels unilateraler NMR und luftgekoppelten Ultraschalls

N. Halmen<sup>1</sup>, D. Hoffmann<sup>1</sup>, L. Orf<sup>1</sup>, C. Kugler<sup>1</sup>, E. Kraus<sup>1</sup>, B. Baudrit<sup>1</sup>, T. Hochrein<sup>1</sup>, G. Schober<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

Die zeitabhängige Aushärtung von Klebstoffen ist ein entscheidendes Kriterium für deren Funktionalität. Die Überwachung des Aushärteprozesses erfolgt bis dato meist im Labor z. B. mittels Rheometer, dynamischer Differenzkalorimetrie (DSC) oder mittels Infrarot (IR)-Spektroskopie. Die im Herstellungsprozess von Harzmassen häufig für die Qualitätssicherung eingesetzte dielektrische Analyse (DEA) kann für Klebeverbindungen nicht verwendet werden, da der Sensor mit direktem Kontakt zur Fügeebene eingebracht werden müsste. Alle genannten Verfahren haben den Nachteil, dass sie meistens berührend sind und keine oder nur mit hohem Aufwand eine räumliche Auflösung des Aushärtezustands bieten.

Durch die Möglichkeit, berührungslos zu messen, sind die unilaterale Kernspinresonanz (NMR) und die luftgekoppelte Ultraschallprüfung (LUS) zwei prädestinierte Verfahren, um den Aushärteverlauf idealerweise sogar tiefenaufgelöst zu verfolgen. Die abnehmende molekulare Beweglichkeit während der Aushärtung kann mit der unilateralen NMR anhand veränderter Relaxationszeiten von Kernspins erfasst werden. Bei der Ultraschalltechnik liefern die Schalldämpfung und die Schallgeschwindigkeit materialabhängige Informationen, welche mit dem Aushärtegrad korrelieren.

Die Anwendbarkeit beider Verfahren wurde an verschiedenen zweikomponentigen Klebstoffen erprobt, verglichen und mittels Referenzmessungen validiert.

Aufgrund der guten Korrelation mit den Referenzverfahren konnte die Aushärtung mit beiden zerstörungsfreien Verfahren nachverfolgt werden. Dabei zeigte sich das Potential beider Verfahren zur beschleunigten Qualitätssicherung von Klebeverbindungen.

## Qualitätssicherung in der Hybridguss-Fertigung

F. Sukowski<sup>1</sup>, J. Clausen<sup>2</sup>, F. Leinenbach<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer EZRT, Fürth; <sup>2</sup> Fraunhofer IFAM, Bremen; <sup>3</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

Im Leichtbau kommen zunehmend Hybridbauweisen aus Faserverbundwerkstoffen und Leichtmetallen zum Einsatz, welche Vorteile beider Werkstoffgruppen im Hybridmaterial vereinigen. Die Verbindungen werden meist geklebt oder genietet. Am Fraunhofer IFAM wurde in den letzten Jahren eine neuartige Füge-technologie für verschiedene hybride Verbindungsarten im Druckguss bis zur Produktionsreife entwickelt.

Die Kombination von Druckgusslegierungen und Fasermaterialien oder Drähten eröffnet neue Potenziale für Bauteile in Leichtbauweise, wie sie Anwendungen in verschiedensten Branchen – insbesondere Automotive sowie Luft- und Raumfahrt – zunehmend erfordern. Bisher existierte jedoch noch kein Verfahren, das die zerstörungsfreie Qualitätsprüfung solcher Hybridbauteile zulässt – was wiederum Voraussetzung für eine industrielle Umsetzung ist. Im Rahmen des Projektes »HyQuality – Hybridguss-Fertigung mit standardisierter Qualitätssicherung« haben die Fraunhofer-Institute IIS/EZRT, IZFP und IFAM ihre jeweiligen Fachkompetenzen eingebracht, um gemeinsam entsprechende Methoden hierfür zu entwickeln. Ziel war es dabei eine produktionsintegrierte und zerstörungsfreie Inline-Prüfung zu erarbeiten, die sämtliche Fehlerarten in hybriden Bauteilen sichtbar und somit überprüfbar macht.

Die Prüfverfahren müssen nicht nur zerstörungsfrei, sondern auch prozessbegleitend, d. h. fertigungsintegriert, einsetzbar sein. Um die Kontaktfläche zwischen Faser-, Draht- oder Blechverstärkung und Gussmatrix genau zu erkennen und deren Qualität bewerten zu können, ist zudem eine hochauflösende Technologie erforderlich. Die beiden auf der Röntgentechnik basierenden Verfahren digitale Radioskopie und Computertomographie sowie Ultraschall, Thermographie und Wirbelstromprüfung sind Technologien, die in diesem Zusammenhang untersucht wurden. Um die Eignung der zerstörungsfreien Prüfmethoden zu bestimmen, wurden die im Projekt hergestellten Proben und Bauteile im Nachgang zerstört. Die Ergebnisse der zerstörenden Prüfung dienten dabei als Referenzergebnisse und wurden zum Vergleich mit den Ergebnissen der zerstörungsfreien Prüfung herangezogen.

## **Korrelation zerstörungsfreier Thermografieprüfung und zerstörender Bauteilprüfung mit dem realen Schädigungsbild von komplexen FKV-Metall-Hybridbauteilen**

V. Popow<sup>1</sup>, M. Gurka<sup>1</sup>, J. Müller<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Verbundwerkstoffe, Kaiserslautern

In dieser Arbeit wird die Eignung der Lock-In Thermografie als zerstörungsfreie Prüfmethode zur Qualitätssicherung und zur quantitativen Bestimmung der effektiven Fügefläche einer hybriden Leichtbaustruktur aus thermoplastischem Faser-Kunststoff-Verbund (FKV) und einem metallischen Verbindungselement untersucht. Die Überprüfung solcher Fügestellen nimmt aufgrund zunehmender Anstrengungen im Leichtbau zu. Neben klassischen Fügeverfahren, wie Kleben, Nieten oder Schrauben, ist das Induktions- und Laserfügeverfahren von thermoplastischen FKV eine besonders interessante und gewichtsneutrale Alternative. Dabei hängt die Belastbarkeit der Fügezone primär von der effektiven Fügefläche ab.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden insgesamt 378 Fügezonen von 126 Bauteilen einer aus faserverstärkten Kunststoff (glasfaserverstärkter Polyamid 6, PA6) gefertigten Dachversteifung untersucht, wobei sowohl das Induktions- als auch das Laserfügen eingesetzt wurden um die metallischen Verbindungselemente (Stahl) mit dem Grundträger zu verbinden. Dabei wurden die Fügebereiche zunächst mit der Lock-In Thermografie untersucht und hinsichtlich gefügter Bereiche ausgewertet. Dabei wurden optimale Fügebereiche von schadenbehafteten Fügebereichen unterschieden und weiterhin nach a) nicht aufgeschmolzenen, b) aufgeschmolzenen, aber nicht ineinandergeflossenen und c) verbrannten und porenreichen Bereichen klassifiziert. Anschließend wurden die Bauteile im Rahmen der zerstörenden mechanischen Bauteilprüfung wieder abgelöst, sodass die Fügezone optisch erfasst und eine Klassifizierung der Fügeflächen mit Hilfe von Bildbewertungsalgorithmen durchgeführt werden konnte. Weiterhin wurde die Korrelation der mit Thermografie und mit digitaler Bildaufnahme ermittelten Fügeflächen untersucht und mit den Kennwerten der mechanischen Bauteilprüfung gegenübergestellt.

## Charakterisierung der Grenzflächen einer Metall-CFK-Hybridstruktur mittels EMUS und Thermografie

M. Schwarz<sup>1</sup>, S. Herter<sup>1</sup>, H.-G. Herrmann<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universität des Saarlandes, Saarbrücken; <sup>2</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

In diesem Beitrag werden Metall-CFK-Hybridstrukturen mittels zerstörungsfreien Prüfverfahren charakterisiert. Um den Steifigkeitsunterschied zwischen Aluminium und CFK zu überbrücken, wird eine thermoplastische Zwischenschicht eingebracht. Die dabei entstehenden Grenzflächen werden mit Thermografie und EMUS charakterisiert. Die Thermografie wird angewendet, um die Grenzfläche zwischen CFK und dem Thermoplast zu untersuchen, wohingegen EMUS verwendet wird, um die Grenzfläche zwischen Aluminium und dem Thermoplast zu untersuchen. Die verwendeten Proben werden vor und nach mechanischen Versuchen auf Defekte getestet. Um die Ergebnisse der zFP-Verfahren zu validieren, wird die Computertomografie angewendet.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Thermografie künstlich eingebrachte Defekte, wie Teflonfolien, die Delaminationen simulieren sollen, Falten und Styroporkugeln, in verschiedenen CFK-Lagen detektiert werden können. Ebenso können Delaminationen an der Grenzfläche detektiert werden, die durch eine mechanische Belastung auftreten. Weiterhin wird gezeigt, dass durch die Kombination aus verschiedenen Anregungsmethoden der Thermografie die Detektierbarkeit von Defekten gesteigert wird.

Mithilfe von EMUS kann die Qualität der Anbindung des Thermoplasts an das Aluminium charakterisiert werden. Durch die Ergebnisse wird gezeigt, dass kleinste Schädigungen, die durch mechanische Belastungen auftreten, durch EMUS detektiert werden können.

Kombiniert man die Ergebnisse aus Thermografie und EMUS, so wird ersichtlich, dass die Schädigungen der beiden Grenzflächen unabhängig voneinander auftreten. So kann es sein, dass die Grenzfläche zwischen CFK und Thermoplast beschädigt, die Grenzfläche zwischen Aluminium und Thermoplast aber vollkommen intakt ist.

Mittels Computertomografie können die gewonnenen Ergebnisse aus Thermografie und EMUS validiert werden.

Weiteres Potential besteht in der Anwendung weiterer Anregungsmethoden der Thermografie.

## **Kombination von zerstörungsfreien Prüfverfahren zur Verfolgung des Risswachstums während Dauerschwingversuchen an Stahlgussbauteilen**

C. Rauber<sup>1</sup>, I. Veile<sup>1</sup>, R. Tschuncky<sup>1</sup>, K. Szielasko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

Erzeugnisse aus Stahlguss werden in nahezu allen Industriezweigen eingesetzt. Für viele dieser Bauteile führen die während der planmäßigen Nutzungsdauer auftretenden Betriebsbeanspruchungen zu einer maßgeblichen Werkstoffermüdung in hochbeanspruchten Bereichen und bei einer gewichtsoptimierten Auslegung zu einer Begrenzung der Lebensdauer. Bemessungsregeln für die ermüdungsgerechte Auslegung von Stahlgussbauteilen existieren jedoch nicht. Durch den Einsatz von zerstörungsfreien Prüfverfahren (ZFP) können innere Fehler und Anrisse detektiert und der Rissfortschritt aufgezeichnet werden, um entscheidenden Beitrag zur Entwicklung neuer Bemessungs- und Bewertungsvorschriften für ermüdungsbeanspruchte Verbindungen aus Stahlguss zu leisten. Die zerstörungsfreie Prüfung wird zur Qualitätssicherung von Großkomponenten bereits eingesetzt. Eine der aktuellen Herausforderungen besteht darin, lokalisierte, innenliegende Fehler zu bewerten und eine Abschätzung des unter Ermüdungsbeanspruchung auftretenden Risswachstums vorzunehmen. Hierzu gibt es bislang keine abgesicherte Methode. Daher wurden zunächst in Vorversuchen verschiedene zerstörungsfreie Prüfverfahren auf ihre Eignung hin getestet, das Risswachstum während Dauerschwingversuchen zu verfolgen. Entsprechend der Ergebnisse wurde in einem zweiten Schritt die Vielzahl an ZfP-Methoden auf elektromagnetisch angeregten Ultraschall (EMUS), Schallemission (AE) und magnetischen Streufluss (MFL) reduziert. Durch die Anwendung des elektromagnetischen Ultraschalls in Transmission und die magnetische Streuflussmessung wurde der Rissfortschritt detektiert. Durch die Schallemissions-Messung wurde darüber hinaus noch eine grobe Lokalisierung des Risses erzielt. Dieser Ansatz einer hybriden Verfahrenskombination kann zukünftig als Basis einer Monitoring-Lösung zur Rissentstehungs- und Rissfortschrittserkennung dienen.

## **Drahtlose Übertragung von Schallemissionssignalen bei Strukturüberwachung: Diskussion ausgewählter Aspekte**

A.J. Brunner<sup>1</sup>, H. Kühnlicke<sup>2</sup>, M. Oemus<sup>3</sup>, L. Schubert<sup>3</sup>, H. Trattnig<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Empa, Dübendorf, Schweiz; <sup>2</sup> KERT, Kühnlicke Embedded Real Time, Dresden;

<sup>3</sup> Fraunhofer IKTS, Systeme für Zustandsüberwachung, Dresden; <sup>4</sup> Vallen Systeme GmbH, Icking

Die permanente Überwachung von Strukturen mit Schallemission kann wichtige Hinweise auf Schädigungsentwicklung unter Betriebslasten liefern. Dies generiert aber bei Aufzeichnung der Schallemissions-Wellenformen mit einem für Ortung der Signalquellen geeigneten Sensornetzwerk grosse Datenmengen. Werden diese Daten mittels lokaler Sensorknoten erfasst und dann drahtlos auf einen Zentralrechner übertragen, stellen die Datenübertragungsraten kommerziell verfügbarer Systeme eine Einschränkung dar. Der Beitrag diskutiert ausgewählte Aspekte für den Einsatz lokaler Sensorknoten mit drahtloser Signalübertragung für Strukturüberwachung mittels Schallemission.

## Berstdruckvorhersage mittels Schallemissionsanalyse

M. Sause<sup>1</sup>, S. Schmitt<sup>1</sup>, B. Hoeck<sup>2</sup>, A. Monden<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Augsburg; <sup>2</sup> MT Aerospace AG, Augsburg

Druckbehälter stellen seit jeher eine besonders sicherheitskritische Strukturkomponente dar. Zur Qualitätsabnahme solcher Behälter aus faserverstärkten Kunststoffen wurden bereits in der Vergangenheit Indikatoren auf Basis von Schallemissionsmessungen herangezogen. Unter Verwendung neuerer Methoden bieten die aufgezeichneten Daten zusätzlich die Möglichkeit, den Berstdruck des Behälters vorherzusagen. Dieser Beitrag präsentiert hierzu eine Methode, um die lokale Belastung eines faserverstärkten Materials vorherzusagen. Der vorgestellte Ansatz stützt sich auf ein stufenweise ansteigendes Lastprofil, wie es bei Testverfahren von faserverstärkten Druckbehältern üblich ist. Es wird ein künstliches neuronales Netzwerk eingesetzt, um eine Beziehung zwischen zyklisch ausgewerteten Schallemissionskriterien und dem global angelegten Belastungsverhältnis herzustellen. Die verwendete Trainingsdatenbank für dieses neuronale Netzwerk wird auf Basis von Experimenten im Labormaßstab erarbeitet, wie z.B. Zugversuchen, Biegeversuchen, Mode-I und Mode-II Versuchen und Zugscherversuchen. Wir präsentieren die Anwendung dieses neuronalen Netzwerks für die Berstdruckvorhersage von drei kleinen Druckbehältern (560 mm Länge) und zwei großen Druckbehältern (2600 mm Länge). In allen Fällen beträgt die Abweichung zwischen vorhergesagtem und gemessenem Berstdruck weniger als 3,0% bei einer maximalen Prognoseunsicherheit von 9,8%. Darüber hinaus stellen wir eine Segmentierungstechnik vor, mit der die Schallemissionsdaten für Teilvolumina der Gesamtstruktur bewertet werden können. Dies basiert auf einer genauen Ortung der Schallemissionssignale unter Verwendung von künstlichen neuronalen Netzen. Diese lokale Vorhersage ermöglicht die Prognose der lokalen Restbelastbarkeit der Struktur als Funktion der angelegten Last und des Versagensortes. Die Ergebnisse der Schallemissionsmessungen werden zusätzlich mit In-situ Kameraaufnahmen während der Tests, Dehnungsmessungen und Post-Mortem Analyse der Druckbehälter verglichen. In allen Fällen wurde eine gute Übereinstimmung zwischen Vorhersage und tatsächlichem Versagensort gefunden.

## **Anwendung der modalen Schallemissionsanalyse zur Charakterisierung des Degradationsverhaltens dünnwandiger CFK Laminat unter quasi-statischer Zugbelastung**

B. Kelkel<sup>1</sup>, M. Gurka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Verbundwerkstoffe, Kaiserslautern

Die Schallemissionsanalyse (SEA) ermöglicht durch die inline Detektion von faserverbundtypischen Schädigungsereignissen den Informationsgehalt von mechanischen Prüfungen im Zuge der Materialcharakterisierung zu erhöhen und damit ein besseres Verständnis für das komplexe Bruchverhalten von faserverstärkten Kunststoffen zu gewinnen.

In dieser Studie wird das Potential der SEA zur Ermittlung von Kennwerten für die Degradationsanalyse beurteilt. Diese hat die Beschreibung des Materialverhaltens nach dem Versagen einzelner oder mehrerer Schichten zum Ziel. Zu den Kennwerten zählen u. a. die Dichte an Zwischenfaserbrüchen als Funktion der äußeren Belastung sowie die damit verbundene Abnahme in den elastischen Kenngrößen. Um diese Information zu gewinnen wird die modale Schallemissionsanalyse eingesetzt, die bei der Auswertung eine selektive Betrachtung der symmetrischen und antisymmetrischen Wellenmoden berücksichtigt. Dies ermöglicht einen Mehrwert für die Quellenlokalisierung und -identifizierung, der für die zuverlässige Ermittlung von Kennwerten benötigt wird.

Die Validierung der Methode erfolgt an bidirektionalen CFK Laminaten, deren Degradationsverhalten unter quasi-statischer Zugbelastung mittels begleitender Schallemissionsanalyse untersucht wird. Die Sensorkonfiguration ermöglicht dabei eine modenselektive Auswertung sowie eine online Charakterisierung der Wellenausbreitung. Dadurch können Schädigungsereignisse zuverlässig lokalisiert und identifiziert werden als auch Rückschlüsse auf elastische Konstanten in Abhängigkeit der Belastung gezogen werden. Die Validierung des Bruchbildes erfolgt über Zuhilfenahme optischer Kameras, die den Querschnitt der Probe während dem Versuch erfassen.

Die vorgestellte Methode zeigt das Potential der SEA bzgl. der Beschreibung des Degradationsverhaltens auf. Mit der SEA sind über eine modenselektive Auswertung Zwischenfaserbrüche zuverlässig detektier- und lokalisierbar. Über die online Auswertung der Wellengeschwindigkeiten kann zudem die Entwicklung einzelner elastischen Konstanten in Abhängigkeit der Rissdichte abgeschätzt werden.

## Simulation von automatisierten Eisenbahnschienenprüfungen mit Ultraschall

T. Heckel<sup>1</sup>, Y. Wack<sup>1</sup>, G. Mook<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> Otto-von Guericke-Universität, Magdeburg

Bei der automatisierten Prüfung von verlegten Eisenbahnschienen mit Schienenprüfzügen werden große Prüfdatenmengen mit einer komplexen Prüfkopfpanordnung in kurzer Zeit bei hohen Prüfgeschwindigkeiten aufgenommen. Der Typ und der Zustand des Prüfobjektes kann während der Prüfung in schnellem Wechsel streckenabhängig variieren, z. B. unterschiedliche Schientypen oder Abnutzung sowie beim Durchfahren von Weichenstraßen. Der logistische Aufwand diese Prüfung insgesamt durchzuführen ist dabei sehr hoch und eine Wiederholung der Prüfung in einem kurzen Zeitintervall durchzuführen ist nicht möglich.

Es werden während der Prüfdatenaufnahme bereits Datenreduktionsverfahren, Rekonstruktionsverfahren und Online-Parametervariationen eingesetzt, um die Ergebnisdaten zum einen in Ihrer Menge zu begrenzen zum anderen auf die lokalen Geometrie- und Zustandsänderungen des Prüfobjektes Schiene zu reagieren.

Im Regelwerk EN 16729-1 Zerstörungsfreie Prüfung an Schienen im Gleis – Teil 1: Anforderungen an Ultraschallprüfungen und Bewertungsgrundlagen werden Bezugsreflektoren definiert, um die Leistung automatisierter Ultraschallsysteme für die Schienenprüfung zu verifizieren.

Um die Einflüsse der komplexen Randbedingungen der automatisierten Schienenprüfung auf das Prüfergebnis evaluieren zu können, wurde ein Softwarewerkzeug entwickelt, mit dem eine Prüffahrt auf einer Schiene simuliert werden kann. Basierend auf der Datenaufnahme mit dem Glassy-Rail-Diagramm können alle relevanten Prüfparameter und Artefakte in Schienen sowie Störeinflüsse bei der Simulation berücksichtigt werden. Ergebnisse der Untersuchungen werden vorgestellt.

## **Aktuelle Entwicklungen der Wirbelstrom- und Ultraschallprüfung an verlegten Schienen**

D. Beilken<sup>1</sup>, S. Rühle<sup>1</sup>, T. Heckel<sup>2</sup>, R. Casperson<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PLR Prüftechnik Linke & Rühle GmbH, Magdeburg; <sup>2</sup> BAM, Berlin

Die kombinierte Schienenprüfung mit Wirbelstrom und Ultraschall ermöglicht eine ganzheitliche Detektion von Inhomogenitäten im Kopf und Steg der Schiene und gewährleistet das Auffinden sowohl von Volumen- als auch Oberflächeneffekten wie z. B. Head Checks. Für die verbesserte Detektion von Rollkontaktermüdung (rolling contact fatigue, RCF) und den daraus resultierenden Schienenfehlern (Head-Checks, Squats, Riffel, ) wurde für die Wirbelstromprüfung der Prüfbereich auf die gesamte Rollkontaktfläche erweitert. Der Fokus liegt im Neudesign der Wirbelstrom-Prüfvorrichtung und der damit verbundenen normgerechten Auslegung der Konstruktion für die fahrzeugspezifischen Gegebenheiten. Ferner wurde die Anwendersoftware des kombinierten Prüfsystems vereinheitlicht. Um die wirtschaftliche Effektivität unsere Prüftechnik zu steigern, wird die Multiplex-Gerätetechnologie in die automatisierte Schienenprüfung eingeführt. Damit wird der freizuhaltende Einbauraum innerhalb der Fahrzeuge sowie Kabelwege deutlich reduziert. Durch den Übergang zu der Multiplextechnologie wurde weiterhin die Stromaufnahme um mehr als 50% reduziert.

## **Aufrechthaltung und Überprüfung der ZfP Kompetenzen bei den Mitarbeitern im Bereich Eisenbahn aus Sicht einem Instandhaltungswerk**

E. Cataldi Spinola<sup>1</sup>, C. Pies<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Schweizerische Bundesbahnen SBB, Bellinzona, Schweiz; <sup>2</sup> Schweizerische Bundesbahnen SBB, Olten, Schweiz

Die Erhaltung und Überprüfung der Kompetenzen im Eisenbahnsektor unterliegt verschiedene Kunden-Regelwerke, internationalen Normen sowie Europäische Verordnungen. In diesen Vorgaben werden teilweise Angaben zu Dauer und Häufigkeit der Refresh-Ausbildungen von manuellen als auch von mechanisierten Prüfanlagen gegeben.

Um die Kompetenzen der Mitarbeiter auch formal nachzuweisen, werden zusätzlich auch Hinweise zu wiederkehrenden Kompetenzüberprüfungen gemacht.

Insbesondere in der Rolle als Entity in Charge of Maintenance Instandhaltung (ECM4) sind wir verpflichtet « [...] fortlaufenden Schulungen und regelmässige Aktualisierung vorhandener Kenntnisse und Fähigkeiten gegebenenfalls regelmässige Überprüfung der Kompetenzen [...]» durchzuführen.

Der Inhalt von diesen Refresh-Ausbildungen sowie der Umfang der Kompetenzüberprüfung wird in der Regel nicht festgelegt und obliegt dem Arbeitgeber. Doch bevor dieser Umfang definiert werden kann muss der Begriff bzw. das Verständnis des Wortes «Kompetenz» erst einmal definiert werden.

Diese Arbeit präsentiert den Standpunkt eines Instandhaltungswerkes, welches allen verschiedenen Anforderungen gerecht werden muss.

Hierfür wird zuerst der Begriff der «Kompetenz» definiert und ein Überblick aller Anforderungen geben, welche das Werk betreffen.

Danach werden die Umsetzungen dieser Anforderungen am Beispiel des SBB Werkes Bellinzona vorgestellt.

## Schienenprüfung mittels induktiv angeregter Thermografie

C. Tuschl<sup>1</sup>, B. Oswald-Tranta<sup>2</sup>, D. Künstner<sup>3</sup>, S. Eck<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Materials Center Leoben Forschung GmbH, Leoben, Österreich; <sup>2</sup> Montanuniversität, Leoben, Österreich; <sup>3</sup> voestalpine Schienen GmbH, Leoben, Österreich

Die aktive Infrarotthermografie gehört zu den zerstörungsfreien Prüfverfahren. Einem Prüfkörper wird mit einem sehr kurzen Heizpuls (0,1 - 1 Sekunde) geringfügig Wärme zugeführt, um die resultierende Temperaturänderung auf der Oberfläche während des gesamten Erwärm- und Abkühlprozess mit einer Wärmebildkamera aufzunehmen.

Bei der Induktiv-Thermografie werden durch ein HF-Magnetfeld oberflächennahe Wirbelströme induziert, die nur den Randbereich eines metallischen Körpers erwärmen. Oberflächennahe Störungen im Bauteil beeinflussen die definierte Erwärmung derart, dass eine Erkennung von Oberflächenrissen mittels einer Wärmebildkamera und entsprechender Auswertung möglich ist.

Eisenbahnschienen sind einer hohen zyklischen Belastung ausgesetzt, durch welche Risse an der Fahrkante, sogenannte Head Checks, auftreten können. Head Checks sind Ermüdungsrisse auf Grund des Rollkontaktes (Rolling Contact Fatigue – RCF-Schädigung). Je nach Material und Belastungszustand der Schiene zeigen diese Head Checks unterschiedliche Einlaufwinkel, Längen und eine geänderte Erscheinungsform. Die Nichtbeachtung von Head Checks kann zu Ausbrüchen im Schienenkopfbereich führen und dadurch fatale Folgen haben.

In einen unbeschädigten Schienenkörper wurden definierte Schnitte mit unterschiedlichen Einlaufwinkeln und Tiefen mittels Drahterodieren eingebracht. Thermografische Messungen an diesem Prüfkörper dienen als Referenz für Simulationsmodelle und den Modellrechnungen für diese Rissgeometrien.

Mittels Induktiv-Thermografie werden Schienenstücke mit vorhandenen Head Checks geprüft. Dabei wird Risttiefe, Risslänge und der Verlauf des Risses in der Schiene abgeschätzt. Zur Validierung dieser Abschätzung werden die Ergebnisse der thermografischen Messungen am Prüfkörper sowie die Ergebnisse der Simulationsrechnungen herangezogen und mit metallographischen Schliffen verglichen.

## **Projekt MAP24 – Schienenfahrzeugbau im Iran am Beispiel der Sanierung einer Güterzuglokomotive**

R. Girardier<sup>1</sup>

<sup>1</sup> gbd Swiss AG, Wünnewil, Schweiz

Die Sicherheit der Fahrzeuge im Eisenbahnverkehr wird massgeblich durch die Qualität der Konstruktion sowie durch die Güte der Herstellungs- und Instandhaltungsprozesse bestimmt. Dies gilt in besonderem Masse für die Fügeverbindungen durch Schweißen. Vor mehr als siebzig Jahren wurden bereits die ersten verbindlichen Regeln für das Schweißen und Prüfen erarbeitet. Heute umfassen sie unter anderem:

- Vorgaben für die konstruktive Gestaltung und Festigkeitsberechnung,
- Zulassungsbedingungen der Schweissbetriebe,
- Verwendung schweissgeeigneter Werkstoffe und Schweisszusatzwerkstoff,
- Vorgaben für die Fertigung, Ausführung, Güteanforderung und zerstörungsfreie Prüfung der Schweissverbindungen

Im Rahmen des Vortrages werden schweiss- und prüftechnische Aspekte bei der Planung der Sanierung der Diesellokomotive MAP24 der iranischen Staatsbahn erläutert. Ein Schwerpunkt bildet dabei die Berücksichtigung der Anforderungen aus dem Regelwerk sowie den Berechnungen und den sich daraus ergebenden Anforderungen an die Schweiss-technik und die zerstörungsfreie Prüfung.

Der Vortrag gibt auch spannende Einblicke in eine andere Kultur und die sich daraus ergebenden Möglichkeiten und Herausforderungen für ein internationales Projekt.

## **Inline-Charakterisierung von Polymerschäumen mittels zeitaufgelöster Terahertz-Spektroskopie**

M. Mayr<sup>1</sup>, C. Kolb<sup>1</sup>, G. Schober<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

Das SKZ untersucht die Inlinefähigkeit der Terahertz (THz)-Technologie bei der Bestimmung wichtiger Materialparameter bei der Polymerschäumextrusion, wie Rohdichte und Zellgrößenverteilung. Auch spielt die Kenntnis der genauen Dicken extrudierter Dämmplatten oder Schaumfolien bei der Herstellung eine wichtige Rolle. Diese Kenngrößen werden meist visuell und offline mittels optischer Mikroskopie oder Computertomografie (CT) bestimmt.

Die THz-Technologie wurde bereits erfolgreich zur Bestimmung der Materialeigenschaften von Kunststoffen, wie beispielsweise des Füllstoff- oder Feuchtegehaltes eingesetzt. Auch konnten die Schichtdicken von Einzel- und Mehrschichtsystem bis in den  $\mu\text{m}$ -Bereich ermittelt werden. Vorteile dieser relativ jungen Technologie liegen z. B. in einer zerstörungsfreien und berührungslosen Arbeitsweise, welche im Vergleich zu Röntgenstrahlung nicht ionisierend und gesundheitsgefährdend sind. Im Gegensatz zur Ultraschalltechnologie stellen für THz-Wellen auch dicke Schaumschichten kein Prüfhindernis dar.

Im Rahmen eines abgeschlossenen Forschungsprojektes wurden extrudierte Polymerschäume verschiedener Hersteller mittels eines selbst entwickelten Demonstrators, welcher eine Extrusion nachstellt, inline untersucht. Die THz-Messdaten wurden in Echtzeit ausgewertet und parallel zur Messung angezeigt. Damit konnten bereits Inline-Berechnungen der Rohdichte, der Zellgrößenverteilung sowie der Schichtdicke des extrudierten Schaumes gezeigt werden. Als Referenzmethode wurde ein CT-System eingesetzt, dessen Ergebnisse mit denen der THz-Untersuchungen übereinstimmen.

Im untersuchten THz-Frequenzbereich treten charakteristische Absorptionslinien der Wassermoleküle in der Luft auf, welche das Messsignal und damit die Bestimmung der Materialparameter der extrudierten Schäume erschweren. Es wurde daher ein Algorithmus entwickelt, welcher die Absorptionslinien simuliert und in einem zweiten Schritt aus den Messdaten herausrechnet.

Anhand verschiedener extrudierter Polymerschäumproben werden exemplarisch die Möglichkeiten der THz-Technologie zur Ermittlung der Rohdichte, der Schichtdicke sowie der Zellgrößenverteilung demonstriert.

## Radom-Inspektion mit Terahertz-Wellen

J. Jonuscheit<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern

Faserverstärkte Kunststoff-Verbundstrukturen werden häufig in mechanischen Bauteilen eingesetzt, in denen eine Kombination aus geringem Gewicht, hoher struktureller Integrität und – im Falle von Flugzeugradomen – Transparenz für Funk- und Mikrowellenfrequenzen erforderlich ist. Solche Verbundstrukturen bestehen in der Regel aus mehreren funktionellen Schichten aus verschiedenen Materialien, z. B. Aramid, Schäumen und Glasfasermaterial. Da die Strukturen Schicht für Schicht aufgebaut werden, ist eine Qualitätskontrolle in der Inline-Produktion wünschenswert, um mögliche Delaminationen, strukturelle Mängel und andere Defekte bereits während der Fertigung zu erkennen. Darüber hinaus ist eine Fehlererkennung in der In-Field-Inspektion kompletter Radomstrukturen während der Wartungsarbeiten erwünscht. Frequenzmodulierte kontinuierliche (FMCW) Terahertz-Bildgebungssysteme haben gezeigt, dass sie eine ausgezeichnete Kombination aus räumlicher und Tiefenauflösung für typische Fehlergrößen bei gleichzeitig großen Eindringtiefen in die jeweiligen Materialien bieten.

Wir stellen ein Terahertz-Bildgebungssystem für die Radom-Inspektion für Flugzeuge vor, das auf einem Zwei-Frequenz-FMCW-Radar basiert, welches bei Mittenfrequenzen von 100 und 150 GHz bzw. mit 40 und 60 GHz Bandbreite arbeitet. Der Sensor kombiniert zwei vollelektronische Multiplikatorketten bei den jeweiligen Frequenzen und ist in die Produktionsumgebung von Radomen aus glasfaserverstärkten Verbundstrukturen integriert. Während Bilder, die mit den beiden unterschiedlichen Arbeitsfrequenzen aufgenommen werden, unterschiedliche Informationen über mögliche Strukturdefekte liefern können, wird gleichzeitig ein Datenfusionsalgorithmus angewendet, der die Signale beider Terahertz-Sensoren für eine verbesserte Tiefenauflösung bei einer gesamten FMCW-Bandbreite von 100 GHz kombiniert.

In diesem Beitrag demonstrieren wir ein Zwei-Frequenz-FMCW-Bildgebungssystem, das in eine Produktionsumgebung für Flugzeugradome integriert wurde. Wir zeigen erste Messungen an flachen Verbundpanels mit eingebetteten künstlichen Defekten sowie Bilder von Testradomstrukturen und realen Radomen.

## Breitbandiges Dauerstrich-Terahertz System für die zerstörungsfreie Prüfung

L. Liebermeister<sup>1</sup>, S. Nellen<sup>1</sup>, R. Kohlhaas<sup>1</sup>, S. Breuer<sup>1</sup>, B. Globisch<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer HHI, Berlin

Dielektrische Materialien wie Kunststoffe, Keramiken und eine Vielzahl von Beschichtungen sind transparent für Strahlung im Terahertz-Frequenzbereich (0,1 THz – 10 THz). Im elektromagnetischen Spektrum liegt der THz-Bereich zwischen Mikrowellen und Infrarotstrahlung und bietet somit einen vielversprechenden Kompromiss aus Eindringtiefe und Ortsauflösung. Besonders großes Anwendungspotential dieser Technologie liegt in der zerstörungsfreien Defektprüfung von Kunststoff- und Keramikbauteilen und in der kontaktlosen Bestimmung von Beschichtungsstärken unabhängig vom Untergrund. Weitere wesentliche Vorteile gegenüber anderen gängigen Verfahren sind die sehr gute Einzelschichtauflösung in Mehrschichtsystemen und die Ungefährlichkeit der eingesetzten Strahlung. Kompakte Systeme basieren entweder auf rein elektronischer oder optoelektronischer THz-Erzeugung und Detektion. Elektronische Quellen sind besonders kompakt und preiswert, liefern aber nur eine niedrigere Bandbreite und damit begrenzte Auflösung. Unter den optoelektronischen Systemen werden vornehmlich Pulsquellen aufgrund ihrer großen spektralen Bandbreite und der damit hohen erreichbaren Auflösung eingesetzt. Diese Systeme sind jedoch sehr aufwändig im Aufbau und entsprechend kostspielig. Optoelektronische Dauerstrichquellen sind deutlich einfacher herzustellen und liefern Messergebnisse vergleichbar zu gepulsten Systemen. Auf Grund ihrer geringen Messgeschwindigkeit wurden diese Systeme aber bisher nicht in der zerstörungsfreien Prüfung eingesetzt. Wir stellen hier ein neuartiges Dauerstrich-THz-Spektrometer vor, das erstmalig Messwiederholraten von 24 Hz bei einer spektralen Bandbreite  $> 2$  THz und einem maximalen Dynamikbereich von mehr als 100 dB erreicht. Dieses System ermöglicht erstmals Schichtdickenmessungen, inline-Prozesskontrolle und bildgebende Untersuchungen basierend auf der optoelektronischen Dauerstrich-THz-Technologie und hat somit das Potenzial die hochauflösende und kontaktlose Terahertz-Messtechnik in einer Vielzahl von Anwendungsfeldern zu etablieren.

## Hochfrequenztechnologie in der zerstörungsfreien Prüfung

D. Behrendt<sup>1</sup>, D. Nüßler<sup>1</sup>, R. Herschel<sup>1</sup>, C. Krebs<sup>1</sup>, A. Küter<sup>1</sup>, S. Gütgemann<sup>1</sup>, S. Kose<sup>1</sup>, C. Schwäbig<sup>1</sup>, R. Brauns<sup>1</sup>, N. Pohl<sup>1</sup>, C. Bredendiek<sup>1</sup>, S. Thomas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer FHR, Wachtberg

Hochfrequenztechnik hat sich von einer weitgehend militärisch getriebenen Technologie zunehmend für zivile Anwendungen bewährt. Miniaturisierung, Digitalisierung und Performancesteigerungen, stark geprägt durch die Automotive-Industrie, erschließen neue Anwendungsbereiche.

Moderne FMCW-Radare (frequency modulated continuous wave) messen dabei nicht nur die Entfernung, sondern treffen über die Bestimmung der Laufzeit auch Aussagen über Materialeigenschaften (bspw. Restfeuchte). Abbildende Verfahren wie das 3D-SAR (synthetic aperture radar) oder MIMO Kameras (multiple-input multiple-output) erlauben die hochgenaue Bestimmung von Topographien und Abständen sowie 3D-Messungen auch von innenliegenden Strukturen. Durch die Verwendung nicht ionisierender Strahlung können die Systeme fast überall ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen eingesetzt werden. In der industriellen Messtechnik, respektive der Stahlproduktion, sind bereits prototypische Hochfrequenzsysteme im 24/7 Inline-Einsatz zur Echtzeitregelung der Bahnbreiten und damit der direkten Optimierung des Prozesses sowie der Vermeidung von Produktionsfehlern.

Erste bildgebende Systeme zur durchleuchtenden zerstörungsfreien Prüfung sind industriell verfügbar (z. B. T-SENSE FMI®: Terahertz imager for material inspection) und können etwa Verunreinigungen durch Verpackungen hindurch erkennen oder Hohlräume und Inhomogenität in nichtmetallischen Materialien feststellen. Gleichzeitig können sie Verunreinigungen oder Beschädigungen nicht nur feststellen, sondern diese auch lokalisieren und ggf. klassifizieren.

Die gesamte analoge Signalverarbeitung eines FMCW-Radarmoduls kann auf 2x2 mm großen Chips realisiert werden, so dass ein komplettes, gehaustes Radar von wenigen Kubikzentimetern Größe unter anderem auch schwer zugängliche Messpositionen überwachen kann. Stand der Forschung sind hier z. B. 68-92 GHz Systeme in der Größe 50x40x65 mm, bereits mit aufgebracht, wahlweise 3D-gedruckter, Tröpfchenantenne. Der Themenkomplex Additive Fertigung ist für Hochfrequenzsysteme dabei nicht nur Mittel zum Zweck: Auch 3D gedruckte Strukturen können auf Produktionsfehler untersucht werden.

## Zerstörungsfreie Prüfung von Korund-Schleifkörpern auf Risse und Inhomogenitäten

S. Becker<sup>1</sup>, A. Keil<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Becker Photonik GmbH, Porta Westfalica

In den vergangenen Jahren sind große Fortschritte bei der Entwicklung zuverlässiger Millimeterwellen- und Terahertz-Systeme gemacht worden. Diese vollelektronischen Systeme sind kompakt und mobil und ideal für die zerstörungsfreie Prüfung geeignet. Wir präsentieren Ergebnisse, die bei 0.1 THz mit einem portablen Gerät erzeugt wurden (Syn-ViewCompact). Das System arbeitet in Reflexion als Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) Radar.

Die untersuchten Schleifscheiben besitzen Rotationssymmetrie und eine Kernbohrung. Die Außendurchmesser und Breiten der untersuchten Scheiben liegt zwischen 100 mm und 400 mm, der Durchmesser der Kernbohrung bei 50 mm bis 200 mm. Während der Prüfung werden die 5 kg – 25 kg schweren Schleifscheiben mit Hilfe eines Rotationstisches gedreht.

Der Hintergrund für das Interesse an einer zerstörungsfreien Prüfmethode insbesondere für größere Schleifscheiben (Durchmesser und Breite > 200 mm) sind steigende Anforderungen und mögliche große Schäden, die durch im Betrieb platzende Scheiben verursacht werden können. Die erreichbare Eindringtiefe bei der Verwendung von 0.1 THz-Strahlung hängt von verschiedenen Parametern ab, insbesondere dem Materialtyp und der Porosität. Für einige Typen können Eindringtiefen von bis zu 200 mm erreicht werden. Die neue zerstörungsfreie Prüfmethode ist eine effektive Möglichkeit, um versteckte Risse und Inhomogenitäten in Korund-Schleifscheiben der o. g. Größe nachzuweisen. Darüber hinaus haben wir indirekt durch Variationen im Brechungsindex Dichteunterschiede detektieren können. Diese Informationen erlauben es natürlich auch, den Produktionsprozess zu optimieren und/oder eine effektive Warenausgangs- bzw. Eingangskontrolle durchzuführen. Die Prüfzeit/Schleifscheibe beträgt, abhängig von der gewünschten Auflösung, 1 – 5 Minuten.

## Radiografische Untersuchung von Gemälden der Alten Nationalgalerie Berlin

S. Hohendorf<sup>1</sup>, K. Mösl<sup>2</sup>, K. Krainer<sup>2</sup>, B. Redmer<sup>1</sup>, M. Grunwald<sup>1</sup>, A. Waske<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> Alte Nationalgalerie, Berlin

Als einer der bedeutendsten Künstler der deutschen Frühromantik hat Caspar David Friedrich unzählige Landschaftsmalereien und Porträts geschaffen.

Eines seiner berühmtesten Werke, Der „Watzmann“, konnte im Oktober 2017 von den Mitarbeitern der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung und unter Federführung der Restauratoren der Alten Nationalgalerie in Berlin, radiografisch untersucht werden. Dafür wurden in der Alten Nationalgalerie von zwei Gemälden radiografische Aufnahmen angefertigt.

Die mittels Röntgenstrahlung und Speicherfolien erzeugten Bilder wurden rechnergestützt ausgelesen und in einem späteren Verfahren mit Hilfe verschiedener Software zusammengesetzt.

Neben dem Watzmann von Caspar David Friedrich wurde das Gemälde „Das Portrait der Henriette Caroline von Carlowitz“ von Anton Graff, dessen Landschaftsmalereien Caspar David Friedrich später maßgeblich beeinflussten, untersucht.

Die radiografischen Aufnahmen dienen zukünftig dem Restauratorenteam der Alten Nationalgalerie als eine Grundlage für die Schadensanalyse und die spätere Restaurierung der Gemälde.

Der Beitrag gibt einen Einblick in die technische Umsetzung, einen Überblick der eingesetzten Geräte und Verfahren und beleuchtet auch die Belange des Strahlenschutzes vor Ort.

## Zerstörungsfreie Prüftechniken für die Anwendung an technischen Kulturgütern in Museen

M. Pamplona<sup>1</sup>, C.U. Große<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Deutsches Museum München; <sup>2</sup> TU München

Objekte unserer Technikgeschichte repräsentieren den Fortschritt unserer technischen Entwicklung und zeugen vom Erfindungsreichtum vergangener Generationen. Sie zu bewahren ist nicht nur eine Aufgabe der Dokumentation, sondern es ist noch viel für aktuelle und zukünftige Wissenschaftlergenerationen von ihnen zu lernen. Deutschland und die angrenzenden Länder besitzen einen besonders großen Reichtum an solchen Artefakten, die in der Regel als Exponate in Museen ausgestellt werden. Damit sie auch für zukünftige Generationen als Anschauungsobjekte zur Verfügung stehen, ist es die Aufgabe der Restaurierungswissenschaftler, diese Exponate vor Alterung und Zerfall zu schützen. Die Zerstörungsfreie (und manchmal sogar kontaktfreie) Prüfung kann hier wichtige Informationen liefern, mit denen Schädigungsprozesse besser analysiert und geeignete Konservierungsmaßnahmen eingeleitet werden können.

Die Problematik wird anhand eines BMW Sportwagens vom Typ Wendler (Baujahr 1938 und im Besitz des Deutschen Museums) erläutert, der computertomografisch untersucht wurde. Daraus leiten sich Vorschläge für den zukünftigen Einsatz von Zerstörungsfreien Prüfmethoden im Bereich der Kulturerbeforschung ab, die detailliert dargelegt werden.

## **Mit der industriellen Computertomographie durch die Zeit – nicht alltägliche Beispiele aus dem Leben eines Dienstleisters**

D. Galsterer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Qualitech AG, Mägenwil, Schweiz

Qualitech AG ist einer der führenden Dienstleister hinsichtlich Materialprüfung, Schadens- und Werkstoffanalytik in der Schweiz. Im Bereich zerstörungsfreie Werkstoffprüfung umfasst das Portfolio von Qualitech einen Grossteil aller gängigen Verfahren und seit einigen Jahren auch die industrielle Computertomographie.

Die Grösse und Ausstattung des modular aufgebauten Computertomographen von Qualitech AG ermöglicht es, in verschiedensten Märkten tätig zu sein und somit eine Vielzahl verschiedener Objekte zu prüfen. Diese Variabilität wird anhand verschiedener Beispiele dargestellt und die täglich neuen Herausforderungen eines Dienstleisters aufgezeigt. Beispielsweise geben Zuwachszonen eines ca. 17 000 Jahre alten Mammutstossezahns einen interessanten Einblick in dessen Lebensgeschichte, oder etwas näher an unserer Zeit, wird anhand eines Alpha Romeo Zylinderkopfes von 1937 dessen Reverse Engineering Prozess dargestellt.

## Zerstörungsfreie Prüfung der Stützmauer einer ehemaligen Kohlegrube im Saarland

D. Moser<sup>1</sup>, S. Klein<sup>2</sup>, H. Wiggenhauser<sup>3</sup>, M. Behrens<sup>3</sup>, R.M. Moryson<sup>1</sup>, S. Pudovikov<sup>1</sup>, H.-G. Herrmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; <sup>2</sup> Universität des Saarlandes, Saarbrücken;

<sup>3</sup> BAM, Berlin

Mittels Ground Penetrating Radar (GPR), Large Aperture UltraSound (LAUS) und ambien-ter Thermographie wurde die große Stützmauer (ca. 9 m hoch und 286 m lang) der ehemaligen Grubenanlage Fischbach-Camphausen der RAG (1. Abteufung 1871, Stilllegung 1990) im Saarland untersucht. Die Mauer weist eine Oberfläche mit verschiedenen Frontmaterialien (Beton, Mauerstein, Ziegel usw.) auf. Daher wurden drei vertikale Linien in repräsentativen Bereichen der Wand für die Untersuchungen ausgewählt. Die drei genannten ZfP-Methoden wurden eingesetzt, um Informationen über den Zustand und die innere Struktur der Mauer zu gewinnen, und um die Eignung der Verfahren an diesen komplexen, heterogenen Mauerwerksstrukturen zu bewerten. Die Ergebnisse mit dem Ultraschallsystem LAUS zeigten am ersten Profil die Schichtstruktur, wo die Wand durch eine Betonschale bereits zur Absicherung verstärkt wurde, und unspezifische Reflexionen der inneren Struktur jenseits der ersten Schicht. Bedingt durch die Randbedingungen (Höhe der Mauer, Zugänglichkeit, Oberflächenstruktur, etc.) und der technischen Auslegung des LAUS war der Einsatz dieser Methode an der Mauer sehr zeitaufwendig. Die GPR Messungen (es wurde mit zwei Niederfrequenzantennen gemessen: 200 und 400 MHz) konnten schneller durchgeführt werden und zeigten ebenfalls Merkmale im Inneren der Struktur. Die Eindringtiefe war aufgrund der hohen Absorption im Material auf 2-3 m begrenzt. Um einen Tag-Nacht-Zyklus mittels ambien-ter Thermographie aufzuzeichnen, wurde eine Thermographie-Sequenz von 96 Stunden permanent aufgezeichnet. Die Phasenauswertung zeigte Auffälligkeiten in mehreren Bereichen der Mauer.

## **Vorstellung Handbuch für die Materialprüfung mit Ultraschall-Phased-Arrays des DGZfP-Unterausschusses Phased Array – Ein Leitfaden für den Praktiker**

H. Rieder<sup>1</sup>, alle Mitglieder des UA Phased-Array

<sup>1</sup> Vorsitzender des UA Phased-Array im DGZfP-FA Ultraschallprüfung

Für die zerstörungsfreie Prüfung mit Ultraschall sind seit Beginn der 2000er Jahre Ultraschallgeräte für die industrielle Anwendung verfügbar, welche die Phased-Array-Technik verwenden (im deutschsprachigen Raum auch als Gruppenstrahlertechnik bekannt). Die Phased-Array-Technik hat das Potential für eine flexible Anpassung der Ultraschallprüfungstechnik an ein breites Spektrum von Prüfaufgaben. Sie stellt damit eine Alternative zu herkömmlichen Prüftechniken mit verschiedenen konventionellen Prüfköpfen dar. Darüber hinaus ermöglichen elektronische Scantechniken quasi online das Erzeugen von bildhaften Darstellungen, die die Auswertung oftmals erheblich vereinfachen. Für die Anwendung der Phased-Array-Technik sind aber gegenüber den Kenntnissen, wie sie in der Ausbildung für die Prüferstufe 1, 2 und 3 (nach DIN EN ISO 9712:2012-2) vermittelt werden, zusätzliches Wissen und weitere Fertigkeiten notwendig.

Der Unterausschuss Phased Array im DGZfP-Fachausschuss Ultraschallprüfung hat ein Handbuch mit dem Titel Handbuch für die Materialprüfung mit Ultraschall-Phased-Arrays erarbeitet, das in den folgenden Kapiteln Informationen für den Praktiker zur Verfügung stellt: Grundlagen, Prüfkopf und Prüfkopfauswahl, Gerätetechnik, Anwendung der Phased-Array-Technik und Beispiele aus der Prüfpraxis.

Dieser Beitrag informiert über die Struktur und den Inhalt dieses Handbuchs, das Ende 2018 im UA Phased Array fertiggestellt wurde.

## **Applikationsspezifische Optimierung eines Phased-Array Sensors am Beispiel der Pipeline-Inspektion**

M. Spies<sup>1</sup>, H. Rieder<sup>1</sup>, I. Lachtchouk<sup>2</sup>, M. Tschuch<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; <sup>2</sup> Process & Pipeline Services – Baker Hughes, a GE company, Stutensee

Neuere Entwicklungen im Bereich der Ultraschallverfahren basieren vor allem auf der Phased-Array-Technik, die ein Fokussieren und Steuern von Schallfeldern ermöglicht. Die Phased-Array-Technik hat ein erhebliches Potential für eine flexible Anpassung der Ultraschallprüftechnik an ein breites Spektrum von Prüfaufgaben. Sie stellt somit eine Alternative zu herkömmlichen Prüftechniken mit verschiedenen konventionellen Prüfköpfen dar. Im Bereich der Pipeline-Inspektion können so unterschiedliche Inspektionsarten, wie z. B. die Rissprüfung und die Detektion von Materialverlusten, gleichzeitig ausgeführt werden. Aufgrund dieser Vorteile entwickelte Baker Hughes, a GE company (vormals PII Pipeline Solutions) einen auf der Ultraschall-Phased-Array-Technik basierenden Pipeline-Inspektionsmolch, der unter dem Namen UltraScan DUO nun schon seit mehr als einem Jahrzehnt erfolgreich eingesetzt wird.

Um einerseits den steigenden Sicherheitsanforderungen gerecht zu werden und andererseits durch die Phased-Array-Technik ermöglichte weitere Prüfmodalitäten optimal nutzen zu können, wurde im Rahmen von zunächst simulationsbasierten Untersuchungen eine neue Generation von Phased-Array-Sensoren entwickelt. Wir berichten in diesem Beitrag über die verschiedenen Optimierungsziele, die als Input für die Simulationen dienten und entsprechend berücksichtigt wurden. So zielten die mittels Generalisierter Punktquellensynthese durchgeführten Simulationen unter anderem auf die Optimierung der mittels verschiedener Sensoruntergruppen generierten Schallfelder. Wir zeigen repräsentative Ergebnisse der Simulationsrechnungen und der zur Validierung durchgeführten Experimente.

## Phased-Array Anwendungen mit frei modulierbaren Ultraschallsendern

T. Würschig<sup>1</sup>, W. De Odorico<sup>1</sup>, P. Fey<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GE Sensing & Inspection Technologies GmbH, Hürth

Die Einführung der Phased-Array Technologie in der industriellen Anwendung hat innerhalb des letzten Jahrzehnts zu einer signifikanten Verbesserung im Bereich der Ultraschall-Prüfung sowohl hinsichtlich der Fehlerauffindbarkeit und Reproduzierbarkeit als auch der Prüfgeschwindigkeit und des Durchsatzes geführt. Grundlage bisher war dabei die Anwendung von sender- und empfängerseitigen Verzögerungsgesetzen für die einzelnen Elemente eines Arrays. Damit ist es möglich, die Wellenfronten verschiedener konventioneller Einzelprüfköpfe nachzubilden. Die größten Fortschritte wurden dabei durch die Anwendung komplexer, typischer Weise auf Laufzeitberechnungen basierender Rekonstruktionsmethoden auf der Empfängerseite erzielt. Demgegenüber blieben die verwendeten Algorithmen auf der Senderseite vereinfacht und nahezu unverändert. Mit der neu verfügbaren ShapeUT Technologie ist es nun möglich, die vollständige Anregungsfunktion jedes einzelnen Array-Elementes individuell vorzugeben und somit die bestehenden Verzögerungsgesetze deutlich zu erweitern. Durch die Kombination frei modulierbarer Ultraschallsender ergeben sich einzigartige Möglichkeiten hinsichtlich der Schallfeldformung. Im Vortrag werden dazu Beispiele aus verschiedenen Anwendungsgebieten der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung vorgestellt. Dabei wird u. a. auf die Verwendung holographischer Verfahren, die Optimierung der Pulsform, die multifrequente Anregung oder die Zusammenlegung mehrerer konventioneller Prüfschüsse zurückgegriffen. Es werden sowohl experimentelle Resultate von Grundlagenstudien unter Laborbedingungen als auch finale Messergebnisse einer vollständig automatisierten Prüfung im Feld vorgestellt.

## **Phased Array UT (PAUT) und Total Focussing Method (TFM) – Anwendungen für portable Phased-Array-Geräte**

S. Kierspel<sup>1</sup>, H. Rast<sup>1</sup>, W.A.K. Deutsch<sup>1</sup>

<sup>1</sup> KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal

Neben der „traditionellen“ phasengesteuerten Ultraschallprüfung (Phased Array PAUT) haben sich auch andere Signalverarbeitungsalgorithmen etabliert. Speziell die Total Focussing Method (TFM) hat in den vergangenen Jahren zahlreiche Anwendungsgebiete erobert. PAUT und TFM werden sowohl eigenständig als auch einander ergänzend eingesetzt. PAUT hat seine Vorteile vor allem in der schnellen und flexiblen Aufnahme von Daten. TFM besticht durch ortstgetreue und hochauflösende Darstellung auch von schwierigen Fehlerlagen. Im Folgenden soll anhand ausgewählter Anwendungsbeispiele gezeigt werden, in welchen Prüfsituationen die jeweiligen Techniken vorzugsweise zum Einsatz kommen und auf welche Weise sie sich ergänzen können.

## **Röntgentomographie von metallischen Mikropartikeln: Ein leistungsfähiges Werkzeug für die additive Fertigung**

A. Waske<sup>1</sup>, G.-R. Jaenisch<sup>1</sup>, A. Funk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) e. V., Dresden

Metallische Mikropartikel in der Größenfraktion von ca. 10 – 100 Mikrometer bilden das Grundmaterial für den additiven Aufbau komplexer Strukturen durch lokales Aufschmelzen mit einem Laserstrahl. Entscheidend für dieses Verfahren ist die Kenntnis der Größen-, Form- und Defektverteilungen von Partikelfractionen, da sie direkten Einfluss auf die Fließfähigkeit des Pulvers während des lagenweisen Auftragens, als auch auf die finale innere Porosität des Bauteils haben. Im Pulver vorhandene Poren verlassen in der Regel das Schmelzbad vor dem Erstarren nicht wieder, da deren Konvektionszeiten größer sind als die Zeit, während der das lokale Schmelzbad besteht, so dass einmal durch die Ausgangspartikel eingebrachte Poren in der Regel auch im fertigen Bauteil verbleiben. Eine strenge Qualitätskontrolle des Ausgangspulvers ist also Voraussetzung, um hochwertige Bauteile mit geringer Restporosität zu erhalten. Der Vorteil der Röntgentomographie ist dabei, dass mit nur sehr geringem Präparationsaufwand innenliegende Poren bis zu einem Durchmesser von wenigen Mikrometern detektiert werden können. Dies ist mit konkurrierenden Verfahren (Licht-/Elektronenmikroskopie, Laserbeugung) so nicht möglich. Zusammenfassend werden wir zeigen, dass die zerstörungsfreie Bildgebung mit der Röntgen-Mikrotomographie für die Qualitätskontrolle in der additiven Fertigung ein leistungsfähiges Werkzeug ist. Wir erörtern die Grenzen der Methode durch eine numerische Studie mithilfe des Simulationsprogramms aRTist. Dabei werden verschiedene Partikelgrößen dahingehend untersucht, welche Poren mit mikroradiographischen Verfahren detektierbar sind. Dazu wird ein Modell für eine dreilagige dichteste Kugelpackung entwickelt, so dass auch Überlagerungen von Anzeigen untersucht werden können. Im Ergebnis werden verschiedene Partikel- und Porengrößenkombinationen untersucht und die entsprechenden Detektionsgrenzen bestimmt.

## Röntgenrückstreutechnik für die additive Fertigung

U. Zscherpel<sup>1</sup>, M. Nazarzadehmoafi<sup>1</sup>, A. Waske<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin

Neben der klassischen Durchstrahlung wird die bildgebende Röntgen-rückstreuung bisher nur sehr begrenzt eingesetzt. Vor über 20 Jahren hatte Philips mit COMSCAN eine erste industrielle Anwendung in der Luftfahrt gefunden, die sogar eine Tiefenauflösung besaß.

Die Firma AS&E in Boston bietet Röntgenrückstreu-Anlagen für den Sicherheitsbereich an. In diesen wird mit einem hochkollimierten Nadelstrahl aus einem rotierenden Blendenrad ein Objekt einseitig abgetastet. Zur Detektion der gestreuten Strahlung aus dem Objekt werden großflächige Detektoren direkt neben dem rotierenden Nadelstrahlkollimator eingesetzt. Ein solcher Prototyp wird an der BAM für den Einsatz in der zerstörungsfreien Prüfung untersucht und optimiert. Als neues industrielles Einsatzgebiet wird dabei die in situ Überwachung in der additiven Fertigung avisiert. Hier ist die Zugänglichkeit zum entstehenden Werkstück in den 3D-Druckanlagen stark eingeschränkt, was den Einsatz einer zweiseitigen Durchstrahlung oder der Computer-Tomographie, bei der das Objekt rotiert wird, verhindert. Auch sind die in der additiven Fertigung eingesetzten Werkstoffe (Polymere, Keramik, Leichtmetalle wie Al oder Ti) für die Rückstreuung besser geeignet als Metalle höherer Dichte, da das Streusignal mit der Ordnungszahl und der Materialdichte abnimmt. Allerdings sind die Anforderungen an räumliche Auflösung und Kontrastempfindlichkeit in der zerstörungsfreien Prüfung additiv gefertigter Bauteile deutlich höher als im Sicherheitsbereich, da hier Bauteilfehler mit typischen Dimensionen kleiner als 1 mm sicher detektiert werden müssen. Die Untersuchung dieser Grenzen des derzeitigen Standes der Röntgenrückstreutechnik mit Nadelstrahl ist ein Teilbereich des mehrjährigen BAM-Themenfeldprojektes ProMoAM. Im Vortrag werden die ersten Ergebnisse der Optimierung sowie die gefundenen Anwendungsgrenzen an Beispielen erläutert.

## Ungängen in additiv gefertigten Bauteilen – Einfluss auf die mechanischen Festigkeiten

C. Weidig<sup>1</sup>, C. Straube<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ifw, Jena

Das pulverbettbasierte Laserstrahlschmelzen (L-PBF) ist eine additive Fertigungsmethode zur Herstellung metallischer Bauteile. Es bietet Vorteile, hinsichtlich individueller, kundenspezifischer Produktlösungen, die eine hohe Flexibilität hinsichtlich Geometrie, Varianten und Stückzahl erfordern. Die zahlreiche Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet der letzten Jahre hat die Technologie mittlerweile über die Schwelle von der reinen Nischenanwendung hin zur Serienfertigung gebracht. Durch diese neuartige Herstellungsmethode stellt sich allerdings auch die Frage nach der Werkstoffprüfung von additiv gefertigten Bauteilen. Wo es bei nahezu allen etablierten Verfahren Normungen und Richtlinien gibt, wie Ungängen zu bewerten sind, fehlen diese öffentlich zugänglichen Vorschriften im Bereich der additiven Fertigung jedoch gänzlich.

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, wie sich Fehlstellen in additiv gefertigten Bauteilen auf die mechanischen Eigenschaften auswirken. Dazu wurden Ungängen in Probekörper definiert eingebracht und diese mit Hilfe der digitalen Durchstrahlungsprüfung untersucht, um die resultierenden Fehlergrößen und Ausprägungen zu detektieren. Anschließende Festigkeitsuntersuchungen zeigten die Einflüsse der eingebrachten Fehlstellen auf die ermittelten mechanischen Eigenschaften.

Zum einen konnte gezeigt werden, dass die Größe der einzubringenden Fehlstellen stark vom verwendeten Material und den Prozessparametern abhängt. Zum anderen sind einige Arten von Fehlstellen kritischer für die Bauteilfestigkeit als andere zu bewerten. Auf Basis dieser Erkenntnisse werden weitere Versuche abgeleitet, um auch verschiedene Fehlergrößen und -arten, z. B. Poren, Anbindungsfehler und Risse und deren Auswirkungen systematisch bewerten zu können.

## **Entwicklung und Umsetzung einer Schnittstelle zur QM-basierten Anwendung von CT-Daten im CAD-System am Beispiel metallpulverbasierter additiver Fertigungsverfahren**

D. Hofmann<sup>1</sup>, P. Sembdner<sup>1</sup>, M. Richter<sup>1</sup>, S. Holtzhausen<sup>1</sup>, R. Stelzer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TU Dresden

Die steigende Komplexität von Produkten erfordert effiziente und rechnerunterstützte Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung. Dabei kommen verstärkt Daten und Informationen aus der Qualitätssicherung zur Anwendung, wie der industriellen Computertomographie. Mit dieser Technologie ist es möglich, 3D-Informationen von inneren Strukturen und Geometrien zu bestimmen und innerhalb der Produktentwicklung gezielt für z. B. konstruktive oder numerische Fragestellungen anzuwenden. Die Daten sollen dabei möglichst verlustfrei, unmittelbar und gezielt zur Verfügung stehen, ohne aufwendige Bearbeitungsschritte durchführen zu müssen.

Die bisherige Vorgehensweise zur Nutzung von CT-Daten in der Produktentwicklung umfasst mehrere iterative Schrittfolgen. Ausgehend von einem Schichtbildstapel wird zunächst eine diskrete Modellbeschreibung (STL) erzeugt, die für zahlreiche Anwendungen in der Qualitätssicherung aber auch begrenzt für die Modellierung genutzt werden kann. Um jedoch analytisch beschreibbare Geometrien zu erhalten und diese Daten für numerische Analysen zu nutzen ist eine Flächenrückführung notwendig.

Für die Nutzung von Informationen, welche bei der Erfassung vorliegen (z. B. Einschlüsse) und für Anwendungen in der Produktentwicklung sinnvoll sind, gibt es keine etablierte Prozessfolge.

Der Inhalt dieses Beitrages stellt eine durchgängige Vorgehensweise dar, wie CT-Daten und deren Informationen, die während der Erfassung entstehen bzw. generell in CT-Daten enthalten sind in der Produktentwicklung gezielt genutzt werden können. Diese wird an einem Beispiel aus dem Bereich der additiven Fertigungsverfahren verdeutlicht.

## Regelt sich bei der zerstörungsfreien Prüfung alles von alleine?

U. Schlengermann<sup>1</sup>, J. Büchler<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Standards Consulting, Erfstadt; <sup>2</sup> GE Sensing & Inspection Technologies GmbH, Hürth

Die zerstörungsfreie Prüfung soll Sicherheit in Bereichen herstellen, in denen Unsicherheit katastrophale Folgen haben kann, sowohl bei der Herstellung der zu prüfenden Erzeugnisse als auch während ihres Gebrauchs.

Partner sind dabei die Hersteller von sicherheitsrelevanten Erzeugnissen, die Betreiber von sicherheitsrelevanten Anlagen, die Hersteller der Prüfausrüstung und die Dienstleister, die zerstörungsfreie Prüfungen durchführen. Dies verlangt nach technischen Regeln, die eine vertragsgemäße Durchführung zerstörungsfreier Prüfungen erlauben. Diese technischen Regeln sind aber keine Naturgesetze, noch nicht einmal Gesetze, sondern Vereinbarungen, die sich ständig an die Marktgegebenheiten anpassen müssen.

Dazu erforderlich sind:

1. Eine Verwaltung der Regeln über die Sekretariate der Normungsausschüsse und
2. Arbeitsgruppen mit Experten, die den Inhalt der Normen erarbeiten.

Während die erste Gruppe bei DIN von der DGZfP eine finanzielle Unterstützung erhält, ist die zweite Gruppe auf die Unterstützung durch die entsendenden Firmen aus der Industrie angewiesen.

Deutschland hat eine lange Tradition bei der Entwicklung der ZfP. Bis heute funktioniert die Entsendung von Experten in die nationalen Normungsgremien leidlich. Die Globalisierung hat aber zur Folge, dass deutsche Experten nur noch in internationalen Normungsgremien etwas bewirken können.

Wer heute Leistungen anbietet, die mit der ZfP verbunden sind, muss sich an internationale Normen halten. Dienstleister der zerstörungsfreien Prüfung müssen ihre Kompetenz nachweisen, d.h. in wiederkehrenden Audits den Nachweis erbringen, dass sie die Regeln im jeweiligen Einsatzbereich kennen und auf dem aktuellen Stand halten, z. B. entsprechend der DIN EN ISO/IEC 17025:2018.

Ein Zustandsbericht über den Einfluss deutscher Gremien und Experten auf die Normung der zerstörungsfreien Prüfung wird vorgestellt.

## Neue Konzepte zur Messung von Parametern der Brennflecke von Nano- und Mikrofokus-Röntgenröhren

U. Ewert<sup>1</sup>, G.-R. Jaenisch<sup>2</sup>, A. Deresch<sup>3</sup>, B.A. Bircher<sup>4</sup>, F. Meli<sup>4</sup>

<sup>1</sup> CEN TC 138 WG 1, NA 062-08-22-AA, Berlin; <sup>2</sup> BAM, Berlin; <sup>3</sup> YXLON International GmbH, Hamburg; <sup>4</sup> Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS, Labor Länge, Nano- und Mikrotechnik, Bern-Wabern, Schweiz

Die exakte Messung der Brennfleckgrößen von Röntgenröhren, Betatrons und Linear-Beschleunigern ist immer noch ein offenes Problem. Es existieren diverse Standards, die alle zu unterschiedlichen Resultaten führen in Abhängigkeit von der Brennfleckform. CEN hat 1999 die Serie EN 12543 (5 Teile) veröffentlicht, die die Messung der Brennfleckgrößen von Röntgenröhren für ZfP-Anwendungen beschreibt. Die Messprozeduren und Toleranzen unterscheiden sich von den Messstandards für medizinische Röntgenröhren, wie z. B. DIN EN 60336:2006 / IEC 60336:2005. EN 12543 beschreibt verschiedene Messmethoden für Standard-, Minifokus- und Mikrofokus-Röntgenröhren. CEN TC 138 WG 1 und ASTM E 07 revidieren bzw. revidierten daher die Standards zur Brennfleckmessung, wobei alle Messungen auf Pin-Hole- oder Kantenabbildungen zurückgeführt werden sollen. Die Schlitzblenden-Messung wird dann nur noch in der Medizin Anwendung finden. Es wurden auch tomographische Verfahren zur Rekonstruktion von Brennflecken vorgeschlagen. Die derzeit verfügbaren Standards decken den Bereich von 5 µm bis zu mehreren Millimetern ab. Mit der Entwicklung von Nanofokus-Röhren haben Hersteller unterschiedliche Verfahren zur Auflösungs- oder Brennfleckmessung eingeführt, deren Werte teilweise um den Faktor 2 unterschiedlich sind. Vorrangig wird hierbei auf ein JIMA-Target zurückgegriffen, dessen Auswertung die Detailerkennbarkeit widerspiegelt. Verschiedene Europäische Partner diskutieren derzeit Konzepte zur Messung von Brennflecken im Bereich von 100 nm bis 5 µm. Dabei werden hauptsächlich Messprozeduren zur Auswertung der Aufnahmen von Strichgruppenkörpern und kleinen Lochplatten untersucht. Als Ergebnis sollen Daten zur Brennflecklänge, -breite und -form bestimmt und standardisiert werden, um Produkte vergleichbar zu klassifizieren. Erste Konzepte hierzu und Ergebnisse früherer Untersuchungen werden vorgestellt.

## Vergleich von CT-Systemen mit unterschiedlicher Detektortechnologie nach Überarbeitung der ASTM E1695 und ASTM E1441

D. Matern<sup>1</sup>, N. Felber<sup>1</sup>, K. Bavendiek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>YXLON International, Hamburg

In der industriellen Computertomographie (CT) wird für gewöhnlich das zu inspizierende Objekt zwischen einer Röntgenquelle und einem Röntgendetektor rotiert. Heute übliche Detektoren bestehen aus mehreren Einzelementen (Pixeln), die entweder eindimensional (Zeilendetektor / LDA) oder zweidimensional (Flächendetektor / FPD) angeordnet sind. Die Qualität der Tomographie wird maßgeblich durch die Ortsauflösung (effektive Detailauflösung im rekonstruierten Tomogramm) und den Kontrast bestimmt. Letzterer lässt sich unterteilen in die Empfindlichkeit auf Änderung von Materialdicken zu reagieren (z.B. kleine Lunker in Gussteilen sichtbar zu machen) und die Trennbarkeit von Materialien unterschiedlicher Dichte.

In der ASTM E1695 werden Maße zur Bestimmung der Ortsauflösung und des Kontrastes beschrieben; diese sind die MTF (engl. modulation transfer function), respektive die CDF (engl. contrast discrimination function). In der ASTM E1441 befindet sich insbesondere ein Maß, das für die Detailerkennbarkeit wichtig ist: die CDD (engl. contrast detail dose). Die Erweiterung der CT-Technologie mit zweidimensionalen Detektoren veranlasste die Erweiterung dieser Normen um FPDs. Diese Diskussion der Normen ist derzeit noch nicht abgeschlossen, wesentliche Einigungen wurden aber schon erreicht.

In dieser Arbeit werden unterschiedliche Detektoren mit Hilfe der Prüfkörper und Maße aus der ASTM E1695 und E1441 diskutiert. Damit wird insbesondere die Praxisrelevanz untersucht: Die Bewertung zielgerichteter Änderungen der Technologie der Detektoren sind ebenso wichtige Kriterien wie der Vergleich zwischen LDAs und FPDs. Zusätzlich wird mit Hilfe des Prüfkörpers aus der ASTM CT-Norm E1935 beispielhaft die Materialtrennbarkeit untersucht sowie visuelle Eindrücke festgehalten. Gemeinsam lassen diese Größen einen klaren Rückschluss auf die Fähigkeit der Anlage zu, hochwertige Tomogramme zu erstellen.

## Metrologische Charakterisierung und Kalibrierung von Thermografiekameras

S. König<sup>1</sup>, B. Gutschwager<sup>1</sup>, D. Taubert<sup>1</sup>, F. Nagel<sup>2</sup>, J. Hollandt<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PTB, Berlin; <sup>2</sup> DIAS Infrared GmbH, Dresden

Der deutsche Standardisierungsausschuss VDI/VDE FA 8.16 Temperaturmessung mit Wärmebildkameras entwickelt Technische Spezifikationen (TS) zur messtechnischen Charakterisierung und Kalibrierung von Wärmebildkameras. Die TS VDI/VDE 5585 Teil 1 Metrologische Charakterisierung von Thermografiekameras wurde im März 2018 veröffentlicht und wird nun vom Internationalen Standardisierungskomitee IEC SC65B WG5 Temperatursensoren zu einer IEC TS erweitert. Zurzeit ist die TS VDI/VDE 5585 Teil 2 zur Kalibrierung von Thermografiekameras im VDI/VDE FA 8.16 in Bearbeitung. Im Detail werden verschiedene Kalibrierungsverfahren von Thermografiekameras und die damit verbundenen Messunsicherheiten behandelt.

Wichtiger Bestandteil jeder messtechnischen Charakterisierung und Kalibrierung von Thermografiekameras ist eine Bestimmung und ggf. eine Korrektur der Ungleichförmigkeit des Pixel-zu-Pixel-Ansprechverhaltens der Kamera. Die Definition und Bestimmung dieser Ungleichförmigkeit wird daher in der TS VDI/VDE 5585 Teil 1 beschrieben. Wir präsentieren eine schnelle und genaue Methode der Ungleichförmigkeitskorrektur von Thermografiekameras durch Anwendung der Datenreferenzmethode (DRM) auf verschiedene Kameratypen. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass es auf Strahlungsquellen mit beliebiger räumlicher Strahlungstemperaturverteilung angewendet werden kann. Es erfordert lediglich eine ausreichende zeitliche Stabilität der Strahlungstemperatur während des Messvorgangs.

In diesem Artikel stellen wir kurz den nationalen und internationalen Stand des Standardisierungsprozesses der Kalibrierung von Wärmebildkameras vor. Wir beschreiben die PTB-Instrumentierung für die Kalibrierung von Wärmebildkameras. Wir präsentieren Ergebnisse, die mit der DRM für die Kamera-Ungleichförmigkeitsbestimmung erhalten wurden und Ergebnisse, die für die Kamerakalibrierung gemäß den standardisierten Verfahren der TS VDI/VDE 5585 erzielt wurden.

## Optimierung der Oberflächenrissprüfung mit induktiv angeregter Thermografie durch neuartige Anregungsmodule

A. Ehlen<sup>1</sup>, U. Netzelmann<sup>2</sup>, B. Valeske<sup>1,2</sup>, M. Finckbohner<sup>2</sup>

<sup>1</sup>htw saar, Saarbrücken; <sup>2</sup>Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

Die Zustandserfassung digitaler Produktinformationen ist essentiell für die Einbettung einer fortschrittlichen und produktionsbegleitenden Qualitätssicherung. Ein Beispiel ist die berührungslose Erfassung von Oberflächenrissen an Bahnradern von Hochgeschwindigkeitssägen, mithilfe der bildgebenden, vollautomatisierbaren Induktions-Thermografie. Dieses Verfahren ermöglicht mittels intelligenter Signal- und Bildauswertung sowohl einen zuverlässigen und objektiven Nachweis von Oberflächenfehlern, als auch die Erstellung einer digitalen Ergebnisdokumentation.

Perspektivisches Ziel ist die Weiterentwicklung der induktiven Anregung durch die Einführung einer Mehrfrequenz-Spulen-Array-Technik. Hierfür müssen sowohl die Ansteuerung des Induktors, als auch die Bauform der Spule optimiert werden. Eine Spulen-Array-Anordnung erlaubt die Induktion eines rotierenden Wirbelstromfeldes in das zu prüfende (leitfähige) Material und damit die richtungsunabhängige Erfassung von Oberflächenrissen. Um das Potential der gewonnenen Mehrinformationen zu nutzen, werden darüber hinaus neue Algorithmen zur automatisierten Signal- und Bildauswertung inklusive Segmentierung, Klassifizierung und Fehlererkennung benötigt. Die Verwendung unterschiedlicher Anregungsfrequenzen und der Einsatz intelligenter Auswertalgorithmen ermöglicht eine verbesserte Detektion von Oberflächenfehlern. Die so gewonnenen Informationen fließen abschließend als A Priori Wissen in die anschließenden Verarbeitungsschritte ein und können zur weiteren Optimierung des Produktionsprozesses genutzt werden.

In dieser Arbeit werden erste Erkenntnisse und Ergebnisse der Forschungsarbeit auch unter Zuhilfenahme von Simulationsmodellen vorgestellt.

## **Fortschritte für die quantitative ZfP mit aktiver Thermografie durch neue Rekonstruktionsmethoden**

D. Müller<sup>1</sup>, U. Netzelmann<sup>2</sup>, S. Lugin<sup>2</sup>, B. Valeske<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>htw saar, Saarbrücken; <sup>2</sup>Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

Die Rekonstruktion der Lage und Größe von inneren Fehlern und Strukturen in Werkstoffen aus zeitaufgelösten Thermografiedaten der Oberfläche ist eine Aufgabe, die im Vergleich zu anderen zerstörungsfreien Prüfverfahren bisher nur ansatzweise gelungen ist. Im höherdimensionalen Fall beschränken sich Rekonstruktionsversuche meist auf die gleichzeitige Bestimmung von Tiefenlage und Durchmesser von Flachbodenbohrungen bei bekannten Materialeigenschaften.

In dieser Arbeit wird ein neuer Ansatz für eine verbesserte Rekonstruktion von unbekanntem Fehlern vorgestellt. Durch Einführung der self-referencing relative contrast“ Methode, kann auf das erste a-priori Wissen des Referenzbereiches verzichtet werden. Weiterhin wurde ein einfaches neuronales Netzwerk zur Material Klassifizierung trainiert und erprobt. Ein wesentlicher Vorteil der Verfahren besteht darin, dass eine Reduzierung der zur Rekonstruktion benötigten a-priori Parameter durch die ergänzende Verwendung der angewandten Rekonstruktionsmethoden erreicht wird. Im Experiment wird die Blitzthermografie eingesetzt. Anwendungsperspektiven ergeben sich in der Rekonstruktion von unbekanntem Fehlerarten vom Typ Risse, Korrosion und Pore/Lunker in zu prüfenden Bauteilen.

## Aktive Thermografie an einsatzgehärteten Bauteilen

P. Menner<sup>1</sup>, C. Šrajbr<sup>1</sup>

<sup>1</sup> edevis GmbH, Stuttgart

Zahlreiche einsatzgehärtete Bauteile sind sicherheitsrelevant und müssen daher geprüft werden. In Zusammenhang mit dem Härtingsprozess treten dabei mehrere Fragestellungen hinsichtlich der ZfP auf. Insbesondere ist zu prüfen, ob die erforderliche Einhärtetiefe erreicht wurde und ob es zu Härterissen gekommen ist. Wird die Bauteiloberfläche geschliffen, kann zusätzlich auch noch Schleifbrand auftreten. Mit aktiver Thermografie können all diese Fragestellungen beantwortet werden. Die berührungslosen Thermografie-Verfahren auf Basis der Induktions- und Laser-Anregung besitzen dabei ein hohes Potential für Automatisierung, wodurch eine 100%-Prüfung möglich wird. Dieser Beitrag zeigt die Möglichkeiten der genannten Methoden und stellt exemplarisch ein vollautomatisiertes Prüfsystem zur Rissdetektion vor.

## Untersuchungen von CFK Proben mit induktiv angeregter Thermografie

B. Oswald-Tranta<sup>1</sup>, C. Tuschl<sup>2</sup>, R. Schledjewski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Montanuniversität, Leoben, Österreich; <sup>2</sup> Material Center Leoben (MCL), Leoben, Österreich

Induktiv angeregte Thermografie ist ein berührungsloses und zerstörungsfreies Prüfverfahren, womit in elektrisch leitenden Materialien sehr effizient Fehler detektiert werden können. In den letzten Jahren hat sich die Prüfmethode für Metalle gut etabliert, aber sie kann auch für Untersuchungen von kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK) angewandt werden. Durch induzierte Wirbelströme wird eine Joule Erwärmung in den Kohlefasern erzeugt. Die Oberflächentemperatur wird während des kurzen Heizpulses (0,5-1s) und während der Abkühlphase mit einer Infrarotkamera aufgenommen. Die zeitliche und örtliche Änderung der Temperatur wird mittels verschiedener Algorithmen ausgewertet, um mögliche Fehler zu lokalisieren.

CFK Proben, denen ein Impactschaden mit unterschiedlich hohen Energien zugefügt wurde, wurden mit induktiv angeregter Thermografie untersucht. Abhängig von der eingebrachten Impactenergie bilden sich unterschiedliche Schädigungen im Laminat aus. Die bereits bei geringer Impactenergie auftretenden innenliegenden Delaminationen sind dabei von außen optisch nicht wahrnehmbar. Mit zunehmender Belastung kommt es dann zur Rissbildung auf der zugbelasteten Rückseite des Probekörpers. Diese Risse können dann auch optisch auf der Oberfläche wahrgenommen werden. Die Teile wurden sowohl an der Vorder- als auch an der Rückseite geprüft, um zu zeigen, dass mit Thermografie die Fehler auch von der Vorderseite erkennbar sind, wo sie visuell nicht sichtbar sind.

Der Wirbelstrom und dadurch die Joule Erwärmung wird nur in den Kohlefasern induziert und diese Wärme wird zur Matrix weitergeleitet. Dementsprechend hat die relative Orientierung zwischen Fasern und Induktionsströmen einen großen Einfluss auf die Ergebnisse und wird ausführlich untersucht.

## Neuer Ansatz zur Dickenmessung von Beschichtungen mittels gepulster Lock-in-Thermografie

D. Hoffmann<sup>1</sup>, L. Wenzel<sup>2</sup>, C. Kolb<sup>1</sup>, T. Hochrein<sup>1</sup>, M. Bastian<sup>1</sup>, G. Schober<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg; <sup>2</sup> Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen

Die Beschichtung von Werkstoffen hat mit der zunehmenden Komplexität von Bauteilen, die je nach Einsatzbereich zum Teil maßgeschneiderte Eigenschaftsprofile aufweisen, signifikant an Stellenwert zugenommen. Nicht nur das optische Erscheinungsbild, sondern auch die Funktionalität von Bauteilen lässt sich durch Lacke oder spezielle Beschichtungen modifizieren und dadurch für die jeweiligen Anwendungsbereiche optimieren. Für eine durchgängige und andauernde Qualität sowie aus Kostengründen spielt eine homogene und einheitliche Schichtdicke zumeist eine entscheidende Rolle. Dementsprechend geht mit der Fokussierung auf die Entwicklung neuer Schichtsysteme auch der Bedarf an einer schnellen, effizienten und idealerweise zerstörungsfreien Methode zur Überwachung und Überprüfung der Schichtdicken einher.

In diesem Beitrag wird ein neuer Ansatz zur Ermittlung von Schichtdicken vorgestellt, welcher sich für die Auflösung von Dicken im  $\mu\text{m}$ -Bereich eignet. Dazu wird die sogenannte gepulste Lock-in-Thermografie verwendet. Hierbei werden die Dynamik und die Schnelligkeit der Puls-Thermografie mit dem hohen Signal-zu-Rausch-Verhältnis der Lock-in-Thermografie kombiniert. Das Bauteil wird dabei mit einer Blitzsequenz angeregt, während die Oberflächentemperatur mit einer Infrarotkamera erfasst wird. Durch die Verwendung von Blitzlampen können die für dünne Schichten notwendigen hohen Frequenzen realisiert werden, welche mit Halogenstrahlern aufgrund ihrer Trägheit nur schwer erreichbar sind. Gleichzeitig sind die Systemkosten deutlich geringer als bei der Anwendung von Lasersystemen. Es konnte dadurch gezeigt werden, dass sich mit der neuen Methode variierende Dicken von Lackschichten auf  $\mu\text{m}$ -Skalen differenzieren lassen. Die gepulste Lock-in-Thermografie bietet die Möglichkeit, Schichtdickenmessungen flächig, berührungslos und schnell durchzuführen, ohne das Bauteil zu schädigen.

## Rechnergestützte POD-Bestimmung für SHM-Verfahren basierend auf geführten Wellen im Automobilbereich

K. Tschöke<sup>1</sup>, T. Gaul<sup>1</sup>, L. Schubert<sup>1</sup>, I. Mueller<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IKTS, Dresden; <sup>2</sup> Ruhr-Universität, Bochum

In vielen Industriesektoren wird Structural Health Monitoring (kurz SHM) als Ergänzung zur klassischen zerstörungsfreien Prüfung angesehen, durch die der Wartungsaufwand im Betrieb einer technischen Anlage oder eines Fahrzeugs gesenkt werden kann. Eine große Anzahl an SHM-Systemen basiert auf der Messung von Ultraschallwellen mit permanent installierten, piezoelektrischen Wandlern. Ein Problem für die breite Anwendung von SHM-Systemen ist ein Mangel an geeigneten Möglichkeiten, um die Leistungsfähigkeit der Systeme nachzuweisen. Die Bewertung der Leistungsfähigkeit bezieht sich in der Regel auf die Ermittlung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (engl. Probability of Detection, kurz POD) eines Prüfverfahrens. Die Ermittlung der POD folgt in der zerstörungsfreien Prüfung vorwiegend dem Berens-Modell und ist hier normativ abgedeckt. Speziell für SHM-Verfahren existieren jedoch kaum Ansätze zur Bewertung der Leistungsfähigkeit mithilfe von POD.

Da die Sensorik permanent auf einem Überwachungsobjekt installiert ist, ist eine rein experimentelle Ermittlung der POD mit einem enormen Materialaufwand verbunden. Eine Alternative stellen rechnergestützte Untersuchungen dar. Hierfür ist zunächst die Modellierung der Ausbreitung elastodynamischer Wellen und deren Interaktion mit Schäden unabdingbar.

Der vorliegende Beitrag stellt anhand eines Anwendungsbeispiels aus dem Automobilbau die Modellierung von Ausbreitung und Schadensinteraktion mittels des Diskretisierungsverfahrens EFIT in Faserverbundbauteilen vor. Unter Nutzung dieses Modells wird eine rechnergestützte POD-Bestimmung und insbesondere die Erstellung sogenannter POD-Karten präsentiert und diskutiert.

## Modellgestützte Bestimmung der Auffindwahrscheinlichkeit (POD) von Reflektoren bei der Ultraschallprüfung großer Schmiedeteile

J. Berthold<sup>1</sup>, J. Vrana<sup>2</sup>, T. Heckel<sup>3</sup>, D. Kanzler<sup>4</sup>, P. Jatzlau<sup>1</sup>, C. Große<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TU München; <sup>2</sup> Vrana GmbH, Rimsting; <sup>3</sup> BAM, Berlin; <sup>4</sup> Applied Validation of NDT, Berlin

Bruchmechanische Untersuchungen werden zur Vorhersage der Lebensdauer und der Wartungszyklen benutzt. Dabei wird davon ausgegangen, dass auch Objekte ohne detektierte Anzeigen Materialfehler mit einer Reflektivität kleiner der Nachweisgrenze aufweisen können. Keine detektierte Anzeige bedeutet daher für Bauteilauslegung, dass sie eine konservative Annahme machen müssen: es wird angenommen, dass das Bauteil Materialfehler in Größe der Nachweisgrenze enthält. Dies macht die Nachweisgrenze zu dem die Lebensdauer limitierenden Faktor. Bei probabilistischen Methoden wird zusätzliches Wissen, wie Zuverlässigkeit und Fehlerauffindwahrscheinlichkeiten bei der zerstörungsfreien Prüfung mit in die Berechnung einbezogen, um zu konservative Annahmen zu vermeiden. Ziel ist es eine Model-Assisted-POD aufzubauen mit der die reale volumetrische Ultraschallprüfung großer Schmiedeteile nachgebildet werden kann. Die resultierende POD soll im Weiteren in bruchmechanischen Betrachtungen Verwendung finden. In vorangegangenen Arbeiten [Preißel2015] wurde dazu der Einfluss des Prüfrasters nach der DGZfP-Richtlinie US 07:2014 auf die Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (parametrisch) simulativ betrachtet und die Simulationstechnik experimentell validiert.

In diesem Paper werden die Ergebnisse von Preißel überprüft und um eine Prüfraster-Summen-POD, die das Szenario der realen Bauteilprüfung beschreibt, erweitert. Zudem wird eine experimentell validierte, simulative, nicht-parametrische POD für schrägliegende Defekte aufgebaut. Schließlich werden erste Untersuchungen zur Defektmorphologie vorgestellt.

Diese Arbeit ist im Rahmen eines Studenten-Stipendiums der DGZfP entstanden.

## Zuverlässigkeit und ZfP – Ermittlung von POD/MAPOD-Kurven aus Ultraschallprüfungen zur Einbindung in Lebensdauerbewertungen

M. Spies<sup>1</sup>, H. Rieder<sup>1</sup>, A. Jüngert<sup>2</sup>, G. Wackenhut<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; <sup>2</sup> MPA Universität Stuttgart

Hinsichtlich des Lebensdauermanagements sicherheitsrelevanter Konstruktionen wie Komponenten in Kernkraftwerken stellen die Fertigungsqualität und das Altern von Bauteilen und Materialien entscheidende Faktoren dar. Materialfehler müssen bereits in einem frühen Stadium detektiert und korrekt bewertet werden. Die Ultraschallprüfung von Austenit- und Mischnähten, wie beispielsweise als Rohrumfangsnähte in Kernkraftwerken ausgeführt, ist jedoch gefügebedingt immer noch mit Unsicherheiten behaftet.

In einem kürzlich abgeschlossenen Forschungsvorhaben wurde eine bruchmechanische Bewertungsmethodik zur Zuverlässigkeitsbewertung von Rohrnähten entwickelt. Diese erlaubt eine quantitative Beschreibung der Unsicherheiten, die aufgrund der probabilistischen Verteilung der Materialeigenschaften einerseits und der mittels Ultraschallverfahren ermittelten Fehlercharakteristika andererseits entstehen. Zur Einbindung der Ergebnisse von Ultraschallprüfungen in die probabilistische Lebensdauerbewertung ist es notwendig, die Fehlerauffindwahrscheinlichkeit zu bestimmen. Diese wird anhand einer POD-Kurve (Probability of Detection) als Funktion der Fehlergröße beschrieben.

Wir berichten exemplarisch über Untersuchungen an zwei Mischnaht-Testkörpern (Halbrohre), in die Modellfehler für die Quer- und Längsfehlerprüfung eingebracht wurden. Die experimentell ermittelten Fehleramplituden wurde durch Simulationsrechnungen ergänzt, in denen die Unsicherheiten bei der Datenakquisition beispielsweise durch Variation des Einschallwinkels abgebildet wurden. Des Weiteren wurde ein Ansatz zur Berücksichtigung des menschlichen Fehlers bei der manuellen Prüfung genutzt. Wir berichten über die Ermittlung der POD/MAPOD (MAPOD: engl. Model-Assisted POD) für die Quer- und Längsfehlerprüfung an den beiden Mischnaht-Testkörpern anhand dieser Daten. In einem weiteren Beitrag wird die Einbindung dieser so ermittelten POD-Kurven in das bruchmechanische Bewertungskonzept vorgestellt.

## Zuverlässigkeit und ZfP – Lebensdauerbewertung von Komponenten unter Einbeziehung von Ultraschallprüfungen

A. Jüngert<sup>1</sup>, G. Wackenhut<sup>1</sup>, R. Lammert<sup>1</sup>, M. Spies<sup>2</sup>, H. Rieder<sup>3</sup>

<sup>1</sup> MPA Universität Stuttgart; <sup>2</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; <sup>3</sup> RD Systemtechnik GmbH, Saarbrücken

Die Lebensdauer von Komponenten in kerntechnischen Anlagen ist im Hinblick auf den sicheren Betrieb ein wichtiges Thema. Probabilistische Ansätze zur Bewertung der Integrität können hierbei quantitative Aussagen hinsichtlich des Einflusses der Streuung der Werkstoffparameter aber auch der Auffindbarkeit von Rissen auf die Versagenswahrscheinlichkeit von Komponenten.

Als Eingangsgrößen dienen Werkstoffkennwerte, wie z. B. die Bruchzähigkeit, und die Größe von Fehlstellen, die über zerstörungsfreie Prüfverfahren, wie z. B. einer Ultraschallprüfung, ermittelt wurde. In verschiedenen Untersuchungen zeigte sich jedoch, dass sowohl die Werkstoffkennwerte als auch die Fehlergrößenbestimmungen mithilfe von Ultraschallprüfungen an austenitischen Schweißnähten und Mischschweißverbindungen zwischen austenitischen und ferritischen Stahl mit einem statistischen Fehler behaftet sind. Die Datenbasis der relevanten Werkstoffparameter ist für derartige Schweißverbindung gering.

In einem kürzlich abgeschlossenen Forschungsvorhaben wurden an austenitischen und Mischschweißverbindungen bruchmechanische Werkstoffuntersuchungen durchgeführt und eine Datenbasis für die probabilistische Bewertung zusammengetragen. Zur Einbindung der Ultraschallprüfungen in die probabilistische Lebensdauerbewertung, ist es notwendig, die Fehlerauffindwahrscheinlichkeit für bestimmte Messkonfigurationen zu bestimmen. Die Fehlerauffindwahrscheinlichkeit wird in einer POD-Kurve (Probability of Detection) als Funktion der Fehlergröße beschrieben. Zur Erzeugung von realistischen POD-Kurven ist aus einer Vielzahl von Messungen mit verschiedenen Konfigurationen an unterschiedlichen Testkörpern ein statistischer Datensatz entstanden und durch simulierte Daten ergänzt worden. Hieraus konnten POD-Kurven für die untersuchten Werkstoffe und Messkonfigurationen erzeugt werden. Mithilfe der Kennwerte und der POD-Kurven konnte dann für realistische Werkstoffe und Fehlergrößen ein Bewertungsmodell entwickelt werden. Die Ermittlung der POD aus Messdaten und Simulationen wird in einem gesonderten Beitrag dargestellt. In diesem Beitrag wird die Einbindung der POD aus zerstörungsfreien Prüfungen in das Bewertungskonzept erläutert.

## ZfP, Metallografie und Schadenskunde – eine Kombination mit Potential

G. Hengstschläger<sup>1</sup>, J. Pühringer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>voestalpine Stahl GmbH, Linz, Österreich

In einem Hüttenbetrieb sind Schäden nichts Außergewöhnliches und führen in der Regel zu Unterbrechungen der Produktion. In Summe sind es Kosten für das Unternehmen die das Ergebnis beeinflussen. Eine Schadensanalyse ist der Lösungsansatz um ein erneutes Auftreten zu vermeiden. Einen Schaden zu lokalisieren und zu charakterisieren ist vielfach leichter gesagt als in der Praxis umgesetzt. Der Einsatz bzw. die Verknüpfung von ZfP Methoden mit der klassischen Schadenskunde ist ein essenzieller Schritt für eine zielorientierte Suche und Optimierung. Als zusätzlicher Benefit ist die Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf baugleiche oder ähnliche Komponenten und führt zu einem proaktiven Monitoring von Bereichen die über das Maß einer Inspektion/Instandhaltung hinausgehen. Die sich einstellenden Vorzüge aus dieser Herangehensweise sind eine deutliche Verbesserung der Anlagenverfügbarkeit und die Planung von zusätzlichen Maßnahmen. Anhand von Beispielen, an Bestandsanlagen als auch im Zuge von Fertigungskontrollen während Beschaffungsfällen, wird das Zusammenspiel der beiden Fachdisziplinen demonstriert und die erarbeiteten Erkenntnisse und Schlussfolgerungen offengelegt.

## **Auswirkungen, Gefahren und Möglichkeiten der UV LED Technologie in der fluoreszierenden Magnetpulver- und Eindringprüfung sowie deren Normung**

M. Breit<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SECU-CHEK GmbH, Kleinblittersdorf

Der Technologiesprung von der Quecksilberdampfampe zur LED Technologie ermöglicht die deutlichste Verbesserung der fluoreszierenden Sichtprüfung der letzten Jahrzehnte, stellt diese aber nicht sicher.

Die UV LED-Technik kann die Prüfung auch sehr viel schwerer oder gar unmöglich machen. Die Präsentation zeigt den starken Einfluss der UV-Strahlenquelle auf die fluoreszierende Prüfung sowie die Einflussfaktoren. Die Gefahren und Möglichkeiten sowie die technischen Lösungsansätze werden verständlich dargestellt.

Es werden Ein- und Ausblicke auf die Standardisierung der UV LED Leuchten in der ZfP, insbesondere die DIN EN 3059 gegeben.

## Die Eindringprüfung

H.W. Berg<sup>1</sup>, M.L. Wolf<sup>1</sup>, K.V. Schormann<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BMB GmbH, Heilbronn

Die Vorreinigung bei der Eindringprüfung ist der wichtigste Schritt vor dem Beginn der Eindringprüfung. Es gibt eine Vielzahl von Rückständen die der Eindringprüfer kennen muss. Es wird auf die Entfernung von „normalen“ und die Beurteilung von Besonderheiten eingegangen.

Neues von der Normung.

## **Prüfmittel für die Eindring- und Magnetpulverprüfung: Sicherheitsdatenblätter richtig lesen und verstehen**

K. Alward<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PFINDER KG, Böblingen

Sicherheitsdatenblätter als Informationsquelle zu chemischen Produkten wie z. B. Prüfmitteln für die Eindring- und Magnetpulverprüfung sind dazu bestimmt, dem Verwender die beim Umgang notwendigen Daten und Umgangsempfehlungen zu vermitteln, um die für den Gesundheitsschutz, die Sicherheit am Arbeitsplatz und den Schutz der Umwelt erforderlichen Maßnahmen treffen zu können. Für die Auswahl eines geeigneten Prüfmittelsystems werden neben den technischen Produkteigenschaften und wirtschaftlichen Faktoren das Verständnis der auf den ersten Blick oft komplex wirkenden Angaben immer wichtiger. Hierbei sind einige der insgesamt 16 Abschnitte des Sicherheitsdatenblattes für eine Ersteinschätzung von besonderer Bedeutung.

## UV-A LEDs in der fluoreszierenden Eindring- und Magnetpulverprüfung

P. Stöß<sup>1</sup>, A. Ivankov<sup>1</sup>, P. Muhrhauser<sup>1</sup>, N. Riess<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Helling GmbH, Heidgraben

Die fluoreszierende Eindring- und Magnetpulverprüfung sind die am häufigsten eingesetzten Verfahren in der zerstörungsfreien Materialprüfung.

Das für die Prüfung erforderliche UV-A Licht zur Erzeugung der Fluoreszenz wird heutzutage fast ausschließlich durch Licht emittierende Dioden (UV-A LED) erzeugt. Die in der Vergangenheit benutzten Quecksilberdampf-Lampen wurden nahezu vollständig abgelöst. Die UV-A LEDs haben den Vorteil handlich zu sein und eine wesentlich längere Lebensdauer (>10.000 Betriebsstunden) zu besitzen. Man kann sie konstruktiv einfacher gegen Umwelteinflüsse schützen, sie sind nahezu sofort betriebsbereit, und selbst bei den Hochleistungs-UV-A LEDs ist eine passive Kühlung der Halbleiterdioden bis zu 50°C Umgebungstemperatur möglich, um nur einige offensichtliche Vorteile zu nennen. Der Einsatz der LED UV-A Leuchten in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung ist in diversen Normen und Technischen Spezifikationen beschrieben und festgelegt. Diese sind u. a. ISO 3059:2012, ASTM E3022:2015, Rolls-Royce RRES 90061:2014 und Airbus AITM:2016. Neben detaillierten spektralen Intensitäten und Eigenschaften, die in Umgebungstemperaturen zwischen 10 – 50° C zu garantieren sind, müssen auch die Intensitäten der einzelnen Dioden oder Leuchten überprüft und bei Intensitätsverlust automatisch abgeschaltet werden.

Diese geforderten Eigenschaften muss der Hersteller der UV-A LED Leuchten nicht nur bauartgeprüft sondern für jede Leuchte individuell vermessen und zertifizieren. Zweifellos ist dies ein großer Aufwand und erfordert beim Hersteller entsprechende Investitionen. Die Fa. Helling hat für die umfangreichen Prüfungen ein Labor eingerichtet, das sowohl für die eigene Produktion und auch als Service für andere Hersteller genutzt werden kann.

In diesem Beitrag werden die Anforderungen der Normen und Spezifikationen detailliert und miteinander durch konkrete zertifizierte Beispiele verglichen.

## Shearografische Prüfung austenitischer nichtrostender Stähle

I. Kryukov<sup>1</sup>, E. Prints<sup>1</sup>, R. Toumia<sup>1</sup>, S. Böhm<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Kassel, tff, Kassel

Austenitische nichtrostende Stähle bilden eine festhaftende und chemisch beständige Passivschicht auf ihrer Oberfläche aus, die zu einer erhöhten Beständigkeit gegenüber Korrosion, insbesondere der gleichmäßigen Flächenkorrosion, führt. Aufgrund der Kombination ihrer Verarbeitbarkeit, ihrer mechanischen Eigenschaften sowie der Korrosionsbeständigkeit werden diese Stähle für viele Anwendungen eingesetzt, beispielsweise im Chemieanlagenbau, Schiffbau, in der Luft- und Raumfahrttechnik, Nukleartechnik und in der Lebensmittelindustrie. Austenitische nichtrostende Stähle sind aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung nicht magnetisch und verfügen über wesentlich größere Wärmeausdehnung bei gleichzeitig geringerer Wärmeleitfähigkeit als ferritische Stähle. Trotz ihrer Passivschicht treten Korrosionserscheinungen auch bei austenitischen nichtrostenden Stählen auf. Als häufigste und gefährlichste Korrosionsart gilt die Lochkorrosion, bei der der Werkstoff unterhalb der Oberfläche vollständig aufgelöst wird. Da diese Korrosionsart nur kleine Löcher auf der Oberfläche erzeugt, ist sie ohne zerstörungsfreier Prüfung schwer zu detektieren.

Die Shearografie bietet sich hier als optisches zerstörungsfreies Prüfverfahren an, mit dem große Oberflächen schnell auf Fehlstellen und Korrosion geprüft werden können. Aufgrund einer von außen aufgetragenen thermischen Belastung wird dabei der Verformungsgradient der Oberfläche des Prüfobjekts ausgewertet. Aus einer lokalen Abweichung des Verformungsgradienten kann auf innenliegende Fehler im Stahl geschlossen werden. Hier kann die hohe Wärmeausdehnung austenitischer nichtrostender Stähle für die Messung ausgenutzt werden.

In diesem Beitrag wird die Detektionsfähigkeit der Shearografie von Lochkorrosion an austenitischen nichtrostenden Stählen vorgestellt. Zur Nachbildung der Korrosionsart werden Prüfkörper mit Flachbodenbohrungen aus dem häufig eingesetzten nichtrostenden Stahl 1.4301 verwendet. Zur Erzeugung der thermischen Belastungen wird die Induktionserwärmung eingesetzt. Analysiert wird der Einfluss von Fehlergröße, -tiefe und -volumen sowie der örtlichen Auflösung auf die Fehlerdetektierbarkeit.

## Umsetzung des neuen Strahlenschutzrechts in Deutschland – Schwerpunkt technische Radiographie

C. Kaps<sup>1</sup>, A. Steege<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DGZfP e.V., Berlin

Die Richtlinie 2013/59/EURATOM ist durch das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) und die neue Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) in deutsches Recht umgesetzt. Mit Inkrafttreten der StrlSchV am 31.12.2018 wurde die Trennung zwischen alter Strahlenschutzverordnung und Röntgenverordnung endgültig aufgehoben. Sowohl das StrlSchG als auch die StrlSchV sind nun die allgemeingültige Rechtsgrundlage beim Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen und für den Betrieb von Röntgeneinrichtungen. Für viele Änderungen und Neuerungen wurden Übergangsfristen eingeführt, so dass die vollständige Umsetzung des neuen Strahlenschutzrechts erst in einigen Jahren vollzogen sein wird.

Neu im Strahlenschutz ist, dass es eine Einteilung der Expositionssituationen geben wird. Hier wird unterscheiden zwischen geplanten Expositionssituationen, Notfallexpositionssituationen und bestehenden Expositionssituationen. Genehmigungen werden zukünftig auf Gesetzesebene erteilt und für den Umgang mit hochradioaktiven Strahlenquellen nur, wenn Verfahren und geeignete Kommunikationsverbindungen für den Notfall vorhanden sind. Bestehende Genehmigungen werden diesbezüglich mit einer Übergangsfrist von zwei Jahren gültig bleiben. Für beruflich strahlenexponierte Personen wurde eine Personenkennzeichnung (Strahlenschutzregisternummer) eingeführt und der Strahlenpass dahingehend angepasst. Weitere Änderungen ergeben sich aus der Zusammenführung und Angleichung von Strahlenschutz- und Röntgenverordnung.

Der Vortrag soll die wesentlichen Inhalte des Strahlenschutzgesetzes und der Strahlenschutzverordnung mit Blick auf die technische Radiographie wiedergeben.

## Die Revision der DIN 54113 – Strahlenschutzregeln für die Röntgentechnik

B. Redmer<sup>1</sup>, A. Deresch<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> YXLON International GmbH, Hamburg

Die Revision der DIN 54113 „Zerstörungsfreie Prüfung – Strahlenschutzregeln für die technische Anwendung von Röntgeneinrichtungen bis 1 MV“, mit den Teilen 1 bis 3, wird bereits seit mehreren Jahren durchgeführt. Dabei sind die Teile 1 und 2 zu einem neuen Teil 1 zusammengefasst und inhaltlich gestrafft worden.

Der bisherige Teil 3 wird inhaltlich erweitert, wobei der Fokus auf den Tabellen und Diagrammen zu den Schwächungswerten für Blei als Funktion der spezifischen Dosisleistung spez liegt. Um eine Erweiterung des Anwendungsbereiches auf Röntgenspannungen bis zu 600 kV ausführen zu können, musste ein entsprechender Versuchsaufbau zur Messung der Dosisleistung hinter unterschiedlich dicken Bleiplatten als Absorbermaterial errichtet werden. Um die Zuverlässigkeit und Vergleichbarkeit der aktuellen Messungen zu gewährleisten, wurden diese mit den derzeit bereits gültigen Werten bei 450 kV verglichen und so die Wirksamkeit der am Aufbau vorgenommenen Verbesserungen gezeigt. Zu diesen Verbesserungen zählen insbesondere ein angepasstes Kabellabyrinth und die Vermeidung selbst kleinster Lücken in den Außenwänden der Messkammer.

Für Messwerte deren Dosisleistungswerte außerhalb des Messbereiches des verwendeten Dosisleistungsmessgerätes liegen, wurden Simulationsrechnungen angefertigt. In den Bereichen, in denen sowohl Messwerte als auch Simulationsergebnisse vorliegen, werden die Simulationsergebnisse validiert und kalibriert.

Der Vortrag beschreibt die wesentlichen inhaltlichen Änderungen der Normreihe DIN 4113 und stellt die messtechnischen Ergebnisse und Diagramme für die Schwächungswerte bei Spannungen bis zu 600 kV vor. Im Ausblick wird auf die Übertragbarkeit der Erkenntnisse bei der Revision der Normreihe DIN 54115 für die Gammadiagnostik eingegangen.

## **Ausbildung nach neuem Strahlenschutzrecht – alte und neue Fachkundegruppen**

A. Steege<sup>1</sup>, C. Kaps<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DGZfP e.V., Berlin

Die Richtlinie 2013/59/EURATOM ist durch das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) und die neue Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) in deutsches Recht umgesetzt. Mit Inkrafttreten der StrlSchV am 31.12.2018 wurde die Trennung zwischen alter Strahlenschutzverordnung und Röntgenverordnung endgültig aufgehoben. Sowohl das StrlSchG als auch die StrlSchV sind nun die allgemeingültige Rechtsgrundlage beim Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen und für den Betrieb von Röntgeneinrichtungen. Die vielfältigen Anwendungsbereiche von radioaktiven Stoffen und Röntgeneinrichtungen in Industrie und Technik stellen hohe Anforderungen an die fachliche Qualifikation der Strahlenschutzbeauftragten.

Eine wesentliche Neuerung betrifft die Beförderung von radioaktiven Stoffen. Neue Genehmigungsvoraussetzung ist hier eine fachkundige Person (Strahlenschutzbeauftragter) für die Beförderung. Die Fachkunderichtlinie wurde entsprechend angepasst. Darüber hinaus werden auch für Freigabe von radioaktiven Stoffen und Luftfahrtunternehmen (bestehende Expositionssituation) Fachkunden eingeführt.

Im Vortrag wird auf die Ausbildung zur Sicherheitsbeauftragten Person eingegangen. Diese besonders zu qualifizierende Person ist gefordert, wenn es um die Sicherung von Strahlenquellen geht.

Der Vortrag soll die wesentlichen Änderungen der Fachkunde-Richtlinien Technik mit Blick auf die technische Radiographie wiedergeben.

## Zerstörungsfreie Charakterisierung der Alterung additiv gefertigter Kunststoffbauteile

C. Metz<sup>1</sup>, P. Franz<sup>1</sup>, C. Fischer<sup>2</sup>, V. Wachtendorf<sup>1</sup>, C. Maierhofer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

Die Additive Fertigung befindet sich derzeit in der Transformation vom vorrangigen Einsatz in der Entwicklung von Prototypen hin zur Integration in die industrielle Produktionskette. Forschung und Entwicklung konzentrieren sich dabei vor allem auf die Weiterentwicklung von Verfahren zur Qualitätssicherung, z. B. bei der in-situ Prozessüberwachung oder der anschließenden zerstörungsfreien Prüfung. Indes finden sich kaum Studien, die die möglicherweise abweichende Alterung und Langzeitstabilität additiv gefertigter Kunststoffbauteile im Vergleich zu konventionell hergestellten Komponenten untersuchen. Vor allem in sicherheitsrelevanten Einsatzgebieten ist ein detailliertes Verständnis von Umwelteinflüssen auf die mechanischen und weiteren Materialeigenschaften unabdingbar.

In dem vorgestellten AiF-Projekt werden Kunststoffprobekörper untersucht, die mittels Laser Sintering (LS) und Fused Layer Modeling (FLM) hergestellt wurden. Alle Probekörper wurden über insgesamt 2000 Stunden künstlich bewittert. Dabei stellt sich ein Alterungsgrad ein, der vergleichbar mit einem Witterungseinfluss von einigen Jahren Außenbewitterung in Mitteleuropa ist. Um Unterschiede im jeweiligen Alterungsverhalten herauszuarbeiten, wurden einerseits die Produktionsparameter bei der additiven Fertigung variiert und andererseits eine zusätzliche Probenserie konventionell, mittels Spritzguss hergestellt. Im Vorfeld, sowie zu unterschiedlichen Stadien der Bewitterung wurden die Proben charakterisiert. Dazu kamen, neben klassischen Methoden zur Analyse der Alterung (spektroskopische Verfahren), ZfP-Verfahren wie die aktive Thermografie und die Ultraschallprüfung zum Einsatz. Ein Teil der Probekörper wurde zusätzlich mit künstlichen Defekten versehen, mittels derer sich die Eignung der genannten ZfP-Verfahren zur Qualitätskontrolle untersuchen lässt. Zusätzlich zu den Probekörpern, die ausschließlich zerstörungsfrei untersucht wurden, wurde eine Serie von Zugstäben bewittert, deren mechanische Eigenschaften zerstörend ermittelt wurden. Dadurch konnten die Ergebnisse der spektroskopischen und ZfP Verfahren mit den mechanischen Eigenschaften korreliert werden.

## Verfahrensentwicklung für die Prozessüberwachung in der additiven Fertigung von Metallen Thermografie

N. Scheuschner<sup>1</sup>, S.J. Altenburg<sup>1</sup>, C. Maierhofer<sup>1</sup>, G. Mohr<sup>1</sup>, K. Hilgenberg<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin

Für die Prozessüberwachung in der additiven Fertigung (AM) werden Sensoren und Messsysteme zur Kontrolle der Energiequelle, des Bauraums, des Schmelzbades und der Bauteilgeometrie zumindest im metallbasierten AM schon kommerziell angeboten. Weitere Verfahren der Optik, Spektroskopie und zerstörungsfreien Prüfung werden in der Literatur als geeignet für die in-situ Anwendung bezeichnet, es finden sich aber nur wenige Berichte über konkrete praktische Umsetzungen.

Ein neues Projekt der BAM im Themenfeld Material hat daher das Ziel, Verfahren des Prozessmonitorings zur in-situ Bewertung der Qualität additiv gefertigter Metallbauteile in AM-Prozessen mit Laser- bzw. Lichtbogenquellen zu entwickeln. Dies beinhaltet neben passiver und aktiver Thermografie die optische Tomografie, die optische Emissionsspektroskopie, die Wirbelstromprüfung, die Laminografie, die Röntgenrückstreuung und photoakustische Verfahren. Diese Verfahren werden in verschiedenen AM-Systemen zum selektiven Laserschmelzen, zum Laser-Pulver-Auftragsschweißen und zum Lichtbogen-schweißen mit Drahtzuführung zum Einsatz gebracht. Für die zum Teil sehr großen Datenmengen werden Algorithmen für ein effizientes Preprocessing entwickelt und Merkmale der Messdaten in Korrelation zu Fehlern und Inhomogenitäten extrahiert, welche mit Referenzverfahren wie Computertomografie und Ultraschall-Tauchtechnik ermittelt werden. Die Ergebnisse der Einzelverfahren werden fusioniert und mit den Fertigungsparametern korreliert. Diese Prozessüberwachung soll eine deutliche Reduzierung aufwändiger und zeitintensiver, zerstörender oder zerstörungsfreier Prüfungen nach der Fertigung des Bauteiles und zugleich eine Verringerung von Ausschussproduktion bewirken.

Im Beitrag wird zunächst das Projekt als Ganzes vorgestellt und dann der Fokus auf die Thermografie mit Detektoren in verschiedenen Wellenlängenbereichen gelegt. Anforderungen an die Messtechnik für verschiedene AM-Systeme werden diskutiert und experimentelle Ergebnisse im Vergleich zur optischen Tomografie und weiterer Verfahren präsentiert.

## Hochauflösende Wirbelstromprüfung in der Additiven Fertigung

H. Ehlers<sup>1</sup>, M. Pelkner<sup>1</sup>, R. Pohl<sup>1</sup>, R. Thewes<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> TU Berlin

Additive Fertigung hat in den letzten Jahren aufgrund der hohen Flexibilität stark an Bedeutung gewonnen. Insbesondere in der Luft- und Raumfahrttechnik werden hohe Anforderungen an die Qualitätskontrolle additiv gefertigter Bauteile gestellt. Teile die mit dem selektiven Laserschmelzen (SLM) hergestellt werden, bilden schon während des Fertigungsprozesses Poren oder Risse aus. Aus diesem Grund ist die zerstörungsfreie Prüfung jedes Bauteils notwendig. Erste Versuche haben gezeigt, dass die ex-situ Wirbelstromprüfung von SLM-Bauteilen mit hochauflösenden MR Sonden möglich ist und dass Fehler im Bereich von 50  $\mu\text{m}$  detektiert werden können. In dem Vortrag wird eine automatisierte in-situ Wirbelstromprüfung von SLM-Bauteilen vorgestellt. Für die Prüfung wird eine Vielzahl hochauflösender MR Sensoren verwendet, um die benötigte hohe Ortsauflösung bei gleichzeitig kurzer Prüfzeit zu erreichen. Zusätzlich werden klassische Methoden der Signalverarbeitung verwendet, um die Kosten und die Komplexität des Systems trotz hoher Prüffrequenz zu minimieren. Das vorgestellte System kann in der Zukunft helfen automatisiert Prüfberichte zu generieren, den SLM-Prozess zu kontrollieren oder automatisiert Fehlstellen auszuheilen.

## **Prüfung von Kohlefaserverbund-Werkstoffen mit Hybridverfahren: Wassergekoppelte Anregung und luftgekoppelte Detektion mit optischem Mikrofon**

B. Fischer<sup>1</sup>, N. Panzer<sup>1</sup>, W. Rohringer<sup>1</sup>, S. Wald<sup>1</sup>, J. Šekelja<sup>2</sup>, W. Haase<sup>3</sup>, H. Sehrs Schön<sup>3</sup>

<sup>1</sup> XARION Laser Acoustics GmbH, Wien, Österreich; <sup>2</sup> GKN Aerospace Deutschland GmbH, München; <sup>3</sup> FILL GmbH, Gurten, Österreich

Beim Herstellungsprozess von Flugzeugkomponenten aus Kohlefaserverbundstoffmaterialien ist die Überprüfung der strukturellen Integrität unverzichtbar. Heute werden dazu häufig automatisierte Ultraschall-Transmissions-Prüfverfahren angewendet, bei denen ein Roboterarm das Bauteil mäanderförmig abfährt. Der Ultraschall wird mittels Wasserstrahl in das Bauteil ein- und ausgekoppelt (Squitter-Verfahren). Bei offenporigen Bauteilen ist der Wasserkontakt jedoch unerwünscht, da Wasser ins Bauteil eindringen und dort zu Schäden führen kann. In manchen Prüfsituationen ist es ausreichend, auf einer der beiden Bauteiloberflächen den Wasserkontakt zu vermeiden. Es wurde daher ein Verfahren untersucht, bei dem der Ultraschall mittels Wasserstrahl eingekoppelt wird und auf der Rückseite über die Luft – und damit ohne Wasserkontakt – detektiert wird. Die Amplituden-Detektion des 1MHz Prüfsignals erfolgt mit einem optischen Mikrofon, welches auf einem miniaturisierten Fabry-Pérot Laserinterferometer basiert. Dabei führt der vom Bauteil in die Luft abgestrahlte Schalldruck zu einer geringfügigen Veränderung des optischen Brechungsindex der Luft, was eine entsprechende Veränderung der transmittierten Lichtintensität durch das Interferometer zur Folge hat. Ergebnisse von automatisierter Prüfung mittels Roboter von monolithischen Komponenten und Sandwichbauteilen werden vorgestellt und diskutiert.

## Erzeugung von realitätsnahen Durchstrahlungsbildern für die Sicherheitskontrollen in der Luftfahrt

T. Lüthi<sup>1</sup>, A. Flisch<sup>1</sup>, S. Kolokytha<sup>1</sup>, S. Groshev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Empa, Dübendorf, Schweiz; <sup>2</sup> CASRA, Zürich, Schweiz

Im Luftverkehr wird sämtliches aufgegebenes und mitgeführtes Gepäck bei der Sicherheitskontrolle durchstrahlt. Dabei müssen unerlaubte Gegenstände in verschiedenen Lagen zuverlässig erkannt werden. Dies kann software-unterstützt erfolgen, schlussendlich entscheidet aber immer ein Mensch, der entsprechend trainiert werden muss.

Ein guter Trainingseffekt wird dann erreicht, wenn eine grosse Anzahl an Durchstrahlungsaufnahmen von Gepäckstücken mit erlaubtem und unerlaubtem Inhalt zur Verfügung steht. Das Umpacken und radiographieren von hunderten von unterschiedlichen Situationen wäre dabei sehr aufwendig.

Deshalb werden Simulationsmethoden entwickelt die erlauben, die entsprechenden Durchstrahlungsaufnahmen am Bildschirm zu generieren. Dabei können die zusätzlichen Gegenstände nicht einfach in das ursprüngliche Bild hineinkopiert werden. Eine solche Manipulation würde durch den Auswerter sofort registriert und es besteht die Möglichkeit, dass sich das Personal bei der Ausbildung nur auf solche Änderungen konzentriert, dabei zwar erfolgreich abschneidet aber den erwünschten Trainingseffekt nicht erreicht.

Um erfolversprechende Ausbildungsgrundlagen zu schaffen muss daher ein weit komplizierterer Weg gewählt werden. Alle normal gefüllten Behältnisse und die zusätzlichen erlaubten und unerlaubten Gegenstände werden mit unterschiedlichen Anforderungen tomographiert und dreidimensionale Datensätze davon erstellt.

Die Koffer wurden dabei mit einem Hochenergie-System (4/6 MeV Linearbeschleuniger mit Zeilendetektor) aufgenommen. Einerseits war dadurch das zu erfassende Volumen genügend gross und unerwünschte Artefakte infolge der langen Metallverstärkungen konnten wegen der hohen Strahlungsenergie eliminiert werden. Die hineinzubringenden Teile wurden mit höherer Auflösung mit einer Mikrofokus-Anlage (300 kV Röntgenröhre mit Flachdetektor) aufgenommen. Die höhere Auflösung ist hier erwünscht, damit sich die Daten der Gegenstände ohne Qualitätsverlust beliebig rotieren und grössenmässig anpassen lassen.

### 3D Röntgenprüfsystem zur Inspektion von Helikopter Rotorblättern

I. Kremers<sup>1</sup>, M. Krumm<sup>1</sup>, V. Hämmerle<sup>1</sup>, S. Burdairon<sup>1</sup>, M. Fix<sup>1</sup>, C. Foko<sup>1</sup>, C. Sauerwein<sup>1</sup>

<sup>1</sup> RayScan Technologies GmbH, Meersburg

Helikopter-Rotorblätter moderner Bauart verfügen über eine komplexe Struktur bestehend aus Leichtbaumaterialien, wie faserverstärkten Kunststoffen, Schäumen oder Wabenstrukturen sowie metallischen Komponenten wie Titan, Aluminium oder Stahl. Auswahl, Kombination und Anordnung der einzelnen Materialien und Strukturelemente sind optimiert, um das für die jeweiligen Rotorblatt-Bereiche erwünschte Verhalten zu gewährleisten.

Die Qualitätssicherung solch komplexer Bauteile erfordert eine vollständige Darstellung des gesamten Bauteilvolumens, um Poren, Fehlstellen, Delaminationen, Risse und andere Ungängen zu detektieren und den Strukturaufbau zu verifizieren. Eine detaillierte Analyse hat ergeben, dass hierfür 3D Röntgenverfahren am besten geeignet sind.

Es wurde ein System für folgenden Zweck entwickelt: Vollständige horizontale, vollautomatische Handhabung und komplette dreidimensionale Erfassung von Helikopter Rotorblättern mit bis zu 11 m Länge und 600 mm Breite sowie bis zu 400 kg Masse, Erzeugung von 3D Volumenschnittbildern aus teilweise unvollständigen Datensätzen in unterschiedlichen Qualitätsstufen, sowie die Verarbeitung und Verwaltung von Datensätzen mit Speicheranforderungen im Terabytebereich. Im Zuge der Entwicklung wurde eine neuartige Messstrategie zur Erfassung der 3D-Information basierend auf dem erfolgreichen RoboTom-Prinzip erstellt, mit einer exakten Mechanik kombiniert und in einer kompakten Strahlenschutzkabine untergebracht.

In diesem Beitrag werden das Prüfsystem und erste typische Messergebnisse vorgestellt.

## Zuverlässige Detektion oberflächennaher Reflektoren in CFK mit der Total-focusing-Methode

J.-C. Grager<sup>1,2</sup>, A. Narr<sup>1,2</sup>, H. Mooshofer<sup>1</sup>, C.U. Große<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siemens AG, München; <sup>2</sup> TU München

Lasttragende Bauteile aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) müssen im Energiesektor oft mehrere Zentimeter dick ausgelegt werden. Die Inspektion derartiger Strukturen mittels Ultraschall erfordert meist die Wahl von niedrigen Prüffrequenzen, um eine ausreichende Eindringtiefe zu gewährleisten. Dadurch verschlechtert sich jedoch die Nachweisgrenze und die Detektion von oberflächennahen Reflektoren wird erschwert. Sequentielle Untersuchungen mit verschiedenen Prüffrequenzen sind nicht wirtschaftlich.

Moderne Rekonstruktionsalgorithmen, wie die Total-focusing-Methode (TFM), lassen sich für anisotrope und heterogene CFK-Lamine anpassen. Diese Verfahren verbessern die Auflösung und die Empfindlichkeit, aber in Oberflächennähe nur unzureichend. Die aufgezeichneten A-Bilder weisen in der Sendeimpuls-Einflusszone erhöhte oder gesättigte Signalamplituden auf. Insbesondere letztere führen zu sprunghaft überhöhten Amplituden im Imaginärteil des analytischen Signals und werden im TFM-Algorithmus verrechnet. Dadurch entsteht im Ergebnisbild ein Bildartefakt parallel zur Prüffläche mit hohen Pixelwerten, wodurch Reflektoren unerkannt bleiben können.

In diesem Beitrag wird ein neuer Ansatz vorgestellt, um oberflächennahe Reflektoren in CFK ab einer Tiefe von 0,9 mm zuverlässig mit der TFM zu detektieren. Ersterer basiert auf einer 2D-Fourier-Transformation und unterdrückt mithilfe einer symmetrischen Filtermaske im Wellenzahl-Frequenz-Spektrum ungewollte Signalanteile im Full-Matrix-Capture-Rohdatensatz. Die anschließende TFM-Rekonstruktion mit der quasi-longitudinalen Wellenmode erhöht die Bildqualität und die Detektierbarkeit von oberflächennahen Reflektoren signifikant.

## **Kalibrierung des TFM-Verfahrens mittels additiv gefertigter Kalibrier-Reflektoren und Vergleich mit Simulationen**

O. Nemitz<sup>1</sup>, T. Schmitte<sup>1</sup>, M. Cembrowski<sup>1</sup>, T. Orth<sup>1</sup>, S. Rott<sup>2</sup>, J. Bamberg<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg; <sup>2</sup>MTU Aero Engines AG, München

Das TFM-Verfahren (Total Focussing Method) eignet sich besonders zur Prüfung auf kleine, innere Ungängen in verschiedenen Orientierungen. Für eine Kalibrierung stehen aber normalerweise nur einfache Kalibrierreflektoren wie Nuten und Flachbodenbohrungen zur Verfügung, die die komplexe Geometrie von realen inneren Ungängen in metallischen Bauteilen nur unzureichend annähern.

Daher wurde ein Quader mit einer Serie von verschiedenen inneren Ungängen als 3D-Modell entworfen und mittels des additiven Fertigungsverfahrens Selective Laser Melting aus der Legierung Inconel 718 im Pulverbett aufgebaut. Dieser so entstandene Testkörper wurde dann mittels konventioneller Ultraschallprüfung und dem TFM-Verfahren untersucht, wobei das TFM-Verfahren in senkrechter Einschallung und mit Winkeleinschallung zum Einsatz kam.

Desweiteren wurden CIVA-Simulationen der TFM-Prüfung als Vergleich an einem Teil der künstlichen inneren Ungängen durchgeführt.

In diesem Konferenzbeitrag werden die verschiedenen Ergebnisse verglichen und auf die daraus folgenden Möglichkeiten der Kalibrierung des TFM-Verfahrens eingegangen.

## Praxiserfahrungen beim Einsatz der SAFT-Software von Siemens

K. Schörner<sup>1</sup>, H. Mooshofer<sup>1</sup>, A. Zimmer<sup>2</sup>, J. Vrana<sup>3</sup>, K. Kolk<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Siemens AG, München; <sup>2</sup> Saarschmiede GmbH, Völklingen; <sup>3</sup> Vrana GmbH, Rimsting;

<sup>4</sup> Siemens AG, Mülheim an der Ruhr

Die Ultraschallprüfung mittels Synthetic Aperture Focusing Technique (SAFT) bietet mehrere Vorteile: Sie verbessert Nachweisgrenze, Defektlokalisierung und die Möglichkeiten zur Trennung nahe benachbarter Defektanzeigen. Siemens hat dazu eine Software entwickelt, die eine schnelle SAFT-Rekonstruktion (2D/3D) mit der anschließenden Visualisierung rekonstruierter SAFT-Volumina vereint. Durch die heutzutage verfügbaren Rechenleistungen können damit auch große Prüfvolumina – wie z. B. ganze Turbinenscheiben – vollständig rekonstruiert und bewertet werden. Ursprünglich im Rahmen eines Forschungsprojektes entstanden, hat sich die Software weiterentwickelt und befindet sich inzwischen im produktiven Einsatz zur SAFT-Herstellungsprüfung von geschmiedeten Turbinenscheiben.

Im Rahmen dieses Beitrages wird der modulare Aufbau der Software vorgestellt, der eine Anpassung an unterschiedliche Einschallrichtungen bzw. Prüfbedingungen gestattet, sowie die GPGPU-Rekonstruktion (General Purpose Computation on Graphics Processing Unit) und das schnelle Rendering zur Visualisierung. Zudem berichten wir über Praxiserfahrungen und daraus resultierenden Vereinfachungen, die in der Software realisiert wurden, um einen effizienten, robusten und fehlerfreien Einsatz zu gewährleisten. War die Parametrierung einer SAFT-Rekonstruktion zu Anfang beispielsweise noch recht umfangreich (und universell), konnte sie durch verschiedene Automaten deutlich reduziert werden. Somit kann die SAFT-Inspektion mittlerweile mit dem gleichen Zeitaufwand durchgeführt werden, der für den Fall der klassischen UT notwendig wäre. Zudem bietet die Softwarelösung weiteres Automatisierungspotential wie z. B. die automatisierte Detektion und Bewertung/Klassifizierung von Anzeigen sowie Generierung dazugehöriger tabellarischer Anzeigeberichte. Die vorgestellten Schritte, die sich zum Teil bereits in der Umsetzung befinden, zielen in Richtung Digitalisierung und ZfP 4.0.

## Einsatz von Abschwächungskurven bei TFM-Messungen zur verbesserten Reflektordeutung

J. Rittmann<sup>1</sup>, M. Kreutzbruck<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IKT, Universität Stuttgart

In Amplitude-Verstärkung-Größe (AVG)-Diagrammen wird die bekannte Abnahme des Schalldrucks von senkrecht einschallenden Kreiswandlern ausgenutzt, um über Reflektorsignal und -tiefe auf die Größe des Reflektors schließen zu können. In der direkt bildgebenden Phased-Array-Ultraschalltechnik, im speziellen der Total Focusing Method (TFM)-Technik, können die Fehlergrößen direkt aus dem rekonstruierten Bild gewonnen werden. Signalabschwächungen in Kombination mit ihrer Tiefenlage werden dadurch in TFM-Messungen und weiteren bildgebenden Verfahren nicht mehr direkt zur Bestimmung der Fehlergröße herangezogen.

In diesem Beitrag werden für unterschiedlich große und in ihrer Tiefe variierende Kreisscheibenreflektoren (KSR), Abschwächungsgesetze ermittelt und untereinander verglichen. Dabei werden zunächst mit der klassischen Einzelschwingertechnik, AVG-Diagramme bei unterschiedlichen Prüffrequenzen und auch Werkstoffen bestimmt. Aus diesen Messungen werden die werkstoffspezifischen Dämpfungen bestimmt. Anschließend werden die Abschwächungsdiagramme mit den klassischen AVG-Diagrammen und der analytischen Lösung der Schallausbreitung einer Punktquelle verglichen. Des Weiteren werden die Abschwächungsdiagramme ausgenutzt, um zur direkt bildgebenden Auswertung zusätzliche Informationen über die Fehlstelle zu erhalten. Reflektoren können nun sowohl über die Bildgebung der TFM-Messung als auch über die AVG-Diagramme ausgewertet werden. Abschließend erfolgt eine Bewertung, wie diese Mehrinformation durch die Abschwächungsgesetze mittels Datenfusion in der Praxis eingesetzt werden könnte.

## Entwicklung von piezoelektrischen Scherwellenwandlern für die Zustandsüberwachung von Offshore-Gründungsstrukturen

T. Gaul<sup>1</sup>, Y. Kim<sup>1</sup>, B. Weihnacht<sup>1</sup>, L. Schubert<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IKTS, Dresden

Durch den voranschreitenden Aufbau von Offshore-Windparks in Nord- und Ostsee hat sich die Anzahl von Gründungsstrukturen deutlich erhöht. Die Wartung und Prüfung dieser Anlagen stellt Windparkbetreiber vor große Herausforderungen, da ein Zugang wetterbedingt nicht ganzjährig möglich und die An- und Abreise von Technikern mit hohen Kosten verbunden ist. Während für Getriebeüberwachung oder Eisansatz an Rotorblättern bereits industrielle Überwachungslösungen angeboten werden, ist es noch nicht möglich die Gründungen dieser Windenergieanlagen zu überwachen. Hierbei können permanent applizierte Sensormanschetten auf Basis von geführten Ultraschallwellen eingesetzt werden. Besonders für den Unterwassereinsatz sind Scherwellen geeignet, da sie ein hohes Fehlerwechselwirkungspotential aufweisen. Durch eine reine Schwingung in der Ausbreitungsebene tritt keine zusätzliche Dämpfung durch Bewuchs auf und in das umgebende Medium werden keine Leckwellen abgestrahlt.

In Zusammenarbeit mit PI Ceramic und der INVENT GmbH werden am Fraunhofer IKTS piezoelektrische Scherwellenwandler zur Zustandsüberwachung entwickelt. Zur Identifikation eines optimalen Wandlers werden in einem iterativen Prozess mit Hilfe von Simulationen und umfangreichen Laboruntersuchungen verschiedene Parameter des Wandlers variiert und die Auswirkungen auf die abgestrahlte Scherwelle untersucht. Dabei werden die Einflussfaktoren Geometrie, Material und Abstützungs- und Versteifungselemente untersucht. Unter Anwendung eines 3D-Laservibrometers und eines elektromagnetischen Wandlers werden die aktorischen und sensorischen Funktionen der Wandler charakterisiert.

In der vorliegenden Arbeit werden ausgewählte Parameter wie Scherwellenenergie, Abstrahlwinkel und Bandbreite aus den Messdaten extrahiert. Anschließend erfolgt eine Gegenüberstellung dieser Parameter zur Bewertung der unterschiedlichen Varianten.

## Industriekletterer in der ZfP

E. Bayer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BIS Inspection Service GmbH, Hamburg

Die wiederkehrende Prüfung an hohen und unzugänglichen Anlagenteilen, Kranen und Offshore-Objekten stellt Betreiber immer wieder vor Herausforderungen.

Der Aufbau von Gerüsten, der Einsatz von Kranen und Hebebühnen ist zeit- und kostenintensiv. Kletternde Werkstoffprüfer sorgen hier für eine zügige und wirtschaftliche Prüfung. Mittels Seilzugang können die relevanten Bereiche mit UT, MT, PT, ET und VT geprüft werden. Auch Entschichtungs- und Beschichtungsarbeiten sind in diesem Zusammenhang möglich. Die BIS Inspection Service GmbH hat seit 2016 zertifizierte Werkstoffprüfer mit Ausbildung als Industriekletterer im Einsatz. Mit mehreren tausend Einsatzstunden gehört die BIS zu den führenden deutschen Prüfunternehmen auf diesem Gebiet.

Im Vortrag werden zuerst die Grundlagen der Seilzugangstechnik dargestellt und das Ausbildungssystem für Industriekletterer erläutert. Anschließend wird anhand von drei Fallbeispielen aus der Praxis der Einsatz von Industriekletterern in der ZfP dargestellt.

Fallbeispiel 1: Ultraschallprüfung von Jacketstrukturen einer Offshore-Windkraft-Umspannplattform im Rahmen der wiederkehrenden Prüfung

Fallbeispiel 2: Magnetpulverprüfung einer Turmschweißnaht auf einer Onshore-Windkraftanlage nach Rissverdacht

Fallbeispiel 3: UT, MT und VT an Containerbrücken im Rahmen wiederkehrender Prüfungen

## Nachweis von Rissen unter organischen Deckschichten an Schweißverbindungen

G. Heck<sup>1</sup>, F. Greimel<sup>2</sup>, G. Dinold<sup>3</sup>, A. Kurtin<sup>4</sup>, S. Satzinger<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Ingenieurbüro für Werkstofftechnik, Weiz, Österreich; <sup>2</sup> Andritz Hydro GmbH, Weiz, Österreich; <sup>3</sup> NDT-Consult, Wien, Österreich; <sup>4</sup> TVFA Hydro TPA KKS, Wien, Österreich;

<sup>5</sup> Satzinger NDT-Consult, Wien, Österreich

Die Notwendigkeit, Schweißkonstruktionen im Zuge von Betriebsüberwachungen periodisch auf ihre Sicherheit hin zu überprüfen stellt an die Methoden der zerstörungsfreien Prüfverfahren hohe Anforderungen. Die Bestrebung, im Betrieb entstandene Risse in einem möglichst frühen Stadium nachzuweisen, ist verständlich aber nicht immer leicht zu erfüllen. Die Erfüllung dieser Forderung hängt von vielen Faktoren ab. Einer der wesentlichsten Faktoren ist der Oberflächenzustand. Viele Schweißverbindungen sind nicht überschleift und zudem mit einem Korrosionsschutz unterschiedlicher Beschichtungsstärke versehen. Von der Wahl des geeigneten Prüfverfahrens hängt der Erfolg der Prüfung ab. Vielversprechende Verfahren sind das Magnetische Streuflussverfahren und die Wirbelstromprüfung. Schweißverbindungen mit realen linearen zur Oberflächen hin offenen flächigen Fehlern unterschiedlicher Breite und Tiefe werden alternierend beschichtet und geprüft. Im Besonderen soll bei diesen Untersuchungen ausgelotet werden, bis zu welchen Beschichtungsstärken noch verwertbare Prüfergebnisse im Sinne der zugrundeliegenden Prüfnormen erzielt werden können. Die Angaben in internationalen Regelwerken für maximal zulässige Beschichtungsstärken liegen bei etwa 40µm.

## **Feldtaugliche Vor-Ort Prüfung von gebrauchten und mit Protektoren (Centralizer) ausgestatteten Pumpstangen mit der Streuflussmethode**

M. Janßen<sup>1</sup>, R. Maier<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tuboscope Vecto (D) GmbH, Celle; <sup>2</sup> OMV Exploration & Production GmbH, Wien, Österreich

Pumpstangen werden im Bereich der Erdölförderung verwendet; sie führen zusammengefügt als Gestänge durch Produktionsrohre, um mit einer vertikalen Auf- und Ab-Bewegung eine Pumpe anzutreiben. Als Schwerpunkttechnologie zur zerstörungsfreien Inspektion wurde die Streuflussmethode (MFL – Magnetic Flux Leakage) gewählt, um eine zügige, robuste und sichere Prüfung von Korrosions- und Materialschäden zu gewährleisten. Durch das Prinzip bedingt wird mit berührenden Sensoren gearbeitet, um größtmögliche Fehlerauflösungen und Signal-/Rauschabstände zu generieren. Das bedeutet, dass die Sensoren ständig auf die Stangenoberfläche gepresst werden und auf ihr gleiten.

Von der OMV Exploration & Production GmbH wurde die Aufgabe an Tuboscope hergetragen, ein Verfahren zu entwickeln, um Pumpstangen, die mit installierten Protektoren ausgerüstet sind, inspizieren zu können. Protektoren aus Kunststoff sind in regelmäßigen Abständen auf den Pumpstangen angeordnet, um diese in den Produktionsrohren zu führen. Sie sollen verhindern, dass Pumpstangen schlagende Bewegungen vollziehen und die Metallkörper an der Innenwandung der Produktionsrohre schleifen und sie somit beschädigen. Durch die installierten Protektoren ist es nicht mehr möglich, die Pumpstangen über der gesamten Länge mit berührenden Sensoren der MFL-Applikation zu prüfen. Besonderes Augenmerk bei der Entwicklung des neuen Prüfverfahrens war den Bereichen unter den Protektoren und deren unmittelbarer Nachbarschaft gewidmet.

Im Hinblick auf die besonderen Erfordernisse – schnelle, günstige und robuste Anwendung der Prüfanlage im Feldeinsatz direkt an der Förderstelle – wurde von Tuboscope wiederum die Streuflussmethode gewählt. Der Vortrag stellt die speziellen Anforderungen an die mechanische Führung der Pumpstange durch die berührungslos arbeitende Sensorik und die Signalverarbeitung anschaulich dar.

## **Machine-Learning-Basierte Datenauswertung und deren Mathematische Optimierung in der Anwendung der Verfahren Impact-Echo, Radar und Ultraschall**

D. Algemon<sup>1</sup>, S. Feistkorn<sup>1</sup>, R. Lenz<sup>2</sup>, M. Scherrer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SVTI Nuklearinspektorat, Wallisellen, Schweiz; <sup>2</sup> Zuse-Institut Berlin (ZIB), Berlin

Während die Auswertung und Interpretation von Impact-Echo-Daten sich in der Praxis oft als komplex erweist, ergeben sich aus der zugrundeliegenden physikalischen Komplexität erhebliche Chancen, wenn es gelingt, durch intelligente Auswertungsansätze ein erhebliches Informationsvolumen daraus zu extrahieren. Ein merkmalsbasiertes Machine Learning-System wurde in einer Form implementiert, welche es ZfP-Praktikern erlaubt, ein Supervised Learning umzusetzen. Dabei werden Rohdaten eingelesen, durch eine Zeit-Frequenz-Analyse geeignete Merkmale extrahiert und in einem entsprechenden Interface die Datensätze klassifiziert. Diese Klassifizierung kann dabei anwendungsabhängig erfolgen und lokale Bauteilzustände, wie z. B. intakt, Delamination oder Spannkanal adressieren. Anhand von Training- und Testdatensätzen wird die Effektivität des entwickelten Modells optimiert. Für die Modellbildung werden verschiedene Algorithmen in Abhängigkeit der Anwendung erprobt.

Neben der Generierung eines treffenden Modells anhand bestehender Daten besteht eine Herausforderung vor allem darin, die Vergleichbarkeit neuer in der Praxisanwendung entstehender Daten mit der dem Modell zugrundeliegenden Datenbasis sicherzustellen. Insbesondere bei der Einbeziehung von Daten unterschiedlicher Gerätesysteme wird der Frage der Zuverlässigkeit nachgegangen.

Im gesamten Prozess der Modellentwicklung sind Optimierungen von Parametern, Ansätzen und Entscheidungen vorzunehmen, welche in vielen Fällen komplex miteinander verknüpft sind.

In diesem Zusammenhang werden Modelle und Methoden aus dem Forschungsgebiet der Mathematischen Optimierung herangezogen, dem Ziel folgend, bestmögliche Lösungen für die Identifizierung und korrekte Wichtung von Merkmalen zu bestimmen und somit die Zuverlässigkeit der beschriebenen Klassifizierung zu maximieren.

Ausgehend von der praktischen Umsetzung für das Impact-Echo-Verfahren wird die Vorgehensweise in ersten Ansätzen auch für das Verfahren Radar ebenfalls im Bauwesen sowie die Ultraschallprüfung im Maschinenbau umgesetzt.

## Entwicklung eines luftgekoppelten Ultraschall-Echo-Prüfverfahrens mittels fluidischer Anregung

B. Bühling<sup>1</sup>, C. Strangfeld<sup>1</sup>, S. Maack<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin

In vielen technischen Bereichen werden Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung eingesetzt. Dabei wird ein Schallpuls von einem Prüfkopf in ein Prüfobjekt eingebracht. Der Puls kann durch Membranen, Piezoelemente oder verschiedene weitere Elemente erzeugt werden und wird in der Regel durch direkten Kontakt oder über ein Koppelmittel an das Objekt übertragen. Luftgekoppelter Ultraschall spielt in kommerziellen Anwendungen bisher eine untergeordnete Rolle, da die Differenz der akustischen Impedanzen von Luft und Festkörpern immense Verluste beim Übergang des Schallsignals hervorruft.

In diesem Beitrag soll ein neuartiges Anregungsprinzip vorgestellt werden, mit dem ein Großteil dieser Verluste vermieden wird. Anstelle eines Festkörpers soll, mit Hilfe einer fluidischen Düse, Druckluft zur Signalerzeugung eingesetzt werden. In dieser Düse wird eine selbsterhaltende Strömungsinstabilität erzeugt, die einen Schallpuls von bis zu 100 kHz hervorruft, sodass der Impedanzverlust in die Umgebungsluft entfällt. Da die charakteristische Frequenz eines fluidisch generierten Pulses maßgeblich von der Bauform der Düse und dem anliegenden Druck abhängt, lässt sich mittels einer geeigneten Strömungsregelung ein breiter Frequenzbereich zur Abtastung nutzen. Die so emittierten Pulse werden auf das Prüfobjekt gerichtet und die reflektierten Signale mit einem Laservibrometer an der Oberfläche des Objekts im Echo-Verfahren abgetastet. Von drei signalmindernden Materialübergängen bei gewöhnlichem luftgekoppeltem Ultraschall bleibt in dem hier vorgeschlagenen Messsystem lediglich die Grenzfläche von Luft zu Prüfkörper, sodass eine höhere Signalausbeute als bisher erwartet werden kann.

## Qualitätssicherung von Verschlussbauwerken in Endlagern mit Ultraschall

E. Niederleithinger<sup>1</sup>, U. Effner<sup>1</sup>, F. Mielentz<sup>1</sup>, C. Strangfeld<sup>1</sup>, C. Friedrich<sup>2</sup>, R. Mauke<sup>2</sup>, C. Büttner<sup>3</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> BGE, Salzgitter; <sup>3</sup> Bergakademie Freiberg

Zur Versiegelung von Endlagern für radioaktive oder chemische Abfälle in ehemaligen Salzbergwerken werden Verschlussbauwerke aus Salzbeton auf ihre Eignung geprüft. Seit einigen Jahren werden durch die Bundesgesellschaft Endlagerung (BGE) und der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) an Versuchsbauwerken Erfahrungen mit der Ultraschalltechnik zur Qualitätssicherung unter Tage gesammelt. Hierbei kommen sowohl kommerzielle und experimentelle Geräte zur Echoprüfung als auch eigens entwickelte Bohrlochsonden zum Einsatz. Alle Geräte basieren auf niederfrequenten s-Wellen-Punktkontaktprüfköpfen (25 kHz– 50 kHz), die in unterschiedlichen Arrays kombiniert werden. In mehreren Versuchsreihen gelang es, unverfüllte und teilverfüllte Risse über mehrere Meter zu verfolgen und in ihrer Lage abzubilden. Technische Einbauten konnten bis in ca. 8 m Tiefe im Bauwerk detektiert werden. Mit Hilfe aus der Geophysik adaptierte Abbildungsverfahren gelang es, einige bisher nicht detektierbare Features sichtbar zu machen. Die Ergebnisse dienen sowohl der Analyse des Versuchsbauwerks als auch der Entwicklung eines Qualitätssicherungssystems für zukünftige reale Verschlussbauwerke.

## Standardisierung eines thermografischen Verfahrens zur Schichtdickenbestimmung von Beton-Oberflächenschutzsystemen

F. Jonietz<sup>1</sup>, R. Krankenhagen<sup>1</sup>, S.J. Altenburg<sup>1</sup>, H. Eisenkrein-Kreksch<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> kiwa GmbH, Beckum

Polymerbeschichtungen auf Beton bieten einerseits mechanischen Schutz vor Beschädigungen und verhindern das Eindringen von Wasser, gelösten Salzen und CO<sub>2</sub> und können andererseits der Oberfläche ein gewünschtes Aussehen geben. Daher werden sie in der Bauindustrie insbesondere bei Brücken und Parkhäusern häufig verwendet. Für die beabsichtigte Wirkung der Beschichtung ist deren Schichtdicke ein entscheidender Faktor und muss daher nach Aufbringung der Schicht und im Betrieb regelmäßig überprüft werden. Üblich sind hier zerstörende Verfahren mit nachträglich erforderlicher Ausbesserung. Im Rahmen eines Vorgängerprojektes wurde an der BAM in Kooperation mit der IBOS GmbH ein zerstörungsfreies Verfahren entwickelt, welches auf aktiver Thermografie basiert. Ein Prototyp mit Halogenlampe und Infrarot-Kamera wurde erprobt. Das hier beschriebene Folgeprojekt hat das Ziel, dieses Verfahren zu standardisieren, damit es sich in der Industrie als zerstörungsfreies Alternativverfahren zur Schichtdickenbestimmung durchsetzt. Im ersten Schritt wird gezeigt, bei welchen Oberflächenschutzsystemen das Verfahren bereits zuverlässige Schichtdickenmessungen ermöglicht und praxistauglich ist. Anschließend werden weitere Forschungsthemen definiert und bearbeitet, die eine Anwendung für alle Oberflächenschutzsysteme ermöglichen sollen. Besondere Herausforderungen stellen etwa Sandeinstreuungen in der Polymerschicht dar. Auch muss der Frage nach der Anwendbarkeit auf Mehrschichtsysteme nachgegangen werden. Des Weiteren stellt sich die Frage nach dem Einfluss der Beschaffenheit des Betonuntergrunds auf die Anwendbarkeit des Verfahrens. Im zu erarbeitenden Normentwurf sollen diese Untersuchungen die Möglichkeiten, aber auch die Grenzen der aktiven Thermografie zur Schichtdickenmessung von Oberflächenschutzsystemen aufzeigen. Im Beitrag werden die systematischen Untersuchungen bezüglich dieser Fragestellungen dargelegt.

## Praktischer Nutzen geometrischer UT-Simulation

M. Berke<sup>1</sup>, B. Kirchner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> AMPLECTOR Engineering UG, Erfstadt

Am Beispiel des Programms BeamTool 8 werden dessen Möglichkeiten für geometrische Lösungen von Prüfaufgaben aufgezeigt und anhand von Beispielen an verschiedenen Prüfobjekten (Schweißnaht, Schmiedestück, Guss) vorgestellt. Insbesondere für Anwendungen der Phased Array Prüfung an komplexen Bauteilgeometrien werden die Vorteile von Simulationen für die anschließende Auswahl und Parametrierung der Prüfeinrichtung offensichtlich. Auch die Anwendung von SE-Winkel-Arrays für die Prüfung von Misch- oder austenitischen Schweißnähten kann mit der aktuellen Version simuliert werden. Einfachere Anwendungen wie TOFD oder konventionelle Ultraschallprüfung eignen sich sowohl für eine Prüfvorbereitung (Auswahl des Prüfsystems, Erstellung der Prüfanweisung), insbesondere aber auch für Ausbildung von Ultraschallprüfern. Der Entwurf von Vergleichskörpern mit künstlichen Reflektoren und Darstellung der Schallverläufe einschließlich einer optionalen A-Bild-Simulation rundet die Möglichkeiten dieses praktischen Werkzeuges für die Ultraschallprüfung ab.

### **3D FEA Modellierung der Ultraschall-Wanddickenmessung mit einem fokussierten Ultraschallwandler aus gekrümmter 1-3 Piezokomposite: Simulation und experimentelle Validierung**

D.S. Kolkoori<sup>1</sup>, R.H. Koch<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Rosen Technology and Research Center GmbH, Alzenau

Bei der Rohrrinnenprüfung mit Ultraschallprüfköpfen wird in der Regel eine große Variation an Rohrdurchmesser- und Wanddickenbereichen mit einer einzigen standardisierten Prüfkopfauslegung abgedeckt. Die Messung der Restwandstärke bei Innen- oder Außenkorrosion erfordert hierbei eine hohe Auflösung über einen weiten Dickenbereich. Zudem wird oft der Abstand des Prüfkopfes zur Rohroberfläche für unterschiedliche Applikationen konstant gehalten. Dies bedingt, dass die Ultraschallprüfung nicht nur im Fernfeld sondern auch im extremen Nahfeld durchgeführt wird.

Im Vergleich zur Prüfung mit einem homogenen Schallbündel im Fernfeld zeigen sich im Nahfeld sowohl Schalldruckschwankungen über die Apertur des Wandlers als auch ein Nachschwingen des Reflektorechos durch die konstruktive und destruktive Wellen-Interferenz. In diesem Beitrag berichten wir über eine effiziente 3D-Finite-Elemente-Modellierung der Wellenausbreitung unterschiedlicher Ultraschallwandler aus 1-3 Komposite unter Verwendung der Simulationssoftware PZFlex. Die betrachteten Wandler sind zum einen unfokussiert, d.h. ebenes Komposite mit Schutzschicht, oder zum anderen fokussiert mittels einer akustischen Linse oder über die Krümmung des Komposite Schwingers selbst. Insbesondere wird im neu entwickelten FEA-Code die quantitative Simulation um die 3D-Schalldruckverteilung unter besonderer Betrachtung der Ultraschallwanddickenmessung erweitert.

In dem aktuellen Modellierungsverfahren werden der Schwingerdurchmesser ebenso wie der sphärische Krümmungsradius der akustischen Linse oder des Schwingers aber auch die akustischen Eigenschaften des realen Stahlreflektors bei der Simulation des HF-Signals und der 3D-Schalldruckverteilung berücksichtigt. Die simulierten Oberflächen- und Rückwandechosignale eines Stahlreflektors mit einem fokussierten Ultraschallwandler aus gekrümmtem 1-3 Komposite im Nah- und Fernfeld im Impuls-Echo-Betrieb werden mit den CIVA UT-Modellierungsergebnissen und mit den gemessenen experimentellen Daten verglichen. Es wird eine gute quantitative Übereinstimmung zwischen Experiment und Simulation erzielt.

## Effektive Bestimmung der Fokusparameter von Mikrofokus-Röntgenquellen

J. Illemann<sup>1</sup>, D. Meinel<sup>2</sup>, C. Bellon<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PTB, Braunschweig; <sup>2</sup> BAM, Berlin

Mikrofokus-Röntgenquellen werden in der industriellen CT flexibel verwendet, um mit kleiner Leistung hohe Auflösung zu erzielen oder mit verminderter Auflösung bei höherer Leistung kürzere Messzeiten zu erreichen. Insbesondere Quellen in offener Bauweise benötigen Wartung wie Filamentwechsel und Nachstellen der Fokusparameter. Ziel ist es, einen optimal kleinen Quellfleck bei bekannter Spannung einzustellen und dessen Größe zu bestimmen.

Zur Überprüfung der Quellfleckgröße sind bereits Verfahren unter Verwendung lithographisch hergestellter Masken mit Strichmustern oder Siemenssternen aus Mikrometer dünnen Schichten aus stark absorbierendem Material wie z.B. Gold bekannt. Diese erfordern wegen der geringen Absorption eine lange Messzeit und sind nur kostenintensiv herzustellen. Ihre Verwendung zur regelmäßigen Qualitätsüberprüfung von CT-Anlagen ist daher nicht verbreitet.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Quellfleckgröße absolut zu bestimmen und Abweichungen der gewünschten sonstigen Strahlparameter zu erkennen, wobei nur konventionell im Laborbedarf erhältliche Proben aus der Elektronenmikroskopie verwendet werden. Dazu werden radiographische Bilder in hoher Vergrößerung aufgenommen und die Grauwertverteilung parametrisiert. Unter Verwendung der Kenntnis von Targetmaterial und Anordnung – also Winkel des Elektronenstrahls – wird eine eindeutige Zuordnung zur Quellfleckgröße und anderer Parameter vorgenommen.

Dieses erfordert eine extensive Simulation für verschiedene Spannungen, Quellenanordnungen und Targetmaterialien und die Verifikation an verschiedenen CT-Anlagen mit Vergleich zu anderen Methoden. Erste Ergebnisse werden vorgestellt und die praktische Implementierung unter Angabe der Einschränkungen der Verwendbarkeit diskutiert. Die Autoren hoffen damit einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Qualitätssicherung und zur Arbeitseffizienz in der Mikrocomputertomographie leisten zu können.

## Testfehler für die Wirbelstromprüfung – Vergleich von Messergebnissen an funkenerodierten Nuten und kleinstflächigen Ermüdungsrisse

S. Feistkorn<sup>1</sup>, G. Rössler<sup>1</sup>, P. Kicherer<sup>1</sup>, M. Scherrer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SVTI Nuklearinspektorat, Wallisellen, Schweiz

Für die Detektion von oberflächentrennenden Fehlern ist es unerlässlich, ein zuverlässiges zerstörungsfreies Prüfsystem anzuwenden, um Fehler ab einer bestimmten Größe zuverlässig aufzufinden. Vor dem Ersteinsatz ist deshalb die Leistungsfähigkeit des verwendeten Prüfsystems an möglichst realistischen Testfehlern zu bestimmen. Dazu werden für die Qualifizierung von Wirbelstromprüfsystemen im Rahmen einer praktischen Demonstration unter anderem funkenerodierte Nuten als einfach herzustellende Testfehler verwendet. Diese werden konservativ so ausgeführt, dass ihre Tiefenausdehnung halb so groß wie die minimal zu detektierende Fehlertiefe im Feld ist.

In diesem Beitrag wird ein Forschungsprojekt vorgestellt, bei dem realistische Ermüdungsrisse, senkerodierte Mikronuten sowie Referenzfehler in Form von drahterodierten Schlitzen in austenitische Chrom-Nickel Stahlplatten eingebracht wurden, um die Eigenschaft der Nuten als Ersatztestfehler zu überprüfen.

An diesen Platten wurden umfangreiche Messungen mit unterschiedlichen Wirbelstromsonden durchgeführt. Dazu kamen Absolutsonden, Differenzsonden sowie eine spezielle Plus-Point-Sonde mit jeweils unterschiedlichen Frequenzen zum Einsatz. Neben dem Einfluss der Testfehlerart und deren Geometrie wurde auch der Einfluss der Rissöffnung der Ermüdungsrisse bei diesen Messungen untersucht.

Der Beitrag geht auf die Eigenschaften der unterschiedlichen Testfehler sowie auf das Versuchsprogramm ein. Es werden Ergebnisse der Wirbelstrommessungen und des Testfehlervergleichs präsentiert sowie ein Ausblick gegeben.

## Zerstörungsfreie Prüfung von Composite-Druckgefäßen mit konventioneller und hochfrequenter Wirbelstromtechnik

R. Casperson<sup>1</sup>, R. Pohl<sup>1</sup>, S. Lohde<sup>1</sup>, M. Aydoğdu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> Beuth-Hochschule für Technik, Berlin

Composite-Druckgefäße für den Gefahrguttransport sowie für Wasserstoff- und Erdgasfahrzeuge bestehen aus einem lasttragenden Composite und einer gasdichten, metallischen oder polymeren Barrierschicht (Liner). Zur Untersuchung des Alterungsverhaltens solcher Composite-Druckgefäße wurde in der BAM das interdisziplinäre Themenfeldprojekt COD-AGE durchgeführt. Ziel des Projektes war die Entwicklung von Methoden und Modellen zur Beschreibung und Bestimmung des Alterungsverhaltens von Carbonfaser-Compositen am Beispiel von Druckgefäßen, um eine bessere Vorhersage der Alterung und der sicheren Gebrauchsdauer zu ermöglichen. Ein Schwerpunkt in diesem Projekt war die Bereitstellung geeigneter ZfP-Methoden. Dabei ging es sowohl um versuchsbegleitende Prüfungen, als auch um die mögliche Entwicklung von Prüfeinrichtungen für den späteren praktischen Gebrauch. In dem Vortrag werden Prüfergebnisse der alterungsbegleitenden Wirbelstromprüfung an Composite-Druckgefäßen vorgestellt.

In Alterungsversuchen wurden Druckgefäße aus einem ca. 4 mm dicken Aluminiumliner und ca. 8 mm dicker CFK-Ummantelung untersucht. Typisches Einsatzgebiet solcher Druckgefäße sind Atemschutzgeräte der Feuerwehr. Die Druckgefäße wurden sowohl mit konventioneller Wirbelstromtechnik von außen und von innen als auch mit hochfrequenter Wirbelstromtechnik von außen geprüft. Es konnten sowohl Beschädigungen des metallischen Liners, als auch Strukturen des CFK-Geflechts nachgewiesen werden. Eine besondere mechanische Herausforderung bestand in der Prüfung der Innenseite der Liner, da hier eine zylindrische Fläche mit einem Innendurchmesser von 150 mm durch einen Zugang von nur 15 mm Durchmesser geprüft werden muss.

## **Mehrfrequenz-Wirbelstromprüfung mittels Sweep zur besseren Abdeckung unterschiedlicher Prüfaufgaben und automatischer Parametrierung**

J. Oswald<sup>1</sup>, D. Koster<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

Das Wirbelstromprüfverfahren ist seit vielen Jahren etabliert und kommt bei der Untersuchung sehr unterschiedlicher Problemstellungen zum Einsatz. Beispiele hierfür sind z.B. die Erkennung von Oberflächenrissen und die Untersuchung verschiedener Härtebereiche an Stählen. Die Qualität der Prüfung hängt dabei von vielen unterschiedlichen Faktoren ab, von denen vor allem die Prüffrequenz in ihrer Bedeutung hervorsticht. Die Frequenz gehört zu den Parametern, auf die sehr präzise Einfluss genommen werden kann und hat gleichzeitig einen sehr großen Einfluss auf das Prüfergebnis. Meist obliegt es dem Prüfer, die optimalen Parameter für die entsprechende Anwendung zu finden. Nicht selten profitiert er hierbei von einem großen Erfahrungsschatz. Um die Qualität bei der Wirbelstromprüfung zu verbessern und diese auch gewährleisten zu können, wird in diesem Beitrag eine Methode vorgestellt, bei der eine Vielzahl von Frequenzen automatisch durchlaufen wird, um so einen Mehrgewinn zur herkömmlichen Prüfung zu erhalten. Ziel ist es dabei, durch das Durchlaufen vieler Frequenzen, zusätzliche Aussagen über das Prüfobjekt treffen zu können. Denn durch das breitere Spektrum an Prüffrequenzen können auch umfassendere Merkmale des Prüfkörpers erfasst werden. Des Weiteren ist es möglich, durch die automatische Analyse der so erhaltenen Daten die Frequenz sowie weitere Parameter automatisch zu optimieren.

## Messunsicherheiten in der zerstörungsfreien Prüfung

I. Poschmann<sup>1</sup>, M. Winning<sup>1</sup>

<sup>1</sup> W.S. Werkstoff Service GmbH, Essen

Messunsicherheiten sind Teil der anerkannten Regeln der Technik für den Betrieb von Prüf- und Kalibrierlaboren. Sie haben erhebliche Bedeutung bei der Validierung neuer Prüfverfahren, bei der Kalibrierung von Prüftechnik und bei der Konformitätsbewertung von Mess- und Prüfergebnissen.

Der Vortrag geht auf die relevanten Regeln der Technik ein – insbesondere auf die ISO/IEC 17025 sowie deren Auslegung und Anwendung durch die nationale Akkreditierungsstelle bei der Evaluierung von Laboren. Verfahrensnormen zerstörungsfreier Prüfverfahren, die auf Messunsicherheiten eingehen, werden diskutiert.

Im Vortrag werden die Grundlagen der verschiedenen Vorgehensweisen bei der Messunsicherheitsbestimmung vorgestellt. Insbesondere wird auf den statistischen Ansatz, den nicht-statistischen Ansatz sowie die Fehlerbereichskonversion eingegangen. Alle Ansätze werden beispielhaft auf Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung angewendet und es werden ihre Stärken und Schwächen diskutiert.

Abschließend wird gezeigt, wie Messunsicherheiten-Konzepte insbesondere bei der Qualitätssicherung sowie bei der Optimierung zerstörungsfreier Prüfverfahren und Prüfprozesse genutzt werden können.

## **Metrologische Rückführbarkeit bei der Eindring- und Magnetpulverprüfung – Hilfestellung für Anwender**

S. Bessert<sup>1</sup>, H.-J. Malitte<sup>2</sup>, G. Heck<sup>3</sup>, G. Morgenstern<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; <sup>2</sup> Berlin; <sup>3</sup> Ingenieurbüro für Werkstofftechnik, Thannhausen, Österreich; <sup>4</sup> DGZfP Ausbildung und Training GmbH, Berlin

In den Normen zur Prüfdurchführung und den Betrachtungsbedingungen für die Eindring- und Magnetpulverprüfung wird auf die Kalibrierung von Geräten für diese Verfahren (Luxmeter, UV-Meter und Feldstärkemessgerät) verwiesen. Gelebte Praxis ist die Rückführung dieser Geräte über einen Werkskalibrierschein des Geräteherstellers. Diese Vorgehensweise ist aber nicht normkonform für Prüflabore, die nach DIN EN ISO/IEC17025 akkreditiert sind. Was ist nun für Prüflabore mit und ohne Akkreditierung zu beachten und wie stellt man sich auf die metrologische Rückführbarkeit von Geräten in der Eindring- und Magnetpulverprüfung ein? Hierzu wurde die Richtlinie MR 01 „Metrologische Rückführbarkeit von Hilfsmitteln für die Eindring- und Magnetpulverprüfung“ im DGZfP-Unterausschuss „Metrologische Rückführung“ beim Fachausschuss „Oberflächenrisssprüfung“ der DGZfP erarbeitet. In diesem Regelwerk werden Wege zur Erfüllung der Forderungen der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS) aufgezeigt. Im Vordergrund stehen dabei allerdings die Eigenverantwortung der Prüflabore bezogen auf die Verifizierung ihrer Verfahren, die Kenntnis ihre spezifischen prüftechnischen Randbedingungen (Wertebereich für Messwerte und somit Kalibrierbereich der Messgeräte), die Auswahl von Firmen für Gerätekalibrierung/-überprüfung und die Kontrolle der Kalibrierscheine/Werkskalibrierscheine auf Plausibilität der Kalibrierungs-/Überprüfungsergebnisse. Abgeleitet aus dem Inhalt dieses Leitfadens soll der Vortrag auch den Blick auf das Vorgehen zu diesem Thema in den anderen zerstörungsfreien Prüfverfahren lenken. Hierbei geht es insbesondere um die Verwendung der Begriffe „Messen“, „Prüfen“, „Kalibrieren“, „Überprüfen“ u. a. im fachlichen Sprachgebrauch, bei Festlegungen und im Regelwerk. Die daraus resultierende fachliche Umsetzung muss dann dabei beachtet werden.

## Risiken und Chancen – Neues Thema bei der DIN EN ISO/IEC 17025:2018

A. Kinzel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Niedersächsische Geschäftsstelle für Grundsatzfragen in der Materialprüfung und Konformitätsbewertung, Garbsen

Die neue DIN EN ISO/IEC 17025:2018 fordert vom Labor, dass es Maßnahmen zur Bewältigung von Risiken und Chancen plant und umsetzt. Die Berücksichtigung dieser Risiken und Chancen soll die Grundlage schaffen, um die Effektivität des Managementsystems zu erhöhen, verbesserte Ergebnisse zu erzielen und negative Auswirkungen zu vermeiden. Dabei ist das Labor verantwortlich für die Entscheidung, welche Risiken und Chancen zu bewältigen sind. Bei der Einführung dieses risikobasierten Ansatzes ist aber zu beachten, dass die Norm keine Einführung eines Risikomanagements fordert. Vielmehr ist der risikobasierte Ansatz tief im Managementsystem zu verankern, indem bei allen Entscheidungen, die im Labor getroffen werden, der risikobasierte Ansatz Grundlage sein sollte, sowie Maßnahmen zum Umgang mit Risiken und Chancen geplant, umgesetzt und ständig bewertet werden müssen und die Maßnahmen proportional zur möglichen Auswirkung auf die Validität der Ergebnisse sein müssen. Dies ist insbesondere bzgl. der Frage zur Unparteilichkeit sowie bei der Entscheidungsregel im Hinblick auf eine möglicherweise falsche Konformitätsaussage seitens der Norm konkret gefordert. Hierzu soll der Vortrag Anforderungen und Lösungsansätze für entsprechend akkreditierte ZfP-Labore aufzeigen.

## **Widerstandspunktschweißen von unterschiedlichen Metallen durch Verwendung einer Anpassschicht sowie dessen Prüfung mit Ultraschall in Echtzeit**

Y. Oberdörfer<sup>1</sup>, A. Chertov<sup>2</sup>, R.G. Maev<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Tessonics Europe GmbH, Frechen; <sup>2</sup> Tessonics Inc., Windsor, Kanada; <sup>3</sup> The Institute for Diagnostic Imaging Research, Windsor, Kanada

Der Einsatz von Stahl-Aluminium oder Titan-Aluminium Mischverbindungen wird gegenwärtig als eine der Hauptrichtungen im Leichtbau von Kraftfahrzeugen betrachtet. Die Verbesserung des Festigkeit-zu-Gewicht-Verhältnisses solcher Strukturen erlaubt einen weiten Einsatzbereich in der Automobil- und anderen Industrien.

Die Fertigung solcher Mischstrukturen ist aufgrund der verschiedenen Eigenschaften der gefügten Materialien nicht einfach. Obwohl das Widerstandspunktschweißen als eine Haupttechnik beim Fügen von unterschiedlichen Metallen betrachtet wird, gibt es doch wesentliche Herausforderungen: erhebliche Unterschiede in den Materialeigenschaften erschweren es, diese Materialkombinationen in derselben Art und Weise wie z. B. Stahl-Stahl Kombinationen zu schweißen.

Durch Einbringen einer zusätzlichen metallischen Schicht zwischen den unterschiedlichen Metallen war es in der zugrundeliegenden Arbeit möglich, die Materialeigenschaften besser aufeinander abzustimmen und akzeptable Metallverbindungen zu bekommen. Das Aufbringen einer solchen Anpassschicht wird durch ein Überschall-Pulverbeschichtung realisiert, die zu einer Vermischung der Metallpartikel auf der Oberfläche führt. Das Punktschweißen einer solchen 3-Schicht-Verbindung ermöglicht nachgewiesenermaßen eine bessere metallische Verbindung.

Die Überwachung und Charakterisierung dieser Punktschweißungen erfolgte durch ein innovatives Ultraschallsystem, das – in die Schweißzange integriert – Informationen zum Schweißprozess in Echtzeit aufnimmt, während sich die Schweißlinse formt. Die Reflektionen des Ultraschalls an den verschiedenen Grenzflächen und aus der Fügeebene, sowie die Messung des Abschwächverhaltens liefern dabei wesentliche Informationen zum betrachteten Fügeprozess. Das System ermöglicht es, die Bildung der flüssigen metallischen Phase zu verfolgen, da der Zeitpunkt des Aufschmelzens und die Lage des aufgeschmolzenen Bereichs innerhalb des Stapels bekannt sind. Aufgrund der zeitnahen Kontrolle bietet sich weiterhin die Möglichkeit, den Schweißprozess auf Basis dieser Informationen adaptiv anzupassen.

## Automatische Winkelfindung für die Prüfung mit Luftultraschall und geführten Wellen

Y. Bernhardt<sup>1</sup>, N. Lehmann<sup>2</sup>, M. Kreutzbruck<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IKT, Universität Stuttgart; <sup>2</sup> Porsche Leipzig GmbH, Leipzig

Luftgekoppelter Ultraschall erfreut sich einer zunehmenden Nachfrage für die Prüfung von Faserverbundkunststoffen, sowie auch für metallische Bauteile wie Punktschweißverbindungen an verzinkten Blechen. Die Vorteile liegen hier im kontaktlosen Prüfen, bei dem gegenüber konventioneller Ultraschallprüfung gleiche Prüfzeiten erreicht werden. Beim luftgekoppelten Ultraschall muss aufgrund der hohen Impedanzunterschiede von Festkörper zu Luft mit speziell angepassten Prüfköpfen gearbeitet werden, was dann meist mittels Senkrechteinschallung in Transmissionsanordnung erfolgt. Für Prüfaufgaben bei denen nur einseitiger Zugang möglich ist, kann die Prüfung mittels schräger Einschallung und der Erzeugung von Plattenwellen durchgeführt werden. Unter einem bestimmten Resonanzwinkel, bei dem der Sinus des Einschallwinkels dem Verhältnis von Luftschallgeschwindigkeit und Plattenwellenausbreitungsgeschwindigkeit entspricht, wird ein höheres Signal-Rausch-Verhältnis im Vergleich zur Normaldurchschallung erzielt. Dieser Winkel wurde bisher bei der Prüfung in Schrägeinschallung manuell iterativ ermittelt, indem unter Beobachtung der Amplitude die Winkel von Ultraschallsender und Empfänger sukzessive angepasst wurden. Über eine motorgesteuerte Prüfkopfhalterung und einer online Auswertung des empfangenen Signals, wurde nun eine automatisierte und damit zeitsparende Winkelfindung realisiert. Auch wenn sich die Plattenwellengeschwindigkeit durch eine Wanddickenänderung verändert, ist eine Anpassung des Einschallwinkels möglich. Es werden im Beitrag der Einsatz der Justagevorrichtung an mehreren Prüfbeispielen demonstriert. Insbesondere kann diese Halterung dafür eingesetzt werden, um im Automobilbereich häufig eingesetzte Punktschweißverbindungen zwischen Metallblechen zu prüfen. Die luftgekoppelte Ultraschallprüfung mit geführten Wellen an Widerstandspunktschweißungen von Stahl- oder Aluminiumlegierungen ist sehr winkelsensitiv. Kleine Winkeländerungen des Sende- bzw. Empfangsprüfkopfs haben große Auswirkungen auf die Güte der auswertbaren Ultraschalsignale. Die durch Blechkrümmungen veränderten Einschall- bzw. Austrittsbedingungen konnten durch eine automatisierte Winkelverstellung des entwickelten Manipulators kompensiert werden.

## Dichtheitsprüfung von gekapselten Sensorsystemen mit dem Prüfmedium Druckluft

J. Lapsien<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CETA Testsysteme GmbH, Hilden

Aufgrund der vielfältigen industriellen Einsatzbereiche von Sensorsystemen werden an diese Komponente eine Vielzahl von Anforderungen gestellt. Hierzu gehört auch die Dichtigkeit gegen Verschmutzung und Feuchtigkeit. Das Eindringen von Flüssigkeiten kann zu schweren Funktionsstörungen des Sensorsystems und damit der angeschlossenen Elektronik führen. Damit kommt der Dichtheitsprüfung als Stückprüfung in der Produktionslinie eine besondere Bedeutung zu.

Weit verbreitet ist der Einsatz der Prüfmediums Druckluft in industriellen Fertigungsprozess im Rahmen der 100 % Inline-Dichtheitsprüfung. Das Prüfmedium Druckluft lässt sich bis zu einer Luftleckrate von 10-3 mbar<sup>\*</sup>/s (je nach Prüfteilvolumen) einsetzen. Als wasserdicht wird üblicherweise eine Luftleckrate von 10-2 mbar<sup>\*</sup>/s angenommen. Typische Beispiele von Automotive-Sensoren, die mit Druckluft geprüft werden, sind Öldrucksensoren, ABS-Sensoren, Niveausensoren.

Gekapselte Sensorsysteme können nicht von innen mit Druckluft befüllt werden. Sie werden in einer Prüfhaube geprüft, die unter Druck gesetzt wird. Der leakagebedingte Druckabbau in das Prüfteilinnere wird mit hoher Auflösung detektiert.

Um eine möglichst gute Auflösung zu erhalten, ist es notwendig, dass die Haube die Außenkontur des Prüfteils möglichst eng umfährt. Hierbei stellt sich folgendes Problem: Weist das Prüfteil ein Grobleck auf, so wird es schon während der Befüllphase der Haube direkt mit Druckluft gefüllt. In diesem Fall würde nur die Dichtigkeit der das Prüfteil umgebenden Haube geprüft. Daher muss im ersten Schritt kontrolliert werden, dass das Prüfteil kein Grobleck aufweist (Grobleckprüfung). Danach folgt die eigentliche Feinleckprüfung mittels Druckverlustmessung. In der Regel wird zur Feinleckprüfung die Differenzdruckmethode eingesetzt.

## **Evaluierung eines Überwachungsszenarios durch Kombination von akustischen Zustandsüberwachungsmethoden in einem gemeinsamen Sensornetzwerk**

F.F. Linscheid<sup>1</sup>, T. Peter<sup>1</sup>, C. Holzmann<sup>1</sup>, M. Sause<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Augsburg

Im Rahmen des Themas Industrie 4.0 wächst die Bedeutung der automatisierten Zustandsüberwachung von Industrieanlagen. Globale Überwachungsmethoden wie schwingungsbasierte Methoden liefern eine Aussage über die Grundsteifigkeit der Anlage und können eine globale Aussage über die Funktionstauglichkeit treffen. Akustische Methoden wie die Körperschallanalyse und der Einsatz von geführten Wellen können Veränderungen in den Betriebsgeräuschen der Anlage sowie Defekte in der Struktur nachweisen. Mittels Schallemission ist es möglich, akustische Ereignisse live zu detektieren und zu orten, womit sich ein Maß für den Umfang der neu entstandenen Schädigung ergibt. Die Methoden tragen mit verschiedenen Aspekten zur Strukturüberwachung bei und können sich daher gegenseitig ergänzen. Für alle Methoden sind bislang jedoch spezialisierte Sensoren und Software nötig. Dies erhöht die Kosten bei der Kombination sowie die Hürde, verschiedene Messmethoden in bestehende Anlagen zu integrieren. Daher wird evaluiert, inwiefern sich die genannten Zustandsüberwachungsmethoden in einem gemeinsamen Sensornetzwerk vereinen lassen. Hierbei ist insbesondere von Bedeutung, in welchem Grad Einbußen in Bezug auf die Detektionswahrscheinlichkeiten der Sensorik für die jeweiligen Messgrößen hingenommen werden müssen. Als potentielle Sensoren werden piezoelektrische Scheiben der Firma PICeramic hinsichtlich ihrer Eignung evaluiert. Als Anwendungsbeispiel dient eine CNC-Fräse mit integrierten Leichtbaukomponenten aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen, auf der das Konzept eines Überwachungsszenarios demonstriert werden soll.

## Structural Health Monitoring mit Schallemission an metallischen Strukturen in Industrieanlagen

H. Marihart<sup>1</sup>, G. Lackner<sup>1</sup>, G. Schauritsch<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TÜV AUSTRIA, Wien, Österreich

Structural Health Monitoring (SHM) ist eine Methode zur Überwachung der Integrität von metallischen Strukturen während des Betriebes. Mit dem Verfahren kann der Zustand der überwachten Komponenten durch temporäre oder kontinuierliche Messungen ermittelt werden. Die Selektion von schadensrelevanten Messdaten und die daraus resultierende Bewertung dient zur Bestimmung des Istzustandes des Prüfobjektes.

Im Gegensatz zur herkömmlichen Schallemissionsprüfung ist für die Zustandsüberwachung kein Anlagenstillstand erforderlich. Die Ergebnisse können einerseits als qualitätssichernde Maßnahme nach Betreiberanforderungen oder auch als Ergänzung zur Anlageninspektion im Rahmen eines Risk-Based-Inspection (RBI) Programmes verwendet werden.

Auf Sicherheitstechnische und ökonomische Aspekte, wie z. B.: lebensdaueroptimierte Betriebsweisen oder geplante Wartungen, kann mit einem maßgeschneiderten Monitoringsystem eingegangen werden. Integrierte Warn- und Alarmkriterien können ausgenutzt werden, um entsprechende Maßnahmen zur Vermeidung von Anlagenschäden zu ergreifen und so einen Anlagenausfall zu vermeiden. Dafür wurde ein speziell entwickeltes Monitoring-Equipment und ein automatisiertes Datenanalyseverfahren eingesetzt, um eine zuverlässige Aussage über den Istzustand des Prüfobjektes treffen zu können.

Damit die TÜV AUSTRIA Gruppe den Anforderungen der Kunden (z. B. Öl- und Gasindustrie oder Energieerzeugung) gerecht werden kann, wurde die Hardware für das Monitoring für heiße und kalte Oberflächen sowie eine automatisierte Software zur Erfassung, Übertragung, Speicherung und Auswertung der Schallemissionsdaten entwickelt.

Diese Arbeit enthält Anwendungsbeispiele bei denen Structural Health Monitoring mit Schallemission an verschiedenen Druckgeräten im Betrieb angewandt wurde.

## **Ein neues Rohrkonzept für Anwendungen in konventionellen Kraftwerken – Überwachung eines Langzeitversuchs im Kohlekraftwerk mit Schallemissionsmessungen**

A. Jüngert<sup>1</sup>, M. Maylandt<sup>1</sup>, M. Friedrich<sup>1</sup>, M. Huang<sup>1</sup>, A. Klenk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MPA Universität Stuttgart

Drucktragende Rohrleitungen im Hochtemperaturbereich haben im Betrieb eine begrenzte Lebensdauer. Unter Druck- und Temperaturlast dehnt sich der Werkstoff unter der Bildung von Kriechporen bleibend und versagt schließlich. Heutzutage werden fossil befeuerte Kraftwerke flexibel und mit möglichst hohem Wirkungsgrad betrieben. Außerdem werden die Kraftwerke zur Kompensation der wetterbedingten Schwankungen der Stromerzeugung durch die erneuerbaren Energien öfter an- und abgefahren. Die damit einhergehenden vermehrten Abkühl- und Aufheizvorgänge stellen eine thermische Wechselbeanspruchung dar, die ihrerseits wiederum Ermüdungsprozesse begünstigt. Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Lebensdauer von thermisch beanspruchten Komponenten in komplexen Lastwechselszenarien ist die Nutzung neuer Materialkonzepte.

Ein derartiges Materialkonzept wird momentan in einem Langzeitversuch im Grosskraftwerk Mannheim (GKM) getestet. Ein Verbundsystem aus einem mit einem Keramikfaserverbund (ceramic matrix composite) CMC ummantelt Stahlrohr ist dort als Bypass einer Frischdampfleitung in Betrieb. Der Keramikmantel kriecht bei der Prozesstemperatur der Anlage nicht und nimmt langfristig die aus dem Innendruck resultierende Beanspruchung auf.

Während des Langzeitversuchs wird der Bypass mit verschiedenen Methoden überwacht. Auf dem Stahlrohr sind in einem nicht ummantelten Bereich Hochtemperaturdehnmessstreifen (HT-DMS) angebracht, die die Kriechdehnung des Grundrohrs überwachen. Im Fasermantel sind außerdem Widerstandsdrähte eingewickelt, über die die Dehnung des Fasermantels überwacht wird. Zusätzlich sind sechs temperaturbeständige Schallemissionssensoren auf dem Stahlrohr und dem Fasermantel angebracht.

Im Folgenden wird der Materialverbund anhand des Bauteilversuchs vorgestellt. Die bisherigen Ergebnisse der Überwachungstechnik des Bauteilversuchs werden dargestellt und mit Erkenntnissen aus vorherigen Versuchen im Labormaßstab verglichen. Die Ergebnisse der Schallemissionsmessungen sind detaillierter bereits beim 22. Kolloquium Schallemission und 3. Anwenderseminar Zustandsüberwachung mitgeführten Wellen vorgestellt worden.

## Können ZfP Prüfer nicht mehr prüfen?

W.M. Auer<sup>1</sup>, H. Muth<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TVFA Hydro TPA KKS, Wien, Österreich

Als Inspektionsstelle für Wasserkraftanlagenbauteile sind wir weltweit als Inspektoren an verschiedensten Guss-, Schmiede- und Schweißkonstruktionen bei unterschiedlichsten Firmen tätig. Im Zuge dieser Abnahmen haben wir große Erfahrungen im Bereich der Zerstörungsfreien Prüfungen und sind mit den unterschiedlichsten Prüfern/innen konfrontiert. Bei den Inspektionen bekommen wir umfassende Einblicke in Prüforganisationen. Bezüglich der Ergebnisqualität bei den Zerstörungsfreien Vorprüfungen mussten wir einen signifikanten Abfall feststellen. Liegt es an den Personen, an der Ausbildung der Prüfer und Prüferinnen, an den Organisationsstrukturen, am Prüfequipment, am Termindruck, am allgemeinen Trend Geiz ist Geil oder liegt die Ursache gar bei anderen Konstellationen?

Anhand von Praxisbeispielen wird der aktuelle Stand der Prüf(er/innen)qualität aus der Sicht von Inspektoren dargelegt, Vergleiche mit der Vergangenheit gezogen und es wird versucht Lösungsansätze für die Hebung der Qualität zu gegeben.

## **IZFP-SmartInspect: Erste Anwendungsbeispiele und Erfahrungen für die Nutzung des Systems zur Prüferausbildung**

T. Schwender<sup>1</sup>, S. Lugin<sup>1</sup>, S. Caspary<sup>1</sup>, S. Bessert<sup>1</sup>, B. Valeske<sup>1,2</sup>, A. Jung<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; <sup>2</sup> htw saar, Saarbrücken; <sup>3</sup> SECTOR Cert, Köln

Durch die umfassende Vernetzung industrieller Prozesse im Sinne Industrie 4.0 und die damit verbundene Erfassung und Verarbeitung von materialspezifischen und herstellungsrelevanten Daten entlang des gesamten Produktlebenszyklus ergeben sich auch in der zerstörungsfreien Prüfung neue Herausforderungen. Es muss eine Möglichkeit geschaffen werden, ermittelte Daten von Prüfobjekten entsprechend ihrer Relevanz zu klassifizieren und relevante Daten lückenlos zu dokumentieren. Insbesondere der Bereich der manuellen Prüfung im Zeichen der Digitalisierung steht vor großen Herausforderungen. Das Assistenzsystem IZFP-SmartInspect, ist eine Kombination von manueller Prüftechnik mit Sensorpositionstracking und intelligenter Datenauswertung und stellt eine mögliche Alternative dar, die dem Prüfpersonal erlaubt, Prüfdaten ortsbezogen zu visualisieren, zu speichern und zu bewerten. Neben einer Planung bietet es weiter die Möglichkeit über Remotezugriff auf momentane Prüfdaten zu zugreifen um den Prüfer bei kritischen Fragestellungen zu unterstützen.

In diesem Beitrag zu IZFP-SmartInspect sollen erste Ergebnisse aus der praktischen Anwendung im Rahmen der Ausbildung von ZfP-Prüfpersonal nach DIN EN 9712 gezeigt werden. An Schmiedestücken sowie Schulungsstücken mit Schweißnähten sollen erste Erfahrungen und Vorteile im praktischen Prüfeinsatz und bei der Nutzung des Systems hinsichtlich der Prüfplanung und Auswertung von Prüfergebnissen vorgestellt werden. Dazu werden die Prüfergebnisse einer konventionellen Prüfung, mit denen durch den Einsatz von IZFP-SmartInspect an Prüfkörpern mit dokumentiertem Defektbild verglichen. Um einen möglichst großen Informationsgehalt zu schaffen, werden die Prüfungen jeweils von erfahrenem Prüfpersonal, als auch von Personen mit geringer Prüferfahrung durchgeführt, ausgewertet und miteinander verglichen.

Die Prüfergebnisse sowie das Feedback des Prüfpersonals sollen einen ersten Überblick über die Vorteile der Assistenz-, Analyse- und Dokumentationsfunktionen gegenüber der etablierten, konventionellen Handprüfung geben.

## ZfP-Ausbildung im Zeichen der Digitalisierung

A. Jung<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SECTOR Cert, Köln

Der Unterausschuss Ausbildung des DGZfP-Fachausschuss ZfP 4.0 beschäftigt sich mit den Auswirkungen der Digitalisierung auf die Ausbildung der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung in Produktion und Instandhaltung. In ihm treffen sich interessierte Personen unter anderem aus dem Kreis der Ausbildungsanbieter, Gerätehersteller, Hersteller und Dienstleister. Ausgehend von den bestehenden Ausbildungskonzepten sollen mit geeigneten Maßnahmen und Projekten neue Ausbildungsinhalte und Konzepte der Wissensvermittlung entwickelt werden. Diese sollen in allen Verfahrensausbildungen angewendet werden können, um den ZfP-Werkstoffprüfer auf die Arbeitswelt auch in Zukunft optimal vorzubereiten. In diesem Vortrag sollen bisher identifizierte Handlungsfelder und Ausbildungskonzepte vorgestellt und diskutiert werden.

## ZfP und Industrie 4.0 – Zwei Welten begegnen sich

C. Pies<sup>1</sup>, T. Baumgart<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SBB AG, Olten, Schweiz

Das Kompetenzzentrum ZfP ist intern als Kompetenzstelle benannt, nimmt einen Teil der ECM2 (Entity in Charge of Maintenance) Rolle wahr und verantwortet somit die prüftechnischen Vorgaben und deren Dokumentation an den Fahrzeugen des Personenverkehrs. Traditionell werden Sicherheitsbauteile eindeutig direkt am Bauteil gekennzeichnet (z. B. mit eingeschlagener Kennung); diese Kennung galt es bisher händisch auf die Prüfprotokolle zu übertragen.

Das Vorschreiten der Digitalisierung von Prozessen und Denkweisen macht auch vor der ZfP kein Halt. Neue Identifikationssysteme wie GIAI (Global Individual Asset Identifier) und Einlesemöglichkeiten, die Optimierung von Standzeiten in der modularen Revision oder erhöhte Dokumentationsanforderungen sind Treiber dieser Weiterentwicklung. Aber gerade diese Weiterentwicklungen bieten neue Möglichkeiten Unsicherheiten in der Ergebnisdokumentation auszuschliessen.

Ergänzend zum Vortrag «Automatisierte, zentrale Prüfdatenablage», der an der 10. Fachtagung «ZfP im Eisenbahnwesen 2018» präsentiert wurde, wird hier dargestellt, wie die Division Personenverkehr der SBB auf eine zentrale Speicherung der Prüfergebnisse aller mechanisierten Prüfanlagen setzt.

Der Funktions- und Empfindlichkeitsnachweis von teilautomatisierten Prüfanlagen wird mit Hilfe von Referenzkörpern zu Beginn einer Schicht (Checkprüfung) und am Ende einer Schicht (ReCheckprüfung) geführt.

Um eine Verbesserung der Qualität der Prüfaussage zu erreichen, wurde eine automatische Überwachung und Kontrolle der Check-/ und ReCheck-Prüfungen beim Import in die Datenbank entwickelt. Somit können falsch oder unvollständig bewertete Kontrollprüfungen zeitnah identifiziert und die Prüfer nachinstruiert werden.

Der Vortrag gibt einen aktualisierten Ein- und Ausblick auf die Digitalisierung der ZfP des Personenverkehrs der SBB.

## **IZFP-SmartInspect: Prüf-Assistenzsystem für die multi-modale Handprüfung im Zeichen der Digitalisierung – Möglichkeiten für ZfP 4.0 durch Echtzeit-Ergebnisvisualisierung und Augmented Reality**

B. Valeske<sup>1,2</sup>, S. Lugin<sup>1</sup>, T. Schwender<sup>1</sup>, D. Koster<sup>1</sup>, N. Brosta<sup>1</sup>, F. Krieg<sup>1</sup>, F. Römer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; <sup>2</sup> htw saar, Saarbrücken

Die Digitalisierung ist ein maßgeblicher Innovationstreiber für zukünftige ZfP-Technologien und Prüf-Prozeduren (ZfP 4.0). Kognitive Sensorsysteme, welche autoadaptiv den Prüfer dabei unterstützen, bestmögliche Datenaufnahmeparameter zu wählen, gültige Prüfdaten zu erzeugen und diese zu Anwender-Informationen mit fortschrittlichster Signal- und Datenverarbeitung in Echtzeit weiter zu verarbeiten, in digitalen Umgebungen weitere Assistenz- und Service-Möglichkeiten sowie Echtzeit-Visualisierungs- und Rekonstruktions-Werkzeuge bereitzustellen, stellen ein Kernelement für die ZfP von morgen dar (Next Generation NDT, ZfP 4.0).

In dieser Arbeit wird das System IZFP-SmartInspect des Fraunhofer IZFP und seine bisher erreichte prototypische Geräteumsetzung vorgestellt. IZFP-SmartInspect repräsentiert ein Beispiel-Konzept für ein digitales Assistenzsystem in der Welt von ZfP 4.0.

Bereits heute/in dieser Entwicklungsphase realisiert sind in diesem Systemaufbau folgende Elemente:

- Multimodale Prüfsensor-Plattform:

- Ultraschall, Wirbelstrom, Mikromagnetik (3MA-Eigenschafts-Charakterisierung)
- Echtzeit Validitätsprüfung bei der Datenaufnahme
- Freihand Sensor-Tracking
- Sprachbedienung
- Echtzeit-Signalverarbeitung, Compressed Sensing & Real-Time Smart SAFT, Mikrocontroller-Implementierung fortschrittlicher Signal-Algorithmik (KI-basiert)
- Echtzeit-Datenvisualisierung mit fortschrittlicher Mustererkennung und Ergebnisauswertung/-bewertung (CNN, Deep Learning, Machine Learning)
- Augmented und Virtual Reality für Smart Inspection und Services für ZfP 4.0

Weitere Arbeiten am Fraunhofer IZFP zu SmartInspect widmen sich im Detail den Echtzeit- und Rekonstruktions-Datenkonzepten für die manuelle Prüfapplikation, der Validierung für die Schweißnahtprüfung und dem Einsatz im Rahmen der zukünftigen Prüferausbildung mit Blick auf ZfP und Möglichkeiten für Smart Services. Diese Entwicklungen werden in diesem Beitrag im Überblick und für das Gesamtsystem-Konzept von IZFP-SmartInspect vorgestellt. Die weiteren Beiträge befassen sich ausführlich und im Detail mit den einzelnen wissenschaftlich-technischen Hintergründen und führen die parallel laufenden Forschungsarbeiten zu den oben aufgelisteten Punkten aus.

## **Die vierte Revolution der zerstörungsfreien Prüfung: Vernetzung, Feedback, Digitalisierung und Einbindung in die Digitale Fabrik**

J. Vrana<sup>1</sup>, alle Mitglieder des UA Schnittstellen/Dokumentation

<sup>1</sup>Vorsitzender des UA Schnittstellen/Dokumentation im DGZfP-FA ZfP 4.0

Die industrielle Revolution wird von Historikern in drei Phasen unterteilt: Die Erfindung der Dampfmaschine (Mechanisierung), die Elektrizität (Massenproduktion) und die Mikroelektrische Revolution (Automatisierung). Ähnlich bei der zerstörungsfreien Materialprüfung: Werkzeuge, wie Linsen oder Stethoskope erlaubten die menschlichen Sinne zu schärfen, die Wandlung von Wellen macht das nicht-sichtbare sichtbar und bietet damit einen Blick in die Bauteile und schließlich Automatisierung und Rekonstruktion. Und während der gesamten industriellen Entwicklung war dabei die ZfP maßgeblich mit für die Qualität und damit für den Erfolg der gefertigten Güter verantwortlich. In der Industrie wird mittlerweile von einer vierten Revolution gesprochen: Die Informatisierung, Digitalisierung und Vernetzung der industriellen Produktion. Wie schon früher wird die ZfP entscheidend für den Erfolg dieser vierten Revolution sein, da sie die Datenbasis bietet, die in einer vernetzten Produktionsumgebung für das Feedback benötigt wird.

Für die ZfP wird dies zu einem Wandel führen. Die Ergebnisse der Prüfung müssen einer vernetzten Produktionsumgebung so zur Verfügung gestellt werden, dass diese für Feedbackschleifen ausgewertet werden können, die Prüfbarkeit muss beim Design mit berücksichtigt werden und die Zuverlässigkeit der Prüfaussagen wird einen immer größeren Stellenwert gewinnen.

Dieses Paper zeigt Konzepte auf, wie sich die ZfP in Industrie 4.0 Landschaften integrieren kann. Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) ermöglicht eine Verortung einer digitalen Komponente, die Industrie 4.0 Verwaltungsschale ist das Interface zwischen Industrie 4.0 Kommunikation und dem physischen Gerät, OPC-UA ist das Kommunikationsprotokoll das sich derzeit als Standard etabliert, AutomationML ein Datenformat für Anlagenplanungsdaten und die Industrial Data Space Initiative zur Sicherstellung der Datensouveränität.

## Der R-Scan – Ein neues Verfahren zur Visualisierung von Ultraschalldaten in 3D

R. Ratering<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GE Sensing Inspection Technologies GmbH, Hürth

Heutige Ultraschallgeräte bieten verschiedene standardisierte Ansichten zur Fehlerbewertung nach DIN EN ISO 5577. Während der A-Scan den eindimensionalen Amplitudenverlauf des Ultraschallsignals anzeigt, bieten E- und S-Scan Bilder, die aus Phased Array-Daten rekonstruiert werden. Schließlich zeigen B-, C-, D-Scan Gesamtansichten einer Prüfung, die Projektionen der Ultraschalldaten aus verschiedenen Richtungen darstellen. Zur Durchführung der eigentlichen Fehlerbewertung werden üblicherweise Informationen aus mehreren Bildern kombiniert, um Position, Größe und Form der Fehler bestmöglich zu bestimmen.

Mit dem R-Scan (Real-Scan) wird hier eine neue Darstellungsform beschrieben, die Amplituden- und Laufzeit-Information aus dem A-Scan in eine positionsgetreue 3D-Ansicht transferiert. Dazu werden die A-Scan-Werte farbkodiert durch geometrische Objekte dargestellt, deren Größe relativ zur Amplitudenhöhe ist. Der Benutzer erhält so alle Informationen, die zur Fehlerbewertung benötigt werden, in einer Ansicht und muss nicht mehr unterschiedliche 2D-Bilder in einem mentalen Modell miteinander kombinieren.

Im Gegensatz zu bekannten Volumenrendering-Methoden aus der Computergrafik, die auch häufig Einsatz in der Medizin finden, benötigt der R-Scan nur vertretbaren Rechenaufwand und lässt sich somit auch auf modernen portablen Geräten realisieren. Dies ermöglicht eine leichte Fehlerbewertung unmittelbar vor Ort, ohne dass die Daten in spezielle Offline-Analysewerkzeuge überführt werden müssen. Durch die einfache Definition des R-Scan könnte sich diese Ansicht auch als zukünftiger Standard zur 3D Visualisierung für die Ultraschallprüfung etablieren.

## **PROlineCOMPACT – ein standardisiertes Baukastensystem für die produktionsintegrierte Ultraschallprüfung**

O. Wielicki<sup>1</sup>, G. Vogt<sup>1</sup>, B. Vogt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>VOGT Ultrasonics GmbH, Burgwedel

Allgemein erfordert die zerstörungsfreie Prüfung mit Ultraschalltechnologie je nach Bauteil und Prüfaufgabe individuelle Prüflösungen. Einflüsse der Oberflächengeometrie, der Fehlerposition sowie der Prüfbereich selten eine standardisierte Lösung. Um den Aufwand für den Bau solcher Ultraschallprüfsysteme zu reduzieren, ist ein modularer Systemaufbau sinnvoll.

Das kompakte Systemdesign und das modulare PROline-Konzept ermöglichen anwendungsspezifische Lösungen. Dadurch wird der kundenspezifische Systemaufbau minimiert und das Preis-Leistungs-Verhältnis optimiert. Die prozesssicheren Prüfsysteme und -module können an unterschiedliche Prüfaufgaben und steigenden Anforderungen angepasst werden.

Jede PROline-Lösung besteht aus dem PROlineUSB-Ultraschallprüfgerät, der Prüf- und Auswertesoftware und der Prüfmechanik. Die individuelle Prüflösung besteht aus einer Vielzahl von Standardmodulen, die perfekt aufeinander abgestimmt sind. Dabei ist die Hardware (z.B. Anzahl der Ultraschallkanäle, Drehgeberschnittstellen) so flexibel wie die Prüfsoftware (z.B. verschiedene Auswertungs- und Datenverarbeitungsmöglichkeiten).

Eine der jüngsten Prüflösungen aus dem PROlineCOMPACT-Baukasten – ein Tisch-Prüfsystem mit ein oder zwei Prüfbeckern, Wasseraufbereitung und schwenkbarer Bedieneinheit, eignet sich ideal für die schnelle Prüfung von Schweißnähten an rotationssymmetrischen Bauteilen.

Das Prüfsystem bietet drei Prüfpositionen mit je einem dreiachsigen Prüfkopfmanipulator. Geprüft wird mit Bublertechnik von außen, auf kleinstem Raum von innen sowie mit lokaler Tauchtechnik innerhalb umlaufender Nuten. Hierzu werden ein Stabprüfkopf sowie Wasserzufuhr über einen Schwenkarm innerhalb der Nut des Bauteils positioniert. Dann wird die Nut für die Dauer der Prüfung mit Wasser befüllt und anschließend automatisch wieder abgesaugt.

Die automatische Auswertung, Prüfberichtserstellung und Ergebnisarchivierung spart Zeit und schafft Prüfsicherheit. In der Grundausstattung sind die Prüfplätze für die Stichprobenprüfung zur manuellen Bestückung ausgelegt. In einer weiteren Ausbaustufe ist der produktionsbegleitende Einsatz mit automatisierter Bestückung durch Roboter möglich.

## Industrielle Prüfung von thermoplastischen Tapes mit Luftultraschall

W. Essig<sup>1</sup>, M. Kreuzbruck<sup>1</sup>, A. Bulavinov<sup>2</sup>, R. Pinchuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IKT, Universität Stuttgart; <sup>2</sup> ACS-Solutions GmbH, Saarbrücken

Faserverstärkte Kunststoffe werden neben der Luft- und Raumfahrtindustrie zunehmend in der Automobil- und Sportindustrie eingesetzt. Die außerordentlich hohen, auf die Masse bezogenen, Festigkeiten und Steifigkeiten zeichnen diese hochmodernen Werkstoffe aus. Vor allem mit endlosfaserverstärkten Kunststoffen können maßgeschneiderte, auf eine spezielle Belastung optimal ausgelegte Bauteile hergestellt werden. Dies wird ermöglicht, indem die Faserrichtungen entlang den Belastungsrichtungen ausgerichtet werden. Insbesondere der Einsatz von unidirektional verstärkten Tapes ermöglicht diese Art des flexiblen Lagenaufbaus. Zusammen mit einer thermoplastischen Matrix können diese Tapes in einem Pultrusionsverfahren hergestellt werden, dabei wird das Matrixmaterial über einen Extruder eingespeist.

In dieser Arbeit wird die industrielle Prüfung von unidirektional verstärkten, thermoplastischen Tapes mit Luftultraschall gezeigt. Beginnend mit der Untersuchung des Temperatureinflusses auf das Ultraschallsignal, konnte für diverse Prüfanordnungen eine Empfehlung über die maximal prüfbare Tape Temperatur gegeben werden. Um eine 100 % Prüfung realisieren zu können, wurde die Korrelation zwischen der Tapebreite, dem Abstand der Prüfköpfe und den Kennwerten der Lineareinheiten berechnet. Somit konnte im Anschluss daran der maximale Tapevorschub berechnet werden. Zusammen mit neu entwickelter Elektronik und Ultraschallhardware, konnte somit jene Mechanik ausgelegt werden, die zur schnellen Prüfung der Tapes erforderlich ist. Zur Verbesserung der lateralen Auflösung wurden spezielle Vorlauftrichter entwickelt, die gegebenenfalls an den Prüfköpfen angebracht werden können. Mit dem somit fokussierten Luftultraschall konnte eine erhebliche Verbesserung der lateralen Auflösung erreicht werden. Als Ausblick für die Detektion von Unterschieden in der Imprägnierung der Fasern, wurde ein Modell vorgestellt, das über die Auswertung fortlaufend aufgenommener Messdaten eine Aussage in Bezug auf ein i.O. Tape ermöglicht.

## **Klassisches Maschinelles Lernen oder Neuronale Netze? Welche Methode führt zum Erfolg bei der automatischen Auswertung von Daten aus der Ultraschallprüfung komplexer CFK-Bauteile?**

A. Abreu<sup>1</sup>, O. Beesdo<sup>1</sup>, M. Simon<sup>1</sup>, M. Burger<sup>2</sup>, T. Stecher<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Premium AEROTEC GmbH, Augsburg; <sup>2</sup> TNG Technology Consulting GmbH, Unterföhring

Im Flugzeugbau haben sich große Bauteile aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen bereits seit einigen Jahren etabliert. Zur Absicherung der Bauteilqualität ist die Prüfung mittels Ultraschall Impuls-Echo Technik die am weitesten verbreitete Methode. Die automatisierte Aufnahme der Prüfdaten in Portalmaschinen oder roboterbasierten Systemen ist Stand der Technik. Bei der Prüfung entstehen große Datenmengen die von zertifizierten Ultraschallprüfern ausgewertet werden müssen. Bei großen und komplexen Flugzeugstrukturen wie sie Premium AEROTEC herstellt, beansprucht die Fehlerdetektion sehr viel Zeit und Kosten. Bei Premium AEROTEC werden daher Bildanalysen zur Ultraschalldatenanalyse entwickelt. Mit maschinellem Lernen werden Bilddaten bewertet und Materialfehler detektiert.

Maschinelles Lernen ist ein Verfahren bei dem ein Algorithmus lernt fehlerhafte von fehlerfreien Bereichen zu unterscheiden. Die Qualität hängt dabei maßgeblich von der Zahl der zu lernenden Defekte ab, die im Trainingsdatensatz zur Verfügung stehen. Für die Ultraschallprüfdaten muss der Algorithmus allerdings mit einer vergleichsweise geringen Zahl realer Fehler trainiert werden. Für die Entwicklung wurden klassische Verfahren des maschinellen Lernens als auch neuronale Netze verwendet. Erste Ergebnisse, die anhand von realen Prüfdaten erzeugt wurden zeigen vielversprechende Erkennungsraten.

## Kissing Bonds – Gezielte Herstellung und Detektion mit Ultraschall

J. Schuster<sup>1</sup>, M.-H. Chen<sup>2</sup>, Q. Govignon<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Kaiserslautern, Pirmasens; <sup>2</sup> Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, Albi, Frankreich

Kissing Bonds stellen bei der Verklebung von Faserverbundkomponenten speziell im Luftfahrtbereich eine bisher nicht zufriedenstellend gelöste Fragestellung dar. In dieser Forschungsarbeit wurde versucht, Proben mit Kissing Bonds durch Variation des Mischungsverhältnisses der Komponenten eines Zweikomponentenklebers gezielt herzustellen, wobei als Kriterium galt, dass diese Klebeverbindungen im C-Scan unauffällig sind, aber deutlich schlechtere Scherfestigkeiten als Proben mit einwandfreier Verklebung aufweisen. Anschließend wurden die Proben hinsichtlich der Änderung der Mittenfrequenz mittels Featurescans (F-Scans) geprüft. Als Ultraschallgerät stand hierfür eine USPC 3040S AIRTECH 4000 Tauchtankanlage vom Ingenieurbüro Dr. Hillger mit einem Frequenzbereich von 0,5 – 30 MHz zur Verfügung. Es war möglich, frequenzbasiert Kissing-Bond-Proben von Gut-Proben zu unterscheiden. Im Folgenden wurde ein Blindtest mit zehn Proben durchgeführt, bei dem mit der entwickelten Methode eine fehlerfreie Selektion in Gut- und Schlechtklebungen möglich war.

## Impactschäden sicher finden – Vorstellung eines Prototyps für die mobile Ultraschall-Thermografie

J. Rittmann<sup>1</sup>, M. Rahammer<sup>1</sup>, N. Holtmann<sup>2</sup>, M. Kreutzbruck<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IKT, Universität Stuttgart; <sup>2</sup> edevis GmbH, Stuttgart

Impactschäden in Faserkunststoffverbunden wie CFK und GFK stellen hohe Herausforderungen an die zerstörungsfreie Prüftechnik. Die anisotrope Werkstoffstruktur erschwert die Ergebnisinterpretation herkömmlicher Prüfverfahren erheblich. Die Resonante Frequenzsweep Thermografie (RFST) basiert auf dem Prinzip der lokalen Defektresonanz in Verbindung mit der bekannten ultraschall-angeregten Thermografie. Mit ihr ist es möglich, in kürzester Zeit auf einfache Art und Weise die Existenz von signifikanten Impactschäden festzustellen.

RFST nutzt eine Frequenzsweep-Anregung im unteren und mittleren Kilohertzbereich, um Defekt-, Anregungs- und Bauteilresonanzen zu aktivieren. Resonanzen verstärken die akustische Aktivierung der Defekte um ein Vielfaches und führen zu einer signifikanten Steigerung des thermischen Signals. Dieses basiert auf Rissuferreibung sowie visko-elastischer Erwärmung und wird an der Oberfläche von einer Thermografiekamera detektiert. Trotz der sehr niedrigen integralen Wärme können Defekte ab einer bestimmten Größe mithilfe einer Fourier-Filterung mit hohem Signal-Rausch-Verhältnis detektiert werden. Die Defekterkennungsschwelle hängt dabei von der Anregungsleistung sowie dem Abstand der Defekte zur Schallquelle ab.

Zu diesem Zweck wurde ein Prototyp in Form eines Dreibeins mit integrierter IR-Kamera und Ultraschallanregung entwickelt. Dieser zeichnet sich durch einfache Handhabung und flexible Einsatzmöglichkeiten aus. Mithilfe von Augmented Reality wird dem Prüfer die Ergebnisinterpretation und Defektmarkierung erleichtert, indem das ausgewertete Prüfergebnis ortsgetreu auf das Bauteil projiziert wird. Vorgestellt werden erste Ergebnisse an einer Serie von Impactschäden in CFK mit variierenden Einschlagenergien und Delaminationsflächen. In diesen Bauteilen lassen sich für eine Prüfdauer von einer Minute Impactschäden mit projizierter Schadensfläche von mindestens ein Zoll Durchmesser sicher detektieren.

## Methodenentwicklung zum zuverlässigen Einsatz der akustischen Resonanzanalyse für die Prüfung von Schmiedestücken durch Einbeziehung von A-priori-Wissen

M. Heinrich<sup>1</sup>, U. Rabe<sup>1</sup>, B. Valeske<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; <sup>2</sup> htw saar, Saarbrücken

Die akustische Resonanzanalyse (ART) ist ein zerstörungsfreies Prüfverfahren, mit dem Komponenten anhand ihrer Eigenfrequenzen hinsichtlich verschiedener mechanischer Eigenschaften oder Qualitätsabweichungen untersucht werden können. Das Prinzip der ART beruht darauf, dass die maßgeblich durch die Geometrie und die Materialeigenschaften festgelegten Eigenfrequenzen eines Körpers von verschiedenen Abweichungen beeinflusst werden. So spiegeln sich strukturelle Defekte in den Eigenfrequenzen eines Teils wider. Das Ziel der ART besteht somit in der Erkennung entsprechender Teile anhand gemessener Eigenfrequenzen oder anderer akustischer Prüfmerkmale, wobei sich eine Prüfentscheidung i. d. R. auf eine empirische Kalibrierung an zahlreichen repräsentativen Gut- und Schlecht-Teilen stützt. Bedingt durch geometrische oder material-spezifische Unterschiede variieren jedoch auch die Eigenfrequenzen von Gut-Teilen. Letztendlich ist eine verlässliche Erkennung qualitativ unzulänglicher Teile mit ART oftmals nicht trivial, denn die durch unzulässige Abweichungen bedingten Eigenfrequenzänderungen können durch den Einfluss zulässiger Bauteilvariationen überlagert werden.

In diesem Beitrag wird am Beispiel von Modellteilen mit künstlichen Defekten dargestellt, dass die Verlässlichkeit und die Empfindlichkeit einer eigenfrequenzbasierten ART-Prüfung hinsichtlich eines strukturellen Defekts signifikant durch die Einbeziehung von A-priori-Informationen über das Prüfobjekt (Ist-Bauteilgeometrie) erhöht werden können. Dazu werden zwei verschiedene Ansätze präsentiert. In einem Fall wird die Art des Defekts, nicht aber dessen Größe und Position, als bekannt angenommen. Im anderen Fall wird keinerlei Vorwissen zum Defekt vorausgesetzt. Die entwickelte Methodik basiert darüber hinaus darauf, dass sich die empirische Kalibrierung für das konkrete Prüfproblem auf virtuelle, d. h. FE-simulierte Daten, stützt. Lediglich zur Eliminierung der grundlegenden Abweichungen zwischen simulierten und gemessenen Eigenfrequenzen werden einige wenige Gut-Teile in die Kalibrierung einbezogen.

## Auslegung von UT-Anlagen mit CIVA

T. Sayfullaev<sup>1</sup>, W.A.K. Deutsch<sup>1</sup>

<sup>1</sup> KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal

Seit Jahren spielen Simulationen für die Charakterisierung der Schallfelder von Ultraschall-Prüfköpfen in verschiedenen Materialien eine immer bedeutendere Rolle. Dies gilt besonders bei der Auslegung von Ultraschall-Prüfköpfen für zahlreiche Anwendungen. Zudem wird der Aufwand bei der Entwicklung neuer Ultraschall-Prüfköpfe erheblich reduziert.

Von Anfang an gab es viele Skeptiker und große Bedenken bezüglich der Echtheit von Simulationsergebnissen. Bei zahlreichen Vergleichen zwischen Simulationsergebnissen und gemessenen experimentellen Ergebnissen wurden gute quantitative Übereinstimmungen erzielt. Daher wird die Simulation von immer mehr NDT-Experten anerkannt und akzeptiert.

In der CIVA-Simulation kann man nicht nur Schallfelder, sondern auch das Reflexionsverhalten charakterisieren. In dem Poster wird an drei Beispielen aus der Praxis erläutert, wie nützlich dies sein kann. CIVA-Simulationen für drei Konzepte für die Phased-Array-Stangenprüfung werden dargestellt. Zwei Prüfkonzepte arbeiten mit einem Tauchtank (ECHOGRAPH-HRPS) und mit ringförmig angeordneten Prüfköpfen. Es kann sowohl mit einem komplett geschlossenen Ring (je drei Schüsse pro Apertur) als auch mit einem teilbestückten Ring (Sektor-Scan pro Prüfkopf) gearbeitet werden. Die ECHOGRAPH-STPS-PAUT-Prüfanlage arbeitet mit fünf Prüfköpfen und einer Düsenankopplung. Auch mit diesem Prüfkonzept kann eine vollständige Querschnittsabdeckung erzielt werden.

Im zweiten Teil des Posters werden simulierte und experimentell ermittelte TCG-Linien verglichen. Insgesamt ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung. Die Abweichungen ergeben sich in erster Linie durch unvermeidbare Fertigungstoleranzen der erodierten Testfehler. Mit Hilfe der CIVA-Software können solche TCG-Linien theoretisch pro Stangendurchmesser ermittelt werden, und die Betreiber der Prüfanlagen können die Anzahl der benötigten Testkörper bzw. die Anzahl der Testfehler pro Testkörper signifikant reduzieren.

## **Verbesserung der Ortsauflösung bei der industriellen Computertomographie durch aktive Brennfleckstabilisierung auf Basis eines Systemregelungsverfahrens**

M. Schönherr<sup>1</sup>

<sup>1</sup> YXLON International GmbH, Hamburg

Bei der industriellen Computertomographie wird die erreichbare Ortsauflösung zunehmend wichtiger. Besonders bei großen Objektvergrößerungen führen bereits geringe Geometrieabweichungen der angenommenen Systemgeometrie zu gravierenden Bildartefakten. Das äußert sich beispielsweise durch unscharfe Objektkanten, wodurch die Ortsauflösung erheblich reduziert wird. Selbst wenn die mechanischen Randbedingungen des CT-Systems als ideal angenommen werden, ist nicht auszuschließen, dass sich das Verhalten der Röntgenröhre während eines CT-Scans verändert. Beispielsweise führen thermisch bedingte Verformungen der Röhrenmechanik beziehungsweise des Filaments oder verschleißbedingte Geometrieänderungen des Filaments zu einer Wanderung des Brennflecks auf dem Target. Als Folge dessen resultieren Bildartefakte, wenn die veränderte Brennfleckposition bei der Objektrekonstruktion nicht berücksichtigt wird. In diesem Paper wird ein Verfahren vorgestellt, bei dem die Brennfleckposition aktiv unter Verwendung eines Reglers stabilisiert wird. Der Ansatz ist dabei systemübergreifend, wobei die gesamte Bildkette, bestehend aus Röntgenröhre und Detektorbild, verwendet wird.

## Wirbelstromtraining mit Android-Geräten

G. Mook<sup>1</sup>, Y. Simonin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

EddySmart ist ein Wirbelstrom-Ausbildungs-Kit für Android-Smartphones und -Tablets. Der Sensor wird an die Audio-Buchse angeschlossen und kann im Frequenzbereich von 1 kHz bis 20 kHz betrieben werden. Die dazugehörige App bietet die Möglichkeit der Einhandbedienung zum Einstellen der Verstärkung und y-Spreizung, der Phase (mit Lift-Off-Automatik), der Schwelle, der Hoch- und Tiefpassfilter, der XY- bzw. Yt-Darstellung sowie der Signalaufzeichnung mit der Möglichkeit der Nachbearbeitung.

Neben einem leicht handhabbaren Wirbelstrom-Absolutsensor in Schuhform werden Testkörper aus diversen Metallen und Legierungen sowie Testkörper mit Schlitzen und Wandreduktionen bereitgestellt. Die App wird auf einem USB-Stick geliefert und für den Anschluss von Fremdsensoren, z. B. aus der EddyCation-Reihe, ist ein Spezialkabel verfügbar.

Das Poster stellt ein Trainingsprogramm für diese Geräteklasse vor. Dazu gehören die Grundübungen mit dem Absolutsensor

- Werkstoffsortierung,
- Oberflächenrissprüfung und
- Prüfung auf Wandreduktionen.

Darüber hinaus werden Prüfaufgaben mit Fremdsensoren gezeigt. Dazu gehören der Einsatz von

- Absolutsensoren zur Schichtdicken- und Leitfähigkeitsprüfung,
- Differenzsensoren zur statischen und dynamischen Oberflächenfehlerprüfung,
- Innendurchlaufsensoren zur Rohrprüfung und
- Multidifferenzsensoren zur Prüfung auf verdeckte Fehler.

Neben Android-Smartphones mit ihren kleinen Bildschirmen können auch Android-Tablets verwendet werden, die natürlich komfortabler bedienbar sind.

## **Automatisierte Bewertung des Auslagerungszustandes von Aluminiumbaugruppen**

K. Dilz<sup>1</sup>, H. Lindow<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PLR Prüftechnik Linke & Rühle GmbH, Magdeburg

Mit der zu entwickelnden Prüftechnik sollen aushärtbare Aluminiumlegierungen im automatisierten Fertigungsprozess überprüft und unterschieden werden. Hierfür wird das Wirbelstromprüfverfahren als Quasi-Leitfähigkeitsmessung angewendet.

Aufgrund von unterschiedlichen Lagerorten und Produktionsstrecken weisen die zu überprüfenden Bauteile zum Zeitpunkt der Prüfung unterschiedliche Temperaturen auf. Dabei erstreckt sich der Temperaturbereich von +10 bis +50 °C.

Für eine qualifizierte Sortierung der Auslagerungszustände werden für die Wirbelstromsensoren Kennfelder in Kombination mit einer integrierten Temperaturmessung entwickelt.

Ergebnisse dieser Entwicklung wurden in die software- und hardwarebasierten Komponenten eines integrierten Prüfsystems bei Zulieferer umgesetzt und in Betrieb genommen.

## **Detektion von Ondulationen in UD-GFK mit dem mikrowellenbasierten NIDIT-Verfahren in Reflexion**

J. Hinken<sup>1</sup>, A. Himmelmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FI Test- und Messtechnik GmbH, Magdeburg

Komponenten aus unidirektionalem glasfaserverstärktem Kunststoff (UD-GFK) werden zunehmend eingesetzt, beispielsweise für Automobilblattfedern und Rotorblätter von Windkraftanlagen. Ondulationen gehören zu den kritischen Herstellungsfehlern. Sie können im Betrieb zu Rissen führen. Daher ist eine zerstörungsfreie Tiefenprüfung auf Ondulationen erforderlich. Sie ist nicht nur in der Produktion nötig sondern auch bei darauf nicht geprüften, bereits betriebenen Anlagen.

Rotorblätter sind groß. Daher und insbesondere in der Luft sind solche Prüfungen zügig durchzuführen. In der Regel kommt nur ein Reflexionsverfahren in Frage. Das Abscannen mit einem einzelnen Sensor ist zeitaufwendig. Ein unmittelbar bildgebendes Verfahren ist vorzuziehen. Die Thermographie wäre möglich, hat aber nur eine zu geringe Beobachtungstiefe. Es bietet sich das mikrowellenbasierte direkt bildgebende Verfahren NIDIT an, das allerdings bisher nur in Transmission verwendet wurde. Hier wird das NIDIT-Verfahren in Reflexion vorgestellt sowie seine Anwendung zur Detektion von Ondulationen in UD-GFK.

Diese Machbarkeitsstudie wurde anhand von drei zur Verfügung stehenden GFK-Blattfederabschnitten durchgeführt: 1. nominell ohne Defekt, 2. mit vorwiegend in-plane-Ondulationen, 3. mit vorwiegend out-of-plane-Ondulationen. Sie wurden durch den fest stehenden Testaufbau hindurch geführt, Videosequenzen der NIDIT-Tests wurden erstellt. Es zeigt sich, dass Abschnitt 1 keine wesentlichen Anzeigen erzeugt, Abschnitt 2 sehr starke und Abschnitt 3 noch deutlich erkennbare. Darüber hinaus wurde der 30 mm dicke Abschnitt 1 mit einem künstlichen Defekt auf der Rückseite versehen, der im NIDIT-Bild deutlich erkennbar ist. Das NIDIT-Reflexionsverfahren ermöglicht also auch eine Prüfung in die Tiefe hinein.

Der Einsatz des NIDIT-Reflexionsverfahrens in der Produktion ist leicht vorstellbar, für den Einsatz in der Luft ist sicherlich noch Entwicklungsaufwand nötig.

## Fehlerdetektion von magnetimpulsgeschweißten Verbindungen mittels induktionsangeregter Thermografie

E. Prints<sup>1</sup>, I. Kryukov<sup>1</sup>, E. Schumacher<sup>1</sup>, S. Böhm<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Kassel, tff, Kassel

Der Fahrzeugleichtbau im Transportwesen gewann in den vergangenen Jahren stetig an Bedeutung, wodurch die Herstellung von Hybridverbindungen, insbesondere Aluminium-Stahl, in den Vordergrund rückte. Die konventionellen Schmelzschweißverfahren stoßen beim Erzeugen einer hochfesten stoffschlüssigen Mischverbindung aufgrund der metallurgischen Unverträglichkeit der Fügepartner oft an ihre Grenzen. Eine Alternative zur Realisierung dieser Verbindungen bietet das Magnetimpulsschweißen, wobei die Verschweißung im Überlapp durch Beschleunigung der Fügepartner mittels eines elektrisch induzierten Magnetfeldes eingeleitet wird. Das Verfahren zeichnet sich durch eine sehr kurze Prozessdauer und eine minimale Erwärmung der Fügepartner aus. Der elektrische Widerstand einer magnetimpulsgeschweißten Verbindung ist sehr gering, wodurch sich das Verfahren ebenfalls zum Kontaktieren von elektrischen Leitern eignet.

Zur Beurteilung der Qualität einer Verbindung spielt die Größe der Verbindungsfläche eine entscheidende Rolle. Unregelmäßigkeiten innerhalb der Schweißnaht reduzieren die wirksame Schweißnahtfläche und somit die maximal ertragbare Zugbelastung. Mittels induktionsangeregter Thermografie konnte erstmals zerstörungsfrei eine fehlerfreie von einer fehlerbehafteten Verbindung unterschieden werden.

Im Rahmen dieses Beitrags wird die Eignung der aktiven Thermografie zur Erkennung von Schweißnahtunregelmäßigkeiten und zur Beurteilung der Qualität einer magnetimpulsgeschweißten Verbindung am Beispiel einer Aluminiumlegierung EN AW 6016 mit einem Dualphasenstahl DP 800 vorgestellt. Hierzu wurden die kritischen Unregelmäßigkeiten, wie Fremdstoffeinschluss und unvollständige Bindung, definiert und in eine Schweißverbindung reproduzierbar eingebracht. Die wirksame Fügefläche, die in Korrelation zur maximal ertragbaren Zugbelastung steht, wurde in Folge der induktiven Erwärmung mit Thermografie visualisiert.

## Kombination von Radar und Neutronensonde zur Bestimmung der Massefeuchte von Estrichen

T. Klewe<sup>1</sup>, C. Strangfeld<sup>1</sup>, S. Kruschwitz<sup>1,2</sup>, T. Ritzer<sup>3</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> TU Berlin; <sup>3</sup> Ingenieurbüro Tobias Ritzer GmbH, Schwabach

Leitungswasserschäden nahmen im Jahr 2016 mit rund 2,6 Milliarden Euro den größten Posten bei Gebäudeversicherungen ein. Die Bestimmung und Lokalisierung des Schadensausmaßes ist dabei ein erster wichtiger Schritt, um die erforderlichen Sanierungsarbeiten abschätzen und effizient vornehmen zu können. Hierfür sind Radar und Neutronensonden bereits etablierte Verfahren. Für verlässliche Aussagen zum quantitativen Feuchtegehalt eines Baustoffes werden jedoch zerstörende Sondierungsbohrungen zur Kalibrierung der aufgenommenen Daten benötigt. Dieser hohe zeitliche und finanzielle Aufwand soll zukünftig durch den parallelen Einsatz der genannten Messverfahren verhindert werden.

In der durchgeführten Studie wurden Estrichprobekörper auf Zement- und Anhydritbasis mit variablen Dicken und Festigkeiten hergestellt und deren Austrocknung mit Radar und Neutronensonde über einen Zeitraum von 90 Tagen beobachtet. Als Referenzverfahren zur Ermittlung des Feuchteverlaufs dienten die gravimetrische Darr- und chemische Calcium-Carbid-Methode, welche an kleineren Schwesterproben der gleichen Charge angewendet wurden. Kontinuierliche Wägungen der größeren Probekörper gaben hierbei Aufschluss über den durch Austrocknung schwindende Wasseranteil.

Aus dem aufgenommenen Radardatensatz konnten anschließend markante Signalmerkmale im Zeit- und Frequenzbereich extrahiert und deren Zusammenhang zum Feuchtegehalt der Estrichtypen untersucht werden. Hierbei wurden gängige Methoden aus der Literatur zur Feuchtemessung mit Radar angewandt, wobei die Kombination dieser und das Hinzuziehen der Neutronensonde mittels Datenfusion zu einem höheren Informationsgehalt beiträgt. Somit kann eine zerstörungsfreie Quantifizierung des Feuchteschadens an schwimmenden Fußbodenaufbauten vorgenommen werden.

## Ultraschall-Messsystem für die Langzeitüberwachung von Betonkonstruktionen

F. Knopp<sup>1</sup>, F. Mielentz<sup>1</sup>, T. Bernstein<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin

Ultraschallmessverfahren werden seit Langem erfolgreich für Prüfaufgaben im Bauwesen eingesetzt. Die dauerhafte Überwachung und frühzeitige Erkennung von Schäden an komplexen Neubauten und alternder Infrastruktur kann mittels Ultraschall-Transmissionsmessungen und speziellen Auswertemethoden, wie z. B. Korrelationsverfahren und Codawelleninterferometrie, realisiert werden. Für die Dauerüberwachung wurde ein kompaktes System entwickelt, das Ultraschall-Messdaten erfassen und ins Internet auf einen FTP-Server übertragen kann. Es können hierbei alle angeschlossenen Prüfköpfe für jede Messung wahlweise als Sender oder Empfänger geschaltet werden. Es wurden Vorverstärker entwickelt, bei denen die Versorgung mit Strom über die Messleitung erfolgt. Dadurch können die Verstärker nahe am Prüfkopf positioniert werden. Durch Änderungen in den Ultraschall-Signalen können Schädigungen des Bauteils, wie z. B. Risse, in Echtzeit erkannt werden.

## **Ultraschall-Echoverfahren an Betonbauteilen mit geneigten Rückwänden – Entwicklung von Testkörpern**

S. Maack<sup>1</sup>, S. Küttenbaum<sup>1</sup>, A. Taffe<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> HTW, Berlin

Das Ultraschall-Echoverfahren kann zur Bestimmung der geometrischen Abmessungen von Bauteilen eingesetzt werden. Bei Untersuchungen an Brücken aus Beton hat sich gezeigt, dass die Rückwand häufig nicht planparallel zur Messfläche ausgebildet ist. Die Auswertung der zugehörigen Messreihen lässt erwarten, dass die Neigung der Rückwand bei der Dickenmessung als zusätzliche (nicht vernachlässigbare) Einflussgröße auf die Messunsicherheit quantifiziert werden muss. Zu diesem Zweck wurden fünf Testkörper hergestellt.

Im vorliegenden Beitrag werden neben der Konzeption der Probekörper ausgewählte zugehörige Messergebnisse präsentiert und den tatsächlichen Bauteildicken und -neigungen gegenübergestellt.

## Risserkennung in vorgeschädigten bewehrten Betonteilen

R. Moosavi<sup>1</sup>, M. Grunwald<sup>1</sup>, D. Neger<sup>1</sup>, B. Redmer<sup>1</sup>, F. Hille<sup>1</sup>, A. Waske<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin

Im Hochenergie-Röntgen-Labor HEXYLab der BAM bildet das Universal-Manipulationssystem HEXYTEch die messtechnische Basis für die unterschiedlichsten Prüfaufgaben an dickwandigen, sperrigen Komponenten zur Bestimmung der Komponentenintegrität. Mit insgesamt 13 Rotations- und Linearachsen können die unterschiedlichsten Trajektorien für die Röntgenröhre, das Prüfobjekt und den Detektor programmiert werden. Mittels einfacher Durchstrahlung sowie Laminographie und Computer-Tomographie werden 2D- und 3D-Bilder gemessen.

Im Projekt „Beton-Impact“, in Kooperation mit TU Dresden und der BAM wird die Rissstruktur an bewehrten Betonprobekörpern, die definiert geschädigt werden, mit planartomografischer Prüfung detektiert und rekonstruiert. Dabei werden die Probekörper (1,5 m x 1,5 m x 0,3 m) über die gesamte Fläche in 5 horizontalen und 3 vertikalen Trajektorien als 15 Einzelprüfungen abgescannt und die Einzelrekonstruktionen zu einem 3D-Schichtenmodell zusammengesetzt.

Für die weitere Analyse der Rissstrukturen werden die Länge bzw. die Breite und Tiefe der Risse mittels eines Segmentierungsalgorithmus untersucht. Doch die alleinige Segmentierung der Risse unter Verwendung verschiedener Risserkennungsmethoden führt bei Betonproben mit eingebetteter Bewehrung zu Falschaussagen bzw. Fehlinterpretationen. Wir entwickelten einen zweistufigen automatischen Ansatz, der die fehlerhaften Interpretationen in der Rissstruktur vermeidet und den Rissverlauf als Ergebnis darstellt. Die so aufbereiteten Rissbilder können unterschiedlich verwendet werden. Zum einen können weitere Analysen folgen und zum anderen werden mit den Ergebnissen FEM-Simulationen kalibriert.

Es wird der zweistufige Ansatz in der Segmentierung der Rissstruktur sowie die Abgrenzung zu vorhandenen Bildverarbeitungsalgorithmen dargestellt und das Ergebnis an Beispielen diskutiert.

## Ermittlung des Flüssigwasseranteils an Kalziumsilikatplatten bei Teilsättigung mittels NMR

S.M. Nagel<sup>1</sup>, C. Strangfeld<sup>1</sup>, S. Kruschwitz<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> TU Berlin

Feuchte, insbesondere in Form von Flüssigwasser, stellt in Baustoffen ein hohes Schadenspotential dar. Um mit zerstörungsfreier Prüfung mögliche Risikostellen zu lokalisieren und Präventionsmaßnahmen zu ergreifen, sind Kenntnisse über das Porengefüge und Feuchtetransportmechanismen im Baustoff erforderlich. Eine wesentliche Problematik besteht derzeit in der Erfassung und Quantifizierung von Feuchteverteilungen bei Teilsättigung. Wir verfolgen derzeit einen Ansatz, mittels Nuklear Magnetischer Resonanz (NMR) in Korrelation mit relativen Luftfeuchtemessungen den Flüssigwasseranteil bei Teilsättigung zu ermitteln. Mit Protonen-NMR lassen sich Relaxationszeiten von Wasserstoffprotonen in Abhängigkeit von ihrer Bindungsart und ihrer Umgebung, z. B. Porenstruktur und -größe, erfassen. Allerdings lässt sich bei Materialien mit sehr breiten Porengrößenverteilungen nicht klar differenzieren, ob kurze Relaxationszeiten durch größere teilgesättigte oder kleinere vollgesättigte Poren verursacht werden. Für die Korrelation mit der relativen Luftfeuchte im Baustoff erfolgt zunächst eine künstliche Regulierung im Klimaschrank. Durch einen neuentwickelten Ansatz von Hillerborg lassen sich dann bei jeder Luftfeuchte die adsorbierten Wasserschichtdicken und der Porensättigungsgrad für die vorhandenen Porengrößen berechnen. Mithilfe des berechneten Porensättigungsgrades lässt sich eine genauere Analyse der zeitlichen Entwicklung von Relaxationszeitenverteilungen (insbesondere bei Trocknungs- und Aufsättigungsprozessen) vornehmen. Somit sollen erstmals Aussagen zu kürzeren Relaxationszeiten bei teilgesättigten Porensystemen, die beispielsweise auch eine multimodale Porengrößenverteilung aufweisen, getroffen werden können.

In dieser Arbeit wird die Kombination aus NMR und der relativen Luftfeuchte an sehr porösen Dämmplatten aus Kalziumsilikat, die zur Wärmedämmung sowie der Entgegenwirkung von Schimmelbildung eingesetzt werden, angewendet. Untersucht werden 28 Proben à 6 Gruppen, die von unterschiedlichen Herstellern stammen bzw. unterschiedlich hergestellt wurden.

## **DGZfP-Merkblatt B04 – Merkblatt über Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen**

M. Schickert<sup>1</sup>, alle Mitglieder des UA Ultraschallprüfungen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Vorsitzender des UA Ultraschallprüfungen im DGZfP-FA ZfP im Bauwesen

Das Merkblatt B04 Merkblatt über Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen wurde vor Kurzem vom Unterausschuss Ultraschallprüfungen im Fachausschuss Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen fertiggestellt. Gegenüber der Vorversion von 1999 wurde der Inhalt vollständig neu gefasst.

Das Merkblatt beschreibt Grundlagen und Anwendung der zerstörungsfreien Ultraschallprüfung im Bauwesen für Untersuchungen im Labor und am Bauwerk. Das Merkblatt enthält neben den Grundlagen der Wellenausbreitung eine Beschreibung der Prüfmethodik sowie der Prüf- und Darstellungsverfahren. Der praktische Teil gibt einen Überblick über die Gerätetechnik und beschreibt eine Reihe von Anwendungsbeispielen, wobei auch in der Entwicklung befindliche Verfahren angesprochen werden. Die im Text zitierte Literatur wird in einer umfangreichen Literaturliste zusammengefasst.

Die beschriebenen Ultraschall-Prüfverfahren werden zur Untersuchung der Material- und Bauteileigenschaften von Prüfobjekten aus Stahl und Spannbeton, Mörtel und Holz eingesetzt. Die Hauptanwendungsgebiete der Prüfverfahren sind:

- Bestimmung von Bauteildicken
  - Nachweis und Lokalisierung von Konstruktionselementen und Fehlstellen
  - Ermittlung von Materialkennwerten und deren zeitlicher oder räumlicher Veränderung
- Haupteinsatzgebiete sind die Qualitätssicherung und die Schadensdiagnose.

Das Poster präsentiert einen Überblick über das Merkblatt und erläutert Schwerpunkte, besondere Inhalte und ausgewählte Anwendungsbeispiele.

### **EMPIR Project NanoXSpot: Measurement of the focal spot size on X-ray tubes with spot sizes down to 100 nm**

G.-R. Jaenisch<sup>1</sup>, A. Waske<sup>1</sup>, U. Ewert<sup>2</sup>, B.A. Bircher<sup>3</sup>, F. Meli<sup>3</sup>, V. Korpelainen<sup>4</sup>, A. Lassila<sup>4</sup>, M. Costin<sup>5</sup>, F. Yang<sup>6</sup>, F. Hörauf<sup>7</sup>, J.P. Steffen<sup>8</sup>, G. Dai<sup>9</sup>, A. Deresch<sup>10</sup>, C. Graf vom Hagen<sup>11</sup>  
<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> CEN TC 138 WG 1, NA 062-08-22-AA, Berlin; <sup>3</sup> Eidgenössisches Institut für Metrologie (METAS), Bern-Wabern, Schweiz; <sup>4</sup> VTT MIKES Metrology, Espoo, Finnland; <sup>5</sup> CEA LIST, Saclay, Frankreich; <sup>6</sup> Excillum AB, Kista, Schweden; <sup>7</sup> KOWOTEST GmbH, Langenfeld; <sup>8</sup> X-RAY WorX GmbH, Garbsen; <sup>9</sup> PTB, Braunschweig; <sup>10</sup> YXLON International GmbH, Hamburg; <sup>11</sup> Carl Zeiss X-Ray Microscopy, Pleasanton, USA

The overall objective of project NanoXSpot (Nanometre X-ray Focal Spot Measurement) is to develop traceable measurement methods for determining the focal spot size, shape, and position of sub-micrometre resolution X-ray tubes. The impact of the technical results will be ensured by preparing pre-normative documents for CEN TC 138 (Non-destructive testing) WG 1 (Radiographic testing), which directly addressed the research needs of CEN. WG 1 currently revises standards in the series EN 12543 for focal spot measurements above 5 µm to harmonise standards and measurement methods between CEN, ISO and ASTM. The new measurement methods for determining the focal spot size, shape, and position of nanometre resolution X-ray tubes are needed to complete the standard series EN 12543 for spot sizes down to 100 nm.

## Neues röntgenbasiertes Verfahren für dimensionelle Messungen und dessen Anwendungen

O. Kazankova<sup>1</sup>, M. Bartscher<sup>1</sup>, D. Matern<sup>2</sup>, U. Neuschaefer-Rube<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig; <sup>2</sup> YXLON International GmbH, Hamburg

Die industriellen Anwendungen der Computertomographie (CT) haben sich in den letzten zehn Jahren rasant entwickelt. Neben der Defekt- und Fehlererkennung erfolgt heutzutage in vielen industriellen Bereichen die dimensionelle Qualitätskontrolle gefertigter Bauteile mithilfe CT. Dabei wird häufig eine schnelle Entscheidung über die Annahme bzw. Ablehnung der Bauteile auf Basis dimensioneller Messdaten gefordert. Aus diesem Grund ist die Verringerung der Gesamtmesszeit, bestehend aus Datenaufnahme- und Auswertungszeit, ein wichtiger Aspekt, wobei die Messergebnisse ausreichend genau sein müssen. Es existieren bereits einige schnelle Verfahren zur Projektionserfassung sowie zur schnellen Rekonstruktion von CT Daten, allerdings ist die Genauigkeit der Messungen in diesen Fällen beschränkt und häufig unzureichend. Als Alternative stellen wir ein neues projektionsdatenbasiertes Messverfahren am Beispiel eines üblichen industriellen CT Aufbaus vor, bei dem weniger Projektionsbilder benötigt werden und keine tomografische Rekonstruktion erfolgt.

Ein wesentlicher Bestandteil des Verfahrens ist die Simulation der Durchstrahlung, in diesem Fall mit der Software aRTist der BAM. Zunächst werden vor der Datenaufnahme mithilfe des CAD-Modells des Soll-Bauteils günstige Projektionen für jede zu messende Größe ausgewählt. In jeder gemessenen Projektionsansicht des Bauteils wird der Unterschied zum simulierten Modell ermittelt. Der Messwert für die jeweilige Messgröße entsteht als eine Kombination aus lokalen Differenzen in den unterschiedlichen Projektionen.

Das Verfahren erfordert potentiell weniger Messdaten für die Ermittlung einer Messgröße, was zur Beschleunigung der Aufnahme führt. Weiterhin wird keine tomografische Rekonstruktion benötigt, was rekonstruktionsspezifische Artefakte vermeidet. Im Beitrag werden die Machbarkeit eines solchen Verfahrens untersucht und mögliche Vor- und Nachteile diskutiert. Erste Ergebnisse von simulierten Messungen eines Aluminiumgussteils werden präsentiert.

## **Anwendungen eines Roboter-gestützten CT-Systems zur Untersuchung ausgedehnter Objekte**

I. Kremers<sup>1</sup>, H. Rein<sup>1</sup>, P. Brugger<sup>1</sup>, M. Krumm<sup>1</sup>, C. Sauerwein<sup>1</sup>

<sup>1</sup> RayScan Technologies GmbH, Meersburg

In den letzten Jahren wurde die 3D Röntgenprüfung unentbehrlich für die Bauteilprüfung in vielen Branchen. Dabei zeigte sich, dass die Größe der untersuchbaren Komponenten häufig durch die Bauart der CT Anlagen und der klassischen CT-Scanverfahren begrenzt war. Der Erfolg der CT in der industriellen Praxis verstärkte jedoch den Wunsch diese Grenzen zu überwinden, um auch ausgedehnte Objekte mit 3D Röntgenverfahren untersuchen zu können.

Das zugrundeliegende Entwicklungsprojekt RoboTom wurde mittlerweile erfolgreich mit einem neuartigen System einzigartiger Bauart abgeschlossen. Das neue Verfahren wurde vielfältig eingesetzt mit Anwendungen aus der Automobilindustrie, der Luft- und Raumfahrt und weiteren Branchen. Die inhaltlichen Schwerpunkte umfassten Verbindungen zwischen metallischen Komponenten (Klebefalze, Schweißnähte, Niete, ...), Faserverbundwerkstoffe mit ihren typischen Fehlern (Delaminationen, Porosität, Ondulationen, Risse, ...) und Elektronik-Komponenten.

Dabei wurden die Stärken dieses Verfahrens in vielfacher Hinsicht bestätigt, namentlich seiner aussagekräftigen Bildqualität, der Eignung für die Untersuchung von schwer zugänglichen Bereichen (u. a. aller Verbindungselemente einer KFZ-Karosserie) und dem Potential zur automatisierten Inspektion im Rahmen komplexer Produktionsprozesse. Weiterhin führten die erfolgreichen Untersuchungen an Abschnitten von Helikopterrotorblättern zur Entwicklung und Realisierung eines neuen Prüfsystems zum Scannen ganzer Rotorblätter.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der vielfältigen Anwendungen und das Potential zur Automatisierung und Integration in die Fertigung vorgestellt.

## **Aktuelle Ergebnisse zur weiterentwickelten EMUS-Prüfung an industriellen Hochtemperatur-Rohrleitungen**

B. Heutling<sup>1</sup>, H.-J. Uebrig<sup>2</sup>, R. Neggers<sup>3</sup>

<sup>1</sup> GSI – Gesellschaft für Schweißtechnik International GmbH, Hannover; <sup>2</sup> Delta Test GmbH, Hambühren; <sup>3</sup> Neggers Inspection Solutions, Zege, Niederlande

In einem früheren Beitrag wurde über die Entwicklung, die Validierung und die ersten Ergebnisse von elektromagnetisch erzeugten Ultraschallprüfungen (EMUS) zur Prüfung industrieller dickwandiger Rohrleitungen berichtet. Da die etablierte Wirbelstromprüfung bei ferromagnetischen Werkstoffen nur in sehr oberflächennahen Bereichen auf Fehler prüfen kann, sollte dieses Prüfsystem eine Möglichkeit bieten, auch dickwandigere Rohre und Rohrleitungen erfolgreich und aussagekräftig hinsichtlich Wanddickenänderungen und im Idealfall auch größere Fehlstellen zu prüfen.

Die damaligen Ergebnisse boten eine sehr gute Grundlage für die Weiterentwicklung des Prüfsystems, das nun in der Lage ist, auch Rohrleitungen im Hochtemperaturbereich von ca. 515 °C zu prüfen. In repräsentativen Vergleichsprüfungen mit konventionellen Ultraschallprüfsystemen wurden sehr gute Vergleichswerte erzielt und erweiterte Blind-Prüfungen an aus der Industrie vorgegebenen Prüfbjekten unter externer Observierung erfolgreich absolviert.

Neben diesen Validierungsergebnissen soll ein Ausblick auf die Einsatzfähigkeiten des aktuellen Prüfsystems, Ergebnisse aus dem Prüfpraxis sowie ein Überblick über den Stand der Automatisierung von C-Scan-Darstellungen im Rahmen eines Corrosion-Mapping-Ansatzes gegeben werden.

## Herausforderungen bei der Prüfung von Schmiedeteilen durch Vorsatzkeile für Longitudinalwellenprüfköpfe

D. Kotschate<sup>1</sup>, D. Gohlke<sup>1</sup>, P. Dobrovolskij<sup>2</sup>, J. Vrana<sup>3</sup>, T. Heckel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> Beuth Hochschule für Technik, Berlin; <sup>3</sup> Vrana GmbH, Rimsting

Trotz moderner Sensortechnologien und Rekonstruktionsmethoden, findet die manuelle und automatisierte Ultraschallprüfung durch konventionelle Senkrecht- und Winkelprüfköpfe vielfach industriellen Einsatz.

Um einen flexiblen Prüfeinsatz und die Prüfbarkeit von einfachen sowie komplexen Geometrien zu gewährleisten, werden dort oftmals Vorlaufkeile für die Winkelprüfung mit Longitudinalwellen angewendet um eine Anzeigschräglage und deren Reflektivität auszugleichen bzw. zu verbessern. Durch den unterschiedlichen Aufbau, im Vergleich zu integrierten Scherwellen-Winkelprüfköpfen, können jedoch während der Prüfung Fehlanzeigen generiert werden. Diese fehlerhaften Anzeigen beruhen auf Mehrfachreflexionen und Wellenumwandlungen innerhalb des Vorlaufkeils, aufgrund der Geometrie und können im Feld nur bedingt von realen Anzeigen unterschieden werden. Dieser Beitrag zeigt die geometrische Betrachtung bei der Verwendung von Vorlaufkeilen und wurde experimentell durch die Bestimmung der Richtcharakteristik und dem Einsatz von elektrodynamischen Sonden validiert. Des Weiteren ermöglichen die so gewonnenen Abhängigkeiten einen vom Keilwinkel abhängigen Verstärkungsausgleich und somit eine korrekte Größenbestimmung durch einen geeigneten Vergleichsfehler

## **Erfahrungen bei der Einführung der SAFT Prüfung in die Serienfertigung großer Schmiedeteile**

J. Vrana<sup>1</sup>, A. Zimmer<sup>2</sup>, K. Schörner<sup>3</sup>, H. Mooshofer<sup>3</sup>, K. Kolk<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Vrana GmbH, Rimsting; <sup>2</sup>Saarschmiede, Völklingen; <sup>3</sup>Siemens, München; <sup>4</sup>Siemens, Mülheim an der Ruhr

Große Rotor-Schmiedeteile, die üblicherweise eine der kritischsten Bauteile in landgestützten Turbinen und Generatoren für die Energieerzeugung darstellen, setzen für eine ausreichende Lebensdauer eine aufwändige volumetrische Prüfung voraus. Diese wird üblicherweise manuell oder automatisiert mit Ultraschall durchgeführt. Durch neue Anforderungen, Designs und Materialien wird eine sensitivere Prüfung notwendig. Dies kann durch die Synthetic Aperture Focusing Technique (SAFT), auch Ultraschall Computertomographie genannt, erreicht werden.

SAFT geht auf Synthetic Aperture Radar (SAR) zurück und wurde von mehreren Universitäten weiterentwickelt. Aber erst durch die Einführung des von Siemens entwickelten Quantitative SAFT, auch DGS SAFT genannt, das eine Beurteilung eines jeden Voxels in Einheiten eines Ersatzreflektors erlaubt, und durch eine Beschleunigung, die die Rekonstruktion des kompletten Volumens eines großen Schmiedebauteils erlaubt, wurde eine Einführung von SAFT in die Serienfertigung großer Schmiedeteile möglich.

In dieser Veröffentlichung berichten wir von den Erfahrungen, die bei der Einführung der SAFT Prüfung in die Serienfertigung gewonnen werden konnten. Dabei werden die Herausforderungen für Level 2/3-Prüfer diskutiert, wie z.B. die volumenkorrigierte Anzeige der Ergebnisse, der Umgang mit großen Datenmengen, die Fokussierung von Anzeigen und die direkte Anzeige der Amplituden in Einheiten eines Ersatzreflektors. Des Weiteren wird dargestellt, wie Anzeigen durch SAFT dargestellt werden, wie bei Quantitative SAFT die Nachweisgrenze bestimmt werden kann und welche Artefakte bei der Serienprüfung mit SAFT auftreten können.

## Warum wird zugbelastetes HD-Polyethylen in Dieselumgebung transparent? – Antworten der Röntgenstreuung

A. Kupsch<sup>1</sup>, M. Erdmann<sup>1</sup>, B.R. Müller<sup>1</sup>, M.P. Hentschel<sup>1</sup>, U. Niebergall<sup>1</sup>, M. Böhning<sup>1</sup>, G. Bruno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin

Behälter aus hochdichtem Polyethylen (PE-HD) werden zur Lagerung und für den Transport von Kraftstoffen eingesetzt. Beim Kontakt beider Medien diffundiert der Kraftstoff in das Polymer, erhöht dessen Volumen und Duktilität und ändert damit das Fließverhalten des Polymers unter Zugbelastung. Zudem weist PE-HD in Luft im verstreckten Bereich das sogenannte strain-whitening (Lichtstreuung) auf, während in Diesel gelagertes PE-HD optisch transparent wird. Zur Untersuchung dieses Phänomens wurden orts aufgelöste Röntgenrefraktion und -diffraktion (Topographie) eingesetzt. Aus Sicht der molekularen Struktur (Diffraktion) weisen die beiden Proben typen keine Unterschiede auf: im verstreckten Bereich liegt eine Fasertextur der Polymerketten in Belastungsrichtung vor, im unverstreckten Bereich nahezu ideale Isotropie. Die für mikroskopische Strukturen empfindliche Röntgenrefraktion zeigt außerdem für die Probe in Luft im verstreckten Bereich eine ausgeprägte Orientierung von Grenzflächen in Zugrichtung, während die in Diesel gelagerte Probe keine Grenzflächen zeigt. In Analogie zum optischen Verhalten bewirken die ähnlichen Brechungsindizes beider Medien im Röntgenbereich, dass eindiffundierter Diesel als Immersionsflüssigkeit die Brechungseigenschaften herabsetzt.

## **Bearbeitungszustände an Al-Bauteilen analysiert mit der Röntgendiffraktometrie**

L. Spieß<sup>1</sup>, A. Kais<sup>1</sup>, G. Teichert<sup>2</sup>

<sup>1</sup> TU Ilmenau, IWT, Ilmenau; <sup>2</sup> MFPA Weimar, Prüfzentrum Schicht- und Materialeigenschaften Ilmenau

Die zerstörungsfreie Materialprüfung wird sehr häufig auf gängige Verfahren wie Radiographie, Ultraschall, Thermografie und Wirbelstromverfahren eingeschränkt.

Bei der Herstellung von Bauteilen mit immer höherer Komplexität in Verbindung mit angepassten Werkstoffen und erhöhten Sicherheitsanforderungen kommt der zerstörungsfreien Materialcharakterisierung zur Bestimmung von Einflüssen des Bearbeitungszustandes auf die Materialkenngrößen eine immer größere Bedeutung zu. Die Beziehung Struktur-Gefüge-Eigenschaften gilt auch hier.

Ausgehend von der Vorstellung des Verfahrens und Anwendung an Stahl- und Al-Si-Gusswerkstoffen werden hier erweitert Einflüsse des Bearbeitungszustandes auf die Eigenschaften von Aluminiumlegierungen aufgezeigt. Es wird dabei die röntgenografische Spannungsbestimmung verwendet.

Mit diesen Röntgendiffraktometrieverfahren und einer komplexen Messstrategie und -auswertung können eindeutig Unterschiede an der Schnittoberfläche nach dem Drehen mit scharfen und stumpfen Werkzeugschneiden und an unterschiedlichen Umlaufradien gezeigt. Ebenso die Unterschiede an Bauteilen zwischen nachträglichen lokalen Abfräsungen und vorherigen nebenstehenden Oberflächen gezeigt. Damit lassen sich die qualitativen und quantitativen Phasenanalysen zur Überwachung des Fertigungsprozesses und die Einflüsse auf das spätere Bauteil zur Materialcharakterisierung einsetzen. Die relative Grobkörnigkeit und damit verbundene Texturercheinungen erschweren die Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Im Poster werden die Leistungsfähigkeit, die Grenzen und die Anwendbarkeit der Röntgendiffraktometrie zur zerstörungsfreien Materialcharakterisierung nach unterschiedlichen Bearbeitungszuständen an Aluminium beschrieben.

## Computertomographie-Check

L. Spieß<sup>1</sup>, T. Kups<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TU Ilmenau, IWT, Ilmenau

Die Computertomographie wird häufig als das universellste Verfahren der zerstörungsfreien Materialprüfung angesehen und vielfach auch von den Medien suggeriert, dass damit alle Bauteile, Materialkombinationen und alle Dimensionen von Nano – Makro schnell, höchst aufgelöst und anschaulich dargestellt werden kann. Projektträger lehnen vielfach Projekte ab, da es angeblich keinen Bedarf mehr an speziellen Forschungsprojekten gäbe bzw. der Innovationsgrad in den Anträgen zu gering sei.

Die Industrie baut vielfältige Anlagen und es wird eine stetig wachsende Anzahl verschiedener Tomographen eingesetzt. Die Computertomographie ist heute sehr gut und ausführlich in Monographien, Zeitschriftenartikeln und Anwenderschriften beschrieben. Es wird von den Betreibern erwartet, dass sie einen Großteil der Literatur kennen und berücksichtigen.

In der Praxis eines Universitätslabors sind mir in den letzten Jahren mehrfach Untersuchungsaufgaben herangetragen worden, die physikalisch als auch technisch nicht mit der CT lösbar sind. Die Erwartungshaltungen sind hier von den Aufgabenstellern zu hoch. Es fehlen einfach die Grundkenntnisse in der CT.

In dem Poster wird deshalb eine kurze, allgemeingültige Checkliste dargestellt, was wann und wie bei bestimmten Materialkombinationen und Abmessungen mit der CT-Untersuchung möglich ist und wo keine oder vielleicht nur mit anderen Verfahren eine Untersuchung möglich ist.

## Ungängen in additiv gefertigten Bauteilen – Einfluss auf die mechanischen Festigkeiten

C. Weidig<sup>1</sup>, C. Straube<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ifw Jena

Das pulverbettbasierte Laserstrahlschmelzen (L-PBF) ist eine additive Fertigungsmethode zur Herstellung metallischer Bauteile. Es bietet Vorteile, hinsichtlich individueller, kundenspezifischer Produktlösungen, die eine hohe Flexibilität hinsichtlich Geometrie, Varianten und Stückzahl erfordern. Die zahlreiche Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet der letzten Jahre hat die Technologie mittlerweile über die Schwelle von der reinen Nischenanwendung hin zur Serienfertigung gebracht. Durch diese neuartige Herstellungsmethode stellt sich allerdings auch die Frage nach der Werkstoffprüfung von additiv gefertigten Bauteilen. Wo es bei nahezu allen etablierten Verfahren Normungen und Richtlinien gibt, wie Ungängen zu bewerten sind, fehlen diese öffentlich zugänglichen Vorschriften im Bereich der additiven Fertigung jedoch gänzlich.

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, wie sich Fehlstellen in additiv gefertigten Bauteilen auf die mechanischen Eigenschaften auswirken. Dazu wurden Ungängen in Probekörper definiert eingebracht und diese mit Hilfe der digitalen Durchstrahlungsprüfung untersucht, um die resultierenden Fehlergrößen und Ausprägungen zu detektieren. Anschließende Festigkeitsuntersuchungen zeigten die Einflüsse der eingebrachten Fehlstellen auf die ermittelten mechanischen Eigenschaften.

Zum einen konnte gezeigt werden, dass die Größe der einzubringenden Fehlstellen stark vom verwendeten Material und den Prozessparametern abhängt. Zum anderen sind einige Arten von Fehlstellen kritischer für die Bauteilfestigkeit als andere zu bewerten. Auf Basis dieser Erkenntnisse werden weitere Versuche abgeleitet, um auch verschiedene Fehlergrößen und -arten, z. B. Poren und Anbindungsfehler und deren Auswirkungen systematisch bewerten zu können.

## **inspECT-PRO – Breitband-Wirbelstromprüfelektronik für Mehrkanal- und Mehrfrequenzanwendungen**

D. Koster<sup>1</sup>, R. Rick<sup>1</sup>, J. Oswald<sup>1</sup>, P. Stopp<sup>1</sup>, C. Weingard<sup>1</sup>, J. Wagner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

Aktuelle Entwicklungen im Bereich Industrie 4.0, also die Digitalisierung von Produktionsanlagen und -abläufen, stellen ganz neue Herausforderungen an Systeme der zerstörungsfreien Prüfung. Aus diesem Anlass wurde am Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren ein neues multimodales Prüfelektronikkonzept entwickelt, welches die aktuell notwendigen Schnittstellen bedient und somit leicht in das Digitalisierungskonzept eingebunden werden kann. Mit der Wirbelstromelektronik inspECT-PRO wird ein Modul dieser neuen Elektronikserie vorgestellt.

Die Wirbelstromprüfung wird mittlerweile nicht nur im klassischen Anwendungsgebiet, der Prüfung von Materialien wie Stahl, Aluminium oder Kupfer, eingesetzt. Durch die immer höheren Anforderungen an den Leichtbau wächst der Stellenwert von Materialien wie z.B. CFK stetig. Um diese schwach elektrisch leitfähigen Materialien prüfen zu können, wird jedoch eine hohe Prüffrequenz benötigt. Damit die Prüfung klassischer sowie neuer Materialien gelingen kann, wurde ein breitbandiger Ansatz mit Prüffrequenzen von 10 Hz bis 112,5 MHz umgesetzt. Mit hohen Sampleraten von bis zu 125.000 Samples/s im Einfrequenzbetrieb können sehr schnelle Prüfsituationen abgebildet werden. Die Baugruppe ist durch den Einsatz leistungsfähiger FPGA- und DSP-Bausteine für die schnelle Signalverarbeitung und Auswertung prädestiniert. Zur Prozesssteuerung können Echtzeit Ein- und Ausgänge verwendet werden. Die mit zwei autarken Hardwarekanälen ausgestattete Baugruppe kann im Einfrequenz- oder Mehrfrequenzbetrieb mit bis zu 32 Prüffrequenzen pro Kanal eingesetzt werden. Koordinatensignale werden über ein 3-Achsen-Interface direkt mit den Wirbelstromsignalen verbunden. Die Baugruppe kann als OEM-Kit zur Integration in Kundensysteme bereitgestellt werden. Alternativ kann auch ein Einschub-, Labor- oder mobiles Laptopsystem flexibel angepasst werden. Diese Arbeit gibt einen Überblick über Vorzüge dieser neuen universell einsetzbaren Wirbelstromplattform und die dadurch neu erschlossenen Anwendungsbereiche.

## **Einsatzmöglichkeiten für Frequenz-Sweep als Teil einer Mehrfrequenz-Wirbelstromprüfung**

J. Oswald<sup>1</sup>, D. Koster<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

Das Wirbelstromprüfverfahren ist seit vielen Jahren etabliert und kommt bei der Untersuchung sehr unterschiedlicher Problemstellungen zum Einsatz. Die Qualität der Prüfung hängt dabei meist davon ab, dass der Prüfer, nicht zuletzt durch seine Erfahrung, die entsprechenden Parameter für die jeweilige Anwendung bestimmt. Dabei können Zeit und Kosten gespart werden, indem das entsprechende Wirbelstromsystem bereits selbstständig relevante Informationen bereitstellt. Solche Informationen können beispielsweise gewonnen werden, indem automatisch ein breites Spektrum an Prüffrequenzen durchlaufen wird, um so einige Gegebenheiten der Prüfsituation zu erfassen. In diesem Beitrag möchten wir erläutern, welche Vorteile sich durch die Zuhilfenahme einer Sweep-Funktion für die Wirbelstromprüfung ergeben. Zusätzlich möchten wir darlegen, wie diese genutzt werden kann um die Qualität der Prüfung zu gewährleisten, indem durch die gewonnenen Zusatzinformationen weitere Parameter automatisch optimiert werden.

## Verkürzung der Datenverarbeitungszeit für die Lock-In Shearografie

P. Pfeffer<sup>1</sup>, D. Hoffmann<sup>1</sup>, C. Kolb<sup>1</sup>, M. Mayr<sup>1</sup>, G. Schober<sup>1</sup>, M. Bastian<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

In unserem Poster präsentieren wir verschiedene Möglichkeiten, die notwendige Berechnungszeit für die Verarbeitung shearografischer Phasenbilder, welche mittels einer Lock-In Technik aufgenommen werden, zu verringern. Die entscheidenden Schritte zur Erzeugung bedeutsamer Informationen aus Lock-In Shearografie-Daten sind Filterung, Demodulation und Fourier-Transformation, welche alle bei großen Datensätzen sehr zeitintensiv sein können. Mithilfe Matlabs Parallel Computing Toolbox haben wir mögliche Verkürzungen der Verarbeitungszeiten bei Verwendung einer zeitoptimierten Programmiersyntax sowie auf der CPU und der GPU parallel arbeitenden Algorithmen verglichen. Die Verfassung des Codes in einer zeitoptimierten Syntax verbessert die Berechnungszeit etwa um den Faktor 10 im Vergleich zu einer einfachen Syntax, die Verwendung 12 paralleler Rechen-Threads führt zu einer Beschleunigung um den Faktor 29 und die Zuhilfenahme der GPU resultiert in einer 116-fachen Zeitverkürzung. Die Benutzung optimierten GPU-Rechnens kann somit für die Verarbeitung großer Mengen shearografischer Daten empfohlen werden und verringert die Verarbeitungszeit für Daten, welche mit einer Lock-In Messung mit 5 MP Auflösung aufgenommen werden von etwa 10 Stunden zu wettbewerbsfähigen und anwendungstauglichen 5 Minuten.

### **Shearografische, multifrequente Lock-In Messungen an CFK**

P. Pfeffer<sup>1</sup>, L. Wachter<sup>1</sup>, D. Hoffmann<sup>1</sup>, G. Schober<sup>1</sup>, M. Bastian<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

Wir stellen einen Vergleich zwischen einzel- und multifrequenten, shearografischen Lock-In Messungen an einer kohlefaserverstärkten Kunststoffprobe mit künstlich eingefügten Defekten vor. Um die Unterschiede bezüglich Bildqualität, benötigter Zeit und erforderlichem Speicherplatz einzuschätzen, führen wir sowohl mit der einzelfrequenten als auch der multifrequenten Technik Messungen bei sechs verschiedenen Frequenzen durch. Wohingegen beide Methoden Informationen über die Tiefenlage der Defekte liefern können, erlaubt der einzelfrequente Ansatz bessere Ergebnisse hinsichtlich der Qualität des Ergebnisses (Signal zu Rausch Verhältnis, Detektierbarkeit der Defekte und Reproduzierbarkeit). Die multifrequente Technik wiederum ist zeitsparender und benötigt weniger Speicherplatz. Weiterhin erwies sich der Versuch, mit einer frequenzabhängigen Anregungsgewichtung die Qualität der multifrequenten Methode zu verbessern, insgesamt als kontraproduktiv.

## **Zuverlässigkeitsbetrachtungen bei der Ultraschallprüfung von Radsatzwellen im Ausbildungsbetrieb**

T. Heckel<sup>1</sup>, M. Bertovic<sup>1</sup>, M. Rosenthal<sup>1</sup>, M. Pavlovic<sup>2</sup>, L. Bartsch<sup>3</sup>, V. Muhs<sup>4</sup>, R. Holstein<sup>5</sup>  
<sup>1</sup> BAM, Berlin, <sup>2</sup> Advanced Remanufacturing and Technology Centre (ARTC); <sup>3</sup> Applied Validation of NDT, Berlin; <sup>4</sup> DGZfP Ausbildung und Training GmbH, Wittenberge; <sup>5</sup> DGZfP Ausbildung und Training GmbH, Berlin

Im Rahmen der UT1-M1 Ausbildung im Ausbildungszentrum Wittenberge der DGZfP wurden statistische Untersuchungen am Beispiel der Radsatzwellenprüfung mit Testradsatzwellen durchgeführt. Diese Untersuchungen hatten zum Ziel, die wesentlichen Einflussparameter bei der Prüfung auf das Prüfergebnis zu evaluieren. Dabei wurde unter anderem die intrinsischen Fähigkeit des Prüfverfahrens zum Auffinden verschiedener Reflektorgeometrien ermittelt. Die Ergebnisse der Handprüfung wurden mit Ergebnissen mechanisierter Prüfungen verglichen. Im Rahmen der Zuverlässigkeitsbetrachtung wurden die Probability of Detection (POD) und die Nachweisgrenzen ermittelt. Die Ergebnisse werden vorgestellt.

## Human Factors bei der Ultraschall-Handprüfung von Radsatzwellen mit Längsbohrung in der Ausbildung

M. Bertovic<sup>1</sup>, L. Bartsch<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> Applied Validation of NDT, Berlin

Ziel dieser Arbeit war es, menschliche und organisatorische Einflussfaktoren auf die Ultraschall-Handprüfung von Radsatzwellen zu identifizieren, um Empfehlungen zur Optimierung der Ausbildung auszuarbeiten. Dazu, wurden prüfungsbezogene Risiken in der Praxis mittels Fehlzustandsart- und –auswirkungsanalyse (FMEA) analysiert sowie von den Prüfern empfundene Probleme während der Ausbildung und in der Praxis mittels Fragebogen identifiziert. Die Ergebnisse der FMEA haben gezeigt, dass während der gesamten ZfP-Prozesses Fehler auftreten können, für die Gegenmaßnahmen getroffen und implementiert werden sollten. Zu den vorgeschlagenen Gegenmaßnahmen zählen: Optimierung der Organisation, Prüftechnik, Dokumentation, Ausbildung, Arbeitsbedingungen und des Prüfprozesses. Die Auswertung der Fragebögen zeigte eine relativ große Zufriedenheit mit den zur Ausbildung bereitgestellten Prüfunterlagen. Hinsichtlich der Praxis tendierten die Antworten der Prüfer in Richtung Verbesserung der Prüfunterlagen, Arbeitsbedingungen vor Ort, Arbeitsvorbereitung im Werk und Anweisung/fachlichen Einweisung durch die Prüfaufsichten. Aus den Hinweisen und Erkenntnissen wurden einige Empfehlungen zur Optimierung der Prüfunterlagen, Kompetenzen und des Prüfprozesses erarbeitet. Es wurde empfohlen, die Qualität der Prüfunterlagen systematisch zu untersuchen und zusammen mit den Prüfern zu verbessern, um Missverständnisse bei der Nutzung der Prüfunterlagen zu minimieren und somit Fehler bei der Prüfung zu vermeiden. Eine weitere Empfehlung betraf die Entwicklung und das Angebot neuer Ausbildungsmodule zur Weiterbildung von Prüfaufsichten und Führungskräften, um ein Grundverständnis über Einflüsse auf die Qualität der zerstörungsfreien Prüfungen zu schaffen. Zur Optimierung des gesamten ZfP-Prüfprozesses wird empfohlen, die mittels FMEA erarbeitete Liste möglicher Gegenmaßnahmen in der Praxis umzusetzen. Diese Liste sollte den Verantwortlichen zur Verfügung gestellt werden, um potenziell auftretende Fehler zu erkennen und zu vermeiden.

## Nächster Entwicklungsschritt in Richtung ZfP-Zuverlässigkeit

D. Kanzler<sup>1</sup>, L. Bartsch<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Applied Validation of NDT, Berlin

Seit knapp 4 Jahrzehnten stehen die Werkzeug zur statistischen Fähigkeitsbewertung von Prüfverfahren zur Verfügung. Besonders in Luftfahrtunternehmen wurden bisher einige dieser Tools regelmäßig genutzt und ermöglichten bei Verwendung eine steigende Qualität von Komponenten.

Dennoch existiert im Allgemeinen eine große Lücke zwischen der Notwendigkeit und Nutzen der Zuverlässigkeitswerkzeuge. Diese Lücke muss in naher Zukunft geschlossen werden:

- Wie sonst sollte die prädiktive Instandhaltung erreicht werden, wenn die Fähigkeit des vorhanden oder des geplanten Systems nicht bekannt ist.
- Wie können wir Prüffeedback an die Konstruktionsabteilung zurückleiten, wenn wir uns nicht bewusst sind, wie gut die Qualität der Prüfaussage tatsächlich ist.

Um den Einstieg in die ZfP-Zuverlässigkeitsbewertung zu vereinfachen und aktuelle Trends zu erfassen, soll daher verschiedene Maßnahmen erfolgen:

Erstens sollen auf dem Weg zum Standardtool die aktuellen Errungenschaften auf nationalem und internationalem Niveau berichtet und erklärt werden:

Hierzu wird einerseits auf den aktuellen Stellenwert der POD- und ROC-Analyse im Bereich ZfP 4.0 eingegangen. Andererseits werden die aktuellen Entwicklungen bei der ICNDT specialist group „NDT Reliability“ vorgetragen.

Zweitens wird der momentanen Status der Bemühungen um die DIN SPEC Ausformulierung zum Thema Zuverlässigkeit skizziert. Diese ermöglicht andere Industriebereiche und Stakeholder sich der Zuverlässigkeitsdebatte anzuschließen und erschafft die Möglichkeit eines einfachen Einstieg in das Thema und das Ausräumen von bisherigen Missverständnissen um das Thema POD und Co.

## Prüfung von Kurbelwellen von Großmotoren mit der Phased Array Technik

H. Kächler<sup>1</sup>, A. Mäschke<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Olympus Deutschland GmbH, Hamburg; <sup>2</sup> Wildauer Schmiede- und Kurbelwellentechnik GmbH, Wildau

In der Wildauer Schmiede- und Kurbelwellentechnik GmbH werden Kurbelwellen einbaufertig, unter anderem für Großmotoren als Schiffsantriebe oder Antriebe für Stromgeneratoren, bis zu einer Leistungsklasse von 17000KW hergestellt.

Als wichtiger Bestandteil im Fertigungsprozess, werden mit hohem Aufwand umfangreiche Ultraschallprüfungen auf innere Fehler durchgeführt. Durch die komplizierte Bauteilgeometrie einer Kurbelwelle, machen diese Prüfungen eine Vielzahl unterschiedlicher Einschallrichtungen mit unterschiedlichen Prüfköpfen erforderlich. Durch ständig steigende Anforderungen der Kunden und Weiterentwicklung unserer Produkte, ist es notwendig geworden, die Kurbelwellen in hochbelasteten Bereichen, wie den Radien in den Übergängen vom Lagersitz zur Wange, mittels Phased Array zu prüfen. Dieses Prüfverfahren, welches seit 2 Jahren mit Technik von Olympus OMNISCAN SX erfolgreich zum Einsatz kommt, ermöglicht eine höhere Auffindwahrscheinlichkeit von Anzeigen bis 0,3 mm KSR in oberflächennahen Bereichen. Sichergestellt wird das Detektieren solcher Anzeigen durch die Sektoreinschallung mittels Winkel- und Senkrecht Array als Linienscanprüfkopf mit 16 Elementen und Prüffrequenzen bis 10 MHz. Die Justierung des Prüfsystems erfolgt an dafür eigens hergestellten Testkörpern mit Kreisscheibenreflektoren entsprechender Größen.

Für die Durchführung solcher Prüftätigkeiten wird nur qualifiziertes und zertifiziertes (UT-PA) Prüfpersonal nach ISO 9712 und einem hohen Anteil an Erfahrungen eingesetzt. Überwacht werden die Prüfungen durch die Prüfaufsicht UT Stufe 3.

Ergänzend zu diesen Prüfungen wird eine MT-Prüfung durchgeführt. Die Prüfung erfolgt auf der weltgrößten Prüfanlage für Kurbelwellen mit bis zu 12,5 m Einbaulänge und bis einem Gewicht von 22t.

Abschließend folgt als letzter Arbeitsgang eine Inspektion der Schmierölbohrungen mittels Videoskop auf Rückstände und Verunreinigungen.

## Charakterisierung des akustischen Übersprechens zur Produktivitätssteigerung in der automatisierten Ultraschallprüfung

T. Würschig<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GE Sensing & Inspection Technologies GmbH, Hürth

Zur Erfüllung steigender Durchsatzzahlen und der erhöhten Kosteneffektivität für automatisierte Ultraschallprüfanlagen ist zunehmend eine hohe Parallelisierung bei gleichzeitig hoher Prüfichte erforderlich. Neben rein technischen Begrenzungen wie z. B. der effektiven Schwingergröße oder der Verarbeitungsgeschwindigkeit der Auswertelektronik gewinnt dabei zusätzlich auch der Einfluss des akustischen Übersprechens an Bedeutung. Dieses entsteht durch die vollständige oder teilweise Übertragung der Schallenergie von Prüfschüssen in örtlich oder zeitlich angrenzende Aperturen. Im letzteren Fall wird dabei üblicherweise von Spätheimkehrern gesprochen. Die genauen Auswirkungen des akustischen Übersprechens sind dabei durch die geometrischen Bedingungen im jeweiligen Prüfsystem abhängig. Durch geeignete Methoden können diese unterdrückt oder deutlich begrenzt werden. Im Vortrag werden typische geometrische Anordnungen aufgezeigt, bei denen das akustische Übersprechen die Messung deutlich beeinflussen kann. Es werden Verfahren zu dessen Charakterisierung entwickelt, auf deren Basis eine Entscheidung hinsichtlich der zu akzeptierenden Toleranzen für die Stärke des Übersprechens getroffen werden kann. Dies beinhaltet u. a. Trennschärfe des eigentlichen Fehlersignals vom akustischen Übersprechsignal. Die vorgestellten Kriterien werden anhand von ausgewählten Messergebnissen erklärt und diskutiert.

## **Möglichkeiten zur Erweiterung der Temperaturmess- und Dynamikbereiche moderner Thermografiesysteme**

M. Glück<sup>1</sup>

<sup>1</sup> InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik, Dresden

Moderne Thermografiesysteme kommen in zahlreichen Industriezweigen bevorzugt zum Einsatz, um thermische Prozesse zu überwachen, fehlerhafte Prozessparameter aufzudecken sowie Stillstandszeiten zu vermeiden.

Neben der geometrischen und thermischen Auflösung, der Bildwiederholrate oder der Messgenauigkeit stellt die Breite der Temperaturmessbereiche und die Dynamik der generierten Thermogramme ein wichtiges Auswahlkriterium für geeignete Thermografiesysteme dar, insbesondere dann, wenn Messobjekte mit extrem großen Temperaturgradienten sehr schnell und möglichst mit einem Messbereich erfasst und analysiert werden müssen. Durch Nutzung alternierender Integrationszeiten in Kombination verschiedener Graufilter können Mess- und Dynamikbereiche deutlich erweitert und somit nicht auslesbare unter- oder übersteuerte Bereiche im Thermogramm vermieden werden.

## **Nutzung der Thermografie zur zerstörungsfreien Prüfung verfestigter Schichten beim Laserstrahlschmelzen**

F. Herzer<sup>1</sup>, J. Schilp<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IGCV, Augsburg

Das Laserstrahlschmelzen (engl. Laser Beam Melting, LBM) ist aufgrund des Zusammenspiels der verschiedenen Prozessparameter mit dem eingesetzten Werkstoff in Pulverform ein komplexes additives Fertigungsverfahren. Bereits geringe Abweichungen von den optimalen Bedingungen können sich erheblich auf die Bauteilqualität auswirken. Inwiefern die erzielten Bauteileigenschaften den Kundenanforderungen entsprechen, kann aktuell nur im Anschluss an den Fertigungsprozess festgestellt werden. Um bereits während des Bauprozesses Aussagen über die Qualität verfestigter Schichten treffen zu können, müssen Technologien aus dem Umfeld der zerstörungsfreien Prüfung für diese Aufgabe qualifiziert werden. Im Rahmen von Forschungsarbeiten am Fraunhofer IGCV wird untersucht, welchen Beitrag die Thermografie zur Detektion von lokalen Bindefehlern im Schichtaufbau leisten kann. Um die Detektierbarkeit relevanter Defektgrößen in definierten Tiefenlagen nachweisen zu können, wurde ein Testkörper mit künstlich eingebrachten Defekten erstellt und die Übertragbarkeit auf reale, durch Laserstrahlschmelzen erzeugte, Bindefehler untersucht.

## Entwicklung eines Hochleistungs-LED-Arrays zur gezielten lateralen Wärmestromeinbringung in der aktiven Thermografie

P. Schorr<sup>1</sup>, M. Finckbohner<sup>2</sup>, D. Müller<sup>1</sup>, S. Lugin<sup>2</sup>, U. Netzelmann<sup>2</sup>, B. Valeske<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> htw saar, Saarbrücken; <sup>2</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

Die zuverlässige Detektion von zur Oberfläche senkrecht stehenden Rissen mit geringer Breite ist mit den etablierten Verfahren der optisch angeregten Thermografie nur schwer möglich. Für einen ausreichenden Fehlerkontrast, scheitern die meisten optischen Anregungsmethoden an der Erzeugung eines ausreichenden lateralen Wärmestromes.

In dieser Arbeit wird die Simulation und theoretische Evaluation eines Hochleistungs-LED-Arrays als neuartige Prüftechnik in der aktiven Thermografie vorgestellt.

Die frei wählbare Ansteuerung einzelner LEDs in dem LED-Array erfolgt durch zeit- und ortsabhängige Durchtaktung, welche eine gezielte laterale Wärmestromeinbringung ermöglicht. Gleichzeitig kann eine hohe optische Leistungsdichte durch beliebige Anregungsmuster erzeugt werden. In FEM-Simulationen konnte gezeigt werden, dass die Einbringung der Wärmeenergie mit einem vorgehenden Winkel des einlaufenden Wärmepulses einen Wärmestau an den Rissflanken verursacht. Das Ergebnis zeigt insbesondere einen durch die Wärmequelle verursachten lateralen Wärmestrom. Der Einsatz des LED-Array ermöglicht eine verbesserte Detektion von senkrecht zur Wärmequelle verlaufenden Rissen. Mittels verschiedener Anregungsformen wird eine bessere Auffindbarkeit von Fehlstellen ermöglicht. Gleichzeitig kann durch Verwendung spezieller fokussierender Linsen eine optimale Anregungsleistung auf der Prüfoberfläche erzeugt werden. Das Verfahren ist grundsätzlich gut automatisierbar, durch die Bauform universell einsetzbar und auch in tragbaren Fehlerprüfgeräten realisierbar.

Theoretische Voruntersuchungen wurden durch Simulation mittels der Finite-Elemente-Methode in COMSOL Multiphysics ermöglicht.

Anwendungsperspektiven für diese Prüftechnik ergeben sich durch Bauteilprüfung auf Spannungsrisse, Schwindrisse oder Schubrisse.

## Innovative Systemplattform für die Ultraschallprüfung

J. Buechler<sup>1</sup>, S. Schmitz<sup>1</sup>, S. Standop<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GE Sensing & Inspection Technologies GmbH, Hürth

Für die unterschiedlichen Anwendungen in der halb- und vollautomatisierten Ultraschallprüfung ist die Skalierbarkeit des Prüfsystems ein wichtiges Kriterium um flexibel und schnell auf die Marktanforderungen zu reagieren. Eine solche modulare Systemplattform muss in unterschiedlichsten Konfigurationen die Prüfung mit konventioneller und Phased-Array Technologie unterstützen.

Die Anforderungen an eine solche neue Systemplattform sind u. a.:

- Für eine hohe Prüfgeschwindigkeit die Nutzung paralleler Aperturen und Anwendung modernster Auswertelgorithmen
- Zur Auffindung kleinster Fehler ein ausgezeichneter Signal-Rauschabstand
- Zur Detektion von Fehlern unmittelbar dicht unter der Oberfläche oder vor der Rückwand ein sehr gutes Auflösungsvermögen
- Eine hohe Prüfabdeckung durch die erforderlichen Ultraschallschüsse und deren anschließende Echtzeitverarbeitung
- Schnelle Auswertung der Prüftakte für eine hohe Prüfgeschwindigkeit
- Kompakter Aufbau

Es wird eine neue Geräteplattform vorgestellt, die diese Anforderungen erfüllt und durch eine Digitalisierung des Ultraschallsignals von bis zu 24bit und einer internen Datenkommunikation von bis zu 5GB/s eine ausgezeichnete Signalverarbeitung bei hoher Produktivität erreicht. Eine Überwachung interner Systemparameter soll außerdem sicherstellen, dass es nicht zu ungeplanten Systemausfällen kommt.

Am Beispiel der automatisierten Stangenprüfung wird die Anwendung dieses vielseitigen Prüfsystems gezeigt, das auch für viele weitere halb- oder vollautomatisierten Ultraschallprüfungen eingesetzt werden kann.

## **Gemeinsame Bestimmung von Schallgeschwindigkeit und Dicke unbekannter Voll- und Hohlkörper mittels Ultraschall**

M. Iwanow<sup>1</sup>, S. Walter<sup>1</sup>, T. Herzog<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IKTS, Dresden

Ultraschall ist das am häufigsten eingesetzte Verfahren in der zerstörungsfreien Prüfung. Mit diesem können die Eigenschaften von Werkstoffen charakterisiert, die Produktqualität kontrolliert oder Fertigungsprozesse und Anlagenkomponenten überwacht werden. Für die Ultraschallprüfung werden verschiedene akustische Eigenschaften herangezogen, um eine Charakterisierung des Prüfobjekts durchzuführen.

Eine Bauteilprüfung oder Werkstoffcharakterisierung kann je nach Aufgabenstellung auf Basis von Materialgrenzen, Schallgeschwindigkeiten, Materialdämpfung usw. erfolgen. Sie lassen Rückschlüsse über Materialdicken, -beschaffenheiten, Lage und Größe von Fehlern oder Geometrien zu. Der gesuchte Materialparameter, wie z.B. Wanddicke, wird über andere bekannte Parameter des Bauteils bestimmt. Die bekannten Parameter können durch Ermitteln mit einer anderen Messmethode oder durch Tabellenwerte, z.B. für die Schallgeschwindigkeit, erlangt werden. Durch externe Einflüsse, wie Temperaturänderung oder Verunreinigung des Koppelmediums sind Messunsicherheiten unumgänglich und diese führen zu Toleranzen bei der Bauteilcharakterisierung. Sofern es um eine möglichst genaue Charakterisierung oder um eine Änderung von mehreren Materialparameter wie bei Halberzeugnissen geht, ist eine Prozessüberwachung oder eine vollautomatisierte Bauteilcharakterisierung nur schwer möglich.

Die vorzustellende Methode bietet eine Möglichkeit zum Messen von mehreren Materialparametern bzw. Charakterisierung von Halberzeugnissen. Es werden Materialstärken bzw. Wanddicken und Schallgeschwindigkeit bestimmt. Durch ein Referenzieren des Koppelmediums werden Schwankungen durch die Veränderungen des Koppelmediums beachtet und führen zu einer höheren Messgenauigkeit sowie höheren Freiheit bei der Auswahl des Koppelmediums. Die Methode kann z.B. zur automatisierten Prüfung von Hohlwellen eingesetzt werden. Die Wanddicken, der Innendurchmesser und die Schallgeschwindigkeit ermöglichen Rückschlüsse auf die Abnutzung bzw. die Materialveränderung dieser Hohlwelle.

## Entwicklung eines Ultraschall-Prüfsystems für zugfeste Pressverbinder an Fahrdradleitungen

T. Herzog<sup>1</sup>, S. Walter<sup>1</sup>, H. Heuer<sup>1</sup>, J. Michauk<sup>1</sup>, S. Heilmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IKTS, Dresden

Im Bereich der elektrischen Bahntechnik werden zugfeste Pressverbinder aus kupferhaltigen Legierungen eingesetzt, um die Trageile mechanisch und elektrisch miteinander zu verbinden. Dies muss auch nach Instandsetzungen oder dem Ausbau von Trageileabschnitten erfolgen. Sie müssen statische Zugkräfte dauerhaft tragen, der dynamischen Schwingungsbelastung standhalten, die bei Durchfahrt eines Zugs auftritt und unter den rauen, klimatischen Bedingungen am Einsatzort eine Lebensdauer von 30 Jahren garantieren.

Außerdem muss der elektrische Strom sicher und zuverlässig geführt werden, ohne dass eine unzulässige Erwärmung der Verbindung auftritt. Folglich muss nach dem Verpressen der Kupferhülse auf einen sechseckigen Querschnitt und dem mechanischen Fixieren der Seilenden im Inneren der elektrische Verbindungswiderstand möglichst niedrig sein. Das heißt, beim Verpressen der Kupferhülsen muss eine sehr gute elektrische Kontaktierung erreicht werden, welche sich abhängig von der Zeit durch Relaxation der Werkstoffe, Rissbildung oder chemische Umweltreaktionen nicht unzulässig vergrößern darf. Auch der mechanische Halt darf nicht gefährdet sein.

Während der Inspektionen können diese Pressverbindungen bisher nur mittels Sichtprüfung von außen geprüft werden. Erst wenn der Riss bis nach außen durch den Querschnitt gewachsen war, kann er als potentieller Verbinderausfall festgestellt werden. Mit dem am IKTS entwickelten und erfolgreich im Feld getesteten Prüfsystem ist die Erkennung der Rissbildung bereits im Entstehungsprozess mit Ultraschall möglich. Mittels einer Prüfzange, welche an den Querschnitt des Pressverbinders angepasst ist, wird ein Ultraschallprüfkopf auf die Oberfläche angedrückt. Die Ultraschallsignale werden mit der Ultraschall-Elektronik PCUS<sup>®</sup>pro Array gesteuert und unter 0 bis 30 Grad zur einen Seite bzw. 0 bis -30 Grad zur anderen Seite in den Pressverbinder geleitet.

## Ein portabler, vielfältig einsetzbarer 3D-Positionierer für Synthetik-Apertur-Ultraschallmessungen in der ZfP

P. Groß<sup>1</sup>, A. Ihlow<sup>2</sup>, R. Böttcher<sup>2</sup>, S. Bessert<sup>3</sup>, R. Pandey<sup>2</sup>, J. Kirchhof<sup>2,3</sup>,  
F. Krieg<sup>2,3</sup>, F. Römer<sup>3</sup>, A. Osman<sup>3,4</sup>, G. Del Galdo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prototyping & Engineering Philipp Groß, Ilmenau; <sup>2</sup> TU Ilmenau;

<sup>3</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; <sup>4</sup> htw saar, Saarbrücken

Präzise Ultraschallmessungen in der ZfP mit synthetischer Apertur erfordern Positionier-technik mit Submillimeter-Genauigkeit. Dabei sollte der Positionierer möglichst flexibel für verschiedene Messaufgaben einsetzbar sein.

Für das Szenario eines in einer Flüssigkeit lagernden Prüfkörpers wird eine Lösung vorgestellt, die auf einen Behälter aufgesetzt werden kann und einen Scanbereich von 300 x 300 x 200 mm (X x Y x Z) bietet.

Die Ultraschallsonde wird dabei über das aus dem 3D-Drucker-Umfeld bekannte Delta-Prinzip bewegt. Zusätzlich ist eine programmierbare Neigung der Sonde in zwei Achsen mit bis zu +30° möglich. Dies ermöglicht es, einer variablen Oberflächenkrümmung des Prüflings adaptiv zu folgen.

Angelehnt an einen Delta-3D-Drucker wurden für das Design des Positionierers hochwertige Materialien und Komponenten ausgewählt und zu einer neuartigen und besonders stabilen Konstruktion zusammengeführt: Die bei 3D-Druckern üblicherweise unten befindlichen Komponenten (Antriebe, Elektronik) wurden in den oberen Bereich verlagert. Unten wird die Konstruktion von einem massiven Aluminiumring getragen, durch den der Effektor mit der Messsonde in den Flüssigkeitsbehälter hineinbewegt werden kann.

Die Ansteuerung des Positionierers erfolgt mittels G-Code über eine USB-Schnittstelle. Durch Einlegen eines Druckbetts in den unteren Ring und Austausch der Ultraschallsonde gegen einen 3D-Druckkopf kann der Positionierer leicht in einen 3D-Drucker umkonfiguriert werden. Die entsprechenden Komponenten sind vorhanden.

Mit 82 cm Durchmesser und etwa 1 m Höhe sowie Materialkosten von unter 2000 Euro bietet das vorgestellte Positioniersystem eine portable, preiswerte Lösung für Ultraschallmessungen mit synthetischer Apertur und Submillimeter-Genauigkeitsanforderungen.

## Entwicklung verbesserter AVG-Diagramme für die etablierten Winkelprüfköpfe

R. Meier<sup>1</sup>, W. Kleinert<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Erlangen; <sup>2</sup> Bonn

Die von den Prüfkopfherstellern für die üblichen Winkelprüfköpfe gelieferten AVG-Diagramme sind abgeleitet vom Allgemeinen AVG-Diagramm, das für kreisrunde Ultraschallwandler gilt. Die Diagramme berücksichtigen zwar die Auswirkung der rechteckigen Wandlergeometrie auf die Nahfeldlänge, sie vernachlässigen aber den geometrischen Einfluss auf den Schallfeldverlauf und den Einfluss der Brechung. Dies führt zu systematischen Abweichungen der an Kreisscheibenreflektoren gemessenen Amplituden zum AVG-Diagramm, die je nach Wandlergeometrie 6 dB und mehr betragen können. Die Ursachen hierfür werden analysiert und es werden Vorschläge zur Verbesserung der AVG-Diagramme gemacht. Zum einen wird eine Methode vorgestellt, die von jedem Prüfer nachvollzogen werden kann und welche die vorstehend genannten systematischen Abweichungen auf etwa 2 dB reduziert. Zum anderen wird gezeigt, wie unter Berücksichtigung von Wandlergeometrie und Schallfeldverlauf AVG-Diagramme für Rechteckwandler richtig berechnet werden können.

## Validierung von SAFT für die Herstellungsprüfung von Turbinenscheiben

H. Mooshofer<sup>1</sup>, K. Schörner<sup>1</sup>, N. Nespoli<sup>2</sup>, J. Vrana<sup>3</sup>, K. Kolk<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Siemens AG, München; <sup>2</sup> Fomas S.p.A., Osnago, Italien; <sup>3</sup> Vrana GmbH, Rimsting;

<sup>4</sup> Siemens AG, Mülheim an der Ruhr

Turbinenscheiben unterliegen im Betrieb hohen Beanspruchungen und werden daher im Rahmen des Herstellungsprozesses mit Ultraschall geprüft. Bei besonders hoch belasteten Scheiben wird inzwischen – neben der klassischen Ultraschallprüfung – eine SAFT Analyse (Synthetic Aperture Focusing Technique) durchgeführt, durch die das Signal-Rausch-Verhältnis und die Defektlokalisierung verbessert werden. Hierzu wird ein von Siemens entwickeltes Verfahren eingesetzt, Quantitative SAFT oder auch DGS-SAFT genannt. Es beruht auf den Arbeiten von Böhm, Heinrich und Mooshofer und gestattet die Beurteilung jedes Voxels des SAFT-Ergebnisses in Einheiten eines Ersatzreflektors. Dadurch kann die Zulässigkeit auch kleiner Defektanzeigen beurteilt werden.

Im Rahmen dieses Beitrages wird auf die Validierung des Verfahrens eingegangen. Es wurde eine umfassende Validierung durchgeführt, die alle Schritte von der Ultraschallphysik über Prüfgerät/Prüfanlage bis hin zur Algorithmik umfasst. Sie erfolgte mit Hilfe einer Testscheibe, in die als Reflektoren Flachbodenbohrungen unterschiedlicher Größe und Orientierung für die zur Prüfung verwendeten Einschallrichtungen präpariert wurden. In dem Beitrag wird diskutiert, wie die Genauigkeit der in die Validierung eingehenden Größen sichergestellt wird und welche Störeinflüsse bei der Validierung berücksichtigt werden müssen, wie z.B. Abweichungen von der nominellen Prüfkopffrequenz. Als Ergebnis der Validierung wird die Übereinstimmung zwischen dem Durchmesser der Flachbodenbohrungen, klassischer Ultraschallprüfung und SAFT-Rekonstruktion quantitativ ausgewertet und diskutiert.

## **FlexoForm – Restwanddickenmessung an Rohrbögen mit dem FlexoForm Scanner**

R. Rosenberg<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Olympus Deutschland GmbH, Hamburg

Ein flexibler Phased Array Prüfkopf

Ankopplung mit Wasservorlaufstrecke

Wegaufnehmer im Scanner mit Index Funktion

Der Flexoform Scanner zur Prüfung von 100% des Rohrbogens mit einem flexiblem Phased Array Prüfkopf und Index Klicker

Die erste Prüfspur ziehen. Durch drücken des Indexklicker wir die Wegaufzeichnung nun zunächst gestoppt. Der Klicker blinkt in blauer Farbe.

Der Scanner wird auf die nächste Spur umgesetzt. Dabei werden keine Daten überschrieben.

Nun den Indexklicker erneut drücken. Die zusätzliche neue Prüfspur wird aufgenommen Die Wasservorlaufstrecke gewährleistet das der flexible PA Prüfkopf stets konzentrisch zur Oberfläche positioniertist.

1 × 1 mm Auflösung

Das komplette 2D C-Bild kann aufgenommen werden

Verschiedene Ansichten stehen zur Verfügung

## Open Guided Waves – Online Plattform für Messung mit geführten Ultraschallwellen

M. Sause<sup>1</sup>, J. Moll<sup>2</sup>, J. Kathol<sup>3</sup>, C.-P. Fritzen<sup>3</sup>, M. Moix-Bonet<sup>4</sup>, M. Rennoch<sup>5</sup>,  
M. Koerdt<sup>5</sup>, A.S. Herrmann<sup>5</sup>, M. Bach<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Universität Augsburg; <sup>2</sup> Goethe Universität Frankfurt; <sup>3</sup> Universität Siegen;

<sup>4</sup> DLR Institute of Composite Structures and Adaptive Systems, Multifunctional Materials, Braunschweig; <sup>5</sup> Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE), Bremen; <sup>6</sup> Airbus Helicopters Deutschland GmbH, Donauwörth

Geführte Wellen werden bereits erfolgreich für die Zustandsüberwachung bei isotropen Werkstoffen und bei Verbundwerkstoffen eingesetzt. In der Literatur finden sich eine Vielzahl von Untersuchungen an einfachen Geometrien, deren Vergleichbarkeit aber aufgrund unterschiedlicher Messsysteme und individueller Aufzeichnungsbedingungen nur sehr eingeschränkt ist. Dieser Mangel an frei verfügbaren Benchmark-Daten erschwert die Bewertung der Ansätze und verhindert auch die stetige Weiterentwicklung der Methoden. Dieser Beitrag präsentiert die Open Guided Waves-Plattform (verfügbar unter <http://www.open-guided-waves.de>). Ziel der Initiative ist es, gut dokumentierte Referenzdatensätze frei verfügbar zu machen, welche einen objektiven Vergleich erlauben.

Im ersten Schritt wurden hierzu Platten aus carbonfaserverstärktem Kunststoff mit quasi-isotropem Lagenaufbau und im Herstellungsprozess applizierten piezoelektrischen Wandlern verwendet. Intentionsgemäß ist dies eine Struktur von mittlerer akustischer Komplexität, um ein Referenzbauteil mit möglichst großer Anwendungsbreite zu bieten. Die untersuchte Platte wurde vollständig mittels Ultraschall- und Röntgenmessungen untersucht, um innere Defekte auszuschließen. Das verwendete Faserverbundmaterial wurde vollumfänglich mechanisch charakterisiert, so dass der Steifigkeitstensor und die Dichte für Modellierung der Wellenausbreitung und Datenanalyse zur Verfügung stehen. Weiterhin wurden Referenzmessungen mit geführten Wellen durchgeführt: Zum einen wurden die akustischen Wellenfelder für eine breite Palette von Frequenzen durch 3D-Scanning-Laser-Doppler-Vibrometrie gemessen. Zum zweiten wurden Messungen bei kontrollierter Umgebungsbedingung unter Verwendung eines verteilten Wandler-Netzwerks durchgeführt. Bei beiden Untersuchungen wurde ein reversibles Defektmodell an zum Teil verschiedenen Stellen appliziert. Im Rahmen des Beitrags werden diese ersten Ergebnisse vorgestellt und ein Ausblick auf den weiteren Ausbau der Plattform gegeben.

## Phased Array Prüfanlagen für Stangen

T. Sayfullaev<sup>1</sup>, W.A.K. Deutsch<sup>1</sup>

<sup>1</sup> KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal

Die Firma KARL DEUTSCH beschäftigt sich seit der Gründung im Jahre 1949 mit der Ultraschall-Prüfung und außerdem seit 2007 intensiv mit der Phased-Array-Technik.

Viele Stangenprüfanlagen arbeiten mit der konventionellen Ultraschall-Technik, wobei es Nachteile u. a. bezüglich der Abdeckung gibt. Die Phased-Array-Technik ermöglicht nun höhere Schussdichten. Darüber hinaus eröffnet die Phased-Array-Technik Möglichkeiten für neue Lösungskonzepte für Ultraschall-Prüfanlagen, z. B. für die 100%-Prüfung ovaler Profile und kann so neue Herausforderungen bewältigen.

Die Phased-Array-Technik bietet eine Erweiterung unseres Portfolios und lässt sich auch mit konventioneller Ultraschall-Technik kombinieren, um noch effizientere Ultraschall-Prüfanlagen für den jeweiligen Anwendungszweck bauen zu können.

Im Poster werden zwei Prüfanlagen im Detail vorgestellt. Zunächst wird eine Tauchtank-Prüfanlage (Typ ECHOGRAPH-HRPS-PAUT) mit vier Prüfköpfen zur Prüfung ovaler Profile vorgestellt. Mit Hilfe von vier Sektor-Scans wird eine vollständige Querschnittsabdeckung erreicht.

Bei der ECHOGRAPH-STPS-PAUT-Prüfanlage für runde Stangen wird mit einer Düsenanpassung und fünf Prüfköpfen gearbeitet. Auch hier wird mit Hilfe der Sektor-Scan-Einschaltung eine vollständige Querschnittsabdeckung erzielt. Die STPS-Prüfanlage arbeitet mit federnd aufgehängten Prüfkopfhaltern. Gerade bei größeren Geradheitstoleranzen der Stangen wird hierdurch eine perfekte Nachführung der Prüfköpfe an der Stangenoberfläche erreicht.

Die ECHOVIEW-Datenverarbeitungssoftware kann kundenspezifisch ausgeführt werden. Einstellenmenüs zum komfortablen Abgleich der Elemente wurden realisiert. Die Ergebnisse der Sektor-Scans können online angezeigt werden. Die Prüfergebnisse sind als Linienschrieb darstellbar. Die Prüfergebnisse pro Auftrag (Los) können tabellarisch oder als Statistik aufbereitet werden.

## Vergleich zerstörungsfreier Prüfmethoden zur Ermittlung von charakteristischen Defekten in faserverstärkten Kunststoffen

D. Hoffmann<sup>1</sup>, P. Pfeffer<sup>1</sup>, C. Kolb<sup>1</sup>, M. Mayr<sup>1</sup>, T. Hochrein<sup>1</sup>, M. Bastian<sup>1</sup>, G. Schober<sup>1</sup>

<sup>1</sup>SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

Faserverstärkte Kunststoffe zeichnen sich insbesondere durch ihre guten mechanischen Eigenschaften bei gleichzeitig geringem Gewicht aus. Zusätzlich lassen sich durch geeignete Kombination von Faser- und Matrixmaterial Eigenschaftsprofile flexibel einstellen. Für eine dokumentierbare Gewährleistung von Funktion und Qualität wird oftmals eine Materialprüfung während des Herstellungsprozesses oder am Endprodukt durchgeführt. Dies ist insbesondere im Automobilbau und in der Luft- und Raumfahrt wichtig, um auftretende Schäden und Defekte sowie damit verbundene Risiken frühzeitig zu erkennen und zu minimieren, da bei diesen die Funktionsfähigkeit und demnach die Sicherheit maßgeblich vom Materialzustand abhängt.

Für eine berührungslose und zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) stehen in der industriellen Anwendung verschiedene Techniken zur Verfügung. In diesem Beitrag werden die aktive Thermografie, die Shearografie, die Terahertz-Technik und die luftgekoppelte Ultraschall-Technologie hinsichtlich ihrer Eignung für die Detektion verschiedener typischer Fehlermerkmale in kohlenstoff- und glasfaserverstärkten Kunststoffen untersucht und verglichen. Thermografie- und Ultraschalltechniken haben sich bereits als qualitätssichernde Prüfverfahren in verschiedenen Bereichen etabliert, wohingegen die Shearografie und die Terahertz-Zeitbereich-Spektroskopie noch wenig Verbreitung gefunden haben.

Es hat sich gezeigt, dass die Zuverlässigkeit der verschiedenen ZfP-Verfahren insbesondere vom Fehlertyp und dessen Ausprägung abhängt. Weiterhin bestehen verfahrensspezifische Vor- und Nachteile in Bezug auf Prüfdauer, Datenmenge, Auflösung und Kontrast, mit dem eine Fehlstelle abgebildet werden kann, was letztlich bei der Verfahrensauswahl berücksichtigt werden muss.

## **Sensordatenfusion von optisch angeregter Shearografie und Thermografie zur optimierten Defekterkennung in Faserkunststoffverbunden**

S. Joas<sup>1</sup>, M. Kreuzbruck<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IKT, Universität Stuttgart

Der zunehmende Einsatz von Faserkunststoffverbunden in der Automobilindustrie geht gleichzeitig mit einem steigenden Bedarf an geeigneten Prüfverfahren sowohl für die Qualitätssicherung in der Fertigung als auch für betriebsbegleitende Prüfungen einher. Da insbesondere bei sicherheitsrelevanten Bauteilen eine absolut zuverlässige Beurteilung der strukturellen Integrität gefordert ist, reicht allerdings ein einzelnes Prüfverfahren oft nicht für eine umfassende Charakterisierung aus. Durch die jeweiligen Vorteile der Verfahren, beziehungsweise deren Grenzen, oder durch ein geringes Signal-Rausch-Verhältnis, kann es zu unvollständigen, falschen oder unverlässlichen Informationen über die jeweilige Fehlstelle kommen.

Zwei berührungslose und direkt bildgebende Verfahren, mit individuellen und sich gut ergänzenden Vorteilen, sind Shearografie und Thermografie. Diese eignen sich insbesondere, um auch größere Bauteile in den im Bereich der Inline-Qualitätssicherung zur Verfügung stehenden kurzen Zykluszeiten zu prüfen.

Anhand verschiedener Prüfkörper aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) mit duromerer Matrix und definiert eingebrachten Impactschäden und Inserts wird demonstriert, wie Prüfergebnisse aus Thermografie und Shearografie aufbereitet, ausgewertet und durch einen Wavelet-basierten Algorithmus fusioniert werden können. Dies ermöglicht eine optimierte, zuverlässigere Defekterkennung und -klassifizierung. Die Leistungsfähigkeit des Ansatzes wird abschließend an einem Realbauteil aus der Automobilindustrie demonstriert.

## Charakterisierung der Mikrostruktur spritzgegossener faserverstärkter Thermoplaste mit Hilfe von hochauflösender Röntgen-Computertomografie

J. Maurer<sup>1</sup>, D. Salaberger<sup>2</sup>, M. Jerabek<sup>2</sup>, J. Kastner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FH Oberösterreich, Wels, Österreich; <sup>2</sup> Borealis Polyolefine GmbH, Linz, Österreich

Faserverstärkte Kunststoffe sind aus vielen industriellen Bereichen, wie beispielsweise der Fahrzeugindustrie, Verpackungsindustrie, Bauwirtschaft oder auch der Freizeitindustrie, nicht mehr wegzudenken. Die steigenden Anforderungen an die Materialien, hinsichtlich mechanischer und physikalischer Eigenschaften, haben es notwendig gemacht sich mit der Mikrostruktur genauer zu beschäftigen. Dazu sind zerstörungsfreie Verfahren wie Röntgen-Computertomografie (CT) von großem Vorteil. Mittels CT können eigenschaftsbestimmende Faktoren, wie z.B. Faserorientierung und Faserlängenverteilung, ermittelt werden. Die Kenntnis solcher Faktoren ermöglicht es einerseits, die Herstellungsparameter zu optimieren und andererseits Modellsimulationen für die Vorhersage mechanischer Eigenschaften zu generieren.

In dieser Arbeit werden verschiedene spritzgegossene faserverstärkte Kunststoffe mittels Computertomografie untersucht und in weiterer Folge die Faserorientierung, sowie die Faserlängenverteilung, mit der hauseigenen Fasercharakterisierungssoftware analysiert. Es werden Kunststoffe aus Polypropylen verstärkt mit Glasfaser, Kohlenstofffaser, Polymerfaser oder Zellulosefaser untersucht. Unterschiede in der Dichte bzw. dem Röntgenabsorptionskoeffizienten führen zu unterschiedlich großem Kontrast zwischen Fasern und Matrix. Der Kontrast zwischen den Polymerfasern und der Kunststoffmatrix ist beispielsweise eher schwach, was wiederum Probleme bei der Bestimmung der Faserlängenverteilung bereiten kann. Weiters haben auch Fasergehalt, Faserdurchmesser und Fasergeometrie einen Einfluss auf die Datenqualität.

Die Röntgen-Computertomografie-Scans werden bei einer Voxelgröße von bis zu  $(1 \mu\text{m})^3$  durchgeführt. Die erforderlichen Messzeiten, um eine ausreichende Datenqualität für eine softwarebasierte Faseranalyse zu erreichen, liegen dabei im Bereich von drei bis zwölf Stunden. Anhand der dreidimensionalen Datensätze lassen sich Füllstoffeigenschaften, aber auch Inhomogenitäten der Matrix, bestimmen. Im Rahmen dieser Arbeit werden neben Schnittbildern und Ergebnissen der Faseranalysen, ein Vergleich der verschiedenen Faserkunststoffverbundsysteme präsentiert, sowie die Vorteile und Limitierungen von Computertomografie für die Fasercharakterisierung dieser Materialien diskutiert.

## **20 Jahre luftgekoppelte Ultraschallprüftechnik in Deutschland – von Anwendungen im Labor bis zu Serienprüfungen im Luft- und Raumfahrtbereich**

W. Hillger<sup>1</sup>, A. Szewieczek<sup>1</sup>, D. Ilse<sup>1</sup>, L. Bühling<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ingenieurbüro Dr. Hillger, Braunschweig

Vor etwas mehr als 20 Jahren bekamen wir eine Anfrage von der Westsächsischen Hochschule in Zwickau nach einer Ultraschall-Prüfeinrichtung mit Ankopplung über Luft. Die Prüfaufgabe bestand in der Charakterisierung von keramischem Grünlingen, die keinen Kontakt mit Wasser haben dürfen. Dadurch wurde in unserem Hause die luftgekoppelte Ultraschallprüftechnik initiiert, welche ohne die Nachteile der sonst üblichen Koppelmittel auskommt. Allerdings müssen hohe Impedanzsprünge zwischen Festkörper und Luft überwunden werden.

Anfangs standen nur kapazitive Wandler zur Verfügung, die zwar eine hohe Bandbreite aufwiesen, jedoch nur einen geringen Wirkungsgrad hatten. Aufbauend auf unseren modularen Prüfsystemen gelang es dennoch innerhalb kurzer Zeit eine luftgekoppelte Ultraschallprüftechnik für den Laborbereich zu entwickeln. Durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung war nach über 10 Jahren ein erster Einsatz in der Fertigungsprüfung der Luftfahrtindustrie möglich. In Vergleich zu Laboranwendungen sind dabei Langzeitkonstanz und Robustheit, die Verfügbarkeit und Kalibrierfähigkeit wichtig. Dies gilt besonders für die Prüfköpfe.

Im Vortrag wird die entwickelte Gerätetechnik beschrieben, ihr Einsatz im Labor sowie im Luft- und Raumfahrtbereich vorgestellt. Zudem erfolgt eine Vorstellung der aktuellen Weiterentwicklungen.

## Charakterisierung von Luftultraschallprüfköpfen mit thermoakustischen Wandlern

W. Hillger<sup>1</sup>, A. Szewieczek<sup>1</sup>, M. Gaal<sup>2</sup>, K. Bente<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingenieurbüro Dr. Hillger, Braunschweig; <sup>2</sup>BAM, Berlin

Nicht nur die Qualitätssicherung von Bauteilen wird immer wichtiger und muss immer höheren Anforderungen entsprechen, sondern auch die dafür verwendete Prüfeinrichtung und die Sensorik. Für die Qualitätssicherung von Ultraschall-Prüfköpfen mit Luftan-kopplung bestand die bisherige Lösung darin, baugleiche Wandler als Aktuatoren (Referenzsender) einzusetzen.

Für eine Weiterentwicklung der Wandler ist eine akustische Quelle wünschenswert, die eine weit größere Bandbreite mit flachem Frequenzgang aufweist, als die zu untersuchen-den Prüfköpfe. Hier bieten sich thermoakustische Wandler an, die keine ausgeprägten Resonanzen haben und über eine hohe Bandbreite verfügen (min. 10 kHz bis 1 MHz). Diese wurden von der BAM in Berlin entwickelt und decken den Frequenzbereich von typi-schen Luftultraschall-Prüfköpfen vollständig ab.

Der Vortag beschreibt die Besonderheiten der Ansteuerung dieser Wandler, die einen Innenwiderstand von ca. 7 Ohm besitzen und eine Pulsleistung von etwa 10 kW benötigen. Ferner werden erste Ergebnisse der Charakterisierung von unterschiedlichen piezokera-mischen Prüfköpfen im Frequenzbereich von 50 kHz bis 500 kHz präsentiert. Beispiel-haft zeigte ein Prüfkopf mit mehreren Anpassschichten lokale Frequenzunterschiede im Schallfeld.

## ZfP 4.0: Neue Herausforderungen für die Mensch-Maschine-Interaktion

M. Bertovic<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin

Im Zeitalter von Industrie 4.0 muss die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) mit den Anforderungen Schritt halten. Eine erfolgreiche Umsetzung von Digitalisierung, Automatisierung, komplexen Vernetzungen, künstlicher Intelligenz, Assistenzsystemen, intelligenten Sensortechnologien etc. hängt in hohem Maße mit einer erfolgreichen und optimalen Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) zusammen. Auf dem Gebiet der ZfP wurde erkannt, dass mit zunehmender Automatisierung neue Herausforderungen in Bezug auf die Mensch-Maschine-Interaktion entstehen können: Herausforderungen, die angegangen werden müssen.

Der neu gegründete DGZfP FA „ZfP 4.0“ hat sich diesem Thema angenommen und einen Unterausschuss (UA) zur Mensch-Maschine-Interaktion gegründet. Die Ziele dieses Unterausschusses bestehen darin, das Bewusstsein für die Mensch-Maschine-Interaktion in der ZfP zu sensibilisieren, sowie die Akzeptanz neuer Technologien in Hinblick auf Mensch-Maschine-Systeme und deren Umsetzung zu schaffen, um die Zuverlässigkeit und die Effektivität (Kostenreduktion + Sicherheit) der Mensch-Maschine-Systeme durch optimierte Mensch-Maschine-Interaktion zu gewährleisten.

Ziel dieses Vortrags ist es aus der psychologischen Sicht, Herausforderungen zu beschreiben, die Mensch-Maschine-Systeme im Zeitalter von ZfP 4.0 begegnen könnten. Dazu gehören beispielsweise Vertrauen in automatisierte Systeme, Out-of-the-Loop-Phänomene, Verlust von Fähigkeiten, Akzeptanz der Automatisierung, Situationsbewusstsein und Usability.

## Cloud Basierende Prüfdokumentation als Ausbildungsinstrument

T. Foth<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MBQ GmbH, Hettstedt

Mit den Möglichkeiten moderner Datenverarbeitung lässt sich die Qualität von Prüfdokumentationen erheblich steigern. Zukünftiges Prüfpersonal sollte schon in der Ausbildung für dieses Thema sensibilisiert werden, um die Herausforderungen einer digitalisierten Welt (ZfP 4.0) zu meistern

### **ZfP 4.0 Dokumentation von Prüfergebnissen in einer Cloudlösung**

C. Pick<sup>1</sup>, T. Foth<sup>1</sup>, A. Bodi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MBQ GmbH, Walbeck; <sup>2</sup> Sonotec GmbH, Halle (Saale)

In der Präsentation wird eine Dokumentation beispielhaft an einer UT Prüfung vorgestellt, bei welcher die Auftragsdaten, die Justierdaten der UT Prüfung und weitere Dokumente elektronisch übertragen und gesichert werden und in welcher die Unterschriften im Dokument elektronisch erfolgen können. Der Zugriff auf diese Daten erfolgt cloudbasierend und Standort unabhängig. Diese Anwendung beinhaltet eine technische Lösung zum in und Export von Auftragsdaten, verfahrensbezogene Daten (Justierdaten) und ggf. Bewertungsergebnisse, welche u. a. die Zielrichtung des Fachausschusses ZfP im Zeichen der Digitalisierung anstrebt.

## **Softwarewerkzeuge zur interdisziplinären Entwicklung komplexer Prüfsysteme in der ZfP**

M. Ganster<sup>1</sup>, T. Müller<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

Die Entwicklung von Software für zerstörungsfreie Prüfsysteme erfordert von den Entwicklern in aller Regel ein gutes Verständnis für das Prüfproblem, erweiterte Kenntnisse der Prüfphysik, als auch ein ausgeprägtes Materialverständnis. Mit Blick auf die immer wichtiger werdenden multimodalen Prüfsysteme bezieht sich diese Notwendigkeit auch immer häufiger auf die verschiedensten Verfahren.

Am Fraunhofer IZFP arbeiten Softwareentwickler an Mechanismen, um Toolkits zur Verfügung zu stellen, mit denen Anwender- und Prüfsystemsoftware entwickelt werden kann, ohne umfangreiches Expertenwissen in den einzelnen Domänen zu besitzen.

Diese Methoden müssen andererseits auch die Funktionalität bieten, Kenntnisse aus prüftechnischer und physikalischer Sicht in die Entwicklung einfließen zu lassen, ohne vertieftes Wissen aus der Softwareentwicklung mitzubringen.

Hierzu entstehen standardisierte Schnittstellen und Plug-In-Systeme, die mit einfachen Mitteln mit Inhalten gefüllt und in der Software verwendet werden können, im Idealfall ohne einen weiteren Compilevorgang, zur Laufzeit der entsprechenden Module.

Ziel dieser Entwicklung ist es, den Austausch von Wissen zwischen Experten aus Prüftechnik, Materialwissenschaft, Physik und Softwareentwicklung zu erleichtern und somit Zeit und Kosten bei der Entwicklung der Software für komplexe Systeme einsparen zu können.

## Entwicklung eines Ultraschallmess- und Prüfsystems auf Basis eines konfigurierbaren eingebetteten Systems

H. Rieder<sup>1</sup>

<sup>1</sup> RD Systemtechnik GmbH, Saarbrücken

Sie werden sowohl in der Medizintechnik als auch in Haushaltsgeräten, Kraftfahr- und Flugzeugen eingesetzt – die Rede ist von eingebetteten Systemen (Embedded Systems). Diese Technologie ist die treibende Kraft der „digitalen Transformation“. Sie kombiniert Hard- und Software-Module, um technische Prozesse zu steuern und zu überwachen.

Die Integration von eingebetteten Systemen in Ultraschallbasierten mess- und prüftechnischen Anwendungen, z. B. in der Fertigungsprüfung, ist von einem hohen Flexibilisierungsgrad sowohl auf Seiten der Hardware als auch auf Seiten der Software abhängig.

Mit den Fortschritten in der Mikroelektronik, insbesondere in der Computertechnologie, stehen heutzutage immer leistungsfähigere, kompakte und preiswerte eingebettete Systeme zur Verfügung. Durch die im Rahmen der Digitalisierung verfügbaren Funktionalitäten in Bezug auf Ethernet basierte Schnittstellen und Browsertechniken sind Internetfähige Systemarchitekturen realisierbar, die darüber hinaus die Speicherung der Daten als auch die Aus- und Bewertung mittels Cloud-Technik zulassen.

Die auf der Gate-Array-Technologie aufgebauten und flexibel konfigurierbaren Embedded Systems ermöglichen sowohl die Abbildung von expliziten Hardwareschaltungen in dem Gate-Array als auch die zusätzliche Integration von leistungsfähigen Programmen mittels Soft Cores. Dies alles steht in der Regel auf nur einem Stück Silicon zur Verfügung. Web-basierte „Embedded Systems“ bieten daher eine preiswerte Alternative zu großen und teuren Ultraschallmess- und Prüfsystemen. Der Vorteil der webbasierten Lösung besteht vor allem darin, dass auf Grundlage der damit verbundenen Client-Server-Architektur die Dezentralisierung der anwendungstechnischen Aufgaben erreicht wird, welche dann die geforderte Flexibilität abbildet.

Wir berichten über eine Entwicklung, welche die Potenziale aufzeigt, um auf einem low cost Embedded System ein leistungsfähiges, Internet taugliches und Browser gesteuertes Ultraschallmess- und Prüfsystem zu realisieren.

## Zustandsüberwachung von Kompressoren mit maschinellem Lernen

C. Tschöpe<sup>1</sup>, F. Duckhorn<sup>1</sup>, P. Kolbe<sup>2</sup>, P. Holstein<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IKTS, Dresden; <sup>2</sup> Petko GmbH, Leuna; <sup>3</sup> SONOTEC Ultraschallsensorik Halle GmbH, Halle (Saale)

Kompressoren werden vielfach in industriellen und gewerblichen Anlagen eingesetzt. Ein möglicher Ausfall hat vielfältige Folgen: Stillstands- und Reparaturzeiten, Servicearbeiten und ein daraus resultierender, zum Teil beträchtlicher ökonomischer Schaden. Daher ist ein stabiler Betrieb von großer Bedeutung. Üblicherweise erfolgt eine Wartung in festen Serviceintervallen. Diese Vorgehensweise kann aber im Gegensatz zur vorausschauenden Instandhaltung keine Ausfälle vorhersagen. In akustischen und Vibrationsdaten sind entsprechende Signaturen enthalten, die es ermöglichen, den Zustand zu beschreiben und oft auch Prognosen über dessen Entwicklung abzugeben. Allerdings erfordert die Extraktion dieser Information entsprechenden sensorischen und algorithmischen Aufwand. Dabei werden vor allem Vibrations- und Ultraschallmessungen in die Bewertungsverfahren integriert.

Unser Ansatz soll die Verfügbarkeit von Kompressoren durch eine Kombination aus Sensorik, Algorithmik, maschinellem Lernen und Expertenwissen deutlich erhöhen und eine automatisierte Fehlererkennung sowie eine Trendvorhersage ermöglichen. Das Verfahren wird vorgestellt und diskutiert.

## **Integration von Wirbelstromsensoren in eine Drehmaschine als Grundlage für eine prozessbegleitende Regelung – Eine Übersicht über resultierende Störeinflüsse**

L.V. Fricke<sup>1</sup>, S. Barton<sup>1</sup>, H.N. Nguyen<sup>2</sup>, B. Breidenstein<sup>2</sup>, D. Zaremba<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Leibniz Universität Hannover, IW, Garbsen; <sup>2</sup> Leibniz Universität Hannover, IFW, Garbsen

Stähle, die durch ihre Legierungszusammensetzung metastabile austenitische Gefüge besitzen, können durch lokale Umformung oder Krafteinwirkung in ein martensitisches Gefüge umgewandelt werden. Dieser Effekt führt zu einer Verfestigung des Werkstoffs und kann bei spanender Bearbeitung genutzt werden, um Randzoneneigenschaften definiert einzustellen. Hierdurch können Bauteile mit gradierten Materialeigenschaften erzeugt werden, die durch ihr martensitisches Gefüge höhere Randhärtekwerte als der Kern besitzen und eine hohe Verschleißbeständigkeit ermöglichen. Aufgrund des permanenten Verschleißes des Zerspanwerkzeugs verändern sich jedoch die Eingriffsbedingungen kontinuierlich und eine zielsichere Einstellung des Gefüges wird erschwert. Aus diesem Grund soll ein lernfähiges Fertigungssystem entwickelt werden, welches mittels einer zerstörungsfreien Prüfmethode die Gefügebildung während des Drehprozesses überwacht. Um die auf der Wirbelstromprüftechnik basierende Sensorik in den Drehprozess zu integrieren, müssen Einflüsse durch die Maschinenelemente der Drehmaschine, durch Vibrationen des Bauteils und durch die Bauteilrotation auf das Messergebnis analysiert werden. Beispielsweise kommt es durch die Rotation von Bauteilen in einem Magnetfeld zu einer zusätzlich induzierten Spannung in die Messspule. Diese Erkenntnisse bilden die Basis, um Fehlerschranken eines Messsystems festzulegen und eine spätere Regelung hieran anzulegen.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist die verwendete Abtastrate. Diese muss an die Drehgeschwindigkeit und den Bauteilumfang angepasst werden. Um in unterschiedliche Tiefenlagen die Gefügebildung und eingebrachte Spannungen zu analysieren, ist der Einsatz einer multifrequenten Anregung vorteilhaft. Dabei wird die Erregerspule simultan mit zwei Frequenzen angeregt. In Kombination mit der Analyse höherharmonischer Signalanteile ist es im Auswertungsprozess möglich, Informationen über das sich ausbildende Gefüge aus den einzelnen Tiefenlagen zu erlangen.

## **Einflussgrößen bei der Bestimmung von Eigenspannungen mit Ultraschall**

J. Pohl<sup>1</sup>, V. Prautzsch<sup>1</sup>, P. Holstein<sup>2</sup>, A. Bodi<sup>2</sup>, C. Pick<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Hochschule Anhalt, Köthen; <sup>2</sup> SONOTEC Ultraschallsensorik Halle GmbH, Halle (Saale); <sup>3</sup> MBQ Qualitätssicherung GmbH, Walbeck

Die Bestimmung der Eigenspannung in Materialien beruht auf der sehr genauen Bestimmung von Schallgeschwindigkeiten, die technisch als präzise Laufzeitmessung realisiert wird. Die akusto-elastischen Koeffizienten der Werkstoffe und die Ausgangsschallgeschwindigkeiten stellen den Grundzusammenhang zwischen den Mess- und den Zielgrößen dar. Die hochaufgelöste und reproduzierbare Messung der Schallgeschwindigkeit wird entscheidend durch Prüfsystemeigenschaften und die Kenntnis der Werkstoffe bestimmt. Es werden akusto-elastische Koeffizienten verschiedener Werkstoffe in ihrer Beeinflussung durch herstellungs- beziehungsweise verarbeitungstechnische Einflüsse vorgestellt und diskutiert.

## **Applikationen für die Detektion von oberseitigen Korrosionsangriffen an ferromagnetischen Tankbodenplatten unter dünnen und sehr dicken Kunststoffbeschichtungen**

M. Janßen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tuboscope Vetco GmbH, Celle

Seit Jahrzehnten entwickelt und betreibt die Firma Tuboscope Vetco aus Celle/Niedersachsen Prüfgeräte für die Inspektion von Tanklagerstätten. Zur Adressierung der unterschiedlichsten Prüfaufgaben wird die Geräteflotte ständig weiterentwickelt. Schwerpunktmäßig kommen große und kleine Bodenplattenscanner mit einer Kombination aus Streufluss- und Wirbelstromapplikation zum Einsatz, die das gesamte Spektrum möglicher Korrosionsangriffe an ferromagnetischen Tankbodenplatten vollständig abdecken. Die Trennung in ober- und unterseitige Fehlstellen erfolgt zuverlässig, ist jedoch bei extremen Beschichtungsdicken in der Auflösung eingeschränkt. Des Weiteren ist die Trennung, ob es sich um einen ober- oder unterseitigen Defekt handelt, für sehr kleine Fehlstellen (sog. Pittings) nicht möglich. Für beide Spezialfälle – extreme Beschichtungsdicke und sehr kleine Fehlstellen unter dünner Beschichtung – wurden Zusatzmodule entwickelt, die von den existierenden Scannern während der Messung mitgeführt werden können. Beide Module können aufgrund ihrer Messtechnik auch als Stand-Alone Applikation angewendet werden.

Der Vortrag stellt die beiden Module im Detail vor und diskutiert anschaulich ihre Kerntechnologien. So nutzt das Modul für die Detektion kleiner und kleinster Fehlstellen unter dünnen Beschichtungen die Methode MFD (Magnetic Field Distortion), für deren Anwendung von Tuboscope eine besondere Anordnung der (Hall-)Sensoren entwickelt wurde, um Störungen durch mechanische Bewegungen wie Kippen oder Ruckeln entgegenzuwirken. Dagegen arbeitet das zweite Modul zur Detektion von Fehlstellen unter sehr dicken Beschichtungen mit handelsüblichen Näherungssensoren, die mit Wirbelströmen arbeiten. Auf die Besonderheiten bei der Anordnung dieser Sensoren geht der Vortrag ebenfalls ein.

## Neue Perspektiven in der Zustandsüberwachung

K. Langer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> GEARS GmbH, Steinau an der Straße

Inspektion und Wartung im Rahmen von Sanierung und Instandhaltungen

Durch die Kombination verschiedener Messverfahren in Verbindung mit einer Softwarelösung erstellen wir ein hochgenaues und texturgetreues Abbild Ihres Objektes als 3D-Computermodell.

Die Basis dafür liefern Fotoaufnahmen und Laserscans Ihres Objektes, die wir vor Ort aufnehmen. Die eigentliche Inspektion kann im Nachgang wetterunabhängig am PC mit VR Brille erfolgen und steht aufgrund der hohen Genauigkeit der direkten Sichtkontrolle qualitativ in nichts nach.

Die Speicherung der GPS-Koordinaten ermöglicht zudem, Vergleichsmessungen zu einem späteren Zeitpunkt durchzuführen und Veränderungen im Zeitverlauf zu beobachten.

Texturgenaue Rekonstruktion von Gebäudeteilen und Objekten

Hochauflösende Aufnahmen ermöglichen eine herausragende Genauigkeit und beinhalten zudem alle wichtigen Georeferenzdaten für die Vermessung. Durch die Archivierung und Speicherung eines Modells ist es daher möglich, auch Jahre später beschädigte Teile exakt rekonstruieren zu können.

Vergleichsmessungen zur Bestimmung von (Statik)Veränderungen

Wände neigen sich, Böden sinken ab. Das liegt in der Natur der Sache. Häufig sind Fälle wie diese kein Grund zur Beunruhigung, wohl aber zur Beobachtung, um Schäden vorzubeugen. Durch die Nutzung georeferenzierter Daten ist es möglich, exakte Vergleichsmessungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchzuführen. Die Ergebnisse zeigen exakt, an welchen Stellen im Vergleich zur letzten Messung Veränderungen stattgefunden haben. So bleiben Auffälligkeiten immer im Blick.

## Softwareplattform zur Ultraschallgestützten Bestimmung von Materialspannungen

T. Müller<sup>1</sup>, M. Ganster<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

Die Eigenspannung eines Materials kann unter Anderem zerstörungsfrei mittels Ultraschall-Laufzeitmessungen bestimmt werden. Hierbei wird der so genannte akusto-elastische Effekt ausgenutzt, der den Zusammenhang einer im Material befindlichen Spannung und der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Schallwelle in diesem Material beschreibt. Im Fraunhofer IZFP wurde dieses Prinzip in der Vergangenheit in vielfältige Verfahren und Prüfsysteme überführt, beispielsweise zur Bestimmung von Eigenspannungen in Bahnradern und zur Überwachung und Steuerung von hochgenauen Schraubvorgängen. Voraussetzung für die Nutzbarkeit dieser Technologie ist die Fähigkeit, Datenaufnahme, Algorithmik und Auswertung in hoher und gleichbleibender Qualität zu gewährleisten. Neben der Entwicklung entsprechender Hardware wurde am Fraunhofer IZFP nun eine Softwarebibliothek entwickelt, welche die Anforderungen an die ultraschallgestützte Eigenspannungsmessung abdeckt. Die IZFPResidualStressSuite stellt Werkzeuge bereit, die es dem Anwendungsentwickler erlaubt, eigene Endgerätesoftware zu entwickeln, ohne selbst vertiefte Kenntnisse in den spezifischen Algorithmen und Datenverarbeitungsschritten zu haben. Darüber hinaus stellt die Bibliothek dem versierten Nutzer die Möglichkeit zur Verfügung, einzelne Verarbeitungsschritte auf einfache Weise zu verändern und auch selbst zu implementieren. Ziel der Arbeit ist ein Framework, das als gemeinsame Basis für alle zukünftigen Eigenspannungsmesssysteme dient und unter Verwendung modernster Softwarekonzepte realisiert ist. Diese Arbeit stellt das grundlegende Konzept des Frameworks und die Anforderungen an ein entsprechendes System anhand einer einfachen Verschraubungssoftware dar.

## **Einsatz geführter Wellen für die Ultraschallprüfung und für SHM – Auswertung der Umfrageergebnisse des Unterausschusses Geführte Wellen**

J. Prager<sup>1</sup>, T. Vogt<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> Guided Ultrasonics Ltd., London, Großbritannien

Im Frühjahr 2018 wurde im Fachausschuss Zustandsüberwachung der DGZfP ein neuer Unterausschuss Geführte Wellen gegründet. Ziel des Unterausschusses ist es, den Einsatz geführter Wellen für die Ultraschallprüfung zu unterstützen und die Akzeptanz der Verfahren in der Industrie zu erhöhen. Besonderer Schwerpunkt ist dabei die Anwendung geführter Wellen für die Strukturüberwachung (Structural Health Monitoring – SHM). Um die Arbeit des Ausschusses auf die Anforderungen der Industrie abzustimmen, wurde zunächst eine Umfrage initiiert, die den aktuellen Stand der praktischen Anwendung und den zukünftigen Bedarf an derartigen Prüftechniken ermitteln sollte. Befragt wurden knapp 2000 Mitglieder der DGZfP und deren Fachausschüsse. Dabei wurden sowohl allgemeine Informationen zu den Einsatzgebieten von Prüftechniken mit geführten Wellen als auch spezielle Angaben zu Fehlergrößen, Fehlergeometrien, Bauteilen und Werkstoffen abgefragt.

Die Ergebnisse der Umfrage wurden detailliert ausgewertet und werden nun der Öffentlichkeit präsentiert. Sie eröffnen interessante Einblicke in die Einsatzszenarien von Ultraschallprüftechniken mit geführten Wellen. Aus den Ergebnissen lassen sich Schlussfolgerungen für notwendige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ableiten und Themenschwerpunkte für zukünftige Projekte setzen.

## **IZFP-SmartInspect: 3D-Rekonstruktion mit der Synthetic Aperture Focusing Technique für handaufgenommene Ultraschalldaten**

F. Krieg<sup>1,2</sup>, S. Kodera<sup>1</sup>, J. Kirchhof<sup>1,2</sup>, F. Römer<sup>2</sup>, A. Ihlow<sup>1</sup>,

R. Pandey<sup>1</sup>, A. Osman<sup>2,3</sup>, B. Valeske<sup>2,3</sup>, S. Lugin<sup>2</sup>, G. Del Galdo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TU Ilmenau; <sup>2</sup> Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; <sup>3</sup> htw saar, Saarbrücken

Die Synthetic Aperture Focusing Technique (SAFT) ist ein etabliertes Rekonstruktionsverfahren für einkanalige maschinell aufgenommene Ultraschallmessungen. In der vorliegenden Arbeit soll SAFT im Gegensatz zu herkömmlichen Anwendungen für die Rekonstruktion handaufgenommener Daten simultan zur Messung eingesetzt werden. Dabei ergeben sich durch die unregelmäßige Abtastung des Untersuchungsobjektes Herausforderungen bezüglich der effizienten Berechnung der Rekonstruktion sowie der optimalen Wichtung einzelner Beiträge.

Die Arbeit stellt einen Ansatz vor, wie bei handaufgenommenen Messdaten dem Prüfer während der Messung ein mit 3D-SAFT rekonstruiertes Bild als Feedback zur Verfügung gestellt werden kann. Die 3D-SAFT-Rekonstruktion kann dabei für jeden Schuss des Prüfers aktualisiert werden. Hierzu muss die Prüfposition durch geeignete Systeme fortlaufend erfasst werden.

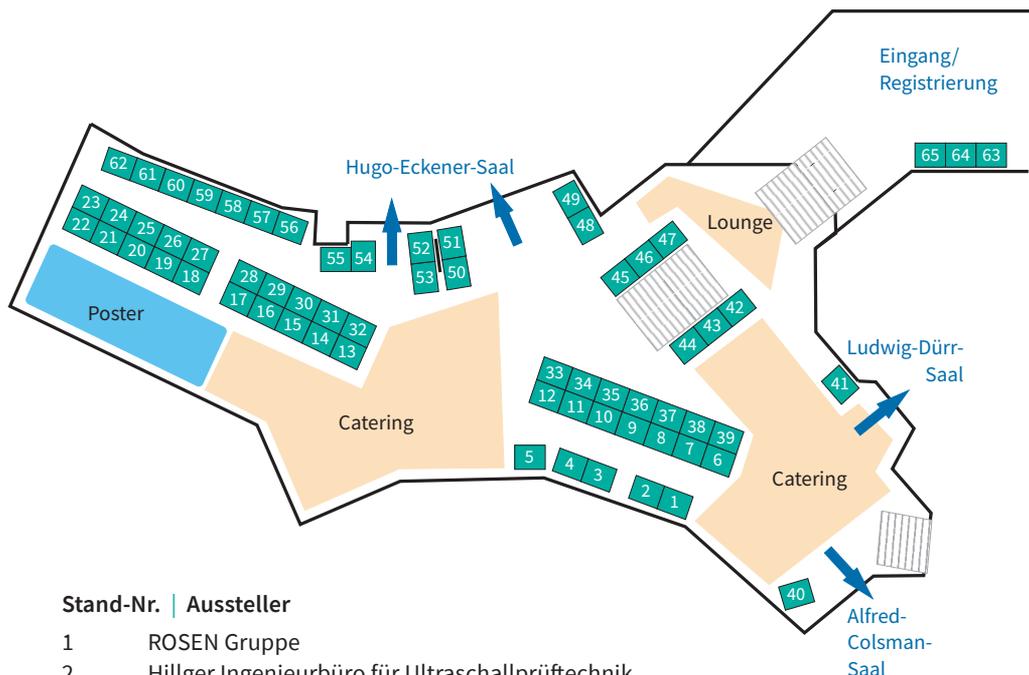
Am Fraunhofer IZFP wurde ein Assistenzsystem für die manuelle (Ultraschall-)prüfung namens IZFP-SmartInspect entwickelt, welches die Position des Prüfkopfs während der Datenaufnahme nachverfolgt und die Prüf(zwischen-)ergebnisse live visualisiert, um dem Prüfer in Echtzeit Feedback zu geben. Das Ziel ist es, die 3D-SAFT-Rekonstruktion in dieses System zu integrieren, um so in Zukunft die Untersuchung komplexer Komponenten, Bauwerke etc. in Handprüfung zu ermöglichen.

In diesem Beitrag werden neben der echtzeitfähigen Algorithmik zudem die Einflüsse verschiedener Fehlerquellen und daraus resultierende (mögliche) Artefakte diskutiert, die sich aus dem Prüfaufbau für die SAFT-Rekonstruktion ergeben (z. B. durch Ungenauigkeiten in der Prüfpositionsschätzung sowie des Messsystems). Daraus werden Maßnahmen abgeleitet, um diese zu vermeiden und eine erfolgreiche 3D-SAFT-gestützte Handprüfung durchzuführen. Die genannten Aspekte werden mit 3D-SAFT-Rekonstruktionen basierend auf Simulationsdaten sowie mit IZFP-SmartInspect aufgenommenen Messdaten veranschaulicht.

**AUSSTELLER**

---

## Aussteller – Standplan



### Stand-Nr. | Aussteller

- |      |  |
|------|--|
| 1    | ROSEN Gruppe   |
| 2    | Hillger Ingenieurbüro für Ultraschallprüftechnik                 |
| 3    | IT-Service Leipzig GmbH  |
| 4    | Qualitech AG   |
| 5    | NDT-Service GmbH   |
| 6    | GE Inspection Robotics   |
| 7-10 | BHGE Inspection Technologies                                     |
| 11   | Zeppelin Systems GmbH  |
| 12   | BIS Inspection Service GmbH                                      |
| 13   | KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG                |
| 14   | Helling GmbH   |
| 15   | DEKRA Incos GmbH   |
| 16   | VOGT Ultrasonics GmbH  |
| 17   | Allied Associates Geophysical GmbH                               |
| 18   | Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS |
| 19   | InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik                   |
| 20   | Magnetische Prüfanlagen GmbH                                     |
| 21   | FUJIFILM Europe GmbH   |
| 22   | Nuclear GmbH   |
| 23   | Fill Gesellschaft m.b.H.   |
| 24   | Dantec Dynamics GmbH   |

---

**Stand-Nr. | Aussteller**

- 25 automess GmbH
- 26 Applus RTD Deutschland Inspektionsgesellschaft mbH
- 27 Vallen Systeme GmbH
- 28 Framatome GmbH
- 29 Olympus Deutschland GmbH
- 30 PLR Prüftechnik Linke & Rühle GmbH
- 31 DÜRR NDT GmbH & Co. KG
- 32 PFINDER KG
- 33-34 ibg Prüfcomputer GmbH
- 35 YXLON International GmbH
- 36 Magnaflux GmbH
- 37 VisiConsult X-ray Systems & Solutions GmbH
- 38 KOWOTEST GmbH
- 39 viZaar industrial imaging AG
- 40 TESTSINN
- 41 WCNDT 2020
- 42 Pfeiffer Vacuum GmbH
- 43 ELP GmbH European Logistic Partners
- 44 SECTOR Cert GmbH
- 45 Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP
- 46 PTH GmbH
- 47 GRAETZ Strahlungsmeßtechnik GmbH
- 48 Rohmann GmbH
- 49 GMH Prüftechnik GmbH
- 50 Carestream NDT Deutschland GmbH
- 51 Chemetall GmbH
- 52 W.S. Werkstoff Service GmbH
- 53 KARL STORZ NDTec GmbH
- 54 DGZfP e.V.
- 55 DGZfP Ausbildung und Training GmbH
- 56 PIBS Planungs- und Ingenieurbüro Swagers
- 57 RIL-CHEMIE Marc Breit
- 58 K+D Flux-Technic GmbH + Co.KG
- 59 GrindoSonic BVBA
- 60 Tessonics Europe GmbH
- 61 incoatec GmbH & Bruker AXS GmbH
- 62 diondo GmbH
- 63 Lucid Software Limited
- 64 iWP innovative Werkstoffprüfung GmbH & Co. KG
- 65 Springer New Technologies GmbH

**Stand  
17****Allied Associates Geophysical GmbH**

Kontakt: Dr. Susanne Kathage  
Telefon: +49 2861 8085648  
E-Mail: susanne@allied-germany.de  
Webseite: www.allied-germany.de



Die Allied Associates Geophysical Group mit Sitz in Großbritannien, Deutschland und Belgien bietet seit über 30 Jahren mit einem hoch motivierten Team den professionellen Service (Verkauf, Vermietung, Reparaturen, Training und Entwicklung) rund um geophysikalische und geotechnische Messgeräte sowie zerstörungsfreie Prüferfahren an. Unser fachlich qualifiziertes Personal berät bei der fachbezogenen Geräte- und Softwareausstattung unter anderem Universitäten/Hochschulen, Forschungsanstalten ebenso wie Großkonzerne, KMU und Ingenieurbüros.

**Stand  
26****Applus RTD Deutschland  
Inspektionsgesellschaft mbH**

Kontakt: Jutta Rempe  
Telefon: +49 234 92798-21  
E-Mail: jutta.rempe@applusrtd.com  
Webseite: www.applusrtd.de



Applus+ ist ein weltweit führender technischer Anbieter im Bereich Prüfung, Inspektion und Zertifizierung. Unsere Dienstleistungen ermöglichen ein Höchstmaß an Anlagenwissen und -qualität. Daraus kann die Betriebsfestigkeit der Anlagen verbessert werden und somit die Vermögenswerte und Infrastrukturen unserer Partner gesichert und erhalten werden. Unsere technischen Fähigkeiten, die qualitativ hochwertige Ausführung und unsere innovativen Ansätze sind wesentliche Eigenschaften unserer Dienstleistungen, die durch unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erbracht werden.

**Stand  
25****automess GmbH**

Kontakt: Matthias Feyl  
Telefon: +49 6203 950314  
E-Mail: info@automess.de  
Webseite: www.automess.de



Wir sind seit 1970 auf dem Gebiet der Kernstrahlungstechnik tätig. Schwerpunkt unserer Aktivität ist die Entwicklung und Herstellung von tragbaren Strahlungsmessgeräten. Diese dienen dem Strahlenschutz in Industrie, Zivil- und Katastrophenschutz sowie bei Feuerwehren. Viele unsere Geräte besitzen eine PTB-Zulassung und sind somit eichfähig.

**Stand  
7-10****BHGE Inspection Technologies**

Kontakt: Joanna Theis  
Telefon: +49 173 2363782  
E-Mail: joanna.theis@bhge.com  
Webseite: www.industrial.ai/IT



BHGE Inspection Technologies ist Marktführer im Bereich von Premium-Lösungen für zerstörungsfreie Prüfung für unterschiedliche Industrien mitunter Luftfahrt, Automobil, Elektronik & Batterien, Öl & Gas, Energiegewinnung und Additive Fertigung (3D-Druck). Unsere Systeme umfassen Radiographie, Computertomographie (CT), Visuelle Inspektion, Ultraschall und elektromagnetische Testprodukte. Innovative Technologien und Softwarelösungen zur Datenerfassung ermöglichen die weltweite Remote-Zusammenarbeit und den Austausch von Inspektionsdaten.

**Stand  
12****BIS Inspection Service GmbH**

Kontakt: Eike Bayer  
Telefon: +49 40 756077-0  
E-Mail: [info@bis-hh.de](mailto:info@bis-hh.de)  
Webseite: [www.bis-hh.de](http://www.bis-hh.de)



Ein Unternehmen der  
Zeppelin Rental Gruppe

Als ursprüngliche Qualitätsstelle der Blohm + Voss in Hamburg blickt die BIS Inspection Service GmbH auf mehr als 50 Jahre Erfahrung in der ZfP zurück. Seit 2013 firmieren wir unter dem Dach der Zeppelin-Gruppe und sind als akkreditiertes Prüflabor gemäß DIN EN ISO/IEC 17025 weltweit für die Lösung verschiedenster Prüfaufgaben tätig. Unsere Schwerpunkte liegen in der mobilen zerstörungsfreien Prüfung im Kraftwerks-, Industrie-, Luftfahrt- und Bahnbereich (VT, MT, PT, RT, ET, LT, UT, TOFD/Phase Array), Bauüberwachung und Dokumentation sowie dem Industrieklettern.

**Stand  
50****Carestream NDT Deutschland GmbH**

Kontakt: Kai-Uwe Summerer  
Telefon: +49 170 4567457  
E-Mail: [kai-uwe.summerer@carestream.com](mailto:kai-uwe.summerer@carestream.com)  
Webseite: [www.carestream.com/de/de/medical/products/nondestructive-testing-ndt-solutions](http://www.carestream.com/de/de/medical/products/nondestructive-testing-ndt-solutions)

**Carestream**NDT

Industrieanwendungen und Sicherheitsüberwachung für qualitätsgesteuerte Ergebnisse

- Röntgenfilme + Entwicklungsmaschinen
- Digitale Radiographiesysteme – DR
- Computergestützte Radiographie – CR
- Digitale Bildbetrachtungs – Software
- Digitales Zubehör und Speicherfolien

**Stand  
51****Chemetall GmbH**

Kontakt: Johann Pielmeier  
Telefon: +49 69 7165-3837; +49 173 6671776  
E-Mail: [johann.pielmeier@basf.com](mailto:johann.pielmeier@basf.com)  
Webseite: [www.chemetall.com](http://www.chemetall.com)

Chemetall: Experte für Oberflächentechnik und zerstörungsfreie Prüfung  
Chemetall, die globale Geschäftseinheit Oberflächentechnik des Unternehmensbereichs Coatings der BASF mit Hauptsitz in Frankfurt am Main, ist ein Komplettanbieter von zugelassenen Produkten für die Zerstörungsfreie Prüfung (NDT) in allen Branchen und Industriesektoren. Mit unseren globalen Marken Ardrex<sup>®</sup>, sowie Britemor<sup>®</sup>, Checkmor<sup>®</sup>, Lumor<sup>®</sup> und Supramor<sup>®</sup> der Xmor Produktserie, kombinieren wir innovative Technologien für Flüssigkeitseindring- und Magnetpulverprüfungen mit umfassendem Service und langjährigen Erfahrungen. Unsere NDT-Experten stehen weltweit zur Verfügung, um Fragen zu Ihrem Prozess zu beantworten.

**Stand  
24****Dantec Dynamics GmbH**

Kontakt: Christoph König  
Telefon: +49 731 933-2240  
E-Mail: [ckg@dantecdynamics.com](mailto:ckg@dantecdynamics.com)  
Webseite: [www.dantecdynamics.com](http://www.dantecdynamics.com)

Dantec Dynamics entwickelt und produziert schlüsselfertige sowie kundenspezifische Messsysteme, für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung unterschiedlichster Verbundwerkstoffe.

Kunden auf der ganzen Welt verwenden unsere benutzerfreundlichen Shearografie- und Bildkorrelationslösungen um effizient, Schichtablösungen, Faserlage- und Klebefehler sowie Stoßschäden sichtbar zu machen. Unsere Technologie komplementiert, erweitert und beschleunigt signifikant die Prüfmöglichkeiten.

Stand  
**15****DEKRA Incos GmbH**

Kontakt: Achim Hetterich  
Telefon: +49 841 96698-33  
E-Mail: melanie.mögerle@dekra.com  
Webseite: www.dekra-incos.de

DEKRA ist weltweit einer der führenden Anbieter für Zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen (ZfP). Durch ein harmonisiertes Ausbildungsprogrammen in den verschiedenen Landesgesellschaften ist DEKRA in der Lage weltweit einen einheitlichen Qualitätsstandard auf höchstem Niveau anzubieten. Dies gilt für konventionelle ZfP-Prüfungen, aber auch für Sonderprüfverfahren (ZfP) sowie mechanisierte Prüfverfahren (ZfP) und der Werkstoffanalytik. Die Prüflabore (ZfP/WA) ist gemäß ISO/IEC 17025 akkreditiert. Darüber hinaus ist DEKRA Incos zertifiziert nach ISO 9001, KTA 1401, DIN EN 9100 und DIN 27201.7.

Stand  
**55****DGZfP Ausbildung und Training GmbH**

Kontakt: Karina Bachmann  
Telefon: +49 174 1580078  
E-Mail: bm@dgzfp.de  
Webseite: www.dgzfp.de/Kurse-und-Prüfungen

Die DGZfP Ausbildung und Training GmbH ist der größte Anbieter für die Ausbildung von ZfP-Prüfpersonal in Deutschland. Mit ihrem umfangreichen Ausbildungsprogramm qualifiziert sie Prüfpersonal entsprechend den industriellen Anforderungen auf der Grundlage eines internationalen Regelwerkes.

Neben Berlin unterhält die DGZfP weitere Ausbildungszentren in Hamburg, Wittenberge, Magdeburg, Dortmund, Mannheim, Dresden und München. Auf Wunsch der Kunden kann auch eine Inhouse-Schulung am Firmensitz durchgeführt werden.

Stand  
54

### DGZfP e.V.

Kontakt: Jutta Koehn  
Telefon: +49 30 67807-0  
E-Mail: [mail@dgzfp.de](mailto:mail@dgzfp.de)  
Webseite: [www.dgzfp.de](http://www.dgzfp.de)



DEUTSCHE  
GESELLSCHAFT FÜR  
ZERSTÖRUNGSFREIE  
PRÜFUNG e.V.

Die Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP) ist ein Verein, dessen Ziele die Verbreitung und Förderung der Zerstörungsfreien Prüfung und ihrer Verfahren sind. Die rund 1.600 Mitglieder kommen aus den unterschiedlichsten Bereichen der Industrie, Universitäten oder anderen Forschungseinrichtungen und Behörden.

Die DGZfP organisiert durch Tagungen und in verschiedenen Gremien die Kommunikation und den Erfahrungsaustausch zwischen der Forschung und Entwicklung und den Anwendern und Geräteherstellern auf dem Gebiet der ZfP.

Stand  
62

### diondo GmbH

Kontakt: Benjamin Zengerling  
Telefon: +49 2324 39319-15  
E-Mail: [benjamin.zengerling@diondo.com](mailto:benjamin.zengerling@diondo.com)  
Webseite: [www.diondo.com](http://www.diondo.com)



Mit 25 Jahren Erfahrung entwickelt und produziert diondo industrielle Computertomographen. Neben klassischen Computertomographen (CT) ist diondo jedoch vor allem als Marktführer im Bereich kundenspezifischer CT Lösungen bekannt. Das Produktportfolio reicht von höchstauflösenden CT Systemen im Bereich Materialforschung bis zu Linearbeschleuniger CT für ganze Fahrzeuge. Insitu Erweiterungen (Analysen unter realen Bedingungen: Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Druck, Zug, etc.) unterstützen hierbei das Produktsortiment.

**Stand  
31****DÜRR NDT GmbH & Co. KG**

Kontakt: Uli Pöhler  
Telefon: +49 7142 99381-0  
E-Mail: [info@duerr-ndt.de](mailto:info@duerr-ndt.de)  
Webseite: [www.duerr-ndt.de](http://www.duerr-ndt.de)



DÜRR NDT ist Hersteller von Systemen für die Durchstrahlungsprüfung (RT) und bietet hochauflösende Speicherfolienscanner, Flachdetektoren (DDAs) sowie die zugehörige Röntgeninspektionssoftware an. Für die Filmmradiographie steht mit der REACH-konformen NDT-Röntgenchemie eine umwelt- und anwenderfreundliche Alternative zur Verfügung. Neu ist die ganzheitliche ZfP-Managementsoftware, welche u. a. Auftragsmanagement, individuelle Prüfberichte, Mitarbeiter- und Kundenmanagement, Gerätemanagement, Controlling umfasst und somit sämtliche Prozesse in vollem Umfang abgedeckt.

**Stand  
43****ELP GmbH European Logistic Partners**

Kontakt: Dr. Uwe Oberhagemann-Gerardi  
Telefon: +49 202 69894-0  
E-Mail: [elp@elp-gmbh.de](mailto:elp@elp-gmbh.de)  
Webseite: [www.elp-gmbh.de](http://www.elp-gmbh.de)



Portable Röntgentechnik gehört seit fast 30 Jahren zum Produktprogramm der ELP GmbH European Logistic Partners. Neben Röntgenblitzgeneratoren verschiedener Leistungsklassen (Golden Engineering) mit gepulster Strahlung für eine schonende, bedienungssichere Art der Durchstrahlungsprüfung, bietet das Unternehmen auch Matrixdetektorsysteme von Logos Imaging an. Die Systeme sind hochmobil, robust, einfach zu bedienen und bieten Anwendern eine normkonforme Auswertung mit hoher Bildgüte.

Stand  
23

### Fill Gesellschaft m.b.H.

Kontakt: Wolfgang Haase  
Telefon: +43 7757 7010-0  
E-Mail: info@fill.co.at  
Webseite: www.fill.co.at



Fill ist ein international führender Maschinen- und Anlagenbauer, der verschiedene Industriezweige bedient. Die Geschäftstätigkeit umfasst die Bereiche Metall, Kunststoffe und Holz für die Automobil-, Luftfahrt-, Windenergie-, Sport- und Bauindustrie. Für Flugzeug- und Automobilverbundwerkstoffe fertigt Fill Produktions- und Prüfmaschinen. Zerstörungsfreie Prüfsysteme basieren auf leistungsfähigen Dual Tower Kinematiken und Accubot-Präzisionsrobotern mit Ultraschall oder X-ray Prüfsystemen.

Stand  
28

### Framatome GmbH

Kontakt: Ulrike Fau  
Telefon: +49 9131 900-96767  
E-Mail: qualicon@framatome.com  
Webseite: www.framatome.com



Die Framatome GmbH, Qualicon hat sich auf dem Gebiet der mechanisierten zerstörungsfreien Prüfung mittels Ultraschall-, Wirbelstrom- und visueller Prüftechnik spezialisiert. Neben dem Prüfservice in Kernkraftwerken und Windkraftanlagen mit eigenen Prüfsystemen, bietet Qualicon auch die Lieferung von kompletten Prüfsystemen für automatisierte Prüfungen im nicht nuklearen Industriemarkt (insbesondere in Luft- und Raumfahrt, Bahn- sowie Schmiedewesen) an.

**Stand  
18****Fraunhofer-Institut für Keramische  
Technologien und Systeme IKTS**

Kontakt: Susanne Hillmann  
Telefon: +49 351 88815-552  
E-Mail: [susanne.hillmann@ikts.fraunhofer.de](mailto:susanne.hillmann@ikts.fraunhofer.de)  
Webseite: [www.ikts.fraunhofer.de](http://www.ikts.fraunhofer.de)

Das Fraunhofer IKTS in Dresden-Klotzsche erforscht und entwickelt Methoden und Techniken für die zerstörungsfreie Prüfung. Das Portfolio umfasst Methoden, Sensoren und Geräte für verschiedene Arten der ZfP. Die Verfahren aus den Bereichen Akustik, Elektromagnetik, Optik und Mikroskopie tragen maßgeblich zur Qualitätssicherung von Produkten und Anlagen bei. Darüber hinaus konzentriert sich die Arbeit auf Dienstleistungs- und Forschungskooperationen für die Material- und Bauteildiagnose, die Zustandsüberwachung, die Nanoanalyse und Sensorik sowie Bio- und Umwelttechnik.

**Stand  
45****Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie  
Prüfverfahren IZFP**

Kontakt: Yvonne Lackner  
Telefon: +49 681 9302-3973  
E-Mail: [info@izfp.fraunhofer.de](mailto:info@izfp.fraunhofer.de)  
Webseite: [www.izfp.fraunhofer.de](http://www.izfp.fraunhofer.de)

**Kognitive Sensorsysteme – Effiziente Prozesse**

Das Fraunhofer IZFP ist ein international führendes Forschungs- und Entwicklungszentrum für zerstörungsfreies Monitoring. Unsere Wissenschaftler entwickeln »kognitive Sensorsysteme«, d. h. intelligente, autoadaptive Sensor-Aktor-Netzwerke, mit denen einzelne Prozesse oder ganze Wertschöpfungsketten überwacht, geregelt und optimiert werden können. Hierbei stehen nicht nur Produktionsprozesse im Fokus, sondern gleichbedeutend auch Prozesse der Werkstoff- und Produktentwicklung, wie auch der Wartung, Instandhaltung und Wiederverwertung von Werkstoffen.

**Stand  
21****FUJIFILM Europe GmbH****FUJIFILM**

Kontakt: Harrie Martens  
Telefon: +49 211 5089-100  
E-Mail: [ipd\\_feg@fujifilm.com](mailto:ipd_feg@fujifilm.com)  
Webseite: [www.fujifilm.eu](http://www.fujifilm.eu)

FUJIFILM, vom Filmproduzenten zu einem globalen Hightech Unternehmen. Wir haben uns neu erfunden.

Fujifilm wurde 1934 als Hersteller von fotografischen Filmen gegründet. Seitdem hat die Firma kontinuierlich und proaktiv Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet und zahlreiche Meilensteine realisiert in der Innovation. Aufgrund dieser Innovationstradition gehört Fujifilm heute zu den führenden Hersteller in jedem ihrer Geschäftsbereiche. Bei der Zerstörungsfreien Prüfung prüfen wir Objekte bis ins kleinste Detail, um sicherzustellen, dass die höchste Zuverlässigkeit gewährleistet ist, Sei es für die Luftfahrt, Automobilindustrie oder die Strukturprüfung Integrität von Gebäuden: Unsere Systeme im Bereich Industrieprodukte bieten ein Maximale Sicherheit in der Zerstörungsfreien Werkstoffprüfung. Durch Röntgenstrahlen werden Unregelmäßigkeiten und Kleinste Haarrisse im Material festgestellt. Wir bieten Komplettlösungen für alle industriellen Radiographie aufgaben. Entweder mit unseren IX-Filmen oder digital mit unseren Dynamix TM Systemen.

**Stand  
6****GE Inspection Robotics**

Kontakt: Viktor Klein  
Telefon: +41 44 275 25 75  
E-Mail: [info@inspection-robotics.com](mailto:info@inspection-robotics.com)  
Webseite: <https://inspection-robotics.com>

GE Inspection Robotics mit Sitz in Zürich ist ein Joint-Venture der General Electric (GE Switzerland) und der ETH Zürich. Wir sind Vorreiter für mobile Roboter für Prüf- und Instandhaltungsaufgaben in der Industrie. Unser Portfolio umfasst den kompletten Bereich von manuellen mechanischen Scannern über automatisierte Prüfroboter bis hin zu vollkommen autonomen Systemen. Die Einsatzfelder reichen von Generator-, Turbinen- oder Boilerprüfrobotern in Kraftwerken über autonome Behälterprüfsysteme in Raffinerien bis zu Instandhaltungsrobotern auf Offshore Plattformen.

**Stand  
49****GMH Prüftechnik GmbH**

Kontakt: Peter Archinger  
Telefon: +49 911 48080-0  
E-Mail: [p.archinger@gmh-prueftechnik.de](mailto:p.archinger@gmh-prueftechnik.de)  
Webseite: [www.gmh-prueftechnik.de](http://www.gmh-prueftechnik.de)



Die GMH Prüftechnik GmbH ist der Hersteller für hochwertige Prüfanlagen mit Sitz in Nürnberg und gehört zur global agierenden Georgsmarienhütte. Wir liefern mechanisierte, halbautomatische und vollautomatische Prüfanlagen für ein breites Feld von Anwendungen in der Stahl- und stahlverarbeitenden Industrie, im Schienenverkehr und für zahlreiche weitere Anwendungsgebiete der Industrie. Hier tragen unsere Prüfanlagen maßgeblich zur Qualitätssicherung und -kontrolle bei – sowohl in der Produktion als auch im mobilen Einsatz. Wenn es die Anwendung erfordert, kombinieren wir auch verschiedene Prüfverfahren (Ultraschall, Wirbelstrom) in einer Anlage – immer mit der Zielsetzung das optimale Zusammenspiel der Faktoren Prüfergebnis, Qualität und Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

**Stand  
47****GRAETZ Strahlungsmeßtechnik GmbH**

Kontakt: Martina Pavlidis  
Telefon: +49 2352 7007-14  
E-Mail: [info@graetz.com](mailto:info@graetz.com)  
Webseite: [www.graetz.com/startseite.html](http://www.graetz.com/startseite.html)



Seit 70 Jahren entwickelt, produziert und vertreibt die GRAETZ Strahlungsmeßtechnik GmbH tragbare, batteriebetriebene Mess- und Warngeräte zur Erfassung von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung. GRAETZ-Strahlungsmessgeräte – auch mit PTB-Zulassung – kommen überall dort zum Einsatz, wo beim Umgang mit radioaktiven Stoffen für den persönlichen Strahlenschutz gesorgt werden muss. So werden GRAETZ-Geräte weltweit u. a. im NDT-Bereich, in der Industrie, bei Feuerwehren, im Zivil- und Katastrophenschutz, in der Nuklearmedizin oder in der Forschung genutzt.

Stand  
**59****GrindoSonic BVBA**

Kontakt: Stefan Reich  
Telefon: +49 8806 957492  
E-Mail: str@grindosonic.com  
Webseite: www.grindosonic.com

**GrindoSonic**  
THE IMPULSE EXCITATION TECHNIQUE

The company is a leading expert for non-destructive materials testing based on the Impulse Excitation Technique. For over 50 years we provide industry and science with products either to determine elastic properties such as E-/G-Modulus, Poisson and damping at room temperature or from -200 °C ... +1800 °C (research) or to perform quality testing tasks fast&easy - manually&automated (QA in industry).

Stand  
**14****Helling GmbH**

Kontakt: Cornelia Bergholz  
Telefon: +49 4122 922-0  
E-Mail: info@helling.de  
Webseite: www.helling.de



Helling GmbH ist ein führender Hersteller von stationären und mobilen Prüfgeräten sowie von Verbrauchsmaterialien für PT und MT. Unser Produktportfolio umfasst UV-LED Leuchten, Magnetisierungsgeräte, Vergleichs- und Kontrollkörper, verschiedene Magnetpulver und Eindringmittel. Des Weiteren liefern wir Geräte und Zubehör für die Ultraschallprüfung, Radiographie und Lecksuche, für die visuelle Prüfung und Temperaturbestimmung sowie schweißtechnisches Zubehör. Helling GmbH ist Mitglied in internationalen NDT Gesellschaften wie DGZfP und ASNT und betreibt ein gemeinsames Ausbildungszentrum mit der DGZfP.

Stand  
2**Hillger Ingenieurbüro für  
Ultraschallprüftechnik**

Kontakt: Dr. Artur Szewieczek  
Telefon: +49 5307 7945  
E-Mail: [info@dr-hillger.de](mailto:info@dr-hillger.de)  
Webseite: [www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

**DR. HILLGER**Ultraschallprüftechnik  
[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

Das Ingenieurbüro Dr. Hillger aus Braunschweig entwickelt und baut seit 1984 erfolgreich spezielle bildgebende Ultraschallprüfsysteme für Werkstoffe mit hoher Schallschwächung, Anlagen mit hohen Frequenzen bis 200 MHz (stationär und mobil) und seit 1998 Anlagen mit Ankopplung über Luft. Wir bauen dafür modulare Systeme aus Hard- und Software-Komponenten, die erfolgreich im Luft- und Raumfahrtbereich zur Qualitätssicherung modernster Werkstoffe eingesetzt werden. Des Weiteren bieten wir Fachschulungen, Kalibrierung unserer Geräte vor Ort und anwenderspezifische Lösungen an.

Stand  
33-34**ibg Prüfcomputer GmbH**

Kontakt: Michael Protzmann  
Telefon: +49 9194 7384-0  
E-Mail: [info@ibgndt.de](mailto:info@ibgndt.de)  
Webseite: <https://ibgndt.de>



ibg ist einer der weltweit führenden Hersteller von Wirbelstromprüfgeräten für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung (NDT). Mit der Mehr-Frequenz-Prüfung in der Gefügeuntersuchung, der gleichzeitigen Oberwellenauswertung, der temperaturadaptiven Gefügeprüfung, der automatischen Toleranzfeld-Generierung oder der Mehr-Kanal-Prüfung in der Riss- und Schleifbranduntersuchung setzt ibg technologische Maßstäbe. Damit werden 100% Prüfungen in der Gefüge-, Riss- und Schleifbrandprüfung auf einem High-End-Level möglich.

Neben Prüfcomputern, Sonden, Spulen, Sortiergeräten, Prüfmechaniken und Meisterteilen liefert ibg komplette Prüfanlagen für die In-Line Prüfung.

**Stand  
61****incoatec GmbH & Bruker AXS GmbH**

Kontakt: Dr. Jörg Wiesmann  
Telefon: +49 4152 889-381  
E-Mail: [marketing@incoatec.de](mailto:marketing@incoatec.de)  
Webseite: [www.incoatec.de](http://www.incoatec.de)



incoatec GmbH entwickelt und produziert Komponenten für Element- und Strukturanalytik mittels Röntgenstrahlung. Hauptprodukte sind Multilayer Röntgenoptiken, Metallkeramik Mikrofokusröhren sowie eine Kombination aus beidem. incoatec ist Tochterfirma der Bruker AXS GmbH, welche Röntgendiffraktometer, -spektrometer und  $\mu$ CT Geräte anbietet. Im Bereich der von Bruker mitentwickelten Mikro-Computertomographie wird ein großes Portfolio an 3D Röntgen- Mikroskopen mit Auflösung im Submikrobereich für Anwendungen in Materialwissenschaft und Life Science angeboten.

**Stand  
19****InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik**

Kontakt: Andrea Krauß  
Telefon: +49 351871-8620  
E-Mail: [a.krausz@infratec.de](mailto:a.krausz@infratec.de)  
Webseite: [www.infratec.de](http://www.infratec.de)



Die InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik wurde 1991 in Dresden gegründet. Das privat geführte Unternehmen beschäftigt rund 200 Mitarbeiter und verfügt über eigene Entwicklungs-, Fertigungs- und Vertriebskapazitäten. Zu seinen Produkten zählen die selbst entwickelte und gefertigte High-End-Kameraserie ImageIR®, zahlreiche Thermografie-Automatisierungslösungen sowie Komponenten für Integratoren. Damit gehört InfraTec zu den führenden Anbietern für kommerzielle Wärmebildtechnik.

Stand  
**3****IT-Service Leipzig GmbH**

Kontakt: Matthias Spieß  
Telefon: +49 2129 3457912  
E-Mail: info@its-leipzig.com  
Webseite: www.it-service-leipzig.com



Die IT-Service Leipzig GmbH bietet Ingenieur-Technischen Service in RT, UT, MT, PT, VT, LT, HT, DR. Neben dem Vertrieb von Geräten und Zubehör bietet sie kurzfristig Reparatur- und Wartungsleistungen sowie Ersatz- und Leihgeräte an. Eigene Elektronik- und Mechanikwerkstätten ermöglichen Sonderanfertigungen nach Kundenwunsch. Als Vertriebs- und Servicepartner von OSERIX liefert IT-S zuverlässige Gamma-Radiografie-Technik inkl. Zubehör und Strahlungsquellen (Ir-192, Se-75, Co-60 und Cs-137) inkl. Quellenwechsel-, Jahreswartungs- und Reparaturservice.

Stand  
**64****iWP innovative Werkstoffprüfung  
GmbH & Co. KG**

Kontakt: Dr. Peter Mikitisin  
Telefon: +49 2131 40575-0  
E-Mail: info@i-wp.de  
Webseite: www.i-wp.de



Als akkreditiertes Prüflaboratorium nach DIN EN ISO/IEC 17025 bieten wir Ihnen eine Branchenübergreifende und herstellerunabhängige Dienstleistung im Bereich der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung und Messdienstleistung an. Unsere innovativen Werkstoffprüfungen ermöglichen es Ihnen Zeit und damit Kosten zu sparen und gleichzeitig eine sorgfältige Qualitätsprüfung Ihrer Produkte zu gewährleisten.

Als Ausbildungsstädte der DGZfP und Partner von GE und Volume Graphics bieten wir Schulungen und praktische Workshops für den Bereich industrielle Computertomographie an. Der Service, d.h. die Wartung und Reparatur von 2D- und 3D-Röntgenanlagen, rundet unser Produktportfolio ab.

**Stand  
58****K + D Flux-Technic GmbH + Co. KG**

Kontakt: Matthias Dangelmayr  
Telefon: +49 7174 89802-0  
E-Mail: info@kd-flux-technic.de  
Webseite: www.kd-flux-technic.de



K+D Flux-Technic ist ihr Spezialist für Oberflächenrissprüfung anhand des Magnetpulver- und Eindringverfahrens.

Unser Angebotsspektrum umfasst Rissprüfanlagen und -geräte (MT/PT), UV-Leuchten zur Risserkennung, Entmagnetisierungsspulen und passendes Zubehör, wie beispielsweise fluoeszierende Prüfmittel und Messgeräte zur normgerechten Prüfung.

Neben unserem Standardprogramm fertigen wir auch Sonderanlagen nach Ihren Vorgaben und Wünschen.

**Stand  
13****KARL DEUTSCH Prüf- und  
Messgerätebau GmbH + Co KG**

Kontakt: Dr. Wolfgang Weber  
Telefon: +49 202 7192-0  
E-Mail: weber@karldeutsch.de  
Webseite: www.karldeutsch.de

**KARL DEUTSCH**

Die Firma KARL DEUTSCH wurde im Mai 1949 von Ing. Karl Deutsch gegründet und heute in dritter Familiengeneration geführt. Alle Produkte werden von 130 motivierten Mitarbeitern in Wuppertal entwickelt und gefertigt. Die Produkte werden zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung mithilfe von Ultraschall sowie nach dem Magnetpulver- und dem Eindringverfahren eingesetzt. Zum Portfolio gehören sowohl mobile Prüfgeräte wie auch große Prüfanlagen zum stationären Einsatz. Die Exportquote beträgt ca. 60%, wobei der asiatische Markt einen wichtigen Anteil am Umsatz hat.

Stand  
**53****KARL STORZ NDTec GmbH**

Kontakt: Monika Reuter  
Telefon: +49 171 8126760  
E-Mail: [info@ksndtec.com](mailto:info@ksndtec.com); [monika.reuter@ksndtec.com](mailto:monika.reuter@ksndtec.com)  
Webseite: [www.karlstorzndtec.com](http://www.karlstorzndtec.com)



KARL STORZ NDTec ist Anbieter von NDT-Lösungen insbesondere im Bereich der industriellen Endoskopie. Das Portfolio umfasst Videoendoskope, starre und flexible Endoskope, Kameras sowie Dokumentations- und Messsysteme. Herausragende Bildqualität, Robustheit und Multifunktionalität zeichnen die Produkte aus und unterstützen den Kunden bei der visuellen Prüfung und beim Vermessen technischer Bauteile, Systeme und Anlagen. Jeder Inspektionsschritt kann zusätzlich für die weiterführende Schadensanalyse und Qualitätssicherung digital dokumentiert werden.

Stand  
**38****KOWOTEST GmbH**

Kontakt: Fritz Hörauf  
Telefon: +49 2173 22383  
E-Mail: [info@kowotest.de](mailto:info@kowotest.de)  
Webseite: [www.kowotest.de](http://www.kowotest.de)



Die KOWOTEST Gesellschaft für Prüfausrüstung mbH ist Hersteller und Lieferant von Zubehör für die Zerstörungsfreie Prüfung, insbesondere für die Röntgenprüfung. In der klassischen Filmtechnik können wir von Aufnahmetechnik über Dunkelkammerausrüstung und Filmauswertung bis hin zum Strahlenschutz das komplette Sortiment anbieten. Auch das Zubehör für die digitale Aufnahmetechnik wie CR, DR und CT können wir komplett abdecken. Für die Leckprüfung ist das KOWOVAC System perfekt geeignet. KOWOTEST – Suppliers of Equipment for Inspection.

Stand  
**63****Lucid Software Limited**

Kontakt: C.P. Madhusudan  
Telefon: +91 98 40920889  
E-Mail: madhu@lucidindia.com  
Webseite: www.kovidndt.com



Lucid Software Ltd is an independent software provider to Nondestructive Testing (NDT) industry. Our product portfolio includes Kovid RT for x ray analysis, Kovid UT for Ultrasound imaging and analysis and Kovid CT for 3D reconstruction of digital X ray. Lucid has jointly developed the Kovid iMaV (intelligent modelling and visualization) tool with Areva to support in service inspection of parts with complex geometries esp. in Nuclear Power Plants. Our focus in recent years has been on automation of NDT data analysis leading to the development of Assisted Defect Recognition (ADR) algorithms.

Stand  
**36****Magnaflux GmbH**

Kontakt: Silvio Georgi  
Telefon: +49 7365 81-0  
E-Mail: support.de@magnaflux.com  
Webseite: <https://eu.magnaflux.com>



Magnaflux ist ein weltweit führender Anbieter von Geräten und Verbrauchsmaterialien für die Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP).

Unsere umfassenden Komplettlösungen sind konzipiert für:

- Eindringprüfung (PT)
- Magnetpulverprüfung (MT)

Fluoreszierende Eindringmittel, farbige Eindringmittel, Reiniger, Emulgatoren, Entwickler, Inspektionssysteme, UV-Bestrahlungseinrichtungen.

Über 90 Jahre Erfahrung im Bereich der Zerstörungsfreien Prüfung, ein weltweit agierendes Vertriebsnetz und führende Industriezulassungen.

Stand  
20**Magnetische Pruefanlagen GmbH**

Kontakt: Mathias Hauptvogel  
Telefon: +49 7121 1099-0  
E-Mail: [info@mp-ndt.de](mailto:info@mp-ndt.de)  
Webseite: <https://mp-ndt.de>



Member of  
FOERSTER GROUP

Die Magnetische Pruefanlagen GmbH ist ein erfolgreiches Tochterunternehmen der global agierenden FOERSTER Group mit Sitz in Reutlingen. Unsere Mess- und Prüfgeräte zählen zu den Marktführern im Bereich der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung von sicherheitsrelevanten Bauteilen. Einsatz finden diese insbesondere in der Automobil- und Luftfahrtindustrie. Basierend auf dem Wirbelstromprinzip werden Materialdefekte erkannt und Materialparameter gemessen. An die Qualität und Benutzerfreundlichkeit unserer Geräte stellen unsere Kunden und wir höchste Ansprüche.

Stand  
5**NDT-Service GmbH**

Kontakt: Rolf Rogasik  
Telefon: +49 6434 9078442  
E-Mail: [rolf.rogasik@ndt-service.de](mailto:rolf.rogasik@ndt-service.de)  
Webseite: [www.ndt-service.de](http://www.ndt-service.de)



Die Firma NDT-Service GmbH vertreibt Produkte und Anlagen für die industrielle Röntgenprüfung. Zum Portfolio gehören u.a. Produkte folgender Firmen: Carestream NDT (Röntgenfilme und -chemie, Speicherfoliensysteme und mobile digitale Detektoren), Teledyne ICM (mobile Röntgenröhren und CMOS Detektoren), Eidosolutions/Gilardoni (Röntgenkabinen für 2D- und CT-Inspektion). Der Umbau vorhandener Röntgenkabinen und -bunker von Bildverstärker zu digitalem Detektor ist ebenfalls Bestandteil des Angebotes, wie auch jegliches Röntgenzubehör (Bleibuchstaben, Maßbänder etc.).

**Stand  
22****Nuclear GmbH**

Kontakt: Jeanette Gärtner  
Telefon: +49 211 382015  
E-Mail: [info@nuclear-gmbh.de](mailto:info@nuclear-gmbh.de)  
Webseite: [www.nuclear-gmbh.de](http://www.nuclear-gmbh.de)



Seit 1958 im ZfP-Bereich als Hersteller der gamma-radiografischen Arbeitsgeräte TELETRON SU 50 Hybrid, TELETRON SU 100, TELETRON RB 1 sowie Lieferant radioaktiver ISOTOPE für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung.

Die Firma Nuclear GmbH ist zudem Vertragspartner des U.S.-Unternehmens QSA Global Inc., Hersteller der Gamma-Geräte Typ SENTINEL 880, SCARPro sowie SENTRY und seit Anfang 2018 neuer Lizenzhalter der Produktlinie Gammamat TI/TI-F/TI-FF, TSI und TK.

**Stand  
29****Olympus Deutschland GmbH**

Kontakt: Andrea Rackow  
Telefon: +49 40 23773-4612  
E-Mail: [andrea.rackow@olympus.de](mailto:andrea.rackow@olympus.de)  
Webseite: [www.olympus.de](http://www.olympus.de)



Olympus bietet Produkte und Dienstleistungen die Experten aus Industrie und Wissenschaft jeden Tag bei ihrer Arbeit für die Gesundheit und Sicherheit von Menschen unterstützen. Das Portfolio industrieller Lösungen umfasst Mikroskope für die Materialwissenschaft, industrielle Endoskope sowie Röntgen-Analysegeräte und Systeme für zerstörungsfreie Prüfverfahren.

Stand  
42**Pfeiffer Vacuum GmbH**

Kontakt: Johannes Weiß  
Telefon: +49 6441 802-1729  
E-Mail: johannes.weiss@pfeiffer-vacuum.de  
Webseite: www.pfeiffer-vacuum.com



Seit mehr als 125 Jahren steht der Name Pfeiffer Vacuum für hochwertige Vakuumtechnik, ein umfassendes Komplettangebot in höchster Qualität und erstklassigen Service. Dank der engen Zusammenarbeit mit unseren Kunden und der kontinuierlichen Ausrichtung an ihren Bedürfnissen optimieren und erweitern wir unser Portfolio ständig. So können wir unseren Kunden auch in Zukunft immer die beste Lösung für ihre individuelle Anwendung bieten. Unser Leistungsportfolio reicht von Vakuumpumpen über Dichtheitsprüfgeräte bis hin zu kompletten Vakuumsystemen.

Stand  
32**PFINDER KG**

Kontakt: Stefanie Witzel  
Telefon: +49 7031 2701-999  
E-Mail: ndt@pfinder.de  
Webseite: www.ndt.pfinder.de



Die PFINDER KG in Böblingen ist einer der führenden Hersteller von Prüfmitteln für die Eindring- und Magnetpulverprüfung. Neben der langjährigen Marktführerschaft im Bereich der Serienprüfungen in der Automobilindustrie bietet PFINDER ein komplettes Prüfmittelprogramm für alle industrielle Bereiche an. Dabei haben die Produkte von PFINDER schon immer durch ihre besondere Anwenderfreundlichkeit und herausragende Wirtschaftlichkeit überzeugt. Mit der Nachhaltigkeitskampagne GREEN NDT richtet PFINDER zusätzlich einen besonderen Fokus auf Arbeitssicherheit und Umweltverträglichkeit.

**Stand  
56****PIBS Planungs- und Ingenieurbüro Swagers**

Kontakt: Irene Vellen  
Telefon: +49 2445-5465  
E-Mail: [info@pibs.de](mailto:info@pibs.de)  
Webseite: [www.pibs.de](http://www.pibs.de)



PIBS Planungs- und Ingenieurbüro Swagers – Anerkannte Ausbildungsstätte der DGZfP. Ihr Partner für kundennahe ZfP-Ausbildung und Qualitätssicherung. Qualifizierungen und Rezertifizierungen nach DIN EN ISO 9712 - in den Stufen 1, 2 und 3. In-Haus-Schulungen, modulare Ausbildung, an Ihren Prüfsystemen, intensive Gruppenarbeit, erfolgsorientierte Schulung, technische Beratung, Qualitätssicherung, Prüferkerausbildung, Sonderverfahren (z. B. OES, Filmauswertung, Härteprüfung) – über 30-jährige Erfahrung –

**Stand  
30****PLR Prüftechnik Linke & Rühle GmbH**

Kontakt: Monique Waldt  
Telefon: +49 391 50983-13  
E-Mail: [monique.waldt@plr-magdeburg.de](mailto:monique.waldt@plr-magdeburg.de)  
Webseite: [www.plr-magdeburg.de](http://www.plr-magdeburg.de)



Die PLR GmbH ist ein innovatives, mittelständisches Unternehmen und eine Tochtergesellschaft der weltweit agierenden Goldschmidt Thermit Group im Bereich der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung mit Sitz in Magdeburg. Unser Portfolio erstreckt sich vom klassischen Prüfservice und den ingenieurtechnischen Dienstleistungen in den zerstörungsfreien Prüfverfahren über die Entwicklung und Fertigung von Sensoren, Prüfgeräten sowie von kundenzugeschnittenen Komplettlösungen bis hin zur Ausbildung zertifizierter Prüfer in den Bereichen der Automobilindustrie, Bahnwesen, Luftfahrt und Maschinenbau. Darüber hinaus überprüfen wir als akkreditiertes Prüflabor nach DIN EN ISO/IEC 17025 herstellerunabhängig Wirbelstrom- und Ultraschallprüfgeräte sowie Magnetisierungsgeräte.

Stand  
**46****PTH GmbH**

Kontakt: Andy Löhr  
Telefon: +49 2857 902721-0  
E-Mail: [info@pth-rees.de](mailto:info@pth-rees.de)  
Webseite: [www.pth-rees.de](http://www.pth-rees.de)



Seit über 20 Jahren sind wir als Handelsunternehmen für ZfP-Produkte tätig. Mit dem Verkauf von Röntgenfilmen hat alles begonnen und über die Jahre haben wir unser Portfolio ständig erweitert. Im Zuge der Digitalisierung, bieten wir kundenorientierte Hardware- und Softwarelösungen, von der Digitalisierung von Röntgenfilmen, über Speicherfolien- und Detektorsysteme, bis hin zu Software für den vollständigen digitalen Workflow und die revisionssichere Archivierung von Prüfergebnissen.

Stand  
**4****Qualitech AG**

Kontakt: Roland Sigrist  
Telefon: +41 62 88969-69  
E-Mail: [qualitech@qualitech.ch](mailto:qualitech@qualitech.ch)  
Webseite: [www.qualitech.ch](http://www.qualitech.ch)



Qualitech AG ist ein akkreditiertes Prüfzentrum. Das in der Schweiz einzigartig breite Dienstleistungs-angebot an verschiedenen Standorten steht für Kundennähe, kurze Reaktionszeiten und effiziente Auftragsabwicklung. Unsere Dienstleistungen umfassen die zerstörungsfreie und zerstörende Prüfung, Schaden- und Werkstoffanalytik wie auch Seminare, Abnahmen und Inspektionen von Industrieanlagen und Komponenten im In- und Ausland, industrielle Computertomographie, Messtechnik und Kalibration, Schweisserprüfungen und -zertifizierungen, sowie Schweiß-Engineering und technische Beratung.

**Stand  
57****RIL-CHEMIE Marc Breit**

Kontakt: Marc Breit  
Telefon: +49 6805 942574-0  
E-Mail: info@ril-chemie.de  
Webseite: www.ril-chemie.de



RIL-CHEMIE fertigt und liefert Lösungen, den kompletten Bedarf und alle Dienstleistungen zur Durchführung von anspruchsvollen Magnetpulver- und Eindringprüfanwendungen, wie Automobile- und Luftfahranwendungen. Das Angebot umfasst Prüfmittel (auch mit Luftfahrtzulassung), Messgeräte, Anlagen, Geräte, Kalibrierung, Prüfmittelanalysen, UV LED Leuchten und vieles mehr.

Die technologieführenden UV LED Leuchten der Hausmarke SECU-CHEK lassen die Nachteile von herkömmlichen UV-LED Leuchten der Vergangenheit angehören. Erleben und sehen Sie den Unterschied am Stand von RIL-CHEMIE in der Geräteausstellung.

**Stand  
48****Rohmann GmbH**

Kontakt: Alexander von Hornhardt  
Telefon: +49 6233 3789-0  
E-Mail: info@rohmann.de  
Webseite: www.rohmann.de



Die Rohmann GmbH ist auf die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mittels Wirbelstrom spezialisiert. Seit mehr als 40 Jahren entwickeln und produzieren wir richtungsweisende Gerätetechnik, wie das neue ELOTEST PL600. Das Liniengerät ist für die Riss-, Wärmebehandlungs-, Materialverwechslungs- und Schleifbrandprüfung geeignet. Innovative Prüfkonzepte, wie der ELOTEST HST Prüfwagen, der für die manuelle Wirbelstromprüfung von großflächigen Grobblechen ausgelegt ist, sind unser Markenzeichen. Wir bieten maßgeschneiderte Lösungen vom Sensor über die Spule bis hin zur Anlage. Bei uns erhalten Sie alles aus einer Hand für Ihre Prüfaufgabe.

Stand  
**1****ROSEN Gruppe**

Kontakt: Andreas Knam  
Telefon: +49 7244 74124 7048  
E-Mail: [idia@rosen-group.com](mailto:idia@rosen-group.com)  
Webseite: <https://rosen-group.com>



Die ROSEN Gruppe verfügt über mehr als 30 Jahre Erfahrung in der Prüfung von Industriegütern und ist weltweit führender Anbieter von innovativen Lösungen für das Integritätsmanagement. Alle Technologien und Produkte, einschließlich Prüfmechanik und Automatisierung, werden inhouse entwickelt und gefertigt und zeichnen sich durch hervorragende Qualität sowie Zuverlässigkeit aus. Dabei bilden hochmoderne Technologien die Basis für das Portfolio mit maßgeschneiderten Produkten und Prüflösungen für die Bahn-, Stahl-, Rohr- und Automobilindustrie.

Stand  
**44****SECTOR Cert GmbH**

Kontakt: Dr. Achim Jung  
Telefon: +49 221 995940-0  
E-Mail: [info@sector-cert.com](mailto:info@sector-cert.com)  
Webseite: [www.sectorcert.com](http://www.sectorcert.com)



sectorcert® – Proven Heroes. Personalqualifizierung und -zertifizierung nach DIN EN ISO 9712 für alle Industriesektoren und Stufen 1-3 in den Verfahren RT, UT, MT, PT, VT, ET, LT und TT. Weitere akkreditierte Zertifizierungsprogramme: Schwingungszustandsüberwachung und -diagnostik nach ISO 18436 Kategorie I, II; ISO 20807: Bestimmung der Luftdurchlässigkeit an Gebäuden. Auch bei der Qualifizierung für eine Arbeitgeberzertifizierung nach SNT-TC-1A und CP189 gemäß ASME BPV Code sind wir gerne für Sie da. Wir freuen uns auf Ihren Besuch auf unserem Ausstellungsstand.

Stand  
**65****Springer New Technologies GmbH**

Kontakt: Hauke Springer  
Telefon: +49 151 12155178  
E-Mail: [hauke@springernewtech.com](mailto:hauke@springernewtech.com)  
Webseite: [www.springernewtech.com](http://www.springernewtech.com)



Die Firma Springer New Technologies GmbH (SNT) ist ein eigenständiges Vertriebsbüro für physikalische Messtechnik, mit Fokus auf zerstörungsfreie Prüfmethode im Dienst der Qualitätssicherung mittels Ultraschall (SONATEST), Wirbelstrom & EMAT (ETher NDE), Terahertz (Baugh&Weedon), Farbeindringtests und MPI (SREM). Weiterhin werden kundenspezifische Anlagen für die ZfP-Automatisierung bei den Partnern hergestellt. Das Prüfen von modernen Verbundwerkstoffen wie auch in-line bei der Additiven Fertigung sind das Spezialgebiet der SNT.

Stand  
**60****Tessonics Europe GmbH**

Kontakt: Ülkü Sülü  
Telefon: +49 2234-911002-22  
E-Mail: [uelkue@tessonics.com](mailto:uelkue@tessonics.com)  
Webseite: [www.tessonics-europe.com](http://www.tessonics-europe.com)



Die Tessonics Europe GmbH ist die Schwesterfirma der kanad. Tessonics Inc.. Tessonics ist einer der Marktführer für Ultraschallgeräte zur zerstörungsfreien Prüfung von Widerstandsschweißpunkten. Zu den Produkten der Gruppe gehören das Ultraschall-Handgerät RSWA mit der Möglichkeit, Schweißlinsengeometrien mit Hilfe eines C-Bildes autom. auszuwerten und Prüfpläne zu erstellen, die ABIS-Softwareerweiterung für das RSWA zur zerstörungsfreien Prüfung von Verklebungen sowie das RIWA-System, ein Inline-System zur automatischen Bewertung der Schweißlinsenqualität in Echtzeit.

Stand  
**40**

## **TESTSINN**

Kontakt: Martin Maass  
Telefon: +49 176 84995134  
E-Mail: martin.maass@testsinn.de  
Webseite: www.testsinn.de



Ultraschallprüfgeräte für manuelle und mechanisierte Prüf-Anwendungen  
Simulationssoftware für die Verifikation von Ultraschall-Prüfanwendungen  
Beratungsdienstleistungen für die Anwendung von Ultraschallprüfung in der Industrie  
Trainingsdienstleistungen, und individualisierte Prüfanweisungen sowie  
E-Learning-Programme  
Verbrauchsmaterialien und Zubehörartikel für die ZfP  
Erstellung von Pflichtenheften für die Beschaffung und Ausschreibung qualifizierter  
Prüfsysteme

Stand  
**27**

## **Vallen Systeme GmbH**

Kontakt: Hartmut Vallen  
Telefon: +49 8178 9674-400  
E-Mail: sales@vallen.de  
Webseite: www.vallen.de



Vallen Systeme GmbH – das ist die Faszination eines international ausgerichteten Mess-technikspezialisten im Bereich der Schallemissionsanalyse. Als technologischer Schrittmacher treibt das Unternehmen seit über 35 Jahren maßgeblich die Entwicklung, Produktion und den Vertrieb modernster Systeme und Software in diesem Bereich voran. Bei der Schallemissionstechnik handelt es sich um ein Prüfverfahren, das es ermöglicht, Fehler in belasteten Materialien und Strukturen frühzeitig zu erkennen und zu lokalisieren.

**Stand  
37****VisiConsult X-ray Systems & Solutions GmbH**

Kontakt: Lennart Schulenburg  
Telefon: +49 451 290286-0  
E-Mail: [info@visiconsult.de](mailto:info@visiconsult.de)  
Webseite: <https://visiconsult.de>



VisiConsult ist ein Familienunternehmen aus Norddeutschland und gilt als innovativer Spezialist für Röntgen Standardkabinen und kundenspezifische Sonderanlagen. Um höchste Qualitätsstandards zu gewährleisten, werden alle Produkte intern nach ISO 9001 entwickelt und gefertigt. Weiterhin wird auf lokale Zulieferer und Nachhaltigkeit gesetzt. Unsere Systeme werden an die Prozesse unserer Kunden angepasst und schlüsselfertig geliefert, wobei Kunden besonders die hohe Flexibilität und außergewöhnliche Zuverlässigkeit schätzen. Mehr als 25 Jahre Erfahrung in Bildverarbeitung und besonders Automatischer Fehlererkennung (ADR) führen zu hocheffizienten Lösungen „Made in Germany“.

**Stand  
39****viZaar industrial imaging AG**

Kontakt: Torsten Teller  
Telefon: +49 647591129-0  
E-Mail: [info@vizaar.de](mailto:info@vizaar.de)  
Webseite: [www.vizaar.de](http://www.vizaar.de)



Entwicklung, Herstellung, Anwendung und Vertrieb visueller Prüftechnik für Kunden in Industrie, Sicherheitstechnik und öffentlicher Hand. Angeboten werden Lösungen zur zerstörungsfreien Prüfung, endoskopische Hohlraumkontrolle, Hochgeschwindigkeitskameras, Thermografie, UV-Prüfung, Leckageortung, Fremdteilebergung und Sonderkamerabau.

Stand  
**16****VOGT Ultrasonics GmbH**

Kontakt: Benita Vogt  
Telefon: +49 5139 9815-0  
E-Mail: [contact@vogt-ultrasonics.de](mailto:contact@vogt-ultrasonics.de)  
Webseite: [www.vogt-ultrasonics.de](http://www.vogt-ultrasonics.de)



Die VOGT Ultrasonics GmbH ist ein wachsendes mittelständisches Unternehmen, das Anlagenbau und Dienstleistungen in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung und Qualitätssicherung bietet. Eine wesentliche Technologiebasis ist die automatisierte Ultraschallprüfung zur Qualitätssicherung von Bauteilen während der Produktion. Kunden sind im Wesentlichen Großunternehmen aus der Stahl-, Automobil- sowie der Luft- und Raumfahrtindustrie.

Stand  
**52****W.S. Werkstoff Service GmbH**

Kontakt: Eric Poschmann  
Telefon: +49 201 316844-13  
E-Mail: [info@werkstoff-service.de](mailto:info@werkstoff-service.de)  
Webseite: [www.werkstoff-service.de](http://www.werkstoff-service.de)



Die W.S. Werkstoff Service GmbH mit Sitz in Essen ist Kompetenzzentrum für Werkstofftechnik, Werkstoffprüfung, Wärmebehandlung und Metallographie. Unsere akkreditierte Inspektionsstelle (ISO/IEC 17020) und unser akkreditiertes Prüflabor (ISO/IEC 17025) unterstützen Sie mit Ingenieursdienstleistungen, Schadensanalytik und Werkstoffprüfung. Unsere DGZfP-anerkannte Ausbildungsstätte (ISO 9001, IHK, AZAV) begleitet Sie bei Qualifizierungsbedarf mit Kursen und Inhouse-Schulungen zu Werkstofftechnik und Werkstoffprüfung in ZP und ZfP (ISO 9712, DIN 54161).

**Stand  
35****YXLON International GmbH**

Kontakt: Darius Leppich  
Telefon: +49 40 527-290  
E-Mail: [yxlon@hbg.yxlon.com](mailto:yxlon@hbg.yxlon.com)  
Webseite: [www.yxlon.com](http://www.yxlon.com)

**YXLON**

YXLON steht für Sicherheit und Qualität bei sämtlichen Arten von Gussteilen, Reifen, elektrischen und elektronischen Bauteilen, Turbinenschaufeln, Schweißverbindungen und vielem mehr. Unser Produktportfolio umfasst Röntgensysteme zum Einbau in radiologische Prüfumgebungen, universelle Röntgeninspektionssysteme auf der Grundlage von Vollschutzgeräten sowie individuelle Kundenlösungen. Ob Luft- und Raumfahrt, Automobilbau oder Elektronik: Unsere Kunden zählen zu den weltgrößten Herstellern - Großunternehmen, die auf unsere herausragende Qualität vertrauen.

**Stand  
11****Zeppelin Systems GmbH**

Kontakt: Harald Schneider  
Telefon: +49 7541 202-1446  
E-Mail: [harald.schneider@zeppelin.com](mailto:harald.schneider@zeppelin.com)  
Webseite: [www.zeppelin.com/de](http://www.zeppelin.com/de)

**ZEPPELIN**  
WE CREATE SOLUTIONS

Der Zeppelin Aviation & Industrial Service bietet seit 1995 professionelle Qualitätsdienstleistungen für die globale Luftfahrtindustrie und andere Branchen an. Unsere Schwerpunkte sind die zerstörungsfreie Prüfung von Bauteilen, die 3D-Vermessung komplexer Komponenten, die Herstellung von luftfahrtspezifischen Schweißkonstruktionen, sowie Schulungen für NDT-Fachpersonal (PT, MT, RT, UT, ET).

Abreu, A. ....	Mi.4.C.1	Breit, M. ....	Di.2.C.1
Algernon, D. ....	Mi.1.C.1	Breuer, S. ....	Mo.3.B.3
Altenburg, S.J. ....	Di.3.B.2, Mi.1.C.4	Brosta, N. ....	Mi.4.A.2
Alward, K. ....	Di.2.C.3	Brugger, P. ....	P18
Arzig, M. ....	Mo.2.A.4	Brunner, A.J. ....	Mo.2.C.2
Auer, W.M. ....	Mi.3.C.1	Bruno, G. ....	Mo.2.A.3, P22
Aydođdu, M. ....	Mi.2.B.2	Büchler, J. ....	Di.1.C.1, P38
Bach, M. ....	P45	Bühling, B. ....	Mi.1.C.2
Bamberg, J. ....	Mi.1.A.2	Bühling, L. ....	P50
Barteldes, S. ....	Mo.2.A.2	Bulavinov, A. ....	Mi.4.B.3
Barton, S. ....	P58	Burdairon, S. ....	Di.3.C.3
Bartsch, L. ....	P30, P31, P32	Burger, M. ....	Mi.4.C.1
Bartscher, M. ....	P17	Büttner, C. ....	Mi.1.C.3
Bastian, M. ....	Di.2.A.5, P28, P29, P47	Cabeza, S. ....	Mo.2.A.3
Baudrit, B. ....	Mo.2.B.1	Caspary, S. ....	Mi.3.C.2
Baumgart, T. ....	Mi.4.A.1	Casperson, R. ....	Mo.3.A.2, Mi.2.B.2
Bavendiek, K. ....	Di.1.C.3	Cataldi Spinola, E. ....	Mo.3.A.3
Bayer, E. ....	Mi.1.B.2	Cembrowski, M. ....	Mi.1.A.2
Becker, S. ....	Mo.3.B.5	Chen, M.-H. ....	Mi.4.C.2
Beesdo, O. ....	Mi.4.C.1	Chertov, A. ....	Mi.3.A.1
Behrendt, D. ....	Mo.3.B.4	Clausen, J. ....	Mo.2.B.2
Behrens, M. ....	Mo.3.C.4	Costin, M. ....	P16
Beilken, D. ....	Mo.3.A.2	Dai, G. ....	P16
Bellon, C. ....	Mi.2.A.3	De Odorico, W. ....	Di.1.A.3
Bente, K. ....	P51	Del Galdo, G. ....	P41, P64
Berg, H.W. ....	Di.2.C.2	Deresch, A. ....	Di.1.C.2, Di.3.A.2, P16
Berke, M. ....	Mi.2.A.1	Deutsch, W.A.K. ....	Di.1.A.4, P2, P46
Bernhardt, Y. ....	Mo.2.A.1, Mi.3.A.2	Dilz, K. ....	P6
Bernstein, T. ....	P11	Dinold, G. ....	Mi.1.B.3
Berthold, J. ....	Di.2.B.2	Dobrovolskij, P. ....	P20
Bertovic, M. ....	P30, P31, P52	Duckhorn, F. ....	P57
Bessert, S. ....	Mi.2.C.2, Mi.3.C.2, P41	Eck, S. ....	Mo.3.A.4
Bircher, B.A. ....	Di.1.C.2, P16	Effner, U. ....	Mi.1.C.3
Bodi, A. ....	P54, P59	Ehlen, A. ....	Di.2.A.1
Böhm, S. ....	Di.2.C.5, P8	Ehlers, H. ....	Di.3.B.3
Böhning, M. ....	P22	Eisenkrein-Kreksch, H. ....	Mi.1.C.4
Böttcher, R. ....	P41	Erdmann, M. ....	P22
Brauns, R. ....	Mo.3.B.4	Essig, W. ....	Mi.4.B.3
Bredendiek, C. ....	Mo.3.B.4	Ewert, U. ....	Di.1.C.2, P16
Breidenstein, B. ....	P58	Feistkorn, S. ....	Mi.1.C.1, Mi.2.B.1

Felber, N. ....	Di.1.C.3	Heck, G. ....	Mi.1.B.3, Mi.2.C.2
Fernández, R. ....	Mo.2.A.3	Heckel, T. ....	Mo.3.A.1, Mo.3.A.2, Di.2.B.2, P20, P30
Fey, P. ....	Di.1.A.3	Heilmann, S. ....	P40
Finckbohner, M. ....	Di.2.A.1, P37	Heinrich, M. ....	P1
Fischer, B. ....	Di.3.C.1	Hengstschläger, G. ....	Di.2.B.5
Fischer, C. ....	Di.3.B.1	Hentschel, M.P. ....	P22
Fix, M. ....	Di.3.C.3	Herrmann, A.S. ....	P45
Flisch, A. ....	Di.3.C.2	Herrmann, H.-G. ....	Mo.2.B.4, Mo.3.C.4
Foko, C. ....	Di.3.C.3	Herschel, R. ....	Mo.3.B.4
Foth, T. ....	P53, P54	Herter, S. ....	Mo.2.B.4
Franz, P. ....	Di.3.B.1	Herzer, F. ....	P36
Fricke, L.V. ....	P58	Herzog, T. ....	P39, P40
Friedrich, C. ....	Mi.1.C.3	Heuer, H. ....	P40
Friedrich, M. ....	Mi.3.B.3	Heutling, B. ....	P19
Fritzen, C.-P. ....	P45	Hilgenberg, K. ....	Di.3.B.2
Funk, A. ....	Di.1.B.1	Hille, F. ....	P13
Gaal, M. ....	P51	Hillger, W. ....	P50, P51
Galsterer, D. ....	Mo.3.C.3	Himmelmann, A. ....	P7
Ganster, M. ....	P55, P62	Hinken, J. ....	P7
Gaul, T. ....	Di.2.B.1, Mi.1.B.1	Hochrein, T. ....	Mo.2.B.1, Di.2.A.5, P47
Girardier, R. ....	Mo.3.A.5	Hoeck, B. ....	Mo.2.C.3
Globisch, B. ....	Mo.3.B.3	Hoffmann, D. ..	Mo.2.B.1, Di.2.A.5, P28, P29, P47
Glück, M. ....	P35	Hofmann, D. ....	Di.1.B.4
Gohlke, D. ....	P20	Hohendorf, S. ....	Mo.3.C.1
González-Doncel, G. ....	Mo.2.A.3	Hollandt, J. ....	Di.1.C.4
Govignon, Q. ....	Mi.4.C.2	Holstein, P. ....	P57, P59
Graf vom Hagen, C. ....	P16	Holstein, R. ....	P30
Grager, J.-C. ....	Mi.1.A.1	Holtmann, N. ....	Mi.4.C.3
Greimel, F. ....	Mi.1.B.3	Holtzhausen, S. ....	Di.1.B.4
Groshev, S. ....	Di.3.C.2	Holweger, W. ....	Mo.2.A.2
Groß, P. ....	P41	Holzmann, C. ....	Mi.3.B.1
Große, C.U. ....	Mo.3.C.2, Di.2.B.2, Mi.1.A.1	Hörauf, F. ....	P16
Grunwald, M. ....	Mo.3.C.1, P13	Huang, M. ....	Mi.3.B.3
Gumenyuk, A. ....	Di.3.B.2	Ihlow, A. ....	P41, P64
Gurka, M. ....	Mo.2.B.3, Mo.2.C.4	Illemann, J. ....	Mi.2.A.3
Gütgemann, S. ....	Mo.3.B.4	Ilse, D. ....	P50
Gutschwager, B. ....	Di.1.C.4	Ivanov, A. ....	Di.2.C.4
Haase, W. ....	Di.3.C.1	Iwanow, M. ....	P39
Halmen, N. ....	Mo.2.B.1	Jaenisch, G.-R. ....	Di.1.B.1, Di.1.C.2, P16
Hämmerle, V. ....	Di.3.C.3	Janßen, M. ....	Mi.1.B.4, P60

## Autoren und Beitragsnummern

Jatzlau, P. ....	Di.2.B.2	Krainer, K. ....	Mo.3.C.1
Jerabek, M. ....	P49	Krankenhagen, R. ....	Mi.1.C.4
Joas, S. ....	P48	Kraus, E. ....	Mo.2.B.1
Jonietz, F. ....	Mi.1.C.4	Krebs, C. ....	Mo.3.B.4
Jonuscheit, J. ....	Mo.3.B.2	Kremers, I. ....	Di.3.C.3, P18
Jung, A. ....	Mi.3.C.2, Mi.3.C.3	Kreutzbruck, M. ....	Mo.2.A.1, Mi.1.A.4, Mi.3.A.2, ..... Mi.4.B.3, Mi.4.C.3, P48
Jüngert, A. ....	Di.2.B.3, Di.2.B.4, Mi.3.B.3	Krieg, F. ....	Mi.4.A.2, P41, P64
Kais, A. ....	P23	Kriegel, S. ....	Mo.2.A.2
Kanzler, D. ....	Di.2.B.2, P32	Krumm, M. ....	Di.3.C.3, P18
Kaps, C. ....	Di.3.A.1, Di.3.A.3	Kruschwitz, S. ....	P10, P14
Kastner, J. ....	P49	Kryukov, I. ....	Di.2.C.5, P8
Kathol, J. ....	P45	Küchler, H. ....	P33
Kazankova, O. ....	P17	Kugler, C. ....	Mo.2.B.1
Keil, A. ....	Mo.3.B.5	Kühnicke, H. ....	Mo.2.C.2
Kelkel, B. ....	Mo.2.C.4	Künstner, D. ....	Mo.3.A.4
Kicherer, P. ....	Mi.2.B.1	Kups, T. ....	P24
Kierspel, S. ....	Di.1.A.4	Kupsch, A. ....	Mo.2.A.3, P22
Kim, Y. ....	Mi.1.B.1	Kurtin, A. ....	Mi.1.B.3
Kinzel, A. ....	Mi.2.C.3	Küter, A. ....	Mo.3.B.4
Kirchhof, J. ....	P41, P64	Küttenbaum, S. ....	P12
Kirchner, B. ....	Mi.2.A.1	Lachtchouk, I. ....	Di.1.A.2
Klein, S. ....	Mo.3.C.4	Lackner, G. ....	Mi.3.B.2
Kleinert, W. ....	P42	Lammert, R. ....	Di.2.B.4
Klenk, A. ....	Mi.3.B.3	Langer, K. ....	P61
Klewe, T. ....	P10	Lapsien, J. ....	Mi.3.A.3
Knopp, F. ....	P11	Lassila, A. ....	P16
Koch, R.H. ....	Mi.2.A.2	Lehmann, N. ....	Mi.3.A.2
Kodera, S. ....	P64	Leinenbach, F. ....	Mo.2.B.2
Koerdet, M. ....	P45	Lenz, R. ....	Mi.1.C.1
Kohlhaas, R. ....	Mo.3.B.3	Liebermeister, L. ....	Mo.3.B.3
Kolb, C. ....	Mo.3.B.1, Di.2.A.5, P28, P47	Lindow, H. ....	P6
Kolbe, P. ....	P57	Linscheid, F.F. ....	Mi.3.B.1
Kolk, K. ....	Mi.1.A.3, P21, P43	Lohde, S. ....	Mi.2.B.2
Kolkoori, D.S. ....	Mi.2.A.2	Lugin, S. ....	Di.2.A.2, Mi.3.C.2, Mi.4.A.2, P37, P64
Kolokytha, S. ....	Di.3.C.2	Lüthi, T. ....	Di.3.C.2
König, S. ....	Di.1.C.4	Maack, S. ....	Mi.1.C.2, P12
Korpelainen, V. ....	P16	Maev, R.G. ....	Mi.3.A.1
Kose, S. ....	Mo.3.B.4	Maier, R. ....	Mi.1.B.4
Koster, D. ....	Mi.2.B.3, Mi.4.A.2, P26, P27	Maierhofer, C. ....	Di.3.B.1, Di.3.B.2
Kotschate, D. ....	P20		

Malitte, H.-J. ....	Mi.2.C.2	Nemitz, O. ....	Mi.1.A.2
Marihart, H. ....	Mi.3.B.2	Nerger, D. ....	P13
Mäschke, A. ....	P33	Nespoli, N. ....	P43
Matern, D. ....	Di.1.C.3, P17	Netzelmann, U. ....	Di.2.A.1, Di.2.A.2, P37
Mauke, R. ....	Mi.1.C.3	Neuschaefer-Rube, U. ....	P17
Maurer, J. ....	P49	Nguyen, H.N. ....	P58
Maylandt, M. ....	Mi.3.B.3	Niebergall, U. ....	P22
Mayr, M. ....	Mo.3.B.1, P28, P47	Niederleithinger, E. ....	Mi.1.C.3
Meier, R. ....	P42	Nüßler, D. ....	Mo.3.B.4
Meinel, D. ....	Mi.2.A.3	Oberdörfer, Y. ....	Mi.3.A.1
Meli, F. ....	Di.1.C.2, P16	Oemus, M. ....	Mo.2.C.2
Menner, P. ....	Di.2.A.3	Orf, L. ....	Mo.2.B.1
Metz, C. ....	Di.3.B.1	Orth, T. ....	Mi.1.A.2
Michauk, J. ....	P40	Osman, A. ....	P41, P64
Mielentz, F. ....	Mi.1.C.3, P11	Oswald, J. ....	Mi.2.B.3, P26, P27
Mohr, G. ....	Di.3.B.2	Oswald-Tranta, B. ....	Mo.3.A.4, Di.2.A.4
Moix-Bonet, M. ....	P45	Pamplona, M. ....	Mo.3.C.2
Moll, J. ....	P45	Pandey, R. ....	P41, P64
Monden, A. ....	Mo.2.C.3	Panzer, N. ....	Di.3.C.1
Mook, G. ....	Mo.3.A.1, P4	Pavlovic, M. ....	P30
Moosavi, R. ....	P13	Pelkner, M. ....	Di.3.B.3
Mooshofer, H. ....	Mi.1.A.1, Mi.1.A.3, P21, P43	Pereyta, R. ....	Mo.2.A.3
Morgenstern, G. ....	Mi.2.C.2	Peter, T. ....	Mi.3.B.1
Moryson, R.M. ....	Mo.3.C.4	Pfeffer, P. ....	P28, P29, P47
Moser, D. ....	Mo.3.C.4	Pick, C. ....	P54, P59
Mösl, K. ....	Mo.3.C.1	Pies, C. ....	Mo.3.A.3, Mi.4.A.1
Mueller, I. ....	Di.2.B.1	Pinchuk, R. ....	Mi.4.B.3
Muhrhauser, P. ....	Di.2.C.4	Pohl, J. ....	P59
Muhs, V. ....	P30	Pohl, N. ....	Mo.3.B.4
Müller, B.R. ....	Mo.2.A.3, P22	Pohl, R. ....	Di.3.B.3, Mi.2.B.2
Müller, D. ....	Di.2.A.2, P37	Popow, V. ....	Mo.2.B.3
Müller, J. ....	Mo.2.B.3	Poschmann, I. ....	Mi.2.C.1
Müller, T. ....	P55, P62	Prager, J. ....	P63
Muth, H. ....	Mi.3.C.1	Prautzsch, V. ....	P59
Nagel, F. ....	Di.1.C.4	Prints, E. ....	Di.2.C.5, P8
Nagel, S.M. ....	P14	Pudovikov, S. ....	Mo.3.C.4
Narr, A. ....	Mi.1.A.1	Pühringer, J. ....	Di.2.B.5
Nazarzadehmoafi, M. ....	Di.1.B.2	Rabe, U. ....	P1
Neggers, R. ....	P19	Radek, C. ....	Mo.2.A.2
Nellen, S. ....	Mo.3.B.3	Rahammer, M. ....	Mi.4.C.3

## Autoren und Beitragsnummern

Rast, H. ....	Di.1.A.4	Schorr, P. ....	P37
Ratering, R. ....	Mi.4.B.1	Schubert, L. ....	Mo.2.C.2, Di.2.B.1, Mi.1.B.1
Rauber, C. ....	Mo.2.C.1	Schumacher, E. ....	P8
Redmer, B. ....	Mo.3.C.1, Di.3.A.2, P13	Schuster, J. ....	Mi.4.C.2
Rein, H. ....	P18	Schwäbig, C. ....	Mo.3.B.4
Rennoch, M. ....	P45	Schwarz, M. ....	Mo.2.B.4
Richter, M. ....	Di.1.B.4	Schwender, T. ....	Mi.3.C.2, Mi.4.A.2
Rick, R. ....	P26	Sehrschön, H. ....	Di.3.C.1
Rieder, H. ....	Di.1.A.1, Di.1.A.2, Di.2.B.3, Di.2.B.4, .....	Šekelja, J. ....	Di.3.C.1
.....	P56	Sembdner, P. ....	Di.1.B.4
Riess, N. ....	Di.2.C.4	Simon, M. ....	Mi.4.C.1
Rittmann, J. ....	Mo.2.A.1, Mi.1.A.4, Mi.4.C.3	Simonin, Y. ....	P4
Ritzer, T. ....	P10	Solodov, I. ....	Mo.2.A.1
Rohringer, W. ....	Di.3.C.1	Spies, M. ....	Di.1.A.2, Di.2.B.3, Di.2.B.4
Römer, F. ....	Mi.4.A.2, P41, P64	Spieß, L. ....	P23, P24
Rosenberg, R. ....	P44	Šrajbr, C. ....	Di.2.A.3
Rosenthal, M. ....	P30	Standop, S. ....	P38
Rössler, G. ....	Mi.2.B.1	Stecher, T. ....	Mi.4.C.1
Rott, S. ....	Mi.1.A.2	Steege, A. ....	Di.3.A.1, Di.3.A.3
Rühe, S. ....	Mo.3.A.2	Steffen, J.P. ....	P16
Salaberger, D. ....	P49	Stelzer, R. ....	Di.1.B.4
Salamon, M. ....	Mo.2.A.4	Strangfeld, C. ....	Mi.1.C.2, Mi.1.C.3, P10, P14
Satzinger, S. ....	Mi.1.B.3	Straube, C. ....	Di.1.B.3, P25
Sauerwein, C. ....	Di.3.C.3, P18	Straße, A. ....	Di.3.B.2
Sause, M. ....	Mo.2.C., 3 Mi.3.B.1, P45	Stopp, P. ....	P26
Sayfullaev, T. ....	P2, P46	Stöß, P. ....	Di.2.C.4
Schauritsch, G. ....	Mi.3.B.2	Sukowski, F. ....	Mo.2.B.2
Scherrer, M. ....	Mi.1.C.1, Mi.2.B.1	Szewieczek, A. ....	P50, P51
Scheuschner, N. ....	Di.3.B.2	Szielasko, K. ....	Mo.2.C.1
Schickert, M. ....	P15	Taffe, A. ....	P12
Schilp, J. ....	P36	Taubert, D. ....	Di.1.C.4
Schledjewski, R. ....	Di.2.A.4	Teichert, G. ....	P23
Schlengermann, U. ....	Di.1.C.1	Thewes, R. ....	Di.3.B.3
Schmitt, S. ....	Mo.2.C.3	Thomas, S. ....	Mo.3.B.4
Schmitte, T. ....	Mi.1.A.2	Toumia, R. ....	Di.2.C.5
Schmitz, S. ....	P38	Trattnig, H. ....	Mo.2.C.2
Schober, G. ....	Mo.2.B.1, Mo.3.B.1, Di.2.A.5, P28, .....	Tschöke, K. ....	Di.2.B.1
.....	P29, P47	Tschöpe, C. ....	P57
Schönherr, M. ....	P3	Tschuch, M. ....	Di.1.A.2
Schormann, K.V. ....	Di.2.C.2	Tschuncky, R. ....	Mo.2.C.1
Schörner, K. ....	Mi.1.A.3, P21, P43	Tuschl, C. ....	Mo.3.A.4, Di.2.A.4

## Autoren und Beitragsnummern

Uebrig, H.-J. ....	P19	Waske, A. ..	Mo.3.C.1, Di.1.B.1, Di.1.B.2, P13, P16
Uhlmann, N. ....	Mo.2.A.4	Weidig, C. ....	Di.1.B.3, P25
Valeske, B. ....	Di.2.A.1, Di.2.A.2, Mi.3.C.2, .....Mi.4.A.2, P1, P37, P64	Weihnacht, B. ....	Mi.1.B.1
Veile, I. ....	Mo.2.C.1	Weingard, C. ....	P26
Vogt, B. ....	Mi.4.B.2	Wellmann, P.J. ....	Mo.2.A.4
Vogt, G. ....	Mi.4.B.2	Wenzel, L. ....	Di.2.A.5
Vogt, T. ....	P63	Wielicki, O. ....	Mi.4.B.2
Vrana, J. ....	Di.2.B.2, Mi.1.A.3, Mi.4.A.3, .....P20, P21, P43	Wiggenhauser, H. ....	Mo.3.C.4
Wachtendorf, V. ....	Di.3.B.1	Winning, M. ....	Mi.2.C.1
Wachter, L. ....	P29	Wolf, M.L. ....	Di.2.C.2
Wack, Y. ....	Mo.3.A.1	Würschig, T. ....	Di.1.A.3, P34
Wackenhut, G. ....	Di.2.B.3, Di.2.B.4	Yang, F. ....	P16
Wagner, J. ....	P26	Zaremba, D. ....	P58
Wald, S. ....	Di.3.C.1	Zimmer, A. ....	Mi.1.A.3, P21
Walter, S. ....	P39, P40	Zscherpel, U. ....	Di.1.B.2