



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG e.V.

ZfP IN FORSCHUNG,
ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG

DGZfP-JAHRESTAGUNG 2021

Zerstörungsfreie Materialprüfung

10. - 11. Mai

VIRTUELL

- Kurzfassungen der Beiträge
- Ausstellerprofile

ÜBERSICHT

Montag, 10. Mai 2021	
09:00	Eröffnung der DGZfP-Jahrestagung mit Ehrung und Vorträgen der Preisträger 2020
10:15	Keynote
11:15	Session 1 Ultraschallverfahren – Phased Array
14:00	Session 2 Materialcharakterisierung
15:00	Session 3 ZfP im Bauwesen
16:15	Podiumsdiskussion Bröckelnde Bauwerke – Wie erhalten wir unsere Infrastruktur?

Dienstag, 11. Mai 2021	
09:00	Begrüßung mit Ehrung und Vorträgen der Preisträger 2021
10:45	Session 4 Verbundwerkstoffe
13:15	Session 5 Zustands- und Fertigungsüberwachung
14:30	Session 6 ZfP 4.0/Künstliche Intelligenz
16:25	Ehrung der Posterpreisträger
16:30	Prämierung und Vorführung der drei Siegerevideos des ZfP-Slams
16:55	Rückblick, Ausblick und Schlusswort



Die Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) führt ihre Jahrestagung 2021 aufgrund der aktuellen Entwicklungen in Bezug auf das Coronavirus am 10. und 11. Mai virtuell durch.

Ein interessantes Programm aus Vorträgen und Posterpräsentationen erwartet Sie. Im Rahmen des neuen Formats „ZfP-Slam“ präsentieren Posterautor*innen anhand voraufgezeichneter Videos ihre Beiträge. Das Format ersetzt die aus vergangenen Jahrestagungen bekannten Kurzpräsentationen.

Im Rahmen einer Podiumsdiskussion diskutieren bekannte ZfP-Experten aus Wirtschaft und Wissenschaft zum Thema „Bröckelnde Bauwerke – Wie erhalten wir unsere Infrastruktur?“.

Die Jahrestagung ist der Treffpunkt für ZfP-Expert*innen aus Industrie und Forschung. Vernetzen Sie sich mit anderen Teilnehmenden und diskutieren Sie mit Autor*innen und Ausstellern aktuelle Trends und Herausforderungen der zerstörungsfreien Materialprüfung.

Wir freuen uns auf Ihre Teilnahme!

Dr. Anton Erhard
Vorsitzender der DGZfP e.V.

PROGRAMM, MONTAG 10. MAI

09:00 **Eröffnung der DGZfP-Jahrestagung mit Ehrung und Vorträgen der Preisträger 2020**

KEYNOTE

10:15 **Zerstörungsfreie Prüfung an einem Frosch – Denkmalschutz an einer GFK-Leichtbaukonstruktion**
M. Kreutzbruck¹, F. Waentig², C. Bonten¹, J. Rittmann¹, Y. Bernhardt¹, W. Essig¹
¹ IKT, Universität Stuttgart; ² Institut für Restaurierungs- und Konservierungswissenschaft, TH Köln

11:00 Pause

SESSION 1 | Ultraschallverfahren – Phased Array

Sitzungsleitung: S. Dugan, H. Rieder

1 **Untersuchung und quantitative Bewertung der Leistungsfähigkeit eines neuen Phased-Array-Sensors für die Pipeline-Inspektion**
11:15 M. Spies¹, O. Müller¹, I. Lachtchouk¹, M. Tschuch¹
¹ Baker Hughes – Process & Pipeline Services, Stutensee

2 **Bildgebender luftgekoppelter Ultraschall ohne mechanisches Scannen**
11:35 Y. Bernhardt¹, K.-U. Kohn², D. Solodov¹, M. Kreutzbruck¹
¹ IKT, Universität Stuttgart; ² CAE Software und Systems GmbH, Gütersloh

3 **Neuer Prüfansatz – Prüfen von Kurbelwellen von Großmotoren mit FMC/TFM im Vergleich mit einem Phased Array Sektorscan**
11:55 H. Küchler¹, S. Eckert², A. Mäscke²
¹ Olympus Deutschland GmbH, Hamburg; ² Wildauer Schmiede- und Kurbelwellentechnik GmbH, Wildau

4 **Schnelle Phased-Array-Prüfung von dickwandigen, nahtlosen Rohren mit verbesserter Schrägfehlerprüfung**
12:15 W. Deutsch¹, C. Drînciu², G. Bărbulescu², S. Bărbulescu², J. Bolten¹, D. Comuzzi¹, M. Joswig¹, P. Pichard¹, H.R. Rast¹, M. Razeng¹, T. Sayfullaev¹, D. Schaefer¹, S. Steves¹, R. Zeman³
¹ KARL DEUTSCH, Wuppertal; ² TMK ARTROM, Slatina, Rumänien; ³ SOLUȚII CND, Bukarest, Rumänien

- 5 **Bewertung der Ungenauigkeiten bei der Fehlergrößenbestimmung mit
Ultraschall an Rissfeldern in großen Schmiedeteilen**

12:35

A. Jüngert¹, J. Oliver¹

¹ MPA Universität Stuttgart

- 12:55 Mittagspause und virtuelle Ausstellung

SESSION 2 | Materialcharakterisierung

Sitzungsleitung: B.R. Müller, M. Sause

- 6 **Untersuchung der elektromagnetischen Emission beim Bruch spröder
Materialien**

14:00

C.F. Appel¹, M.G.R. Sause¹

¹ Universität Augsburg, Institut für Materials Resource Management, Mechanical Engineering, Augsburg

- 7 **Mikrostruktur- und spannungsunabhängige Materialcharakterisierung in der
Reaktorsicherheitsforschung**

14:20

C. Zimmer¹, S. Youssef¹, Y.N. Rallabandi¹, K. Szielasko¹, C. Eichheimer²,
M. Farajian², M. Luke²

¹ Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; ² Fraunhofer IWM, Freiburg

- 8 **Bestimmung der Faserorientierung von Faserkunststoffverbunden mittels
Terahertzstrahlung**

14:40

W. Essig¹, Y. Bernhardt¹, J. Buckley², M. Kreuzbruck¹

¹ IKT, Universität Stuttgart; ² Level X NDT, Milton Keynes, Großbritannien

SESSION 3 | ZfP im Bauwesen

Sitzungsleitung: E. Niederleithinger

- 9 **Quantifizierung der Unsicherheit für einen dünnbesetzten maschinellen
Lerndatensatz (ML) in der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (NDT-CE)**

15:00

C. Völker¹, P. Benner¹, S. Kruschwitz^{1,2}

¹ BAM, Berlin; ² TU, Berlin

PROGRAMM, MONTAG 10. MAI

- 10** **Automatisierte akustische Prüfung von Tunnelstrukturen mit Hilfe von**
15:20 **Lasersystemen und maschinellem Lernen**
C. Heinze¹, V. Vierhub-Lorenz², K. Weiher¹, C. Werner², M. Geist¹
¹ Fraunhofer IGP, Rostock; ² Fraunhofer IPM, Freiburg
- 11** **Deep Learning und Convolutional Neural Networks in der Zerstörungsfreien**
15:40 **Prüfung von Betonbauteilen**
D. Algernon¹, S. Feistkorn¹, M. Scherrer¹
¹ SVTI, Wallisellen, Schweiz
- 16:00** **Pause**
- 16:15** **Podiumsdiskussion:**
Bröckelnde Bauwerke – Wie erhalten wir unsere Infrastruktur?
Unter der Moderation von Manuela Stamm diskutieren zum Thema:
Christoph Dauberschmidt, Hochschule München
Jochen Kurz, DB Systemtechnik und Vorstand der DGZfP
Ernst Niederleithinger, BAM, Berlin
Christian Sodeikat, Ingenieurbüro Schießl - Gehlen - Sodeikat, München

- 09:00 **Begrüßung mit Ehrung und Vorträgen der Preisträger 2020**
10:20 Pause

SESSION 4 | Verbundwerkstoffe

Sitzungsleitung: H.-G. Herrmann, M. Kreutzbruck

- 12** **Resonanzbasierte Porenerkennung mittels kontaktfreier breitbandiger
10:45 Ultraschallprüfung**
M. Brauns¹, B. Mael¹, N. Panzer¹, B. Fischer¹, M. Dambaur²
¹XARION Laser Acoustics GmbH, Wien, Österreich; ²Airbus Helicopters Deutschland GmbH, Donauwörth
- 13** **„CompoScan“ – ZfP von glasfaserverstärkten Großkomponenten im
11:05 Schienenfahrzeugbau**
M. Kaczmarek¹, M. Müller¹
¹RCS GmbH Rail Components and Systems, Königsbrück
- 14** **Anwendung der shearografischen Dehnungsmessung mit transienter
11:25 Wärmeanregung zur zerstörungsfreien Prüfung für die Detektion von Rissen
in faserverstärktem Kunststoff im Vergleich zur Thermografie**
A.-K. Bömkes¹, C. Petry¹, J. Plaßmann¹, M. Schuth¹
¹Hochschule Trier, Technikum OGKB, Trier
- 15** **Untersuchung von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen mittels
11:45 Hochfrequenz-Wirbelstromprüfung**
S. Joas¹, M. Kreutzbruck¹
¹IKT, Universität Stuttgart
- 12:05 Mittagspause und virtuelle Ausstellung

SESSION 5 | Zustands- und Fertigungsüberwachung

Sitzungsleitung: C. Boller, C. Tschöpe

- 16** **In-situ Monitoring der Additiven Fertigung von Metallen im LPA Prozess
13:15 mittels Optischer Emissionsspektrometrie (OES) und Thermografie (TT)**
N. Scheuschner¹, S.J. Altenburg¹, A. Straße¹, G. Pignatelli¹, C. Maierhofer¹,
I.B. Gornushkin¹, A. Gumenyuk¹
¹BAM, Berlin

PROGRAMM, DIENSTAG 11. MAI

- 17
13:35 **Hard- und Softwarefusion von mehreren akustischen Messmethoden zur Zustandsüberwachung**
F.F. Linscheid¹, M.G.R. Sause¹
¹ Universität Augsburg
- 18
13:55 **Digitale Bestandsaufnahme mittels 3D Realitätserfassungstechnologien in der Bauwerkserhaltung am Beispiel von Parkbauten**
C.S. Tan¹
¹ IFSB GmbH, Barleben
- 14:15 Pause

SESSION 6 | ZfP 4.0/Künstliche Intelligenz

Sitzungsleitung: B. Valeske, J. Vrana

- 19
14:30 **Künstliche Intelligenz in der ZfP - Welchen Beitrag kann KI in der ZfP leisten?**
C. Tschöpe¹, M. Wolff²
¹ Fraunhofer IKTS, Dresden; ² Brandenburgische Technische Universität, Cottbus-Senftenberg
- 20
14:50 **Effizientere Prozesse in der Röntgenprüfung – Schneller und sicherer prüfen mittels KI-Assistenz**
C. Els¹
¹ sentin GmbH, Bochum
- 21
15:10 **Automatische und auf Merkmalerkennung basierende Auswertung von C-Scans bei der bildgebenden Wirbelstromprüfung**
A. Gopalan¹
¹ Rohmann GmbH, Frankenthal
- 22
15:30 **Modernisierte Ultraschallanlage für längsnahtgeschweißte Großrohre und der Weg zu NDE4.0**
M. Cembrowski¹, P. Labud¹, D. Krix¹, O. Nemitz¹, T. Orth¹, T. Schmitte¹,
L. Oesterlein², M. Wadas²
¹ Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg; ² EUROPIPE GmbH, Mülheim an der Ruhr

- 23** **Inlinetauglichkeit von zerstörungsfreien Prüfmethode**
15:50 **n für den digitalen**
Zwilling von thermoplastischen Carbonfaser-Tapes
D. Koster¹, J. Summa¹, C. Jungmann¹, U. Rabe¹, H.-G. Herrmann¹, T. Link²,
M. John³, F. Nagel³, R. Schlimper³, A. Delforouzi⁴, J. Roggenbuck⁴, K. Wolf⁴
¹ Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; ² Fraunhofer ICT, Pfinztal; ³ Fraunhofer IMWS, Halle
(Saale); ⁴ Fraunhofer SCAI, Sankt Augustin
- 16:10 Pause
- 16:25 **Ehrung der Posterpreisträger**
- 16:30 **Prämierung und Vorführung der drei Siegereideos des ZfP-Slams**
- 16:55 **Rückblick, Ausblick und Schlusswort**

Programmausschuss

Anton Erhard, DGZfP, Berlin

Marc Kreuzbruck, IKT, Universität Stuttgart

Jochen Kurz, DGZfP, Berlin

Matthias Purschke, DGZfP, Berlin

Markus Sause, Universität Augsburg

Martin Spies, Baker Hughes – Process & Pipeline Services, Stutensee

Dirk Treppmann, DGZfP, Berlin

Wir danken unseren Sponsoren für die freundliche Unterstützung.

BMB

Gesellschaft für
Materialprüfung mbH

BMB Gesellschaft für
Materialprüfung mbH

 **DEKRA**

DEKRA Incos GmbH

 **DÜRR
N D T**

DÜRR NDT GmbH & Co. KG



EWIS GmbH

IT-Service Leipzig
GmbH 

IT-Service Leipzig GmbH

iwp 

iWP GmbH & Co.KG

KARL DEUTSCH

KARL DEUTSCH Prüf- und
Messgerätebau GmbH + Co KG

 **KOWOTEST**

Kowotest GmbH



Magnaflux GmbH



Olympus Deutschland GmbH



PIBS Planungs- und Ingenieurbüro Swagers



Proceq SA



ROSEN Technology and Research Center GmbH



Waygate Technologies



Wilhelm Nosbüsch GmbH



YXLON International GmbH

Zerstörungsfreie Prüfung an einem Frosch – Denkmalschutz an einer GFK-Leichtbaukonstruktion

[M. Kreuzbruck](#)¹, F. Waentig², C. Bonten¹, J. Rittmann¹, Y. Bernhardt¹, W. Essig¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart; ² Institut für Restaurierungs- und Konservierungswissenschaft, TH Köln

Der Mainzer Erdal-Frosch ist eine der ältesten monumentalen Leuchtreklamen Europas. Seit 1960 strahlt die beliebte Werbeskulptur für jedermann sichtbar auf dem Schlauchturm der Betriebsfeuerwehr der Firma Werner & Mertz in das Mainzer Umland. Die nunmehr 6 Jahrzehnte haben der der freien Bewitterung ausgesetzten, GFK-Konstruktion allerdings erheblich zugesetzt, weshalb seit Beginn dieses Jahres ein Team um Restauratoren und Kunststoffexperten ein Sanierungskonzept erarbeiten, wie die Abtragungen der Schichtdicke sowie die entstandenen Delaminationen wieder in Stand gesetzt werden können. Wir berichten vom Einsatz der aktiven Thermografie, magnetischer Sonden zur Schichtdickenbestimmung, sowie von bildgebenden Ultraschallprüfungen mittels der Total Focusing Method (TFM). Das TFM-Verfahren wurde insbesondere in den Nahtstellen eingesetzt, um die Tiefenlagen und Größen der entstandenen Delaminationen zu detektieren. Die ZfP-Ergebnisse zeigen u. a., dass an einigen Stellen ein Abtrag der Wanddicke von bis zu 50 % zu verzeichnen ist und bilden die Grundlage für das nun folgende Restaurierungskonzept.

Untersuchung und quantitative Bewertung der Leistungsfähigkeit eines neuen Phased-Array-Sensors für die Pipeline-Inspektion

M. Spies¹, O. Müller¹, I. Lachtchouk¹, M. Tschuch¹

¹ Baker Hughes – Process & Pipeline Services, Stutensee

Die Phased-Array-Technik ermöglicht eine flexible Anpassung der Ultraschallprüftechnik an ein breites Spektrum von Prüfaufgaben. Durch ihre Nutzung im Bereich der Pipeline-Inspektion können unterschiedliche Inspektionsarten gleichzeitig ausgeführt werden, so dass Baker Hughes (vormals PII Pipeline Solutions) einen auf der Phased-Array-Technik basierenden Inspektionsmolch entwickelte, der seit mehr als einem Jahrzehnt erfolgreich eingesetzt wird. Um durch die Phased-Array-Technik ermöglichte weitere Prüfmodalitäten optimal nutzen zu können, insbesondere im Hinblick auf die Identifikation unterschiedlicher Defektmorphologien, wurde eine neue Generation von Phased-Array-Sensoren entwickelt.

Im Rahmen von umfangreichen Tests wurde anschließend der mit den auf Basis der Simulationen erarbeiteten Designparameter gefertigte prototypische Sensor unter anderem hinsichtlich seiner Schallfeldeigenschaften untersucht. Ziel der Untersuchungen war die Validierung der Simulationsergebnisse anhand von experimentellen Ergebnissen. Für eine ganze Reihe von unterschiedlichen Ansteuerungsmodi (Schallfeldsteuerung und -fokussierung) wurden Schallfeldprofile im Wasserbad mittels Hydrophon vermessen und den Simulationsergebnissen gegenübergestellt. Zur quantitativen Bewertung wurde ein Akzeptanzkriterium anhand einer Performance Number definiert, die für die jeweiligen Fälle ermittelt wurde.

Wir berichten in diesem Beitrag über den experimentellen Laboraufbau, das zur Validierung gewählte Akzeptanzkriterium und die erzielten Ergebnisse, die die Leistungsfähigkeit des neuen Phased-Array-Sensors belegen.

Bildgebender luftgekoppelter Ultraschall ohne mechanisches Scannen

Y. Bernhardt¹, K.-U. Kohn², D. Solodov¹, M. Kreutzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart; ² CAE Software und Systems GmbH, Gütersloh

Prüfung mit Phased-Array-Prüfköpfen erhöht zum einen die Prüfgeschwindigkeit und zum anderen können durch den Einsatz von Rekonstruktionsverfahren wie SAFT oder TFM Defektgeometrien besser erfasst werden. Obgleich bei luftgekoppeltem Ultraschall standardmäßig noch keine Rekonstruktionsverfahren eingesetzt werden, bieten sich bei der mittels lokaler Defektoresonanz (LDR) induzierten Luftschallerzeugung der Einsatz bildgebender Algorithmen an. Im niederfrequenten Ultraschallbereich (15 kHz bis 200 kHz) lassen sich Schwachstellen in Bauteilen lokal mit ihrer Resonanzfrequenz zum Schwingen anregen. Diese LDR wird in diesem Beitrag mittels Lautsprechern oder Vakuumshakern bei sehr geringem Energieeintrag global angeregt. Die Defekte schwingen aufgrund der Resonanz lokal dann mit einer solch hohen Amplitude, dass wiederum Schallenergie als Punktquelle an die Luft abgegeben wird. Ursprünglich wurden die Schwingungen der Defekte mittels eines scannenden Laservibrometers abgebildet. Es konnte aber im Fortgang gezeigt werden, dass zwecks Kostenreduktion auch das einfache Abrastern des Bauteils mittels Mikrofon zu bildgebenden Defekterfassung führt. Diese Methode ist auch als Resonant Acoustic Emission (RACE) Methode bekannt. Ziel dieser Arbeit ist es, die Prüfzeit zu verringern und die Prüfmethode in ein komplett berührungsloses und bildgebendes Inspektionsverfahren zu überführen. Hierbei kommt ein Array bestehend aus 64 Mikrofonen als akustische Kamera zum Einsatz. Mittels Beamformingalgorithmen lässt sich zum einen die Schallquelle genau lokalisieren sowie prinzipiell die Anregungsschallquelle bei der Detektion ausblenden. Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass mit der modifizierten RACE Methode in Verbindung mit einer vergleichsweise günstigen akustischen Kamera Bauteile schneller und berührungslos geprüft werden können, als dies mit konventionellen Ansätzen möglich ist.

Neuer Prüfansatz – Prüfen von Kurbelwellen von Großmotoren mit FMC/TFM im Vergleich mit einem Phased-Array-Sektorscan

H. KÜCHLER¹, S. ECKERT², A. MÄSCHKE²

¹ Olympus Deutschland GmbH, Hamburg; ² Wildauer Schmiede- und Kurbelwellentechnik GmbH, Wildau

Die Firma Wildauer Schmiede- und Kurbelwellentechnik GmbH stellt Kurbelwellen für Großmotoren her. Diese Motoren treiben Generatoren in Schiffen mit Leistungen über 17.000 kW an. Es handelt sich unter anderem um Viertakt-V-Motoren mit 18 Zylindern. Die Kurbelwellen sind extrem hohen Dauerbelastungen ausgesetzt. Entsprechend genau muss geprüft werden. Neben Oberflächenrissprüfung und Videoskopie von Bohrlöchern für die Schmiermittelzuführung wird der Übergang vom Haupt- zum Pleuellager mit Ultraschall geprüft.

Vor vier Jahren wurde die konventionelle Ultraschallprüfung der Kurbelwellen ergänzt durch die Prüfung mit der Phased-Array-Technik, um die Auffindwahrscheinlichkeit (POD) von Anzeigen zu erhöhen.

Durch die Weiterentwicklung der tragbaren Phased-Array-Ultraschallprüfgeräte ist es möglich, auch in Echtzeit mit der FMC/TFM Methode zu prüfen. Diese Technologie bietet den Vorteil, dass Anzeigen ortstreuer und genauer detektiert werden können. Die Nachweisgrenze kleiner Anzeigen wird erhöht.

In diesem Vortrag wird untersucht, inwieweit die Prüfung mittels Phased-Array-Sektorscan durch die FMC/TFM-Methode ergänzt werden kann, um Anzeigen in der Kurbelwelle besser zu charakterisieren. Es wird untersucht, welcher Prüfkopf und welcher Vorlaufkeil die Aufgaben dieses neuen Prüfansatzes am besten abdecken.

Ziel ist es, die Qualität in der Produktion zu erhöhen.

Schnelle Phased-Array-Prüfung von dickwandigen, nahtlosen Rohren mit verbesserter Schrägfehlerprüfung

W. Deutsch¹, C. Drînciu², G. Bărbulescu², S. Bărbulescu², J. Bolten¹, D. Comuzzi¹, M. Joswig¹, P. Pichard¹, H.R. Rast¹, M. Razeng¹, T. Sayfullaev¹, D. Schaefers¹, S. Steves¹, R. Zeman³

¹ KARL DEUTSCH, Wuppertal; ² TMK ARTROM, Slatina, Rumänien; ³ SOLUȚII CND, Bukarest, Rumänien

Bei der Herstellung vergüteter, dickwandiger Rohre können Inhomogenitäten in jeder Orientierung entstehen. Deshalb müssen bei der Ultraschallprüfung dieser Rohre neben Längs- und Querfehlern auch schrägliegende Fehler detektierbar sein.

In diesem Beitrag wird eine erweiterte Phased-Array-Technik vorgestellt, bei der die Schallbündel so geschwenkt werden, dass auch Schrägfehler bis $\pm 75^\circ$ an standard- und dickwandigen Stahlrohren nachgewiesen werden können. Es wird eine Prüfbrücke mit schraubenförmigen Prüfspuren beschrieben, bei der sich das Rohr dreht und die Prüfköpfe linear verfahren werden.

Die Prüfanlage ist für den Nachweis von Längs-, Quer- und Schrägfehlern, Dopplungen und zur Wanddickenmessung ausgelegt. Dafür werden hochempfindliche Phased-Array-Prüfköpfe in mehreren Prüfkopf-Clustern verwendet.

Hervorragende Testergebnisse mit hoher Empfindlichkeit und zuverlässigem Signal-Rausch-Verhältnis konnten erzielt werden. Darüber hinaus ist bei dickwandigen Rohren die Optimierung der Einschallwinkel und ggf. der Einsatz von modenkonvertierten Wellen zur Erkennung von Innen- und Außenfehlern unerlässlich.

Es kommen mehrere parallele PAUT-Elektronikmodule zum Einsatz. Eine hohe Prüfgeschwindigkeit mit parallelen Schussfolgen und mehreren parallelen Berechnungen im Empfangsmodus sind wichtige Merkmale. Daher können hohe Empfindlichkeit, Wiederholbarkeit und Produktivität für den gesamten Durchmesser- und Wanddickenbereich der Rohre gewährleistet werden.

Bewertung der Ungenauigkeiten bei der Fehlergrößenbestimmung mit Ultraschall an Rissfeldern in großen Schmiedeteilen

A. Jüngert¹, J. Oliver¹

¹ MPA Universität Stuttgart

Bei der Herstellung großer Schmiedekomponenten können sich bei unsachgemäßer Verarbeitung oder ungünstiger chemischer Zusammensetzung der Schmelze Risse, z. B. in Form von wasserstoffinduzierten Rissbildungen (sog. Wasserstofflockenrisse), bilden. Derartige Rissbildungen wurden 2012 in den belgischen Kernkraftwerk Doel 3 und Tihange 2 bei einer Ultraschallprüfung in der drucktragenden Wand der Reaktordruckbehälter (RDB) entdeckt. Dabei handelte es sich um zahlreiche, quasi-laminar über den gesamten Umfang angeordnete, rissartige Anzeigen, die dann mit Ultraschallverfahren vermessen und kartiert wurden.

Zur genaueren Untersuchung und zur Bewertung derartiger Rissfelder werden die Risslagen und -ausdehnungen mithilfe von Ultraschallprüfungen bestimmt. Wird zur Bestimmung der Ausdehnungen der 6dB-Amplitudenabfall verwendet, führt das zu einer Überschätzung der Rissausdehnung, sofern die Rissausdehnung kleiner ist als die Schallbündelbreite des verwendeten Ultraschallprüfkopfs ist. Die Schallbündelbreite ist bekanntermaßen abhängig vom Schwingerdurchmesser, von der Prüfkopffrequenz und von der Entfernung. Bei dickwandigen Schmiedeteilen und Fehlstellen in größerer Tiefe ist die Schallbündelbreite nicht mehr zu vernachlässigen.

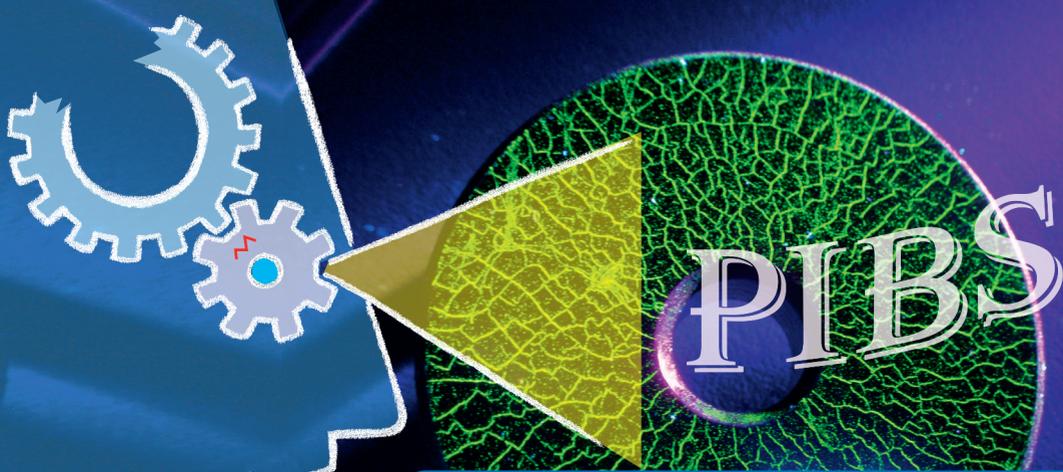
An einem Testkörper mit einem Wasserstofflockenrissfeld wurden vergleichende Untersuchungen mit einem Senkrechtprüfkopf und mit Matrix-Array-Prüfköpfen durchgeführt, die eine gezielte Fokussierung des Schallbündels ermöglichen. Außerdem wurde beispielhaft TFM eingesetzt und Simulationen der jeweiligen Schallfelder mit CIVA berechnet. Ziel der Untersuchungen war es, herauszufinden, ob der Einsatz von Array-Prüfköpfen mit Fokussierung in die Fehlerebene einen entscheidenden Vorteil bei der Bewertung der Fehlerausdehnung liefert und die Berechnung POD-Kurven ermöglicht.

Untersuchung der elektromagnetischen Emission beim Bruch spröder Materialien

C.F. Appel¹, M.G.R. Sause¹

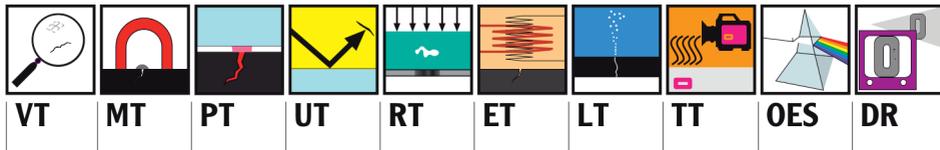
¹ Universität Augsburg, Institut für Materials Resource Management, Mechanical Engineering, Augsburg

Das Phänomen der elektromagnetischen Emission (EME) beim Bruchversagen von Materialien war ursprünglich wegen seiner vielversprechenden Anwendung in der Geologie als Frühwarnsystem für Erdbeben in den Fokus der Forschung gerückt und wurde inzwischen in vielen theoretischen und experimentellen Studien untersucht. Nichtsdestotrotz ist die Analyse der EME eine noch weitgehend unbekannte zerstörungsfreie Prüfmethode. Aufgrund der Vielfalt der in der Literatur verfolgten experimentellen Ansätze bei der Untersuchung des Phänomens an bestimmten Materialien haben wir begonnen, mit einheitlichen SENB (Single-Edge-Notched Bend) Probengeometrien und einer definierten Sensorik ein breites Spektrum an unterschiedlichen Materialien systematisch im Drei-Punkt-Biegeversuch mit begleitender EME-Messung zu untersuchen. Diese Experimente lassen keinen Zweifel daran, dass EME beim Bruch aller Werkstoffe auftritt, solange es sich um ein spontanes Bruchereignis ohne übermäßige plastische Verformung handelt. Im Gegensatz zu gängigen EME-Modellbeschreibungen der Literatur wurde das Phänomen sogar bei elektrisch hochleitfähigen Materialien beobachtet. Diese Universalität zeigt das enorme Potenzial als neue zerstörungsfreie Prüfmethode, die komplementär zur Schallemission (SE) eingesetzt werden kann, um in Zukunft die Vorteile beider Methoden zu kombinieren. Hier liegt die Hoffnung auf der Möglichkeit zur Unterscheidung von Bruchereignissen und Ruckgleiten. Unsere Forschung konzentriert sich derzeit einerseits auf die Entwicklung eines praxistauglichen Sensorkonzepts und andererseits auf die Nutzung der Informationen aus der EME-Signalanalyse. Dazu gehören Parameter der mikroskopischen Bruchdynamik wie die Risswachstumsgeschwindigkeit, sowie die angenommene Korrelation zwischen resultierender Bruchflächengröße und Amplitude des elektromagnetischen Signals. In diesem Beitrag wollen wir einen Überblick über die bisher im Rahmen unseres Forschungsprojekts gewonnenen Ergebnisse geben.



**Ihr Partner für ZfP-Ausbildung
und Qualitätssicherung
Anerkannte Ausbildungsstätte der DGZfP**

Ausbildung nach DIN EN ISO 9712 Stufen 1 und 2 sowie Prüfwerk



In-Haus-Schulung
Modulare Ausbildung
An Ihren Prüfsystemen
Intensive Gruppenarbeit
Erfolgsorientierte Schulung
Technische Beratung
Qualitätssicherung
Rezertifizierungsprüfungen
Sonderverfahren,
z.B. Optische-Emissions-
Spektralanalyse, Filmaus-
wertung, Härteprüfung

PIBS

**Sprechen Sie
uns an!**

02445 5465

Malmedyer Str. 5
53937 Schleiden
Tel.: 02445 5465
Fax: 02445 8111
www.pibs.de
info@pibs.de

Mikrostruktur- und spannungsunabhängige Materialcharakterisierung in der Reaktorsicherheitsforschung

C. Zimmer¹, S. Youssef¹, Y.N. Rallabandi¹, K. Szielasko¹, C. Eichheimer², M. Farajian², M. Luke²

¹ Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; ² Fraunhofer IWM, Freiburg

Auch unter den mit dem deutschen Ausstieg aus der Kernenergie verbundenen Rahmenbedingungen gelten für den Betrieb von Kernkraftwerken weiterhin höchste Sicherheitsanforderungen. Im Rahmen eines Förderprogramms des BMWi zur Reaktorsicherheitsforschung soll ein signifikanter Beitrag zum sicheren Betrieb von Reaktorsicherheitsanlagen in der Restlaufzeit und ggf. darüber hinaus geleistet werden. Das zerstörungsfreie 3MA-Prüfsystem hat diesbezüglich bereits einen erheblichen Beitrag zum Verständnis unterschiedlicher Alterungsmechanismen von Komponentenwerkstoffen und deren Charakterisierung geleistet. Die Grundlage dieses Prüfverfahrens beruht auf der Tatsache, dass Mikrostruktur und Last- bzw. Eigenspannungen sowohl das mechanische als auch das magnetische Werkstoffverhalten bestimmen. Die Korrelation von Kenngrößen des magnetischen und mechanischen Werkstoffverhaltens erlaubt die mikromagnetische Vorhersage mechanischer Eigenschaften sowie des Spannungszustandes, die entscheidend die Lebensdauer beeinflussen können.

Eine Herausforderung insbesondere unter Praxisbedingungen besteht in der Überlagerung von Mikrostruktur- und Spannungseinflüssen, welche zu Mehrdeutigkeiten in den mikromagnetischen Kenngrößen führen und in der Folge die Vorhersagequalität deutlich verschlechtern. Die Anwendung in der Praxis setzt jedoch eine wirtschaftliche Lösung zur Reduzierung dieser Störeinflüsse voraus. Im Rahmen dieses Vorhabens wird das 3MA-Prüfverfahren speziell für die in der Reaktorsicherheit relevanten Bedingungen, wie beispielsweise überlagerte Mikrostruktur- und Spannungseinflüsse, weiterentwickelt. Untersuchungen, die sich mit der Erweiterung der Merkmalsextraktion und Methoden des maschinellen Lernens befassen, führen hierbei zu einer genaueren Unterscheidung zwischen mikrostrukturellen und spannungsabhängigen Einflüssen.

Bestimmung der Faserorientierung von Faserkunststoffverbunden mittels Terahertzstrahlung

W. Essig¹, Y. Bernhardt¹, J. Buckley², M. Kreutzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart; ² Level X NDT, Milton Keynes, Großbritannien

Im Gegensatz zur Röntgenstrahlung ist die Terahertzstrahlung nicht ionisierend, bietet allerdings ähnlich der Röntgenstrahlung den Vorteil, dass für diesen Bereich des elektromagnetischen Spektrums hohe Eindringtiefen in Kunststoffen erzielt werden können. Dies ermöglicht eine Untersuchung des Bauteilvolumens. Die Terahertzprüfung erfordert im Gegensatz zur Röntgenprüfung allerdings keine aufwändigen Arbeitsschutzmaßnahmen und entgegen der konventionellen Ultraschallprüfung keinen Kontakt zum Prüfkörper sowie kein Koppelmedium. Für den Bereich der zerstörungsfreien Prüfung von elektrisch nicht leitfähigen Kunststoffen bietet sie damit ein hohes Anwendungspotenzial.

In diesem Beitrag soll die Terahertzprüfung zur Faserorientierungsbestimmung von glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK) eingesetzt werden. Dies wird an langglasfaserverstärkten Kunststoffen mit Epoxidharzmatrix demonstriert. Weiterhin soll gezeigt werden, dass sich Terahertzstrahlung auch eignet, um Faserorientierungen von elektrisch leitfähigen kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen zu ermitteln, wenn es sich dabei um vergleichsweise dünne Tapes handelt.

Somit könnte sich die Terahertzprüfung auch für die inline-Faserorientierungsbestimmung in der Pultrusion unidirektional kohlenstofffaserverstärkter Tapes eignen.

Quantifizierung der Unsicherheit für einen dünnbesetzten maschinellen Lerndatensatz (ML) in der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (NDT-CE)

C. Völker¹, P. Benner¹, S. Kruschwitz^{1,2}

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² TU Berlin

Das maschinelle Lernen (ML) wurde erfolgreich zur Lösung vieler Aufgaben in der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau) eingesetzt. Allerdings ist die Erstellung von Referenzdaten in den meisten Fällen extrem teuer und daher viel knapper als in anderen Forschungsbereichen. Auch decken die verfügbaren Daten mitunter nur ein einziges Szenario ab, so dass die Leistungsindikatoren oft nicht die tatsächliche Leistung des ML-Modells in der praktischen Anwendung widerspiegeln. Schätzungen, die die Übertragbarkeit von einem Szenario auf ein anderes quantifizieren, sind erforderlich, um dieser Herausforderung gerecht zu werden und den Weg für Anwendungen in der Praxis zu ebnen.

In diesem Beitrag stellen wir Werkzeuge zur Beschreibung der Unsicherheit von ML in neuen ZfPBau-Szenarien vor. Zu diesem Zweck haben wir einen bestehenden Trainingsdatensatz zur Klassifizierung von Korrosionsschäden der Bewehrung in Beton um eine neue Fallstudie erweitert. Die Messungen wurden an großflächigen Betonproben mit eingebauter chloridinduzierter Korrosion des Bewehrungsstahls durchgeführt. Das Experiment simulierte den gesamten Lebenszyklus von chloridinduzierten Sichtbetonbauteilen im Labor. Unser Datensatz umfasst Potenzialfeld- und Radarmessungen. Die einzigartige Fähigkeit, die Schädigung zu überwachen und eine gezielte Korrosion einzuleiten, ermöglicht es, die Daten zu labeln - was für die Konstruktion von ML-Modellen entscheidend ist. Um die Übertragbarkeit zu untersuchen, erweitern wir unser Modell um Metadaten – wie etwa Konstruktionsmerkmale des Prüfkörpers und Umweltbedingungen. Dies erlaubt es, die Veränderung dieser Merkmale in neuen Szenarien mit statistischen Methoden als Unsicherheiten auszudrücken. Wir vergleichen verschiedene auf Stichproben und statistischer Verteilung basierende Ansätze und zeigen, wie diese Methoden eingesetzt werden können, um Wissenslücken von ML-Modellen in der ZfP zu schließen.



Sichern Sie
sich Ihre
kostenlose
Vorführung

Ultraschallprüfgerät
Proceq UT8000

Einzigartige Flexibilität und Rückverfolgbarkeit



- Modularer Aufbau und separates Touchscreen für den Einsatz an schwer zugänglichen Prüfstellen bieten höchste Portabilität
- 400 Volt Sendespannung stehen für schwer zu beschallende Werkstoffe zur Verfügung
- Nie wieder Datenverlust. Das benutzerfreundliche und mit drahtloser Datenübertragung ausgestattete Proceq UT8000 arbeitet in Echtzeit - Datenanalyse und Weitergabe an Kollegen direkt vor Ort

...bietet auch alle konventionellen Betriebsarten, einfach zu generierende und zu speichernde Prüfparametersätze, Rückspulen von gescannten Prüfbereichen und vieles mehr...



Proceq SA
T +41 43 355 38 00
info-europe@screeningeagle.com

Automatisierte akustische Prüfung von Tunnelstrukturen mit Hilfe von Lasersystemen und maschinellem Lernen

C. Heinze¹, V. Vierhub-Lorenz², K. Weiher¹, C. Werner², M. Geist¹

¹ Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP, Rostock;

² Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg

Zur Wahrung der Stand- und Verkehrssicherheit von Tunnelbauwerken müssen sowohl bei der Abnahme als auch bei der wiederkehrenden Inspektion Fehlstellen im Inneren der tragenden Struktur detektiert werden. Stand der Technik ist hierbei das manuelle Abklopfen der Tunnelwand unter großem personellem Aufwand. Das Forschungsprojekt LaserBeat verfolgt das Ziel, diesen Vorgang zu automatisieren und damit den Prüfvorgang wesentlich zu beschleunigen und zu objektivieren.

Voraussetzung für eine effiziente Automatisierung ist eine schnelle und großflächige Abtastung der Tunnelwände. Dies wird durch den Einsatz von Lasersystemen sichergestellt, die eine kontaktlose Prüfung ermöglichen. Zur Anregung wird ein Puls-Laser verwendet, der durch einen stark lokalisierten Energieeintrag mechanische Wellen in der Tunnelwand erzeugt, während ein speziell für diese Anwendung entwickeltes Laservibrometer die Oberflächenschwingung erfasst. Die Schadenserkenkung erfolgt auf Basis von maschinellem Lernen unter der Anforderung, dass das System auch bei wechselnden Bauweisen, Strukturalter und Grundmaterialien zuverlässig Fehlstellen identifizieren kann. Durch die Clusteranalyse als unüberwachtes Lernverfahren ist es möglich Fehlstellen zu erkennen, ohne dass zuvor eine aufwändige Lernphase oder eine große Anzahl an klassifizierten Referenzdaten nötig sind.

Zugang zu Tunnelbauwerken für die Erfassung von Messdaten und die Anforderungsevaluation wurde durch die freundliche Unterstützung der DB Netz AG und der Amberg Technologies AG ermöglicht. Untersuchungen an Betonstrukturen zeigen bereits zum aktuellen Projektstand gute Erkennungsraten. Aktuell wird das System auf diesen Werkstoff ausgelegt, zukünftig ist jedoch mit Anpassungen auch eine Anwendung bei Mauerwerk aus Natursteinen und künstlichen Steinen vorgesehen.

Deep Learning und Convolutional Neural Networks in der Zerstörungsfreien Prüfung von Betonbauteilen

[D. Algernon](#)¹, S. Feistkorn¹, M. Scherrer¹

¹ SVTI Schweizerischer Verein für technische Inspektionen, Wallisellen, Schweiz

Aktuelle Fortschritte in der Machine-Learning-Technologie erscheinen vielversprechend für den Einsatz in der Zerstörungsfreien Prüfung. Insbesondere besitzen Convolutional Neural Networks (CNNs), welche derzeitig einen Leistungsstandard in der automatischen Bilderkennung darstellen, sowohl für Klassifizierungs- als auch für Regressionsaufgaben in der zerstörungsfreien Prüfung ein hohes Potenzial. Dieses wird demonstriert anhand von Prüfaufgaben und Problemstellungen bei der Untersuchung von Betonbauteilen mit den Verfahren Impact-Echo und Ultraschall. Insbesondere betrifft dies Detektionsaufgaben wie die Ortung von Delaminationen, Porositäten oder Hüllrohren, die Beurteilung der Datenqualität und Identifizierung von Fehlsignalen bis hin zur Materialcharakterisierung. Die Ansätze sind in einem Softwaretool ECHOLYST implementiert, welches Praktikern die Technologie zugänglich macht und so eine rasch wachsende Datenbasis ermöglicht. Die erzielten Ergebnisse werden mit denen des Shallow Learnings, d. h. auf Basis zuvor extrahierter Features arbeitender Machine-Learning-Ansätze wie den Kernelized Support Vector Machines (SVM), verglichen und diskutiert.

Resonanzbasierte Porenerkennung mittels kontaktfreier breitbandiger Ultraschallprüfung

M. Brauns¹, B. Mauel¹, N. Panzer¹, B. Fischer¹, M. Dambaur²

¹XARION Laser Acoustics GmbH, Wien, Österreich; ²Airbus Helicopters Deutschland GmbH, Donauwörth

Bei der Ultraschallprüfung werden heute zur Impedanzanpassung flüssige Koppelmittel eingesetzt, um eine hohe Frequenz-Bandbreite und räumliche Auflösung zu erreichen. Allerdings ist der Kontakt des Bauteils mit flüssigen Koppelmitteln häufig nicht wünschenswert oder sogar unmöglich. Im Gegensatz dazu stellt konventionelle Laser-Ultraschallprüfung eine kontaktfreie Alternative dar, ist aber sehr abhängig von Reflektivität und Rauheit der Probenoberfläche.

Wir stellen eine neuartige, laserbasierte Ultraschall-Prüfmethode vor, die unabhängig von Oberflächeneigenschaften wie Reflektivität und Rauheit funktioniert. Ähnlich wie beim konventionellen Laser-Ultraschall erzeugt ein kurzer Laserpuls eine breitbandige Ultraschall-Schockwelle. Ein optisches Mikrofon detektiert die in die Luft abgestrahlte Ultraschallwelle mit Hilfe von Laser-Interferometrie. Dieses akinetische Funktionsprinzip (der Sensor besitzt keine beweglichen Teile) führt zu einer sehr hohen Detektionsbandbreite. Anregungslaser und optisches Mikrofon sind faserggekoppelt, was eine einfache Systemintegration ermöglicht. Für noch höhere Scangeschwindigkeiten, kann das optische Mikrofon als Array konfiguriert werden.

In diesem Beitrag präsentieren wir kontaktfreie Messungen an Bauteilen für Hubschrauber, die aus monolithischem Kohlefaserverbundwerkstoff (CFK) bestehen. Die Bauteile weisen Bereiche unterschiedlicher Porosität auf. Poren im Material führen zu einem Resonanzverhalten und so zu Signalverstärkung bei bestimmten Frequenzen und können erkannt werden, indem nach der Messung Frequenzfilter auf die A-Scans an jedem Messpunkt angewendet werden. Die Detektion dieser Poren-Resonanzen wird durch die breitbandige Anregung und Detektion des Ultraschalls ermöglicht. Porosität im Material kann so kontaktfrei mit hohem Signal-Rausch-Verhältnis in Durchschallung und einseitig detektiert werden, was die vorgestellte Ultraschall-Methode sehr interessant für industrielle Bauteilprüfung in der Luftfahrt macht. Im Gegensatz zur herkömmlichen, auf Absorptionsmessung basierender Poren-Zonen-Detektion können beim vorgestellten Verfahren einzelne Poren und deren Größe detektiert werden.

„CompoScan“ – ZfP von glasfaserverstärkten Großkomponenten im Schienenfahrzeugbau

M. Kaczmarek¹, M. Müller¹

¹ RCS GmbH Rail Components and Systems, Königsbrück

Großformatige Komponenten, wie die Frontverkleidungen eines Schienenfahrzeuges, sind geprägt von individuellen Designanforderungen mit anspruchsvollen Freiformflächen. Solche Komponenten werden aus Faserkunststoffverbunden (FKV), in der Regel aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK), hergestellt. Die Verwendung von FKV bietet im Vergleich zu konventionellen metallischen Werkstoffen Vorteile wie:

- Funktionsintegration,
- Designfreiheit,
- Massereduzierungen,
- verbesserte spezifische Materialeigenschaften,
- Fertigung in geringen Losgrößen.

Typische GFK-Anwendungen finden sich in Innen- und Außenverkleidungen sowie in Baugruppen, wie Führerpulte und Bordtoiletten. Trotz der opaken Charakteristik für GFK-Aufbauten selbst, sind aufgrund des Anstrichs mit Schutz- und Lackschichten die konventionellen visuellen Überprüfungen in ihrer Aussagefähigkeit erheblich limitiert. So sind keine tiefergehenden, reproduzierbaren Prozesse für die Qualitätssicherung der Komponenten sowie zur Zustandsüberwachung und Schadenseingrenzung vorhanden.

In einem umfangreichen Versuchsprogramm wurde die aktive Thermographie als geeignetes ZfP-Verfahren bei der RCS GmbH identifiziert. In dieser Untersuchung wurden unterschiedliche Composite-Aufbauten und beispielhafte Fehlstellen in einem industriellen Umfeld vergleichend bewertet. Die Ergebnisse der langjährigen Entwicklungstätigkeiten münden in die Anwendung „CompoScan“. Mit Hilfe dieser mobilen Teleskop-Prüfeinheit ist es nun möglich, etwaige Schäden oder Defekte an GFK-Großkomponenten zu lokalisieren und einzugrenzen. Dabei ist besonders hervorzuheben, dass für die Inspektion die betreffenden Komponenten nicht vom Wagenkasten des Schienenfahrzeugs demontiert werden müssen. Diese zügige und reproduzierbare Strukturanalyse wird mit dem Spezialwissen zum Aufbau und der Herstellung von Composite-Bauteilen ergänzt. Die abgeleiteten Maßnahmen sind zielorientiert und stellen langfristige Lösungen für unterschiedliche Problem- oder Fragestellungen dar. Somit werden im Vergleich zu den konventionellen Prozessen der Qualitätssicherung oder der Ersatzteilbeschaffung erhebliche Zeit- und Kostenersparnisse generiert – auf Basis fundierter, dokumentierter und reproduzierbarer Prüfergebnisse.

Anwendung der shearografischen Dehnungsmessung mit transientser Wärmeregung zur zerstörungsfreien Prüfung für die Detektion von Rissen in faserverstärktem Kunststoff im Vergleich zur Thermografie

A.-K. Bömkes¹, C. Petry¹, J. Plasmann¹, M. Schuth¹

¹ Hochschule Trier, Technikum OGKB, Trier

Ein Wachstum der Luftfahrtindustrie wäre ohne den Fortschritt im Leichtbau nicht denkbar. Damit gehen moderne zerstörungsfreie Prüfverfahren einher, welche die Betriebssicherheit von Flugzeugen gewährleisten. Die Entwicklung neuer Leichtbaukonstruktionen erfordert zunehmend komplexere Bauteile, wodurch die Anforderungen an die zerstörungsfreien Prüfverfahren steigen. Die optische Messtechnik bietet hierbei den entscheidenden Vorteil der berührungslosen, schnellen und flächendeckenden Fehlstellendetektion. Zudem arbeiten sie materialunabhängig, was sie für die Prüfung moderner Werkstoffkomposite prädestiniert.

Dennoch existieren Fehlerarten, die nur schwer auffindbar sind. Risse sind beispielsweise erst ab einem bestimmten Ausmaß mittels ZfP auffindbar. Sie wachsen exponentiell, was das Risiko eines Bruchs gefährlich macht. Sofern nicht bereits ein Aufklaffen vorliegt, sind Risse unter visueller, thermografischer und computertomografischer Betrachtung unsichtbar. Daher werden oftmals aufwändige Prüfungen wie das Farbeindringverfahren durchgeführt.

Hingegen misst die Shearografie das Dehnungsverhalten einer Oberfläche unter einer Belastung. Dabei ist insbesondere die Ausrichtung des Shears zur Ausbreitungsrichtung einer Fehlstelle dafür verantwortlich, ob diese entdeckt wird. Da die Ausbreitungsrichtung in der Praxis unbekannt ist, wird in diesem Paper ein Dual-shear Versuchsaufbau mit transienter Objektbelastung diskutiert. Mittels FEM-Simulation und Digital Image Correlation wird gezeigt, dass sich Risse bevorzugt durch Anomalien im in-plane Dehnungsverhalten bemerkbar machen. In der praktischen Anwendung liefern die einfacher messbaren out-of-plane Anteile ebenfalls vielversprechende Ergebnisse. Der Sachverhalt wird für rissbehaftete Zugproben sowie anhand eines praktischen Beispiels im Vergleich zur aktiven Thermografie erörtert und die Einsatztauglichkeit der Dual-shear Methode aufgezeigt.

Untersuchung von kohlenstoffaserverstärkten Kunststoffen mittels Hochfrequenz-Wirbelstromprüfung

[S. Joas](#)¹, M. Kreuzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

Als Nachteil des Wirbelstromverfahrens wird meist die Beschränkung auf die Prüfung von Werkstoffen mit hoher elektrischer Leitfähigkeit angeführt. Dennoch konnte bereits gezeigt werden, dass auch gering elektrisch leitfähige Werkstoffe, wie beispielsweise kohlenstoffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) zufriedenstellend, und sogar Nichtleiter unter bestimmten Voraussetzungen mittels Wirbelstromprüfung untersucht werden können. Dieser Beitrag stellt die zugrundeliegenden physikalischen Phänomene dar und beschreibt die Ausbreitung von Wirbelströmen in Nichtleitern und CFK auf Basis von analytischen Berechnungen und FEM-Simulationen. Der Einfluss von Leitungs- und Verschiebungsströmen wird dabei in Abhängigkeit von der Frequenz auf Faser-Matrix-Ebene untersucht. Dies ermöglicht eine Quantifizierung des Einflusses von Verschiebungsströmen unter Berücksichtigung der in CFK vorhandenen kapazitiven Strukturen. Weiterhin wird die Eindringtiefe von Verschiebungsströmen in Nichtleitern ermittelt. Unter Verwendung eines auf 30 MHz Anregungsfrequenz erweiterten PL600 (Rohmann GmbH, Frankenthal) wird experimentell gezeigt, dass lokale Permittivitätsunterschiede selbst bei vergleichsweise geringen Frequenzen im niedrigen Megahertz-Bereich mittels Wirbelstromprüfung nachgewiesen werden können. Das Potenzial des Systems für die Prüfung von Leichtbauwerkstoffen wird abschließend anhand von CFK-Prüfkörpern mit Referenzdefekten demonstriert.

In-situ Monitoring der Additiven Fertigung von Metallen im LPA Prozess mittels Optischer Emissionsspektrometrie (OES) und Thermografie (TT)

[N. Scheuschner](#)¹, S.J. Altenburg¹, A. StraÙe¹, G. Pignatelli¹, C. Maierhofer¹,
I.B. Gornushkin¹, A. Gumenyuk¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Einer der aussichtsreichsten Ansätze, die Qualität und Sicherheit der gefertigten Teile in der metallbasierten additiven Fertigung (AM) zu erhöhen und die Notwendigkeit aufwändiger und zeitintensiver, zerstörender oder zerstörungsfreier Prüfungen (ZfP) nach der Fertigung zu verringern, liegt in dem Einsatz von in-situ Prozessüberwachungstechniken. Viele wichtige Prozessgrößen bei der additiven Fertigung sind thermischer Natur, wie z. B. die Temperatur des Schmelzbad. Aufgrund der Zugänglichkeit zum Werkstück während des Bauprozesses bieten sich optische Verfahren zur Temperaturbestimmung an. Für die Thermografie und Optische Emissionsspektrometrie im IR-Bereich, welche für die in-situ Anwendung prinzipiell als geeignet angesehen werden können, gibt es allerdings noch wenig konkrete praktische Umsetzungen, da die Möglichkeiten und individuellen Grenzen dieser Methoden, angewendet auf AM, noch nicht ausreichend erforscht sind. Aus diesem Grund verfolgt die BAM mit dem Projekt Process Monitoring of AM (ProMoAM) im Themenfeld Material das Ziel, Verfahren des Prozessmonitorings zur in-situ Bewertung der Qualität additiv gefertigter Metallbauteile weiterzuentwickeln.

Im Beitrag wird der Fokus auf eine Versuchsserie gelegt, bei der Aufbau von Probekörpern aus dem austenitischen Edelstahl 316L mittels Laser-Pulver-Auftragschweißen (LPA) durch oder mit Hilfe von IR-Spektrometrie und Thermografie in-situ überwacht wurde. Hierbei stellen u. a. die hohe Bandbreite der zu messenden Temperaturen, die Bestimmung der Emissivität und ihre Änderung bei Phasenübergängen des Metalls große experimentelle Herausforderungen dar, wobei jede Methode individuelle Vor- und Nachteile aufweist, welche verglichen werden.

Hard- und Softwarefusion von mehreren akustischen Messmethoden zur Zustandsüberwachung

F.F. Linscheid¹, M.G.R. Sause¹

¹ Universität Augsburg

Eine zuverlässige Zustandsüberwachung von Strukturen aus Verbundwerkstoffen in Industrieanlagen profitiert von einer Kombination mehrerer akustischer Methoden, um ein vollständigeres Bild der Struktur und möglicher Defekte zu erhalten. Neben der Schallemission erscheint eine Kombination aus Modalanalyse, Körperschallanalyse und einer Prüfung mit geführten Wellen vorteilhaft. Alle diese Verfahren basieren auf der Ausbreitung von (Ultra-) Schallwellen durch die Struktur. Bisher erfordern alle Methoden jedoch eine jeweils spezialisierte Hard- und Software. Dass eine Ergänzung der Schallemission mit anderen akustischen Messverfahren relativ selten angewendet wird, könnte an der Notwendigkeit für gleich mehrere unterschiedliche Messsysteme und Sensoren liegen. Um die Kombination dieser Methoden zu erleichtern, wurde daher ein kostengünstiger Sensor aus einer Piezokeramikscheibe und integriertem Vorverstärker entwickelt. Die Sensorkomponenten wurden so ausgewählt, dass sie eine zufriedenstellende Empfindlichkeit für alle vier Arten von Messmethoden aufweisen und damit die Einsatzmöglichkeiten des Sensors erweitern. Die geringen Materialkosten könnten somit die Implementierung eines SHM-Systems mit deutlich verringertem Kostenaufwand ermöglichen. Neben der Hardware befindet sich auch ein begleitendes MATLAB®-basiertes Softwarepaket in der Entwicklung, das die Evaluierung der verschiedenen Methoden auf der Basis eines einheitlichen Datenstroms ermöglichen wird. Ziel ist es, ein Netzwerk von baugleichen Sensoren aufzubauen, deren Signale dann von der Software nach der jeweiligen Methode ausgewertet werden. Ausgewählte Beispiele für diese Methoden werden vorgestellt, um die Fähigkeiten unseres Ansatzes zu demonstrieren.

Digitale Bestandsaufnahme mittels 3D-Realitätserfassungstechnologien in der Bauwerkserhaltung am Beispiel von Parkbauten

C.S. Tan¹

¹ IFSB GmbH, Barleben

Zusammen mit Fachleuten verschiedener Kompetenzbereiche aus dem Bausektor (Bauinstandhaltung, -sanierung und Ingenieurbau) wurde ein innovatives, interdisziplinäres 3D Bauwerksaufnahmeverfahren zur Erzeugung und Erhebung von umfangreichen Bauwerksinformationen entwickelt. Basierend auf den erhobenen Daten und Informationen können nachhaltige digitale Planunterlagen erstellt werden und somit fundiertere Einzelfallentscheidungen im Bereich IST-Zustandsfeststellung und Schadensbewertung unterstützt werden.

Die digitale Bauwerks- und Schadensaufnahme besteht aus einem mehrdimensionalen 3D-Aufnahmeverfahren. Kernstück des Aufnahmeverfahrens ist das ACD-Verfahren zur automatisierten Erfassung von Betonrissen in Bodenflächen.

Dieses Verfahren zur digitalen Rissanalyse liefert eine hohe Analysegenauigkeit und macht ein exaktes und zuverlässiges Monitoring zu Abschätzung des künftigen Schadensverlaufes möglich, wodurch Präventivmaßnahmen zur Vermeidung größerer Schäden rechtzeitig veranlasst werden können.

Die aufgenommenen und verarbeitenden Ergebnisdaten (Risskonturen und -eigenschaften) werden in neue Bestandspläne (AS-BUILT) übertragen, wodurch eine eindeutige Schadenslokalisierung (vor Ort) gewährleistet werden kann.

Ergänzt durch ein weiteres 3D-Aufnahmeverfahren durch das die Gebäudekubatur dreidimensional kartografiert und mit hochauflösenden Fotos dokumentiert wird, werden exakte Grundrisse erzeugt. Aus dem 3D-Gebäudeaufmaß lassen sich zudem noch weitere Übersichtspläne ableiten, die zur weiteren Steigerung der Planungssicherheit führen können.

Die Kombination aus automatisierter Rissdetektion in Bodenflächen und einer begleitenden 3D-Foto-Dokumentation des Bestandsobjektes bietet eine neue digitale Planungsgrundlage für das Sachverständigenwesen. Dieses neuartige Verfahren ist ein technisches Werkzeug, entwickelt zur Ergänzung der klassischen Bauwerksdiagnostik. Die ortsbezogenen Schadensdaten eignen sich u. a. zur Beweissicherung und zur Dokumentation. Die eigentliche Schadensbewertung und Ableitung der zu ergreifenden Maßnahmen erfolgt weiterhin ausschließlich durch die sachkundigen Planer.



Zerstörungsfreie
Werkstoffprüfung (ZfP)



Mechanisierte &
Sonderprüfverfahren (ZfP)



Inspektionsdienstleistungen



Werkstoffprüfung (zerstörend)



Schadensanalytik &
Werkstofftechnik

Globaler Partner für eine sichere Welt

DEKRA Incos GmbH
DEKRA Visatec GmbH

materialtesting@dekra.com
dekra-visatec.com



Produkt-Neueit:

DEKRA VT 1000 PTZL HD EX Kamera für den
EX-Bereich mit Explosionsschutz für ATEX Zone 1



Künstliche Intelligenz in der ZfP – Welchen Beitrag kann KI in der ZfP leisten?

C. Tschöpe¹, M. Wolff²

¹ Fraunhofer IKTS, Dresden; ² Brandenburgische Technische Universität, Cottbus-Senftenberg

Künstliche Intelligenz zieht derzeit in alle Bereiche der Gesellschaft und des Lebens ein. Aber welchen Stellenwert hat sie momentan auf dem Gebiet der zerstörungsfreien Prüfung? Was kann KI leisten? Welche Herausforderungen müssen erfolgreich bewältigt werden? Gibt es das eine KI-Verfahren, welches prinzipiell für ZfP geeignet ist?

Bei der Bauteil- und Materialprüfung während und unmittelbar nach der Herstellung, der Überwachung von Verschleißteilen in Maschinen und Anlagen oder der Schadensdetektion an Bauteilen und Komponenten liefern ZfP-Verfahren Daten, die bewertet werden müssen. Obwohl inzwischen sehr leistungsfähige Toolkits verfügbar sind, erfordert der optimale Einsatz der KI für ein ZfP-Verfahren oftmals mehr. Die meisten Kunden möchten nicht nur eine Lösung ihres Problems; sie wollen verstehen, warum die KI so und nicht anders entschieden hat, warum der Klassifikator das Bauteil einer bestimmten Klasse (z. B. gut/schlecht oder neuwertig/verschlissen/defekt) zugewiesen hat. Abhängig von der Klassifikationsaufgabe sowie der Art und der Anzahl der vorliegenden Daten kann ein geeignetes Verfahren bestimmt werden. Mit Methoden des maschinellen Lernens werden Modelle gebildet, welche die Basis für die KI-Verfahren zur Klassifikation bilden.

Der Beitrag liefert einen Überblick über KI-Verfahren und deren Anwendungen in der zerstörungsfreien Prüfung. Zahlreiche Beispiele und Ergebnisse werden vorgestellt, um die Mannigfaltigkeit des Einsatzes in der ZfP und der bestehenden Möglichkeiten zu demonstrieren.

Effizientere Prozesse in der Röntgenprüfung – Schneller und sicherer prüfen mittels KI-Assistenz

C. Els¹

¹ sentin GmbH, Bochum

Fokus des Vortrags ist die sentin Weld-ADR (Automatic Defect Recognition) Technologie, welche im Rahmen eines Entwicklungsprojekts der sentin GmbH mit Industriepartnern entwickelt wurde. Hierbei handelt es sich um ein auf künstlicher Intelligenz beruhendes System zur automatischen Erkennung typischer Fehlstellen auf Röntgenbildern von Schweißnähten.

Das KI-Modell hinter sentin Weld-ADR wird durch sogenanntes Transfer-Learning trainiert. Untersuchungen haben gezeigt, dass das neuronale Netzwerk so eine hierarchische Erkennung visueller Merkmale erlernt, die bei fast allen Aufgaben im Bereich der Bilderkennung bedingt, dass wesentlich kleinere Datensätze zum Trainieren verwendet werden können.

Neben der benötigten Datenmenge zum Antrainieren des Modells, sind die für ZfP-Anwendungen charakteristischen großen und hochauflösenden Bilder, auf denen teilweise sehr kleine Merkmale erkannt werden müssen, eine große Herausforderung. Um dieser zu begegnen, wurde für das Training und die spätere Inferenz im Produktivbetrieb eine eigene Cropping-Methode entwickelt. Diese erlaubt eine Analyse der Bilder ohne jeglichen Qualitätsverlust und ermöglicht damit die Erkennung verschieden großer Fehlermerkmale. Die ADR-Technologie wurde in Kombination mit einem Assistenzsystems samt Nutzer-Interface entwickelt. Dieses basiert auf modernen Bedienkonzepten aus dem Bereich der Web-Technologien. Ein wichtiger Vorteil ist hier die flexible Integration in alle Betriebssysteme. Die sentin Weld-ADR Technologie kann per Software-as-a-Service entweder als Standalone-Version zur Auswertung von Bilddateien oder in digitale ZfP-Bildverwaltungssoftware eingebunden werden.

Durch die softwaregestützte Auswertung der Bilder wird der Prozess der Aufnahme und der Bewertung entkoppelt. Der Prüfer wird durch das System bei der Lokalisierung und Klassierung von Fehlern unterstützt. In zeitkritischen Anwendungen kann zudem eine Vorsortierung vorgenommen werden, sodass fehlerhafte Stellen schnell befundet und Instandsetzungsarbeiten angestoßen werden können.

Automatische und auf Merkmalerkennung basierende Auswertung von C-Scans bei der bildgebenden Wirbelstromprüfung

[A. Gopalan](#)¹

¹ Rohmann GmbH, Frankenthal

Bei der Wirbelstromprüfung von komplexen Teilen ist es üblich, die Prüfdaten als zweidimensionales C-Scan-Bild zu erfassen. Moderne Merkmalerkennungsverfahren werden hier auf die erstellten C-Scans angewendet, um eine Reihe von auftretenden Problemen effizient und sicher zu lösen. Einerseits können Signale, die aus vorhandenen Bauteilgeometrien resultieren, sehr trennscharf ausgeblendet und somit auch Fehlerstellen nahe dieser Störgeometrie sicher erkannt werden. Andererseits kann die Merkmalerkennung für die automatische Validierung der Prüfung an Referenzteilen eingesetzt werden, indem die Anzahl, Ausprägung, relative Position und Signalamplituden der zu erwartenden Anzeigen der Referenzfehler automatisch erfasst und bewertet werden.

Praktischerweise können beide Anwendungen unabhängig von der Teileorientierung (z. B. Winkelpositionierung von rotierenden Teilen) eingesetzt werden, was die Anforderungen an die Prüfmaschine bzw. deren Beladung stark reduziert.

In Zusammenhang mit geschwindigkeitsunabhängigen Filteralgorithmen und einer kurvenbasierten Kompensation des Lift-off-Effektes kann so mit geringem manuellem Eingriff eine große Zahl von unterschiedlichen Teilen, z. B. in der Wälzlagerindustrie, automatisch geprüft werden. Die gewonnenen Prüfergebnisse werden automatisiert an die übergeordneten Qualitätssysteme übergeben und dann unmittelbar dem geprüften Teil zugeordnet.

Modernisierte Ultraschallanlage für längsnahtgeschweißte Großrohre und der Weg zu NDE 4.0

M. Cembrowski¹, [P. Labud](#)¹, D. Krix¹, O. Nemitz¹, T. Orth¹, T. Schmitte¹, L. Oesterlein², M. Wadas²

¹ Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg; ² EUROPIPE GmbH, Mülheim an der Ruhr

Leitungsrohre aus Stahl werden für den Transport von Öl oder Gas über große Entfernungen durch On- und Offshore-Pipelines verwendet. Aufgrund der Produktion müssen längsnahtgeschweißte Stahlrohre in großen Mengen pro Tag hergestellt werden, um eine kontinuierliche Versorgung der Rohrverlegeunternehmen mit Rohren zu gewährleisten. Gleichzeitig werden durch Normen und Kundenanforderungen hohe Anforderungen an die Qualitätskontrolle gestellt.

Beide Randbedingungen führen zu der Notwendigkeit hochautomatisierter Prüfsysteme, die vollständig in die Produktionsschritte integriert sind und Risiken für Engpässe im Produktionsablauf vermeiden, aber gleichzeitig eine sehr zuverlässige Prüfung zur Erfüllung der Kundenanforderungen bieten. In diesem Beitrag soll als umgesetztes Beispiel das kürzlich modernisierte Ultraschall-Prüfsystem (Ultraschall-Abnahmeprüfung) der Firma EUROPIPE (Mülheim an der Ruhr) vorgestellt werden, das konsequent die Phased-Array-Technik sowohl für die Längs- als auch Querfehlerprüfung einsetzt. Außerdem zeichnet sich das Bedienkonzept der Anlage durch eine ergonomische Software und der Möglichkeit mechanische wie ultraschalltechnische Einstelldaten zu speichern und zu laden aus, um die Umbauzeiten deutlich reduzieren zu können.

Mit dieser Modernisierung sind Aspekte für Industrie 4.0, respektive NDE 4.0, bereits realisiert worden oder können noch in das System eingebracht werden. Es wird vorgestellt welche Aspekte das sind und welche Hürden bei der vollständigen Umsetzung zu einem Gesamtsystem 4.0 zu überwinden sind.

Inlinetauglichkeit von zerstörungsfreien Prüfmethoden für den digitalen Zwilling von thermoplastischen Carbonfaser-Tapes

D. Koster¹, J. Summa¹, C. Jungmann¹, U. Rabe¹, H.-G. Herrmann¹, T. Link², M. John³, F. Nagel³, R. Schlimper³, A. Delforouzi⁴, J. Roggenbuck⁴, K. Wolf⁴

¹ Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; ² Fraunhofer ICT, Pfinztal; ³ Fraunhofer IMWS, Halle (Saale); ⁴ Fraunhofer SCAI, Sankt Augustin

Die Verwendung von endlosfaserverstärkten thermoplastischen Verbundwerkstoffen (Continuous Fiber-Reinforced Thermoplastics) ermöglicht die effiziente Herstellung von Leichtbaustrukturen in großserientauglichen Fertigungsverfahren, wie der Hybrid-Spritzguss-Technologie. Für viele Branchen stellen Carbonfaser-UD-Tape-Halbzeuge (CF-Tapes) einen guten Kompromiss bezüglich mechanischer Eigenschaften und einer wirtschaftlichen Fertigung dar. Die in einem kontinuierlichen Verfahren hergestellten CF-Tapes werden in weiteren Prozessschritten zu Laminaten gestapelt und konsolidiert.

Die konsolidierten zweidimensionalen Halbzeuge werden anschließend in geschlossenen Werkzeugen zu 3D-Bauteilen umgeformt und per Spritzguss funktionalisiert. Damit der Einsatz in sicherheitsrelevanten Bauteilen ermöglicht werden kann, müssen jedoch Schwankungen der Materialeigenschaften in Breiten- und Längenrichtung detektiert und lückenlos dokumentiert werden. Hierbei spielen Merkmale wie z. B. Tapedicke, Homogenität, Imprägnierung sowie das Faservolumen eine entscheidende Rolle.

Der wirtschaftliche Einsatz von CF-Tapes wird dann ermöglicht, wenn die Qualität früh in der Wertschöpfungskette erfasst und somit der Ausschuss minimiert werden kann.

Hierbei ist eine Inlineprüfung und Dokumentation während der Tapeherstellung besonders interessant. Im Kontext der gesamten Bauteilherstellung kann eine weitere Verminderung von Ausschuss erzielt werden, wenn von klassischen Fehlerschwellen Abstand genommen wird. Indem die hochaufgelösten, ortsgenauen Materialcharakteristika in einen digitalen Zwilling eingespeist werden, können die CF-Tapes, angepasst an die Qualitätsklasse, an entsprechende Positionen im Bauteil platziert werden.

Der Beitrag vergleicht experimentelle Ergebnisse verschiedener zerstörungsfreier Prüfverfahren zur Charakterisierung von CF-Tapes. Da kein Verfahren alle relevanten Informationen liefern kann und eine Integration während der Produktion gewissen Randbedingungen unterliegt, muss eine Bewertung zur Nutzung sich ergänzender inline-fähiger Modalitäten zur Maximierung der Erkennung von qualitätskritischen Merkmalen vorgenommen werden. Ein Konzept zur Datenübermittlung in den digitalen Zwilling sowie für ein Inline-Prüfsystem wird ebenfalls vorgestellt.

KURZFASSUNGEN DER POSTER

* ZfP-Slam

Schnelle InlineCT für dickwandige Aluminiumussteile bei Traktionsantrieben

C. Abt¹

¹ HEITEC PTS GmbH, Kuchen

Im automobilen Umfeld bewegen sich typische Linientakte für Motor- und Fahrwerksteile aus Aluminium zwischen 20 und 120 Sekunden. Während dies für DR-Prüfungen meist ausreicht, schränkt es bei der computertomographischen Prüfung die Anzahl möglicher Bildaufnahmen sowie deren Belichtungszeiten stark ein und ermöglicht so oft nur eine mäßige Bildqualität. Um bei akzeptabler Pseudofehlerrate sicher automatisch auswerten zu können gilt es darum:

- Bei minimaler Handhabungszeit eine maximale Bildaufnahmezeit zu erreichen
- Eine möglichst große Detektorfläche zu nutzen
- Die so erreichte Bildqualität zu optimieren
- Eine robuste Algorithmik anzuwenden

Die präsentierte Applikation zeigt am realen Beispiel der Gussteilprüfung von Gehäusen von Traktionsantrieben der Elektromobilität die Umsetzung der o. g. Ansätze sowie Ausblicke auf weitere Entwicklungen zu diesem Thema.

CTSimU – Durchstrahlungssimulation für die Messunsicherheitsbestimmung beim Messen geometrischer Merkmale mittels Röntgen-Computertomographie

C. Bellon¹, M. Bartscher², F. Bauer³, F. Borges de Oliveira², R. Christoph⁴, M. Fleßner⁵, T. Hausotte⁶, S. Kasperl⁷, W. Kimmig⁸, D. Plotzki¹, T. Reuter⁶, R. Schielein⁷, I. Schmidt⁴, G. Wagner⁹, F. Wohlgemuth⁶

¹ BAM, Berlin; ² PTB, Braunschweig; ³ Siemens AG, München; ⁴ Werth Messtechnik GmbH, Gießen; ⁵ Volume Graphics GmbH, Heidelberg; ⁶ Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik, FAU, Erlangen; ⁷ Fraunhofer IIS, EZRT, Fürth; ⁸ Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH, Oberkochen; ⁹ Weidmüller Gruppe, Detmold

Die industrielle Röntgen-Computertomographie (CT) ist in der geometrischen Messtechnik die einzige Technologie, die sowohl innen- als auch außenliegende Merkmale eines Werkstücks mit einer Messung zerstörungsfrei messen kann. Die Güte der Messung kann mittels einer dem Messwert beigeordneten Messunsicherheit angegeben werden. Allerdings sind zur Ermittlung der Messunsicherheit für eine Messgröße einer CT-Messung nach Stand der Technik (VDI/VDE 2630 Blatt 2.1) zwanzig Wiederholmessungen an kalibrierten Werkstücken notwendig. Da die Messung mit realen CT-Messgeräten zeit- und kostenintensiv ist, wird analog zur taktilen Koordinatenmesstechnik eine numerische Messunsicherheitsbestimmung durch Simulation angestrebt (vgl. VDI/VDE 2617 Blatt 7, GUM Supplement 1). Die Simulation bietet den Vorteil, dass sie sowohl zeitsparend als auch kosten- und ressourceneffizient ist. Allerdings ist die Zuverlässigkeit der verschiedenen Simulationsumgebungen momentan nicht quantifizierbar. Für eine glaubwürdige Anwendung von Simulationsumgebungen für die Messunsicherheitsbestimmung benötigen Anwender eine Beurteilung derselben – auch um eine Norm- bzw. Richtliniensicherheit in der Praxis sicherzustellen.

Das Ziel dieses Projekts ist es daher, einen Richtlinienentwurf VDI/VDE 2630 Blatt 2.2 „Basisqualifizierung von Softwaresystemen für die Simulation geometrischer Messungen mit Röntgen-Computertomografie“ zu erstellen. Auf dieser Basis soll es möglich sein, die Eignung von Simulationsumgebungen zur Ermittlung der aufgabenspezifischen Messunsicherheit zu bewerten. Dazu wird ein Testframework entwickelt, mit welchem Durchstrahlungssimulationssoftwares basisqualifiziert werden können.

Das Projekt wird in der Förderrichtlinie WIPANO durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

Zerstörungsfreie Prüfung an kolonialer Raubkunst. CT und RT S an einer Sandsteinfigur aus Kambodscha Koh Ker und eines Tonpferdes aus China mit Verdacht auf Fälschung

K. Berg¹, H.W. Berg¹

¹ BMB Gesellschaft für Materialprüfung mbH, Bad Rappenau

Der Markt mit historischen Objekten ist riesig, für Objekte mit historischem Wert werden Unsummen bereitwillig gezahlt. Die Frage nach der Echtheit spielt dabei natürlich eine maßgebliche Rolle. Solche hohen Beträge locken Antiquitätenhändler und Fälscher sowie Plünderer an. Demnach werden unter anderem historische Stätten in Krisengebieten leer geplündert und um die Nachfrage und die Geldquelle nicht versiegen zu lassen, werden Fälschungen hergestellt. Wie also die Fälschungen von den echten Objekten unterscheiden? Mittlerweile bietet das CT-Verfahren immense Einblickmöglichkeiten in geschlossene Objekte um Informationen über den Zustand und Echtheit eines Objektes zu erhalten. ZfP Verfahren sind fast schon Normalität bei der Untersuchung von Kunst- und Kulturgütern. Die BMB, insbesondere die Abteilung Sonderverfahren, wuchs mit der Verbesserung der Erkennbarkeit von feinsten Unregelmäßigkeiten mit den modernsten Geräten. Bezogen auf den Verdacht einer Fälschung oder nicht autorisierten Restaurierungsmaßnahme im breit gefächerten Kunstmarkt kann die Abteilung Sonderverfahren detailliertere Aussagen treffen. Es werden immer wieder Anfragen nach der Echtheit eines Kunstobjektes gestellt. Dabei waren die bildgebenden Verfahren CT und RT S, neben den anderen ZfP-Verfahren der BMB, die wesentlichen Untersuchungsmethoden an zwei Kunstwerken aus verschiedenen Regionen der Länder Kambodscha und China.

Projekt 1: Sandsteinskulptur aus Koh Ker mit Verdacht auf Nachmodellierung im Gesicht
Projekt 2: Pferd mit Reiter aus bemalten Ton aus China mit Verdacht auf Zusammensetzung aus Fragmenten

Ein praxisnaher Leitfaden für computertomografische Untersuchungen mit der radiografischen Simulationsumgebung aRTist

F. Binder¹, C. Bellon², F. Wohlgemuth¹, T. Hausotte¹

¹ Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik, FAU Erlangen; ² Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Radiografische Simulationswerkzeuge wie aRTist, ScorpiusXLab, SimCT oder CIVA CT verwenden analytische Methoden und physikalische Monte-Carlo-Studien, um die Interaktionsprozesse zwischen Röntgenstrahlung und Materie zu simulieren. Die berechneten Projektionen bilden anschließend unter Berücksichtigung einer definierten Scan-Trajektorie die Basis der Simulation einer röntgencomputertomografischen Untersuchung. Für den erfolgreichen Einsatz der Computertomografie, sei es als zerstörungsfreie Prüfmethode oder beim dimensionellen Messen, ist es generell notwendig bekannte Fehler- bzw. Abweichungsquellen des Messverfahrens auszuschließen oder zu reduzieren.

Dabei hat sich gezeigt, dass die Auswahl der Messparameter und die Erfahrung des Anwenders direkten Einfluss auf das erzielbare Messergebnis einer computertomografischen Untersuchung nehmen. Es ist daher sinnvoll, die Parameterauswahl in einem virtuellen Simulationsaufbau vorher zu erproben und an die Messaufgabe anzupassen. Neben der Optimierung von Messparametern finden radiografische Simulationswerkzeuge auch Anwendung für Machbarkeitsstudien und werden zur Schulung von Anwendern im Bereich der Röntgen-Computertomografie verwendet.

Radiografische Simulationswerkzeuge befinden sich in einem stetigen Wandel, beispielsweise durch die Entwicklung neuer Rekonstruktionsmethoden, durch Erweiterung von analytischen Modellen, durch Integration komplexer Trajektorien oder durch Berücksichtigung von prozessbedingten geometrischen Abweichungen. Im laufenden EMPIR-Projekt „AdvanCT“ entsteht deshalb ein Good Practice Guide für die Simulationsumgebung aRTist. Ziel dieses Guides ist es, die mit steigender Komplexität verbundenen Einstiegshürden für Anwender von aRTist zu reduzieren, um damit einen praxisnahen Zugang zur virtuellen Computertomografie zu ermöglichen. Dabei werden anhand von praktisch nachvollziehbaren Beispielen die grundlegenden Mechanismen der Simulationsumgebung erklärt und ein strukturierter Leitfaden zur Simulation röntgencomputertomografischer Untersuchungen mit aRTist vermittelt.

In diesem Beitrag werden erste Auszüge des Guides sowie eine Übersicht der weiteren geplanten Themen für die anschließende Diskussion vorgestellt.

Multimodale und Multiskalare dreidimensionale Materialcharakterisierung von faserverstärkten Kunststoffen mit Röntgen-Computertomografie

M. Höglinger¹, B. Plank¹, J. Glinz¹, J. Schulz², C. Heinzl¹, J. Kastner¹

¹ FH OÖ Forschungs & Entwicklungs GmbH, Wels, Österreich; ² Microworks GmbH, Karlsruhe

Bei der multiskalaren Röntgen-Computertomographie (XCT) wird üblicherweise das gesamte Bauteil bei einer niedrigeren, von der Größe des zu untersuchenden Bauteils bestimmten Auflösung gescannt. Anschließend wird ein Ausschnitt eines relevanten Bereiches mechanisch extrahiert und ein Detailscan bei einer höheren Auflösung durchgeführt. Typische XCT Auflösungen liegen zwischen $(150 \mu\text{m})^3$ und $(0,25 \mu\text{m})^3$ Voxelgröße. Dabei gilt es, spezielle Artefakte und Einschränkungen hinsichtlich der Bildqualität zu berücksichtigen. Außerdem kann durch multiskalare Ansätze gezeigt werden, dass bei niedrigeren Auflösungen Risse mit einer Breite deutlich unter der Auflösungsgrenze bereits in einer CFK-Probe erkannt werden können. Zur Verifizierung der Ergebnisse werden zusätzlich Scans mit höherer Auflösung als Referenz herangezogen und mittels neuer Visualisierungstools, implementiert in openiA, überlagert und visualisiert.

Multimodale XCT kann auf unterschiedliche Art und Weise durchgeführt werden. Ein typischer Ansatz verwendet das Talbot-Lau-Grating-Interferometer um zusätzlich zum Absorptionskontrast noch weitere Modalitäten, wie Phasenkontrast und Streukontrast zu erfassen. Durch die zusätzlichen Modi können auch Micro-Risse in belasteten Bauteilen detektiert werden, welche mit konventionellen XCT-Messungen kaum erkennbar sind.

RoboCT – Vergleich unterschiedlicher Aufnahmegeometrien für roboterbasierte Computertomographie an Faserverbundwerkstoffen aus der Luft- und Raumfahrt

C. Kretzer¹, W. Holub¹, S. Kudla¹, J. Reisser¹, S. Nottrott¹

¹ Fraunhofer EZRT, Fürth

Ein häufiges Problem in der klassischen Computertomographie sind große oder auf einem Drehteller nur schwer ausrichtbare Bauteile. Bei der RoboCT des Fraunhofer EZRT werden kooperierende 6-DoF Roboter eingesetzt, um die Röntgenkomponenten so zu bewegen, damit auch bei komplexen Aufnahmegeometrien passende Trajektorien realisiert werden können. Diese Trajektorien erlauben bei Bauteilen, welche zu groß für reguläre CT-Systeme sind oder ein ungünstiges Seitenverhältnis haben und daher eine normale Kreisbahn nur schwer realisierbar ist, den Beitrag erfasster 3D-Information gegenüber einer konventionellen Labor-CT zu steigern bzw. 3D-CT überhaupt erst zu ermöglichen.

In diesem Beitrag wird die roboterbasierte koplanare Laminographie vorgestellt, mit deren Hilfe beispielsweise auch semi-planare, liegende Bauteile analysiert werden können, und die Ergebnisse werden mit roboterbasierter Kreis- und Teilwinkel-CT verglichen. Mehrere Kreisbahnen können kombiniert werden, um den Informationsgehalt einer Messung weiter zu maximieren.

Außerdem wird gezeigt, wie das beliebige Rotieren und Translatieren einer Trajektorie eine optimale Ausnutzung des zugänglichen Arbeitsraumes erlaubt. Linearachsen erweitern die Roboter zu einem 7-Achssystem, welches einen Arbeitsraum von $5 \times 4 \times 10 \text{ m}^3$ abdeckt. Damit wird anhand einer Anwendung aus der Luft- und Raumfahrt gezeigt, wie frei bewegliche Roboter in der Lage sind, gezielt ROIs (= regions of interest) einer CFK-Landeklappe zu tomographieren. Dies ist bisher mit konventionellen CT-Systemen vollkommen unmöglich. Die CT von CFK-Aerostrukturen bietet gegenüber Ultraschallprüfung oder der konventionellen 2D-Radioskopie erweiterte Analysemöglichkeiten für das Bauteil.

Automatische Auswertung für Inline Computertomographie

C. Kretzer¹, T. Schön¹, T. Rauch¹, T. Grulich¹, F. Sukowski¹, D. Suth¹

¹ Fraunhofer EZRT, Fürth

In modernen Produktionsprozessen etabliert sich immer mehr die Verwendung von 100%-Kontrolle der Bauteile mittels Röntgen-Computertomographie. Da die Anlagentechnik sich kontinuierlich weiterentwickelt, lassen sich immer mehr Applikationen für diese Prüftechnologie erschließen durch schnellere Taktzeiten oder kostengünstigere Systeme. Der Informationsgewinn durch die 3D-Computertomographie, im Vergleich zur klassischen Radioskopie, ist immens. Man besitzt nach der Prüfung nicht nur die Information, ob sich eine Auffälligkeit in einem Bauteil befindet, sondern auch die genaue dreidimensionale Ausprägung und deren exakte Lage im Bezug zum Bauteil und dessen Kanten. Somit lassen sich deutlich bessere Entscheidungen treffen, um welche Art von Auffälligkeit es sich handelt und ob diese Auffälligkeit nun zu einem n.i.O.-Bauteil führt oder nicht. Schlüsseltechnologie für diese neue Prüfmethode ist die Auswertung der Daten.

Auf Grund der hohen Datenmenge ist hier eine manuelle Auswertung durch eine bedienende Person nicht mehr realisierbar. Umso wichtiger ist somit eine schnelle und robuste Auswertung, die keinen Schlupf bei geringer Pseudoanzahl produziert und einen intelligenten Umgang mit vorhandenen CT-Artefakten besitzt.

Beim Fraunhofer EZRT wurde in den letzten Jahren eine solche Auswertung realisiert, welche auch schon im Produktionsumfeld eingesetzt wird. Die Auswertung wurde hierbei als Plugin für Volume Graphics VGINLINE realisiert und bettet sich nahtlos in die Oberfläche der bekannten CT-Software. Zusätzlich wurde die Auswertung um Klassifikationsalgorithmen erweitert, um vorgegebene Fehlertypen als Ergebnis zu erhalten.

In diesem Vortrag stellen wir Ihnen das Auswertemodul in der VGINLINE-Umgebung vor, zeigen die Möglichkeiten und Ergebnisse der Klassifikation sowie präsentieren Lösungen, wie eine Auswertung ohne Referenzbauteil möglich ist.

Simulative Untersuchung des Einflusses von Bildrauschen auf dimensionelle Messungen mit industriellen Computertomografen

T. Reuter¹, D. Plotzki², F. Borges de Oliveira³, T. Hausotte¹

¹ Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik, FAU, Erlangen; ² BAM, Berlin; ³ PTB, Braunschweig

Die industrielle Röntgen-Computertomografie (CT) etabliert sich für die Anwendung in der dimensionellen Messtechnik. Sie bietet als zerstörungsfreies Messverfahren das Potential, sowohl innen- als auch außenliegende Merkmale holistisch zu erfassen. Für die Bestimmung der Güte eines Messwerts muss die dem Messwert zugeordnete Messunsicherheit ermittelt werden. Dabei kann, nach derzeitigem Stand der Technik und Normung, die aufgabenspezifische Messunsicherheit nach VDI/VDE 2630 Blatt 2.1 nur unter hohem Aufwand mit einer Vielzahl an experimentellen Wiederholmessungen ermittelt werden. Ziel diverser Forschungsprojekte zu diesem Thema ist es daher, eine numerische Messunsicherheitsbestimmung zu erreichen. Dafür ist es notwendig, alle signifikanten Einflussgrößen zu erfassen, deren Unsicherheitsbeiträge zu bestimmen und zu bewerten. In diesem Beitrag wird der Einfluss des Bildrauschens auf verschiedene dimensionelle Messgrößen simulativ untersucht. Mithilfe eines prismatischen Prüfkörpers, der eine Vielzahl an Geometrielementen aufweist, werden verschiedene Messgrößen unterschiedlicher Komplexität betrachtet. Ziel ist es, für diese Messgrößen zu testen, wie diese auf das Bildrauschen reagieren. Dieses wird dabei durch das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) der Projektionsgrauwerte beschrieben und variiert. Es werden Wiederholimulationen durchgeführt, damit eine statistische Aussage über die Verteilung der Messwerte möglich ist und der Einfluss des Rauschens auf verschiedene Messgrößen individuell beurteilt werden kann. Das Simulationsszenario wird so gestaltet, dass lediglich das Bildrauschen Einfluss auf die Messung hat. Die berechneten Verteilungsbreiten lassen mit sinkendem SNR eine deutliche Zunahme erkennen, insbesondere bei der Bestimmung von Formabweichungen. Simuliert wird mit der Software aRTist 2.10(BAM).

Streustrahlkorrektur mit den Methoden BeamStopArray und Descatter

F. Sukowski¹, I. Bauscher¹, C. Kretzer¹, T. Schön¹, T. Grulich¹, R. Schielein¹

¹ Fraunhofer EZRT, Fürth

Die Technik der Röntgen-Computertomographie (CT) wird zunehmend in der prozessintegrierten Bauteilprüfung eingesetzt. Gegenüber der 2D-Durchstrahlungstechnik bietet die CT den Mehrwert, potentielle Fertigungsdefekte im dreidimensionalen Raum zu lokalisieren und wesentlich detaillierter zu charakterisieren. Dies ermöglicht eine differenziertere Bewertung des Bauteils. Allerdings erfordert die gesamte Prüfprozedur eine höhere Prozesszeit, die in einem erheblichen Maße von der Bildaufnahme bestimmt wird. Eine Strategie, die Prüfung im Prozesstakt durchführen zu können, ist die Belichtungszeit sowie die Anzahl der aufgenommenen Projektionen für die 3D-Volumenrekonstruktion weitestgehend zu minimieren. Diese Strategie bringt jedoch eine Minderung der Bildqualität mit sich, welche sich unter anderem in erhöhtem Rauschen sowie Unterabtastungsartefakten äußert. Darüber hinaus beeinträchtigen Bildartefakte, welche aus gestreuter Röntgenstrahlung herrühren, die Bildqualität zusätzlich in einem kritischen Maße. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Prüfkörper detektornah abgebildet werden, was oftmals notwendig ist, damit das Bauteil komplett auf dem Detektor abgebildet werden kann. Das Fraunhofer EZRT hat daher Verfahren zur Bildkorrektur und Kompensierung von Streustrahlung entwickelt. Dabei werden die Anteile der Streustrahlung ausgehend vom Prüfobjekt selbst und aus der Umgebung, wie bspw. der Röntgenkabine oder der Detektorhalterung, berücksichtigt. Konkret werden die Verfahren „Descatter“ und „Beam-StopArray“ vorgestellt sowie Ergebnisse anhand von repräsentativen Anwendungsszenarios gezeigt und miteinander verglichen.

Simulative Trajektorienplanung für CT-Abläufe

E. Sukowski¹, D. Suth¹, R. Schielein¹

¹ Fraunhofer EZRT, Fürth

Röntgenprüfsysteme werden heute hinsichtlich ihrer Aufnahmeparameter manuell, basierend auf dem Expertenwissen des Prüfüngenieurs konfiguriert. Zum hochdimensionalen Raum der Aufnahmeparameter zählen Auflösung, Vergrößerung, Abstände Quelle-Objekt-Detektor, Projektionsanzahl und insbesondere Aufnahme­perspektiven. Bei 3D-Computertomographie-Systemen ist es nicht trivial, in Anbetracht des Wechselspiels zwischen erreichbarer Bildqualität und benötigter Aufnahmezeit, den optimalen Arbeitspunkt für eine spezifische Prüfaufgabe zu identifizieren. Ziel der Aufnahmeplanung ist es, die vorliegende Prüfaufgabe einerseits zuverlässig und gegebenenfalls prozesssicher sowie andererseits möglichst effizient, also mit minimalem Zeitbedarf, abzu­arbeiten. Eine simulationsbasierte Findung dieser Parameter verspricht objektivere Parametersets, die weniger von der Erfahrung einzelner Prüfer abhängen. Vor allem wenn regelmäßig stark variierende Objekte untersucht werden sollen, ist eine automatische Aufnahmeplanung essentiell. Dies trifft u.a. auf den Bereich der additiven Fertigung zu, in dem im Extremfall Bauteile in einer Losgröße von eins untersucht werden. Das Spektrum der Bauteilgeometrien ist dabei verglichen mit Gießereierzeugnissen extrem breit und komplex, was die Konfiguration der Prüfung besonders aufwändig und schwierig macht.

Das Fraunhofer EZRT hat Lösungen entwickelt, mit denen Anwender von industriellen CT-Systemen eine für eine vorliegende Prüfaufgabe ideale Abtasttrajektorie ermitteln können. Hierzu werden anhand von Konstruktionsdaten CT-Rekonstruktionen simulativ erzeugt und deren Eignung für die jeweilige Prüfaufgabe bewertet. Dabei wird einerseits zwischen der Bildqualität der Bauteiloberfläche und andererseits der Erkennbarkeit von inneren Defekten, z. B. Poren, Lunker, Einschlüssen, etc. differenziert. Der Anwender erhält die Möglichkeit, den Parameterraum des Röntgensystems vorzugeben, vor allem hinsichtlich der geometrischen Randbedingungen. Weiter kann der Anwender verschiedene Qualitätskriterien, z. B. kritische Porengröße an unterschiedliche Bauteilregionen, einstellen, welche in der anschließenden Problemlösung berücksichtigt werden können.

Realistische Simulation spezifischer CT-Systeme in aRTist 2

F. Wohlgemuth¹, T. Hausotte¹

¹ Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik, FAU Erlangen

Die Simulation röntgencomputertomografischer Messungen verspricht vielfältige Anwendungsmöglichkeiten wie die numerische Messunsicherheitsbestimmung, simulative Aufnahmeplanung/-optimierung und die Vorhersage (sowie darauf basierende Korrektur) von systematischen Messabweichungen bzw. Artefakten. Alle diese Anwendungspotentiale benötigen eine möglichst realitätsgetreue Simulation. Die Software aRTist 2 der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung ist eine Simulationsplattform für virtuelle Radiografie und CT-Aufnahmen. Um ein spezifisches reales CT-System nachzubilden, ist eine entsprechende Parametrisierung in aRTist 2 notwendig. Hierfür gibt es bisher keine vollständige systematische Vorgehensweise – die Simulation eines konkreten realen CT-Systems ist oft Resultat eines aufwendigen individuellen Anpassungsprozesses, der zeitaufwändig und fehleranfällig ist.

Im Beitrag werden systematische Vorgehensweisen beschrieben, mit denen auf Basis einer definierten Anzahl von Projektionsmessungen am realen CT-System eine realistische Simulation der Effekte von Brennfleck, Detektorunschärfe und Detektorcharakteristik möglich ist. Verschiedene Bestimmungsverfahren für die Effekte werden diskutiert. Dabei wird der Schwerpunkt nicht auf die möglichst realistische Charakterisierung des CT-Systems, sondern auf die Bestimmung von Parametern, die dessen Verhalten möglichst genau simulierbar machen, gelegt. Daher wird die Detektorcharakteristik als klassisches Datenregressionsproblem verstanden, bei dem gemessene Projektionsgrauwerte durch eine Minimierung möglichst gut in der Simulation wiedergegeben werden. Weiterhin wird anhand von Messungen hinterfragt, inwiefern das Grauertrauschen realer Projektionen sinnvoll wiedergegeben werden kann.

Als Ausblick wird diskutiert, welche weiteren Schritte für die Parameterbestimmung und Parametrisierung der Simulation notwendig sind. Als Fernziel soll auf Basis definierter Messprozeduren eine wiederholbare und übertragbare Vorgehensweise geschaffen werden, mit der die Simulation eines realen CT-Systems ohne individuellen, iterativen Anpassungsprozess möglich ist. Dies würde den Nutzen und die Anwendbarkeit der CT-Simulation deutlich erhöhen bzw. erleichtern.

Strukturuntersuchung von Tiefenfiltern mittels Röntgenmikroskopie

R. Zielke¹, W. Tillmann¹, K. Hoppe², M. Thommes², D. Pieloth³

¹ RIF e.V., Dortmund; ² TU Dortmund, Lehrstuhl Feststoffverfahrenstechnik, Dortmund;

³ Hochschule Anhalt, Angewandte Biowissenschaften und Prozesstechnik, Köthen

Für die Abtrennung von Partikeln aus einem Gasstrom mit geringer Beladung sowie in Anwendungen, in denen ein hoher Abscheidegrad erforderlich ist, sind Tiefenfilter, das Mittel der Wahl. Die Qualität des Filtrationsprozesses wird durch ihren Abscheidegrad sowie den resultierenden Druckverlust bestimmt. Beide Parameter sind stark mit der Struktur des zu wählenden Filtermediums verknüpft und werden durch dieses bestimmt. Informationen zur Filterstruktur und zu den eingelagerten Partikeln und deren geometrischen Eigenschaften sind daher für eine Weiterentwicklung des Filtermaterials unumgänglich.

Für die Untersuchungen der Filterstrukturen sind hochauflösende Messungen notwendig. Bei der konventionellen Computertomografie ist die Auflösung durch die Probengeometrie eingeschränkt. Eine Anpassung der Probengeometrie ist jedoch aufgrund des Filteraufbaus nicht möglich. Daher wird die Röntgenmikroskopie, welche durch eine zusätzliche optische Vergrößerung das Auflösungsvermögen steigert, eingesetzt. Zur Trennung der Filterstruktur von den Partikeln werden zusätzlich zu konventionellen Teststäuben, Partikeln aus Materialien mit einem hohen Kontrast eingesetzt. Im Rahmen des Beitrages werden die Ergebnisse an Tiefenfiltern vorgestellt und mit konventionellen Messungen verglichen.

Einsatz von röntgenografischen Verfahren zur hochauflösenden Analyse von Rissmustern

R. Zielke¹, W. Tillmann¹, M. Fiscoeder¹, M. Ambaum¹

¹ RIF e.V., Dortmund

Die Entstehung von Rissmustern ist ein faszinierendes Beispiel für die Strukturbildung. Sie können sowohl beim Trocknen von Erdreich, Holz, Farbe oder Stärkesuspensionen als auch bei der gerichteten Erstarrung von Lava unter Ausbildung prismatischer Säulen entstehen. Verursacht wird die Rissbildung, die bei der Herstellung und Anwendung von Keramiken ein Problem darstellt, durch Zugspannungen infolge inhomogener Schrumpungsprozesse. Dabei ist es unerheblich, ob die Schrumpfung durch Trocknung, Abkühlung oder andere Prozesse bewirkt wird. Interessante Fragestellungen sind die Bestimmung des Rissabstands und der Risstiefe, aber auch die Bevorzugung sechseckiger Querschnitte.

Für die Untersuchungen der Rissstrukturen sind hochauflösende Messungen notwendig. Bei der konventionellen Computertomografie wird die erreichbare Auflösung durch die Probengeometrie und die Probenmaße mitbestimmt. Aufgrund von Randeffekten, welche bei Thermoschock Versuchen von Keramikproben entstehen, verringert sich das verwertbare Messvolumen. Eine Anpassung der Probengeometrie ist jedoch aufgrund der zu untersuchenden Merkmale der Rissstrukturen nicht möglich. Es besteht somit ein Zielkonflikt aus Messvolumen und erreichbarer Auflösung.

Daher werden zwei alternative Röntgenverfahren für hochauflösende Messungen eingesetzt. Hierzu zählt die Laminografie, bei der die Probe dicht an der Quelle vorbeibewegt wird und somit eine höhere Vergrößerung im Vergleich zur konventionellen Computertomografie ermöglicht. Eine weitere Methode stellt die Röntgenmikroskopie dar, welche durch eine zusätzliche optische Vergrößerung das Auflösungsvermögen steigert. Im Rahmen des Beitrages werden die Ergebnisse der drei röntgenografischen Verfahren (konventionelle Computertomografie, Laminografie und Röntgenmikroskopie) an ausgewählten Testkörpern vorgestellt. Zusätzlich wird die Effektivität eines Kontrastmittels zur besseren Rissdetektion untersucht.

Methode zur Optimierung der Bildqualität mittels Simulation geeigneter Röntgenparameter

J. Müller¹, F. Herold¹, T. Schneider¹

¹VisiConsult X-ray Systems & Solutions GmbH, Stockelsdorf

Die Röntgentechnik hat sich in der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) als Referenzmethode etabliert. Sowohl in der zweidimensionalen Durchleuchtungsprüfung als auch in der dreidimensionalen Computertomographie bildet die Röntgentechnik aufgrund ihrer sehr guten visuellen Abbildungseigenschaften die Referenz für jede Materialanalyse. Bisher wurden die für die Bildqualität entscheidenden Parameter, wie beispielsweise die Wahl der geeigneten Vorfilterung mit Material sowie der Röhrenspannung der Röntgenröhre, experimentell bestimmt bzw. aufgrund von Expertenwissen festgelegt, welches durch jahrelange Erfahrung aufgebaut und angewandt wurde. Die Parameterwahl erfolgt in letzterem Fall intuitiv.

In dieser Studie bestimmen wir mittels einer selbst entwickelten automatisierten Auswertung die optimale Dicke der Vorfilterung sowie die optimale Röhrenspannung der Röntgenröhre, um eine möglichst hohe Bildqualität insbesondere bei industriellen Computertomographie-Scans zu erreichen. Hierzu verwenden wir die Röntgensimulationssoftware aRTist der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Dabei werden die Filterdicken quantisiert, so dass diese typischen Materialstärken der in industriellen Röntgenanlagen vorhandenen Vorfilter entsprechen. Somit sind die errechneten Werte in der Praxis schnell anzuwenden. Eine optimale Vorfilterung kann auch aus Kombinationen verschiedener Materialien und Dicken bestehen. Zusätzlich wird die hierzu passende Röhrenspannung berechnet.

Zum Abschluss verifizieren wir die mit der oben beschriebenen Methode berechneten optimalen Röntgenparameter in einem Experiment sowohl durch Simulation als auch in einem realen Röntgenprüfsystem. Wir zeigen einen Vergleich der simulierten Werte zu realen Messungen, um die Effektivität der Optimierung nachzuweisen und die Vergleichbarkeit simulierter und realer Röntgenbilder zu demonstrieren.

Schnelle Messung und tomographische Rekonstruktion von Brennflecken < 5 µm durch Aufnahmen strukturierter Prüfkörper

U. Ewert¹, G.-R. Jaenisch², D. Schumacher², U. Zscherpel², A. Deresch³, B. Bircher⁴, F. Meli⁴

¹ KOWOTEST, Teltow; ² Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin;

³ YXLON International GmbH, Hamburg; ⁴ Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS, Labor Länge, Nano- und Mikrotechnik, Bern-Wabern, Schweiz

Im Europäischen EMPIR-Projekt NanoXSpot (Measurement of the focal spot size of X-ray tubes with spot sizes down to 100 nm) werden neue Messmethoden für Brennflecke von Röntgenröhren entwickelt. Teil des Projektes ist die Entwicklung eines zur Lochkammermethode äquivalenten Messverfahrens für kleine Brennflecke. ASTM E 1165-20, Annex A, beschreibt die Bestimmung von Brennfleckgrößen aus Kantenprofilen von Lochaufnahmen für Röntgenröhren mit Brennflecken > 50 µm. Es wurde bereits vorgeschlagen über die Analyse der richtungsabhängigen Kantenunschärfe einer Lochblende und anschließender CT-Rekonstruktion die Intensitätsverteilung des Brennflecks äquivalent zur Lochkameraaufnahme zu berechnen. Die Lochkammermethode, wie in EN 12543-2 und ASTM E 1165-20 beschrieben, ist im unteren Größenbereich für Mikrofokusröhren nicht geeignet, da Pinholes < 10 µm schwer zu fertigen sind und lange Belichtungszeiten erwartet werden. Mit Hilfe exakt gefertigter Lochblenden sowie strukturierter Targets mit konvergierenden Strukturen wird der Bereich mit der Single-Shot-CT-Methode auf die Messung von Mikrofokusröhren, alternativ zur Vermessung von Kanten oder Strichgruppenkörpern, erweitert. Die rekonstruierten Brennfleckformen werden mit Kanten- und Lochkameraaufnahmen quantitativ verglichen, um die Messgenauigkeit zu bewerten. Außerdem werden CNR und Messzeit bestimmt, um die Wirtschaftlichkeit der Verfahren zu bewerten.

Bestimmung der Mikrostruktur und Simulation des Schädigungsverhaltens von laseresintertem Polyamid 12 unter quasistatischer Zugbelastung

A. Kupsch¹, D. Schob², F. Léonard¹, B.R. Müller¹, I. Sagradov², R. Roszak², H. Sparr², R. Franke², M. Ziegenhorn², G. Bruno¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Senftenberg

Um das Material- und Schädigungsverhalten von additiv gefertigtem Polyamid 12 (PA12) unter quasistatischer Belastung zu charakterisieren, wurden mechanische Tests und Röntgenverfahren zur Bestimmung der Mikrostruktur eingesetzt.

Die Proben wurden nach dem Prinzip des Selektiven Lasersinterns (SLS) hergestellt. Unter quasistatischer Belastung mit Haltezeiten ergab sich ein viskoplastisches Materialverhalten. Im Zugversuch wurde eine maximale Zugfestigkeit von 40.6 MPa und eine Bruchdehnung von 7.4% beobachtet. Mittels Digitaler Bildkorrelation (DIC) wurde die Ausbildung von Scherbändern während des Zugs nachgewiesen. Mittels Röntgenrefraktion wurde eine Erhöhung von inneren Oberflächen beobachtet, die senkrecht zur Zugrichtung orientiert sind. Die Analyse der Gesamtporosität aus Computertomographie-Messungen ergab keine Änderung infolge der Zugbelastung. Jedoch wurde eine bimodale Porengrößenverteilung und eine steigende Sphärizität festgestellt.

Das Materialverhalten wurde mit den Ergebnissen des Zugversuchs nach dem Chaboche Modell in sehr guter Übereinstimmung simuliert. Allerdings gestattet dieses Modell nicht, das Bruchverhalten einzuschließen. Daher wurde zur Simulation des Schädigungsverhaltens das Modell gemäß dem Ansatz von Gurson, Tvergaard und Needleman unter Berücksichtigung der mikrostrukturellen Parameter erweitert. Während das Chaboche Modell eine homogene Spannungsverteilung generiert, zeigt das erweiterte Modell die Ausbildung von Scherbändern und die korrekte Bruchdehnung.

Der Schwerpunkt der Präsentation liegt auf den Röntgenverfahren zur experimentellen Bestimmung der Mikrostruktur.

Röntgenblitzgeneratoren für Anwendungen in der zerstörungsfreien Prüfung

U. Oberhagemann¹, M. Müller¹

¹ ELP GmbH, Wuppertal

Beispielhaft werden Anwendungen aus der zerstörungsfreien Prüfung vorgestellt, für die mobile Röntgenblitzgeneratoren in Kombination mit Matrixdetektoren als geeignet erscheinen. Hierbei stehen im Vordergrund:

- Kosteneffizienz (Anschaffungs-, Folgekosten)
- Hohe Mobilität Röntgenquelle und Abbildungssystem
- Erzeugung hochwertiger Bilder
- Unempfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen und physikalischen Beanspruchungen
- Hohe Dauerbelastbarkeit
- Einfaches Handling
- Sicherheit: weitgehend automatisierter Betrieb zur Vermeidung manueller Fehlbedienung
- Leitungsfreier Betrieb
- Fernsteuerbar
- Unempfindlichkeit gegenüber Über- und Unterbelichtungen
- Direkte Verfügbarkeit der Messdaten
- Kurze Belichtungszeiten zur Vermeidung unnötiger Strahlenexposition und zur Dosisreduzierung (§ 2c RöV, ALARA-Prinzip)

Phase-contrast imaging for foreign body detection with hard x-rays

B. Akstaller¹, S. Schreiner¹

¹ Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

Röntgenstrahlung in der zerstörungsfreien Prüfung ermöglicht den Blick in geschlossene Objekte. Der Kontrast in der Standardradiographie entsteht durch Absorption von Röntgenstrahlung, die in der Stärke von der Materialzusammensetzung und Dichte abhängig ist.

Phasenkontrast erweitert die Standardbildgebung durch ergänzende Bildmodalitäten, das Dunkelfeld und das Phasenbild. Der Kontrast im Phasenbild basiert auf der Beugung von Röntgenstrahlen an einem Objekt, welche besonders bei Elementen mit niedriger Ordnungszahl (C, H, O) oder schwach absorbierenden Materialien, verglichen mit der Absorption von Röntgenstrahlen, deutlich stärker ausgeprägt sind.

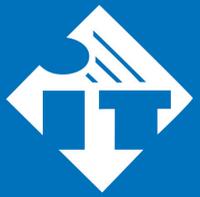
In den beiden Bildmodalitäten werden Objektkanten deutlich hervorgehoben. Im Dunkelfeldbild sind Übergänge zwischen verschiedenen Materialien oder Luft besonders markant. Damit können fasrige oder granuläre Strukturen detektiert werden, selbst bei Korngrößen weit unterhalb der Bildauflösung. Ferner können Materialien, die im Absorptionsbild nicht sichtbar sind, im Dunkelfeld erkennbar sein, da das Dunkelfeld auf Kleinwinkelstreuung sensitiv ist. In diesem Poster wird die Gitterbasierte-Phasenkontrastbildgebung präsentiert und ihr Potential in der Fremdkörperdetektion und anhand von beispielhaften Industrieanwendungen gezeigt (Lebensmittelkontrolle).

Vollautomatische Zeichenverifikation in Röntgenbildern bei der Inlineprüfung von Leichtmetallrädern

T. Stocker¹, M. Rehak¹, B.M. Gosswami¹, C. Schuster¹

¹ Fraunhofer EZRT, Fürth

Die vollautomatische 100%-Inline-Röntgenprüfung von Leichtmetallrädern ist seit Jahren weltweit üblich. Weitere Maßnahmen zur Qualitätssicherung der Räder werden aber oft manuell durchgeführt. Eine wichtige Aufgabe ist die Überprüfung von eingegossenen Schriftzeichen, die z. B. Auskunft über Typ, Produktionsort und Produktionsdatum geben. Das Vorhandensein dieser Informationen ist teilweise sogar gesetzlich vorgeschrieben und in jedem Fall ein Abnahmekriterium. Deshalb wird dies auch bei Zollbehörden und Endkunden zumindest stichprobenartig überprüft. Fehlende oder fehlerhafte Beschriftungen führen typischerweise zur Rücksendung ganzer Produktionschargen und somit zu hohen Kosten auf Herstellerseite. Das Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT hat ein zusätzliches Modul in seine Softwarelösung zur vollautomatischen Inline-Röntgenprüfung ISAR integriert, das die Aufgabe der Verifikation aller relevanten eingegossenen Schriftzeichen in Leichtmetallrädern automatisiert. Der besondere Vorteil der Lösung ist, dass für die Prüfung keinerlei zusätzliche Hardware nötig ist. Die Analyse der Zeichen erfolgt in den Bildern, die bei der ohnehin durchgeführten Röntgenprüfung auf Unregelmäßigkeiten wie Poren und Lunker entstehen. Somit kann die Verifikation der Schriftzeichen durch ein reines Software-Upgrade realisiert werden. Es sind zudem keine zusätzlichen Prüfpositionen notwendig, da die Zeichen in den üblichen Prüfpositionen ausreichend abgebildet werden. Die Bearbeitung der zusätzlichen Prüfaufgabe ist deshalb in bereits beschaffte Röntgenanlagen mit der Prüfsoftware ISAR auch taktzeitneutral durchführbar. In diesem Beitrag beschreiben wir anhand von einigen Beispielen, wie die Analyse funktioniert und welche Arten von Fehlern in den Zeichen detektiert werden können.



RT

Gamma
Radiography



Magnetsystem 300



PO-12 auch mit
Kfz-Einbaufritte



Fernbedienung III



EXERTUS VOX
100/400 Co-60



EXERTUS Novum I
Dual 120
Ir-192 + Se-75

**INNOVATIV
ZUVERLÄSSIG
SICHER**

Ihr starker und zuverlässiger Partner für Ihre ZfP-Anwendungen:

- Vorort-Service
- Strahlervertrieb
- Anlagenverleih
- Geräteservice
- Gezielte Beratung

RT

Radiographic
Testing



UT

Ultrasonic
Testing



Haftpat für
nicht-magnetische
Oberflächen

Unsere Produkte und Dienstleistungen für Sie:

RT

Gamma
Radiography

RT

Radiographic
Testing

UT

Ultrasonic
Testing

MT

Magnetic
Particle Testing

PT

Penetrant
Testing

VT

Visual Testing

LT

Leak Testing

HT

Hardness
Testing

DR

Digital
Radiography

Rauschquellen und ihre Konsequenzen für die industrielle Radiographie

U. Zscherpel¹, U. Ewert², P. Willems³

¹ BAM, Berlin; ² DGZfP-Fachausschuss Durchstrahlungsprüfung, Berlin; ³ I&S-C, Stekene, Belgien

Heute sind 3 unterschiedliche Detektionsprinzipien in der industriellen Radiographie etabliert:

1. Radiographische Filmsysteme mit Metallfolien im direkten Kontakt mit den doppelseitigen Filmemulsionen,
2. Lumineszenz-Speicherfolien (Computer-Radiographie) mit und ohne Metallfolien,
3. Digitale Matrixdetektoren (DDAs) mit verschiedenen Detektionsprinzipien (Energie integrierend, Photonen zählend, direkt wandelnd oder mit Szintillator etc.).

Ihre industrielle Anwendungen sind mittlerweile von verschiedenen Gremien (ASTM, CEN, ISO ...) genormt.

Aufgrund der Quantennatur der Röntgenstrahlung erzeugen alle Detektoren Rauschen in ihren Bildern. Die verschiedenen Detektionsprinzipien und die Begrenzungen in der Herstellung transferieren diese Rauschquellen unterschiedlich. Im Ergebnis kommt es zu unterschiedlichen Grenzen in der erreichbaren Bildqualität für die unterschiedlichen Detektoren. Der Beitrag leitet ausgehend von den Grundlagen praktische Regeln ab, um die Bildqualität zu optimieren.

Evolution der Anlagentechnik (PT)

P. Hettich¹, T. Thiemann¹

¹ Laubinger + Rickmann GmbH & Co. KG, Nordwalde

Die Eindringprüfung (PT) gilt für manchen als „totgesagtes“ Verfahren, bei welchem keine Entwicklung mehr stattfindet.

Mit Sicherheit handelt es sich bei der Weiterentwicklung eher um Evolution als um Revolution doch von Stillstand kann nicht die Rede sein. Und die Eindringprüfung hat – gerade im Zuge des Leichtbaus – nach wie vor ihre Berechtigung.

Als Beispiel für den Handlungsdruck (und die daraus resultierende Evolution) sei der viel zitierte Klimawandel genannt, der sich auf alle Bereiche der Fertigung auswirkt und damit auch auf die (Eindring-) Prüfung. Diese muss energiesparender und mit geringerem Medienverbrauch stattfinden.

Trocknerkonzepte die auf Entfeuchtung anstelle Heizwirkung setzen können 75% der Energie einsparen – und bieten den Vorteil, dass die Temperatur-Grenzen aus der EN ISO 3452-1 in jedem Fall eingehalten werden. Gerade im Hochserienbereich besteht hier gigantisches Potential.

Verbrauch und Verschleppung von Eindringmittel bspw. bei hohlen Bauteilen können durch die Kombination aus E-Statik und gleichzeitigem Einsatz von Sperrluft (keine Verschleppung im Bauteilinneren) reduziert werden. Selbst bei der Tauchtechnik kann durch den geschickten Einsatz von Manipulatoren die Verschleppung enorm reduziert werden. Durch innovative Ultraschall-Vorreinigung innerhalb einer PT-Anlage kann ein Kunde weltweit die Beizanlagen für ein Projekt abschaffen – ein riesiger Gewinn für die Umwelt. Dies sind nur einige Beispiele dafür, dass sie stattfindet: die ständige Evolution bei der Eindringprüfung. „Totgesagte leben länger!“

Vermessung und Zertifizierung von UV-Leuchten

A. Ivankov¹, N. Riess², R. Link¹

¹ Helling GmbH, Heidgraben; ² Unternehmensberatung Dr. Rainer Link, Kerpen

Hohe Sicherheitsanforderungen in der Industrie und im Verkehrswesen setzen heute einen hohen Maßstab über die Einsatzzuverlässigkeit der Prüfmittel und Geräte für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung. Dies gilt selbstverständlich auch für die Entwicklung, Herstellung und Überprüfung von Lichtquellen, die bei der Durchführung einer PT- oder MT-Prüfung zum Einsatz kommen. Zur Sicherstellung einer einwandfreien Betriebstüchtigkeit von UV-Leuchten hat die Firma Helling GmbH ein modernes klimatisiertes optisches Messlabor mit rückführbar kalibrierten Detektoren eingerichtet. Die High-End-Ausrüstungen machen es möglich, UV-Leuchten verschiedener Hersteller in Übereinstimmung mit Anforderungen gängiger Normen wie Rolls-Royce RRES90061, ASTM E3022, Airbus AITM6-1001, DIN EN ISO 9934-3, DIN EN ISO 3059 zu vermessen und zu zertifizieren. Die Durchführung absoluter spektraler Messungen erlaubt die Ermittlung folgender Parameter: Maximalwert bewerteter Bestrahlungsstärke (Bestimmung der UV-Strahler-Risikoklasse), Nennwert der Bestrahlungsstärke, thermische Stabilität, maximal zulässige Betriebstemperatur, Emissionsstabilität, Wellenlänge im Maximum, Halbwertsbreite, längste Wellenlänge beim halben Maximum, Wellenlängendrift, Anregungsintensität. Die absoluten spektralen Messungen von UV-Quellen finden je nach Anforderung bei verschiedenen Temperaturen statt. Darüber hinaus werden Beleuchtungsstärke, Strahlabmessungen (2-D-Verteilung) sowie Filtertransmission ermittelt. Kalibrierungen und Messungen werden mit entsprechenden Prüfberichten und/oder Zertifikaten belegt.

TORNIA: Neues Prüfmittel für die Farbeindring- und Fluoreszierende Eindringprüfung

J. Klippstein¹, N. Riess¹, R. Link², D. Schäfer¹

¹ Helling GmbH, Heidgraben; ² Unternehmensberatung Dr. Rainer Link, Kerpen

Gegenwärtige und zukünftige Anforderungen an Umweltverträglichkeit, Nachhaltigkeit und Anzeigeempfindlichkeit haben uns veranlasst, eine neue Generation von PT-Prüfmitteln zu entwickeln und dabei unsere über 50-jährige Erfahrung in der Entwicklung und Produktion/Fertigung von Anlagen, Geräten und Verbrauchsmaterialien für die zerstörungsfreie Prüfung einzubringen.

Diese Produktlinie mit dem Namen TORNIA besteht aus je einem Farbeindring- und einem fluoreszierenden System mit hervorragenden Eigenschaften in Bezug auf die Anzeigeempfindlichkeit, Anwenderfreundlichkeit und Umweltverträglichkeit. Es erfüllt die Forderungen aller relevanten Normen wie AMS 2644, ASTM E1135 und ISO 3452-2.

Die fluoreszierende Produktreihe ist in vier Empfindlichkeitsstufen verfügbar und zeichnet sich durch eine exzellente Anzeigenempfindlichkeit aus. Die Wasserverträglichkeit beträgt je nach Level bis zu 30%.

Die biologische Abbaubarkeit des TORNIA-Prüfmittelsystems wurde von unabhängigen Instituten ermittelt und zertifiziert, sodass es in Abstimmung mit den entsprechenden Behörden ohne zusätzliche Aufbereitung direkt in das Abwassernetz entsorgt werden kann.

Physikalische und chemische Einflussgrößen auf die Fehleranzeige bei der MT- und PT-Prüfung

S. Robens¹, O. Goerz¹, W.A.K. Deutsch¹

¹ KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal

Anhand der vorgestellten Beispiele sollen verschiedene Einflussgrößen bei der MT- und PT-Prüfung gezeigt und deren Auswirkungen auf die Fehleranzeige dargestellt werden. Das Benetzungsverhalten, Korngrößenverteilungen bei MT-Prüfmitteln, der Einfluss der Schichtdicke der MT-Untergrundfarbe, die Eigenfluoreszenz von MT-Prüfölen, die optimale Wahl der PT-Empfindlichkeitsklasse und verschiedene Kontrastverhältnisse werden diskutiert.

Diese Beispiele sollen dem Anwender zeigen, weshalb gewisse Kriterien bei der Prüfmittelauswahl, aber auch bei der Vorbereitung der Prüfung notwendig sind.

Detektion der deformations-induzierten martensitischen Umwandlung von metastabilen Austenit in AISI 304 beim kryogenen Drehen mittels Wirbelstromprüfung

L.V. Fricke¹, H.N. Nguyen², B. Breidenstein², H.J. Maier¹, D. Zaremba¹

¹ Leibniz Universität Hannover, Institut für Werkstoffkunde, Garbsen; ² Leibniz Universität Hannover, Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen, Garbsen

Die Kombination aus harter Oberfläche und duktilem Bauteilkern ist für viele Anwendungen vorteilhaft. Um gehärtete Randzonen zu erzeugen, werden häufig Wärmebehandlungen wie das Einsatzhärten durchgeführt. Diese sind kosten-, energie- und zeitintensiv. Viele Produktionslinien haben bereits einen Drehprozess für die geometrische Bearbeitung der Bauteile integriert. Aus diesem Grund wäre es vorteilhaft gehärtete Randzonen direkt im Drehprozess zu erzeugen. Gehärtete Randzonen können in einer Drehmaschine unter Ausnutzung des deformationsinduzierten Martensits erzeugt werden. Dabei wandelt ein metastabiler austenitischer Gefügebestandteil in Martensit um. Der Martensit führt zu einer erhöhten Härte und Widerstandsfähigkeit der Randzone.

In dieser Studie wurde die Randschicht des metastabilen, austenitischen Edelstahl AISI304 mittels kryogenen Drehen teilweise umgewandelt. Somit wurde die Härte der Randschicht im Vergleich zur Kernhärte erhöht. Dabei wurde, neben konventionellen Nachweismethoden wie die Härteprüfung und die röntgenographische Diffraktometrie, die Wirbelstromprüfung in Kombination mit der Analyse höherer Harmonischer für den Nachweis der ferromagnetischen, martensitischen Phase im ansonsten austenitischen Stahl verwendet. Es wurde eine gute Korrelation zwischen dem Martensitgehalt und der Amplitude der gemessenen Signale gefunden. Allerdings beeinflusst der Sensor-Bauteil-Abstand und die Sensorverkipfung das Amplitudensignal stark. Zudem konnte ein großer Einfluss des Sensor-Bauteil-Abstands auf die Phase der Grundharmonischen festgestellt werden und eine geringe Beeinflussung der Phase der Grundharmonischen durch die Gefügeumwandlung. So könnte die Phase der Grundharmonischen zur Überprüfung der Sensorpositionierung verwendet werden.

Um diese Härtung definiert und geregelt herzustellen, sollte der Drehprozess geregelt werden. Dabei kann die Wirbelstromprüfung als ein geeignetes zerstörungsfreies Echtzeit-Prüfverfahren angesehen werden, das die Grundlage für die Erzeugung einer maßgeschneiderten, verformungsinduzierten martensitischen Randschicht beim Drehen bilden kann.

Schubmodulmonitoring mittels Scherwellen in glasfaserverstärktem Kunststoff

Y. Bernhardt¹, R. Czichos², J. Dittmann², P. Middendorf², M. Kreutzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart; ² Institut für Flugzeugbau, Stuttgart

Mikrorisse in Faserverbundstrukturen können aus Materialimperfectionen wie Poren oder Einschlüssen entstehen. Bei dauerhafter zyklischer Belastung – ohne Überlast – beginnen die Risse zu wachsen, bis sie einen Zwischenfaserbruch ausbilden. Um das Wachstum genau kontrollieren zu können, wurden Prüfkörper aus glasfaserverstärktem Kunststoff hergestellt und mit einer schwellenden Zugbelastung beaufschlagt. Bei Unterbrechungen der zyklischen Belastung wurden die Prüfkörper unter dem Mikroskop nach Rissen untersucht. Zusätzlich wurde in die hydraulische Prüfmaschine ein In-Line Ultraschallprüfsystem integriert. Ein Sechs-Achs-Roboter fährt dabei einen Ultraschallscherwellenprüfkopf an den eingespannten und unbelasteten Prüfkörper heran und dreht den Prüfkopf an der jeweiligen Messposition um 360° um A-Scans bei verschiedenen Polarisierungsrichtungen zu erhalten. Diese Messungen werden alle 50000 Lastzyklen durchgeführt. An Grenzflächen zwischen anisotropen Schichten mit verschiedenen Orientierungen der Hauptsteifigkeitsrichtungen kommt es zu einem Doppelbrechungseffekt – Die Schallwelle teilt sich in zwei verschieden polarisierte Teilwellen, die sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit fortbewegen. Die Mikrorisse bringen neben den Glasfasern eine zusätzliche Anisotropie in den Prüfkörper ein, die mit dem Ultraschall-doppelbrechungseffekt verfolgt werden kann.

Durch den Abgleich mit Mikroskopiebildern, kann die Schallgeschwindigkeitsveränderung einem genauen Risszustand zugeordnet werden. Durch Vergleichende Messungen mittels zerstörender Prüfung konnte an nicht vorgeschädigten Prüfkörpern nachgewiesen werden, dass eine Bestimmung des Schubmoduls mit Ultraschall mit geringen Abweichungen zur mechanischen Schubprüfung möglich ist.

Untersuchung komplexer Sandwichverbundbauteile mit Honigwabenkern mittels lokaler Defektresonanz

J. Ehrler¹, M. Jakob², M. Kreutzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart; ² Alpha Sigma GmbH, Zwickau

Sandwichverbundbauteile werden in jüngster Zeit immer häufiger für Leichtbaukonstruktionen in Betracht gezogen. Durch ihre hochklassigen spezifischen Eigenschaften eignet sich diese Werkstoffgruppe besonders für den Einsatz in Hochtechnologieanwendungen wie dem Automobilsport oder der Luft- und Raumfahrt. Neben der Herstellung dieser Werkstoffgruppe stellt gerade die zerstörungsfreie Prüfung hier eine besondere Herausforderung dar. Aufgrund des Verbundaufbaus von Sandwichstrukturen befinden sich unterschiedliche Materialien mit ihren jeweiligen Grenzflächen im Werkstoff. Klassische ZfP-Verfahren, wie Kontaktultraschall oder Thermografie, stoßen dabei häufig an Ihre Grenzen, da die Werkstoffe sowie deren Materialübergänge das Messsignal zu stark streuen, reflektieren und dämpfen. Das noch nicht weitverbreitete Verfahren der lokalen Defektresonanz hat das Potenzial diese Lücke der Verfahren zu schließen.

In einer Fallstudie wurden zwei miteinander verklebte Sandwichplatten, die zum Beispiel als Bodenpaneel in Flugzeugen zum Einsatz kommen, untersucht. Die Sandwichplatten (jeweils ca. 400 x 400 x 18 mm³) bestehen aus einem Kunststoffhonigwabenkern und Faserverbunddeckschichten aus Basaltfasern und Epoxidharzmatrix, wobei gezielt ein Klebefehler (ca. 60 mm Durchmesser) in die Verbindungsschicht zwischen den zwei Sandwichplatten eingebracht wurde. Es wurde hierbei die Eignung der lokalen Defektresonanz (LDR) zur Detektion von Klebefehlern untersucht. Für diese Messung wurden mechanische Wellen über einen Piezoaktuator auf der Detektionsseite eingebracht. Das Antwortsignal wurde mit einem scannenden Laservibrometer aufgezeichnet und die Harmonischen für die Untersuchung ausgewertet.

Zum Vergleich wurden die Ergebnisse klassischen ZfP-Verfahren gegenübergestellt. Es konnte gezeigt werden, dass die LDR auch bei nur einseitiger Zugänglichkeit Klebefehler darstellen kann, die mit klassischen ZfP-Verfahren nicht zu detektieren sind.

Neue Bildverarbeitungsalgorithmen für die automatische Fehlstellendetektion bei der shearografischen Bauteilüberprüfung

A. Hanf¹, C. Petry², M. Schuth²

¹ Mesolt Engineering GmbH, Trier; ² Hochschule Trier, Technikum OGKB A113, Trier

Bei der shearografischen Bauteilüberprüfung stellt die Automatisierung der Klassifikation in Gut- und Schlecht-Teile eine große Herausforderung dar. Auch wenn Defekte für geschultes Personal meist intuitiv gut erkennbar sind, hat es sich bisher als schwierig erwiesen, hierfür geeignete Algorithmen zu entwickeln. Die besten Ergebnisse wurden bisher mit Convolutional Neural Networks (CNNs) erzielt, diese müssen jedoch für jeden Anwendungsfall neu trainiert werden. In diesem Paper werden alternative Algorithmen präsentiert, die statt aufwändiger Trainingsphase lediglich eine einfache Parametrisierung benötigen. Die Klassifikation kann sowohl anhand von Shearogrammen, als auch von Demodulationen erfolgen. In der Validierung wurde eine Spezifität von 100% und eine Sensitivität zwischen 82,9% und 97,9% erreicht, abhängig von der Beschaffenheit, Sichtbarkeit und Orientierung der Fehlstellen.

Laser-Shearografie (NDT) Inspektion von Luft- und Raumfahrtkomponenten

R. Wahler¹, L. Crosbie¹

¹ Dantec Dynamics GmbH, Ulm

Die Fähigkeit, Defekte in Luft- und Raumfahrtstrukturen mithilfe der Laser-Shearographie effektiv und effizient zu erkennen, ist allgemein bekannt. Die Technologie kann zur Erkennung einer Reihe von Fehlern eingesetzt werden - einschließlich; Delaminierungen, Kissing Bonds, gerissene Kerne, Eindringen und Fremdkörperschäden (FOD) in Laminaten, Waben, Schaumkernen und gebundenen Bauteilen. Shearografie-Systeme wurden seit zwanzig Jahren für eine Reihe von Luft- und Raumfahrtanwendungen, darunter: Radomen, Hubschrauberblätter, Druckbehälter, Tanks und Steuerflächen. Der Vorteil der Durchführung wiederholbarer NDT-Inspektionen mit Laser-Shearographie mit hohen Inspektionsraten, die nachvollziehbare und reproduzierbare Messergebnisse liefern, ist eine wirklich zeiteffiziente und damit kostengünstige Lösung. Flexible Lösungen für eine wachsende Anzahl von Testanwendungen erfordern die Bereitstellung einer agilen Roboterintegration. Die Validierung der Testergebnisse muss anhand von benutzerdefinierten Toleranzen festgelegt werden. Zuverlässige Messungen sind ein absolutes Vorrecht für jede ZfP-Technologie. Dies ist an sich schon eine Herausforderung, für die Dantec Dynamics die Lösung für Ihre Testanwendung hat.

Integration der Dichtheitsprüfung in den Produktionsprozess – Typprüfung versus Stückprüfung und praktische Ansätze zur Ableitung von Prüfparametern

J. Lapsien¹

¹ CETA Testsysteme GmbH, Hilden

Eine Vielzahl von Produkten wird unter den unterschiedlichsten Bedingungen eingesetzt. Entsprechende vielfältig sind die Anforderungen. Hierzu gehört auch die Dichtheit gegen Verschmutzung und Feuchtigkeit, deren Anforderungen in der Definition der IP-Schutzarten beschrieben sind.

Bei den IP-Schutzartenprüfungen handelt es sich um Typprüfungen. Baumuster werden strikt nach den Vorgaben der angestrebten IP-Schutzart im Labor auf die Dichtheit geprüft. Die Typprüfung dient dem Nachweis, dass das Produkt die angegebene Eigenschaft besitzt und den Anforderungen der einschlägigen Bestimmungen entspricht. Bei Produkten, die in geringer Stückzahl hergestellt werden reicht eine vereinfachte Typprüfung aus.

Die Stückprüfung hingegen dient dem Nachweis einer gleichbleibenden Fertigungsqualität. bei der Fertigung großer Stückzahlen. Hierbei wird jedes Produkt zu 100 % produktionsbegleitend auf Dichtheit gegen Feuchtigkeit geprüft wird. Dieses ist insbesondere dann der Fall, je wertiger das Produkt ist, so dass sich eine Nacharbeit wirtschaftlich lohnt, oder je kritischer die Anwendung ist, in der das Produkt eingesetzt wird oder wenn der durch den dichtheitsbedingten Ausfall der Komponente erzeugte Folgeschaden sehr hoch ist. Hier verlässt man sich nicht auf die Typprüfung.

Die in die Fertigung integrierte Dichtheitsprüfung kann nicht unter den Bedingungen der Laborprüfung durchgeführt werden. Hier gilt es entsprechende Vorgaben für die Prüfung in der Produktionslinie festzulegen. Hierbei handelt es sich insbesondere um den Prüfdruck und die zulässige Leckrate. In Abhängigkeit von der geforderten Leckrate wird ein geeignetes Prüfverfahren ausgewählt. In automatisierten Produktionslinien sind Prüfverfahren unter Verwendung der Prüfmedien Druckluft und Tracergasen (Wasserstoff, Helium) weit verbreitet. Wichtige Aspekte der fertigungsbegleitenden Stückprüfung und praktische Ansätze zur Festlegung der Prüfparameter werden vorgestellt.

Charakterisierung der Porositäts- und Rissdichteentwicklung in Wärmedämmschichten von Gasturbinenschaufeln mittels Synchrotron Refraktions Radiographie

B.R. Müller¹, D.E. Mack², R. Laquai¹, A. Kupsch¹, O. Helle², D. Sebold², R. Vaßen², G. Bruno¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin;

² Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich

Die Degradation von Wärmedämmschichten (thermal barrier coatings - TBCs) in Gasturbinen durch glasartige Calcium-Magnesium-Aluminiumsilikat (CMAS) Ablagerungen aus verschiedenen Quellen ist seit vielen Jahren ein anhaltendes Problem. In dieser Studie wurde mit Hilfe der Synchrotron-Röntgen-Refraktions-Radiographie (SXRR), und vergleichend mit der Elektronenmikroskopie, das Eindringen von CMAS in die poröse Struktur von atmosphärisch plasmagespritzten (APS) TBCs sowie die Bildung und das Wachstum von Rissen unter thermisch zyklischer Belastung untersucht. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Infiltration sowie deren Kinetik im Brenner-Teststand wesentlich vom Benetzungsverhalten des CMAS beeinflusst werden. Trotz des offensichtlichen Angriffs von CMAS auf die Korngrenzen hat die Wechselwirkung von Yttriumdioxid-stabilisiertem Zirkoniumdioxid (YSZ) mit intrudiertem CMAS keinen unmittelbaren Einfluss auf die Struktur und Dichte der innen Oberflächen (Risse, Poren). In einem späteren Stadium wird die Bildung von Rissen senkrecht zur äußeren Oberfläche in einer breiteren Zone der TBC-Schicht beobachtet.

Multimodales Sensorsystem zur mikromagnetischen Materialcharakterisierung

K. Schmitz¹, S. Youssef¹

¹ Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

In der Praxis wird heute ein breites Spektrum an zerstörungsfreien Prüfverfahren eingesetzt. Aufgrund von Nachhaltigkeits- und Qualitätsaspekten in der Stahlindustrie gewinnen die mikromagnetischen Verfahren zunehmend an Bedeutung. Diese Verfahren nutzen die gegenseitigen Abhängigkeiten der magnetischen und mechanischen Eigenschaften von ferromagnetischen Materialien. Änderungen der Mikrostruktur, sowie Last- und Eigenstressungen bilden sich in der magnetischen Hysterese ab. Die zerstörungsfreie Messung des magnetischen Werkstoffverhaltens erlaubt durch diese Abhängigkeit Rückschlüsse auf mechanische Eigenschaften, die sonst nur zerstörend bestimmt werden können.

Eine direkte Bestimmung der magnetischen Hysteresekurve ist unter Praxisbedingungen meist nicht möglich, teils wegen der langen Messzeit, teils wegen der Notwendigkeit, gut definierte Proben zur Messung der Flussdichte über eine probenumfassende Spule zu entnehmen. Das am Fraunhofer IZFP entwickelte 3MA-X8 Verfahren kombiniert unterschiedliche mikromagnetische Methoden unter Einsatz minimalistischer und robuster Sensortechnik. Als Sensor kommt ein Elektromagnet zum Einsatz, der ein definiertes magnetisches Wechselfeld in das zu messende Objekt einbringt, welches die Impedanz des Elektromagneten beeinflusst. Ziel dieser Technologie ist es, mit hoher Messgeschwindigkeit in Aufsatztechnik an beliebigen Geometrien, zur Hysterese äquivalente Merkmale zu extrahieren und diese in Korrelation zu den mechanischen Referenzwerten zu setzen. Aufgrund der Charakteristik des hochpermeablen Elektromagneten wird der 3MA-X8-Sensor bei verhältnismäßig geringen Frequenzen betrieben. Durch den Skineffekt werden Eindringtiefen von mehreren Millimetern erreicht. Die Auflösung sehr oberflächennaher Effekte, wie beispielsweise Eigen- bzw. Lastspannungen, ist mit der bisherigen Lösung nur eingeschränkt möglich. Im Rahmen dieses Beitrags wird ein Sensorkonzept vorgestellt, dass die 3MA-X8 Technik dahingehend erweitert, über zusätzliche Sensorperipherien mit höheren Frequenzen eine erhöhte Messempfindlichkeit für oberflächennahe Effekte zu erzielen.

Merkblatt MTHz 01 – Mikrowellenprüfung: Grundlagen und Anwendungen

S. Becker¹, J. Hinken², J. Schür³

¹ Becker Photonik GmbH, Porta Westfalica; ² fitm Hinken Consult, Magdeburg;

³ Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

Das neue Merkblatt Mikrowellenprüfung: Grundlagen und Anwendungen (MTHz 01) gibt erstmals einen Überblick über die Anwendung der Mikrowellen- und Millimeterwellenprüfung (im Frequenzbereich von 2 GHz bis 300 GHz) zur zerstörungsfreien Prüfung von Bauteilen aus elektrisch nichtleitenden Materialien. Es gibt die erforderlichen Informationen und Entscheidungsgrundlagen für mögliche Einsätze in der Entwicklung, der Fertigung und der Wartung. Das Merkblatt enthält neben einer komprimierten Erläuterung der naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen auch die Beschreibung von Anwendungsfällen einschließlich der Durchführung der Prüfung und Angaben zur Gerätetechnik. Bei der Mikrowellenprüfung handelt es sich primär um ein Verfahren zur Erkennung von Defekten in elektrisch isolierenden, also dielektrischen Materialien und Bauteilen. Aber auch messtechnische Aufgaben lassen sich mit ihr lösen. Das Verfahren beruht auf der Ausbreitung, Reflexion und weiteren Wechselwirkungen zwischen Material und elektromagnetischer Wellen. Zu den prüfbaren Materialien gehören beispielsweise Kunststoffe, glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK), Kunststoffschäume und viele Arten von Keramik. Beispielsweise können Poren, Fremdmaterialeinschlüsse, sowie in GFK Delaminationen und Ondulationen detektiert werden. Wand- und Schichtdicken lassen sich ebenso messen.

Die Mikrowellenprüfung benötigt kein Koppelmittel und kann berührend oder nichtberührend in Reflexions- oder Transmissionsverfahren eingesetzt werden. Anders als z. B. Röntgenstrahlen sind Mikrowellen nicht ionisierend und daher im Vergleich unbedenklich. Ihre Wirkung auf den Körper besteht im Wesentlichen in einer Erwärmung durch Absorption. Eine gesundheitsschädliche Wirkung kann durch eine Begrenzung der Temperaturerhöhung von typischerweise <1 Kelvin erreicht werden. Die dafür relevanten Grenzwerte für die Feldstärken der Mikrowellen werden bei gängigen mikrowellenbasierten ZfP-Verfahren weit unterschritten.

Millimeterwellenprüfung in der Industrie: Anwendungen mit FMCW-Radar bei 50 GHz und 100 GHz im Vergleich

S. Becker¹, A. Keil¹, B. Becker¹

¹ Becker Photonik GmbH, Porta Westfalica

Erst seit wenigen Jahren stehen mobile Millimeterwellen-/Terahertz-Prüfsysteme kommerziell zur Verfügung. Diese Systeme arbeiten bisher als FMCW-Radar in Reflexion bei Frequenzen von 100 GHz bzw. 300 GHz und können dielektrische Materialien im Volumen auf verborgene Defekte prüfen. Bei der Untersuchung von Schäumen, Sandwich-Bauteilen und porösen Materialien zeigt die Millimeterwellenprüfung deutliche Vorteile im Vergleich zum Ultraschall und zur Thermografie. Untersucht werden können alle dielektrischen Materialien. Liegt ein Materialmix vor (z. B. Kunststoff/Metall), ist eine Prüfung bis zur ersten leitenden Oberfläche möglich.

In der vorliegenden Arbeit wird erstmals mit Hilfe eines neu entwickelten Millimeterwellen-Radars bei 50 GHz und eines Radars bei 100 GHz die Abhängigkeit der Dämpfung und der Ortsauflösung von der Arbeitsfrequenz in diesem Bereich bei verschiedenen Materialien bzw. Bauteilen untersucht. Es werden sowohl planare wie auch rotationssymmetrische Bauteile untersucht.

Eine untersuchte Anwendung ist die Prüfung von Korund-Schleifscheiben. Dabei zeigt sich, dass durch die Verwendung des 50 GHz-Radars im Vergleich zum 100 GHz-Radar Scheiben mit wesentlich höherer Porosität noch in Reflexion geprüft werden können. Die mit 50 GHz verbundene, reduzierte Ortsauflösung ist in vielen Fällen für eine zuverlässige Bewertung des Bauteils immer noch ausreichend.

Bei der Untersuchung von GFK-Bauteilen zeigt sich mit dem 50 GHz-Radar ebenfalls eine deutlich geringere Dämpfung. Laminat mit einer Wandstärke von bis zu 50 mm können geprüft werden.

Geführte Mikrowellen für die Zerstörungsfreie Prüfung

J. Hinken¹, A. Gopalan²

¹ fitm Hinken Consult, Magdeburg; ² Rohmann GmbH, Frankenthal

Mikrowellen und Ultraschallwellen sind zwar von unterschiedlicher physikalischer Natur, jedoch sind ihre Ausbreitungseigenschaften ganz ähnlich. Für bestimmte Anwendungen wie metallene Rohrwände hat sich die Ultraschallprüfung mit geführten Wellen als geeignet erwiesen. Entsprechend bieten sich auch geführte Mikrowellen für bestimmte Prüfaufgaben an. Dazu gehören insbesondere elektrisch isolierende, also dielektrische Rohre, wie z. B. Polyethylen(PE)-Rohre und insbesondere Rohre aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK). Im Gegensatz zu Mikrowellen können Ultraschallwellen für die ZfP von GFK nur bedingt eingesetzt werden, weil sie eine verhältnismäßig hohe Dämpfung in GFK haben.

In diesem Beitrag wird zunächst die Theorie geführter Mikrowellen anhand von Plattenwellen zusammengestellt. Sie fußt auf der Beschreibung durch Eigenwellen (Moden), die klassifiziert werden hinsichtlich ihrer Feldkomponenten in Ausbreitungsrichtung und danach, ob ihre Feldverteilung senkrecht zur Plattenausdehnung gerade oder ungerade ist. Die Felder sind in der Platte konzentriert, ragen aber mit exponentiellem Abfall auch in den Außenraum hinein. Die charakteristischen Gleichungen werden für den praktischen Fall von Polyethylen und eine Betriebsfrequenz von 24,125 GHz ausgewertet.

Anschließend wird eine Ankoppelvorrichtung erläutert, die als Art Adapter zwischen einem Standardhohlleiter und der zu prüfenden Platte wirkt. Ähnlich wie in der Ultraschallprüftechnik nutzt die Ankoppelvorrichtung die Funktion eines Prismas und die konstruktive Interferenz zur Anregung der gewünschten Eigenwelle in der Platte.

Eine praktische Realisierung der Ankoppelvorrichtung sowie Ergebnisse erster Dämpfungsmessungen der verwendeten Plattenwelle werden dargestellt. Als Anwendungsbeispiel wird die Prüfung der Naht eines stumpfverschweißten PE-Rohres gezeigt.

Sensormodule für die Mikrowellenprüfung

J. Hinken¹

¹ fitm Hinken Consult, Magdeburg

Die Mikrowellenprüfung eignet sich für die zerstörungsfreie Untersuchung von elektrisch nichtleitenden, d. h. dielektrischen Materialien und Bauteilen. Dabei werden Reflexions- und gelegentlich auch Transmissionsmethoden eingesetzt. Es wird die Stärke (der Betrag) und die Phase des Signals bzw. der Realteil und der Imaginärteil des komplexen Signals ausgewertet. Im einfachen Fall wird mit nur einer Frequenz (monofrequent) gearbeitet. Dann geschieht dies zweckmäßiger Weise innerhalb eines sogenannten ISM-Frequenzbandes, für das eine Allgemeinulassung der Bundesnetzagentur für industrielle, wissenschaftliche und medizinische Zwecke besteht. In der Mikrowellenprüfung wird häufig ein ISM-Frequenzband bei 24 GHz verwendet. – Der Mikrowellenteil eines Reflexionsprüfgerätes besteht aus einer Antenne und einem Sende-Empfänger (Reflektometer). Beim Transmissionsprüfgerät sind es 2 Antennen sowie Sender und Empfänger, die allerdings zumeist in einer Baugruppe zusammengefasst sind. Die Mikrowellentechnik wird inzwischen in Konsumerprodukten eingesetzt: Mobiltelefon, Mikrowellenherd in der Küche, WLAN, Satellitenfernsehen, Autoabstandswarnradar, Bewegungsmelder usw. In der Folge sind kostengünstige Mikrowellenmodule am Markt verfügbar. In diesem Beitrag werden derartige Modultypen für 24 GHz zusammengestellt, die Ausgänge für den Realteil und den Imaginärteil des Signals besitzen und damit als Sensorbausteine für die Mikrowellenprüfung mit Handgeräten oder Scannersystemen geeignet erscheinen. Diese Modultypen wurden primär für Abstandswarnradars für Automobile und Bewegungsmelder entwickelt. Sie werden in diesem Beitrag hinsichtlich Ihres Einsatzes als Sensor in der Mikrowellenprüfung bewertet.

Zu diesen Modultypen gehören 1. die integrierte Schaltung, 2. die hybrid integrierte Schaltung mit einzelnen Bauelementen auf einer Hochfrequenzleiterplatte und 3. vor allem der sogenannte Gunntransceiver. Letztere besticht durch sein raffiniertes Funktionsprinzip, das zu einem extrem einfachen Aufbau einschließlich Antenne führt.

Mikrowellen-Prozesstomografie

M. Mayr¹

¹ SKZ – KFE gGmbH, Würzburg

Es wird ein entwickeltes Mikrowellen-Prozesstomografiesystems vorgestellt, welches einen Einsatz in der Extrusion von Kunststoffprodukten finden soll. Mit Hilfe einer durchdachten mechanischen Einheit kann das Messsystem kontinuierlich gedreht werden. Der Fokus der messtechnischen Erfassung der Kunststoffprodukte liegt in der Erkennung von Fehlstellen und der mathematischen Bestimmung der Geometrien dieser. Durch Zusammenarbeit zwischen dem Kunststoff-Zentrum und dem Lehrstuhl für numerische Mathematik der Universität Saarland, konnten hierbei sehr gute Ergebnisse bei der Erkennung von innenliegenden Defekten erzielt werden.

Einsatz der Shearografie zur Beurteilung der Qualität von widerstandsgeschweißten Punktverbindungen

E. Prints¹, I. Kryukov¹, S. Böhm¹

¹ Universität Kassel

Ein großer Anteil industriell gefertigter Fügeverbindungen wird als Punktverbindung ausgeführt. Das Widerstandspunktschweißen ist insbesondere in der Automobilindustrie ein weit verbreitetes Fügeverfahren. Die Anzahl der Punktschweißverbindungen liegt bei 3000-5000 pro Autokarosserie. Aufgrund kurzer Prozess- und somit Taktzeiten setzte sich das Verfahren bei der Fließbandfertigung durch. Neben der hohen Produktivität zählen ein geringer Bauteilverzug durch die Schweißwärme sowie sehr gute Automatisierbarkeit zu den Vorteilen des Schweißverfahrens.

Die gesetzten Fügeverbindungen unterliegen in der Automobilindustrie strengen Qualitätsanforderungen. Aktuell wird die Qualität durch zerstörende Prüfverfahren beurteilt, die Untersuchung erfolgt stichprobenartig und im Anschluss an den Fertigungsprozess. Der Nachweis fertigungsrelevanter Mängel kann zum Ausschuss einer gesamten Charge an Fahrzeugkarosserien und somit zu erheblichen Kosten führen.

Seitens der Industrie wird zunehmend nach einem zerstörungsfreien Prüfverfahren gesucht, welches in der Lage ist, jede Schweißverbindung direkt im Fügeprozess zu überprüfen. Zurzeit existieren jedoch keine zerstörungsfreie Prüfverfahren, die die geforderten Bedingungen wie Messdauer, Kosteneffizienz, Möglichkeit der Implementierung in den Fertigungsprozess ohne zusätzliche Prüfstationen sowie einfache Interpretation der Messergebnisse hinreichend erfüllen.

Der Einsatz von Shearografie als zerstörungsfreies Prüfverfahren kann dem Anspruch dieser Prüfaufgabe gerecht werden. Die geometrischen und somit mechanisch-technologischen Eigenschaften der Punktschweißverbindungen können mit Hilfe der Shearografie direkt im Anschluss an den Fertigungsprozess beurteilt werden. Im Rahmen des folgenden Beitrags werden die untersuchten Konzepte zum Aufbau einer Messvorrichtung sowie deren Anbringung an einer Widerstandspunktschweißanlage vorgestellt. Die Ergebnisse der Identifikation von festigkeitsrelevanten Unregelmäßigkeiten beim Widerstandspunktschweißen mittels Shearografie werden ausführlich diskutiert. Die durchgeführten Untersuchungen belegen das hohe Potential der Shearografie für den Einsatz als zerstörungsfreies Prüfverfahren zur Qualitätssicherung von widerstandsgeschweißten Punktverbindungen.

Die deutschen Bestrebungen zur Normierung der Fähigkeits- und Zuverlässigkeitsbewertung der zerstörungsfreien Prüfung

D. Kanzler¹, M. Bertovic², T. Heckel², A. Jüngert³, S. Keßler⁴, J. Vrana⁵, F. Dethof⁴, V.K. Rentala¹, M. Rosenthal², R. Stolz⁴

¹ Applied Validation of NDT, Berlin; ² Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin; ³ Materialprüfanstalt, Stuttgart; ⁴ Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg; ⁵ Vrana GmbH, Rimsting

Seit 1999 existiert das MIL-HDBK 1823, die amerikanische Richtlinie zur Erstellung einer Probability of Detection (POD; Fehlerdetektionswahrscheinlichkeit). Obwohl das Dokument als internationaler Stand der Technik angesehen wird, ist ihre Handhabung für die allgemeine Anwendung in der ZfP-Praxis von einigen Nachteilen begleitet:

1. Die beschriebenen PODs bilden ausschließlich die Grundlagen-POD ab, jeweils mit nur einem Fehlerparameter und einem Signalparameter. Modernere Ansätze werden hier nicht adressiert.
2. Die aktuelle Version verzichtet fast vollständig auf konkrete mathematische Formulierungen.
3. Die Richtlinie richtet sich hauptsächlich an die militärische Luftfahrt.
4. Das Dokument ist nur in englischer Sprache verfügbar.

Mit Hilfe eines BMWi-Förderprojekts wird ein weiterführendes Regelwerk auf Basis der MIL-HDBK 1823 unter deutscher Federführung erarbeitet werden, welches die Anwendung der POD-Berechnung auf eine breitere Basis stellt und die oben genannten Nachteile der MIL-HDBK 1823 behebt.

Das vorgestellte Projekt normPOD wird eine normative, möglichst breit und branchenübergreifend einsetzbare Beschreibung des Vorgehens bei der Berechnung einer POD zur Zuverlässigkeitsbewertung zerstörungsfreier Prüfungen entwickeln. Hierbei wird Klarheit über unterschiedliche POD-Ansätze geschaffen und anhand praktischer Beispiele aus Maschinenbau und Bauwesen ein Leitfaden für den späteren Praxiseinsatz erarbeitet werden. Das Poster gibt einen Überblick über die geplanten Arbeiten innerhalb des Projekts und lädt die Beteiligten der DGZfP-Jahrestagung zur Diskussion ein, um eine breite Basis und Akzeptanz für die entwickelten Berechnungsverfahren zu schaffen, insbesondere in Hinblick auf ZfP 4.0 und Digitalisierung.

Neue Verfahren der thermografischen Super Resolution mit strukturierter 1D-Lasererwärmung

S. Ahmadi¹, J. Lecompanion¹, P.D. Hirsch¹, P. Burgholzer², P. Jung³, G. Caire³, M. Ziegler¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin; ² RECENDT GmbH, Linz, Österreich; ³ Technische Universität Berlin

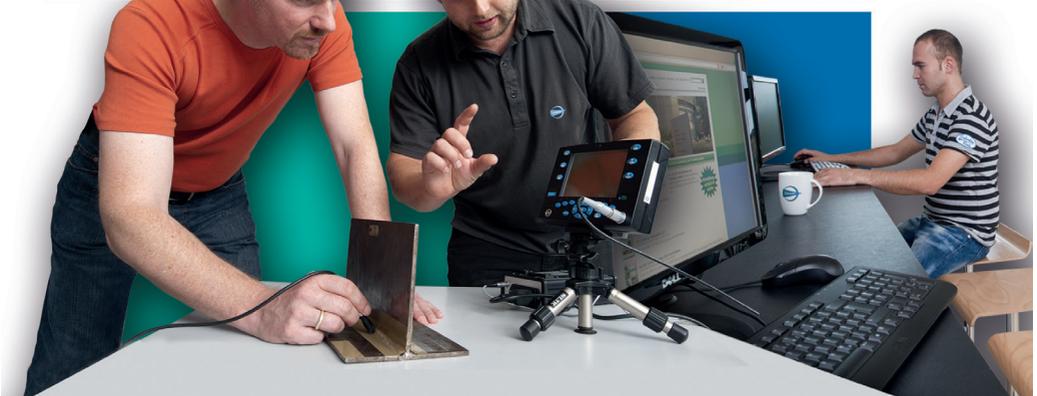
Die thermografische ZfP basiert auf der Wechselwirkung von thermischen Wellen mit Inhomogenitäten. Die Ausbreitung von thermischen Wellen von der Wärmequelle zur Inhomogenität und zur Detektionsoberfläche entsprechend der thermischen Diffusionsgleichung führt dazu, dass zwei eng beieinander liegende Defekte fälschlicherweise als ein Defekt im gemessenen Thermogramm erkannt werden können. Um diese räumliche Auflösungsgrenze zu durchbrechen, also eine Super Resolution zu realisieren, kann die Kombination von räumlich strukturierter Erwärmung und numerischen Verfahren des Compressed Sensings verwendet werden. Für unsere Arbeiten benutzen wir Hochleistungs-Laser im Kilowatt-Bereich um die Probe entweder hochaufgelöst entlang einer Linie (1D) abzurastern oder strukturiert zu erwärmen. Die Verbesserung des räumlichen Auflösungsvermögens zur Defekterkennung hängt dann im klassischen Sinne direkt von der Anzahl der Messungen ab. Mithilfe des Compressed Sensings und Vorkenntnissen über das System ist es jedoch möglich die Anzahl der Messungen zu reduzieren und trotzdem Super Resolution zu erzielen. Wie viele Messungen notwendig sind und wie groß der Auflösungsgewinn gegenüber der konventionellen thermografischen Prüfung mit flächiger Erwärmung ist, hängt von einer Reihe von Messparametern, der Messstrategie, Probeneigenschaften und den verwendeten Rekonstruktionsalgorithmen ab.

Unsere Studien befassen sich mit dem Einfluss der experimentellen Parameter, wie z. B. der Pulslänge der Laserbeleuchtung und der Größe des Laserspots. Weiterhin haben wir uns mit der Wahl der Parameter in der Rekonstruktion auseinandergesetzt, die einen Einfluss auf das im Compressed Sensing zugrundeliegende Minimierungsproblem haben. Für jeden getesteten Parametersatz wurde eine Rekonstruktionsqualität berechnet. Schließlich wurden die Defektrekonstruktionen basierend auf den Parameternsätzen verglichen, sodass eine Parameterwahl für hohe Rekonstruktionsqualitäten mit thermografischer Super Resolution empfohlen werden kann.



DGZfP
AUSBILDUNG UND
TRAINING GmbH

Hochwertige praxisnahe Schulungen für Personal in der Zerstörungsfreien Werkstoffprüfung (ZfP) in Europas größtem Ausbildungszentrum.
Qualifizierung und Zertifizierung nach DIN EN ISO 9712.



WISSEN IST GRENZENLOS

Bereit für die Zukunft: www.dgzfp.de

Optisch angeregte, thermografische Prüfung von semi-transparenten thermoplastischen Verbundwerkstoffen

J. Gruber¹, G. Mayr¹, G. Bäck²

¹ FH OÖ Forschungs & Entwicklungs GmbH, Wels, Österreich; ² Engel Austria GmbH, Sankt Valentin, Österreich

Im Gegensatz zu faserverstärkten Kunststoffen mit duroplastischer Matrix sind thermoplastische Faserverbunde, wie sie z. B. in der Spritzgussindustrie eingesetzt werden, meist nicht opak, sondern haben vom verwendeten Matrix/Fasersystem abhängige spektrale Eigenschaften. Optisch angeregte Puls-Thermografie Messungen wurden an Probenplatten mit unterschiedlichen, künstlich eingebrachten Fehlstellen durchgeführt. Die Platten wurden aus verschiedenen Materialsystemen, wie Polypropylen (PP), Polyamid (PA) oder Polycarbonat (PC) verstärkt mit Glas- bzw. Carbonfasern gefertigt. Zudem erfolgten Messungen an realen 3D-Komponenten mit komplexer Geometrie, die aus sogenannten Tapes gefertigt wurden.

Zur Detektion der Fehlstellen bei unterschiedlichen Materialsystemen kamen Standardmethoden wie die Thermographic-Signal-Reconstruction (TSR) Methode, die Linear-Diffusivity-Fitting (LDF) Methode, Puls-Phasen-Thermografie (PPT) und Methoden basierend auf der Early-Time-Detection zum Einsatz. Die einzelnen Ergebnisse wurden in fünf Detektierbarkeitsklassen eingeordnet und in einer Detektionsmatrix zusammengefasst. Dies gibt einen detaillierten Überblick, welche thermografische Methoden für eine bestimmte Art von Fehlstelle und Materialsystem geeignet sind.

Die thermografische Untersuchung der 3D Komponenten wurden mit Röntgen-Computer-Tomografie Messungen verglichen um tatsächliche Fehlstellen von Auffälligkeiten aufgrund der komplexen Geometrie oder aufgrund der Verwendung von physikalischen Modellen, die nur bedingt zur Prüfung semi-transparenter Komponenten geeignet sind, unterscheiden zu können.

Hohe Taktraten der Spritzgussindustrie beschränken das Zeitfenster für eine Qualitätssicherung deutlich. Hinzu kommt, dass an realen 3D-Komponenten Standardauswertemethoden zur Bestimmung der Diffusionszeit (TSR- und LDF-Methode) einen weiten Bereich an Werte liefern, da aufgrund des Lagenaufbaus oder einer funktionalen Hinterspritzung das Bauteil unterschiedliche Dicken aufweist.

Die hohe Anzahl an baugleichen Komponenten erlaubt jedoch die Anwendung bestimmter Bildverarbeitungsmethoden. Durch den Vergleich eines aktuellen Ergebnisbildes mit einem berechneten, fehlerfreien Bild konnte eine schnelle Fehlerdetektion entwickelt werden.

Optimierung der Mehr-Puls-Thermografie für flächige Schichtdickenmessungen

D. Hoffmann¹, S. Lulei², C. Kolb¹, T. Hochrein¹, M. Bastian¹, G. Schober¹

¹ SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg; ² Julius-Maximilians-Universität, Würzburg

Beschichtungen spielen heutzutage für viele Industriezweige eine zentrale Rolle. Dabei ist die Ermittlung der Dicke eine wesentliche Voraussetzung, sowohl zur Qualitätskontrolle bereits während der Produktion als auch, um eine Veränderung während des Bauteilbetriebes durch z. B. Abrieb bzw. Korrosion zu überwachen. Da die Bauteilbeschichtung häufig am Ende der Prozesskette steht, ist der wirtschaftliche Schaden bei fehlerhaft beschichteten Bauteilen aufgrund der fehlenden Möglichkeit bzw. des hohen Aufwands einer Reparatur sehr groß. Neben einer Vielzahl an bereits existierenden meist nur punktuell einsetzbaren Schichtdickenmessverfahren kann die für viele Industrieanwendungen bereits etablierte aktive Thermografie für die Schichtdickenmessung eingesetzt werden, die als zerstörungsfreies, berührungsloses und flächig einsetzbares Messverfahren immer stärker in den Fokus rückt. Bei konventionellen thermografischen Verfahren findet die Erwärmung meist amplitudenmoduliert über Halogenstrahler oder mittels eines kurzen energieintensiven Lichtblitzes statt. Bei der in diesem Beitrag vorgeführten Mehr-Puls-Thermografie wird das Bauteil mit einer Sequenz von Blitzen thermisch angeregt. Dadurch kann eine geringere thermische Belastung des Bauteils und ein größeres und damit besseres Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) im Vergleich zur konventionellen Puls-Thermografie sowie eine kürzere Messdauer und ein größerer auswertbarer Schichtdickenbereich im Vergleich zur Lock-in-Thermografie realisiert werden. Schichtdickenunterschiede werden hierbei über die Phaseninformation des thermischen Empfangssignals ermittelt. In diesem Beitrag wurde der flächige Einsatz der Mehr-Puls-Thermografie zur Messung von Schichtdicken im μm -Bereich anhand von Simulationen und experimentell demonstriert.

Automatisierte Erkennung von Schweißnahtunregelmäßigkeiten an Kehlnähten mittels Thermografie und 3D-Zeilenscan

F. Koch¹, S.T. Hübner², G. Trenschr¹, K. Simmen², A. Breitbarth², S. Keitel¹, G. Notni²

¹ Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Halle GmbH, Halle (Saale);

² Technische Universität Ilmenau

Bei Kehlnähten beschränkt sich der Prüfumfang auf die Oberflächenprüfverfahren Sicht- und Farbeindringprüfung (z.B. gemäß DIN EN ISO 15614). Hintergrund ist die mangelhafte Darstellbarkeit von Fehlern mit standardisierten Volumenprüfverfahren insbesondere an durchgeschweißten Kehlnähten. Im Rahmen von einlagigen MSG-Kehlnaht Arbeitsproben mit Blechdicken von 10 mm und 12 mm werden mithilfe der passiven Thermografie die Darstellbarkeit von Poren, Bindefehlern und Heißrissen sowie mit dem 3D-Zeilenscan die Detektion von Nahtstärke, -überhöhung, -symmetrie, -übergang und Einbrandkerben systematisch untersucht. Die Aufzeichnung der Temperaturverteilung an der Oberfläche von Grund- und Zusatzwerkstoff erfolgt mit der Wärmebildkamera OPRIS PI 640, die in Schweißrichtung hinter dem Brenner mitbewegt wird. Eine qualitative Auswertung der Thermogramme z.B. anhand der Temperaturdifferenz zu einer Referenztemperatur und den Temperaturgradienten längs und quer zur Naht lässt Rückschlüsse auf die Art von Schweißnahtunregelmäßigkeiten zu. Die 3D-Daten der Schweißnaht werden mittels eines WENGLOR MSL 122 Zeilenscanners erfasst, welcher in Schweißrichtung hinter der Wärmebildkamera angeordnet ist. In den aufgezeichneten Signalen werden diejenigen ermittelt, welche den Basisblechen zuzuordnen sind und ausgehend davon die Naht geometrisch analysiert. Das Ableiten der zugehörigen Fehlergröße aus den optischen Messdaten und die Validierung durch alternative Prüfmethoden sind Gegenstand aktueller Arbeiten. Hierbei werden die Bewertungsgruppen nach DIN EN ISO 5817 berücksichtigt. Ziel der Untersuchung ist es eine blechdickenabhängige Datenbasis zu erstellen, mit der eine inline Prozesskontrolle und -steuerung möglich ist. Das lernfähige Messmodul soll in Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern SIBAU Genthin GmbH & Co. KG und Dögel GmbH an einem Schweißtraktor Anwendung finden.

Thermografische Super Resolution mit 2D-strukturierter Erwärmung

J. Lecompañon¹, S. Ahmadi¹, P. Hirsch¹, M. Ziegler¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Thermografische Super Resolution ermöglicht die Auflösung von Defekten/Inhomogenitäten unterhalb des klassischen Limits, welches durch die Diffusionseigenschaften der thermischen Wellenausbreitung bestimmt wird. Basierend auf einer Kombination aus der Anwendung spezieller Abtaststrategien und einer anschließenden numerischen Optimierungsschritt bei der Datenauswertung hat sich die thermografische Super Resolution bereits bei der Detektion von 1D-Defekten gegenüber den Standard-Thermografieverfahren als überlegen erwiesen. In unserer Arbeit erweitern wir die Möglichkeiten der Methode zur effizienten Detektion und Auflösung von Defektquerschnitten mit einer vollständig 2D-strukturierten Erwärmung.

Der experimentelle Ansatz basiert auf einer wiederholten räumlich strukturierten Erwärmung durch einen Hochleistungslaser. In einem zweiten Nachbearbeitungsschritt werden mehrere kohärente Messungen mittels mathematischer Optimierung und unter Ausnutzung der (Joint-) Sparsity der Defekte innerhalb des Prüfkörpers kombiniert. Als Ergebnis kann eine 2D-sparse Defekt-/ Inhomogenitätskarte erhalten werden. Da die Kombination von räumlich strukturierter Erwärmung und anschließender numerischer Kombination mehrerer kohärenter Messungen nicht nur die Auflösung verbessert, sondern auch die Messkomplexität drastisch erhöht, werden verschiedene Scanstrategien untersucht. Abschließend werden die erhaltenen Ergebnisse mit denen konventioneller thermografischer Prüfverfahren verglichen.

Qualifizierung der aktiven Thermografie zur Prüfung von Schweißverbindungen an Prüfkörpern mit realitätsnahen Unregelmäßigkeiten

M. Mund¹, E. Prints², I. Kryukov², J. Hensel¹, S. Böhm², K. Dilger¹

¹ Technische Universität Braunschweig; ² Universität Kassel

Im Schweißprozess kann es zur Entstehung einer Vielzahl von Unregelmäßigkeiten kommen, die in Risse, Hohlräume, feste Einschlüsse, Bindefehler oder ungenügende Durchschweißungen, Form- und Maßabweichungen sowie sonstige Unregelmäßigkeiten eingeteilt werden. Die Bewertung der Unregelmäßigkeiten hinsichtlich ihrer Zulässigkeit erfolgt anhand normativ festgelegter Bewertungsgruppen. Grundlage der Bewertung der Schweiß- bzw. Bauteilqualität sind dabei oftmals die Ergebnisse zerstörungsfreier Prüfungen zur Ermittlung der Ausprägungen und Lagen der Schweißnahtunregelmäßigkeiten. Die aktive Thermografie wird trotz der bedeutenden Potenziale (wie etwa der robusten und bildgebenden Ergebnisse) in diesen Normen nicht berücksichtigt. Somit sind thermografische Verfahren bisher nicht hinreichend zur Prüfung von Schweißnähten qualifiziert. Im Forschungsprojekt „QualiTWeld, wird daher die Qualifizierung thermografischer Verfahren mit aktiver Anregung für die Prüfung von Schweißverbindungen betrachtet. Zur objektiven Bewertung der Prüfverfahren und -systeme der aktiven Thermografie werden dazu im Rahmen des Projektes realitätsnahen Prüfkörper relevanter Werkstoffgruppen mit typischen Schweißnahtunregelmäßigkeiten entwickelt. Dabei ist es das Ziel, auf Basis der Messergebnisse Normentwürfe zur Prüfung von Schweißverbindungen mittels der aktiven Thermografie zu erarbeiten. Das Projekt trägt somit dazu bei, die thermografische Prüfung zur Anwendung an Schweißverbindungen zu etablieren und diese Normungslücke zu schließen.

Im Rahmen dieses Beitrags wird zum einen auf die Fertigung von Prüfkörperprototypen sowie deren Validierung anhand etablierter Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung eingegangen (VT, RT). Zum anderen werden die ersten Ergebnisse bezüglich der Eignung thermografischer Verfahren zum Nachweis dieser Unregelmäßigkeiten vorgestellt. Dadurch kann gezeigt werden, dass thermografische Verfahren grundsätzlich zum Nachweis typischer Schweißnahtunregelmäßigkeiten eingesetzt werden können.

Entwicklung eines Echtzeit - Detektionssystems zur Identifizierung von Lack- und Farbschichten auf Betonoberflächen

A. Peste¹, S. Eckart¹, H. Krause¹

¹ Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, TU Bergakademie Freiberg

In dieser Arbeit wird ein in der Entwicklung befindliches Messsystem vorgestellt, mit welchem eine bildgebende Echtzeitüberwachung des lasergestützten Abtrages von organischen Beschichtungen von Betonoberflächen ermöglicht wird. Das Verfahren wird im Rahmen eines FORKA - Projektes des BMBF entwickelt, bei welchem eine laserbasierte Dekontaminationstechnologie für den Einsatz im nuklearen Rückbau qualifiziert wird. Dabei erfolgt die optische Kontrolle des Dekontaminationsprozesses mittels aktiver Thermografie. Das gewählte Verfahren basiert auf der Bestimmung des zeitlichen Verlaufes von Eigenstrahlung und Reflexionen im infraroten (IR) Strahlungsspektrum. Zur Entwicklung des Verfahrens wurden unterschiedliche Beschichtungsmaterialien auf Epoxidharz-Basis und das Basissubstrat vermessen. Die Messdaten wurden numerisch ausgewertet und mehrere Verfahrensvarianten evaluiert. Die einzelnen Bereiche der dekontaminierten Oberfläche konnten durch die Erstellung des daraus resultierenden Temperaturprofils eindeutig charakterisiert werden. Durch die systematische Klassifizierung der Stoff- und Prozessparameter wird im Rahmen dieses Projektes eine Heuristik erstellt, welche die optimale Auswertung der Messdaten in Echtzeit ermöglicht. Abschließend soll eine miniaturisierte Sensortechnik in einen Arbeitskopf integriert werden, um die In-Situ-Überwachung der Oberflächenbeschaffenheit nach abgeschlossener Laserbearbeitung zu ermöglichen. Die visuell aufbereiteten Sensordaten werden in Echtzeit für das Bedienpersonal ausgewertet, um den vollständigen Abtrag der Beschichtung zu gewährleisten.

Flächige photothermische Schichtdicken- und Materialcharakterisierung an Ein- und Mehrschichtsystemen

J. Rittmann¹, M. Kreutzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

Die hohe Beleuchtungsstärke auf dem Niveau von Blitzlampen bei einer gleichzeitig hohen zeitlichen Flexibilität mit einer vollflächigen Abstrahlungscharakteristik in einem VCSEL-Array lässt die beiden Regime Puls- und Lockinanregung in einer einzigen Anregungsquelle verschmelzen und macht dies zu einer überlegenen Anregungsquelle in der aktiven Thermografie. In Kombination mit einer schnellen Thermografiekamera kann das (zerstörungsfreie) Prüfverfahren zu einem flächig abbildenden Messverfahren zur quantitativen Bestimmung von Schichtdicken und zur Materialcharakterisierung erweitert werden. Insbesondere kann damit bei bekannter Schichtdicke die lokale Verteilung der Temperaturleitfähigkeit in dünnen Materialien ermittelt werden. In diesem Beitrag wird die Leistungsfähigkeit des VCSEL-Arrays zur flächigen Materialcharakterisierung aufgezeigt und mit der analytischen Lösung sowie bestehenden Referenzverfahren zur Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit und der Schichtdicke verglichen. Die bestehenden Modelle eines Einschichtsystems werden innerhalb dieses Beitrags um einen Ansatz für Mehrschichtsysteme erweitert. Viele der untersuchten Kunststoffe sind im Infraroten teiltransparent, wodurch neue Ansätze zur tiefenaufgelösten Anregung und Auswertung herangezogen werden müssen. Abschließend werden die Grenzen der flächigen photothermischen Charakterisierung von (teiltransparenten) Schichtsystemen aufgezeigt.

Durchführung komplexer Prüfaufgaben mittels individuell angepasster Prüfköpfe – unter Berücksichtigung der physikalischen und technischen Voraussetzungen

J. Bresler¹, T. Rehfeldt¹, C. Fartely¹, K. Rohde¹

¹ Framatome GmbH, Erlangen

Zur Durchführung von komplexen Prüfaufgaben mittels Ultraschalltechnik sind die notwendigen Prüfköpfe von entscheidender Bedeutung. Das entscheidende Kriterium sind dabei die physikalischen Eigenschaften des Prüfkopfes, welche sich aus den verwendeten Materialien, dem Prüfkopfdesign sowie der elektrischen Ansteuerung ergeben und die Grundlage eines jeden Prüfkopfes bilden.

Das zweite wichtige Kriterium sind die technischen Voraussetzungen am Einsatzort beispielsweise hinsichtlich Zugänglichkeit oder zu erwartender Prüfzeit.

An ausgewählten Anwendungsfällen soll exemplarisch gezeigt werden, wie individuell angepasste Prüfköpfe komplexe Prüfaufgaben lösen und welche physikalischen sowie technischen Voraussetzungen dafür erfüllt werden müssen.

Entwicklung einer Bohrlochsonde für Ultraschalluntersuchungen an Abschlussbauwerken in Endlagern

F. Mielentz¹, H. Stolpe¹, U. Effner¹, M. Behrens¹, T. Bernstein¹, E. Niederleithinger¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Für die Qualitätssicherung von Abschlusswerken für Endlager wird eine Ultraschall-Bohrlochsonde entwickelt. Mithilfe dieser Sonde, die aus einer Vielzahl von einzelnen koppelmittelfreien Ultraschall-Punktkontaktprüfköpfen besteht, soll die Rissfreiheit der Versuchsbauteile überprüft werden.

Ein erster Prototyp der Sonde wurde mit einem kommerziellen Ultraschallgerät betrieben und bestand aus 12 Transversalwellen-Punktkontaktprüfköpfen von denen jeweils sechs als Sender und sechs als Empfänger parallelgeschaltet waren. Um den erzeugten Schalldruck der Bohrlochsonde zu steigern, wurde bei der Neuentwicklung die Prüfkopffanzahl erhöht und zusätzlich die laufzeitgesteuerte Anregung der einzelnen Prüfköpfe vorgesehen. Für die Anregung der Prüfköpfe mit programmierten Zeitverzögerungen wurde ein neuartiger mehrkanaliger Sender für bipolare Rechtecksignale entwickelt.

Durch die Entwicklung der Bohrlochsonde soll eine dynamische Anpassung der Prüfkopf-Apertur sowie eine Fokussierung des Schallfeldes in Abhängigkeit der zu untersuchenden Tiefe erfolgen. Mithilfe entsprechender Anregungsfunktionen kann das Schallfeld der Bohrlochsonde unterschiedlich geformt werden, z. B. ist auch ein Schwenken des fokussierten Schallbündels möglich. Dadurch wird das erfasste Prüfvolumen begrenzt und auf diese Weise das Signal-Störverhältnis der Empfangssignale verbessert. In Kombination mit SAFT-Rekonstruktionsrechnungen wird durch eine optimierte Abstrahlcharakteristik der Sonde mit einem hohen Schalldruck unter verschiedenen Winkeln eine verbesserte Signalqualität und damit eine erhöhte Aussagesicherheit der Ergebnisse in der Objektabbildung erwartet.

Anwendung eines Luftultraschall-Prüfsystems (CPS) für die algorithmische Verarbeitung von Luftschallsignalen von komplexen Bauteilgeometrien für die Qualitätskontrolle im Fertigungsprozess

H. Rieder¹, H. EL-Hajjaji¹, W. Repplinger²

¹ RD Systemtechnik GmbH, Saarbrücken; ² MPT Mess- und Prüftechnik, Dillingen

Auf der Dach-Tagung 2019 haben wir ein konfigurierbares, eingebettetes Ultraschallsystem vorgestellt, das auf Basis eines Cyber-physischen-Systems (CPS) entworfen ist.

In diesem Beitrag möchten wir eine Anwendung für das CPS vorstellen, bei welcher Luftschall verwendet wird, um optisch schlecht ausleuchtbare Oberflächenkonturen und komplexe Bauteilgeometrien (z. B. Gewindebohrungen) mittels Luftschall detailliert abzubilden. Dabei sollen Fertigungsfehler durch einen Soll- und Istwert-Vergleich auf Basis von Referenzmodulen im Sinne einer Qualitätssicherung festgestellt werden. Wir verarbeiten Luftschallsignale in Impuls-Echo-Technik mit Signalverarbeitungs-methoden im Zeit- und Spektralbereich unter Anwendung der Korrelationsanalyse und vergleichen die Ergebnisse mit den durch das Rekonstruktionsverfahren SAFT (Synthetic Aperture Focussing Technique) berechneten Abbildungen. Die dafür notwendigen Hardware- und Softwaremodule auf Basis eines CPS werden ebenfalls skizziert.

Der Beitrag basiert auf einer Masterarbeit, die bei RD Systemtechnik im Jahr 2020 erfolgreich durchgeführt wurde und spezifische Sende- und Empfangskomponenten für den Einsatz von Luftschall von dem Ingenieurbüro MPT, Mess- und Prüftechnik verwendet.

Charakterisierung von luftgekoppelten Ultraschallwandlern

M. Gaal¹, T. Gautzsch², Y. Bernhardt³, N. Lehmann⁴

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² SONOTEC, Halle (Saale); ³ Universität Stuttgart; ⁴ Porsche, Leipzig

Mit dem steigenden Einsatz der luftgekoppelten Ultraschallprüfung steigt auch der Bedarf an verlässlichen Methoden der Charakterisierung der eingesetzten Technik. Mehrere unterschiedliche Verfahren zur Charakterisierung von luftgekoppelten Wandlern und der entsprechenden Gerätetechnik werden verwendet. Prüfkopf-Datenblätter verschiedener Hersteller beinhalten unterschiedliche Prüfkopfparameter, wobei oft eigene Verfahren für die Charakterisierung dieser Prüfköpfe verwendet werden. Diese Vielfalt der Parameter und Verfahren erschwert den potenziellen Kunden den Vergleich zwischen den Prüfköpfen unterschiedlicher Hersteller. Daraus ergibt sich der Bedarf, die Verfahren zur Charakterisierung von luftgekoppelten Ultraschallwandlern zu standardisieren. Vorrangig diese Überlegungen bewegten Hersteller von luftgekoppelten Ultraschallwandlern, Forschungseinrichtungen und Anwender sich zu vernetzen und im Rahmen des Fachausschusses „Ultraschall“ den Unterausschuss „Luftgekoppelte Ultraschallprüfung“ zu gründen. Als erstes Ziel hat sich der Unterausschuss die Erarbeitung einer Richtlinie zur Charakterisierung von luftgekoppelten Ultraschallwandlern gesetzt.

Dieser Beitrag ist ein Überblick über viele Methoden zur Charakterisierung von luftgekoppelten Ultraschallwandlern, mit dem Schwerpunkt auf der akustischen Charakterisierung. Zu den wichtigsten Wandlerparametern gehören Empfindlichkeit, Mittenfrequenz, Bandbreite, Fokusgröße und Fokusabstand. Verschiedene Methoden der Schallfeldvermessung werden untereinander verglichen. Diese Überlegungen bieten den Ausgangspunkt für spätere Arbeit an einer Richtlinie zur Charakterisierung von luftgekoppelten Ultraschallwandlern.

Luftgekoppelte Ultraschallprüfung, eine Alternative in der zerstörungsfreien Prüfung

T. Gautzsch¹, A. Szewieczek², W. Hillger², M. Gaal³, G. Schober⁴, W. Essig⁵

¹ SONOTEC GmbH, Halle (Saale); ² Hillger NDT GmbH, Braunschweig; ³ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ⁴ SKZ – KFE gGmbH, Würzburg;

⁵ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

Die luftgekoppelte Ultraschallprüfung (ACUT) ist ein vielfach bewährtes zerstörungsfreies Prüfverfahren, welches von vielen Anwendern jedoch nur am Rande oder gar nicht wahrgenommen wird. Insbesondere die nach wie vor in der Ultraschallausbildung gelehrteten Theorien zur wellenlängenabhängigen minimalen detektierbaren Fehlergröße und die vermeintliche Notwendigkeit der Verwendung von Koppelmittel schrecken viele potentielle Anwender davon ab für ihr Prüfproblem ACUT in Betracht zu ziehen. Des Weiteren wird ACUT häufig nicht als eigenständiges Prüfverfahren erkannt, so dass versucht wird flüssigkeitsgekoppelte Ultraschallprüfungen ohne Beachtung der Besonderheiten zu ersetzen. Für eine Einführung in die Möglichkeiten und Grenzen der luftgekoppelten Ultraschallprüfung werden an repräsentativen und typischen Fehlermerkmalen die Ergebnisse der Vergleichsverfahren Phased-Array-Ultraschallprüfung, Tauchttechnik-Ultraschallprüfung, Thermografie, Wirbelstrom, Terahertz und Röntgen mit der luftgekoppelten Ultraschallprüfung verglichen und die Vor- und Nachteile der jeweiligen Methode analysiert.

USBUS – eine neue Familie von Ultraschallprüfsystemen

A. Szewieczek¹, W. Hillger¹, D. Ilse¹

¹Hillger NDT GmbH, Braunschweig

USBUS bezeichnet eine neue Familie von leistungsfähigen und preiswerten Ultraschallsystemen für die Bereiche Forschung, Entwicklung und Ausbildung. Im Einzelnen sind folgende Systeme lieferbar: das 200 MHz Hochfrequenz-Ultraschallprüfsystem USBUS 3060 UHF, das 65 MHz Ultraschallprüfsystem USBUS 3010 VHF und das USBUS 4000 AirTech für berührungslose Prüfungen mit Ankopplung über Luft. Diese Geräte werden über eine USB-Schnittstelle an vorhandenen PCs oder Laptops betrieben. Die einfach zu bedienende Software Hillgus stellt die Prüfparameter ein und wertet das A-Bild in mehreren Blenden bezüglich der Amplituden, Laufzeiten und Frequenzen automatisch aus. Ferner sind Langzeitbeobachtungen mit einem Datenlogger möglich, der in wählbaren Zeitintervallen Amplituden, Laufzeiten und vollständige A-Bilder speichert. Die optionale FFT stellt das Frequenzspektrum dar und wertet automatisch max. Frequenz, Bandbreite sowie untere und obere Grenzfrequenz aus.

Für das luftgekoppelte System USBUS 4000 AirTech sind spezielle Prüfköpfe im Bereich von 50 bis 300 kHz erhältlich. Die Empfangsprüfköpfe können mit einem eingebauten Vorverstärker in Ultra-Low-Noise Technik geliefert werden, der mit einer Rauschspannung von unter 0,8 nV / Wurzel (Hz) ca. 4 dB rauschärmer ist als unsere Standardvorverstärker.

3D Hybridmodellierung zur Porositätsprüfung an Grobblechen mit einem Ultraschall-Array-Prüfkopf: Simulation und deren experimentelle Validierung

S. Kolkoori¹, R.H. Koch¹, S. Falter²

¹ ROSEN Technology and Research Center GmbH, Alzenau; ² ROSEN Germany GmbH, Stutensee

Durch den Einsatz angepasster Simulationsmethoden kann die Entwicklungszeit und die Anzahl der Prototypen zur applikationsspezifischen Optimierung des Designs von Ultraschall-Array-Prüfköpfen stark reduziert werden. Zur Erzielung hoher Genauigkeiten (Amplitudenabweichung < 1 dB) bei reduzierten Rechenzeiten benötigt man zur Simulation nicht nur eine hochfrequente Näherung für die akustische Wellenausbreitung sondern auch ein hochpräzises elektro-akustisches Kopplungsmodell.

In diesem Beitrag berichten wir über ein effizientes 3D Hybridmodell zur Modellierung eines Ultraschall-Array-Prüfkopfes für die Inspektion von Grobblechen auf Porosität. Diese Methode basiert auf einer dreidimensionalen Finiten-Elementen-Analyse (FEA) und der semi-analytischen Simulation „Ray-Tracing“. Zuerst wird das FEA-Modell des Array-Prüfkopfes mit den Komponenten Composite-Schwinger, Anordnung der Arrayelemente, leitfähige Elektroden, Anpassschicht, Dämpfungsmaterial, elektrische Beschaltung mit einem 50Ω-Koaxialkabel und der Keilgeometrie eines Prüfkopf-Arrays vorgestellt.

Zusätzlich werden hier das akustische und elektrische Übersprechen (Cross-Talk) zwischen benachbarten Elementen in der FEA Simulation berücksichtigt. Die FEA simulierten Array-Wandler Pulse-Echo Signale im Zeit- und Frequenzbereich eines Stahlreflektors im Fernfeld werden als Referenzsignale in der semi-analytischen Simulationsverfahren CIVA-UT Software weiterverwendet, um die quantitative Bestimmung der Porosität in Grobblech zu simulieren. Die Vorteile dieses Hybridverfahren sind die Reduktion des zeit- und kostenaufwendigen Array-Prüfkopf-Prototypenbaus und die Berücksichtigung des realen Sendeimpulses des in der Industrie eingesetzten Ultraschall-Prüfgeräts „ROMIS (ROSEN Modular Inspection System)“ in der Modellierung. Die Abhängigkeit der Detektierbarkeit der Porosität von der Array-Prüfkopffrequenz wird quantitativ analysiert.

Die 3D Hybridmodell simulierten Fehlerechosignale in einem Grobblech werden mit den experimentellen Daten verglichen und es wird eine gute quantitative Übereinstimmung zwischen dem Experiment und der Simulation erzielt.

Sensorische Überwachung des Ultraschallschweißprozesses

M. Kornely¹, J. Rittmann¹, M. Kreuzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

Das Ultraschallschweißen ist ein anerkanntes und weit verbreitetes Fügeverfahren, um thermoplastische Bauteile dauerhaft miteinander zu verbinden. Das Verfahren zeichnet sich durch eine lokale Erwärmung der Bauteile in der Fügeebene, eine geringe Schweißzeit sowie eine hohe Wirtschaftlichkeit des Prozesses aus. Die Schweißnahtqualität hängt dabei von vielzähligen Faktoren ab. Ausgehend von den Prozessparametern, den Toleranzen der Fügeteile bis hin zu Theorien über ein chaotisches Werkstoffverhalten im Grenzbereich des Ultraschallschweißens wird der Prozess gewollt und ungewollt beeinflusst. So führt z.B. eine Erhöhung der Schweißkraft zu einer Reduzierung der Schweißzeit und zu einer Verbesserung der Schweißnahtfestigkeit. Bei zu hohen Kräften wird die Schmelze allerdings aus der Fügezone gedrückt, was zu einer Reduzierung der Festigkeit führt. Dies kann zu schwankenden Prozessqualitäten führen. Die Bewertung der Schweißnahtqualität erfolgt bisher durch eine zerstörende Prüfung der Schweißnaht.

Die sensorische Überwachung des Ultraschallschweißprozesses ermöglicht es, schon während des Prozesses Aussagen über die Schweißnahtqualität treffen zu können. Im Rahmen dieser Arbeit wird die sensorische Überwachung der im Amboss auftretenden mechanischen Schwingungen mithilfe von Piezosensoren sowie die Temperaturentwicklung in der Fügezone der Schweißnaht mit einer Thermografiekamera aufgezeigt. Aus jeweils für die sensorische Überwachung charakteristischen Werten, wie Amplitude und Frequenz, wird ein Vergleich zur Schweißnahtqualität mittels anschließender Zugversuchen angestellt. Dabei zeigt sich eine signifikante Korrelation zwischen den ermittelten Zugfestigkeiten und den am Piezoschwinger erfassten Energiedichten.

Charakterisierung und Qualitätssicherung von Ultraschall-Prüfköpfen

A. Mück¹

¹ SONOTEC GmbH, Halle (Saale)

Prüfköpfe sind wesentlicher Bestandteil jeder Ultraschall-Prüfanlage. Bei der Konzipierung einer Anlage, beim Einrichten und in der Prüfung nutzt der Prüfer die Herstellerangaben zu den Prüfkopfeigenschaften und verlässt sich auf die zugesicherte Qualität. Die sich daraus ergebenden Anforderungen an die Hersteller von Ultraschallprüfköpfen sind in der Norm EN 12668-2 beschrieben. In den vergangenen Jahren wurde diese Norm grundlegend überarbeitet. Ziel war es, unter Berücksichtigung anderer internationaler Standards eine Norm zur Verfügung zu stellen, welche die Gewohnheiten, Erfahrungen und Anforderungen der weltweiten Anwender berücksichtigt. Das Ergebnis liegt nun in Form der ISO 22232-2 vor. Nahezu unverändert geblieben sind die Verfahren zur Bestimmung der wesentlichen Eigenschaften von Prüfköpfen. Konkretisiert hingegen wurden Vorgaben, welche Prüfkopf-Eigenschaften zu ermitteln und zu dokumentieren sind. Während Standard-Prüfköpfe für die manuelle Ultraschallprüfung in sehr großer Stückzahl gefertigt und entsprechend ausreichend Daten für eine statistische Qualitätskontrolle vorliegen, werden kundenspezifische Prüfköpfe für automatisierte Prüfanlagen oft nur in kleinen Mengen gefertigt. Daraus ergeben sich Unterschiede bei der Bewertung der Ergebnisse. Im Vortrag werden Beispiele dargestellt, wie Ermittlung und Bewertung in der Praxis durchgeführt werden. Es wird darauf eingegangen, welche Messunsicherheiten bestehen und welchen Einfluss diese auf das Messergebnis haben.

3D-US-Raytracing mit Augmented Reality

O. Nemitz¹, R. Deppe²

¹ Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg; ² Hochschule Düsseldorf

Bei einer Ultraschallprüfung kann es hilfreich sein, den Verlauf des Ultraschalls im Prüfstück zu visualisieren. Hierfür haben wir eine Software geschrieben, die für ebene Prüfstücke eine solche Visualisierung mittels Augmented Reality im Videobild eines Tablets vornimmt. Mittels vordefinierter Marker werden die dreidimensionale Position und Orientierung des Prüfkopfes und des Prüfstücks im Videobild erkannt. Daraufhin wird der Schnittpunkt des vom Prüfkopf ausgehenden Ultraschall-Zentralstrahls mit dem Prüfstück berechnet. Unter Berücksichtigung des Gesetzes von Snellius wird dann der weitere Strahlverlauf im Prüfstück für eine einstellbare Anzahl an Reflexionen simuliert. Das Videobild wird mit dem so berechneten Strahlverlauf überlagert und in Echtzeit aktualisiert. Auf diese Weise erkennt der Prüfer unmittelbar und in einer intuitiven Art und Weise, wie der Schall gerade im Prüfstück verläuft. An den Reflexionspunkten können weiterhin die zugehörigen Schalllaufzeiten eingeblendet werden, um Anzeigen im A-Scan einfacher zuordnen zu können.

3D Schallfeldvermessung von Luftultraschallprüfköpfen mittels Rekonstruktionsverfahren

Y. Bernhardt¹, D. Reichle¹, M. Kreutzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

Zur Prüfung von Faserverbundwerkstoffen finden häufig Ultraschallverfahren in verschiedensten Varianten Anwendung und bewähren sich im alltäglichen Gebrauch. Bei der Prüfung mittels luftgekoppeltem Ultraschall werden zur Detektion von Fehlern unter anderem auch im Nahfeld fokussierende Prüfköpfe verwendet. Dabei ist insbesondere das Wissen über die Schallfeldverteilung und Fokussierung des Prüfkopfs für eine Vorhersage der Detektionswahrscheinlichkeit und damit über die Leistungsfähigkeit des Prüfsystems unumgänglich. Gängige Verfahren für die Vermessung von Schallfeldern sind die Microphone-Methode, Scanverfahren mit kleiner Metallkugel als Reflektor, EMAT-Visualisierung, aeroakustische Vibrometrie (AAV) und zeitlich mittelnde Elektronische-Speckle-Interferometrie (ESPI). Zum besseren Verständnis eines durch einen Fokusprüfkopf erzeugten fokussierten Schallfelds wird mittels AAV aus Einzelprojektionen eine dreidimensionale Rekonstruktion erstellt. Das Ergebnis gestattet zudem auch die Darstellung der Schalldruckverteilung und Schwingungsgeschwindigkeiten in Bezug auf den jeweiligen Querschnitt. In diesem Beitrag wird zur Vermessung des 3D-Schallfelds, ein an die Computertomographie angelehntes Verfahren angewandt. Projektionen des Schallfelds, eines auf einem Drehtisch rotierbaren Fokusprüfkopfs, werden mittels eines Laser-Doppel-Vibrometers ermittelt. Dabei wurden 36 Projektionen des senkrechten Querschnitts gemessen, anschließend die Daten verarbeitet und es erfolgte eine dreidimensionale Rekonstruktion. Wir zeigen, dass sich mit den verwendeten Verfahren das Schallfeld eines Prüfkopfs präzise vermessen lässt. Das Verfahren ermöglicht es eine 3D-Schallfeldvermessung durchzuführen und fokussierende Prüfköpfe an Hand Schallgeschwindigkeit und Schalldruck objektiv zu vergleichen.

Ein mobiles Prüf- und Datenerfassungssystem für -fast- alle Anwendungen

H. Rieder¹

¹ RD Systemtechnik GmbH, Saarbrücken

Für unterschiedliche Prüfscenarien in der mechanisierten und automatisierten Ultraschallprüfung stellt die Skalierbarkeit ein wichtiges Kriterium dar, um flexibel und rasch auf die unterschiedlichen Anforderungen reagieren zu können. Dazu gehört auch die Möglichkeit verschiedene Prüftechnologien, z. B. Ultraschall, EMAT oder Luftschall, gemeinsam oder in einer teilweise gemischten Anordnung in einem Prüfprozess einsetzen zu können.

Die Struktur des vorgestellten Prüfsystems SigDAQ von RD Systemtechnik basiert auf der Aufteilung in Front- und Backendmodul, daher in physikalische Module aus den verschiedenen Technologie-bereichen und einem innovativen Datenerfassungssystem. Komplettiert wird das Prüfsystem durch verschiedene Manipulator-Steuerungen mit verschiedenen Leistungswerten. Zentrales Steuerelement ist eine leistungsfähige Mensch-Maschinen-Schnittstelle (GUI), welche den gesamten Prüfprozess, bestehend aus Parametrierung, Aufnahmesteuerung, Datenerfassung, Signalverarbeitung, Datenarchivierung und die Bilddarstellungen in Echtzeit abbildet. Die vielfältigen Positions- und Trigger-Einstellungen werden u.a. auch für Monitoring Anwendungen eingesetzt. Die Ethernet-basierte Fernsteuerung erlaubt die räumliche Trennung der gesamten Struktur in Vor-Ort- und Fernwarte. Die Aus- und Bewertung wird im Wesentlichen durch eine offline SAFT-Rekonstruktion abgebildet. Das Prüfsystem ist für den mobilen Prüfeinsatz, den Laboreinsatz sowie den Einsatz in der Ausbildung ausgelegt.

Wir beschreiben die Konzeption, die Struktur und die erzielten Leistungsdaten des Systems und berichten über verschiedene Einsätze mit Ultraschall und gemischten Technologien, z. B. Ultraschall und EMAT sowie Luftschall.

Einsatz eines mobilen Multikanal-Ultraschallprüfsystems für die qualitätsgesicherte Prüfung von Schiffspropellerflügel im Reparaturjob

H. Rieder¹, F.W. Bonitz²

¹ RD Systemtechnik GmbH, Saarbrücken; ² Neunkirchen/Saar

Die deutsche maritime Industrie genießt ein hohes Ansehen. Kreuzfahrtschiffe, Fähren, Marine- und Spezialschiffe sind so gefragt wie innovative Antriebs- und Navigations- und Sicherheitssysteme. Größere Wirtschaftlichkeit, höhere Sicherheit und optimierte Umweltverträglichkeit sind unter anderem die Randbedingungen, denen sich die deutsche Schiffbauindustrie angesichts der starken Konkurrenz aus Fernost stellen muss. Die ZfP mit den verschiedenen Verfahren leistet dabei für die Sicherheit einen wichtigen Beitrag. Neben dem Einsatz der ZfP im Neubaugeschäft ist auch der Einsatz im Reparaturjob nach wie vor gefragt.

Wir beschreiben den mechanisierten Prüfeinsatz auf Basis des Multikanal-Ultraschallprüfsystems SigDAQ.US bei der Prüfung von mehreren Propeller- und Abbruchkanten bei einem maritimen Dienstleister unter den erschwerten Randbedingungen in einem Reparaturjob. Die mechanisierte Ultraschallprüfung in Kombination mit dem bildgebenden Verfahren „SAFT“ führte zu einer wesentlich verbesserten Fehlerdetektion der schwer prüfbareren Bronzelegierung CU3 und erhöhte mit der hohen Reproduzierbarkeit die Zuverlässigkeit der Prüfaussage.

Den Hintergrund dieses Beitrages bildet eine in Norddeutschland durchgeführte mechanisierte Ultraschallprüfung im Reparaturjob unter den vorgefundenen schwierigen Prüfbedingungen.

USPC 3073: ein universelles 48 kanaliges NF-Ultraschallprüfsystem

A. Szewieczek¹, W. Hillger¹, D. Ilse¹

¹ Hillger NDT GmbH, Braunschweig

Das neue USPC 3073 FlexPac Niederfrequenz – Ultraschallprüfsystem hat 48 parallele Kanäle und ermöglicht dadurch eine schnelle Datenaufnahme. Das System zeichnet sich durch hohe Rauscharmut der Verstärker sowie durch hochwertige 16 Bit und 20 MS/s Analog Digital Converter mit kleinem Offset aus, so dass erfolgreich Signalanalyse eingesetzt werden kann. Jeder Kanal kann als Sender und /oder Empfänger betrieben werden, was sowohl Reflektions- als auch Transmissionsmessungen erlaubt. Die Takte und ihre Abfolge sind frei konfigurierbar. Der Frequenzbereich liegt zwischen 20 und 450 kHz (-3 dB). Durch den modularen Aufbau können Sensoren mit unterschiedlichen Ankopplungstechniken und Anwendungsbereichen angeschlossen werden. Mögliche Anwendungen sind etwa die Prüfung von Bauteilen aus Holz, Ziegel oder Beton, der Zustandsüberwachung (Structural Health Monitoring) oder eine luftgekoppelte Prüfung mit passenden Prüfkopffarrays.

Kapazitive Mikromechanische Ultraschallwandler für die Anwendung in der zerstörungsfreien Prüfung

U. Völz¹, S.G. Koch¹, M. Kircher¹, M. Krenkel¹

¹ Fraunhofer IPMS, Dresden

Kapazitive Mikromechanische Ultraschallwandler (CMUTs) haben aufgrund ihrer Konstruktion und des physikalischen Wirkprinzips eine hohe Empfangsempfindlichkeit und Bandbreite. Die Entwicklung dieser Sensoren ist in den vergangenen Jahrzehnten vor allem durch die medizinische Diagnostik initiiert worden. Da sie eine natürliche Anpassung an Wasser besitzen eignen sie sich sehr gut für die klassische Sonographie. Ihre gute Anpassbarkeit an Luft ermöglicht aber auch den Einsatz für Diagnoseverfahren, bei denen die Verwendung von Koppelmedien ausgeschlossen ist, wie zum Beispiel im Gehörgang oder am Augapfel. Durch die Fortschritte bei der Optimierung der CMUT-Strukturen am Fraunhofer IPMS können jetzt auch andere Anwendungsfelder, wie die zerstörungsfreie Prüfung, adressiert werden. CMUTs eignen sich dabei insbesondere für die Realisierung von kleinen Aperturen und Arrays mit hohen Elementzahlen bis 30 MHz, wobei ihre Vorteile gegenüber Piezokeramiken speziell bei bildgebenden Ultraschallverfahren voll zum Tragen kommen. In diesem Beitrag geben wir einen Überblick zu den Vorteilen von CMUT-Sensoren und zeigen anhand von Beispielen die Möglichkeiten ihrer Anwendung in der ZfP. Weiterhin stellen wir die verfügbaren Ultraschallwandler und Anwendungsdemonstrationen des Fraunhofer IPMS vor.

Qualifizierung für die Prüfung an komplexen Geometrien unterstützt durch iMaV-Software

A. Weber¹, M. Klotzbücher¹, M. Jahn¹, D. Berchtold², K. Rohde¹

¹ Framatome GmbH, Erlangen; ² Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG, Däniken, Schweiz

Im Rahmen der wiederkehrenden Prüfungen im Kernkraftwerk Gösgen (Schweiz) wurden im Jahr 2017 Ultraschallprüfungen der Stutzenanschweißnähte sowie einer bestehenden Anzeige in der Plattierung eines Auslassstutzens des Reaktordruckbehälters (RDB) durch Framatome/Qualicon durchgeführt.

Die Prüftechnik und Personal wurde gemäß dem Schweizer Regelwerk HSK B07/d qualifiziert. Die Qualifizierung wurde von der Qualifizierungsstelle ZfP Schweiz (QSt) überwacht und bestätigt.

Das Prüfpersonal wurde anhand von Tests an Blind-Testkörpern qualifiziert.

Die Qualifikation für die Stutzenanschweißnaht beinhaltete das ganze Schweißnahtvolumen inklusive der inneren und der äußeren Oberfläche.

Deshalb mussten für die Qualifikation Testkörper mit Referenzfehlern an den Außen- und Innenoberflächen als auch im Schweißnahtvolumen verwendet werden.

Zusätzlich wurde ein Originaltestkörper mit identischer Abmessung und Material analog dem zu prüfenden Stutzen für die Referenzfehler an der Außenoberfläche im Verrundungsbereich verwendet.

Auf Grund der Prüfanforderungen und der damit verbundenen Komplexität wurden die geometrischen Ultraschallparameter mittels der Simulation-Software iMaV simuliert und ermittelt. Die Prüfung wurde von der RDB-Innenseite aus durchgeführt. Dabei ergaben sich Schallwege von über 800 mm.

Bei der Plattierungsanzeige handelte es sich um einen sehr kleinen Bereich der Plattierung am RDB-Austrittstutzen. Der Materialabtrag betrug an dieser Position mehr als 1,0 mm. Das Prüfziel war es, an dieser Anzeige mittels Ultraschall theoretisch mögliche Anrisse im Bereich des Materialabtrages unterhalb der Oberfläche festzustellen.

Für die Qualifizierung der Prüftechnik wurde ein originalgetreues Mock-Up der Oberfläche verwendet.

Die Personalqualifizierung wurde im Rahmen der Demonstration der Prüfanweisung als ein offener Test durchgeführt.

Nutzen Sie unsere Vergleichsprüfungen für Ihre Eignungsprüfungsstrategie



Der 5-Jahresplan der F-GZP beinhaltet u. a. die in der Durchführung befindlichen sowie geplante Vergleichsprüfungen in den jeweiligen Verfahren.

Für weitere Informationen wenden Sie sich an: vergleichspruefungen@dgzfp.de

		2021	2022	2023	2024	2025
DGZfP RT 1	Schwärzung und BPK/BZ			X		
DGZfP RT 2	Anzahl Teilaufnahmen					X
DGZfP RT 3	Bewertung		X			
DGZfP UT 2	Wanddicke (UT-W)					X
DGZfP MT 1	Vorgegebenen Prüfbericht korrigieren					X
DGZfP MT 2	Fehlstellen eintragen und bewerten	X				
DGZfP ET 1	Bestimmung Leitfähigkeit/Prüfbericht	X				
DGZfP VT 1	Bewertung und Bemaßung der Fehlstellen				X	
DGZfP HT 1	Vorgegebenen Prüfbericht korrigieren	X				

Fachgesellschaft akkreditierter ZfP-Prüfstellen – eine Fachgesellschaft der DGZfP



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG e.V.

Wir garantieren Qualität!

Fordern Sie bitte kostenloses Informationsmaterial an:

Geschäftsstelle F-GZP/DGZfP

Max-Planck-Straße 6 | 12489 Berlin | Tel.: 030 67807-0 | Fax: 030 67807-109 | E-Mail: mail@dgzfp.de

www.dgzfp.de/fgzp

Für die Anwendung optimierte Sendesignale in der Ultraschallprüfung

T. Würschig¹

¹ Baker Hughes Digital Solutions GmbH, Hürth

Die bisherigen Konzepte der Ultraschallprüfung beruhen im Wesentlichen auf dem Einsatz von Prüfköpfen, die spezifisch für die Anwendung angepasst sind und mit einer geeigneten Elektronik betrieben werden. Während es auf der Empfängerseite für die Auswertung inzwischen eine Vielzahl von teilweise komplexen Rekonstruktions- und Filteralgorithmen zur anwendungsoptimierten Verbesserung gibt, ist die senderseitige Ansteuerung der Ultraschallsender immer noch sehr vereinfacht und nahezu unverändert geblieben. Mit der neuesten ShapeUT Technologie ist es nun möglich, die vollständige Anregungsfunktion sowohl für konventionelle Prüfköpfe als auch separat für die Elemente von Phased-Array-Prüfköpfen frei zu modulieren und damit die Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich der Schallfeldformung deutlich zu erweitern. Neben der Verbesserung bestehender Prüfanwendungen eröffnen sich darüber hinaus gänzlich neue Anwendungsgebiete. Im Vortrag werden aktuelle Praxisbeispiele aus verschiedenen Anwendungsgebieten der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung vorgestellt. Es wird darauf eingegangen, welche physikalischen und signaltheoretischen Grundlagen zur Erzeugung der Sendesignale verwendet und wie diese dann auf die jeweilige Anwendung angepasst wurden. Zu den Grundprinzipien zählen dabei u. a. die elektronische Einstellung der Prüffrequenz, die Erzeugung von multifokalen Schallfeldern als auch die genaue Modulierung der eingebrachten Schallenergie sowie der Sendeimpulsform. Neben der Darstellung der Messergebnisse werden auch die konzeptionellen und wirtschaftlichen Vorteile betrachtet, die sich durch den Einsatz der neuen Technologie ergeben. Ein wichtiger Punkt ist dabei u. a. die Reduzierung der Anzahl der für die Prüfung notwendigen Prüfkopf-Typen.

Einfluss der Fehlergüte auf die effektive Fehlergröße

T. Würschig¹

¹ Baker Hughes Digital Solutions GmbH, Hürth

Der Leistungsnachweis für automatisierte Prüfanlagen beruht auf der Detektion von künstlich eingebrachten Referenzfehlern, welche durch die gängigen Normen oder kundenspezifisch vorgegeben sind und die möglichen natürlichen Defekte nachbilden.

In einer früheren Arbeit konnte der Zusammenhang zwischen der Fehlergüte und der maximal möglichen Reproduzierbarkeit der Prüfung bewiesen und quantitativ erfasst werden. Die Fehlergüte leitet sich dabei aus der Reflektionscharakteristik der Referenzfehler ab, genauer aus der Homogenität des Reflektionsprofils entlang der Fehlerachse. Neben der Reproduzierbarkeit spielt für die automatisierte Prüfung die Fehlerausdehnung eine zentrale Rolle, weil diese sich linear im Schussabstand und damit in der Produktivität niederschlägt. Bei ausgedehnten Fehlern, die größer als die Schallfeldbreite sind, wird die Fehlergröße üblicher Weise über die Halbwertsmethode bestimmt (6dB-Kriterium). Selbst im optimalen Fall ist damit die gemessene effektive Fehlergröße bereits kleiner als die mechanisch eingebrachte. Die geforderten Reproduzierbarkeiten heutzutage liegen noch deutlich unter 6dB. Damit verbunden steigen die Anforderungen an die Homogenität der Fehler weiter an. Allerdings bleiben die Angaben bezüglich der sich daraus ergebenden effektiven Fehlerlänge meistens sehr ungenau oder fehlen gänzlich.

Im Vortrag werden die theoretischen Grenzen der effektiven Fehlerlänge in Abhängigkeit der geforderten Reproduzierbarkeit hergeleitet. Diese werden mit empirischen Daten verglichen, die aus der Auswertung eines großen Datensatzes stammen. Es ergibt sich ein universeller Zusammenhang zwischen der Fehlergüte und der erzielten effektiven Fehlergröße. Damit ist es möglich Referenzfehler geringer Güte auszuschließen oder mit geringerer Prüfgeschwindigkeit zuzulassen. In der Praxis ist dies von großer Bedeutung, weil somit die kosten- und zeitaufwendige Neuanfertigung von zusätzlichen Referenzen für die Abnahme oder das Audit umgangen werden kann.

Vorstellung eines Verfahrens zur Zertifizierung von Referenzfehlern

T. Würschig¹

¹ Baker Hughes Digital Solutions GmbH, Hürth

Die gesamte zerstörungsfreie Ultraschallprüfung beruht auf einer Vergleichsmessung des Prüfmaterials bezüglich eines Abgleichs an künstlich eingebrachten Fehlern in einem Referenzstück. Dementsprechend muss auch der Leistungsnachweis des Prüfsystems an ebendiesen demonstriert werden. Allgemein hin wird davon ausgegangen, dass die Referenz selbst keinen Einfluss auf die erzielten Ergebnisse hat. Mit den erhöhten Prüfanforderungen und der daraus resultierenden steigenden Genauigkeit der Prüfsysteme stellt sich allerdings zunehmend die Frage, in wieweit die Fehlergüte der eingebrachten Referenz selbst berücksichtigt werden muss. Für die Prüfelektronik und die Prüfköpfe existieren bereits ausgefeilte Normen und Zertifizierungen. Bemerkenswerter Weise fehlen entsprechende Vorgaben für das Herzstück der Prüfung, die Referenz selbst, gänzlich oder sind nur sehr vage umrissen. Im Vortrag wird ein Verfahren vorgestellt, mit dem es möglich ist, Referenzfehler quantitativ und qualitativ zu erfassen. Es wurde in bereits veröffentlichten Untersuchungen mit einer großen Anzahl verschiedener Referenzfehler entwickelt und in der Praxis erprobt. Die Ausführungen sollten als Grundlage dienen, die Zertifizierung der Referenzen in die entsprechenden Normen aufzunehmen.

Pfadplanung für robotergeführte Ultraschallprüfung auf Basis lokaler geometrischer Eigenschaften

S. Zambal¹, K. Felsner¹, K. Schlachter¹, C. Eitzinger¹

¹ PROFACTOR GmbH, Steyr-Gleink, Österreich

Pfadplanung für die robotergeführte Inspektion von Bauteilen mit komplexer Geometrie stellt in vielen Anwendungsbereichen eine Herausforderung dar. In der Regel müssen viele Randbedingungen berücksichtigt werden: Optimale Positionierung der Sensorik relativ zum Bauteil, möglichst kurze Pfade (Optimierung der Inspektionszeiten), maximale Abdeckung des Bauteils, Vermeidung von Kollisionen, etc. Wir schlagen eine Methode zur automatischen Bewegungsplanung eines Roboters für die Inspektion von komplex geformten Bauteilen vor. Die Methode basiert auf der Berechnung eines Vektorfeldes von lokalen Krümmungen der Bauteilgeometrie. Teilbewegungen der robotergeführten Sensorik werden zunächst entlang von Strömungslinien dieses Vektorfeldes geplant. Einzelne Teilbewegungen werden dann unter Berücksichtigung von Kollisionsvermeidung und Abdeckung zu einem kompletten Pfad kombiniert. Am Beispiel von Ultraschallprüfung werden die Ergebnisse für verschiedene Bauteilgeometrien vorgestellt und im Detail erläutert.

Alternative Sensoren zur Schweißspaltverfolgung

G. Mook¹, T. Adam², Y. Simonin¹, J. Kliche²

¹ Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; ² Sondermaschinenbau Calvörde GmbH, Calvörde

Bei der Fertigung von Wagenkästen für den Schienenfahrzeugbau, vom Hochgeschwindigkeitszug im Fernverkehr bis zu S- und U-Bahnen im Nahverkehr, hat es in den letzten Jahren erhebliche Veränderungen der Konstruktionen, der eingesetzten Werkstoffe und Fügeverfahren gegeben. Zunehmend kommen Laserstrahl- und das Plasmaschweißen zum Einsatz. Diese Schweißverfahren ermöglichen Blechverbindungen im Stumpfstoß ohne Überlappung und benötigen keinen Zusatzwerkstoff.

Um diese Schweißprozesse automatisiert einsetzen zu können, ist eine exakte Verfolgung der Schweißnaht mit einer Genauigkeit von wenigen Zehntelmillimetern notwendig. Da die Bleche aber beim Stumpfstoß versatzfrei zu verschweißen sind, können die bisher eingesetzten Lichtschnittsensoren einen Nahtverlauf nicht erkennen. Auch taktile Sensoren eignen sich nicht, da eine Körperkante zum Abtasten fehlt. Bedingt durch die Größe der Bauteile und ihre nicht immer ausreichende Genauigkeit ist ein Schweißen mit einer festen Bahnsteuerung nicht möglich. Die einzig mögliche Alternative ist derzeit das exakte Teachen jeder einzelnen Schweißnaht vor dem Schweißen. Dafür kann die Naht mit einem Pilotlaser geringer Leistung abgefahren und die manuell vermessenen Abweichungen im Programmablauf korrigiert werden. Der Personal- und Zeitaufwand dafür sind erheblich und müssen bei jeder Schweißung wiederholt werden. Ein automatisches Schweißen der Bauteile ist somit nicht möglich. Da es sich beim Schweißspalt um eine Werkstofftrennung handelt, besteht die grundlegende Idee darin, Wirbelstromsensoren für ihre exakte Verfolgung einzusetzen. Die Sensoren liefern neben der Spaltposition auch Angaben zum Versatz der Bleche und zur Spaltbreite.

Zerstörungsfreie Prüfmethode zur Merkmalsextraktion für den digitalen Zwilling der Thermoplast-Composite Wertschöpfungskette

J. Summa¹, U. Rabe¹, S. Pudovikov¹, C. Jungmann¹, D. Koster¹, H.-G. Herrmann¹, T. Link², M. John³, F. Nagel³, R. Schlimper³, A. Delforouzi⁴, J. Roggenbuck⁴, K. Wolf⁴
¹ Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken, Campus E3 1; ² Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal; ³ Fraunhofer IMWS, Halle (Saale); ⁴ Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI, Sankt Augustin

Während digitale Zwillinge bereits zu deutlichen Effizienzsteigerungen im industriellen Umfeld führen, ist ihr Potenzial für die wertschöpfungsstufenübergreifende Prozesssteuerung noch weitgehend ungenutzt. Dies gilt insbesondere für die zunehmende Serienproduktion von kunststoffbasierten Composite-Strukturen. Der digitale Zwilling für thermoplastische Composite soll dieses anhand der großserientauglichen Hybridspritzgusstechnologie, bei der kontinuierlich faserverstärkte Thermoplast-Composite-Halbzeuge umgeformt und hinterspritzt werden, demonstrieren.

Dabei stellen die komplexen Einflüsse der Teilprozessschritte auf die Mikrostruktur des Werkstoffes und die Merkmale des finalen Bauteils eine enorme Herausforderung zur Prozesskontrolle und Qualitätssicherung dar, was eine durchgängige Digitalisierung des kompletten Produktionsprozesses erfordert.

Das Ziel der übergreifenden, ganzheitlichen Betrachtung aller Teilprozessschritte von der Halbzeug- bis zur Bauteilherstellung erfolgt durch die Rückkopplung der Herstellungsparameter mit den Qualitätsmerkmalen, welche durch den Einsatz geeigneter prozessintelligenter Sensorik in den Teilprozessschritten erfasst werden.

Der Beitrag zeigt experimentelle Ergebnisse aus verschiedenen zerstörungsfreien Prüfverfahren, welche die Qualitätsmerkmale entlang der Wertschöpfungsstufen „unidirektional carbonfaserverstärkter Tapes“ und der anschließend daraus hergestellten „Laminatlege“ widerspiegeln. Anhand der Ergebnisse werden die Verfahren (Dickenmessung, Wirbelstromprüfung, Thermografie und Luft-Ultraschall) hinsichtlich ihres Detektionsvermögens qualitätskritischer Merkmale bewertet und unter Berücksichtigung der Online-Tauglichkeit in den digitalen Zwilling eingeordnet. Hierbei werden zur Einbindung in moderne Informationsmanagement Architekturen Ontologiekonzepte angewendet.

Ortsaufgelöste Zustandsüberwachung von Brückenbauwerken mittels faseroptischer Sensoren

A. Wosniok¹, R. Jansen², L. Cheng², S. Chruscicki¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung (BAM), Berlin; ² TNO, Delft, Niederlande

Das stetig steigende Verkehrsaufkommen mit schweren Lkws beschleunigt die fortschreitende Verschlechterung der Bausubstanz von Brücken. Die schädlichen Auswirkungen der von schweren Lkws ausgehenden Schwingungen und Lastbeanspruchungen werden zusätzlich durch die Alterung der Infrastruktur, die oft vor Jahrzehnten errichtet wurde und manchmal sogar ihre Lebensdauer erreicht hat, noch verstärkt. Der durch Lkw-Verkehr bedingte überproportionale Anstieg von Infrastrukturschäden hat oft aufwendige und deshalb teure Erneuerungsmaßnahmen zur Folge. Dies wiederum führt zu erheblichen Kosten für Bund, Länder und Kommunen. Angesichts der begrenzten finanziellen Mittel suchen die zuständigen Behörden ständig nach neuen kostengünstigen Wartungslösungen, die auf eine erhebliche Verlängerung der Lebensdauer der verfügbaren Infrastruktur abzielen. Die in dieser Arbeit vorgestellten ortsverteilten faseroptischen Messmethoden sind eine interessante Alternative zur Beurteilung der strukturellen Integrität und Sicherheitsbewertung bestehender Betonbrücken.

In der vorliegenden Studie wurde der Einfluss der statischen Verkehrsbelastung auf die geringen Durchbiegungseffekte in der Betonkonstruktion einer bestehenden Brücke mittels ortsauflösender faseroptischer Sensoren untersucht. Dabei tragen die Ergebnisse der an der Amsterdamer Brücke 705 durchgeführten Belastungstests wesentlich zum Verständnis des Strukturverhaltens bei. Das Konzept der statischen Belastung basierte auf dem Einsatz von zwei 36-Tonnen-Lastwagen, die an mehreren vorbestimmten Stellen auf der Brücke anhielten. Die auf diese Weise aufgebraachte Last führte zu ortsabhängigen kleinen Durchbiegungseffekten, die als lokale Längsdehnung der an der Unterseite der Brücke integrierten Sensorfaser aufgezeichnet wurden. Die reflektometrischen Messungen beruhten auf dem Prinzip genannt TW-COTDR (Tunable Wavelength Coherent Optical Time Domain Reflectometry). Die Messgenauigkeit lag im Bereich von 0,5 $\mu\text{m/m}$.

AUSSTELLERPROFILE

CON+ScanTech

DGZfP e.V./DGZfP Ausbildung und Training GmbH

DÜRR NDT GmbH & Co. KG

Ingenieurbüro Tobias Ritzer GmbH

K+D Flux-Technic GmbH + Co. KG

KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG

MR Chemie GmbH

Rohmann GmbH

Springer New Technologies GmbH

Verasonics, Ltd.

VisiConsult X-ray Systems & Solutions GmbH

W.S. Werkstoff Service GmbH

XARION Laser Acoustics GmbH

YXLON International GmbH

CON+ScanTech

Kontakt: Cher Sze Tan
Telefon: +49 39203 6900-80
E-Mail: info@ifsb.eu
Webseite: www.conscantech.de



Wir digitalisieren – inspizieren – vermessen sanierungsbedürftige Bauwerke. CON+ScanTech bietet eine digitale Komplettlösung für Bauwerksuntersuchungen an. Baudiagnostik und Gutachten aus einer Hand. Durch den Einsatz von hochinnovativen 3D-Technologien erzeugen wir einen nachhaltigen digitalen Gebäudezwilling für bevorstehende Instandhaltungsmaßnahmen.

DGZfP e.V. | DGZfP Ausbildung und Training GmbH

Kontakt: Marika Maniszewski | Susanne Zeidler
Telefon: +49 30 67807-0 | +49 30 67807-130
E-Mail: mail@dgzfp.de | ausbildung@dgzfp.de
Webseite: www.dgzfp.de



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.

Die DGZfP Ausbildung und Training GmbH ist der größte Anbieter für die Qualifikation von ZfP-Prüfpersonal in Deutschland. Mit ihrem umfangreichen Schulungsprogramm 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.

DÜRR NDT GmbH & Co. KG

Kontakt: Uli Pöhler
Telefon: +49 7142 99381-0
E-Mail: info@duerr-ndt.de
Webseite: www.duerr-ndt.de



DÜRR NDT ist Hersteller von Systemen für die Durchstrahlungsprüfung (RT) und bietet hochauflösende Speicherfolienscanner, Flachdetektoren (DDAs) sowie Röntgeninspektionssoftware an. Im Bereich Filmmradiographie steht mit der REACH-konformen NDT-Röntgenchemie eine umwelt- und anwenderfreundliche Alternative zur Verfügung. Außerdem hat DÜRR NDT mit DRIVE NDT eine Managementsoftware für alle ZfP-Verfahren entwickelt, die u. a. Auftragsmanagement, individuelle Prüfberichte, Mitarbeiter- und Kundenmanagement, Gerätemanagement sowie Controlling umfasst und somit sämtliche Prozesse in einem System vereint.

Ingenieurbüro Tobias Ritzer GmbH

Kontakt: Dipl.-Betw. Martin Paetow
Telefon: +49 174 1928352
E-Mail: martin.paetow@ritzergmbh.com
Webseite: www.big-damage.de



Als innovativstes Unternehmen der Branche haben wir uns auf die bundesweite Sanierung komplexer Brand- und Wasserschäden aller Wirtschaftsbranchen spezialisiert. Mit technischer Exzellenz werden im Schadenfall die Konzepte im laufenden Geschäftsbetrieb integriert. Das eingesetzte Neutronensonderverfahren zur messtechnischen und zerstörungsfreien Eingrenzung sowie der Ortung von Leckagen bei Wasserschäden spielt dabei eine entscheidende Rolle. So werden Betriebsunterbrechungen verhindert und Sachsubstanzen im ökologischen Sinne erhalten.

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



Ihr Spezialist für Oberflächenrissprüfung anhand des Magnetpulver- und Eindringverfahrens.

Wir planen, konstruieren und fertigen Geräte, Anlagen und Zubehör, die zur Durchführung der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung benötigt werden. Hierbei liegt die Kernkompetenz im Magnetpulver- und Farbeindringverfahren.

Unser Angebotspektrum umfasst Rissprüfanlagen und -geräte, UV LED Leuchten zur Risserkennung und passendes Zubehör, wie Prüfmittel, Messgeräte zur normgerechten Prüfung, und Entmagnetisierungsspulen.

**KARL DEUTSCH Prüf- und
Messgerätebau GmbH + Co KG**

Kontakt: Lutz Frerichs
Telefon: +49 202 7192-0
E-Mail: frerichs@karldeutsch.de
Webseite: www.karldeutsch.de

KARL DEUTSCH

Die inhabergeführte Firma KARL DEUTSCH befasst sich seit ihrer Gründung im Jahre 1949 mit der Entwicklung und Herstellung von Geräten für die Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung. Unser Spektrum umfasst Geräte, Sensoren, chemische Prüfmittel und Anlagen für die Ultraschall-, Magnetpulver- und Eindringprüfung. Messgeräte für Wanddicken, Schichtdicken und Risstiefen komplettieren die Produktpalette. Unsere Produkte ECHOGRAPH, ECHOMETER, LEPTOSKOP, DEUTROFLUX, FLUXA, KD-CHECK und RMG sind international ein Begriff.

MR Chemie GmbH

Kontakt: Titus Peltsch
Telefon: +49 2303 95151-63
E-Mail: www.mr-chemie.de
Webseite: peltsch@mr-chemie.de

Die MR Chemie GmbH wurde im Jahr 1971 gegründet und ist ein mittelständisches Familienunternehmen mit Sitz im nordrhein-westfälischen Unna. Mit 50 Jahren Erfahrung zählt man heute zu den internationalen Marktführern für qualitativ hochwertige ZfP-Prüfmittel und -Geräte. Mit Hilfe moderner Technologien und stetiger Weiterentwicklung werden Produktlösungen verbessert und individuell angepasst. Hierbei liegt der Fokus auf einer flexiblen Produktion, um bestmöglich auf die Bedürfnisse der Kunden einzugehen. Das Thema Nachhaltigkeit wird dabei nicht außer Acht gelassen.

Rohmann GmbH

Kontakt: Annett Wieduwilt
Telefon: +49 6233 3789-280
E-Mail: wieduwilt@rohmann.de
Webseite: www.rohmann.de

Die Rohmann GmbH ist ein Unternehmen aus dem pfälzischen Frankenthal und entwickelt und vertreibt seit mehr als 43 Jahren Wirbelstromprüfgeräte und Zubehör für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung. Weltweit setzen namhafte Firmen aus den unterschiedlichsten Branchen Prüfgeräte und -systeme von Rohmann ein. Mit der neuesten Entwicklung, dem ELATEST PL600, können Riss- und Schleifbrandprüfung sowie Wärmebehandlungs- und Materialverwechslungsprüfung in beliebiger Weise kombiniert werden, so dass für die unterschiedlichsten Prüfaufgaben nur noch ein Gerät für mehrere Prüfstationen erforderlich ist.

Springer New Technologies GmbH

Kontakt: Hauke Springer
Telefon: +49 151 12155178
E-Mail: info@springernewtech.com
Webseite: www.springernewtech.com

**SPRINGER NEW
TECHNOLOGIES GmbH**

for ultra sound NDT
and eddycurrent solutions



Die Firma Springer New Technologies GmbH (SNT) ist ein eigenständiges Vertriebsbüro für physikalische Messtechnik, mit Fokus auf zerstörungsfreie Prüfmethode mittels Ultraschall (SONATEST, Dolphitech, Phoenix ISL), Wirbelstrom, EMAT (ETHer NDE), Terahertz, MFL-Scanner (Baugh&Weedon), Farbeindringtests, MPI (SREM). Weiterhin werden kundenspezifische Anlagen für die ZfP-Automatisierung von rotationssymmetrischen Bauteilen mit dem Partner ARNOLD RV hergestellt. Ein Spezialgebiet ist das in-line Prüfen bei der Metall Additiven Fertigung.

Verasonics, Ltd.

Telefon: +1 425 998 9836
E-Mail: info@verasonics.com
Webseite: www.verasonics.com



The Vantage system is a real-time, software-based, programmable platform designed to accelerate research. A single Vantage system covers a very broad range of applications and needs for academic and industrial ultrasound research and development, with its capabilities expanded for use in NDE/NDT, materials science, earth science and more. Beyond its advantages in phased array ultrasound (including extremely fast FMC/TFM), the Vantage system is ideal for implementing versatile multi-channel techniques and applications such as guided wave tomography, acoustic trapping and acoustic emission monitoring. Researchers in 36 countries routinely use the unparalleled flexibility of the Vantage platform to advance the art and science of ultrasound through their own research efforts. In addition, every Vantage System can be upgraded to any configuration to protect your investment and encompass additional research options.

VisiConsult X-ray Systems & Solutions GmbH

Kontakt: Ulrich Brand
Telefon: +49 451 290286-0
E-Mail: u.brand@visiconsult.de
Webseite: www.visiconsult.de



Ihr Spezialist für Röntgen-Bildverarbeitung und Automatisierung
VisiConsult 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. Mehr als 25 Jahre Erfahrung in Bildverarbeitung und besonders Automatischer Fehlererkennung (ADR) führen zu hocheffizienten Lösungen "Made in Germany".

W.S. Werkstoff Service GmbH

Kontakt: Eric Poschmann
Telefon: +49 201 316844-0
E-Mail: info@werkstoff-service.de
Webseite: www.werkstoff-service.de



Die W.S. Werkstoff Service GmbH ist Ihr Partner für Schulungen und Dienstleistungen zu Werkstoffprüfung (ZP/ZfP), Werkstoffkunde, Wärmebehandlung und Schadensanalyse. Unser Schulungszentrum unterrichtet Experten, Anwender und Quereinsteiger (ISO 9001, DGZfP, IHK). Unser akkreditiertes Prüflabor (ISO 17025) prüft und berät, unsere akkreditierte Inspektionsstelle (ISO 17020) begutachtet rund um das Thema Werkstoffe. Unsere ZfP-Kompetenzstelle berät zum Thema Railway / Eisenbahninstandsetzung (DIN 27201-7).

XARION Laser Acoustics GmbH

Kontakt: Dr. Matthias Brauns
Telefon: +43 1 9076076-23
E-Mail: m.brauns@xarion.com
Webseite: www.xarion.com



XARION Laser Acoustics entwickelt und vertreibt kontaktfreie Ultraschall-Sensorik basierend auf seiner Kerntechnologie, dem optischen Mikrofon. Die hohe Sensitivität und Bandbreite machen es unter anderem besonders geeignet für die Prüfung von Faserverbundwerkstoffen in der Luftfahrt und von Punktschweißverbindungen im Automobilbau. Die Kontaktfreiheit ermöglicht dabei eine besonders leichte Integration in automatisierte Anlagen und auch die Prüfung von empfindlichen Werkstoffen.

YXLON International GmbH

Kontakt: Gabriele Mäurer
Telefon: +49 40 527-290
E-Mail: marketing@hbg.yxlon.com
Webseite: www.yxlon.com



YXLON bietet Ihnen eine breite Palette hochtechnologischer Röntgen- und CT-Systeme, die Sie bei all Ihren industriellen Prüfanforderungen unterstützen. Wir entwickeln spezielle Systeme für den Einsatz in Luft- und Raumfahrt, Automobilbau, Elektronik, Metrologie-Anwendungen und vieles mehr. Gleich, ob Ihr Bauteil Mikrometer oder Meter misst: Es gibt ein YXLON-System, das dazu passt.

Durch strenge Konstruktions- und Fertigungsstandards erreichen unsere Systeme eine Stabilität, die auch für hohen Durchsatz geeignet ist. Viele unserer Systeme lassen sich direkt in Ihre Fertigungslinie integrieren.

Das spart Zeit, sichert die Bauteilqualität und verbessert Ihre Herstellungsprozesse.



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG e.V.

Auf Wiedersehen zur

DGZfP-JAHRESTAGUNG 2022

Zerstörungsfreie Materialprüfung

Kassel 23. – 25. Mai



ZfP IN FORSCHUNG, ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG

DGZfP e.V. | Max-Planck-Str. 6 | 12489 Berlin | Tel.: +49 30 67807-120 | E-Mail: tagungen@dgzfp.de | www.dgzfp.de

AUTOR*INNEN/BEITRAGSNUMMERN

Abt, C.	P1	Cheng, L.	P73
Adam, T.	P70	Christoph, R.	P2
Ahmadi, S.	P41, P45	Chruscicki, S.	P73
Akstaller, B.	P18	Comuzzi, D.	4
Algernon, D.	11	Crosbie, L.	P29
Altenburg, S.J.	16	Czichos, R.	P26
Ambaum, M.	P13	Dambaur, M.	12
Appel, C.F.	6	Delforouzi, A.	23, P71
Bäck, G.	P42	Deppe, R.	P58
Bărbulescu, G.	4	Deresch, A.	P15
Bărbulescu, S.	4	Dethof, F.	P40
Bartscher, M.	P2	Deutsch, W.A.K.	4, P24
Bastian, M.	P43	Dilger, K.	P46
Bauer, F.	P2	Dittmann, J.	P26
Bauscher, I.	P9	Drînciu, C.	4
Becker, B.	P35	Eckart, S.	P47
Becker, S.	P34, P35	Eckert, S.	3
Behrens, M.	P50	Effner, U.	P50
Bellon, C.	P2, P4	Ehrler, J.	P27
Benner, P.	9	Eichheimer, C.	7
Berchtold, D.	P65	Eitzinger, C.	P69
Berg, H.W.	P3	EL-Hajjaji, H.	P51
Berg, K.	P3	Els, C.	20
Bernhardt, Y.	Keynote, 2, 8, P26, P52, P59	Essig, W.	Keynote, 8, P53
Bernstein, T.	P50	Ewert, U.	P15, P20
Bertovic, M.	P40	Falter, S.	P55
Binder, F.	P4	Farajian, M.	7
Bircher, B.	P15	Fartely, C.	P49
Böhm, S.	P39, P46	Feistkorn, S.	11
Bolten, J.	4	Felsner, K.	P69
Bömkes, A.-K.	14	Fischer, B.	12
Bonitz, F.W.	P61	Fischoeder, M.	P13
Bonten, C.	Keynote	Fleißner, M.	P2
Borges de Oliveira, F.	P2, P8	Franke, R.	P16
Brauns, M.	12	Fricke, L.V.	P25
Breidenstein, B.	P25	Gaal, M.	P52, P53
Breitbarth, A.	P44	Gautzsch, T.	P52, P53
Bresler, J.	P49	Geist, M.	10
Bruno, G.	P16, P32	Glinz, J.	P5
Buckley, J.	8	Goerz, O.	P24
Burgholzer, P.	P41	Gopalan, A.	21, P36
Caire, G.	P41	Gornushkin, I.B.	16
Cembrowski, M.	22	Gosswami, B.M.	P19

AUTOR*INNEN/BEITRAGSNUMMERN

Gruber, J.	P42	Kircher, M.	P63
Gulich, T.	P7, P9	Kliche, J.	P70
Gumenyuk, A.	16	Klippstein, J.	P23
Hanf, A.	P28	Klotzbücher, M.	P65
Hausotte, T.	P2, P4, P8, P11	Koch, F.	P44
Heckel, T.	P40	Koch, R.H.	P55
Heinze, C.	10	Koch, S.G.	P63
Heinzl, C.	P5	Kohn, K.-U.	2
Helle, O.	P32	Kolb, C.	P43
Hensel, J.	P46	Kolkoori, S.	P55
Herold, F.	P14	Kornely, M.	P56
Herrmann, H.-G.	23, P71	Koster, D.	23, P71
Hettich, P.	P21	Krause, H.	P47
Hillger, W.	P53, P54, P62	Krenkel, M.	P63
Hinken, J.	P34, P36, P37	Kretzer, C.	P6, P7, P9
Hirsch, P.	P45	Kreutzbruck, M. .. Keynote, 2, 8, 15, P26, P27, P48,	P56, P59
Hirsch, P.D.	P41	Krix, D.	22
Hochrein, T.	P43	Kruschwitz, S.	9
Hoffmann, D.	P43	Kryukov, I.	P39, P46
Höglinger, M.	P5	Küchler, H.	3
Holub, W.	P6	Kudla, S.	P6
Hoppe, K.	P12	Kupsch, A.	P16, P32
Hübner, S.T.	P44	Labud, P.	22
Ilse, D.	P54, P62	Lachtchouk, I.	1
Ivankov, A.	P22	Lapsien, J.	P30
Jaenisch, G.-R.	P15	Laquai, R.	P32
Jahn, M.	P65	Lecompagnon, J.	P41, P45
Jakob, M.	P27	Lehmann, N.	P52
Jansen, R.	P73	Léonard, F.	P16
Joas, S.	15	Link, R.	P22, P23
John, M.	23, P71	Link, T.	23, P71
Joswig, M.	4	Linscheid, F.F.	17
Jung, P.	P41	Luke, M.	7
Jüngert, A.	5, P40	Lulei, S.	P43
Jungmann, C.	23, P71	Mack, D.E.	P32
Kaczmarek, M.	13	Maier, H.J.	P25
Kanzler, D.	P40	Maierhofer, C.	16
Kasperl, S.	P2	Mäschke, A.	3
Kastner, J.	P5	Mauel, B.	12
Keil, A.	P35	Mayr, G.	P42
Keitel, S.	P44	Mayr, M.	P38
Keßler, S.	P40	Meli, F.	P15
Kimmig, W.	P2		

AUTOR*INNEN/BEITRAGSNUMMERN

Middendorf, P.	P26	Rieder, H.	P51, P60, P61
Mielentz, F.	P50	Riess, N.	P22, P23
Mook, G.	P70	Rittmann, J.	Keynote, P48, P56
Mück, A.	P57	Robens, S.	P24
Müller, B.R.	P16, P32	Roggenbuck, J.	23, P71
Müller, J.	P14	Rohde, K.	P49, P65
Müller, M.	13, P17	Rosenthal, M.	P40
Müller, O.	1	Rozsak, R.	P16
Mund, M.	P46	S agrado, I.	P16
N agel, F.	23, P71	Sause, M.G.R.	6, 17
Nemitz, O.	22, P58	Sayfullaev, T.	4
Nguyen, H.N.	P25	Schaefers, D.	4
Niederleithinger, E.	P50	Schäfer, D.	P23
Notni, G.	P44	Scherrer, M.	11
Nottrott, S.	P6	Scheuschner, N.	16
O berhagemann, U.	P17	Schielein, R.	P2, P9, P10
Oesterlein, L.	22	Schlachter, K.	P69
Oliver, J.	5	Schlimper, R.	23, P71
Orth, T.	22	Schmidt, I.	P2
P anzer, N.	12	Schmitte, T.	22
Pestel, A.	P47	Schmitz, K.	P33
Petry, C.	14, P28	Schneider, T.	P14
Pichard, P.	4	Schob, D.	P16
Pieloth, D.	P12	Schober, G.	P43, P53
Pignatelli, G.	16	Schön, T.	P7, P9
Plank, B.	P5	Schreiner, S.	P18
Plafmann, J.	14	Schulz, J.	P5
Plotzki, D.	P2, P8	Schumacher, D.	P15
Prints, E.	P39, P46	Schür, J.	P34
Pudovikov, S.	P71	Schuster, C.	P19
R abe, U.	23, P71	Schuth, M.	14, P28
Rallabandi, Y.N.	7	Sebold, D.	P32
Rast, H.R.	4	Simmen, K.	P44
Rauch, T.	P7	Simonin, Y.	P70
Razeng, M.	4	Solodov, D.	2
Rehak, M.	P19	Sparr, H.	P16
Rehfeldt, T.	P49	Spies, M.	1
Reichle, D.	P59	Steves, S.	4
Reisser, J.	P6	Stocker, T.	P19
Rentala, V.K.	P40	Stolpe, H.	P50
Repplinger, W.	P51	Stolz, R.	P40
Reuter, T.	P2, P8	Straße, A.	16

Sukowski, F.	P7, P9, P10
Summa, J.	23, P71
Suth, D.	P7, P10
Szewieczek, A.	P53, P54, P62
Szielasko, K.	7
T an, C.S.	18
Thiemann, T.	P21
Thommes, M.	P12
Tillmann, W.	P12, P13
Trensch, G.	P44
Tschöpe, C.	19
Tschuch, M.	1
V aßen, R.	P32
Vierhub-Lorenz, V.	10
Völker, C.	9
Völz, U.	P63
Vrana, J.	P40
W adas, M.	22
Waentig, F.	Keynote
Wagner, G.	P2
Wahler, R.	P29
Weber, A.	P65
Weiher, K.	10
Werner, C.	10
Willems, P.	P20
Wohlgemuth, F.	P2, P4, P11
Wolf, K.	23, P71
Wolff, M.	19
Wosniok, A.	P73
Würschig, T.	P66, P67, P68
Y oussef, S.	7, P33
Z ambal, S.	P69
Zaremba, D.	P25
Zeman, R.	4
Ziegenhorn, M.	P16
Ziegler, M.	P41, P45
Zielke, R.	P12, P13
Zimmer, C.	7
Zscherpel, U.	P15, P20