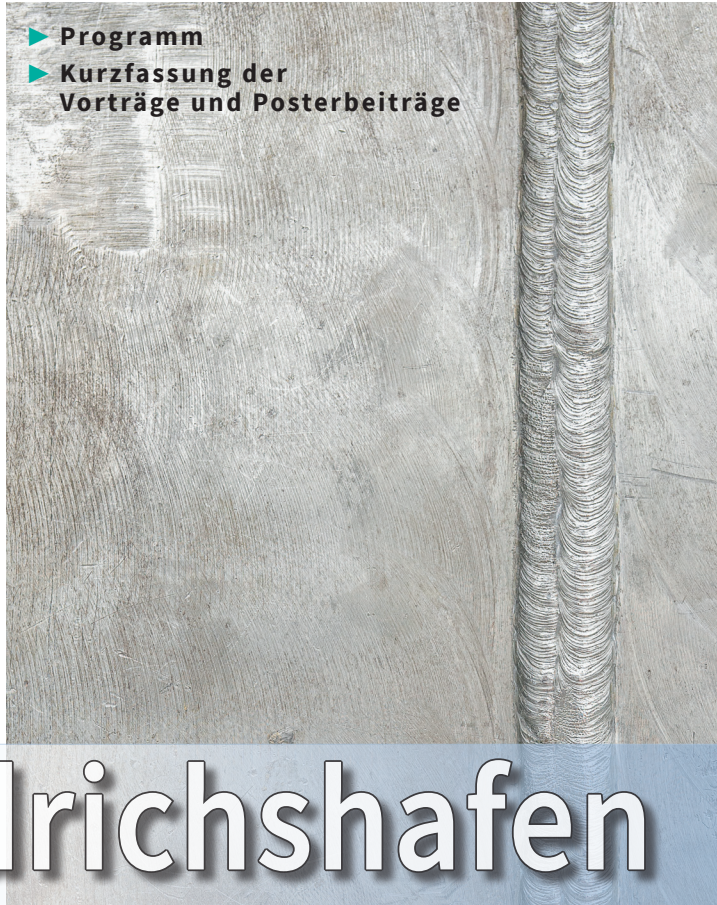




# JAHRESTAGUNG 2023

*Zerstörungsfreie Materialprüfung*

- ▶ **Programm**
- ▶ **Kurzfassung der Vorträge und Posterbeiträge**



© M. Maier, Abb. 7



# Friedrichshafen

**15. – 17. Mai**

**ZFP IN FORSCHUNG, ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG**

	<b>Hugo-Eckener-Saal</b>	<b>Ludwig-Dürr-Saal</b>	<b>Alfred-Colsman-Saal</b>
09:00	Eröffnungsveranstaltung		
11:00	Pause		
11:30	<b>Mo.1.A</b>		
	Vorträge der Preisträger; 12:30		Pause
13:30	<b>Mo.2.A</b>	<b>Mo.2.B</b>	<b>Mo.2.C</b>
	<b>Verkehrswesen</b> J. Kurz, S. Neuhäusler	<b>Künstliche Intelligenz</b> Y. Oberdörfer, K. Szielasko	<b>Ultraschall-Prüfköpfe</b> J. Büchler, J. Ehler
15:10	Pause		
15:40	<b>Mo.3.A</b>	<b>Mo.3.B</b>	<b>Mo.3.C</b>
	<b>Windkraft</b> F. Ahrens, A. Jüngert	<b>Normen und Regelwerke 1</b> R. Girardier, R. Holstein	<b>Mikrowellen/Terahertz</b> S. Becker, G. Schober
16:40	Pause		
17:00	<b>Mo.4.A</b>	<b>Mo.4.B</b>	
	<b>Poster mit Kurzpräsentation</b> P. Fisch	<b>Poster mit Kurzpräsentation</b> T. Wenzel	
18:30	Poster- und Ausstellerabend		

**Dienstag, 16. Mai**

08:30	<b>Di.1.A</b>	<b>Di.1.B</b>	<b>Di.1.C</b>
	<b>Materialcharakterisierung</b> B.R. Müller, U. Rabe	<b>Akustische Verfahren</b> M. Gaal, B. Weihnacht	<b>Wirbelstromprüfung</b> T. Orth, A. Schieder
10:10	Pause		
10:30	<b>Di.2.A</b>	<b>Di.2.B</b>	<b>Di.2.C</b>
	<b>Röntgenverfahren</b> S. Kasperl, T. Rabenseifner	<b>Thermographie</b> M. Goldammer, M. Ziegler	<b>Total Focusing Method</b> A. Mück, H. Rieder
11:50	Pause		
13:00	<b>Di.3.A</b>	<b>Di.3.B</b>	<b>Di.3.C</b>
	<b>Batterien</b> H.-G. Herrmann, A. Hofmann	<b>Reliability (POD)</b> S. Dugan, M. Spies	<b>Normen und Regelwerke 2</b> A. Hetterich, G. Idinger
14:00	Pause		
14:30	Mitgliederversammlung der DGZfP   20:00 Konferenzabend im Dornier Museum		

## Mittwoch, 17. Mai

	Hugo-Eckener-Saal	Ludwig-Dürr-Saal	Alfred-Colsman-Saal
09:00	<b>Mi.1.A</b> <b>Zustands- und Fertigungsüberwachung 1</b> M. Sause, K. Tschöke	<b>Mi.1.B</b> <b>Bauwesen</b> D. Algernon, M. Schickert	<b>Mi.1.C</b> <b>Additive Fertigung</b> M. Pelkner, C. Straube
10:20	Pause		
10:40	<b>Mi.2.A</b> <b>Zustands- und Fertigungsüberwachung 2</b> R. Klieber, M. Scherrer	<b>Mi.2.B</b> <b>Drohnen und Robotik</b> C. Abt, G. Vogt	<b>Mi.2.C</b> <b>Wasserstoff</b> E. Duffner, G. Lackner
12:00	Pause		
12:30	<b>Mi.3.A</b> <b>Faserverbundwerkstoffe</b> M. Gurka, M. Kreuzbruck	<b>Mi.3.B</b> <b>ZFP 4.0</b> W. Schützenhöfer, B. Valeske	<b>Mi.3.C</b> <b>Chemische/Petrochemische Industrie</b> B. Schreieck, D. Treppmann
14:00	Schlusswort		

	Hugo-Eckener-Saal	Ludwig-Dürr-Saal	Alfred-Colsman-Saal
09:00	Eröffnungsveranstaltung		
11:00	Pause		
	Mo.1.A		
11:30	Vorträge der Preisträger		
12:30	Pause		
	Mo.2.A	Mo.2.B	Mo.2.C
	<b>Verkehrswesen</b> J. Kurz, S. Neuhäusler	<b>Künstliche Intelligenz</b> Y. Oberdörfer, K. Szielasko	<b>Ultraschall-Prüfköpfe</b> J. Büchler, J. Ehler
13:30	Mo.2.A.1	Mo.2.B.1	Mo.2.C.1
	Virtuelle Referenzschienen nach DIN EN 16729-1 für die Ultraschallprüfung von verlegten Eisenbahnschienen T. Zhang, BAM, Berlin	Grenzen und Möglichkeiten der 3D-Thermografie innerer Strukturen mittels künstlicher Intelligenz M. Kreutzbruck, IKT, Universität Stuttgart	Automatisierte 3D Schallfeldvermessung, Charakterisierung und Zertifizierung von Ultraschallprüfköpfen mittels eines hochauflösenden individuell designten Scanners S. Kolkoori, ROSEN Technology and Research Center GmbH, Alzenau
13:50	Mo.2.A.2	Mo.2.B.2	Mo.2.C.2
	Scannende Detektion von Oberflächenfehlern in Weichenherzen mittels induktiver Thermografie C. Tuschl, Montanuniversität Leoben, Österreich	KI in der zerstörungsfreien Prüfung – Wie die Digitalisierung zu einer automatisierten Zukunft in der ZfP führt D. Nestler, sentin GmbH, Bochum	Robuste Ultraschallwandler für die Inspektion von Pipelines A. Mück, SONOTEC GmbH, Halle (Saale)
14:10	Mo.2.A.3	Mo.2.B.3	Mo.2.C.3
	Digitalisierung in der zerstörungsfreien Prüfung für Eisenbahnräder T. Würschig, Waygate technologies, Baker Hughes Digital Solutions GmbH, Hürth	KI-basierte Risserkennung bei der Magnetpulverrisserprüfung H. Rast, Karl Deutsch Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal	Verbesserung der Prüfbarkeit von dickwandigen und stark bewehrten Betonobjekten mit niederfrequenten Ultraschall-Arraysystemen A. Bulavinov, ACS-Solutions GmbH, Saarbrücken



	Hugo-Eckener-Saal	Ludwig-Dürr-Saal	Alfred-Colsman-Saal
14:30	<b>Mo.2.A.4</b> Thermografie-Kontrollen am Tail Boom Assy AGUSTA-BELL 212 R. Trofaier, Österreichisches Bundesheer, Materialstab Luft, Zeltweg, Österreich	<b>Mo.2.B.4</b> Machine Learning in der Simulation von Ultraschallprüfungen D. Algernon, SVTI, Wallisellen, Schweiz	<b>Mo.2.C.4</b> Phased-Array-Prüfköpfe für luftgekoppelte Ultraschallprüfung auf Basis von zellulären Kunststoffen M. Gaal, BAM, Berlin
14:50	<b>Mo.2.A.5</b> NDT & METROLOGY – Improving Efficiency in Aerospace Manufacturing utilizing the Multi-Modality Approach T. Gramberger, FILL, Gurten, Österreich	<b>Mo.2.B.5</b> Defekterkennung von Impactschäden durch convolutional neural networks P.-L. Chung, ITK, Universität Stuttgart	<b>Mo.2.C.5</b> Thermoakustische Gruppenstrahler: Theorie und Anwendungen D. Hufschläger, BAM, Berlin
15:10	<b>Pause</b> <b>Mo.3.A</b> <b>Windkraft</b> F. Ahrens, A. Jüngert	<b>Mo.3.B</b> <b>Normen und Regelwerke 1</b> R. Girardier, R. Holstein	<b>Mo.3.C</b> <b>Mikrowellen/Terahertz</b> S. Becker, G. Schober
15:40	<b>Mo.3.A.1</b> ZfP an Windenergieanlagen (WEA) – Chancen in einem sich zunehmend regulierenden Markt E. Buchwald, Zeppelin Aviation & Industrial Service GmbH, Friedrichshafen	<b>Mo.3.B.1</b> Wärmetauscherrohrprüfung mit Wirbelstrom – Von der Praxis zur Norm G. Scheer, TMT Test- und Maschinentechnik GmbH, Schwarmstedt	<b>Mo.3.C.1</b> Inline Mikrowellenprüfung bei der kontinuierlichen Herstellung faserverstärkter Kunststoffprofile im Pultrusionsverfahren A. Gopalan, Rohmann GmbH, Frankenthal
16:00	<b>Mo.3.A.2</b> Elektromagnetische Härteprüfung für die Wärmeeinflusszone von Unterwasser-Schweißnähten N. Steinbrecher, IW, Leibniz Universität Hannover	<b>Mo.3.B.2</b> Stand der Normungsinitiative: „Zustandsüberwachung und -diagnostik von Strukturen“ K. Tschöke, Fraunhofer IKTS, Dresden	<b>Mo.3.C.2</b> Sortenreine Sortierung additiver Kunststoffe mittels THz-Spektroskopie T. Reindl, IKT, Universität Stuttgart

	Hugo-Eckener-Saal	Ludwig-Dürr-Saal	Alfred-Colsman-Saal
16:20	<p><b>Mo.3.A.3</b></p> <p>Pulse compression applied to determining hardening depth by ultrasonic backscatter method in wind turbine bearings H. Calas, TPAC, Nantes, Frankreich</p>	<p><b>Mo.3.B.3</b></p> <p>Ergebnisse des EMPIR-Projektes NanoXSpot: Methoden für die Brennfleckmessung von Röntgenröhren im Mikro- und Nanometerbereich G.-R. Jaenisch, BAM, Berlin</p>	<p><b>Mo.3.C.3</b></p> <p>THz on Ice – Terahertz-messung zur Bestimmung der Wasserfilmdicke auf Eis J. Schuster, Hochschule Kaiserslautern, Pirmasens</p>
16:40	<p><b>Pause</b></p> <p><b>Mo.4.A</b> <b>Poster mit Kurzpräsentation</b> P. Fisch</p>	<p><b>Mo.4.B</b> <b>Poster mit Kurzpräsentation</b> T. Wenzel</p>	
17:00	<p><b>P1</b></p> <p>35<sup>th</sup> Anniversary of the German-Turkish Project (1988-1996) for Establishment of Welding Technology and Nondestructive Testing Research and Application Center C.H. Gür, METU, Ankara, Türkei</p>	<p><b>P11</b></p> <p>Prüfmittelauswahl unter dem Gesichtspunkt automatisierter und KI-gestützter Auswertungen S. Robens, KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau, Wuppertal</p>	
17:05	<p><b>P2</b></p> <p>Aktivitäten zur Normung der Ultraschallprüfung T. Heckel, BAM, Berlin</p>	<p><b>P13</b></p> <p>Millimeterwellen lösen ein Problem bei der Wanddickenprüfung von GFK-Bauteilen mit Ultraschall S. Becker, Becker Photonik GmbH, Porta Westfalica</p>	
17:10	<p><b>P3</b></p> <p>Erarbeitung einer Norm für einen standardisierten Prozess zur probabilistischen Bewertung von Prüfverfahren D. Kanzler, Applied Validation of NDT, Berlin</p>	<p><b>P14</b></p> <p>Wanddickenmessung von GFK-Rohren mit Mikrowellen J. Hinken, fitm Hinken Consult, Magdeburg</p>	

	Hugo-Eckener-Saal	Ludwig-Dürr-Saal	Alfred-Colsman-Saal
17:15	<p><b>P5</b></p> <p>Aktueller Stand der Normung in der Thermografie M. Ziegler, BAM, Berlin</p>	<p><b>P19</b></p> <p>3D V-ROX: smarte und kompakte photothermische Tomographie in der Luftfahrt H. Plasser, voidsy gmbh, Wels, Österreich</p>	
17:20	<p><b>P6</b></p> <p>Verifikation potentieller Defekte in kritischen Regionen von 3D-gedruckten Bauteilen mittels robotergestützter Mikro-Computertomographie K. Bliedtner, VisiConsult X-ray Systems &amp; Solutions GmbH, Stockelsdorf</p>	<p><b>P24</b></p> <p>Bewertung der Tiefe von senkrechten Rissen in Beton mit Hilfe des Winkelspiegels U. Rabe, Fraunhofer IZFP, Saarbrücken</p>	
17:25	<p><b>P7</b></p> <p>XaaS S. Buchmueller, VCxray Inspection Services GmbH, Sinsheim</p>	<p><b>P25</b></p> <p>Prüfsysteme für Batterie-Pouchzellen T. Reinelt, Hillger NDT GmbH, Braunschweig</p>	
17:30	<p><b>P8</b></p> <p>XRnanotech – MicroCT Auflösungsstandard mit hohem Kontrast und Strukturen von 50 µm bis 0.2 µm A. Kubec, XRnanotech GmbH, Villigen-PSI, Schweiz</p>	<p><b>P26</b></p> <p>Forschung, Entwicklung und Neuheiten von Hillger NDT GmbH T. Reinelt, Hillger NDT GmbH, Braunschweig</p>	
17:35	<p><b>P17</b></p> <p>Semantic Wireframe Detection Y. Zhou, Fraunhofer IZFP, Saarbrücken</p>	<p><b>P27</b></p> <p>Laser-Ultrasound as powerful technology for defect detection and material characterization E. Scherleitner, RECENTD, Linz, Österreich</p>	

	Hugo-Eckener-Saal	Ludwig-Dürr-Saal	Alfred-Colsman-Saal
17:40	<p><b>P21</b></p> <p>Benefits of arbitrary waveform generator for ultrasound NDT applications</p> <p>H. Calas, TPAC, Nantes, Frankreich</p>	<p><b>P28</b></p> <p>Fokussierte Prüfköpfe für luftgekoppelte Ultraschallprüfung</p> <p>A. Szewieczek, Hillger NDT GmbH, Braunschweig</p>	
17:45	<p><b>P22</b></p> <p>Austausch einer Ultraschallprüfelektronik in einer Prüflinie mit minimaler Vorbereitungszeit und kürzester Stillstandszeit</p> <p>K. Dickmann, Slickers Technology GmbH &amp; Co.KG, Geldern</p>	<p><b>P31</b></p> <p>Flexibles mobiles CT-System as a Service</p> <p>M. Eberhorn, Fraunhofer EZRT, Fürth</p>	
17:50	<p><b>P23</b></p> <p>Ultraschall-Puls-Transmissionsverfahren: Automatisierte Drift-Erkennung in Signalreihen von Zementleimen im frühen Stadium der Hydratation</p> <p>J. Harden, Technische Universität Graz, Österreich</p>		
18:30 – 21:30	<p>Poster- und Ausstellerabend, mit Posterprämierung</p>		

	Hugo-Eckener-Saal	Ludwig-Dürr-Saal	Alfred-Colsman-Saal
	<p><b>Di.1.A</b>  <b>Materialcharakterisierung</b>                      B.R. Müller, U. Rabe</p>	<p><b>Di.1.B</b>  <b>Akustische Verfahren</b>                      M. Gaal, B. Weihnacht</p>	<p><b>Di.1.C</b>  <b>Wirbelstromprüfung</b>                      T. Orth, A. Schieder</p>
08:30	<p><b>Di.1.A.1</b></p> <p>Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung an Großforschungseinrichtungen: Innovative Messmöglichkeiten für tiefe Einblicke                      N. Kölpin, DESY, Hamburg</p>	<p><b>Di.1.B.1</b></p> <p>Charakterisierung von Laserschweißstrukturen in Glassubstraten mittels Ultraschall-Rastermikroskopie                      M. Wolf, PVA TePla, Westhausen</p>	<p><b>Di.1.C.1</b></p> <p>Simultane Zink- und Lackschichtdickenbestimmung mit dem Smartphone                      G. Mook, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg</p>
08:50	<p><b>Di.1.A.2</b></p> <p>Automatisierte Charakterisierung mikroskopischer Bilddaten partikelartiger Strukturen                      P. Thome, Ruhr-Universität, Bochum</p>	<p><b>Di.1.B.2</b></p> <p>Einsatz des Schallemission-monitorings in der industriellen Praxis                      M. Prokofyev, TÜV Austria, Wien, Österreich</p>	<p><b>Di.1.C.2</b></p> <p>Inlineprüfung von multiaxialen Kohlefasergelegen mittels Hochfrequenzwirbelstrom unter Verwendung modularer Sensorarrays                      M. Schulze, Fraunhofer IKTS, Dresden</p>
09:10	<p><b>Di.1.A.3</b></p> <p>Zerstörungsfreie Charakterisierung (faserverstärkter) Kunststoffteile mittels FMCW Radar                      P.-C. Zinn, Industrial Analytics Lab GmbH, Bochum</p>	<p><b>Di.1.B.3</b></p> <p>Einsatz von nichtlinearem Ultraschall zur Detektion von Adhäsionsfehlern (Kissing Bonds) und der Vergleich mit anderen ZfP-Verfahren                      M. Kornely, IKT, Universität Stuttgart</p>	<p><b>Di.1.C.3</b></p> <p>Simulationsgestützte Auslegung von Sensoren für die Hochfrequenzwirbelstromprüfung an multiaxialen Kohlenstofffasergelegen                      T. Schulze, Fraunhofer IKTS, Dresden</p>
09:30	<p><b>Di.1.A.4</b></p> <p>Ultraschallbasierte Untersuchung rheologischer Eigenschaften von Polymeren für die Prozessüberwachung                      M. Achzet, MRM, Universität Augsburg</p>	<p><b>Di.1.B.4</b></p> <p>100%-Qualitätskontrolle von Halbleiter-Bauteilen mittels akustischen Fingerabdrucks                      M. Fürst, XARION Laser Acoustics GmbH, Wien, Österreich</p>	<p><b>Di.1.C.4</b></p> <p>Wirbelstromprüfung auf Schleifbrand auf Werkstoffen nach Sekundärhärtung bzw. thermisch-chemischer Behandlung                      A. Zösch, imq-Ingenieurbetrieb für Materialprüfung, Qualitätssicherung und Schweißtechnik GmbH, Crimmitschau</p>

	Hugo-Eckener-Saal	Ludwig-Dürr-Saal	Alfred-Colsman-Saal
09:50	<p><b>Di.1.A.5</b></p> <p>Rissentwicklung in CFK-Laminaten nachgewiesen durch in situ Röntgen-Refraktion</p> <p>A. Kupsch, BAM, Berlin</p>	<p><b>Di.1.B.5</b></p> <p>Akustische Materialprüfung – Ein progressives Prüfverfahren</p> <p>J. Ritter, RTE Akustik + Prüftechnik GmbH, Pfinztal</p>	<p><b>Di.1.C.5</b></p> <p>Ersatzfehler für die Halbzeugprüfung nach dem Vorschleifen</p> <p>K. Härtel, imq-Ingenieurbetrieb für Materialprüfung, Qualitätssicherung und Schweißtechnik GmbH, Crimmitschau</p>
10:10	<p><b>Pause</b></p>		
	<p><b>Di.2.A</b></p> <p><b>Röntgenverfahren</b></p> <p>S. Kasperl, T. Rabenseifner</p>	<p><b>Di.2.B</b></p> <p><b>Thermographie</b></p> <p>M. Goldammer, M. Ziegler</p>	<p><b>Di.2.C</b></p> <p><b>Total Focusing Method</b></p> <p>A. Mück, H. Rieder</p>
10:30	<p><b>Di.2.A.1</b></p> <p>Numerische Vorhersage der Detail-Erkennbarkeit durch menschliche Bewerter in der industriellen Computer-Tomographie</p> <p>U. Ewert, Kowotest, Teltow</p>	<p><b>Di.2.B.1</b></p> <p>Automatisierte Anwendung der Photothermischen Tomographie zur Prüfung von Composite Bauteilen</p> <p>G. Mayr, FH OÖ Forschungs &amp; Entwicklungs GmbH, Wels, Österreich</p>	<p><b>Di.2.C.1</b></p> <p>Vergleich von Prüfergebnissen aus der FMC/TFM Methode mit Phase Coherence Imaging – was sind die Unterschiede</p> <p>H. Küchler, Evident Europe GmbH, Hamburg</p>
10:50	<p><b>Di.2.A.2</b></p> <p>Vorstellung des Projektes CTSimU2 „Realistische Simulation realer Röntgen-computertomografie-Systeme mit basisqualifizierter Simulationssoftware“</p> <p>T. Reuter, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg</p>	<p><b>Di.2.B.2</b></p> <p>Schock Response Spectrum (SRS) Analyse als alternative Methode zur Auswertung von Infrarot-Thermografie (IRT) Daten</p> <p>H. Yagdjian, Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Kaiserslautern</p>	<p><b>Di.2.C.2</b></p> <p>Ultraschallprüfung von Schweißnähten – ein Vergleich bildgebender Verfahren</p> <p>A. Schönbauer, Evident Europe GmbH – Zweigniederlassung Österreich, Wien, Österreich</p>
11:10	<p><b>Di.2.A.3</b></p> <p>Ausschussreduktion durch Kombination von Daten aus dem Gießprozess und der automatischen Röntgenprüfung</p> <p>T. Stocker, Fraunhofer EZRT, Fürth</p>	<p><b>Di.2.B.3</b></p> <p>Einfache Bereitstellung thermografischer Sensordaten in Smart-City-Datenräume mittels autarker Monitoring-Systeme</p> <p>S. Klein, Fraunhofer IZFP, Saarbrücken</p>	<p><b>Di.2.C.3</b></p> <p>Benefits of plane wave imaging (PWI) for ultrasound NDT industrial applications</p> <p>H. Saulais, TPAC NDT – DB SAS, Nantes, Frankreich</p>



	Hugo-Eckener-Saal	Ludwig-Dürr-Saal	Alfred-Colsman-Saal
11:30	<b>Di.2.A.4</b> Computertomographie in der Archäologie am Beispiel der Archäologischen Bodenforschung Basel-Stadt N. Spichtig, Archäologische Bodenforschung Basel-Stadt, Basel, Schweiz	<b>Di.2.B.4</b> Anwendung einer neuartigen Lockin-Thermografie Kompensationsmethode zur Eliminierung der lateralen Wärmeflüsse J. Hufert, IKT, Universität Stuttgart	<b>Di.2.C.4</b> Ultraschallprüfung von gewalztem Flachstahl mittels „Full Matrix Capture/Total Focusing Method technique“ J. Maier, voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG, Kapfenberg, Österreich
11:50	<b>Pause</b>		
	<b>Di.3.A</b> <b>Batterien</b> H.-G. Herrmann, A. Hofmann	<b>Di.3.B</b> <b>Reliability (POD)</b> S. Dugan, M. Spies	<b>Di.3.C</b> <b>Normen und Regelwerke 2</b> A. Hetterich, G. Idinger
13:00	<b>Di.3.A.1</b> Übertragung einer Multisensorik zur Erfassung des Trocknungszustandes bei der Elektrodenfertigung in eine Pilotlinie D. Hofmann, Fraunhofer IKTS, Dresden	<b>Di.3.B.1</b> Herstellung geeigneter Testkörper für die Zuverlässigkeitsbewertung von Ultraschallprüfungen A. Jüngert, MPA Universität Stuttgart	<b>Di.3.C.1</b> Strahlenschutz in der ZfP – Die ersten Jahre neues Strahlenschutzrecht C. Kaps, DGZfP e.V., Berlin
13:20	<b>Di.3.A.2</b> Trends und Anforderungen an Röntgenquellen zur Batterieprüfung M. Odermatt, Comet AG, Flamatt, Schweiz	<b>Di.3.B.2</b> Erzeugung von künstlichen Rissen mittels der Wasserstrahltechnologie R. Gansel, Institut für Werkstoffkunde, Leibniz Universität Hannover, Garbsen	<b>Di.3.C.2</b> Sicherung sonstiger radioaktiver Stoffe/Erfahrungen mit der praktischen Umsetzung der SEWD-Richtlinie S. Kalauka, TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München
13:40	<b>Di.3.A.3</b> Qualitätskontrolle von Batteriekomponenten im Produktionsprozess J. Lapsien, CETA Testsysteme GmbH, Hilden	<b>Di.3.B.3</b> Was wir bei Prüfungen wissen sollten, warum wir es verdrängen und weshalb ZfP 4.0 die Lösung ist D. Kanzler, Applied Validation of NDE, Berlin	<b>Di.3.C.3</b> Der Übergang von Film zu digital und die Revision der ISO 17636-2 zur Schweissnahtprüfung mit digitaler Radiographie U. Zscherpel, BAM, Berlin
14:00	<b>Pause</b>		
14:30	Mitgliederversammlung der DGZfP   20:00 Konferenzabend im Dornier Museum		

	Hugo-Eckener-Saal	Ludwig-Dürr-Saal	Alfred-Colsman-Saal
	<p><b>Mi.1.A</b>  <b>Zustands- und Fertigungsüberwachung 1</b>                      M. Sause, K. Tschöke</p>	<p><b>Mi.1.B</b>  <b>Bauwesen</b>                      D. Algernon, M. Schickert</p>	<p><b>Mi.1.C</b>  <b>Additive Fertigung</b>                      M. Pelkner, C. Straube</p>
09:00	<p><b>Mi.1.A.1</b></p> <p>Entwicklung einer Prüftechnik zur Fehlercharakterisierung bei komplexer Geometrie und Werkstoff                      S. Dugan, Framatome GmbH, Erlangen</p>	<p><b>Mi.1.B.1</b></p> <p>Qualifizierung und Zertifizierung von ZfPBau-Prüfpersonal                      S. Feistkorn, DGZfP Ausbildung und Training GmbH, Berlin</p>	<p><b>Mi.1.C.1</b></p> <p>Entwicklung eines modifizierten IQI-Standards für additiv hergestellte (AM) metallische Strukturteile und die Ermittlung relevanter Bildgüteparameter für die digitale Röntgentechnik                      S. Neuhäusler, MTU Aero Engines, München</p>
09:20	<p><b>Mi.1.A.2</b></p> <p>Dichtheitsprüfung durch Verformungsmessung                      L. Wachter, SKZ – Das Kunststoffzentrum, Würzburg</p>	<p><b>Mi.1.B.2</b></p> <p>Entwicklung eines Betonprobekörpers zur Qualitätsbewertung zerstörungsfreier Prüfverfahren                      F. Dethof, Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg</p>	<p><b>Mi.1.C.2</b></p> <p>Untersuchung des Fließverhaltens von Kunststoffen im Hotend eines Extruders für den 3D Druck mittels Röntgendurchstrahlung                      J. Ehrler, IKT, Universität Stuttgart</p>
09:40	<p><b>Mi.1.A.3</b></p> <p>Ultraschallprüfung in automatisierten Industrieanlagen                      A. Szewieczek, Hillger NDT GmbH, Braunschweig</p>	<p><b>Mi.1.B.3</b></p> <p>Erste Ergebnisse mit einem mehrkanaligen, ultrabreitband Radar-Abbildungssystem                      F. Bonitz, MFPA, Weimar</p>	<p><b>Mi.1.C.3</b></p> <p>EM-ReSt.: Elektromagnetische Prüfmethode zur in-line Prüfung von remanenter Spannung und Microrissen in den Lagen bei der Metall Additiven Fertigung mit dem Ziel der Vorbeugung von Fertigungsfehlern                      J. Hansen, ETHER NDE Limited, St.Albans, Großbritannien</p>

	Hugo-Eckener-Saal	Ludwig-Dürr-Saal	Alfred-Colsman-Saal
10:00		<b>Mi.1.B.4</b> Herausforderungen bei der zerstörungsfreien Untersuchung mittels Ultraschall von Gesteinsblöcken im Bereich des Kulturerbes C. Große, Technische Universität München, Lehrstuhl für Zerstörungsfreie Prüfung, München	<b>Mi.1.C.4</b> CT-Prüfung für verbessertes Laserauftragsschweißen N. Brierley, diondo GmbH, Hattingen
10:20	<b>Pause</b>		
	<b>Mi.2.A</b> <b>Zustands- und Fertigungsüberwachung 2</b> R. Klieber, M. Scherrer	<b>Mi.2.B</b> <b>Drohnen und Robotik</b> C. Abt, G. Vogt	<b>Mi.2.C</b> <b>Wasserstoff</b> E. Duffner, G. Lackner
10:40	<b>Mi.2.A.1</b> Generisches Framework für akustische Methoden zur Überwachung industrieller Fertigungsprozesse T. Schlech, Universität Augsburg	<b>Mi.2.B.1</b> Roboterbasierte Schweißpunktprüfung – nahezu koppelmittelfreie, bildgebende Phased Array basierende Prüfung mit PHAsis, integriert und automatisiert durch ABB Robotics C. Köhler, VOGT Ultrasonics GmbH, Burgwedel	<b>Mi.2.C.1</b> Vermeidung von Risiken bei Inspektionen und Überwachung in beengten Räumen (CSE) und EX Bereichen mit Hilfe von Robotern, Online Monitoring und VR/AR M. Jocham, Dekra Visatec GmbH, Sulzberg
11:00	<b>Mi.2.A.2</b> Ultraschallbasierte Multizonenprüfung an Stabstahl mit einer in den Produktionsfluss integrierten vollautomatischen Phased Array Durchlaufprüfanlage T. Würschig, Waygate Technologies, Baker Hughes Digital Solutions GmbH, Hürth	<b>Mi.2.B.2</b> Drohnenbasiertes Impact-Echo Messsystem für ZfPBau D. Algernon, SVTI Schweizerischer Verein für technische Inspektionen, Wallisellen, Schweiz	<b>Mi.2.C.2</b> Optimierung eines Sensornetzwerkes basierend auf geführten Wellen zur Zustandsüberwachung von Wasserstoffdruckbehältern J. Heimann, BAM, Berlin

	Hugo-Eckener-Saal	Ludwig-Dürr-Saal	Alfred-Colsman-Saal
11:20	<p><b>Mi.2.A.3</b></p> <p>Großflächige 24/7-Korrosionsüberwachung mit Geführten Wellen</p> <p>T. Vogt, Guided Ultrasonics Limited, London, Großbritannien</p>	<p><b>Mi.2.B.3</b></p> <p>Drohnenbasierte dynamische quantitative Infrarotthermographie in der energetischen Analyse von Gebäuden</p> <p>P. Groesdonk, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Jülich</p>	<p><b>Mi.2.C.3</b></p> <p>„Connected Probe“ – ein Beispiel dafür, wie der Einsatz der Ultraschall-Phased-Array-Technologie eine Alternative zur sofortigen Abschaltung einer Wasserstoffanlage bietet. Brauchen wir ein Umdenken?</p> <p>F. Kirchner, EKOSCAN, Hammelburg</p>
11:40	<p><b>Mi.2.A.4</b></p> <p>Vom Applikationslabor zum Prüfdienstleister – Erfahrungen bei der Ultraschallprüfung von Rundstabmaterial im Durchmesserbereich 5-7mm (KSR 0,5)</p> <p>K. Dickmann, Slickers Technology GmbH &amp; Co. KG, Geldern</p>	<p><b>Mi.2.B.4</b></p> <p>Hybridprüfung – Induktionsthermografie als Ergänzung zur klassischen Wirbelstromprüfung</p> <p>I. Jakobi, Institut Dr. Foerster GmbH &amp; Co. KG, Reutlingen</p>	<p><b>Mi.2.C.4</b></p> <p>Entwicklung eines referenzfreien, elektronischen Ultraschall-Prüfsystems für Faserverbundwerkstoffe</p> <p>K. Tschöke, Fraunhofer IKTS, Dresden</p>
12:00	<p><b>Pause</b></p> <p><b>Mi.3.A</b></p> <p><b>Faserverbundwerkstoffe</b></p> <p>M. Gurka, M. Kreuzbruck</p>	<p><b>Mi.3.B</b></p> <p><b>ZfP 4.0</b></p> <p>W. Schützenhöfer, B. Valeske</p>	<p><b>Mi.3.C</b></p> <p><b>Chemische/Petrochemische Industrie</b></p> <p>B. Schreieck, D. Treppmann</p>
12:30	<p><b>Mi.3.A.1</b></p> <p>Kombination von Laser-Ultraschall und Thermografie zur verbesserten Fehlercharakterisierung in CFK-Bauteilen</p> <p>B. Reitinger, RECENDT GmbH, Linz, Österreich</p>	<p><b>Mi.3.B.1</b></p> <p>Standardisierte Archivierung von Ultraschall-A-Scans in DICONDE</p> <p>F. Leinenbach, Fraunhofer IZFP, Saarbrücken</p>	<p><b>Mi.3.C.1</b></p> <p>Wirbelstrombasierte Prüfung von Rohrleitungen mit Hilfe von kabelgebundenen Prüfsystemen</p> <p>G. Scheer, TMT Test- und Maschinentechnik GmbH, Schwarmstedt</p>

	Hugo-Eckener-Saal	Ludwig-Dürr-Saal	Alfred-Colsman-Saal
12:50	<p><b>Mi.3.A.2</b></p> <p>Fließfrontennachverfolgung in Hochdruck Resin Transfer Molding Werkzeugen mittels Phased Array Ultraschalluntersuchungen L. Littner, IKT, Universität, Stuttgart</p>	<p><b>Mi.3.B.2</b></p> <p>Integration von ZfP-Ergebnissen in digitale Bauwerksmodelle M. Schickert, MFPA Weimar</p>	<p><b>Mi.3.C.2</b></p> <p>Wirbelstromprüfung von ferritisch-austenitischen Duplexwerkstoffen und Nickel mit Phasenauswertung in der Wärmetauscherrohrprüfung B. Heutling, GSI mbH, Niederlassung SLV Hannover</p>
13:10	<p><b>Mi.3.A.3</b></p> <p>Bauteilprüfung eines CFK-Hebelarmes mit Schallemissionsanalyse B. Weihnacht, Fraunhofer IKTS, Dresden</p>	<p><b>Mi.3.B.3</b></p> <p>Intelligente IoT-Devices unter Einbeziehung zerstörungsfreier Prüfverfahren <b>Oder: Rapid Prototyping für Monitoring-Anwendungen</b> C. Weingard, Fraunhofer IZFP, Saarbrücken</p>	<p><b>Mi.3.C.3</b></p> <p>Portables akkubetriebenes Röntgensystem mit kleinem Brennfleck S. Eckel, BASF SE, Ludwigshafen</p>
13:30	<p><b>Mi.3.A.4</b></p> <p>Kanalabgleichmethoden für die Anwendung in der Inline-Wirbelstromprüfung von multiaxialen Kohlenstofffasergelegen M. Rake, Fraunhofer IKTS, Dresden</p>	<p><b>Mi.3.B.4</b></p> <p>Impulsvortrag ZfP-Schulung 4.0 G. Weidenbrück, Zeppelin Aviation &amp; Industrial Service GmbH, Friedrichshafen</p>	<p><b>Mi.3.C.4</b></p> <p>Kombinierte Schadensanalyse und zerstörungsfreie Prüfung an einem Equipment der petrochemischen Industrie R. Malke, DEKRA Incos GmbH, Ingolstadt</p>
14:00	Schlusswort		

**Ausbildung, Akkreditierung, Zertifizierung, Normung**

- P1\*** 35<sup>th</sup> Anniversary of the German-Turkish Project (1988-1996) for Establishment of Welding Technology and Nondestructive Testing Research and Application Center  
C.H. Gür, METU, Ankara, Türkei
- P2\*** Aktivitäten zur Normung der Ultraschallprüfung  
T. Heckel, BAM, Berlin
- P3\*** Erarbeitung einer Norm für einen standardisierten Prozess zur probabilistischen Bewertung von Prüfverfahren  
D. Kanzler, Applied Validation of NDT, Berlin
- P4** Ein Überblick über die Normung in der zerstörungsfreien Prüfung  
M. Schmitt, DIN, Berlin
- P5\*** Aktueller Stand der Normung in der Thermografie  
M. Ziegler, BAM, Berlin

**Computertomographie (CT)**

- P6\*** Verifikation potentieller Defekte in kritischen Regionen von 3D-gedruckten Bauteilen mittels robotergestützter Mikro-Computertomographie  
K. Bliedner, VisiConsult X-ray Systems & Solutions GmbH, Stockelsdorf
- P7\*** XaaS  
S. Buchmueller, VCxray Inspection Services GmbH, Sinsheim
- P8\*** XRnanotech – MicroCT Auflösungsstandard mit hohem Kontrast und Strukturen von 50 µm bis 0.2 µm  
A. Kubec, XRnanotech GmbH, Villigen-PSI, Schweiz
- P9** Anwendungen der Röntgenrefraktionstechnik zur zerstörungsfreien Charakterisierung von Keramiken und Verbundwerkstoffen  
B.R. Müller, BAM, Berlin

**Eindring- und Magnetpulverprüfung (MT, PT)**

- P10** Einsatz neuartiger, flexibler Magnetfeldsensoren für die elektromagnetische ZfP  
M. Pelkner, BAM, Berlin
- P11\*** Prüfmittelauswahl unter dem Gesichtspunkt automatisierter und KI-gestützter Auswertungen  
S. Robens, KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH & Co KG, Wuppertal

\* Poster mit Kurzpräsentation siehe Seite 6 – 8



### **Materialcharakterisierung (Gefüge, Härte usw.)**

- P12** Kieferimplantate aus TiAl6V4 – Prozessentwicklung zur additiven Fertigung von maßhaltigen Hartgewebeimplantaten  
C. Weidig, ifw Jena – Günter-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH, Jena

### **Mikrowellen/Terahertz**

- P13\*** Millimeterwellen lösen ein Problem bei der Wanddickenprüfung von GFK-Bauteilen mit Ultraschall  
S. Becker, Becker Photonik GmbH, Porta Westfalica
- P14\*** Wanddickenmessung von GFK-Rohren mit Mikrowellen  
J. Hinken, fitm Hinken Consult, Magdeburg
- P15** Inline-Überwachung der Aushärtung von applizierten Klebstoffen mit der Terahertztechnik  
M. Mayr, SKZ-KFE gGmbH, Würzburg

### **Optische Verfahren (VT)**

- P16** Stereomessverfahren in der Industrieendoskopie – *storniert*  
H. Küchler, Evident Europe GmbH, Hamburg
- P17\*** Semantic Wireframe Detection  
Y. Zhou, Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

### **Thermographie (TT)**

- P18** Flächige Bestimmung der Schichtdicke mit Mehr-Puls-Thermografie  
D. Hoffmann, SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg
- P19\*** 3D V-ROX: smarte und kompakte photothermische Tomographie in der Luftfahrt  
H. Plasser, voidsy gmbh, Wels, Österreich

### **Ultraschallverfahren (UT)**

- P20** Implementierung und Evaluierung des Delay-and-Sum-Beamforming für die SAFT-Rekonstruktion  
D. Algernon, SVTI, Wallisellen, Schweiz
- P21\*** Benefits of arbitrary waveform generator for ultrasound NDT applications  
H. Calas, TPAC, Nantes, Frankreich
- P22\*** Austausch einer Ultraschallprüfelektronik in einer Prüflinie mit minimaler Vorbereitungszeit und kürzester Stillstandszeit  
K. Dickmann, Slickers Technology GmbH & Co. KG, Geldern

\* Poster mit Kurzpräsentation siehe Seite 6 – 8

- P23\*** Ultraschall-Puls-Transmissionsverfahren: Automatisierte Drift-Erkennung in Signalreihen von Zementleimen im frühen Stadium der Hydratation  
J. Harden, Technische Universität Graz, Österreich
- P24\*** Bewertung der Tiefe von senkrechten Rissen in Beton mit Hilfe des Winkelspiegels  
U. Rabe, Fraunhofer IZFP, Saarbrücken
- P25\*** Prüfsysteme für Batterie-Pouchzellen  
T. Reinelt, Hillger NDT GmbH, Braunschweig
- P26\*** Forschung, Entwicklung und Neuheiten von Hillger NDT GmbH  
T. Reinelt, Hillger NDT GmbH, Braunschweig
- P27\*** Laser-Ultrasound as powerful technology for defect detection and material characterization  
E. Scherleitner, RECENDT, Linz, Österreich
- P28\*** Fokussierte Prüfköpfe für luftgekoppelte Ultraschallprüfung  
A. Szewieczek, Hillger NDT GmbH, Braunschweig
- P29** Mehrschichtmessung im  $\mu\text{m}$ -Bereich mit hochfrequentem Ultraschall an Teilen von Luftfahrzeugen  
A. Zink, Evident Europe GmbH, Hamburg
- Wirbelstromprüfung (ET)**
- P30** Anwendungsmöglichkeiten des Smartphones in der Wirbelstromprüfung  
G. Mook, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg
- ZfP im Zeichen der Digitalisierung**
- P31\*** Flexibles mobiles CT-System as a Service  
M. Eberhorn, Fraunhofer EZRT, Fürth
- P32** Von der Digitalisierung bis zur KI, analoges Röntgen im Jahr 2023 – *storniert*  
P. Marx, BW Plus NDT GmbH & Co. KG, Kamp Lintfort
- Zustandsüberwachung**
- P33** Riluminati – Das Risslumineszenzverfahren  
R. Dörn, MR Chemie GmbH, Unna

\* Poster mit Kurzpräsentation siehe Seite 6 – 8



## **Zieht euch warm an, es wird heiß!**

Sven Plöger  
Diplom-Meteorologe

Den diesjährigen Festvortrag hält der Diplom-Meteorolog, Wettermoderator und Autor Sven Plöger zum Thema „Zieht euch warm an, es wird heiß!“. Schon als Kind war Sven Plöger fasziniert vom Himmel, den Wolken und der Fliegerei. Dies und seine Vorliebe für das Fach Physik erweckten in ihm früh den Wunsch, Meteorologe zu werden. Seit über 20 Jahren steht Sven Plöger vor der Kamera und moderiert zahlreiche TV-Wettersendungen. Ebenso wichtig wie eine gute Wetterprognose ist es ihm, über den Klimawandel zu informieren, ohne zu missionieren. Mit viel Humor und spannenden Fakten zieht er seine Zuhörer in seinen Bann und teilt mit ihnen seine Faszination für die Themen Wetter und Klima. An den derzeit sehr intensiv geführten Auseinandersetzungen zum Thema Klimawandel beteiligt sich der Klimaexperte Sven Plöger regelmäßig als gern gesehener Gast in zahlreichen Talksendungen. In den letzten Jahren hat er einige Bücher zu Wetter, Klima und Klimawandel veröffentlicht, wie 2020 den überaus erfolgreichen Spiegel-Bestseller mit dem Titel „Zieht euch warm an, es wird heiß! Den Klimawandel verstehen und aus der Krise für die Welt von morgen lernen“. Wir freuen uns auf spannende Fakten rund um das Klima.

Quelle: <https://www.brainworx.de/kunde/sven-plöger>

Sven Plöger: <https://www.brainworx.de/kunde/sven-plöger>

## SPONSOREN

### GOLD SPONSOREN



Österreichische Gesellschaft für  
Zerstörungsfreie Prüfung e. V.

Schweizerische Gesellschaft für  
zerstörungsfreie Prüfung

### SILBER SPONSOREN



DEKRA Incos GmbH

Framatome GmbH

Helling GmbH

TPAC

### BRONZE SPONSOREN



DÜRR NDT GmbH & Co. KG

Helmut Klumpf  
Technische Chemie KG

EVIDENT Europe GmbH

Wir danken unseren Sponsoren für die freundliche Unterstützung.

BRONZE SPONSOREN



Hillger NDT GmbH



IT-Service Leipzig GmbH



KARL DEUTSCH Prüf- und  
Messgerätebau GmbH + Co KG



Magnaflux GmbH



PIBS



SGS Germany GmbH



VOGT Ultrasonics GmbH



Waygate Technologies  
Baker Hughes Digital Solutions GmbH

## Virtuelle Referenzschienen nach DIN EN 16729-1 für die Ultraschallprüfung von verlegten Eisenbahnschienen

T. Zhang<sup>1</sup>, T. Heckel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Im Rahmen des Forschungsvorhabens AIFRI Artificial Intelligence for Rail Inspection wird der Prozess der mechanisierten Schienenprüfung in einem digitalen Zwilling abgebildet, um in einem zweiten Schritt mit KI-Algorithmen eine automatisierte Defekterkennung und -klassifizierung trainieren zu können. Hierzu werden relevante Schienenschädigungen und in der Schiene vorhandene Artefakte analysiert und in skalierbare Modelle übertragen.

Die Norm DIN EN 16729-1 Bahnanwendungen – Infrastruktur – Zerstörungsfreie Prüfung an Schienen im Gleis – Teil 1: Anforderungen an Ultraschallprüfungen und Bewertungsgrundlagen gilt für die Prüfausrüstung von Schienenprüffahrzeugen und handgeführten Rollgeräten und legt die Anforderungen an die Prüfgrundsätze und -systeme bei der Prüfung verlegter Eisenbahnschienen fest, um vergleichbare Ergebnisse in Bezug auf Lage, Art und Größe der Unregelmäßigkeiten in den Schienen zu erhalten.

Um die Performance von Prüfsystemen in der Simulation zu evaluieren, wurden die in den Anhängen der DIN EN 16729-1 angegebenen Bezugsreflektoren als künstliche Reflektoren (nach Anhang A) und simulierte Reflektoren (nach Anhang B) in einem digitalen Zwilling mit einem Schienenprofil 54E4 nach DIN EN 13674-1 sowie mit vereinfachter Geometrie als virtuelle Testschienen abgebildet.

Die Simulationen wurden mit den in Tabellen 3 und 4 nach DIN EN 16729-1 definierten Prüfkopfwinkeln durchgeführt. Die Rechnungen wurden im Labormaßstab an Testkörpern verifiziert und die Signal-Rausch-Abstände für Untersuchungen im Feld ermittelt.

Ergebnisse der Untersuchungen und Möglichkeiten der Anwendung werden vorgestellt. Das Forschungsvorhaben wird durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen von mFund unter dem Förderkennzeichen 19FS2014 gefördert.



## Scannende Detektion von Oberflächenfehlern in Weichenherzen mittels induktiver Thermografie

C. Tuschl<sup>1</sup>, B. Oswald-Tranta<sup>1</sup>, T. Agathocleous<sup>1</sup>, S. Eck<sup>2</sup>, P. Dornig<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Automation, Leoben, Österreich; <sup>2</sup> Materials Center Leoben Forschung GmbH, Leoben, Österreich; <sup>3</sup> ÖBB-Infrastruktur AG, Graz, Österreich

Durch Rollkontaktermüdung treten Oberflächendefekte in Eisenbahnweichen, insbesondere im Bereich des sogenannten Weichenherzes auf. Für eine vorausschauende Planung der Instandhaltung müssen diese Defekte während der Wartungsinspektionen detektiert und hinsichtlich ihrer Tiefe abgeschätzt werden.

In dieser Arbeit wird ein mobiler Laboraufbau präsentiert, welcher Oberflächendefekte mittels induktiver Thermografie in einem scannenden Verfahren detektieren kann. Die Arbeit zielt auf die Entwicklung eines mobilen Prototyps, welcher Servicepersonal bei Wartungen von Weichenherzen unterstützen soll.

Beim vorgestellten Verfahren wird während des Scannens die Oberflächen des Weichenherzens mittels luftgekühlten Induktor erwärmt ( $T < 10\text{K}$ ) und Temperaturänderungen während und nach der Erwärmung von einer Infrarotkamera aufgezeichnet. In jedem aufgenommenen Bild der Filmsequenz befindet sich ein Kalibrierkörper mit AprilTags zur Registrierung. Mit diesem Objekt ist es möglich Verschiebungen zwischen den Bildern aufgrund der Bewegung direkt aus der Filmsequenz und somit ohne ein zusätzliches Sensorsystem zu bestimmen. Da Bewegungsänderungen von Bild zu Bild erkannt werden, ist ein mobiles (manuelles) Scanning mit sich ändernder Geschwindigkeit möglich. Der Laboraufbau verwendet eine ungekühlte  $\mu$ -Bolometer Kamera, welche sich im Vergleich zu gekühlten Photonik-Kameras besser für mobile Anwendungen eignet, jedoch durch Integrationszeiten von etwa 10 ms von Bewegungsunschärfe betroffen ist. Mit den erhaltenen Informationen aus der Registrierung zur aktuellen Geschwindigkeit kann diese Unschärfe durch ein Deblurring-Verfahren korrigiert werden. Hauptziel dieser Registrierung ist jedoch die Transformation der gesamten Filmsequenz zu einer neuen Sequenz, die Registrierungsobjekt und Weichenherz statisch wirken lässt. Dies ermöglicht eine Auswertung mittels Fourier-Transformation zum Phasenbild, welches robust gegen negativen Oberflächeneffekten wie inhomogener Erwärmung oder Emissionsvermögen ist und zusätzlich eine Bewertung der Tiefe der Oberflächenfehler ermöglicht.

## Digitalisierung in der zerstörungsfreien Prüfung für Eisenbahnräder

T. Würschig<sup>1</sup>, D. Werner<sup>1</sup>, A. Franzen<sup>1</sup>, F. Henrix<sup>1</sup>, U. Phillips<sup>1</sup>, P. Buschke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Waygate Technologies, Baker Hughes Digital Solutions GmbH, Hürth

Durch die immer höher werdenden Geschwindigkeiten, Lasten sowie zurückzulegenden Distanzen sind Eisenbahnräder eine der kritischsten sicherheitsrelevanten Elemente im Schienenverkehr. Die zerstörungsfreie Prüfung dient dazu, Materialfehler oder -schäden frühzeitig zu erkennen und daraus resultierend entsprechende Sicherheitsmaßnahmen anzuwenden, um ein katastrophales Materialversagen im Betrieb zu verhindern. Weltweit schreiben deshalb Normen für den Schienenverkehr u. a. auch die regelmäßige Ultraschallprüfung in der Produktion sowie während entsprechender Wartungsintervalle vor. Krautkrämer WheelStar Prüfanlagen sind genau für diesen Zweck vorgesehen und werden zur Zeit vor allem für die In-line Inspektion für Räder in Hochgeschwindigkeitszügen eingesetzt. Aufgrund des hohen Automatisierungsgrades, innovativer Prüfverfahren sowie des benutzerfreundlichen Bedien- und Auswertekonzepts sind diese Anlagen ein gutes Beispiel, wie die Design-Prinzipien von Industrie 4.0 in der zerstörungsfreien Prüfung eingesetzt werden können.

Im vorliegenden Beitrag wird vor allem darauf eingegangen, wo und wie Digitalisierung in der Schienenradprüfung genutzt werden kann und welchen Beitrag die Krautkrämer WheelStar Prüfanlagen dazu beitragen können. Dies beginnt bereits bei der Herstellung der Räder und setzt sich dann in den verschiedenen Stufen während des Betriebs und der Wartung fort. Es wird gezeigt, dass die Anwendung von Industrie 4.0 zu einer Optimierung der Prüfung führt, aus der u. a. eine erhöhte Zuverlässigkeit und damit verbunden eine weitere Verbesserung der Sicherheitskonzepts resultiert. Weitere Entwicklungen versprechen zukünftig eine direkte Rückkopplung der Prüfung zu benachbarten Funktionen. Auf diese Weise wird es möglich sein, unter Anwendung höherer Sicherheitsstandards eine verbesserte Nutzung der Räder zu erzielen und somit deren Lebenszeit zu verlängern.

## Thermografie-Kontrollen am Tail Boom Assy AGUSTA-BELL 212

R. Trofaier<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Österreichisches Bundesheer, Materialstab Luft, Österreich

Im Juli 2018 wurde vom Österreichischen Bundesheer das Auftreten von Ablösungen im Bereich des Heckauslegers AB212 festgestellt. Aufgrund der fehlenden Möglichkeit einer aussagekräftigen zerstörungsfreien Prüfmethode dieser Aluminium Honeycomb Bauteile im Bereich des ÖBH wurde festgelegt, dass die Notwendigkeit der Erprobung eines neuen Prüfverfahrens gegeben ist. Unter Berücksichtigung des Werkstoffes, dessen Eigenschaften und der gegebenen Bauteilgeometrie wurde beurteilt, dass der betroffene Bereich des Heckauslegers im eingebauten Zustand mittels Thermografie auf seinen Zustand geprüft werden sollte.

Diese Bauteilprüfung mittels Thermografie am AB212 sollte einerseits zur Verifizierung der festgestellten Ablösungen dienen, als auch zur Beurteilung ob dieses Verfahren zweckmäßig und daher eine Einführung im ÖBH als sinnvoll erachtet wird. Aufgrund des positiven Prüfberichts wurde eine weiterführende Zustandsprüfung aller Tail Boom Assy AB212 angeordnet, welche schließlich 2022 durch eine Erstbegutachtung der gesamten Flotte umgesetzt wurde.

## **NDT & METROLOGY Improving Efficiency in Aerospace Manufacturing utilizing the Multi-Modality Approach**

[T. Gramberger](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fill, Gurten, Österreich

Historisch gewachsen ist der Ansatz, dass in der Flugzeugindustrie vielfach die Abteilungen CMM und NDT (Non Destructive Testing) unabhängige Organisationseinheiten sind, was dazu führt, dass potenzielle Synergien vielfach erst spät oder gar nicht erkannt werden.

Selbst das Kombinieren von komplementären und- oder alternativen Prüftechnologien innerhalb des NDT Bereiches ist noch nicht allgegenwärtig und ermöglicht ungeahnte Synergieeffekte. Anhand eines aktuellen Kundenprojektes wird aufgezeigt, welche Vorteile ein weiteres Aufbrechen bestehender Strukturen bieten kann – nämlich die Kombination von NDT & CMM. Die vollautomatische Röntgenprüfung mit der berührungslosen Geometrievermessung zu kombinieren, reduziert unter anderem Rüstzeiten in der Serienproduktion von Composite - Strukturbauteilen für die zivile Luftfahrt. Als zusätzlicher Mehrwert stellt sich heraus, dass die einfache Bedienung von nur einem multimodalen Prüfsystem beim Kunden für minimierten Schulungs- sowie auch Instandhaltungsaufwand sorgt. FILL STUDIO das zentrale Framework für NDT & METROLOGY in der Luftfahrtindustrie sorgt für eine einheitliche Bedienung der Anlage, welche sowohl Applikations- als auch Kinematik unabhängig ist. Somit wird das Starten einer Ultraschall- bzw. Röntgenprüfung zum ähnlich einfachen Job, wie das Ausführen einer kompletten Bauteilrekonstruktion (Reverse Engineering). Selbiges gilt für die Kinematik, welche die Sensorik präzise über die oft komplexen Bauteiloberflächen führt – es macht keinen Unterschied, ob ein 6-Achs Roboter auf Linearschiene – oder ein auf Linearachsen basierendes Gantrysystem die Prüfaufgabe ausführt. Das Look and Feel hinsichtlich Bedienung der Anlage basierend auf einem TCP (Tool Center Point) gesteuerten NC System ist ident.

## Grenzen und Möglichkeiten der 3D-Thermografie innerer Strukturen mittels künstlicher Intelligenz

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

<sup>1</sup> Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

Im letzten Jahr wurde ein Encoder-Decoder Netz zur dreidimensionalen Rekonstruktion Innerer Strukturen aus Puls-Thermografie-Messungen mittels künstlicher Intelligenz vorgestellt. Darin wurde die Abkühlkurve analysiert und es konnte aufgezeigt werden, dass bisherige Störeinflüsse der klassischen Thermografie, wie der laterale Wärmefluss, durch die eingesetzte KI effizient kompensiert werden können. Die KI wurde dabei zur Invertierung thermischer Wellen eingesetzt, wodurch sich die dreidimensionale innere Struktur der untersuchten Defektgeometrie als Zielgröße ergab.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Grenzen und Möglichkeiten, die durch den Einsatz von KI-Systemen in der aktiven Thermografie entstehen aufgezeigt und diskutiert. Dazu werden die letztjährigen simulationsbasierten Trainingsdaten auf reale Messungen übertragen und die Auflösungsgrenzen des Systems beschrieben. Folgende Fragestellungen werden dabei beantwortet: Bis zu welcher Tiefenlage, bis zu welchen Größen bzw. Tiefenverhältnissen können Defekte gefunden werden? Können nahe aneinander liegende Defekte durch die KI voneinander separiert werden? Wie reagiert die KI auf Fehler, die nicht im Trainingsdatensatz enthalten sind? Ist es möglich, die Erkenntnisse auf andere Materialien zu übertragen? Abschließend wird eine Einschätzung gegeben, wie KI-Systeme in zukünftigen ZfP-Applikationen eingesetzt werden könnten.

## KI in der zerstörungsfreien Prüfung - Wie die Digitalisierung zu einer automatisierten Zukunft in der ZfP führt

C. Els<sup>1</sup>, D. Nestler<sup>1</sup>

<sup>1</sup>sentin GmbH, Bochum

Im vorliegenden Vortrag zeigt der Autor anhand von Praxisbeispielen, wie durch die Digitalisierung eingeführte digitale Röntgensysteme den Weg für die KI-Technologie ebnen. Der Fokus liegt darauf, welche Grundlagen geschaffen werden müssen, um KI in der digitalen Röntgentechnik einzuführen. Der Vortrag beleuchtet das Zusammenspiel verschiedener Datensysteme und deren Korrespondenz für den optimalen Einsatz von KI-Technologie. Er konzentriert sich auf verschiedene Systemkonfigurationen und zeigt Vor- und Nachteile für den zukünftigen Einsatz von KI auf. Außerdem werden Datenstrukturen und -formate definiert, die Voraussetzung für das Training und die Nutzung von KI sind. Anhand verschiedener Projektbeispiele aus den Bereichen RT-Schweißnahtprüfung, On-Stream-Analyse und CT-Prüfung zeigt der Autor Anwendungsbeispiele aus der Praxis. Diese Beispiele reflektieren die technologische Entwicklung, die Umsetzung und die geschäftliche Relevanz für die jeweiligen Partnerunternehmen und zeichnen somit ein ganzheitliches Bild des industriellen Einsatzes von KI. Außerdem werden verschiedene Stufen der KI-induzierten Automatisierung vorgestellt und diskutiert, von digitalen Assistenzsystemen bis hin zu vollautomatischen Prüfverfahren. Der Vortrag reflektiert die in diesen konkreten Projekten gewonnenen Erfahrungen und gibt Handlungsempfehlungen sowie die Voraussetzungen, um Anwender in eine digital automatisierte Zukunft zu führen. Er geht auf die Hürden der KI-Implementierung in ZfP-Prozessen ein und beleuchtet dabei insbesondere den Trainingsprozess, die kontinuierliche Anpassung von KI-Systemen und die aktuellen Hürden bei der Qualifizierung entsprechender Systeme. Der Vortrag schließt mit dem Status quo der Qualifizierung von KI-Systemen für ZfP-Prozesse und unterstreicht Best Practices und aktuelle Aktivitäten in der Normung zur Regulierung von KI-Prüfsystemen in der ZfP-Industrie.



## KI-basierte Risserkennung bei der Magnetpulverrisprüfung

[H. Rast](#)<sup>1</sup>, [S. Klein](#)<sup>1</sup>, [D. Schäle](#)<sup>1</sup>, [D. Schaefers](#)<sup>1</sup>, [T. Dochtermann](#)<sup>1</sup>, [W. Deutsch](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karl Deutsch Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal

Die Magnetpulverrisprüfung (MT) wird seit über 80 Jahren in der zerstörungsfreien Prüfung eingesetzt. Obwohl es bereits im letzten Jahrhundert Versuche gab diese zu automatisieren, wird sie auch heute noch weitestgehend manuell durchgeführt. Viele Schmieden und Gießereien weisen bereits einen sehr hohen Automatisierungsgrad in der Fertigung auf, so dass der größte Teil des Personalaufwands auf die Endkontrolle entfällt. Diese Betriebe stehen gerade in Hochlohnländern wie Deutschland unter großem Druck und dem Problem ausreichend qualifiziertes Personal zu finden und gleichzeitig die Kosten gering zu halten. Durch diesen steigenden Druck mehrten sich in den letzten Jahren Anfragen bei den Prüfanlagenherstellern nach vollautomatischen MT-Systemen. Die Fortschritte in der Entwicklung von künstlicher Intelligenz (KI) im letzten Jahrzehnt, insbesondere die Methode des Deep Learning zeigen hier einen erfolgsversprechenden Weg auf die automatisierte Auswertung von Anzeigen in MT-Systemen zu realisieren. Dieser Vortrag stellt ein von KARL DEUTSCH entwickeltes System zur automatisierten KI-basierten Auswertung bei der Magnetpulverrisprüfung vor und zeigt Ergebnisse aus der Anwendung.

## Machine Learning in der Simulation von Ultraschallprüfungen

[D. Algernon](#)<sup>1</sup>, C. Thurnherr<sup>1</sup>, A. Müller<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SVTI Schweizerischer Verein für technische Inspektionen, Wallisellen, Schweiz

Modellierung und Simulation sind wichtige Aspekte der Ultraschallprüfung. Insbesondere im Zuge der Prüftechnikentwicklung sowie der Planung und Vorbereitung von Inspektionen hat sich der Einsatz bewährt und etabliert. Es kommen diverse numerische sowie semi-analytische Simulationsverfahren zum Einsatz. Grundsätzlich wird dabei das Ziel verfolgt, reale Ultraschalluntersuchungsergebnisse bestmöglich vorherzusagen und gleichzeitig den Modellierungsaufwand sowie vor allem die Rechenzeit akzeptabel zu halten.

Machine Learning besitzt erhebliches Potenzial, die obengenannten Simulationsverfahren zu unterstützen, sie effizienter werden zu lassen und gleichzeitig realistischere Simulationsergebnisse zu liefern.

Dieser Beitrag verdeutlicht den Prozess und stellt grundlegende Ergebnisse Machine Learning-basierter Simulation dar. Unter Verwendung von Autoencoder-Architekturen werden hierbei B-Bilder auf Basis von Modellierungsparametern generiert.

Der Trainingsprozess des Supervised Learning setzt dabei einerseits eine ausreichende Anzahl von Datensätzen sowie die genaue Kenntnis der zugehörigen Zielwerte (Ground Truth) voraus. Als Datenquelle werden somit einerseits durch herkömmliche Simulationen generierte Daten und andererseits reale Messdaten herangezogen.

Der gesamte Trainings- sowie Anwendungsprozess ist in einer anwenderorientierten Software implementiert. Die präsentierten Anwendungsfälle betreffen insbesondere die Detektion und Charakterisierung komplexer Risse in und an Schweissnähten.

## Defekterkennung von Impactschäden durch convolutional neural networks

P.-L. Chung<sup>1</sup>, J. Rittmann<sup>1</sup>, A. Charizanis<sup>1</sup>, M. Kreuzbruck<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

Künstliche Intelligenzen (KI) stellen Zukunftslösungen mit großem Potenzial dar, welche selbst unerfahrenem Personal bei der Datenauswertung und Defekterkennung unterstützen können. In der Thermografie können bei der Auswertung von Thermogrammen auf Algorithmen der Bilddatenverarbeitung sowie der KI-Verarbeitung von Bilddaten zurückgegriffen werden. Hierzu werden häufig Convolutional Neural Networks (CNN) eingesetzt. Eine besondere Netzwerkarchitektur, basierend auf CNN, stellt das U-Net dar. Durch Querverbindungen zwischen Encoder und Decoder Seite des Netzwerks können hohe Abbildungsgenauigkeiten bei selbst kleinen Trainingsdatensätzen erreicht werden. Der Encoder reduziert das Eingabebild schrittweise auf ein Minimum und extrahiert dabei die relevanten Merkmale. Der anschließende Decoder verknüpft die extrahierten Merkmale miteinander und skaliert durch weitere Schichten die Informationen auf die Ausgangsgröße zurück. Dadurch ist es möglich, in einem kleinen Datensatz aus Lockin-Thermografie-Phasenbildern von CFK schnell und zuverlässig Impactschäden zu erkennen und zu segmentieren. Eine weitere untersuchte Netzwerkarchitektur ist das Long Short-Term Memory (LSTM) Netz, das in der Lage ist, Informationen in einem Zwischenspeicher zu hinterlegen und abzurufen. Ein weiteres Einsatzgebiet stellt die Verarbeitung von zeitabhängigen Mess- und Sensordaten, wie die Betrachtung von Abkühlkurven nach pulsförmiger Erwärmung, dar. Durch Kombination von CNN und LSTM können die zuvor aufgenommenen Abkühlkurven pixelweise verarbeitet werden und die Tiefen und Durchmesser von Flachbodenbohrungen in CFK-Platten klassifiziert und quantifiziert werden. Als Ausgabegröße wird die lokale Bauteildicke bis zur Schadensfläche bzw. die Bauteildicke bis zur Rückwandgeometrie verwendet. Dieser Beitrag demonstriert beispielhaft, dass mithilfe von CNN bereits ein vergleichsweise geringer Datensatz aus 475 Trainingsbildern ausreicht, um eine automatisierte Auswertung von 2,5D Geometrien der Rückwand bzw. von Schadensflächen durchzuführen.

## Automatisierte 3D Schallfeldvermessung, Charakterisierung und Zertifizierung von Ultraschallprüfköpfen mittels eines hochauflösenden individuell designten Scanners

S. Kolkoori<sup>1</sup>, R.H. Koch<sup>1</sup>, M. Sperreuter<sup>1</sup>, A. Knam<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ROSEN Technology and Research Center GmbH, Alzenau; <sup>2</sup> ROSEN Germany GmbH, Stutensee

Zur Zertifizierung und zum Betrieb automatisierter Ultraschallprüfanlagen ist nach der internationalen Norm DIN EN ISO 22232-2 eine vollständige quantitative Bestimmung der Eigenschaften der eingesetzten Prüfköpfe erforderlich. Eine präzise Vermessung des Schallbündels dient der Qualitätssicherung der Prüfköpfe und kann auch zur Optimierung der Prüfparameter der Anlagen herangezogen werden. Weiterhin sollte eine Bewertung der Prüfkopfeigenschaften in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden.

Um für die Zertifikaterstellung eine exakte Vermessung des Schallfeldes zu ermöglichen, wurde ein hochgenauer Tauchtechnik-Scanner entwickelt. Eine Stahlrohrrahmenkonstruktion mit großen Querschnitten reduziert, insbesondere in den Umkehrpunkten, bei hoher Prüfgeschwindigkeit die Eigenschwingungen. Ein 6-Achsen Hexapod wird zur Bestimmung und zum Ausgleich der Schielwinkel in allen drei Referenzebenen eingesetzt. Hierdurch werden hochauflösende Scans in alle drei Ebenen der akustischen Hauptachse eines Ultraschallprüfkopfes ermöglicht.

Sowohl Tauchtechnik- als auch SE-Prüfköpfe werden in einem automatisierten Workflow quantitativ gemessen und ausgewertet. Die Bestimmung des Schielwinkels in allen drei Ebenen, des HF-Signals im Zeit- und Frequenzbereich, der Fokusabstand-Kurve, des Schallbündeldurchmessers und der Schallbündeldivergenz erfolgen unter Verwendung eines 3 mm Halbkugelreflektors für die Tauchtechnik- oder für die SE-Prüfköpfe mittels Flachbodensacklochbohrungen in einem ebenen Vergleichskörper.

Der Scan, die Datenerfassung und Evaluierung, die Darstellung der 3D-Schallfelder und des HF-Signals und die automatische Erstellung des Prüfberichtes werden normgerecht durchgeführt. Es wird eine räumliche Auflösung von 15  $\mu\text{m}$  in den gemessenen Schallfeldern und eine Winkelauflösung von 0,05° in den gemessenen Schielwinkeln erzielt. Die so erstellten Zertifikate von Ultraschallprüfköpfen im Impuls-Echo- als auch SE-Betrieb werden im Beitrag vorgestellt. Anschließend werden die gemessenen HF-Signale und Schallfelder im Nah- und Fernfeldbereich mit Simulationsergebnissen verglichen.

## Robuste Ultraschallwandler für die Inspektion von Pipelines

A. Mück<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SONOTEC GmbH, Halle (Saale)

Die Ultraschallprüfung von Pipelines auf Risse und Korrosion mittels intelligenter Molche ist ein etabliertes Verfahren. Um die dabei entstehenden Kosten gering zu halten, wird eine First Run Success Rate von 100 % angestrebt. Das stellt insbesondere an die Ultraschallwandler sehr hohe Anforderungen, da diese in der Pipeline zum Teil extremen Umwelteinflüssen ausgesetzt sind. Ihre Stabilität und einwandfreie Funktion ist eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Prüfung.

Das Erreichen dieser sehr hohen Stabilität wird durch die Auswahl geeigneter Materialien und ausführlicher Tests bereits im Entwicklungsprozess berücksichtigt. Dennoch kann nicht jeder Einsatzfall betrachtet werden. Anhand individueller Tests unter Berücksichtigung von Medium, Druck und Temperatur sollte die Machbarkeit einer Inspektion vorab geprüft werden.

Im Vortrag wird die Vorgehensweise für solche Tests vorgestellt. Es wird erläutert, welchen möglichst realitätsnahen Bedingungen die Ultraschallprüfköpfe ausgesetzt werden. Anschließend wird beschrieben, nach welchen Kriterien die Stabilität und Integrität der Prüfköpfe bewertet wird. Beispiele aus der Praxis runden den Vortrag ab.

## Verbesserung der Prüfbarkeit von dickwandigen und stark bewehrten Betonobjekten mit niederfrequenten Ultraschall-Arraysystemen

[A. Bulavinov](#)<sup>1</sup>, R. Pinchuk<sup>1</sup>, A. Samokrutov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ACS-Solutions GmbH, Saarbrücken

Die in den modernen Ultraschall-Betonprüfgeräten eingesetzten Punktkontaktsensoren (Dry-Point-Contact/DPC) weisen einzigartige Eigenschaften für die Prüfung von inhomogenen und stark streuenden Werkstoffen auf. Jedoch kommen auch solche Prüfsysteme an ihre Grenzen, wenn es um die Prüfung von sehr massiven und/oder stark bewehrten Konstruktionen geht. Dabei besteht der Bedarf an zerstörungsfreien Materialprüfungen an solchen Objekten, da die anderen zFP-Methoden wie etwa GPR oder Impact-Echo-Verfahren kein ausreichendes Fehlernachweisvermögen bieten und daher nicht eingesetzt werden. Der aktuelle Beitrag befasst sich mit den neuen Ansätzen zur Erweiterung des Prüfbereiches und Verbesserung des Nachweisvermögens der Ultraschallprüfung an dickwandigen und stark bewehrten Betonobjekten bei der Anwendung von niederfrequenten Wandler-Arrays.

## Phased-Array-Prüfköpfe für luftgekoppelte Ultraschallprüfung auf Basis von zellulären Kunststoffen

M. Gaal<sup>1</sup>, D. Hufschläger<sup>1</sup>, D. Gohlke<sup>1</sup>, M. Weise<sup>1</sup>, D. Ilse<sup>2</sup>, W. Hillger<sup>2</sup>, A. Szewieczek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> Hillger NDT GmbH, Braunschweig

Luftgekoppelte Ultraschallprüfung setzt sich immer häufiger gegen die konventionelle Ultraschallprüfung von Leichtbaukomponenten durch, und zwar in vielen Industriezweigen von der Holzindustrie bis zur Luftfahrt. Während die Phased-Array-Technik mittlerweile zu dem industriellen Standard im Bereich der Prüfung mit Ankopplung gehört, wird luftgekoppelte Ultraschallprüfung meist mit zwei Wandlern in Durchschallung durchgeführt. Deswegen werden Vorteile der Phased-Array-Technik wie beispielsweise elektronische Fokussierung oder Schwenkung des Einschallwinkels für luftgekoppelte Prüfung selten genutzt.

In diesem Beitrag werden die laufenden Arbeiten an der Entwicklung eines neuen Phased-Array-Geräts vorgestellt, mit dem Schwerpunkt an der Charakterisierung der Prüfköpfe und ihrer Schallfelder. Das Gerät besteht aus einem linearen Phased-Array-Prüfkopf, einer Sende- und einer Empfangseinheit. Die Hauptinnovation unserer Arbeit ist die Anwendung von zellulären Kunststoffen für den Bau eines Arrays, wobei der Sender mit Hochspannung von ca. 1500 V angeregt wird. Geladene zelluläre Polymere werden auch Ferroelektrite oder Piezoelektrite genannt. Sie weisen einen sehr niedrigen Elastizitätsmodul und dadurch eine niedrige akustische Impedanz auf, so dass auf den Einbau von Anpassschichten verzichtet werden kann.

Eine sehr niedrige mechanische Kreuzkopplung bei Ferroelektriten ermöglicht eine unabhängige Anregung einzelner Elemente, was bei Piezokompositen deutlich schwieriger wäre. Die Entwicklung der Array-Prüfköpfe wurde durch Berechnungen des Schallfeldes unterstützt, die auf Punktquellensynthese basieren. Die beabsichtigte Anwendung von Phased-Array-Prüfköpfen und des Prüfsystems sind die Durchschallung mit Fokussierung, elektronischer Scan und die Schwenkung des Einschallwinkels zur Anregung von geführten Wellen, angewandt an carbonfaserverstarkten Kunststoffen und ähnlichen Materialien. Die Anwendung von geführten Wellen bietet die Perspektive, Bauteile mit einseitiger Zugänglichkeit zu prüfen.

## Thermoakustische Gruppenstrahler: Theorie und Anwendungen

D. Hufschläger<sup>1</sup>, D. Gohlke<sup>1</sup>, M. Weise<sup>1</sup>, K. Bente<sup>2</sup>, M. Gaal<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> Health and Medical University (HMU), Potsdam

Bei der Prüfung von Werkstücken mit empfindlichen Oberflächen oder aus hydrophilen Werkstoffen, sind traditionelle zerstörungsfreie Prüfmethode wie die Kontakttechnik oder die Tauchtechnik in vielen Anwendungsfällen, aufgrund der Flüssigkeitsankopplung nicht anwendbar.

Die luft-gekoppelte Ultraschallprüfung umgeht diese Problematik und eröffnet neue Prüfzenarien. Derzeit werden zwei Varianten der Schallerzeugung als vielversprechend angesehen: ferroelektrische Folien und thermoakustische Dünnschichtwandler. Thermoakustische Wandler ermöglichen die resonanzfreie Erzeugung von Ultraschall und somit kurze zeitliche Impulse sowie eine sehr breitbandige Anregung. Durch die Verwendung von gekrümmten Substraten ist sowohl eine Herstellung von planaren als auch fokussierten Wandlern möglich.

Dieser Beitrag präsentiert die letzten Forschungsergebnisse im Bezug auf thermoakustischen Wandlern, welche derzeit in einen thermoakustischen Gruppenstrahler münden. Gruppenstrahler erlauben die simultane Änderung des Einschallwinkels, sowie die Verschiebung des Fokuspunktes während der Verwendung.

Durch die Verbindung beider Schlüsseltechnologien, der thermoakustischen Anregung und des Gruppenstrahlerprinzips, erweitern und bereichern das Spektrum der klassischen NDT Anwendungen, sowie moderner Ansätze wie der Anregung von geführten Wellen oder der Strukturüberwachung erheblich.

Dabei soll innerhalb dieses Beitrages auf die Modellierung des Schallfeldes, die elementweise Charakterisierung und verschiedene Anwendungsszenarien eingegangen werden.



## **ZfP an Windenergieanlagen (WEA) – Chancen in einem sich zunehmend regulierenden Markt**

E. Buchwald<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zeppelin Aviation & Industrial Service GmbH, Friedrichshafen

WEA sind eine vergleichsweise junge Industrie innerhalb des Segments der Kraftwerksanlagen.

Während die letzten zehn Jahre noch massiv Zeichen des „Repowerings“ standen, sind vielerorts die maximal zulässigen Größenordnungen der WEA erreicht mit der Konsequenz, dass die installierte Leistung nicht nur immer grösser, sondern nun auch älter wird. Im Spannungsfeld zwischen WEA-Herstellern, Betreibern, Gemeinden und auch den Versicherern entsteht verstärkt Anforderung nach Zustandsbestimmung und Prüfung.

Was bedeutet das für (akkreditierte) Prüfdienstleister? Was gilt es schon heute bei Arbeiten an WEA zu beachten?

Ausblick für mögliche Prüfdienstleistungen in der Zukunft.

## Elektromagnetische Härteprüfung für die Wärmeeinflusszone von Unterwasser-Schweißnähten

[N. Steinbrecher](#)<sup>1</sup>, H.J. Maier<sup>1</sup>, S. Barton<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Werkstoffkunde, Leibniz Universität Hannover

Offshore Strukturen verfügen über eine hohe Anzahl von Schweißverbindungen oberhalb und unterhalb der Wasserlinie. Werden an diesen Schweißverbindungen Fehler wie bspw. Risse detektiert, können diese durch das Unterwasser-Lichtbogenschweißen repariert werden. Im Vergleich zum Schweißen an Atmosphäre kommt es bei der beschleunigten Abkühlung unterhalb der Wasserlinie innerhalb der Wärmeeinflusszone (WEZ) zur Ausbildung eines härteren und deutlich rissanfälligeren Martensitgefüges. Hierdurch kann es zum frühzeitigen Versagen der Schweißverbindungen im reparierten Bereich kommen. Aus diesem Grund qualifizieren nationale und internationale Regelwerke die Zulässigkeit von Schweißverbindungen anhand der Härte in der WEZ durch die Anwendung von Grenz- oder Richtwerten. Diese Härtewerte können jedoch unterhalb der Wasserlinie aktuell nicht bestimmt werden.

Im Rahmen dieses Beitrages wird ein Konzept zur zerstörungsfreien Bestimmung der maximalen Härte von Wärmeeinflusszonen unterhalb der Wasserlinie vorgestellt. Hierzu wird die Harmonische Analyse von Wirbelstromsignalen eingesetzt. Für die Prüfaufgabe wurden geeignete Sensoren entwickelt. Zur Kalibrierung der Prüftechnik wurden Proben gefertigt, welche unterschiedliche Härten in der WEZ aufweisen. Diese Proben wurden umfassend metallografisch und mittels Härteprüfungen charakterisiert. Durch die Korrelation des Zustandes der WEZ mit den aufgenommenen Prüfsignalen wurden Modelle zur Härtebestimmung aufgestellt. Im Anschluss erfolgte die Validierung der Modelle und der Prüftechnik in nasser Umgebung unter Einbeziehung realistischer Störeinflüsse. Die Validierung des Konzeptes zur zerstörungsfreien Bestimmung der maximalen Härte von Wärmeeinflusszonen unterhalb der Wasserlinie erfolgte praxisnah mittels Industrietaucher.

## **Pulse compression applied to determining hardening depth by ultrasonic backscatter method in wind turbine bearings**

[H. Calas](#)<sup>1</sup>, E. Carcreff<sup>1</sup>, A. Alberdi<sup>2</sup>, J.-P. Gaudiau<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TPAC, Nantes, Frankreich; <sup>2</sup> RENOGEAR, Azkoitia, Gipuzkoa, Spanien

A critical point in the manufacture of wind turbine bearings is surface hardening whilst their cores remain in the original structural condition. Surface hardness and case-depth measurements are the most important parameters for quality monitoring of surface hardened steel products. One of the techniques commonly used to measure the depth of hardening is the ultrasonic backscatter.

Identifying the depth of the hardness zone can be complicated if it is confused with the transition zone. And being able to accurately determine this depth can be the difference between a piece passing the regulations and being acceptable or not.

In this work we present a pulse compression method, based on the arbitrary wave generation (AWG) capabilities of the Pioneer device, to improve the contrast between the transition zone and the hardness zone. The results obtained in mockups are presented.

## Wärmetauscherrohrprüfung mit Wirbelstrom – Von der Praxis zur Norm

G. Scheer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TMT Test- und Maschinentechnik GmbH, Schwarmstedt

Der Autor ist der Leiter der Arbeitsgruppe Rohrrinnenprüfung im Fachausschuss Wirbelstromprüfung der DGZfP.

Rohrwärmetauscher werden in vielen industriellen Bereichen für unterschiedliche Aufgaben eingesetzt. Während in Kraftwerken hauptsächlich die Umsetzung von Wärme in elektrische Energie stattfindet, werden in der Chemie und Petrochemie Rohrwärmetauscher für unterschiedlichste Prozesse eingesetzt. Die regelmäßige Prüfung der Wärmetauscherberührung soll zum einen den ordnungsgemäßen Betrieb sicherstellen. Zum anderen spielen auch Umweltaspekte eine Rolle, da solche Wärmetauscher häufig auch einen Austritt von schädlichen Medien in die Umwelt verhindern müssen. Die Prüfung dieser Wärmetauscher erfolgt typischerweise mit Wirbelstromverfahren. Es hat sich im Laufe der Jahre ein Quasistandard etabliert, der in den 1970er Jahren auf Basis der inzwischen zurückgezogenen Norm DIN 54141 entstanden ist und sich weiterentwickelt hat. Aktuell arbeitet seit einigen Jahren eine Arbeitsgruppe im Fachausschuss Wirbelstrom der DGZfP daran, eine neue Norm auf Basis der aktuellen Vorgehensweise, der eingesetzten Prüftechnik und den aktuell gültigen Regeln im Bereich der Wirbelstromprüfung zu erstellen. Der Beitrag stellt die Ausgangssituation, die Umsetzung und den aktuellen Stand dar.

## Stand der Normungsinitiative: Zustandsüberwachung und -diagnostik von Strukturen

A. Schnabel<sup>1</sup>, M. Bach<sup>2</sup>, A.-L. Dreisbach<sup>3</sup>, F. Hille<sup>4</sup>, P. Kraemer<sup>3</sup>, J. Krieger<sup>5</sup>, J. Kühne<sup>6</sup>, I. Müller<sup>7</sup>, L. Schubert<sup>1</sup>, K. Tschöke<sup>1</sup>, T. Vogt<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IKTS, Dresden; <sup>2</sup> Airbus Operations GmbH, Bremen; <sup>3</sup> Universität Siegen; <sup>4</sup> BAM Berlin; <sup>5</sup> Bachmann Monitoring GmbH, Rudolstadt; <sup>6</sup> Kühne Mobilität, Seeheim-Jugenheim; <sup>7</sup> Hochschule Bochum; <sup>8</sup> Guided Ultrasonics Ltd., Brentford, Großbritannien

Im Bereich Maschinenmonitoring (Condition Monitoring) existieren eine Vielzahl etablierter Normen. Im Gegensatz zu dort verwendeten Verfahren die sich hauptsächlich mit der Überwachung von rotierenden Maschinenkomponenten befassen, werden im Structural Health Monitoring (SHM) vorrangig Objekte mit tragenden Eigenschaften (Strukturen) überwacht. Die Verwendung eines SHM-Systems ist in technischen Anlagen und Konstruktionen sinnvoll, in denen entweder die technische Funktionsfähigkeit verbessert, Sicherheitskennwerte gewährleistet oder auch ein wirtschaftlicher Nutzen entstehen kann. Für den Entwurf und die Struktur solcher Systeme existiert bislang noch keine Norm äquivalent zur DIN ISO 17359.

Im Rahmen des präsentierten Normungsvorhabens soll eine Norm mit Übersichtscharakter entstehen, die eine Brücke zu branchenspezifischen SHM-Lösungen einerseits und weiterführende Managementsystemen andererseits schlägt. Dabei wendet sie sich an Besitzer und Betreiber, Designer, Zertifizierer und Inspektoren von Strukturen, an Dienstleister für messtechnische Lösungen sowie an Hersteller von SHM-Technologien und an Behörden. Sie beschreibt die Rahmenbedingungen für den effizienten Einsatz von SHM und verweist auf mögliche wirtschaftliche und/oder technische Anwendungsgrenzen. In Abhängigkeit der Zielstellung des SHM werden Kriterien für ihre optimale Umsetzung genannt sowie notwendige Anforderungen an die technische Realisation der SHM-Systeme aufgeführt. Schließlich wird auch der Aspekt des Einbindens ins Projekt- bzw. Prozessmanagement betrachtet und mögliche Interaktionen aufgezeigt.

Die angestrebte Norm soll dem Anwender Richtlinien und Handlungsanweisungen zum allgemeinen Aufbau von SHM-Systemen zur Überwachung von relevanten Strukturen geben. Der Beitrag beschreibt die Motivation, Gliederung und den aktuellen Stand des Normungsvorhabens.

## Ergebnisse des EMPIR-Projektes NanoXSpot: Methoden für die Brennfleckmessung von Röntgenröhren im Mikro- und Nanometerbereich

G.-R. Jaenisch<sup>1</sup>, U. Ewert<sup>2</sup>, B. Bircher<sup>3</sup>, F. Meli<sup>3</sup>, A. Andrii Sofiienko<sup>4</sup>, J.P. Steffen<sup>5</sup>, A. Deresch<sup>6</sup>, V. Korpelainen<sup>7</sup>, F. Pohlentz<sup>8</sup>, M. Costin<sup>9</sup>

<sup>1</sup> BAM, Berlin; <sup>2</sup> KOWOTEST Gesellschaft für Prüfausrüstung mbH, Langenfeld; <sup>3</sup> ehemals Federal Institute of Metrology METAS, Laboratory for Length, Nano- and Microtechnology, Bern-Wabern, Schweiz; <sup>4</sup> Excillum AB, Kista, Schweden; <sup>5</sup> X-RAY WorX GmbH, Garbsen; <sup>6</sup> Comet Yxlon GmbH, Hamburg; <sup>7</sup> Teknologian tutkimuskeskus VTT, Oy, Finnland; <sup>8</sup> Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig; <sup>9</sup> Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Paris, Frankreich

Im Rahmen des EMPIR-Projektes NanoXSpot (Nanometre X-Ray Focal Spot Measurement) wurden rückführbare Messverfahren zur Bestimmung der Brennfleckgröße und -form von Röntgenröhren mit Submikrometerauflösung (100 nm – 100 µm) entwickelt, die die Grundlage für die Erarbeitung zweier Standardentwürfe bilden. Dafür wurden folgende Methoden entwickelt: Fit-Prozedur für Strichgruppenkörper und Brennfleck-Rekonstruktion. Eine entsprechende Software einschließlich Referenzbildern, die kostenfrei zur Verfügung gestellt wird, wurde entwickelt. Des Weiteren wurde ein neuer Testkörper, NxS, entwickelt und metrologisch charakterisiert, um die Rückführbarkeit der Brennfleckmessung sicherzustellen. Die Standardentwürfe wurden bei CEN TC 138 (Non-destructive testing) WG 1 (Radiographic testing) eingereicht: prEN12543-6\_2022\_(E): Part 6: Measurement of the effective focal spot size of micro- and nanofocus X-ray tubes with spot sizes < 100 µm und prEN12543-7\_2022\_(E): Part 7: Focal spot reconstruction technique from hole images.

## **Inline Mikrowellenprüfung bei der kontinuierlichen Herstellung faserverstärkter Kunststoffprofile im Pultrusionsverfahren**

[A. Gopalan](#)<sup>1</sup>, [C. Heimbucher](#)<sup>2</sup>, [L. Ziche](#)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Rohmann GmbH, Frankenthal; <sup>2</sup> Faserinstitut Bremen e.V., Bremen

Das kontinuierliche Pultrusionsverfahren (Strangziehverfahren) ist ein energie- und kosteneffizienter Herstellungsprozess für endlosfaserverstärkte Kunststoffprofile. Qualitätssichernde Maßnahmen für Pultrusionsprofile begrenzen sich bisher meist auf optische Prüfungen und geometrische Vermessung. Um das effiziente Herstellungsverfahren zukünftig vermehrt für sicherheitskritische Strukturbauteile nutzen zu können, ist jedoch die zerstörungsfreie Prüfung der inneren Bauteilqualität sinnvoll und notwendig. Für dickwandige oder komplexe glasfaserverstärkte Kunststoffprofile (GFK) bietet sich hierfür das Mikrowellen-Prüfverfahren an. Die Rohmann GmbH hat hierfür ein Prüfsystem entwickelt, welches in den Pultrusionsprozess (Inline) integriert werden kann. Am Faserinstitut Bremen wurde das Mikrowellen-Prüfsystem erstmals im Pultrusionsprozess eingesetzt und die Detektierbarkeit unterschiedlicher Fehlerarten und -größen im Material untersucht. Mittels Mikrowellen-Transmissionsprüfung konnten künstlich eingebrachte Materialfehler wie Abweichungen im Faservolumengehalt, Delaminationen, Poren sowie eine reduzierte Materialdicke erkannt werden.

Mit dem zerstörungsfreien Inline-Mikrowellenprüfverfahren kann somit zukünftig die innere Qualität von GFK-Pultrusionsprofilen bereits im Herstellungsprozess effizient geprüft werden. Dies ermöglicht die Entwicklung neuer, sicherheitskritischer Anwendungen für das Pultrusionsverfahren unter anderem im Automobil- und Nutzfahrzeugbau, der Windenergie und im Infrastrukturbereich.

## Sortenreine Sortierung additiver Kunststoffes mittels THz-Spektroskopie

T. Reindl<sup>1</sup>, F. Schnell<sup>2</sup>, M. Kreuzbruck<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart; <sup>2</sup> Institut für Energieeffizienz in der Produktion, Universität Stuttgart

Für viele technische Anwendungen sind Kunststoffe, unter anderem aufgrund ihrer sehr guten gewichtsspezifischen Werkstoffeigenschaften, jetzt und auch in Zukunft unabdingbar. Um deren Einsatz möglichst nachhaltig und ressourceneffizient zu gestalten, ist eine umfangreiche Kreislaufwirtschaft der Materialströme notwendig. Bei der Wiederverwertung wird dabei zwischen dem mechanischen, dem chemischen und dem thermischen Recycling unterschieden, wobei die beiden erstgenannten Verfahren der reinen thermischen Energierückgewinnung grundsätzlich vorzuziehen sind. Eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Wiederverwertung der Materialflüsse ist stets die Sortierung der Kunststoffe in sortenreine Monofractionen im Recyclingprozess. Die in der Branche momentan am weitesten verbreiteten spektroskopischen Verfahren zur Sortierung von Kunststoffen basieren auf Nahinfrarot (NIR). Dabei wird in der Regel ein Transmissions- oder Reflexionsspektrum aufgenommen und der Werkstoff anhand dessen identifiziert. Allerdings kommen NIR Verfahren bei bestimmten Additiven an ihre Grenzen. So bleiben Kunststoffe, die beispielsweise mit Ruß schwarz eingefärbt werden (sog. black plastics), aufgrund der absorbierenden Eigenschaften der Pigmente von den Sortiermaschinen unentdeckt. Selbst geringe Mengen von Ruß können die Sortierung von Kunststoffen mit NIR behindern. Daher kann der Kunststoff für das weitere mechanische oder chemische Recycling nicht erkannt und sortiert werden. In der Folge wird das Material lediglich thermisch verwertet oder gar deponiert. Die verglichen mit NIR langwelligere Terahertzstrahlung (THz) ist für unpolare Werkstoffe wie viele Kunststoffe transparent. Anhand des Brechungsindex und der materialspezifischen Spektraleigenschaften können Kunststoffe unabhängig von ihrer Färbung erkannt und sortiert werden. In dieser Untersuchung werden neuartige Sortieransätze auf Basis von THz bei der Sortierung von mit Ruß additiven Kunststoffen betrachtet und deren Rolle in der Kreislaufwirtschaft der Zukunft bewertet.





**SCHWACHSTELLE ENTDECKT.**



**PROJEKT ABGESICHERT.**



**NON-DESTRUCTIVE TESTING  
DER WELTWEITEN NR. 1.**

# SGS – LEISTUNG UND INNOVATION

## KONTAKTIEREN SIE UNS:

SGS Germany GmbH, SGS Gottfeld Industrial Services  
Baukauer Straße 98, D-44653 Herne, t +49 2323 9265 - 0, f +49 2323 9265 -111  
[de.int.gottfeld@sgs.com](mailto:de.int.gottfeld@sgs.com), [www.sgsgroup.de](http://www.sgsgroup.de)

## AUF DEM WEG ZU NEUEN PERSPEKTIVEN?

Wir freuen uns auf Ihre Fragen und Ihre Bewerbung:  
[de.bewerbung.ind@sgs.com](mailto:de.bewerbung.ind@sgs.com), t +49 2323 9265 - 103

**DIE SGS-GRUPPE IST DAS WELTWEIT FÜHRENDE UNTERNEHMEN IN DEN BEREICHEN PRÜFEN, TESTEN, VERIFIZIEREN UND ZERTIFIZIEREN. DER SGS-TÜV SAAR ALS JOINT VENTURE VON SGS UND TÜV SAARLAND E. V. SICHERT ZUVERLÄSSIGKEIT UND QUALITÄT VON PROZESSEN, PRODUKTEN UND TECHNISCHEN DIENSTLEISTUNGEN.**



## THz on Ice – Terahertzmessung zur Bestimmung der Wasserfilmdicke auf Eis

[J. Schuster](#)<sup>1</sup>, J. Lutz<sup>1</sup>, A. Keller<sup>2</sup>, C. Stumm<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Hochschule Kaiserslautern, Pirmasens; <sup>2</sup> Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

Die geringe Reibung beim Skifahren auf Eis ist auf den durch Reibungswärme erzeugten Wasserfilm zurückzuführen. Noch immer besteht jedoch Unklarheit über die Dicke und die Verteilung dieses Wasserfilms. Da die direkte Beobachtung des Wasserfilms schwierig ist, werden an der Hochschule Kaiserslautern Tribometermessungen einschließlich Temperaturmessungen durchgeführt und am Fraunhofer-Institut IZFP Saarbrücken wird die Kontaktfläche zwischen einem Skibelag und einer Eisoberfläche mit Hilfe von Terahertzstrahlung untersucht. Aufgrund des neuen Anwendungsfeldes des Messverfahrens wurden verschiedene Metallformen gefertigt, welche sehr geringe Eisfilmdicken zulassen. Der sich beim Erwärmen bildende Wasserfilm wird kontinuierlich mit Terahertzstrahlung im Frequenzbereich von 0,1 – 3 THz vermessen, um infolge einer Änderung der Laufzeit ( $\Delta$ TOF), Rückschlüsse auf Dicke und Verteilung des Films zu erhalten. Das Verfahren macht sich zu Nutze, dass Eis im Gegensatz zu Wasser für Terahertzstrahlung durchlässig ist.

## Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung an Großforschungseinrichtungen: Innovative Messmöglichkeiten für tiefe Einblicke

N. Kölpin<sup>1</sup>, M. Thiry<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DESY, Hamburg; <sup>2</sup> Helmholtz-Zentrum Hereon, Geesthacht

Das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY betreibt eine der hellsten Speicherring-Röntgenstrahlungsquellen der Welt: PETRA III bietet Wissenschaftler:Innen und Nutzer:Innen aus der Industrie Zugang zu exzellenten Experimentiermöglichkeiten mit Röntgenstrahlung besonders hoher Brillanz. So sind zerstörungsfreie Untersuchungen verschiedenster Proben und Werkstoffe durchführbar mit Auflösungen, die weit über die Möglichkeiten von Laborinstrumenten hinausgehen. Hereon betreibt an PETRA III sowie am Forschungsreaktor FRM II in Garching bei München Instrumente für materialwissenschaftliche Fragestellungen und zerstörungsfreie Untersuchungen.

Insbesondere für die Industrialisierung junger Technologien wie z. B. dem Metall-3D-Druck können Synchrotronanalysen entscheidende Informationen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge im Material liefern und erlauben die Optimierung von Material- und Prozessparametern.

Auf Röntgen- und Neutronenbeugung basierende Verfahren wie die Gefügeanalyse via Grain Mapping ermöglichen zum Beispiel die 3D-Darstellung von kristallinem Gefüge zur Bestimmung von Korngröße, Textur und Kristallitorientierung. Ferner lassen sich via Stress Mapping ebenso ganze Spannungskarten und die Darstellung von Spannungsverteilungen über mehrere mm im Material extrahieren.

Zudem liefern derartige Untersuchungen wichtige Impulse zur Qualitätssicherung, Standardisierung und Normierung. So werden beispielsweise im EU-Projekt EASI-STRESS die Entwicklung von europaweiten Charakterisierungsstandards, Protokollen und Datenaustauschverfahren zur Erleichterung der industriellen Nutzung dieser Charakterisierungswerkzeuge vorangetrieben.

Bildgebende Verfahren wie z. B. Microtomographie, ermöglichen die 3D-Darstellung von Objekten, z. B. zur Detektion feinsten Risse, Poren, Fremdpartikel oder anderer Defekte im Objektinneren.

Neben konkreten Messmethoden und Use Cases werden in unserem Beitrag auch die aktuellen Entwicklungen auf dem Campus sowie die Zugangs- und Kooperationsmöglichkeiten für unterschiedliche Nutzergruppen beleuchtet.

## Automatisierte Charakterisierung mikroskopischer Bilddaten partikelartiger Strukturen

P. Thome<sup>1</sup>, A. Merchiers<sup>2</sup>, C. Schauerte<sup>3</sup>, P.-C. Zinn<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ruhr-Universität, Bochum; <sup>2</sup> Hochschule Bochum; <sup>3</sup> Solid-Chem, Bochum; <sup>4</sup> Industrial Analytics Lab GmbH, Bochum

Die Charakterisierung von Werkstoff-Proben anhand ihrer Mikrostruktur ist eine tausendfach ausgeführte Aufgabe in der Werkstoff- und Materialprüfung. Anhand von Bilddaten, die auf licht- oder elektronenmikroskopischem Wege erzeugt werden, sind regelmäßig Metallgefüge zu charakterisieren sowie Proben kristalliner oder amorpher Feststoffe, oft in Pulverform.

Um jedoch mikrostrukturelle Informationen wie etwa die Größenverteilung eines Ensembles von Partikeln zu bestimmen, ihre Morphologie statistisch signifikant zu quantifizieren oder Grenzflächenverläufe auszuwerten, sind oft zeitaufwändige und vor allen Dingen monotone bzw. ermüdende manuelle Messvorgänge am Computerbildschirm erforderlich, die häufig auch von hochqualifiziertem Fachpersonal geleistet werden. Explorative Analysen unerwartet auftretender Strukturen entziehen sich oft gänzlich der so gearteten manuellen Auswertung.

Um diese manuelle Bildverarbeitung in das Zeitalter der Industrie 4.0 zu überführen, wird hier eine ontologische Partikeldatenbank vorgestellt, die es sowohl mittels klassischer Bildanalyseverfahren als auch mit Methoden der Künstlichen Intelligenz ermöglicht, entsprechende Materialcharakterisierungen auf Knopfdruck vorzunehmen. Anhand zweier Beispiele werden die Fertigkeiten der verwendeten Bildanalyse-Verfahren demonstriert sowie die Architektur der aufnehmenden Data Warehousing Infrastruktur vorgestellt, die die quantitativen Bildanalyse-Ergebnisse strukturiert speichert und so Meta-Auswertungen und insb. explorative Untersuchungen außergewöhnlicher Funde erlaubt. Ebenso können hier ergänzende Informationen wie Elementkompositionen, Daten zur Produktion oder Synthese abgelegt werden, die mit in die explorative Analyse eingehen. Damit wird echte datengetriebene Wissensgenerierung ermöglicht.

## Zerstörungsfreie Charakterisierung (faserverstärkter) Kunststoffteile mittels FMCW Radar

P.-C. Zinn<sup>1</sup>, T. Jaeschke<sup>2</sup>, S. Kueppers<sup>2</sup>, J. Barowski<sup>3</sup>, B. Walder<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Industrial Analytics Lab GmbH, Bochum; <sup>2</sup> 2Pi-Labs GmbH, Bochum; <sup>3</sup> Lehrstuhl für Hochfrequenzsysteme, Ruhr-Universität, Bochum; <sup>4</sup> BW Engineering GmbH, Hagen

Faserverstärkte Kunststoffe werden für viele, häufig auch sicherheitsrelevante Bauteile insb. im Automotive-Sektor eingesetzt. Die Prüfung dieser Bauteile ist daher eine Routine-Aufgabe in zahlreichen fertigungsnahen Prüflabors, deren Automatisierung aufgrund des großen Aufkommens ebenso großes Einsparpotenzial birgt.

Um dies zu leisten, musste zunächst ein Verfahren entwickelt werden, das routinemäßige Prüfaufgaben, die bisher zerstörend stattfinden, in zerstörungsfreier Weise ersetzt und gleichzeitig die Möglichkeit zur automatisierten Auswertung bietet. Ein solches Verfahren wurde in der Verwendung eines breitbandigen Radars gefunden, welches durch die direkte Messung der elektromagnetischen Permittivität  $\epsilon_r$  des zu prüfenden Kunststoffes sowohl in der Lage ist, den Faser-Anteil zu bestimmen als auch durch die Nutzung des Synthetic Aperture Radar (SAR) Verfahrens ein Bild des Prüfstücks zu generieren, aus dem Faser-Verteilung sowie -Ausrichtung entnommen werden können. Somit ist eine umfassende Charakterisierung des Prüfstücks möglich, die insb. zerstörende Prüfverfahren wie die Veraschung (zur Bestimmung des Fasergehalts) ersetzt und durch die Bildgebung völlig neue Prüfaufgaben ermöglicht, so etwa die Detektion von Fasernestern.

Die Automation des gesamten Prüfablaufs wird primär durch eine KI-gestützte Bilderkennung der SAR-Aufnahmen gewährleistet, die mittels eines Verfahrens des unsupervised Learnings Abweichungen von regulären Gut-Teilen selbsttätig erkennt. Durch diese automatisierte Bildanalytik können nicht nur SAR-Bilder faserverstärkte Kunststoffe analysiert werden, ebenso ist etwa eine Lage-Kontrolle für Kunststoffteile mit eingelegtem Metall, etwa Steckern und Konnektoren, möglich. Dokumentation und Archivierung jeder einzelnen Prüfung werden direkt in einer vollständig maschinenlesbaren und manipulations-sicheren Data Warehousing Infrastruktur erledigt, sodass diese auch einer weiteren Meta-Auswertung zur Verfügung stehen.

## Ultraschallbasierte Untersuchung rheologischer Eigenschaften von Polymeren für die Prozessüberwachung

M. Achzet<sup>1</sup>, B. Schaller<sup>1</sup>, T. Schlech<sup>1</sup>, F.F. Linscheid<sup>1</sup>, M. Sause<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MRM, Universität Augsburg

Für unterschiedliche Fertigungsprozesse ist eine Überwachung der rheologischen Eigenschaften der verwendeten Materialien von großem Vorteil. So ist beispielsweise der Aushärtungs- beziehungsweise Polymerisationsgrad ein entscheidendes Qualitätsmerkmal der in Infusionsprozessen gefertigten Bauteile. Da die Ausbreitung von Ultraschallwellen von den rheologischen Eigenschaften des Trägermediums abhängen, lassen sich deren zeitliche Veränderungen durch Verfahren der Ultraschallprüfung verfolgen.

Für die Kalibrierung der Messmethode wurde ein Sende-Empfangs Ultraschallprüfkopf in ein Rheometer mit beheizbaren Probehalter eingebaut. Eine oft verwendete Methode zur Bestimmung der rheologischen Eigenschaften ist die Laufzeitmessung bzw. die Messungen der Schallgeschwindigkeit. Die hierfür notwendige Transmissionsmessung beziehungsweise Extraktion des Rückwandechos schränkt jedoch die Anwendbarkeit in der Praxis ein. Deshalb wird anders als sonst üblich im Impuls Echo Verfahren ein Schallimpuls während der rheologischen Messung in die Probe eingekoppelt. Für die Datenverarbeitung des Ultraschallsignals werden unterschiedliche Signalcharakteristiken analysiert, die Zugang zu Informationen über die rheologischen Eigenschaften ermöglichen. Für die Bewertung und Kalibrierung der verwendeten Auswertemethodik werden die synchron ermittelten Messwerte des Rheometers, wie komplexe Viskosität, Schermodul und Temperaturverlauf herangezogen.

## Rissentwicklung in CFK-Laminaten nachgewiesen durch in situ Röntgen-Refraktion

A. Kupsch<sup>1</sup>, V. Trappe<sup>1</sup>, B.R. Müller<sup>1</sup>, G. Bruno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

In Leichtbauanwendungen sind Materialien mit geringen Dichten und hohen Festigkeiten gefragt. Insbesondere faserverstärkte Kunststoffe (FKV) erfüllen diese Anforderungen und werden zunehmend für Strukturbauteile eingesetzt. Die Oberflächen moderner Rotorblätter von Windkraftanlagen werden aus FKV gefertigt. Das Versagen dieser Materialien hat massiven Einfluss auf die Einsatzfähigkeit der gesamten Windkraftanlage. Daher ist die Kenntnis des Versagensverhaltens dieser Komponenten unter statischer und zyklischer Belastung von großem Interesse, um die Betriebsbeanspruchung abzuschätzen. Im Idealfall wird die Schadensentwicklung unter Betriebslast mit zerstörungsfreien in-situ-Prüfverfahren ermittelt.

Hier berichten wir über die Beobachtung der Rissentwicklung in kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK) unter kontinuierlicher Zugbelastung durch in-situ-Synchrotron-Röntgenrefraktionsradiographie. Eine selbst entwickelte elektromechanische Zugprüfmaschine mit einem Kraftbereich bis zu 15 kN wurde in den Strahlengang an der BAMline (BESSY II) integriert. Da in herkömmlichen (Absorptions-) Radiographien Defekte wie Zwischenfaserbrüche oder Faser-Matrix-Enthftung keinen ausreichenden Kontrast verursachen, wird zur Kontrastanhebung die Röntgenrefraktion benutzt.

Hier wird das sogenannte Diffraction Enhanced Imaging (DEI) angewandt, um Primär- und gebrochene Strahlung mit Hilfe eines Analysatorkristalls zu trennen. Diese Technik ermöglicht schnelle Messungen mit einem Gesichtsfeld von einigen Quadratmillimetern (hier: 14 mm × 7.2 mm) und ist ideal für in-situ Untersuchungen. Die Bildgebung und der Zugversuch erfolgen mit einer Bildfrequenz von 0.7/s und einer Dehnrate von 0.00055/s. Bei 0°/90° Fasergelegen treten die ersten Zwischenfaserrisse bei 380 MPa (Dehnung 0.8 %) auf. Vor dem Versagen bei ca. 760 MPa (Dehnung 2.0 %) beobachten wir die Ausbildung eines nahezu äquidistanten Rissmusters (Risse in ca. 1 mm Abstand), das sich im geschädigten Zustand über die gesamte Probe erstreckt.

## Charakterisierung von Laserschweißstrukturen in Glassubstraten mittels Ultraschall-Rastermikroskopie

[M. Wolf](#)<sup>1</sup>, N. Seker<sup>1</sup>, E. Benz<sup>2</sup>, M. Steuder<sup>2</sup>, M.-J. Kleefoot<sup>2</sup>, S. Schuhmacher<sup>2</sup>, H. Riegel<sup>2</sup>, P. Hoffrogge<sup>1</sup>, P. Czurratis<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PVA TePla, Westhausen; <sup>2</sup> Hochschule Aalen

Glassubstrate spielen in der Mikrochipfertigung oder in der Lab-on-a-Chip Technologie eine zunehmend wichtige Rolle. In diesem Beitrag wird das Potential der Ultraschall-Rastermikroskopie zur Charakterisierung von Laserschweißstrukturen in dünnen Glasobjektträgern beschrieben. Strukturen im Innern des Glasvolumens können mit dieser Methode schnell und mit hoher Auflösung dargestellt werden. Insbesondere lassen sich die Höhenprofile der Strukturen mithilfe von Ultraschall-Querschnittsbildern in sehr guter Qualität ermitteln. Die Messungen dauern nur wenige Minuten. Auch eine dreidimensionale Darstellung ist mittels ToF (Time of Flight-Methode) oder mittels SAFT (Synthetic Aperture Focusing Technique) möglich. Zusätzlich lassen sich Oberflächenanrisse bis in die Tiefe nachverfolgen und vermessen.



## Einsatz des Schallemissionsmonitorings in der industriellen Praxis

M. Prokofyev<sup>1</sup>, G. Lackner<sup>1</sup>, H. Marihart<sup>1</sup>

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

Acoustic Emission Monitoring (AEM) ist eine Methode zur Überprüfung der strukturellen Integrität stark beanspruchter Bauteile oder Schlüsselkomponenten während des Betriebs der Anlage. Der Zustand der überwachten Komponente kann durch wiederholte Kurzzeit- oder kontinuierliche Langzeit-AEM bestimmt werden.

Die Ergebnisse können dann als Qualitätssicherungsmaßnahme gemäß den Wartungsanforderungen des Eigentümers/Betreibers oder als Ergänzung zum Test- und Inspektionsprogramm verwendet werden.

Ein zuverlässiges Überwachungssystem kann unter sicherheitstechnischen und wirtschaftlichen Aspekten hilfreich sein, etwa um die Anlage bei lebensdaueroptimierten Betriebsbedingungen zu betreiben oder die Wartungsintervalle zu optimieren. Eingebaute Meldesysteme und Alarmkriterien können verwendet werden, um geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um Anlagenschäden und einen anschließenden Totalausfall der Anlage zu verhindern. Dazu wird ein speziell entwickeltes Monitoringsystem und ein automatisiertes Datenanalyseverfahren eingesetzt, um den Ist-Zustand des Überwachungsobjekts zu messen und zu bewerten. Für die Zustandsbewertung wurde ein bewährtes Verfahren aus der konventionellen Schallemissionsprüfung auf das Monitoring erweitert, der von der TÜV AUSTRIA Group auf Basis der europäischen Normung entwickelte Cluster Evaluation Factor (CEF).

Um den Anforderungen von Kunden aus der Öl- und Gasindustrie oder aus der Energieerzeugungindustrie gerecht zu werden, wurde die Hardware zur Überwachung auf heißen und kalten Oberflächen, sowie Software zur Übertragung, Speicherung und Auswertung der Schallemissionsdaten entwickelt. Darüber hinaus wurden eigensichere Überwachungskomponenten gekauft und getestet, die AEM in explosionsgefährdeten Bereichen ermöglichen. Durch ein automatisiertes Online-Datenmanagement können die Daten in Echtzeit verarbeitet und auf einer grafischen Webanwendung (Dashboard) visualisiert werden.

Dieser Beitrag beschreibt das von der TÜV AUSTRIA Gruppe entwickelte und etablierte allgemeine Überwachungskonzept sowie zwei ausgewählte industrielle Anwendungsbeispiele.

## Einsatz von nichtlinearem Ultraschall zur Detektion von Adhäsionsfehlern (Kissing Bonds)

M. Kornely<sup>1</sup>, J. Philipp<sup>2</sup>, J. Ehrler<sup>1</sup>, I. Jennerjahn<sup>1</sup>, I. Solodov<sup>1</sup>, M. Kreutzbruck<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart; <sup>2</sup> Institut für Füge- und Schweißverfahren, Technische Universität Braunschweig

Als Kissing Bonds werden Defekte in Klebverbindungen bezeichnet, die durch eine schlechte Anhaftung des Klebstoffs auf dem Substrat entstehen. Diese Defekte führen zu einem adhäsiven Versagen der Klebstoffverbindung und weisen nicht das für Klebstoffe typische kohäsive Bruchbild auf. Da Kissing Bonds im Vergleich zu anderen typischen Defekten, wie Risse oder Lunken kein geometrisches Volumen haben und es so keine neue Grenzfläche im Vergleich zum defektfreien Bereich gibt, sind sie mit konventionellen ZfP-Verfahren meist gar nicht oder in Einzelfällen nur sehr schwierig zu detektieren.

In dieser Arbeit wurden Kissing Bonds an Realbauteilen mit Epoxid- und Silikonklebstoffsystemen reproduzierbar hergestellt und zerstörungsfrei geprüft. Zur Herstellung wurde ein PTFE-Trockenschmierspray verwendet, das zu einem komplett adhäsiven Versagen der Klebverbindung führt. Der Nachweis der Kissing Bonds erfolgte mit der Methode des nichtlinearen Ultraschalls. Die niedrigen Anhaftungskräfte zwischen Klebstoff und Substrat führen zu einer ausgeprägten Nichtlinearität, während Bereiche mit guter Anhaftung zu einer niedrigen Nichtlinearität führen. Zum grundsätzlichen Nachweis wurde ein Laser-Doppler-Vibrometer genutzt, der die durch eine Ultraschallsonotrode erzeugten Schwingungen auf der Prüfkörperoberfläche misst. Die Messungen bestätigen die aufgestellte Vermutung und zeigen eine stark erhöhte Amplitude der höher Harmonischen im Bereich der Kissing Bonds.

## 100%-Qualitätskontrolle von Halbleiter-Bauteilen mittels akustischen Fingerabdrucks

M. Fürst<sup>1</sup>, L. Monot<sup>1</sup>, J. Pörnbacher<sup>1</sup>, B. Fischer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>XARION Laser Acoustics GmbH, Wien, Österreich

Die Halbleiterindustrie bildet das Rückgrat der modernen Wirtschaft und produziert jährlich über eine Billion Halbleiterbauteile. Um fehlerhafte Bauteile auszusondern, sind zerstörungsfreie Prüfmethoden notwendig, jedoch nur eingeschränkt verfügbar. Vor allem interne Defekte wie Delaminationen, Risse, etc. können derzeit nur mit koppelmittelbasierten Ultraschallmethoden effektiv detektiert werden, beispielsweise mittels scannender akustischer Mikroskopie (C-SAM). Der Einsatz von Koppelmitteln ist in der Ausgangskontrolle von Halbleiterkomponenten jedoch unerwünscht, außerdem verhindern relativ lange Messzeiten eine 100%-Qualitätskontrolle.

Wir stellen eine neuartige, laserbasierte Ultraschall-Prüfmethode vor, die ohne scannendes Verfahren, mittels eines einzelnen Laserpulses pro Bauteil, eine Aussage über die Qualität des Bauteils erlaubt. Dabei erzeugt ein kurzer Laserpuls eine breitbandige Ultraschallwelle die sich im gesamten Bauteil ausbreitet und charakteristische Resonanzen ausbildet. Ein Optisches Mikrofon detektiert die in die Luft abgestrahlte Ultraschallwelle. Das akinetische Funktionsprinzip des Optischen Mikrofons (es besitzt keine beweglichen Teile) führt zu einer sehr hohen Detektionsbandbreite. Ein Großteil des abgestrahlten Ultraschallspektrums kann daher detektiert und als charakteristische Sprungantwort des angeregten Bauteils interpretiert werden ein akustischer Fingerabdruck.

In diesem Beitrag präsentieren wir kontaktfreie Single-Shot-Messungen an Bauteilen der Halbleiterindustrie. Die Bauteile weisen oberflächliche sowie interne Defekte, wie Absplitterungen oder Delaminationen, auf. Diese Abweichungen vom Soll-Bauteil führen zu einer Abweichung der detektierten Sprungantwort von der Sprungantwort des fehlerfreien Normbauteils. Durch Korrelationsanalyse der registrierten Signale lassen sich somit fehlerbehaftete von fehlerfreien Bauteilen unterscheiden. Aufgrund des kontaktfreien Prüfprinzips, sowie hohen Pulsraten von heutigen Lasern, lassen sich somit prinzipiell hunderte Bauteile pro Sekunde prüfen. Dies und die Freiheit von Koppelmitteln macht die vorgestellte Ultraschall-Methode sehr interessant für die 100%-Qualitätskontrolle in der Halbleiterindustrie.

## Akustische Materialprüfung – Ein progressives Prüfverfahren

J. Ritter<sup>1</sup>

<sup>1</sup> RTE Akustik + Prüftechnik GmbH, Pfinztal

Die akustische Materialprüfung ist bekannt für die Qualitätsprüfung von Metall- und Verbundteilen in der Serienproduktion mit kurzen Zykluszeiten und einer robusten Leistung. Es handelt sich sowohl um eine referenzierende als auch um eine vergleichende Testmethode. Vorklassifizierte Referenzteile sind erforderlich, um den Testalgorithmus einzulernen. In der Realität ist es oft schwierig, eindeutig vorklassifizierte defekte Teile und Muster bereitzustellen. Bei subjektiver Bewertung der Teile kommt es zu Abweichungen zwischen der subjektiven Bewertung und den objektiven Messergebnissen. Defekte müssen dann durch andere und aufwändigere und kostspieligere Prüfverfahren wie Ultraschall, CT-Verfahren oder auch zerstörende Prüfverfahren eindeutig festgestellt werden. Der Einlernprozess eines akustischen Materialprüfsystems (ART) für geeignete Prüfkriterien muss iterativ durch Neubewertung und Optimierung erfolgen, um die Prüfeigenschaften und die Trennschärfe zu verbessern.

Gängige akustische Prüfsysteme verwenden herkömmliche Kenngrößen wie Frequenzlage, Dämpfungsfaktor, Amplitudenüberwachung oder Amplitudendämpfung. Für eine zuverlässige Prüfung unter Berücksichtigung von Chargen- oder Fertigungstoleranzen reicht dies jedoch oft nicht aus. Moderne akustische Materialprüfsysteme bieten bereits eine Auswahl an intelligenten Algorithmen in Kombination mit auf Mustererkennung basierenden Merkmalen wie Frequenzaufteilung, Frequenzabstandsbeziehungen, Erkennung mehrerer Frequenzspitzen, Kompensation und mehr. Ein innovativer Ansatz ist die Auswertung eines kompletten Frequenzbands statt einzelner Frequenzen und bilden die Basis fortschrittlicher Verfahren der akustischen Materialprüfung.

## Simultane Zink- und Lackschichtdickenbestimmung mit dem Smartphone

G. Mook<sup>1</sup>, Y. Simonin<sup>1</sup>, S. Dieck<sup>2</sup>, M. Wilke<sup>2</sup>

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

Ferromagnetische Stahlbleche werden zwecks Korrosionsschutz häufig verzinkt und dekorativ lackiert. Beide Schichten müssen den Dickenvorgaben entsprechen und sind entsprechend zu prüfen. Dazu eignen sich zum Beispiel magnetische Gleichfeldverfahren, die die magnetische Flussdichte als Messgröße nutzen. Diese wird sowohl durch die Zinkschicht als auch die Lackschicht in gleicher Weise beeinflusst. Wird jedoch erst nach dem Lackieren geprüft, erfährt man nur die Gesamtdicke beider Schichten. Sollen die Zink- und Lackschichtdicken getrennt bestimmt werden, muss sowohl nach dem Verzinken als auch nach dem Lackieren geprüft werden.

Die Wirbelstromprüfung bietet einen Ansatz, auch nach dem Lackieren beide Schichtdicken getrennt zu bestimmen. Die Zinkschicht besitzt eine andere Leitfähigkeit als der Stahl und beeinflusst in erster Linie die Phasenlage der Wirbelströme, während die Lackschicht über den Abhebeeffect vorrangig auf deren Amplitude wirkt. Die Leitfähigkeit der Zinkschicht hängt jedoch von der Art der Verzinkung ab, die man kennen muss.

Dieses Grundprinzip lässt sich auch mit dem Audiosystem eines Smartphones umsetzen. Man schließt anstelle eines Headsets den Wirbelstromsensor an und kann die beeindruckende Rechenleistung und gute Handhabbarkeit des Smartphones nutzen.

## **Inlineprüfung von multiaxialen Kohlefasergelegen mittels Hochfrequenzwirbelstrom unter Verwendung modularer Sensorarrays**

M. Schulze<sup>1</sup>, H. Heuer<sup>1</sup>, D. Hofmann<sup>1</sup>, J. Michauk<sup>1</sup>, M. Oemus<sup>1</sup>, C. Pilz<sup>1</sup>, M. Pooch<sup>1</sup>, M. Rake<sup>1</sup>, T. Schulze<sup>1</sup>, N. Wohlgemuth<sup>1</sup>

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

Um multiaxiale Hochleistungskohlefasergelege (sogenannte Non-Crimp-Fabrics) in voller Produktionsbreite zerstörungsfrei und inline zu prüfen, kommen aktuell nur optische Verfahren unter Verwendung von Zeilenkameras zum Einsatz. Unsichtbare verdeckte Lagen sind mit diesen Methoden nicht inspizierbar, was das Verfahren demnach auf die obere bzw. untere Decklage beschränkt.

Am Fraunhofer IKTS wurde basierend auf der industrieerprobten IKTS EddyCus® Pro-II Wirbelstromplattform ein völlig neuartiges Wirbelstromarraysystem entwickelt, welches es ermöglicht auch verdeckte Kohlefaserlagen im Inneren eines multiaxialen Lagenaufbaus zu detektieren und zu bewerten. Das System ermöglicht es durch die modulare Erweiterung von Arrayelementen Produktionsbreiten von bis zu 101 blindpixelfrei, inline und bei Produktionsgeschwindigkeiten bis zu 5 m/s zu prüfen. Das System kann neben einer automatisierten Gassendetektion- und Fehlergrößenbewertung sowie einer Winkelagenvermessung auch metallische Verunreinigungen und eingenähte Kohlefaserflusen eindeutig klassifizieren.

In diesem Vortrag wird ein theoretischer Einblick in die Hochfrequenzwirbelstromprüfung an Kohlefaserbauteilen gegeben sowie auf die speziellen Randbedingungen und Herausforderungen bei der Integration in ein industrietaugliches Arraysystem eingegangen.

Insbesondere für den Kanalabgleich am anisotropen Kohlefasergelege mussten, über die in der Norm bekannten Abgleichverfahren hinaus, neuartige Methoden entwickelt werden, welche im Vortrag am praktischen Beispiel erörtert werden. Darüber hinaus wird das entwickelte modulare Wirbelstromsensorysystem in einem virtuellen Laborrundgang vorgestellt.

## Simulationsgestützte Auslegung von Sensoren für die Hochfrequenz-wirbelstromprüfung an multiaxialen Kohlenstofffasergelegen

T. Schulze<sup>1</sup>, H. Heuer<sup>1</sup>, D. Hofmann<sup>1</sup>, J. Michauk<sup>1</sup>, M. Oemus<sup>1</sup>, C. Pilz<sup>1</sup>, M. Pooch<sup>1</sup>, M. Rake<sup>1</sup>, M. Schulze<sup>1</sup>

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

Die zerstörungsfreie Prüfung mittels Wirbelstroms an gering elektrisch leitfähigen Bauteilen hat in den letzten Jahrzehnten enorm zugenommen. Mit der Möglichkeit Prüffrequenzen von mehreren Megahertz einzusetzen, wurden ideale Voraussetzungen geschaffen, um schwach elektrisch leitfähige Strukturen wie beispielsweise kohlenstofffaserbasierte Werkstoffe zu prüfen. Diese Materialien sind i. d. R. aus mehreren Schichten unterschiedlicher Faserorientierung aufgebaut, was inhomogene und anisotrope elektrische Leitfähigkeiten zur Folge hat. Die Auslegung und Fertigung von Sensoren zur Bewältigung dieser Herausforderungen sind die Aufgabenbereiche der Arbeitsgruppe Wirbelstromverfahren am Fraunhofer IKTS.

Statt die Dimensionierung der Wirbelstromsensoren aufwendigen und kostenintensiven empirischen Versuchsreihen zu überlassen, werden validierte Simulationsmodelle eingesetzt. Damit findet die Sensorauslegung mithilfe computergesteuerter Parameterstudien schneller, effizienter sowie günstiger statt und kann auf den jeweiligen Anwendungsfall genau angepasst werden.

In diesem Beitrag soll die simulationsgestützte Sensorentwicklung am Beispiel multiaxialer Kohlenstoffgelege vorgestellt werden. Neben der Charakterisierung dieser Strukturen hinsichtlich fehlender Fasern oder Abweichungen in der Faserorientierung sind vor allem die Erkennung von Defekten wie bei der Herstellung abgebrochene Nähnadeln oder eingenähte Ansammlungen loser Fasern Hauptaufgaben der Prüfung.

Der Beitrag stellt sowohl methodisch wie auch exemplarisch einen Ansatz vor, wie mit Simulationen die Anordnung von Sensoren, die Gestaltung von Spulengeometrien, die Auswahl von Prüffrequenzen und weiteren Parametern für multiaxialen Kohlenstofffasergelege erfolgen kann, um die nachzuweisenden Eigenschaften exakt zu lokalisieren und quantitativ zu beschreiben.

## Wirbelstromprüfung auf Schleifbrand auf Werkstoffen nach Sekundärhärtung bzw. thermisch-chemischer Behandlung

A. Zösch<sup>1</sup>, M. Seidel<sup>1</sup>, K. Härtel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> imq-Ingenieurbetrieb für Materialprüfung, Qualitätssicherung und Schweißtechnik GmbH, Crimmitschau

Die Wirbelstromprüfung ist ein etabliertes Verfahren zu Schleifbrandprüfung. Voraussetzung für die hohe Bewertungssicherheit ist dabei die richtige Interpretation der Prüfsignale. Die Entstehung von Schleifbrand bei der Bearbeitung von herkömmlich martensitisch gehärteten Stahloberflächen ist bekannt und gut verstanden. Zunehmend spielen Werkstoffe eine Rolle, die von diesem Schema abweichen. Diese können z. B. unterschiedlichen Kohlenstoffgehalt aufweisen, höher legiert sein, oder das Härten erfolgt über thermisch-chemische Verfahren wie Nitrieren oder Karbonitrieren. Auch bei diesen Werkstoffen stellt sich die Frage, ob durch lokale Überhitzung des Gefüges eine Beeinträchtigung der Bauteileigenschaften eintritt. Oder aber, ob es zu lokalen Gefügeänderungen kommen kann, die die Wirbelstromprüfung beeinflussen. Der Chargeneinfluss durch Unterschiede in der Wärmebehandlung ist bekannt. Daher ist zu erwarten, dass lokale Wärmeeinbringung ebenfalls messbare Signaländerungen hervorbringen kann.

Der Beitrag stellt eine Systematik vor, mit der die Schleifbrandgefährdung von Werkstoffen mit unterschiedlichen chemischen Zusammensetzungen und unterschiedlichen Wärmebehandlungen abgeschätzt werden kann. An Beispielen werden mögliche Gefügeänderungen diskutiert und die zugehörigen Wirbelstromsignale gezeigt.

Weiterhin werden Effekte beschrieben, die bei lokaler Überhitzung von nitrierten Oberflächen auftreten können. Auch diese Effekte äußern sich bei der Wirbelstromprüfung und müssen bei der Interpretation der Prüfsignale berücksichtigt werden. An gezielt eingebrachten, lasergenerierten Ersatzfehlern werden Wirbelstromsignale und die Ergebnisse von Referenzuntersuchungen (Metallografie, Härtemessung, Nital-Ätzung) diskutiert und erste Schlussfolgerungen gezogen.



## Ersatzfehler für die Halbzeugprüfung nach dem Vorschleifen

K. Härtel<sup>1</sup>, A. Zösch<sup>1</sup>, M. Seidel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> imq-Ingenieurbetrieb für Materialprüfung, Qualitätssicherung und Schweißtechnik GmbH, Crimmitschau

Die Wirbelstromprüfung ist ein erfolgreich eingeführtes Verfahren zum Auffinden von Schleiffehlern.

Beim Vorschleifen von Halbzeugen wird meist mit höheren Abtragsraten bzw. höheren Prozessgeschwindigkeiten gearbeitet. Wird dabei zu viel Wärme eingebracht, entstehen in der Randzone unerwünschte Gefügeänderungen, so genannte thermische Schädigungen. Beim Schleifen spricht man von Schleifbrand. Eventuell auftretende Gefügeänderungen werden meist später bei der Feinbearbeitung abgetragen. Bei größeren, tiefer gehenden Schädigungen kann es jedoch dazu kommen, dass die Gefügeänderungen nicht restlos entfernt werden, bzw. Eigenspannungsänderungen zurückbleiben. Das Schädigungsbild kann dann großflächig und mit allmählichem Übergang zum nicht geschädigten Bereich sein, die zerstörungsfrei detektiert werden müssen.

Beim Wirbelstromverfahren werden Vergleichskörper benötigt. Für die Schleifbrandprüfung haben sich Bauteile mit lasergenerierten Ersatzfehlern bewährt. Bei der Auslegung und Dimensionierung der Ersatzfehler liegt der Fokus meist auf der Herstellung möglichst kleiner Schädigungen, um die erforderliche Prüfempfindlichkeit nachzuweisen. Im Beitrag werden Ersatzfehler vorgestellt, die großflächige Schädigungen mit allmählichem Übergang zum nicht geschädigten Bereich simulieren. Es werden die relevanten Eigenschaften wie Gefügeänderungen, Härteverläufe und laterale Ausdehnung untersucht und dokumentiert. Die so erzeugten Vergleichskörper werden verwendet, um die geeignete Wirbelstromtechnik auszuwählen und zu optimieren.

## Numerische Vorhersage der Detail-Erkennbarkeit durch menschliche Bewerter in der industriellen Computer-Tomographie

U. Ewert<sup>1</sup>, F. Herold<sup>2</sup>, H. Roth<sup>3</sup>, F. Wohlgemuth<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Kowotest, Teltow; <sup>2</sup> VisiConsult X-ray Systems & Solutions, Stockelsdorf; <sup>3</sup> Waygate Technologies, Digital Solutions, Baker Hughes, Stuttgart; <sup>4</sup> HEITEC PTS, Kuchen

Die industrielle Computertomographie (iCT) wird in der Industrie zur Fehlererkennung, Fehlerbewertung und dimensionellen Messung eingesetzt. Dies erfordert die richtigen experimentellen Systemeinstellungen für eine ausreichende Sichtbarkeit und Erkennbarkeit von Details und Strukturelementen. Die Sichtbarkeit von Indikationen durch menschliche Bewerter auf einem Monitor in 2D-CT-Schnittbildern hängt von der Quadratwurzel des sichtbaren Fehlerbereichs, dem Kontrast-Rausch-Verhältnis (CNR) und der Modulationsübertragungsfunktion (MTF) ab. Der ASTM-Leitfaden E 1441 beschreibt drei wesentliche Funktionen zur Vorhersage der Sichtbarkeit kleiner kreisförmiger Indikationen in iCT-Schnittbildern. Dies sind die Contrast Discrimination Function (CDF), die MTF (siehe auch die Überarbeitung von ASTM E 1695) und das Contrast Detail Diagram (CDD). Die Sichtbarkeitsgrenze von kreisförmigen Indikationen in rekonstruierten Schnittbildern kann vom Schnittpunkt der MTF mit dem Kontrastdetaildiagramm, das die Kombination von CDF und MTF darstellt, und einem physiologischen Faktor  $c$  bestimmt werden. Die Messverfahren zur Vorhersage der Detailsichtbarkeit mittels MTF und CDD wurden mit Testphantomen getestet und durch Modellierung und Messungen verifiziert. Ein Formfaktor wird berücksichtigt, um Zylinderlöcher mit Porenangaben zu vergleichen. Es werden Schlussfolgerungen berichtet und Empfehlungen zur Bestimmung des korrekten physiologischen Faktors  $c$  gegeben.

## Vorstellung des Projektes CTSimU2 Realistische Simulation realer Röntgencomputertomografie-Systeme mit basisqualifizierter Simulationssoftware

T. Reuter<sup>1</sup>, C. Abt<sup>2</sup>, F. Ballach<sup>3</sup>, M. Bartscher<sup>4</sup>, C. Bellon<sup>5</sup>, F. Borges de Oliveira<sup>4</sup>, F. Dennerlein<sup>6</sup>, P. Fuchs<sup>7</sup>, O. Günnewig<sup>8</sup>, T. Hausotte<sup>1</sup>, J. Hess<sup>7</sup>, S. Kasperl<sup>9</sup>, W. Kimmig<sup>10</sup>, N. Maass<sup>6</sup>, R. Schielein<sup>9</sup>, M. von Schmid<sup>8</sup>, A. Suppes<sup>11</sup>, G. Wagner<sup>12</sup>, C. Watzl<sup>13</sup>, F. Wohlgemuth<sup>2</sup>, S. Kasperl<sup>14</sup>

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen; <sup>2</sup> HEITEC PTS GmbH, Kuchen; <sup>3</sup> Werth Messtechnik GmbH, Gießen; <sup>4</sup> Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig; <sup>5</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; <sup>6</sup> Siemens Healthcare GmbH, Erlangen; <sup>7</sup> Volume Graphics GmbH, Heidelberg; <sup>8</sup> diondo GmbH, Hattingen; <sup>9</sup> Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT, Fürth; <sup>10</sup> Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH, Oberkochen; <sup>11</sup> Baker Hughes Digital Solutions GmbH, Wunstorf; <sup>12</sup> Weidmüller Interface GmbH & Co. KG, Detmold; <sup>13</sup> Siemens AG, München; <sup>14</sup> Technische Hochschule Georg Simon Ohm, Nürnberg

Die Entwicklung von Werkzeugen zur realitätsnahen Nachbildung eines industriellen CT-Systems in einer Simulationssoftware ist derzeit Hauptaufgabe des WIPANO Forschungsprojektes CTSimU2 – Realistische Simulation realer Röntgencomputertomografie – Systeme mit basisqualifizierter Simulationssoftware. Als Voraussetzung dienen dabei Simulationssoftwares, die durch das Testframework aus dem Vorprojekt CTSimU1 basisqualifiziert wurden. Das Testframework testet die hinreichende physikalische Korrektheit und Funktionalität einer Simulationssoftware (Basisqualifizierung der Software). Für eine realitätsnahe Nachbildung ist nicht nur die Güte der Simulationssoftware, sondern insbesondere die Güte der Parametrisierung des realen CT-Systems in der Simulationssoftware ausschlaggebend. Dabei kann das Vorgehen der Parametrisierung in vier Schritte unterteilt werden: die Datenaufnahme am realen CT-System (Schritt 1), die Auswertung der aufgenommenen Daten für die Generierung allgemeiner Parameterangaben (Schritt 2), die Übertragung der Parameter in die spezifischen Simulationssoftwares (Schritt 3) und die Validierung der resultierenden Simulationsparameter durch einen geeigneten Test (Schritt 4). Ziel des Projektes ist es daher neben der Erarbeitung eines Werkzeugkastens mit allgemeinen Methoden zur Datenaufnahme und Auswertung der Daten, die Entwicklung eines Tests, auf dessen Basis die ausreichend korrekte Simulation einer realen Anlage beurteilt werden kann. Die erarbeiteten Ergebnisse sollen wie bereits im Vorprojekt CTSimU1 in einen Richtlinienentwurf für die Richtlinienreihe VDI/VDE 2630 übertragen werden. Dieser Beitrag soll einen Überblick über das Projekt und die ersten Ergebnisse geben.

## Ausschussreduktion durch Kombination von Daten aus dem Gießprozess und der automatischen Röntgenprüfung

T. Stocker<sup>1</sup>, J. Mehringer<sup>2</sup>, F. Henning<sup>2</sup>, F. Sukowski<sup>1</sup>, F. Schäfer<sup>3</sup>, D. Freier<sup>3</sup>, C. Schuster<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT, Fürth; <sup>2</sup> Arbeitsgruppe für Supply Chain Services des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS, Nürnberg; <sup>3</sup> RONAL GROUP, Forst

Die automatische Röntgenprüfung von Gussteilen ist bei sicherheitsrelevanten Teilen oder Teilen mit hohen Qualitätsanforderungen weit verbreitet. Automatisch bedeutet hierbei, dass sowohl die Bildaufnahme als auch die Auswertung der Bilder vollautomatisch erfolgt. Heute werden in den meisten industriellen Anwendungen die erzeugten Daten, die eine Größe von bis zu mehreren Gigabyte pro Teil haben können, auf eine einfache Gut- oder Schlecht-Entscheidung reduziert. Alle anderen Informationen in den Daten werden verworfen, obwohl diese wertvoll sein können, um Produktionsprozesse zu optimieren und damit den Ausschuss zu reduzieren.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die Ergebnisse des Projekts Cast Control, eine Zusammenarbeit des Fraunhofer-Entwicklungszentrums Röntgentechnik EZRT, der Arbeitsgruppe für Supply Chain Services (SCS) des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS und des Industriepartners RONAL GROUP. Die RONAL GROUP ist ein großer Hersteller von Aluminiumrädern, hauptsächlich für den OEM-Markt. Im Rahmen des Projekts kombinierten wir Serienproduktionsdaten aus dem Niederdruckgussverfahren einer Gießerei der RONAL GROUP mit den Daten aus der automatischen Röntgenprüfung. Auf einer umfangreichen Basis von Beispieldaten aus der realen Produktion, konnten wir ein neuronales Netz trainieren, das Gießfehler, die später bei der Röntgenprüfung detektiert werden, vorhersagen kann. Die Visualisierung der erlernten Zusammenhänge des neuronalen Netzes zwischen den Prozessdaten der Gießmaschinen und den Qualitätsdaten aus der Röntgenprüfung, ermöglicht es Handlungsempfehlungen für eine Prozessoptimierung abzuleiten. Mit diesen Informationen ist es möglich, den Gießprozess in einem frühen Stadium anzupassen - noch bevor Ausschuss entsteht. Dadurch kann die Gießerei ihre Ausschussrate reduzieren, was Kosten und Energie spart und zu einer besseren Wettbewerbsfähigkeit führt.



Unsere Mission ist die  
Wissensvermittlung

Unsere Vision ist das  
Vernetzen von Menschen

Österreichische Gesellschaft für  
Zerstörungsfreie Prüfung

wir zertifizieren die Kompetenz  
für ihre **Sicherheit**

Qualifizieren **Zertifizieren** Luft- und Raumfahrt **EN 4179**

Unterausschüsse ZfP Personal **Zerstörungsfreie**

**Prüfung** Netzwerk Mitglied **ICNDT**

Unparteilichkeit **ÖGfZP** internationale Anerkennung

Ausbildungsstellen **EN ISO 9712** **Unabhängigkeit**

ZfP Themen fördern Eisenbahn-Instandhaltung **Mitglieder** Zulassung

Prüfungszentren **Mitglied EFNDT** Prüfungsbeauftragte

## Computertomographie in der Archäologie am Beispiel der Archäologischen Bodenforschung Basel-Stadt

N. Spichtig<sup>1</sup>, K. von Eisenhart-Rothe<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Archäologische Bodenforschung Basel-Stadt, Basel, Schweiz; <sup>2</sup> RayScan Technologies GmbH, Meersburg

Die zerstörungsfreie Computertomographie findet in den letzten Jahren in einem immer breiteren Bereich der Archäologie Anwendung. Dabei werden Geräte aus dem medizinischen Bereich und zunehmend auch Industrie-Computertomographieanlagen eingesetzt. Die Archäologische Bodenforschung Basel-Stadt konnte im Jahr 2022 ein eigenes Gerät der Firma RayScan beschaffen, um hausintern die vielfältigen Bedürfnisse abdecken zu können. Im Vordergrund steht die dreidimensionale Erfassung der durch die Bodenlagerung durch Korrosionsvorgänge völlig unkenntlichen Eisenfunden, die jährlich zu Hunderten bei Rettungsgrabungen geborgen werden und die ohne Massnahmen von einem raschen Zerfall bedroht sind. In den meisten Fällen erlauben die CT-Aufnahmen nicht nur eine Ansprache des Fundes, sondern auch die Festlegung konservatorischer Massnahmen. Zusätzlich können mehrere, zeitlich sich abfolgende Erfassungen für das Fundmonitoring dienen, so dass rechtzeitig Massnahmen gegen Zerfallsprozesse ergriffen werden können. Das 3D-Röntgen liefert aber auch Hinweise auf zumeist mineralisierte organische Reste an Metallfunden, wie Textilien oder Leder, oder erlaubt Angaben zu Herstellungsfragen oder technologische Aspekte. Zusätzlich können solche Aufnahmen Einblicke in verschlossene Objekte ermöglichen oder zur kompletten Formerfassung z. B. für ein 3D-Druckreplikat dienen. Bei Holzobjekten können gar Jahrringe völlig zerstörungsfrei ausgemessen werden für eine präzise Datierung des Fundes. Weitere Anwendungsbereiche ergeben sich bei der Bestimmung von schlecht erhaltenen oder zusammenkorrodierten Münzen. Eine gar rein virtuelle Restaurierung anhand von CT-Aufnahmen, d. h. ohne Freilegung und physische Konservierung der Funde, kann für wissenschaftliche Zwecke, aber auch für die Vermittlung genutzt werden.

## Automatisierte Anwendung der Photothermischen Tomographie zur Prüfung von Composite Bauteilen

G. Mayr<sup>1</sup>, G. Thummerer<sup>1</sup>, H. Plasser<sup>2</sup>

<sup>1</sup> FH OÖ Forschungs & Entwicklungs GmbH, Wels, Österreich; <sup>2</sup> voidsy gmbh, Wels, Österreich

Die thermische Tomographie erlaubt eine 3D Darstellung von Defekten im Inneren von Bauteilen. Im ersten Schritt werden thermische Wellen durch eine externe optische Anregung an der Bauteiloberfläche erzeugt. Aufgrund von material- und geometrieabhängigen Wechselwirkungen bei der Durchquerung des Prüfkörpers transportieren die thermischen Wellen Informationen über die innere Struktur. Diese Informationen sind im Oberflächen-temperatursignal enthalten, welches mit einer Infrarotkamera berührungslos erfasst werden kann. Die gemessenen Temperatursignale werden mithilfe einer mathematischen Transformation in ein virtuelles Schallfeld umgewandelt. Mithilfe von neuartigen iterativen Regularisierungsverfahren, welche die Berücksichtigung von Zusatzinformationen über das Experiment erlauben (z.B. Rauschcharakteristik des Detektors, dünn-besetzte Rekonstruktionsmatrix, keine negativen Temperaturwerte), kann dieses schlecht gestellte Rekonstruktionsproblem näherungsweise gelöst werden. Der Informationsgehalt über innenliegende Defekte kann nun mithilfe von bereits bekannten und hochentwickelten tomographischen Verfahren der Ultraschalltechnik extrahiert werden. Werden dabei die Messungen von unterschiedlichen Blickrichtungen durchgeführt und die Rekonstruktionsergebnisse mathematisch superponiert, kann man dies als eine Realisierung der thermographischen Tomographie bezeichnen.

Mittels eines kompakten und smarten Sensorkopfes, welcher die optische Anregung, die Infrarotkamera und die Auswerteeinheit vereint, wird die photothermische Tomographie automatisiert. Der Sensorkopf mit einem Gesamtgewicht von unter 5 kg wird durch einen Roboter im Raum positioniert, wodurch eine Abrasterung des Bauteils erfolgt. Reale Luftfahrtkomponenten werden so vollautomatisiert geprüft und die inneren Defekte quantitativ dargestellt. Im Gegensatz zur sehr weit verbreiteten Ultraschallprüfung ermöglicht das neue thermographische System eine schnelle, berührungslose, bildgebende und einfach zu automatisierende Qualitätssicherung mit einer hohen Gesamteffizienz.

## Schock Response Spectrum (SRS) Analyse als alternative Methode zur Auswertung von Infrarot-Thermografie (IRT) Daten

H. Yagdjian<sup>1</sup>, M. Gurka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Kaiserslautern

In diesem Beitrag schlagen wir eine alternative Methode zur Auswertung von Impuls-Thermografiedaten (IRT) vor, die auf einer Analogie zur Schock Response Spectrum (SRS) Analyse (ISO 18431) für mechanische Systeme basiert. Vorteil dieser Methode ist, dass im Vergleich zu weitverbreiteten IRT-Datenverarbeitungsmethoden bei denen nur das Abkühlverhalten betrachtet wird, indem das Thermogramm vor der maximalen Temperatur abgeschnitten wird, wie z. B. Pulse-Phase Thermographie (PPT) oder Thermal Signal Reconstruction (TSR) und damit die Pulsform nicht mitberücksichtigt wird, das gesamte Signal, inklusiver der Erwärmungsphase untersucht wird. Ferner kann das auch im Gegensatz zu den Methoden wie Modified Differential Absolute Contrast (MDAC), bei denen die 1D analytischen Lösungen eine Dirac impulsförmige Erwärmung annehmen, vorteilhaft sein, weil es keine Impulsform explizit angenommen werden muss. Darüber hinaus kann man die Ergebnisse als Source Distribution Image (SDI) Methode interpretieren, die eine ungleichmäßige Verteilung der Anregungsquelle an der Oberfläche des Prüfkörpers aufzeigt. Eine so erhaltene SDI ist physikalisch begründet und benötigt keine manuelle Angabe der Anzahl von iso-levels. Für den ersten Test dieser Methode Thermal Schock Response Spectrum (TSRS), verwenden wir die Analogie zu einem single-degree-of-freedom (SDOF) mechanischen System. Wir betrachten ein eindimensionales thermisches Einschnitt Model, dessen Lösung im Frequenzbereich bei Anwendung der Green ´schen Funktion detailliert beschrieben ist.



## Einfache Bereitstellung thermografischer Sensordaten in Smart-City-Datenräume mittels autarker Monitoring-Systeme

S. Klein<sup>1</sup>, D. Koster<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

Die einfache Bereitstellung von Informationen aus Sensordaten für moderne Datenräume, wie es beispielsweise beim Smart-City Konzept angewendet wird, ist seit Jahren ein wichtiger Bestandteil zur Effizienzsteigerung und damit zum Wohle von Wirtschaft und Bevölkerung von Städten und Regionen. Die Verwendung von Internet of Things (IoT) Devices mit Standardsensoren (Luftdruck und feuchte, Temperatur, Vibration, usw.) ist mittlerweile etabliert. Werden jedoch Sensoren wie z. B. Thermografiekameras verwendet, welche eine große Datenmenge generieren, so werden erweiterte Techniken zur sensor-nahen Datenbewertung und damit Reduktion notwendig, um als Informationsquelle für IoT-Datenräume verwendbar zu werden.

Der Vortrag stellt die gewonnenen Erkenntnisse zur quantitativen Auswertung solar angeregt akquirierter Thermogramme vor. Es werden Algorithmen vorgestellt, die eine Materialeigenschaftsbestimmung mit dieser Art der Thermografie ermöglichen und somit sensor-nah eine Bewertung der Rohdaten zur Informationsgewinnung erlauben. Des Weiteren werden Aspekte zur Energieeffizienzsteigerung sowie Möglichkeiten der Konnektivität diskutiert. Die Methode der solar angeregten Thermografie hat in jüngster Zeit an wissenschaftlicher Aufmerksamkeit gewonnen. Wegen ihrer einfachen Einsatzfähigkeit sowie der Möglichkeit auch große Objekte zu prüfen entstehen besondere Vorteile beim Einsatz als Informationsquelle für Smart-City Datenräumen. Ein mögliches Anwendungsszenario kann die Kontrolle von großer technischer Infrastruktur sein, welche z. B. nur mittels der Sonne und der Umgebungswärme als primäre Wärmequellen auf Risse geprüft werden können.

## Anwendung einer neuartigen Lockin-Thermografie Kompensationsmethode zur Eliminierung der lateralen Wärmeflüsse

J. Rittmann<sup>1</sup>, J. Hufert<sup>1</sup>, M. Kreuzbruck<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

In der aktiven Thermografie wird normalerweise das Antwortsignal einer thermischen Anregung mittels Thermografiekamera betrachtet und ausgewertet. Die diffusiven Eigenschaften der thermischen Welle begrenzen dabei die räumliche Auflösung und führen häufig zu einem diffusen Antwortbild. Je tiefer Defekte im Bauteil liegen, desto verschwommener erscheinen diese im Antwortsignal. Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Weiterentwicklung der optisch angeregten Lockin-Thermografie durch den Einsatz einer neuartigen flexiblen Wärmequelle beschrieben. Die neuartige Wärmequelle besteht aus einer Nahinfrarot-Lichtquelle und einem Hochleistungs-DMD-Chip. Ähnlich, wie ein Videoprojektor, können durch die neuartige optische Wärmequelle mehr als 1 Million unabhängige Anregungspunkte mit einer Frequenz von bis zu 12.500 Uhr gleichzeitig moduliert werden.

Die gewonnene Freiheit der Anregungsquelle wird in der hier dargestellten Lockin-Thermografie Kompensationsmethode ausgenutzt, um den induzierten lateralen Wärmefluss in einem iterativen Prozess im Prüfobjekt gezielt zu reduzieren und auf die Anregungsquelle zu übertragen. So wird zum Beispiel die lokale Anregung eines oberflächennahen Defekts mit einem Phasenversatz zur Umgebung versehen und die lokale Amplitude an der Stelle des Defekts reduziert. Ein vollständig kompensierter Prozess weist im Antwortsignal der Lockin-Thermografie-Messung ein homogenes Phasen- und Amplitudenbild auf. Bei der Kompensationsmethode steckt die gesuchte Signalinformation dann in der lokalen Phasenverschiebung und Amplitude der Anregungsquelle. Da innerhalb der Anregungsquelle kein diffusiver Prozess auftritt, ermöglicht es die Kompensationsmethode, Phasen- und Amplitudenbilder der optischen Lockin-Thermografie ohne den störenden lateralen Wärmefluss darzustellen. In den Messergebnissen stellt sich dies in einer deutlich verbesserten Kantenschärfe, Defektseparierung sowie Steigerung des Signal-Rausch-Verhältnisses dar. Die quantitativen Verbesserungen und Grenzen des Verfahrens werden an charakteristischen Prüfsituationen und 3D-Geometrien aufgezeigt.

## Vergleich von Prüfergebnissen aus der FMC/TFM Methode mit Phase Coherence Imaging was sind die Unterschiede

H. Küchler<sup>1</sup>, A. Schönbauer<sup>1</sup>, A. Zink<sup>1</sup>, W. Rooyakkers<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Evident Europe GmbH, Hamburg

Die Ultraschall FMC/TFM Methode wird seit einiger Zeit zur erweiterten Analyse von Anzeigen in der Praxis eingesetzt. Sie eignet sich besonders gut für die Darstellung kleiner Anzeigen und damit unter anderem der verbesserten Bewertung von Schweißnahtfehlern. Um hier insbesondere kleine Anzeigen noch vom Rauschen im Gefüge unterscheiden zu können, eignet sich die Auswertung mittels Phase Coherence Imaging (PCI). Hierbei handelt es sich um eine amplitudenfremde Technik. Zunächst werden die erfassten A-Scans normalisiert. Dann wird die Phasenverteilung der einzelnen A-Scans für jede Position in der TFM-Zone verglichen. Je höher der Kohärenzgrad zwischen den A-Scans für eine bestimmte Position ist, desto stärker ist die Signalantwort für diese Position (mit einem Maximum von 100 %). Reflexionen und Beugungen von Defekten führen letztendlich zu einer kohärenten Antwort, verglichen mit der inkohärenten Antwort der erfassten Signale von hochfrequentem Hintergrundrauschen. Dies macht die Identifizierung von Defekten, insbesondere bei kleinen Defekten in verrauschten oder dämpfenden Materialien, sehr einfach. Ultraschallscans, die erst mit der FMC/TFM Methode aufgenommen wurden, werden dann direkt mit der PCI Methode verglichen. Es ist gut zu erkennen, dass verrauschte Anzeigen aus dem TFM Bild in PCI deutlich realer und klarer dargestellt werden können. Dadurch birgt sich hier ein enormer Vorteil bei der Prüfung von Schweißnähten mit groben Gefüge, gute Darstellung von Einschlüssen und Poren, deutlichere Erkennung von Schädigungen am Gefüge bei Stählen in einem sehr frühen Stadium wie z. B. bei HTHA.

## Ultraschallprüfung von Schweißnähten – ein Vergleich bildgebender Verfahren

[A. Schönbauer](#)<sup>1</sup>, H. Kuchler<sup>2</sup>, A. Zink<sup>2</sup>, W. Rooyakkers<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Evident Europe GmbH - Zweigniederlassung Österreich, Wien, Österreich; <sup>2</sup> Evident Europe GmbH, Hamburg

ToFD-, Phased Array- (PAUT) und FMC-TFM und TFM-PCI Ultraschall

- \* ) welche Möglichkeiten bieten die einzelnen bildgebenden Verfahren bei der Schweißnahtprüfung im Vergleich und wo sehen wir auch deren Limits?
- \* ) eine Schweißnaht mit klassischen Fehlerbildern wie Poren, Bindefehlern, Rissen aus der Oberfläche oder im Inneren, fehlende Durchschweißung, etc. und vieles kann dargestellt sowie in seinen Dimensionen (Tiefenlage, Ausdehnung, etc.) sehr gut vermessen werden.
- \* ) wo liegen die eventuellen Vorteile am neuen FMC-TFM Verfahren im Vergleich zu Phased Array Ultraschall (PAUT)?
- \* ) kann man so mit Ultraschall im Sinne der Arbeitssicherheit (ALARA) mehr und mehr die Röntgenprüfung reduzieren?

In diesem Beitrag werden bereits etablierte und nach ISO sowie ASTM genormte Prüfmethoden (TOFD, Phased Array, FMC/TFM) und deren Möglichkeiten zu unterschiedlichen Fehlermustern dargestellt.

Durch diese Methoden sind auch die Grenzen bei der Ultraschallprüfung verschoben bzw. neu definiert und somit die Möglichkeiten wesentlich besser.

Alle diese Verfahren erlauben die Aufzeichnung der Prüfdaten für eine vollständige Dokumentation wie auch beim Röntgenfilm und sogar etwas mehr – warum also auf ein Röntgenfenster warten?

## Benefits of plane wave imaging (PWI) for ultrasound NDT industrial applications

[H. Saulais](#)<sup>1</sup>, E. Carcreff<sup>1</sup>, C. Thibault<sup>1</sup>, S. Deutsch<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TPAC NDT - DB SAS, Nantes, Frankreich

Ultrasonic testing is currently one of the main techniques employed in many industries (metallurgy, foundry, aeronautics, etc.). This technique consists in generating ultrasonic waves into parts to be inspected to possibly detect and size defects from the analysis of back-scattered signals. Starting from conventional techniques, new technologies matured through the years: Phased Array some decades ago and FMC/TFM a decade ago. The PWI technique is filling the gap between these two: merging the speed of Phased Array and the accuracy of FMC/TFM. Nowadays, acquisition devices are more and more powerful and customizable. The Plane Wave Imaging (PWI) offers numerous advantages for NDT inspections: high level of energy in emissions, same high number of elements in emitting and receiving, ability to insonify large pieces. In this paper, the principle of the technology is presented. Then, several applications cases taken from industrial cases are detailed, showing the improvement compared to Phased Array and FMC/TFM techniques. We show that PWI is beneficial for large metallurgical pieces and foundry blocks specifically. It also shows improvement for crack detection in such cases.

## Ultraschallprüfung von gewalztem Flachstahl mittels Full Matrix Capture/ Total Focusing Method technique

J. Maier<sup>1</sup>

<sup>1</sup> voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG, Kapfenberg, Österreich

Die Firma Voestalpine Böhler Edelstahl gehört weltweit zu den bedeutendsten Herstellern von Schnellarbeitsstählen, Werkzeugstählen für die Kaltumformung, die Druck- und Strangpressindustrie sowie die Kunststoffformgebung. Einen weiteren Schwerpunkt bilden die Sonderwerkstoffe für die Luft- und Raumfahrt, Energietechnik, Automobilindustrie, Offshore- sowie Chemische Industrie. Dabei konzentriert sich Voestalpine Böhler Edelstahl auf hoch- und höchstbeanspruchte Werkstoffanforderungen. Neben der schmelzmetallurgischen Werkstoffkompetenz verfügt Voestalpine Böhler Edelstahl auch weltweit über einzigartige Umform- und Weiterverarbeitungsanlagen, um so dem Kunden maßgeschneiderte Werkstoffe speziell in Hinsicht auf Toleranz und Oberflächenausführung bieten zu können.

Um die Anforderungen hinsichtlich Fehlerfreiheit bei Walzprodukten aus Werkzeugstahl und Schnellarbeitsstahl, für die Fertigung von höchstbeanspruchten Werkzeugen, Formen u. a. Produkten, sowie Sonderwerkstoffen (z. B. für Luftfahrt-, Energie- und Automobilindustrie) zu erfüllen, ist es für Voestalpine Böhler Edelstahl erforderlich, diese Produkte schnell, zuverlässig und je nach Anforderung mit höchstmöglicher Empfindlichkeit auf Oberflächen- und Innenfehler zu prüfen.

Gewalzter Flachstahl für kritische Anwendungen wird bei Voestalpine Böhler Edelstahl im Abmessungsbereich 40 – 250 mm x 20 – 80 mm automatisiert, mittels klassischer Ultraschall Phased Array Technik auf Innenfehler geprüft. Abmessungen außerhalb des angeführten Abmessungsbereich werden manuell in Kontakttechnik ultraschallgeprüft. Dies bedeutet vor allem für kleine Abmessungen bei schallfeldüberlappender 100 % Prüfung einen immensen Personal- und Zeitaufwand.

Die Full Matrix Capture/Total Focusing Method technique bietet hier neue Möglichkeiten. Im Vortrag wird die Methode erläutert. Es werden Möglichkeiten der Empfindlichkeitsjustierung dargestellt, Vergleiche betreffend Auflösungsvermögen und Totzone zur klassischen Ultraschallkontakttechnik gezogen und erste Ergebnisse der Prüfung von fehlerhaften Material gezeigt.

## Übertragung einer Multisensorik zur Erfassung des Trocknungszustandes bei der Elektrodenfertigung in eine Pilotlinie

D. Hofmann<sup>1</sup>, M. Schulze<sup>1</sup>, T. Schulze<sup>1</sup>, M. Pooch<sup>1</sup>, J. Michauk<sup>1</sup>, C. Pilz<sup>1</sup>, E.-M. Homuth<sup>1</sup>, H. Heuer<sup>1</sup>, T. Härtling<sup>1</sup>, M. Heymann<sup>1</sup>, A. Werwein<sup>1</sup>, A. du Baret de Limé<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden

Bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien ist die Elektrodenfertigung ein entscheidender Faktor für die spätere Leistungsfähigkeit der Zelle. Eine frühzeitige Erkennung von Produktionsfehlern oder veränderten Materialeigenschaften kann die Elektroden- und damit auch die Prozessqualität signifikant steigern. Das Prüfmedium verändert bei jedem Prozessschritt kontinuierlich seine Kohärenz und Konsistenz und damit seine grundlegenden Materialeigenschaften.

Das Beschichten und Trocknen stellen dabei einen entscheidenden Prozessschritt innerhalb der Elektrodenfertigung dar. Abhängig von den Beschichtungseigenschaften sowie dem Verlauf des Trocknungsvorganges kann die Leistungsfähigkeit der potenziellen Zelle technologisch maßgeblich bestimmt sowie auch ökonomisch beeinflusst werden. Dabei stellt das Perkulationsverhalten den Schwerpunkt dieses Prozesses dar. Mit der Bestimmung des Feuchtegehaltes wird dabei das Trocknungsverhalten der Suspension erfasst. Bisher erfolgt dies prozessbegleitend über die Messung des Auftragsgewichtes nach der Trocknung und somit in einem sehr begrenzten Umfang. Die Erweiterung der Qualitätssicherung durch innovative Messmethoden soll eine frühzeitige Erkennung von fehlerhaften Prozessen sowie die Reduktion von Ausschuss ermöglichen.

Der folgende Beitrag beschreibt den Prozess der Trocknungsüberwachung anhand einer Multisensorik und deren Übertragung in eine Inline-Pilotanwendung. Dabei soll zunächst die Entwicklung und Funktionsweise eines Labordemonstrator vorgestellt werden sowie anschließend die Besonderheiten bei der Überführung auf einen Pilotmaßstab. Das Ziel dieser Sensorik ist es, den Zustand der Perkulation, welcher sich in mehrere Phasen unterteilt, konstant und stabil zu erfassen. Dabei werden die Herausforderungen, wie u. a. die Korrelation der Materialeigenschaften mit den Inlinemessungen der einzelnen Sensoren, die elektrische Initialisierung, die mechanische Anbindung und die informationstechnische Integration (NDE 4.0) sowie die Sicherstellung einer ATEX-Tauglichkeit, die sich daraus ergeben ausführlich betrachtet.

## Trends und Anforderungen an Röntgenquellen zur Batterieprüfung

[M. Odermatt](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Comet AG, Flamatt, Schweiz

Getrieben durch globale Trends verändert sich die Technologie in vielen Produkten ständig, was insbesondere auf die Industrie und auf die industrielle Fertigung einen grossen Einfluss hat. Neben dem Bedarf nach immer höherer Auflösung auch in der Serienprüfung wächst ebenso die Anforderung an kurze Prüfzeiten, um den Ausstoss von Produktionslinien zu maximieren. Ein konkretes Beispiel ist der enorme Bedarf an Batterien für die Elektromobilität und die Speicherung alternativ produzierter Energie. Trotz sich multiplizierenden Produktionsvolumen will jedoch niemand Kompromisse bei der späteren Betriebssicherheit eingehen, wodurch in vielen Fällen eine 100% Inspektion gefordert ist. Diese zum Teil auf den ersten Blick gegensätzlichen Anforderungen erfordert die ständige Weiterentwicklung der Röntgentechnologie, um die effiziente Produktion zu ermöglichen und gleichzeitig Defekte zuverlässig zu finden. In diesem Rahmen forscht Comet aktuell an zwei Technologien, zum einen noch kleinere homogene Brennflecke, noch kleinere als bereits mit der MesoFocus Technologie erreicht worden sind, und zum anderen an einer höheren Leistungsdichte speziell für kleine Brennflecke. Die Kombination der beiden Technologien soll es ermöglichen, die Auflösung zu steigern ohne dabei einen Kompromiss bei der Leistung und damit bei der Prüfzeit machen zu müssen.



## Qualitätskontrolle von Batteriekomponenten im Produktionsprozess

[J. Lapsien](#)<sup>1</sup>

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

### Prüfmethoden für End-of-Line Dichtheitsprüfungen und Durchflussprüfungen

Im Bereich der Elektromobilität kommt es darauf an, dass die Batterie und alle Komponenten, die für das Batterie- und Energiemanagement eingesetzt werden, einwandfrei funktionieren. Das Gesamtsystem besteht aus verschiedenen Komponenten wie Batterie, Batteriegehäuse, Elektronik- und Leistungssteuergeräte, elektrische Verbindungen, Entlüftungselemente, Sensoren, Kühlkreisläufe, Pumpen, Regelventile.

Diese Komponenten müssen eine Vielzahl von Anforderungen erfüllen. Sie sind verschiedenen Umwelt- und Betriebsbedingungen ausgesetzt. Deshalb müssen sie dicht sein gegen das Eindringen von Flüssigkeiten und Feuchtigkeit, was schwerwiegende Fehlfunktionen zur Folge haben kann. Um dieses Risiko zu verringern, werden diese Produkte während des Herstellungsprozesses und vor Auslieferung geprüft.

Das Prüfmedium Druckluft ist in der industriellen Dichtheits- und Durchflussprüfung weit verbreitet. Eine breite Palette von Produkttypen kann hierbei mit verschiedenen Prüfmethoden getestet werden. Je nach Prüfteilvolumen kann Druckluft bei Leckraten bis hinab zu 10-3 mbar\*l/s und bei der Durchflussmenge bis ca. 400 l/min eingesetzt werden.

Sind die Dichtheitsanforderungen höher, müssen Prüfgasverfahren, auch Tracergas-Methoden, genannt, eingesetzt werden. Mit dem Tracergas Wasserstoff (als Formiergas: 5 % Wasserstoff, 95 % Stickstoff) lassen sich Leckraten bis hinab zu 10-6 mbar\*l/s nachweisen, unter Einsatz von Helium sind es 10-9 mbar\*l/s.

Beim Einsatz von Tracergas ist folgende Situation zu berücksichtigen: Wenn das Produkt ein grobes Leck hat, ist die Umgebung kontaminiert. Und dann dauert es eine Weile, bis die Tracergaskonzentration wieder abfällt und der Sensor relaxiert. Aus diesem Grund wird vor dem Befüllen mit Tracergas bisweilen eine Vorprüfung mit Druckluft durchgeführt um grobe Lecks zu erkennen und diese grob undichten Produkte frühzeitig auszuschleusen.

## Herstellung geeigneter Testkörper für die Zuverlässigkeitsbewertung von Ultraschallprüfungen

[A. Jüngert](#)<sup>1</sup>, A. Gyula<sup>1</sup>, S. Keuler<sup>1</sup>, T. Heckel<sup>2</sup>, D. Brackrock<sup>2</sup>, C. Luplow<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MPA Universität Stuttgart; <sup>2</sup> BAM, Berlin

Heutzutage ist es nicht nur wichtig die Zuverlässigkeit zerstörungsfreier Prüfungen zu kennen, sondern für den Einzelfall auch quantifizieren zu können. Die Ermittlung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (POD probability of detection) spielt dabei eine wichtige Rolle sowohl für die Sicherheitsbewertung kritischer Infrastruktur als auch für die Einbindung zerstörungsfreier Prüfungen in automatisierte Herstellungsketten. Die grundsätzliche Vorgehensweise zur Ermittlung von PODs für verschiedene Prüfverfahren wird gerade in einen nationalen Normentwurf beim DIN im NMP 062-08-28 umgesetzt. Hier werden von der Versuchsplanung bis zur Berechnung der POD alle Arbeitsschritte beschrieben. Die Ermittlung einer POD auf Basis experimenteller Untersuchungen erfordert die Herstellung geeigneter Testkörper und entsprechende Vorüberlegungen, die an die zu bewertende Prüfaufgabe angepasst sein müssen. Im Rahmen des Vorhabens normPOD wurden Testkörper hergestellt, die als Beispiel für die POD-Ermittlung von Ultraschallhandprüfungen an ferritischen Schweißnähten dienen sollten. Im Folgenden geht es um die Umsetzung der Herstellung der Testkörper und das Einbringen von definierten Fehlstellen. Die exakte Platzierung und Ausformung von Fehlstellen mit konventionellen Herstellungsverfahren wie dem Funkenerodieren ist in der Praxis kompliziert. Die Grenzen der so hergestellten Testkörper im Hinblick auf die zerstörungsfreie Prüfung werden hier diskutiert. Ebenfalls wird diskutiert, inwieweit neue Fertigungsverfahren, wie z. B. die additive Fertigung über selektives Laserschmelzen, die Testkörperherstellung verbessern und vereinfachen können.

Hierfür wird zum Vergleich ebenfalls ein Testkörper mit definierten Fehlstellen hergestellt. Nach Fertigstellen der Testkörper werden zunächst die Fehlerlagen über eine Durchstrahlungsprüfung verifiziert. Anschließend werden die Testkörper von verschiedenen Personen unterschiedlicher Qualifizierung mit Ultraschall entsprechend der geltenden Regelwerke geprüft und die Ergebnisse strukturiert erfasst im Hinblick auf eine spätere POD-Berechnungen.

## Erzeugung von künstlichen Rissen mittels der Wasserstrahltechnologie

R. Gansel<sup>1</sup>, M. Mlinaric<sup>1</sup>, T. Hassel<sup>1</sup>, H.J. Maier<sup>1</sup>, S. Barton<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Werkstoffkunde, Leibniz Universität Hannover, Garbsen

Zur Kalibrierung oder zur Qualifizierung von Prüftechnik werden in der ZfP Bauteile oder Proben mit Fehlern benötigt, welche in ihrer Ausprägung real auftretenden Bauteilfehlern entsprechen. Da die notwendige Anzahl an repräsentativen fehlerbehafteten Proben zumeist für eine Abschätzung einer Entdeckungswahrscheinlichkeit nicht zur Verfügung stehen, werden häufig künstliche Referenzfehler zur Überprüfung dieser verwendet. In Bezug auf die Wirbelstromprüfung werden typischerweise Nuten als Referenzfehler für Risse verwendet. Diese werden in der Regel erodiert oder gesägt. Erodierete Nuten weisen eine runde Geometrie auf und es können durch die thermische Belastung ungewollte Gefügeveränderungen entstehen. Gesägte Nuten verfügen hingegen über eine im Querschnitt rechteckige, vergleichsweise breite Nutgeometrie. Die Geometrieabweichung im Vergleich zu realen Rissen beeinflusst die Wirbelstromausbreitung im Bauteil und damit das Prüfsignal. Hierdurch kann es bei der Bestimmung der Defektgröße zu starken Abweichungen kommen. Gleichbedeutend sind hieraus abgeleitete Aussagen über die Entdeckungswahrscheinlichkeit realer Risse wenig belastbar.

Eine neuartige Methode zur reproduzierbaren Erzeugung von Referenzfehlern nutzt das erosiv wirkende Hochdruck-Wasserstrahlen. Im Rahmen der Untersuchungen wurde Wasser auf bis zu 400 MPa verdichtet und für die Strahlerzeugung durch Düsen mit einem Durchmesser von 0,05 mm und 0,125 mm beschleunigt. Durch die Anpassung von Anlagentechnik und Prozessparametern können mit diesem Verfahren Nuten mit rissähnlichen Geometrien erzeugt werden. Hierdurch entsteht die Möglichkeit PoD (Probability of Detection)-Studien kostengünstig und aussagekräftig durchführen zu können. Darüber hinaus ist die lokale Einbringung der Nuten auf Bauteilen mit komplizierten Geometrien möglich. Ein Anwendungsbeispiel für die Wirbelstromprüfung wird anhand von erosiv innerhalb der Wärmeeinflusszone einer Stumpfnahat eingebrachten Fehlern skizziert.

## Was wir bei Prüfungen wissen sollten, warum wir es verdrängen und weshalb ZfP 4.0 die Lösung ist.

[D. Kanzler](#)<sup>1</sup>, V.K. RENTAL<sup>1</sup>

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

Bei dem Einsatz von Prüfverfahren zur Qualitätssteigerung gibt es viele unausgesprochene Fakten, die jedoch zu wenig Beachtung finden. Hierzu zählen unter anderem: Der Einfluss der Human und Organisational Factors, die Streubreite von Sensoren sowie auch der stark variierende Einsatz von Prüfverfahren abhängig von ihrem Einsatzort, Zeit und Bestimmung. In vielen Punkten werden technische Hilfsmittel nachgefragt, um die Prüfungen zu verbessern, zu optimieren oder ihre Kosten zu drücken.

Doch um das Potential auszuschöpfen, fehlt häufig der Vergleichspunkt:

Wo stehen wir heute mit der Prüfung? Wie gut ist die Qualität der Prüfverfahren aktuell? Und wo steht diese Information bzw. wie bekomme ich sie?

Die Zuverlässigkeitsbewertung des Prüfverfahrens spielt an dieser Stelle eine wesentliche Rolle. Der Vortrag geht auf die firmenpolitischen Notwendigkeiten ein, welche zu Verbesserungen führen können. Hierfür wird u.a. das Projekt Aifri vorgestellt, in dem die KI-Anwendung bei der Prüfung von Eisenbahnschienen vorangetrieben wird.

## Strahlenschutz in der ZfP – Die ersten Jahre neues Strahlenschutzrecht

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

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

Das Strahlenschutzrecht in Deutschland wurde ab 2017 grundlegend modernisiert. Erforderlich wurde dies durch die Pflicht zur Überführung 2013/59/Euratom[1] in nationales Recht. Im Zuge dessen wurde die historische Trennung in Strahlenschutz- und Röntgenverordnung aufgehoben und das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG)[2] und die neue Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)[3] sind in Kraft getreten. Mittlerweile sind die Übergangsvorschriften bis auf wenige Ausnahmen ausgelaufen. In diesem Vortrag wird beleuchtet vor welche Herausforderungen die Werkstoffprüfung bei der Umsetzung des neuen Strahlenschutzrechts gestellt wurde. Die aktuelle Verordnung zur Änderung der Strahlenschutzverordnung wird vorgestellt und die Zukunft des Strahlenschutzes in der ZfP wird diskutiert.

## **Sicherung sonstiger radioaktiver Stoffe/Erfahrungen mit der praktischen Umsetzung der SEWD-Richtlinie**

[S. Kalauka](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München

Terrorismus ist heutzutage medial allgegenwärtig. Aber auch die Bedrohungslage in Europa hat sich real verändert und zielt nicht zuletzt darauf ab, das Vertrauen der Menschen in die öffentliche Sicherheit zu erschüttern. Gerade vor diesem Hintergrund besitzt der Schutz radioaktiver Stoffe, der bisher oft nur rudimentär ausgeprägt ist, eine besondere Bedeutung. Unter Berücksichtigung internationaler Regelungen wurde in Deutschland unter Leitung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit ein Regelwerk für den Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD) geschaffen, um ein anforderungsgerechtes Sicherungsregime beim Umgang mit und bei der Beförderung von sonstigen radioaktiven Stoffen sicherzustellen. Das Regelwerk ist Anfang 2021 in Kraft getreten.

Herausfordernd ist hierbei die konkurrierenden Ziele eines ungestörten Betriebsablaufs und einer ausreichenden Sicherung der radioaktiven Stoffe gemäß den Vorgaben des Regelwerks in geeigneter Weise zusammenzubringen.

Im Vortrag werden, ausgehend von einer Darstellung der Systematik des Regelwerks, die grundlegenden Bausteine eines Sicherungskonzepts erklärt und an praktischen Beispielen erläutert.

Die Zuhörer sollen hierdurch ein Grundverständnis für die Vorgehensweise bei der Sicherung radioaktiver Stoffe erlangen und in die Lage versetzt werden, sich dieses Thema auch im Zusammenhang ihres spezifischen Umfeldes zu erschließen.

## Der Übergang von Film zu digital und die Revision der ISO 17636-2 zur Schweissnahtprüfung mit digitaler Radiographie

U. Zscherpel<sup>1</sup>, U. Ewert<sup>2</sup>, F. Bänsch<sup>3</sup>

<sup>1</sup> BAM Berlin, Berlin; <sup>2</sup> Kowotest, Langenfeld; <sup>3</sup> DIN, Berlin

Die ersten Normen zur digitalen Radiographie wurden in 2005 veröffentlicht, da dominierte noch die Filmmradiographie. ISO 17636-2 „Durchstrahlungsprüfung-Teil 2: Röntgen- und Gammastrahlungstechniken mit digitalen Detektoren“ wurde 2013 erstmalig veröffentlicht. In 2017 startete ISO TC44 SC5 WG1 „Radiographic testing of welds“ die offizielle Revision von ISO 17636. Mehr als 450 Kommentare wurden während der Umfrage gesammelt und bearbeitet. Erstmals wurden auch Kommentare aus China empfangen, speziell zu den Abbildungen. Im Ergebnis dessen wurden die ISO 17636-1:2022 (Film) und ISO 17636-2:2022 (Digital) veröffentlicht. Fast alle Bilder wurden aktualisiert. Die hohe Zahl an Kommentaren führte zu einer Feinabstimmung besonders im Teil 2 der Norm. Der Ansatz mit den 3 Kompensationsprinzipien für digitale Detektoren, die erstmalig in 2013 eingeführt wurden, hat sich bewährt. Erweiterungen für das automatische Prüfen und photonenzählende Detektoren wurden ergänzt. Die Anforderungen für die Prüfung von Rohren mit ebenen Detektoren sowie an das normierte SNR dabei wurden modifiziert. Die untere Wanddickengrenze für Se-75 Quellen wurde gestrichen als Kompromiss mit unseren französischen Kollegen.

Details und Konsequenzen der Normänderungen werden diskutiert.

## Entwicklung einer Prüftechnik zur Fehlercharakterisierung bei komplexer Geometrie und Werkstoff

M. Jahn<sup>1</sup>, D. Berchtold<sup>2</sup>, H. Ernst<sup>3</sup>, [S. Dugan](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Framatome GmbH, Erlangen; <sup>2</sup> Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG, Däniken, Schweiz;

<sup>3</sup> QuaNDT GmbH, Muntelier, Schweiz

Im Kernkraftwerk Gösgen-Däniken (KKG) werden im Rahmen der Wiederkehrenden Prüfungen visuelle Inspektionen der Primärkammern durchgeführt. Um Anzeigen aus der visuellen Prüfung vollständig bewerten zu können, ist eine Prüftechnik erforderlich, mit der auch die Orientierung und die Tiefe von Rissen ermittelt werden kann. Für den Prüfbereich der Schweißnaht zwischen Trennplatte und Rohrboden wurde eine Ultraschallprüftechnik zur Größenbestimmung flächiger Fehler entwickelt, die in der Revision 2023 erstmalig zum Einsatz kommen wird. Besondere Herausforderungen ergeben sich an dieser Stelle einerseits durch die komplexe Geometrie und andererseits durch den Werkstoff. Der gekrümmte Verlauf der Schweißnaht und die Lage der Fehler im Schweißgut aus Nickellegierung erforderten eine angepasste Prüftechnik. Mit Hilfe von experimentellen Untersuchungen an realistischen Testkörpern sowie Simulationen konnte eine optimierte Prüftechnik für die Tiefenbestimmung von Rissen in der Schweißnaht qualifiziert werden.



WWW.ECNDT2023.ORG



**13<sup>th</sup> ECNDT**  
3-7 JULY 2023 | LISBON

**3-7 JULY 2023 | LISBON**  
**EUROPEAN CONFERENCE**  
**ON NON-DESTRUCTIVE**  
**TESTING**

**WWW.ECNDT2023.ORG**

**ORGANIZING ENTITIES**



**PLATINUM SPONSORS**



**SILVER SPONSOR**



**BRONZE SPONSORS**



**WITH THE SUPPORT**



**INSTITUTIONAL SUPPORT**



**PUBLISHER AND MEDIA PARTNER**



**CONTACT INFORMATION**

AIM GROUP INTERNATIONAL - LISBON OFFICE  
EMAIL [ecndt2023@aimgroup.eu](mailto:ecndt2023@aimgroup.eu)  
TEL +351 21 524 50 62



## Dichtheitsprüfung durch Verformungsmessung

[L. Wachter](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SKZ – Das Kunststoffzentrum, Würzburg

Gängige Methoden zur Dichtheitsprüfung von Behältern und Verpackungen sind die Wasserbadprüfung, die Differenzdruckprüfung, die Prüfung mit Testgasen und die Kraftsensorprüfung. Diese Methoden sind naturgemäß zeit- und kostenaufwendig. Außerdem ist es nicht möglich, das Prüfergebnis einer gleichzeitigen Prüfung mehrerer Bauteile einem einzelnen Bauteil zuzuordnen. Die Shearografie ist ein etabliertes zerstörungsfreies Prüfverfahren, das in verschiedenen Branchen eingesetzt wird. Eine Dichtheitsprüfung mittels Shearografie, die auf einer Verformungsmessung beruht, kann durch Anlegen eines leichten Unterdrucks an die zu untersuchenden Probekörper durchgeführt werden. Das Phasenbild zeigt Unterschiede zwischen unmanipulierten, dichten Verpackungen und undichten Behältern. Trotz simultaner Prüfung mehrerer Verpackungen ist durch das bildgebende Verfahren eine eindeutige Zuordnung der Ergebnisse möglich. Zudem arbeitet die Shearografie völlig berührungslos. Untersuchungen an Proben unterschiedlicher Leckrate zeigen darüber hinaus, dass nicht nur eine Unterscheidung zwischen dicht und undicht möglich ist, sondern auch Unterschiede im Phasenbild zwischen Proben unterschiedlicher Leckrate sichtbar werden. Eine automatisierte Auswertung der Bilddaten ist mit der Methode der mittleren lokalen Standardabweichung möglich und erlaubt bereits wenige Sekunden nach Anlegen des Unterdrucks eine Unterscheidung zwischen Proben unterschiedlicher Leckrate.

## Ultraschallprüfung in automatisierten Industrieanlagen

[A. Szewieczek](#)<sup>1</sup>, [F. Beusse](#)<sup>1</sup>, [D. Ilse](#)<sup>1</sup>, [T. Reinelt](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hillger NDT GmbH, Braunschweig

In modernen Industrieanlagen werden zahlreiche Komponenten unterschiedlicher Hersteller eingesetzt, welche im Rahmen der Industrie 4.0 Entwicklung zunehmend miteinander vernetzt werden. Hierfür stehen unterschiedliche, teilweise zueinander inkompatible Kommunikationsprotokolle und -Standards zur Verfügung. Für die Anwendbarkeit in NDT Systemen ist die Interoperabilität verschiedener Standards (neben Anforderungen an Echtzeitfähigkeit, Stabilität und Datensicherheit) ein wichtiger Kostenfaktor bei der Auswahl geeigneter Komponenten.

Der Beitrag stellt Lösungen der Hillger NDT GmbH für den Einsatz unserer Ultraschallprüftechnik in automatisierten Industrieanlagen vor. Durch den modularen Aufbau der Systemarchitektur werden verschiedene Prüfverfahren unterstützt. Zur Sicherung und Auswertung der Daten stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung. Das System ist für individuelle Anforderungen unserer Kunden anpassbar und erweiterbar.

## Qualifizierung und Zertifizierung von ZfPBau-Prüfpersonal

[S. Feistkorn](#)<sup>1</sup>, D. Algernon<sup>2</sup>, R.W. Arndt<sup>3</sup>, G. Ebell<sup>4</sup>, M. Friese<sup>5</sup>, C.U. Große<sup>6</sup>, R. Holstein<sup>1</sup>, E. Niederleithinger<sup>4</sup>, M. Schickert<sup>7</sup>, S. Schulze<sup>8</sup>, A. Taffe<sup>9</sup>, A. Walther<sup>10</sup>, J. Wolf<sup>11</sup>, A. Zoëga<sup>12</sup>, M. Zwanzig<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DGZfP Ausbildung und Training GmbH, Berlin; <sup>2</sup> SVTI, Wallisellen, Schweiz; <sup>3</sup> FH Erfurt;

<sup>4</sup> BAM, Berlin; <sup>5</sup> Deutsches Zentrum für Schienenforschung (DZSF), Dresden; <sup>6</sup> TU München;

<sup>7</sup> MFPA, Weimar; <sup>8</sup> hupfer ingenieure Bauwerksuntersuchungen GmbH, Hamburg; <sup>9</sup> HTW

Berlin; <sup>10</sup> kiwa GmbH, Berlin; <sup>11</sup> DB Engineering & Consulting GmbH, Bremen; <sup>12</sup> TFI Aachen

Die zerstörungsfreie Prüfung, insbesondere von Betonbauteilen, nimmt im Bauwesen eine zunehmend wichtige Rolle (ZfPBau) ein. Der Einsatz der unterschiedlichen Prüfverfahren ist unter anderem erforderlich, wenn Informationen über die innere Konstruktion, eine (schadensbedingte) Zustandsbewertung oder Angaben zu Materialeigenschaften benötigt werden.

Zuverlässigkeit sowie Messunsicherheit und damit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse hängen neben den spezifischen Randbedingungen, der Prüfausrüstung und der Prüfanweisung wesentlich vom Prüfpersonal ab, welches die Prüftechnik anwendet und die Ergebnisse aus- und bewertet. Um eine hohe Aussagesicherheit bei der zerstörungsfreien Prüfung von Bauteilen sicherzustellen und die Unsicherheit durch das Prüfpersonal auf ein Minimum zu reduzieren, ist eine strukturierte und einheitliche theoretische und praktische Schulung des Prüfpersonals unerlässlich.

Um diese Lücke zu schließen, hat der Unterausschuss Ausbildung (UA-A) des Fachausschusses ZfP im Bauwesen der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) in den letzten Jahren an der Entwicklung eines einheitlichen Ausbildungsstandards für die ZfPBau gearbeitet.

Gemeinsam mit dem zuständigen Arbeitsausschuss NA 062-08-21 AA des DIN-Normenausschusses Materialprüfung (NMP) wurde die nationale Norm DIN 4871 „Zerstörungsfreie Prüfung Qualifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau)“ entwickelt und im September 2022 veröffentlicht. Darüber hinaus ist eine weitere Norm DIN 4873 „Zerstörungsfreie Prüfung Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau)“ in Vorbereitung.

Im Rahmen dieses Vortrages wird ein Überblick über die Normungsaktivitäten, die Konzepte der beiden Normen und ihre Verbindungen zur ISO 9712 sowie zu anderen Normen vorgestellt. Weiterhin wird ein erster Ausblick auf ein mögliches Schulungsangebot gegeben.

## Entwicklung eines Betonprobekörpers zur Qualitätsbewertung zerstörungsfreier Prüfverfahren

F. Dethof<sup>1</sup>, A.P. Castro Cabeza<sup>1</sup>, S. Keßler<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg

Im Rahmen des WIPANO-Projektes normPOD wird eine Vornorm zur Durchführung probabilistischer Zuverlässigkeitsbewertung für zerstörungsfreie Prüfverfahren entwickelt. Diese Vornorm strebt eine Allgemeingültigkeit für alle Anwendungsbereiche an, wie z. B. die Metallinspektion oder dem Bauwesen. Für den Anwendungsfall im Bauwesen wird darin beschrieben, nach welchen Kriterien ein Betonprobekörper zur Durchführung einer probabilistische Qualitätsbewertung von ZfP-Verfahren entworfen werden kann (DoE). Maßgebliche Einflussgrößen für das Design des Probekörpers sind zum einen das angewendete Prüfverfahren sowie die Prüfsituation (z. B. Inspektion einer Tunnelinnenschale), die mit dem Testobjekt nachempfunden werden soll. Aus der Prüfsituation ergeben sich zumeist auch Randbedingungen zur verwendeten Betonrezeptur und dem Bewehrungsgrad. Die Herstellung künstlicher Defekte, z. B. Kiesnester, wird ebenfalls in der Vornorm beschrieben. Eine große Herausforderung bei der Herstellung eines Probekörpers zur Qualitätsbewertung zerstörungsfreier Prüfverfahren ist es, die Größe und Tiefe der implementierten Defekte so abzuschätzen, dass ihre Detektion weder trivial noch unmöglich ist. In dieser Arbeit wurden daher numerische Simulationen genutzt, um diese Abschätzungen vor Anfertigung des Probekörpers zu treffen. Der angefertigte Betonprobekörper wurde für die Qualitätsbewertung der Ultraschall- und Impakt-Echo-Prüfung konzipiert, wobei aufgrund der gewählten Dimensionen der Fokus auf der Ultraschallprüfung lag. Aus den numerischen Simulationen konnte das Messergebnis qualitativ vorhergesagt werden und hat sich damit als gutes Hilfsmittel für die Konzeption zukünftiger Probekörper erwiesen.

## Erste Ergebnisse mit einem mehrkanaligen, ultrabreitband Radar-Abbildungssystem

[F. Bonitz](#)<sup>1</sup>, M. Schickert<sup>1</sup>, B. Müller<sup>1</sup>, A. Ulanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Materialforschungs- und -prüfanstalt (MFPA) an der Bauhaus-Universität Weimar

Radar (oder Georadar) ist ein etabliertes Verfahren zur Untersuchung von Stahlbetonbauteilen, Fahrbahnen und Böden und wird zur Lokalisierung von Bewehrung, Spannkämen, Schichtungen und verborgenen Objekten eingesetzt. Der übliche Sensoraufbau besteht aus bistatischen Sender-Empfänger-Kombinationen in einem gemeinsamen Gehäuse. Mehrkanalige Anordnungen werden bisher für Bodenuntersuchungen eingesetzt und dazu verwendet, parallel getrennte Spuren entlang linearer Aperturen in Bewegungsrichtung aufzuzeichnen, um Arbeitsaufwand zu sparen.

Ein neu entwickeltes Mehrkanal-Radar-Messsystem wurde für kohärente Abbildungsverfahren konzipiert, wie sie bisher z. B. im Ultraschallbereich angewendet werden. Das System besteht aus einem universellen Radarsystem sowie einem modularen Antennensystem. Das Zeitbereichs-Radarsystem enthält 24 Sender- und 48 Empfangskanäle, die als Ultra-Wide-Band-(UWB)-Kanäle mit einer Bandbreite bis 5 GHz ausgelegt sind, und arbeitet vollständig parallel. Durch die Verwendung von Pseudo-Rauschfolgen wird ein großer Dynamikbereich erreicht. Das Antennensystem besteht derzeit aus 24 Modulen mit je einer aktiven Sender-Empfänger-Kombination. Die Antennenmodule können zu linearen oder planaren Arrays kombiniert werden.

Im Beitrag werden das Radar-Abbildungssystem und erste Anwendungen an Testkörpern präsentiert. Es werden die Transmissions- und Reflexionsanordnung der Antennenarrays, die gemessenen Rohdaten und Ergebnisse der Transmissionstomografie vorgestellt.

## Herausforderungen bei der zerstörungsfreien Untersuchung mittels Ultraschall von Gesteinsblöcken im Bereich des Kulturerbes

B. Maier<sup>1</sup>, A.G. Hamza<sup>2</sup>, A. Ramirez-Pinero<sup>1</sup>, J. Kollofrath<sup>1</sup>, K. Taie<sup>3</sup>, O. Popovych<sup>1</sup>, T. Schumacher<sup>4</sup>, M. Elkarmoty<sup>2</sup>, H. Helal<sup>2</sup>, C. Große<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität München, Lehrstuhl für Zerstörungsfreie Prüfung, München;

<sup>2</sup> Department of Mining, Petroleum, and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Cairo University, Giseh, Ägypten; <sup>3</sup> Rock Engineering Laboratory, Faculty of Engineering, Cairo University, Giseh, Ägypten; <sup>4</sup> Civil and Environmental Engineering, Portland State University, Portland, USA

Im Hinblick auf die Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen sind die meisten Verfahren und Sensoren optimiert für Untersuchungen von Stahl- oder Spannbetonbauteile. Das ist durchaus gerechtfertigt, da der Großteil der Bauwerke im Ingenieur-, Hoch- und Tiefbau aus diesen Materialien aufgebaut sind.

Bei Untersuchungen im Bereich des Denkmalschutzes bzw. generell an historischer Bausubstanz müssen diese Techniken meist für Mauerwerk und Gesteinsblöcke adaptiert werden. Zwar trifft man dabei auch häufig auf Kompositbauweisen beispielsweise aus Stein mit Holz, jedoch sollen in diesem Beitrag ausschließlich Herausforderungen diskutiert werden, die bei der Untersuchung von Gesteinsbauwerken (Mauerwerk mit Blockfugen) auftreten. Dabei werden Fragestellungen diskutiert wie die Bestimmung der Geometrie und der Gesteinsblockdicke sowie der Beschaffenheit von Fugen. Besonders häufig sollen zerstörungsfreie Prüfverfahren prüfen, ob Risse oder Fehlstellen in den Gesteinsblöcken vorhanden sind und ob Degradationsprozesse aktiv sind. Der Vortrag konzentriert sich dabei auf das Ultraschallverfahren und beschreibt die Vor- und Nachteile hinsichtlich anderer Techniken wie Radar und Impakt-Echo am Beispiel von Mauerwerk mittelalterlicher Burgen in Deutschland sowie der Pyramiden von Giseh in Ägypten.

## Entwicklung eines modifizierten IQI-Standards für additiv hergestellte (AM) metallische Strukturteile und die Ermittlung relevanter Bildgüteparameter für die digitale Röntgentechnik

[S. Neuhäusler](#)<sup>1</sup>, A. Fischersworing-Bunk<sup>1</sup>, J. Spachtholz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MTU Aero Engines, München

Bei der additiven Herstellung von metallischen Strukturteilen kann es prozessbedingt zu AM-typischen Fehlstellen kommen. Charakteristisch für solche Fehlstellen ist ihre abgeflachte Defektgeometrie.

Die Häufigkeit des Auftretens von Bindefehlern (LoF Lack of Fusion) hängt von Prozessparametern und Maschinentyp ab.

Eine effektive zerstörungsfreie Volumenprüfung ist daher von entscheidender Bedeutung. CT ist der sog. Goldstandard, stellt jedoch bei größeren Ni-Komponenten sowie bei ausgedehnten bionischen Strukturen eine technische und wirtschaftliche Herausforderung dar. Für Gussteile werden standardmäßig Image Quality Indicators (IQI) verwendet. Die IQI sind u. a. standardisiert in ASTM-E1025-18: Standard Practice for Design, Manufacture, and Material Grouping Classification of Hole-Type Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiography. Diese können jedoch nicht ohne weiteres für metallische AM-Bauteile zum Bildgütenachweis verwendet werden.

Um AM-Bauteile mit 2D- $\mu$ F-Röntgen prüfen zu können bestand der Bedarf geeigneter IQIs zu entwickeln und idealerweise zu standardisieren.

Es wurden über 100 LoF-Defekte mit manipulierten Prozessparametern erzeugt und charakterisiert. Durch hochauflösende  $\mu$ F-CT-Scans wurden die LoF in ihrem Volumen dargestellt und klassifiziert.

Eine quaderförmige Darstellung von LoF wird aus der Regressionsanalyse des Durchschnitts abgeleitet.

Die so abgeleitete quaderförmige Ersatzfehlergröße (Cuboid-Type-IQI) kann in Standard-IQIs (Hole-Type-IQI) oder direkt in Bauteile eingebracht werden. An diesen Ersatzfehlern können die erforderlichen Mindest-Bildgüteparameter für das digitale Röntgen (SNR-Normiert; CNR) ermittelt werden.

Dieser Beitrag diskutiert einen Vorschlag zur Weiterentwicklung des Hole-Type-IQI-Standards für charakteristische AM-Defekte (LoF). Eine Möglichkeit zur Herstellung von Cuboid-Type-IQIs sowie die Ermittlung und Festlegung der Bildgüteparameter für die digitale Röntgenprüfung werden gezeigt.





In der Schweizerischen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung sind über 140 Schweizer Firmen und 75 Einzelmitglieder vertreten.

### Leistungsangebot

- Ausbildung:** Ausbildung und Qualifizierungsprüfungen in den Stufen 1 und 2 der gängigen Zerstörungsfreien Prüfverfahren (ET, MT, PT, RT, UT, VT) Grundlagenprüfung Stufe 3 und Qualifizierungsprüfungen Stufe 3 in den Prüfverfahren MT, PT und VT
- Zertifizierung:** Erteilung von europaweit anerkannten Zertifikaten für ZfP-Personal nach SN EN ISO 9712 auf Grund der Akkreditierung nach SN EN ISO/IEC 17024 (Akkreditierungsnummer SCESe 0018)
- Information:** Informationsorgan (ZfP-Zeitung) gemeinsam mit der DGZfP und der ÖGfZP, Vortragsabende im Winterhalbjahr
- Internationale Zusammenarbeit:** Mitglied in der EFNDT und im ICNDT
- Normung:** Intensiver Kontakt zur Schweizerischen Normenvereinigung
- Kontaktadresse:** SGZP  
Schweizerische Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung  
CH-8600 Dübendorf  
E-Mail: office@sgzp.ch

## Untersuchung des Fließverhaltens von Kunststoffen im Hotend eines Extruders für den 3D Druck mittels Röntgendurchstrahlung

J. Ehrler<sup>1</sup>, M. Kornely<sup>1</sup>, J. Kattinger<sup>1</sup>, T. Schaible<sup>1</sup>, M. Kreuzbruck<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

Die additive Fertigung hat sich im 21. Jahrhundert als das Verfahren zur Herstellung von Prototypen und Kleinstserien etabliert. In der Kunststoffindustrie wird neben anderen 3D-Druckverfahren auch das Fused Filament Fabrication (FFF) eingesetzt; auch als Strangablegeverfahren bekannt. Beim FFF wird ein Kunststoff-Filament in einer Düse aufgeschmolzen und das Bauteil durch Ablegen eines extrudierten Strangs Schicht für Schicht aufgebaut. Wie bei allen Fertigungsverfahren wird auch hier ständig versucht, den Prozess durch Modellierung und Simulation weiter zu optimieren. Im Falle des FFF-Prozesses besteht ein Interesse daran, den Aufschmelz- und Extrusionsmechanismus besser zu verstehen, um das volle Potenzial des Prozesses auszuschöpfen.

Die Röntgendurchstrahlungsprüfung ermöglicht es, während der Strangextrusion die sich ausprägenden Geschwindigkeitsprofile in der Düse zu untersuchen, ohne den Prozess selbst zu beeinflussen. Mit einem optimierten Versuchsaufbau und angepassten Werkstoffen der Düse ist es erstmals möglich das Strömungsprofil im Hotend eines Filamentextruders für den FFF-Prozess in Echtzeit darzustellen. Das Hotend ist dazu aus einem Stück Aluminium gefertigt. Um einen Kontrast im Strömungsprofil der Düse zu erzeugen, wurde ein Polystyrolfilament mit und ohne feinverteilten Wolframpartikeln mit einem maximalen Volumenanteil von 1 % vol eingesetzt. Die Extrusionsgeschwindigkeiten wurden variiert und die resultierenden Geschwindigkeitsprofile analysiert. Diese Methode ermöglicht es, den Prozess der Materialextrusion besser zu verstehen, Simulationen zu validieren und künftig auf die Extrusionsgeschwindigkeit angepasste Düsen zu entwickeln.

## **EM-ReSt.: Elektromagnetische Prüfmethode zur in-line Prüfung von remanenter Spannung und Microrissen in den Lagen bei der Metall Additiven Fertigung mit dem Ziel der Vorbeugung von Fertigungsfehlern**

[J. Hansen](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ETher NDE Limited, St.Albans, Großbritannien

Die Metall Additive Fertigung oder das Auftragschweißen (Metal Additive Manufacturing) (AM) ist eine Fertigungsmethode zur schnellen Fertigung von Prototypen oder kleinen Serien aus Metall, und beinhaltet erhebliche Vorteile für Industriebranchen, in denen die schnelle Herstellung von qualitativ hochwertigen und angepassten Komponenten mit komplexer Struktur von essenzieller Wichtigkeit ist. Die Qualitätsanforderung an die durch AM hergestellten Komponenten, sind, per Definition, hoch, denn sie müssen den speziellen Spezifikationen und Standards der Anwender gerecht werden. Während der unterschiedlichen Additiven Fertigungsmethoden wie z. B. selektives Laserschmelzen (SLM), Elektronenstrahlschmelzen (EBAM) und Lichtbogendrahtauftragschweißen (WAAM) können remanente Spannung in einer Metalllage oder Microrisse nach der Herstellung zu irreversiblen Schaden und Versagen von Komponenten führen. Sich wiederholende Fehler bei der Materialberechnung oder Parameter-Einstellung führen zu kostspieligen Verlusten.

Es ist der komplexen Natur des additiven Fertigungsvorgangs geschuldet, dass nicht alle ZfP-Methoden geeignet oder effektiv genug sind, um remanente Spannung und andere Herstellungsfehler in-line zu detektieren. Die neue EM-ReSt.-Prüfmethode kann als Add-On mit in den AM-Prozess eingeführt werden. Die EM-ReSt.-Methode kombiniert EMAT- und Wirbelstrommessverfahren. Das Prinzip wird durch das Auswerten der kumulativen Daten unterstützt, um schon vor der Produktion hervorsagen zu können, wo mögliche Anomalien im Fertigungsteil während der Additiven Fertigung auftreten könnten. Es ist vorgesehen, ein digitales Modell zu erstellen, dass die passendste AM Methode für die bestimmte Form und Komplexität eines Bauteils berechnet, um maximale strukturelle Qualität der AM-Bauteile zu ermöglichen.

*(Der Vortrag wird auf englisch gehalten.)*

## CT-Prüfung für verbessertes Laserauftragsschweißen

[N. Brierley](#)<sup>1</sup>, K. Chrzan<sup>1</sup>, O. Günnewig<sup>1</sup>

<sup>1</sup> diondo GmbH, Hattingen

Im Zuge des vom BMBF gestützten ProSLAM Förderprojekts bemüht sich diondo, zusammen mit den Projektpartnern Fraunhofer ILT, Precitec, BCT, Resolto und Point 8, um die umfangreiche Weiterentwicklung des Laserauftragsschweißens (LMD). Eine deutlich höhere Prozesseffizienz und Zuverlässigkeit soll so gewährleistet werden, was auch den Endanwendern (assoziierte Partner Airbus, Isar Aerospace, Toolcraft & Mercedes-Benz) im Projekt zugutekommen soll. Einerseits wird die Anlagentechnik mit zusätzlicher Sensorik erweitert, andererseits werden die Prozessdaten, die während des LMD-Prozesses gesammelt werden, mit Edge- und Offline-KI (künstlicher Intelligenz), analysiert, um so die Prozesssteuerung zu optimieren. Der Fokus von diondo liegt dabei auf der Ertüchtigung der Röntgen Computer Tomographie (CT) Prüfung, die als unterstützendes Sensorsystem agiert. Die Aufgabe besteht darin, einen optimierten und reibungslosen Abgleich zu den Prozessdaten zu ermöglichen, zum einen durch das Sammeln optimierter Scandaten, zum anderen durch die optimierte Aufbereitung der gesammelten Daten. Die Arbeiten in beide Richtungen lassen sich auch dem Bereich NDE 4.0 zuordnen, da u. a. der digitale Zwilling der CT-Prüfung genutzt wird.

Der Beitrag wird eine Übersicht zu den Fortschritten im Projekt präsentieren.

## Generisches Framework für akustische Methoden zur Überwachung industrieller Fertigungsprozesse

T. Schlech<sup>1</sup>, F.F. Linscheid<sup>1</sup>, M. Achzet<sup>1</sup>, C. Baumeister<sup>1</sup>, Q.R. Luong<sup>1</sup>, B. Brück<sup>1</sup>, M.G.R. Sause<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universität Augsburg

Digitale Technologien in der Produktion zeigen gerade im Fall komplexer Fertigungsprozesse großes Potential und gewinnen daher zunehmend an Bedeutung. Um die sich daraus ergebenden Möglichkeiten nutzen zu können, ist die Datengewinnung durch sensorische Überwachung der jeweiligen Prozesse unerlässlich. Neben der reinen Aufzeichnung stellt besonders die automatisierte Weiterverarbeitung der Daten einen wichtigen Schritt für den erfolgreichen Einsatz von Prozessüberwachungssystemen in einem industriellen Umfeld dar. Im Rahmen der vorgestellten Arbeit werden Sensorsysteme zur Überwachung verschiedener industrieller Prozesse eingesetzt. Der Schwerpunkt liegt dabei vor allem auf akustischen Methoden, wie z. B. der Körperschall- und Schallemissionsanalyse sowie Methoden der aktiven Ultraschallüberwachung. Der Einsatz der Messsysteme wird dabei für verschiedene Fertigungsprozesse aus den Bereichen Zerspanung, Kunststoffverarbeitung und Füge-technologien betrachtet. Ein wichtiger Aspekt ist neben der Erfassung auch die Analyse der Daten. Diese muss für die Anwendung in industriellen Prozessen voll automatisiert und entsprechend den Anforderungen ggf. in Echtzeit erfolgen. Da die betrachteten akustischen Methoden im Ultraschallbereich arbeiten, bilden diese aufgrund der großen Abstraten, im Vergleich zu vielen anderen Methoden zu Prozessüberwachung aktuell die anspruchsvollsten Anforderungen. Hierzu wird zurzeit ein generisches Framework zur Auswertung unterschiedlicher Prozessdaten entwickelt. Dies umfasst das echtzeitfähige Einlesen von Sensordaten, die Vorverarbeitung und Signalanalyse sowie die Interpretation der Daten basierend auf Methoden der künstlichen Intelligenz.

## Ultraschallbasierte Multizonenprüfung an Stabstahl mit einer in den Produktionsfluss integrierten vollautomatischen Phased Array Durchlaufprüfanlage

P. Albino<sup>1</sup>, T. Helfen<sup>1</sup>, S. Schmitz<sup>1</sup>, T. Würschig<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Waygate Technologies, Baker Hughes Digital Solutions GmbH, Hürth

Etablierte Standards in der Luft- und Raumfahrtindustrie schreiben eine Ultraschallprüfung von höchster Zuverlässigkeit und auf kleinste Defekte im gesamten Tiefenbereich des Materials vor. Charakteristische Referenzfehler hierbei sind Flachbodenbohrungen mit Durchmessern von unter einem Millimeter. Typischerweise werden dafür Tauchttechnik-Tanksysteme verwendet, die mit mehreren Sätzen von Prüfköpfen bestückt sind, deren Fokussierung jeweils einen bestimmten Tiefenbereich abdeckt. Allerdings sind solche Systeme in industriellen Anwendungen, die aus wirtschaftlichen Gründen eine hohe Durchsatzrate erfordern, auf Grund geringer Prüfgeschwindigkeiten und zeitaufwendiger Ein- und Auslegevorgänge eher ungeeignet. Zudem wirken sich die komplexe Mechanik und die hohen Kosten der eingesetzten Spezialprüfköpfe ungünstig auf die Wirtschaftlichkeit aus. Demgegenüber ermöglichen direkt in den Produktionsfluss eingebettete Durchlaufprüfanlagen mit Phased Array Technologie eine deutliche Produktivitätssteigerung. Basierend auf der Phased Array Technologie ist es möglich, durch Anwendung entsprechender Verzögerungsgesetze mit mehreren unterschiedlich fokussierten Schüssen eines virtuellen Prüfkopfs mehrere Tiefenbereiche optimiert abzudecken. Dies reduziert nicht nur die Anzahl der benötigten physikalischen Prüfköpfe, sondern ermöglicht es auch, den Einsatz deutlich teurerer Spezialprüfköpfe zu umgehen. Trotz der Geschwindigkeitsreduzierung durch die höhere Anzahl an Prüfschüssen im Vergleich zu einer Durchlaufprüfung ohne Multizonenauswertung bietet diese Art der Prüfung immer noch wesentlich höhere Durchsätze bei gleichzeitig weniger Personaleinsatz als die Prüfung mit Tauchttechnik-Tanks. Im vorliegenden Beitrag wird ein Inline-Prüfsystem für die integrierte Multizonenprüfung vorgestellt. Es basiert auf dem Design der in der Stabstahlprüfung etablierten ROWA Ux Plattform. Die Fehlernachweisbarkeit in verschiedenen Tiefenbereichen wird anhand von Messungen mit Referenzmaterial demonstriert. Es werden erreichbare Prüfgeschwindigkeiten bestimmt und systembedingte Randbedingungen hinsichtlich der Wiederholbarkeit diskutiert.

## Großflächige 24/7-Korrosionsüberwachung mit Geführten Wellen

T. Vogt<sup>1</sup>, D. Alleyne<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Guided Ultrasonics Limited, London, Großbritannien

Die sich weltweit wandelnden Ansprüche fordern neue Lösungen für die Prüfung mechanischer Integrität. Das Gefährdungspotenzial und die möglichen Folgen eines unvorhergesehenen Wanddurchbruchs auf Grund von Korrosion, der zur Freisetzung von Kohlenwasserstoffen führt, ist mit das schlimmste Gefährdungsbild eines jeden Betreibers.

Die ausschließliche Verwendung einer Risikobewertungen und interventionsbasierten Messungen, in Anbetracht zusätzlicher Erschwerung durch eingeschränkten Zugang zum Standort, aktuellen Reisebeschränkungen, hohen Einsatzkosten und Standortgefahren, reicht nicht aus, um Risikogebiete – insbesondere solche über oder in der Nähe von Gewässern zu schützen.

In dieser Präsentation werden neu gewonnene Erkenntnisse aus der Kombination von hochgenauen Punktmessungen mit Rohrintegritätsüberwachung von langen Rohren mittels fest installierter Sensoren, besprochen. Dies bietet eine ständige Überwachung kritischer Bereiche und ermöglicht eine fundierte Planung präventiver Wartung, um die Gefahr der Freisetzung von Kohlenwasserstoffen zu minimieren. Es werden reale Anwendungen besprochen, die die Planung der Platzierung von Sensoren und Kosten-Nutzen-Beziehungen beinhalten.

## Vom Applikationslabor zum Prüfdienstleister – Erfahrungen bei der Ultraschallprüfung von Rundstabmaterial im Durchmesserbereich 5-7 mm (KSR 0,5)

[K. Dickmann](#)<sup>1</sup>, K.P. Kankanti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Slickers Technology GmbH & Co. KG, Geldern

Slickers Technology versuchte in der Vergangenheit seine Kunden stets mit Demonstrationsversuchen im hauseigenen Applikationslabor von der Leistungsfähigkeit seiner automatisierten Prüfanlagen zur Rohr- und Stabstahlprüfung zu überzeugen. Seit nunmehr einem Jahr werden zusätzlich Lohnprüfungen für Rundmaterial bis zu einem Durchmesser von 25 mm angeboten und vom Markt nachgefragt.

Ein deutscher Hersteller hatte Probleme seine Chromstäbe von ca. 6 mm Durchmesser auf Kernfehler (KSR 0,5) und Randzonenfehler zeitgerecht prüfen zu lassen und drohte in Lieferverzug zu geraten. Slickers überzeugte durch Vorversuche im Applikationslabor an einer Teststange. Der Kunde platzierte einen ersten Prüfauftrag und schon wurde aus dem Vorführaufbau innerhalb eines Monats eine Prüfanlage mit Auflagetisch, Einlaufrollgang, Prüfbank mit SliRo25 Rotationsprüfmechanik und Auslaufrollgang mit Sortierfunktion. Inzwischen werden regelmäßig Prüfaufträge abgewickelt, wobei die besonderen Anforderungen zum einen im Nachweis der Testbohrungen bei Durchlaufgeschwindigkeiten von bis zu 20m/min liegen als auch in der Handhabung und der Wegverfolgung der zum Korrosionsschutz beöhlten Stangen. Zukünftig ließen sich auch noch höhere Durchlaufgeschwindigkeiten erzielen, dazu ist jedoch eine Optimierung der Synchronisierung der Prüfköpfe notwendig um die erforderliche Überdeckung der Prüfspuren sicher zu stellen. Im Vortrag werden die Anlagenbauteile ebenso vorgestellt wie typische Ergebnisse der US-Prüfung. Darüber hinaus werden die Anforderungen an die Wiederholgenauigkeit der Prüfung im Hinblick auf die Verfahrenseignung erläutert.



## **Roboterbasierende Schweißpunktprüfung – nahezu koppelmittelfreie, bildgebende Phased Array basierende Prüfung mit PHAsis, integriert und automatisiert durch ABB Robotics**

C. Köhler<sup>1</sup>, G. Vogt<sup>1</sup>, S. Berg<sup>2</sup>

<sup>1</sup>VOGT Ultrasonics GmbH, Burgwedel; <sup>2</sup>ABB AG Division Robotics, Friedberg

Stetige Innovationen und Überdenken bestehender Systeme und Prozesse sind für die Erfüllung der Unternehmensziele von Automobilkonzernen unerlässlich – auch für den Bereich der Qualitätssicherung. Im Rahmen der Qualitätssicherung von Punktschweißverbindungen sind die grundlegenden Aufgaben von Prüfprozessen die Unterstützung bei der Schweißparameternfestlegung, die Schweißergebnisüberwachung, die Prüfprozessoptimierung und damit die Reduzierung von Kosten und Produktionszeit.

Starre und manuelle Prozesse, wie sie noch in vielen Bereichen der Qualitätssicherung eingesetzt werden, basieren auf Laborbedingungen. Sie bauen auf allgemeinen Annahmen auf und sind ein generisches Verfahren ohne die Möglichkeit von Lernprozessen. Treffen diese, im Labor entwickelten Prozesse, auf die Produktionsrealität, stoßen sie an ihre Grenzen und verschenken wertvolles Effizienzpotenzial. Konventionelle Schweißpunktprüfverfahren werden stichprobenartig durchgeführt, vergleichen den Ist- mit dem Soll-Zustand und liefern bei einer Abweichung lediglich Informationen über einen vorhandenen Prozessfehler. Diese reine Information ist jedoch für eine intelligente Produktion nicht mehr tragfähig und erfordert eine Funktionserweiterung.

Ziel im Sinne von Industrie 4.0 ist in diesem Zusammenhang die Ursachenerkennung dieser Abweichungen, die Informationsbereitstellung in Echtzeit und die intelligente Reaktion des Systems. Künstliche Intelligenz stellt ein lernendes System zur Verfügung, das auf Basis einer kontinuierlichen Analyse von Produktionsparametern nicht nur vorausschauend Abweichungen von flexiblen Umgebungsbedingungen erkennen kann, sondern in einem weiteren Schritt auch selbständig Maßnahmen ergreift. Ein Beispiel ist die Erkennung von Schweißspritzern oder scharfkantigen Bereichen und der daraufhin automatisch eingeleitete Schleifvorgang vor der Prüfung.

Dieser Vortrag befasst sich mit der Entwicklung eines robotergesteuerten Moduls zur nahezu koppelmittelfreien Prüfung von Schweißpunkten in der Produktion mit innovativ eingesetzter Phased Array Technologie gemäß den Anforderungen von Industrie 4.0.

## Drohnenbasiertes Impact-Echo Messsystem für ZfPBau

C. Thurnherr<sup>1</sup>, A. Müller<sup>1</sup>, [D. Algernon](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SVTI Schweizerischer Verein für technische Inspektionen, Wallisellen, Schweiz

Das Forschungsprojekt Uncrewed Aerial Concrete Inspection System (UACIS) steht für die Einführung moderner und höchst leistungsfähiger Drohnentechnologie in die Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen (ZfPBau). Drohnen werden als Schlüssel zu Effizienz und Effektivität in der Zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) identifiziert. Drohnenbasierte Messsysteme ermöglichen es, auch in schwer zugänglichen Bereichen Inspektionen mit zerstörungsfreier Prüfung für die Bauwerksdiagnostik durchzuführen. Insbesondere für Infrastrukturbauten sowie Tragwerke in der Energietechnik, wie Brücken, Containments oder Kühltürme, gewinnen solche Inspektionen aufgrund der Altersstruktur immer mehr an Bedeutung. Während bereits einige Kamera-Drohnen für visuelle Inspektionen existieren, wurde der Bedarf für Systeme, welche den Einsatz von Kontaktprüftechniken erlauben, identifiziert. Das Ziel ist daher die Entwicklung drohnenbasierter Prüfsysteme für die Kontaktprüfung von Betonstrukturen. Das System basiert auf einer Entwicklerdrohnenplattform, welche genügend große Kontaktdrücke für mehrere Sekunden realisieren kann. Darauf aufbauend wurde die Entwicklung und Systemintegration eines drohnenbasierten Impact-Echo-Messarms realisiert. Der Beitrag zeigt den aktuellen Stand der Entwicklung im Bereich der mechanischen und elektrischen Entwicklung und der Softwareintegration sowie erste Messresultate.

## **Drohnenbasierte dynamische quantitative Infrarotthermographie in der energetischen Analyse von Gebäuden**

[P. Groesdonk](#)<sup>1</sup>, B. Kölsch<sup>1</sup>, N. Patel<sup>1</sup>, J. Estevam Schmiedt<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Jülich

Der Gebäudesektor ist neben den Sektoren Energie und Verkehr für 16 % der bundesweiten Treibhausgasemissionen pro Jahr verantwortlich. Es stellt eine Herausforderung dar, Gebäude großflächig energetisch zu vermessen, um Schwachstellen und mögliche Sanierungsoptionen aufzuzeigen.

Die in diesem Beitrag aufgezeigte drohnenbasierte berührungslose Messung der energetischen Eigenschaften von Gebäuden bietet das Potenzial einer schnellen, großflächigen und automatisierbaren Bestandsaufnahme. Diese kann für Entscheidungen im Zuge von Energieeffizienzverbesserungen und Sanierungen genutzt werden und auf diese Weise zu einer ressourceneffizienten Modernisierung des Gebäudebestands beitragen.

Unser Beitrag stellt das Prinzip der drohnenbasierten dynamischen quantitativen Infrarotthermographie sowie deren praktische Anwendung an einem exemplarischen Gebäudekomplex vor. Für die Thermographienaufnahmen werden mehrere Messflüge im Laufe einer Nacht durchgeführt. Auf Basis einer automatisierten Texturierung der entstandenen Bildserien der Gebäudeaußenhüllen auf ein zuvor erstelltes 3D-Modell des Gebäudekomplexes entsteht für jede Gebäudeoberfläche eine Zeitreihe der Oberflächentemperatur. Aus diesen Zeitreihen werden die Parameter eines dynamischen thermischen Widerstands-Kapazitäts-Modells der Gebäudehüllenbauteile errechnet und somit die notwendigen Daten für eine energetische Simulation dieser Bauteile generiert. Der Gebäudekomplex besteht aus vier Büro- und Laborgebäuden heterogener Alters- und Fassadenstruktur. Anhand der Ergebnisse dieser ersten großskaligen Anwendung möchten wir das Potenzial der unseres Wissens nach neuartigen Messmethode darstellen und weiteres Entwicklungspotenzial diskutieren.

## Hybridprüfung – Induktionsthermografie als Ergänzung zur klassischen Wirbelstromprüfung

I. Jakobi<sup>1</sup>, M. Hauptvogel<sup>1</sup>, H. Chojecki<sup>1</sup>, C. Šrajbr<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG, Reutlingen; <sup>2</sup> edevis GmbH, Stuttgart

FOERSTER sieht in der Induktionsthermografie eine ideale Ergänzung zur klassischen Wirbelstromprüfung. Materialien und Defekte haben vergleichbare Anforderungen, jedoch unterscheiden sich die geeigneten Prüfbereiche an einem Werkstück. Daher bietet eine Kombination der beiden Verfahren eine Lösung für die vollständige und automatisierte Prüfung von Komponenten.

Wirbelstromprüfung ist eine bewehrte und hochgradig entwickelte Methode zur Rissprüfung in metallischen Komponenten. Sie bietet preiswerte und effiziente Lösungen und kann dank ihrer Reproduzierbarkeit ideal für die Automatisierung verwendet werden.

Allerdings ist sie an Oberflächen gebunden die mit einer Sonde einfach abrastbar sein müssen, beispielsweise Zylinderflächen. Induktionsthermografie bietet hingegen einen geeigneten Ansatz, Risse in schwer zugänglichen Prüfbereichen zu detektieren. Dadurch können eine Vielzahl aufwendiger Geometrien untersucht werden, die zuvor nur durch das Magnetpulververfahren oder das Farbeindringverfahren prüfbar waren. Auch hier ermöglichen der hohe Kontrast der Rissmuster in den Bildaufnahmen und die Reproduzierbarkeit eine automatisierte Prüfung.

Hier stellen wir einen Ansatz vor, wie eine Hybridprüfung aus beiden Verfahren implementiert werden kann. Zu diesem Zweck konstruiert FOERSTER eine modulare Roboteranlage, in der Werkstücke sequenziell mit Wirbelstrom und Induktionsthermografie geprüft werden. Diese Anlage bietet uns die ideale Entwicklungsumgebung, um Applikationen für industrielle Linien zu realisieren und unseren Kunden in Zukunft eine vollumfängliche, automatisierte Rissprüfung anzubieten.

## **Vermeidung von Risiken bei Inspektionen und Überwachung in beengten Räumen (CSE) und EX Bereichen mit Hilfe von Robotern, Online Monitoring und VR/AR**

D. Petrecca<sup>1</sup>, M. Jocham<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dekra Visatec GmbH, Sulzberg

Die Inspektion von engen Räumen, toxischen oder explosiven Atmosphären und hochgelegenen Standorten ist ein gefährliches Unterfangen und stellt besondere technische und sicherheitstechnische Herausforderungen dar. Der Einsatz von modernsten Technologien gewährleistet eine vollumfängliche, wirtschaftliche und zeitnahe Inspektion.

Der DEKRA Ansatz besteht aus 3 Säulen.

1. Substitution von internen Untersuchungen durch externe Prüfungen und Online Monitoring
2. Digitalisierung (VR/AR) ermöglicht ein Training aller Beteiligten an wirklichkeitsgetreuen Modellen
3. Einsatz von Robotern, Drohnen und anderer Hochtechnologie

Vorteile einer Roboterinspektion von engen Räumen

- Zeit- und Kostenersparnis durch weniger Personaleinsatz und Eliminierung der Notwendigkeit von Gerüstbau
- Eliminierung potenzieller Gefahren für Personen, die in engen, explosiven oder hohen Räumen arbeiten
- Präzise und sichere Bewertung durch kosteneffiziente Drohnen- und Crawler-Technologien
- Sicherstellung der strukturellen und funktionalen Integrität Ihrer Tanks, Behälter und Pipelines
- Erfüllung aller internationalen Normen für gefährliche Umgebungen
- Reduzierung von Abfall und Leckagen, um die Umweltbilanz zu verbessern.

## Optimierung eines Sensornetzwerkes basierend auf geführten Wellen zur Zustandsüberwachung von Wasserstoffdruckbehältern

J. Heimann<sup>1</sup>, S. Mustapha<sup>2</sup>, B. Yilmaz<sup>1</sup>, A. Charmi<sup>1</sup>, B. Brence<sup>1</sup>, J. Prager<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; <sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, American University of Beirut, Libanon

Wasserstoff als flexibel einsetzbarer und leicht transportierbarer Energieträger bildet eine Schlüsselkomponente auf dem Weg zu einer klimaneutralen Energiewende. Zur Speicherung von gasförmigem Wasserstoff kommen bei stationären und auch mobilen Anwendungen meist Druckbehälter aus Verbundwerkstoffen zum Einsatz. Dabei ist für den Betrieb der Behälter die Gewährleistung der Sicherheit von großer Relevanz. Structural Health Monitoring (SHM) bietet einen innovativen Ansatz, um sowohl die Sicherheit als auch die Zuverlässigkeit der Druckbehälter zu gewährleisten und kritische Versagensfälle zu vermeiden. Zur kontinuierlichen Überwachung und Bewertung des Zustands eines Wasserstoffdruckbehälters wird in dem vorliegenden Beitrag eine aktive Methode präsentiert, die auf geführten Ultraschallwellen basiert. Dabei kommt das Pitch-Catch Verfahren zwischen Sender und Empfängern zur Überwachung der strukturellen Integrität zum Einsatz. Auf Grundlage des untersuchten Wellenausbreitungsverhaltens im Druckbehälter sowie der Geometrieigenschaften wird ein Sensornetzwerk aus piezoelektrischen Flächenwandlern (PZT) zur Abdeckung des zu überwachenden Bereichs entworfen. Ziel ist es mit Hilfe eines Optimierungsalgorithmus eine größtmögliche Abdeckung bei gleichzeitiger Minimierung der Anzahl der Sensoren zu erreichen. Zudem soll eine gleichmäßige und platzsparende Verteilung im Vordergrund stehen, so dass zukünftig weitere Messmethoden auf dem Druckbehälter angewendet werden können (z. B. durch akustische oder faseroptische Sensoren).

Das für die Anwendung optimierte Sensornetzwerk wird anschließend hinsichtlich der Robustheit bei der Schadenserkenkung und -lokalisierung durch Aufbringen von künstlichen Schäden evaluiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die künstlichen Schäden am Wasserstoffdruckbehälter nachgewiesen werden können.

## **„Connected Probe“ – ein Beispiel dafür, wie der Einsatz der Ultraschall-Phased-Array-Technologie eine Alternative zur sofortigen Abschaltung einer Wasserstoffanlage bietet. Brauchen wir ein Umdenken?**

F. Kirchner<sup>1</sup>, N. Marcial<sup>2</sup>, J. Meleró<sup>2</sup>, O. Bardoux<sup>3</sup>

<sup>1</sup> EKOSCAN, Hammelburg; <sup>2</sup> INTACT Integrity, Chalon-Sur-Saône, Frankreich;

<sup>3</sup> AIR LIQUIDE, Paris, Frankreich

Während einer Wiederholungsprüfung einer H<sub>2</sub>-Produktionslinie mit einem Ultraschall-Phased-Array-System wurden Anzeigen entdeckt, die auf Risse hinwiesen. Um eine Unterbrechung der Produktion zu vermeiden und gleichzeitig das Risiko zu minimieren, dass sich die Anzeigen unbemerkt ausbreiten, erarbeiteten die Teams von EKOSCAN INTEGRITY gemeinsam mit dem Betreiber eine geeignete Lösung zur Überwachung. Der Betrieb sollte aufrechterhalten werden, bis eine geeignete Strategie zur Behebung des Problems geplant, vorbereitet und umgesetzt werden konnte. Zu diesem Zweck wurde eine UT-PA-Sonde von EKOSCAN fest auf dem Bauteil installiert und mit einer kundenspezifischen UT-Board-Lösung von INTACT verbunden. Durch Fernzugriff auf das Inspektionssystem konnten in festen Zeitintervallen Messungen an der betroffenen Zone durchgeführt werden, um ein mögliches Wachstum zu erkennen. Es wird aufgezeigt, wie neue Technologien dazu beitragen, Ausfallzeiten zu verringern und welche grundlegenden Fragen sich aus diesem Projekt ergeben.

## Entwicklung eines referenzfreien, elektronischen Ultraschall-Prüfsystems für Faserverbundwerkstoffe

K. Tschöke<sup>1</sup>, T. Gaul<sup>1</sup>, L. Schubert<sup>1</sup>, H. Wittke<sup>2</sup>, F. von Dungern<sup>2</sup>, M. Cusic<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer IKTS, Dresden; <sup>2</sup> INVENT GmbH, Braunschweig; <sup>3</sup> AUCOTEAM GmbH, Berlin

Die steigenden ökologischen Anforderungen im Mobilitätssektor erfordern neben der Gewichtsreduktion auch alternative Antriebstechniken. Zur Umsetzung der Elektromobilität existieren sowohl batteriebetriebene als auch alternative Antriebskonzepte. Insbesondere der Wasserstoffantrieb und Leichtbau sind daher Märkte mit hohen Wachstumschancen. Die zentrale Komponente zur Speicherung des flüssigen Wasserstoffs im Fahrzeug ist der Drucktank, der immer häufiger als gewickeltes Faserkunststoffverbundbauteil hergestellt wird.

Die vorgestellten Ergebnisse des Verbundvorhabens CarbonSafe 2 (Förderkennzeichen: 16ME0119) adressieren eine kontinuierliche Zustandsüberwachung kritischer Bauteile wie Wasserstofftanks für Brennstoffzellen sowie Flüssiggasbehälter. Bisher verfolgte Ansätze Lambwellen-basierter Verfahren der Zustandsüberwachung gelten als vielversprechend bei der Bewertung strukturell relevanter Faserverbundmaterialien. Die eingesetzten Monitoringsysteme beruhen in der Regel auf dem Vergleich von zwei gemessenen Zuständen, dem Referenzzustand, der sog. Baseline, und dem jeweils aktuellen Messzustand. Daten von Referenzmessungen stehen jedoch nicht zwangsläufig bei jeder Überprüfung von Fahrzeugkomponenten zur Verfügung.

Die Entwicklung einer referenzfreien Herangehensweise hebt Systeme der Zustandsüberwachung auf ein höheres Leistungsniveau. Für referenzfreie Verfahren ist darüber hinaus die Entwicklung angepasster, multimodaler Wandler notwendig. Die Entwicklung wird durch Untersuchungen zur Zuverlässigkeit und Langzeitbeständigkeit der Wandler nach branchenüblichen Normen und Standards ergänzt, um einen Transfer der erzielten Ergebnisse zügig zu ermöglichen.





Für die Sicherheit von morgen:  
[www.dgzfp.de](http://www.dgzfp.de)

# PERSPEKTIVE

## WERKSTOFFPRÜFUNG



**DGZFP**  
AUSBILDUNG UND  
TRAINING GmbH

## Kombination von Laser-Ultraschall und Thermografie zur verbesserten Fehlercharakterisierung in CFK-Bauteilen

B. Reitinger<sup>1</sup>, K. Meirer<sup>1</sup>, N. Huber<sup>1</sup>, M. Günther<sup>2</sup>, S. Ayalur-Karunakaran<sup>3</sup>, E. Scherleitner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> RECENTD GmbH, Linz, Österreich; <sup>2</sup> University of Applied Sciences Upper Austria, Wels, Österreich; <sup>3</sup> FACC Operations GmbH, Ried im Innkreis, Österreich

Der Einsatz von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) ist in vielen Bereichen weit verbreitet. Besonders jedoch in der Luft- und Raumfahrt, wo eine Gewichtsreduktion ohne Kompromisse bei der Festigkeit oberste Priorität hat. Die Herstellung der meisten CFK-Sandwichbauteile für die Luft- und Raumfahrt erfordert jedoch meist mehrere Produktionsschritte und ist daher äußerst zeitaufwändig. Um dies zu verringern, konzentriert sich eine aktuelle Produktions-Innovation auf die Herstellung komplex geformter Bauteile in einem einzigen Arbeitsgang (one shot production).

Die Gewährleistung einer vollständigen Teilequalität durch eine zerstörungsfreie Prüfung ist nicht nur für die Einhaltung von Vorschriften, sondern auch für die vollständige Sicherheit des Bauteils während des Betriebs von größter Bedeutung. Dies ist jedoch bei diesen komplex geformten Produkten mit Standardmethoden wie der Wasserstrahl-Ultraschallprüfung aufgrund der schlechten Zugänglichkeit nicht oder nur mehr schwer möglich.

Im Projekt KombiPhoton werden Forschungsarbeiten mit einer Kombination aus Laser-Ultraschall und Thermografie an solchen komplexen Teilen durchgeführt, um eine vollständige Erfassung zu gewährleisten. Da die beiden photonischen ZfP Technologien auf unterschiedlichen physikalischen Mechanismen beruhen (Ultraschallwelle, thermische Diffusion) wird für diesen Vortrag eine Kombination der Messergebnisse in Bezug auf eine erweiterte Fehlercharakterisierung untersucht. Dieser Vortrag wird hauptsächlich den Laser-Ultraschall-Part betrachten und Ergebnisse der beiden ZfP-Methoden an verschiedenen Defekten zeigen.

Diese Arbeit wurde von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Rahmen des Forschungsprojekts „KombiPhoton“ (Vertrag #37479263) unterstützt.

## Fließfrontennachverfolgung in Hochdruck Resin Transfer Molding Werkzeugen mittels Phased Array Ultraschalluntersuchungen

[L. Littner](#)<sup>1</sup>, Y. Bernhardt<sup>1</sup>, M. Kreutzbruck<sup>1</sup>, R. Protz<sup>2</sup>, M. Gude<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart; <sup>2</sup> Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, Technische Universität Dresden

Bei der Herstellung von faserverstärkten Kunststoffen (FKV) mittels Resin Transfer Molding (RTM) können unterschiedliche charakteristische Defekte und Fehler auftreten, wie z. B. Faserfehlorientierungen und Faserwelligkeiten. Insbesondere beim Hochdruck RTM (HD-RTM) werden die Faserverschiebungen bei der Infiltration durch lokale Spitzen in der Fließgeschwindigkeit erzeugt. Mit zunehmender Wanddicke der FKV-Bauteile steigt die Wahrscheinlichkeit solcher herstellungsbedingter Defekte, was zu einer signifikanten Verringerung der mechanischen Eigenschaften führt. Um diesen Effekt zu minimieren bzw. zu vermeiden, muss der Herstellungsprozess gut beherrscht werden. Simulative Ansätze ermöglichen zwar eine grundlegende Auslegung des Formfüllprozesses, aufgrund der vielen Einflussgrößen kann hiermit das reale Verhalten nicht exakt abgebildet werden. Der Fokus dieser Arbeit liegt in der Fließfrontennachverfolgung in einem HD-RTM Werkzeug mittels Phased Array Ultraschall. Hierfür wurden Untersuchungen bei der Herstellung von Prüfkörpern aus glasfaserverstärktem Polyurethanharz (PU) mit einer Wanddicke von 10 mm und einer Faserorientierung von  $\pm 45^\circ$  durchgeführt. Im Konkreten wurde dabei ein Phased Array Ultraschallprüfkopf verwendet, mit dessen Hilfe über einen Zeitraum von 200 Sekunden einzelne Linienscans aufgenommen wurden. Durch unterschiedliche Orientierungen des Phased Array Prüfkopfs und somit der Linienscans konnte eine näherungsweise flächige Nachverfolgung der PU-Fließfront vorgenommen werden. Mit den Ergebnissen ist es möglich, die lokalen Fließgeschwindigkeiten des Matrixsystems bei der Formfüllung zu ermitteln, welche vor allem beim HD-RTM Verfahren einen maßgeblichen Einfluss auf die Entstehung von herstellungsbedingten Defekten haben. Zudem konnte der Verlauf der Fließfront abgebildet werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit können dazu genutzt werden, die Vorhersagequalität von simulativen Methoden zum Formfüllverhalten zu verbessern.

## Bauteilprüfung eines CFK-Hebelarmes mit Schallemissionsanalyse

B. Weihnacht<sup>1</sup>, A. Pietzsch<sup>1</sup>, E. Schulze<sup>1</sup>, O. Köchel<sup>1</sup>, M. Stephan<sup>1</sup>

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

Die Diagnose von Bauteilen aus kohlefaserverstärkten Kunststoffverbundwerkstoffen (CFK) auf innere Schädigungen kann mit unterschiedlichen zerstörungsfreien Prüfverfahren bewerkstelligt werden. Das hier betrachtete Verfahren der Schallemissionsanalyse misst akustische Wellen, die sich nach Entstehen eines Strukturschadens im Bauteil ausbreiten und von Sensoren am Bauteil erfasst und lokalisiert werden. Durch die Messung während des Belastungsversuches oder des Betriebs kann eine In-situ Messung durchgeführt werden, der Zustand des Bauteils direkt erfasst und ein Bruch durch eine rechtzeitige Betriebsunterbrechung verhindert werden.

Der hier vorgestellte Versuch wurde an einem Hebelarm aus CFK durchgeführt.

Auf dem Bauteil wurden 16 Schallemissionssensoren appliziert und mit Spannbändern fixiert. Die Ortung der Ereignisse (Events) erfolgte über 4 Ortungsebenen und im Rahmen der Auswertung wurden verschiedene Schallemissionsparameter betrachtet, so unter anderem die kumulierte Anzahl der gemessenen Schallemissionssignale (Hits), die georteten Schallemissionsereignisse (Events), die Burstenergien der Events sowie die gewichteten Peakfrequenzen der Events.

Der Versuch wurde bis zum Bruch des Bauteiles durchgeführt, wobei die Kraft in 10 kN-Schritten gesteigert und nach Erreichen des jeweiligen Maximums auf 1 kN entlastet wurde. Das Versagen des Hebelarmes trat bei 65,8 kN ein. Während des Versuchs stieg die Anzahl der Schallemissionssignale mit jeder neuen Laststufe an. Ungefähr die Hälfte der Signale konnte geortet werden. Im Bereich der sichtbaren Bruchstellen traten erhebliche Schallemissionen auf.

Das hier vorgestellte Projekt QuantCarbon wurde von der Sächsischen Aufbaubank unter der Antragsnummer 100393561 gefördert und mit den Projektpartnern IMA Dresden, Leichtbauzentrum Sachsen und cp.max verwirklicht.

## Kanalabgleichmethoden für die Anwendung in der Inline-Wirbelstromprüfung von multiaxialen Kohlenstofffasergelegen

H. Heuer<sup>1</sup>, D. Hofmann<sup>1</sup>, J. Michauk<sup>1</sup>, M. Oemus<sup>1</sup>, C. Pilz<sup>1</sup>, M. Pooch<sup>1</sup>, [M. Rake](#)<sup>1</sup>, M. Schulze<sup>1</sup>, T. Schulze<sup>1</sup>

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

Um multiaxiale Hochleistungskohlenstofffasergelege (sogenannte Non-Crimp-Fabrics) in voller Produktionsbreite zerstörungsfrei und fertigungsprozessintegriert prüfen zu können, wurde am Fraunhofer Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS) ein neuartiges Wirbelstromarraysystem entwickelt.

Aus der Verwendung des Arraykonzepts und der Anordnung der Sensoren innerhalb des Systems ergibt sich die Notwendigkeit einen Kanalabgleich durchzuführen. Hiermit ist die Einstellung des Messsystems im Sinne einer Null-Abgleichs-Messung gemeint, welche die Messwerte der Kanäle aneinander angleicht, sodass ein Fehler auf allen Kanälen die gleiche Signalamplitude und Phase bewirkt. Ohne einen an das anisotrope Kohlenstofffasergelege angepassten Kanalabgleich ist das Erkennen von fehlenden Faserbündeln in der verdeckten Lage des Geleges impraktikabel, da die Unterschiede zwischen Messwerten verschiedener Sensoren die durch den Defekt verursachten Fehlersignale im Wirbelstrombild verfälschen. Für den Kanalabgleich am anisotropen Material mussten daher, über die in der Norm dokumentierten Abgleichverfahren hinaus, neuartige Methoden entwickelt werden, welche im Vortrag erörtert werden.

## Standardisierte Archivierung von Ultraschall-A-Scans in DICONDE

[F. Leinenbach](#)<sup>1</sup>, B. Sprau<sup>1</sup>, C. Stumm<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

Um die voranschreitende Digitalisierung der ZfP im Sinne von NDE 4.0 zu erreichen stellen generische und standardisierte Datenformate eine wesentliche Säule dar. Diese erlauben einen herstellerunabhängigen Datenaustausch und gewährleisten die Verwendung von Datensätzen auch über Jahrzehnte hinweg. Ein mögliche Technologie, welche die Anforderungen an solche Datenformate erfüllt ist DICONDE. Auch wenn die Technologie in der Medizin und letztlich in der Zerstörungsfreien Prüfung bereits langjährige Verbreitung fand, sind die existierenden Standards der ASTM in Bezug auf die Archivierung von mehrdimensionalen Rohdaten nicht vollumfänglich definiert. Im Rahmen dieses Beitrags wird ein erster Entwurf zur standardisierten Speicherung von Ultraschallrohdaten (A-Scans) vorgestellt.

## Integration von ZfP-Ergebnissen in digitale Bauwerksmodelle

M. Schickert<sup>1</sup>, M. Artus<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Materialforschungs- und -prüfanstalt Weimar (MFPA Weimar), Weimar; <sup>2</sup> Bauhaus-Universität Weimar

Bei der Kombination mehrerer Prüfverfahren oder der wiederkehrenden Prüfung eines komplexen technischen Objekts ist es zunehmend effizient, die Ergebnisse der zerstörungsfreien Prüfungen (ZfP) in einem digitalen Modell zu speichern. In diesem Modell sind neben den ZfP-Ergebnissen auch die 3D-Geometrie des Objektes und semantische Informationen über Zusammenhänge und Abhängigkeiten der Teilobjekte enthalten. Durch die Kombination der verschiedenen Daten können die ZfP-Ergebnisse im Kontext visualisiert und für weitergehende Simulationen genutzt werden, die z. B. zur Wartungsplanung und Lebensdauervorhersage genutzt werden können.

Für digitale Bauwerksmodelle steht mit dem Prozess des Building Information Modeling (BIM) eine Struktur für die Organisation der Daten und die Aufgaben der beteiligten Akteure zur Verfügung. Das BIM-Modell kann genutzt werden, um die Zustandsdaten der Infrastruktur über den gesamten Lebenszyklus abzubilden und als digitalen Zwilling zu nutzen. Der Beitrag entwirft am Beispiel digitaler Bauwerksmodelle der Infrastruktur ein Gesamtbild von Messung, Interpretation, digitalem Bauwerksmodell, Nutzung und Visualisierung. Darauf aufbauend wird ein Workflow entwickelt, der die ZfP-Ergebnisse zusammen mit zusätzlichen Parametern der Planung, Messung, Auswertung, Interpretation und Qualitätssicherung in das Modell integriert. Wichtige Schnittstellen zwischen den einzelnen Schritten werden analysiert. Nach einer Diskussion von Möglichkeiten und Nutzen der Verwendung digitaler Modelle auch anhand von Beispielen werden die Schritte zu einer regelmäßigen Anwendung beschrieben.



## Intelligente IoT-Devices unter Einbeziehung zerstörungsfreier Prüfverfahren – Oder: Rapid Prototyping für Monitoring-Anwendungen

C. Weingard<sup>1</sup>, H. Theado<sup>1</sup>, P. Stopp<sup>1</sup>, S. Klein<sup>1</sup>, D. Koster<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

Das Internet of Things (IoT) hat prinzipiell die Vernetzung von physikalischen Objekten (Devices) mit dem Internet oder weiteren Netzwerken als Ziel. Die IoT-Devices können dadurch Daten einfach und ohne menschliches Eingreifen erfassen, verarbeiten und austauschen, wodurch automatisiert relevante Informationen aus der realen Welt dem Netzwerk zur Verfügung gestellt werden können. Die Zahl der im Einsatz befindlichen IoT-Devices steigt kontinuierlich und wird mittlerweile auf über 10 Mrd. geschätzt, mit steigender Tendenz. Neben den bereits etablierten Sensoren können IoT-Devices, ergänzt durch Methoden der zerstörungsfreien Prüfung, für neue Anwendungsgebiete verwendet werden. Im Rahmen des Vortrags wird die neu entwickelte Multimodale Autarke Sensorplattform MAUS vorgestellt. Das modular konzipierte Sensorsystem kann flexibel an die unterschiedlichsten Anwendungsszenarien adaptiert und erweitert werden. Das IoT-Device kann verschiedenste Sensorquellen miteinander fusionieren, dadurch aus Rohdaten relevante Informationen extrahieren und durch die Verwendung einer energieeffizienten Architektur auch ohne kabelgebundene Energieversorgung Monitoring-Aufgaben auszuführen. Die Nutzung verschiedener Kommunikationsschnittstellen ermöglicht eine einfache Anbindung an vorliegende Datenräume. Das Leistungsspektrum verspricht neben dem Einsatz in der Produktionsumgebung auch Anwendungsmöglichkeiten im Außenbereich sowie in schwer zugänglichen Bereichen oder lebensfeindlicher Umgebung. Einige Anwendungsbeispiele und verwendete Konfigurationsbeispiele werden im Rahmen dieses Vortrags vorgestellt.



## Impulsvortrag ZfP-Schulung 4.0

[G. Weidenbrück](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zeppelin Aviation & Industrial Service GmbH, Friedrichshafen

In der Corona-Pandemie wurden erstmalig ZfP-Schulungen partiell online angeboten. Was einst aus der Not geboren wurde, wird jetzt zur Tugend. Wo werden sich Online-Schulungen auch künftig als eine Schulungsform anbieten? Was ist ihr Vorteil, wo liegen ihre Grenzen? Wie sieht die ZfP-Schulung der Zukunft aus? Wir geben einen ersten Ausblick auf eine variantenreiche Schulungswelt der kommenden Jahre, mit all ihren Vorteilen und Herausforderung für Dozenten, Arbeitgeber sowie Arbeitnehmer.

## Wirbelstrombasierte Prüfung von Rohrleitungen mit Hilfe von kabelgebundenen Prüfsystemen

G. Scheer<sup>1</sup>, W. Kelb<sup>2</sup>

<sup>1</sup> TMT Test- und Maschinentechnik GmbH, Schwarmstedt; <sup>2</sup> Kontrolltechnik GmbH, Schwarmstedt

Lange Rohrleitungen werden in der Regel mit autarken Prüfsystemen, sogenannten Molchen, geprüft. Diese werden in die Leitung eingeschleust und dann im Medium mittransportiert. Doch auch Rohrleitungen in Pumpstationen, Verbindungsleitungen zwischen Tanks in Raffinerien und Tanklagern, Kühlwasserleitungen in Kraftwerken, Druckleitungen von Wasserkraftwerken und auch andere Leitungen in der industriellen und zivilen Infrastruktur verlieren im Laufe der Jahre ihre Integrität. Die Prüfung dieser Rohre erfordert eine andere Herangehensweise, die sich am besten mit kabelgebundenen Prüfsystemen lösen lässt. Diese Leitungen haben häufig nur einen einseitigen Zugang, sind mit engen Bögen und Abgängen versehen und weisen manchmal erhebliche Steigungen auf. Auch die Zugänglichkeit ist teilweise schwierig. Der Beitrag stellt die besonderen Herausforderungen bei der Prüfung dieser Rohre dar und zeigt realisierte Lösungen auf Basis der Wirbelstromprüftechnik.

## Wirbelstromprüfung von ferritisch-austenitischen Duplexwerkstoffen und Nickel mit Phasenauswertung in der Wärmetauscherrohrprüfung

B. Heutling<sup>1</sup>, A. Uebrig<sup>2</sup>, M. Awerbuch<sup>2</sup>

<sup>1</sup> GSI mbH, Niederlassung SLV Hannover, Hannover; <sup>2</sup> Delta Test GmbH, Hambühren

Bei der Prüfung von Wärmetauscherrohren sind die prüftechnisch etablierten Fälle diejenigen, die nicht-ferromagnetische Werkstoffe aufweisen, z. B. austenitische oder kupferbasierte Werkstoffe. Im Lauf der Jahre wurden bei Prüfung von ferromagnetischen Wärmetauscherrohren große Fortschritte gemacht hinsichtlich der Reduzierung der störenden hohen Permeabilität bis hin zur softwareseitigen Unterstützung der Prüfer bei der Signalauswertung im laufenden Prüfbetrieb. Die hartmagnetischen rostfreien ferritisch-austenitischen Duplexwerkstoffe wie z. B. 1.4462 oder der Super-Duplex 1.4410 (Alloy 2507, ASME SA789, S32750), dessen Korrosionsbeständigkeit noch besser ist, sind jedoch ein besonderer anspruchsvoller Fall. Gleiches gilt für Nickelrohre. Um die durch die Permeabilität dieser hartmagnetischen Werkstoffe hervorgerufenen Signalstörungen zu reduzieren, wurden besondere Sensoren entwickelt, die sich nach den Validierungen in der Entwicklungsphase bereits in ersten Einsätzen in der Wärmetauscherrohrprüfung bewährt haben.

Im Beitrag soll ein Überblick über die Eigenschaften, Möglichkeiten und Grenzen dieser Duplexsensoren gegeben und erste Ergebnisse hinsichtlich der oben genannten Werkstoffe vorgestellt werden.

## Portables akkubetriebenes Röntgensystem mit kleinem Brennfleck

S. Eckel<sup>1</sup>, M. Schmid<sup>1</sup>, B. Schreieck<sup>1</sup>, V. Alekseychuk<sup>2</sup>, A. Alekseychuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BASF SE, Ludwigshafen; <sup>2</sup> Vision in X industrial imaging GmbH, Berlin

Aufgrund mangelnder Alternativen ist die Gammadiagnostik trotz ihrer bekannten Nachteile, wie z. B. reduzierte Bildqualität bei dünnwandigen Bauteilen und den steigenden wirtschaftlichen Herausforderungen (Verfügbarkeit, Sicherung), immer noch die etablierte Technik in der mobilen Durchstrahlungsprüfung. Um diesen Nachteilen zu begegnen, wurde ein neuartiges mobiles Röntgensystem entwickelt. Das System, bestehend aus einer bipolaren Röhre, Spannungsversorgung und Energiespeicher, jeweils in kompakter Ausführung und modular aufgebaut, ermöglicht die stromversorgungsunabhängige Prüfung im betrieblichen Umfeld. Vorteile der konventionellen mobilen Röntgenprüfung sind mit den Vorteilen der Gammadiagnostik vereint. Im Beitrag werden die Komponenten und Spezifikationen der Neuentwicklung vorgestellt und ihre Praxistauglichkeit anhand von Beispielen aus der chemischen Industrie dargelegt. Besonders hervorzuheben ist der kleine Brennfleck, welcher in Kombination mit der kompakten Röntgenröhre auch bei Prüfklasse B einen reduzierten Abstand zwischen Strahlenquelle und Prüfgegenstand ermöglicht (aufgelegtes Prüfen). Dadurch ergeben sich insbesondere beim Prüfen kleinerer Durchmesser viele Vorteile, wie z. B. kleinere Kontrollbereiche, kürzere Belichtungszeiten und eine geringere Beeinflussung radiometrischer Füllstandsmessungen.

## Kombinierte Schadensanalyse und zerstörungsfreie Prüfung an einem Equipment der petrochemischen Industrie

[R. Malke](#)<sup>1</sup>, U. Baumgarten<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DEKRA Incos GmbH, Ingolstadt

Am Beispiel einer Kombination aus Schadensanalyse und zerstörungsfreier Prüfung wird die Kombination der beiden Methoden präsentiert. An einem Equipment in der petrochemischen Industrie wurden bei der UT-TOFD Prüfung großflächige unzulässige Anzeigen festgestellt. Der beschädigte Bereich wurde erneuert und der herausgetrennte Bereich war einer Schadensanalyse, unterstützt durch zerstörungsfreie Werkstoffprüfung zu unterziehen.

## **35<sup>th</sup> Anniversary of the German-Turkish Project (1988-1996) for Establishment of Welding Technology and Nondestructive Testing Research and Application Center**

C.H. Gür<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Middle East Technical University, Ankara, Türkei

The Welding Technology and NDT Research/Application Center (WTNDT) was established via a bilateral project between Turkey and Germany (1988-1996). It takes its legal entity from the Middle East Technical University (METU, Ankara). BAM-Berlin, DGZfP, and SLV-München actively participated in the project by providing training in Germany and sending short- and long-term German experts to METU. This Center has contributed to the Turkish industry in the training and certification of NDT specialists, welders, and welding engineers, and to the academy world with its MSc and Ph.D. studies since 1988. This paper presents the 35-year history of this Center.

## Aktivitäten zur Normung der Ultraschallprüfung

T. Heckel<sup>1</sup>, U. Schlengermann<sup>2</sup>, M. Schmitt<sup>3</sup>

Bundesanstalt für Materialforschung- und prüfung, Berlin; <sup>2</sup>Standards Consulting, Erfstadt;

<sup>3</sup>DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

Die Normungsarbeit ist ein kontinuierlich fortschreitender Prozess zur Entwicklung und Verstetigung des Standes der Technik mit hoher Bedeutung für die Funktionsfähigkeit unserer Wirtschaft im globalen Rahmen.

Die Entwicklung und Pflege der Regelwerke erfolgt hierbei durch Fachexperten in Normungsausschüssen auf internationaler (ISO), europäischer (CEN) und nationaler Ebene (DIN).

In allen drei Ebenen wird für den Bereich der Ultraschallprüfung das Sekretariat von DIN gestellt.

Die Arbeiten des ISO/TC 135/SC 3 Ultrasonic Testing auf internationaler Ebene und der CEN/TC 138/WG 2 Ultrasonic Testing auf europäischer Ebene werden auf nationaler Ebene im DIN-Arbeitsausschuss NA 062-08-23-AA Ultraschallprüfung gespiegelt.

Neben der Entwicklung neuer Normen, stellt die regelmäßige Überarbeitung der Regelwerke die Kernaufgabe der Normungsarbeit dar. Dies gilt insbesondere für die Überführung von nationalen in internationale Regelwerke und für die Harmonisierung von Regelwerken.

In diesem Beitrag werden das aktuelle Regelwerksportfolio zur Ultraschallprüfung und die zugeordneten Projektaktivitäten vorgestellt.

## Erarbeitung einer Norm für einen standardisierten Prozess zur probabilistischen Bewertung von Prüfverfahren

M. Schmitt<sup>1</sup>, D. Kanzler<sup>2</sup>, S. Maack<sup>3</sup>, F. Baensch<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin; <sup>2</sup>Applied Validation of NDT, Berlin;

<sup>3</sup>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP) wurde das Normungsgremium NA 062-08-28 AA Qualifizierung von zerstörungsfreien Prüfungen reaktiviert. Das Ziel der Reaktivierung ist die Erarbeitung einer Norm für einen standardisierten Prozess zur probabilistischen Bewertung von Prüfverfahren.

In der zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) führt die Ermittlung von Mess-/Prüfunsicherheiten von Prüfverfahren in normativer Hinsicht in Deutschland und Europa noch ein Schattendasein. Die Norm ISO IEC 17025 und auch der VDA Band 5 wurden zwar weiter in Richtung Messunsicherheit entwickelt, allerdings führt ihre Anwendung in der ZfP zu Problemen. Der Arbeitsausschuss NA 062-08-28 AA soll hier den Brückenschlag zwischen Messunsicherheit, objektiver statistischer Bewertung für ZfP-Verfahren und eine weitere Stärkung der probabilistischen Bruchmechanik erreichen. Geplant ist daher die Erarbeitung einer DIN-Norm, welche die Kriterien für eine korrekte Versuchsplanung, ein praktikables Vorgehen zur Bewertung der Prüfergebnisse und die mathematische Überführung in eine Zuverlässigkeitsaussage enthält. Es soll ein Leitfaden erstellt werden, der für ein möglichst breites Branchenspektrum eingesetzt werden kann, unabhängig von den Besonderheiten verschiedener Industriezweige.

Dargestellt werden das relevante Normungsgremium sowie der Hintergrund des zu erstellenden Dokuments.



## Ein Überblick über die Normung in der zerstörungsfreien Prüfung

M. Schmitt<sup>1</sup>, R. Casperson<sup>2</sup>, F. Baensch<sup>2</sup>

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

Normung und Standardisierung in der zerstörungsfreien Prüfung finden auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene statt. Durch die Übernahme von Leitungsfunktionen in diesen Gremien kann ein deutlicher steuernder Einfluss auf Themen und Inhalte der Normen genommen werden. Unabdingbar für den Erfolg ist zusätzlich das persönliche Engagement der Fachexpert\*innen in den nationalen Gremien und den europäischen und internationalen Arbeitsgruppen. Denn wer nicht normt wird genormt und muss letztlich Regeln verwenden, die andere entsprechend ihrer eigenen Interessen gestalten. Voraussetzung für die Teilnahme in europäischen und internationalen Normungsgremien ist die Mitwirkung in den entsprechenden nationalen Spiegelgremien der nationalen Normungsinstitute, welche die europäischen und internationalen Aktivitäten spiegeln und die Fachexperten für die Mitarbeit autorisieren.

Gezeigt werden die relevante Gremienstruktur auf internationaler Ebene (ISO/TC 135 Non-destructive testing, ISO/TC 44/SC 5 Testing and inspection of welds), auf europäischer Ebene (CEN/TC 138 Zerstörungsfreie Prüfverfahren), die Struktur der nationalen deutschen Spiegelgremien, das Zusammenspiel der Gremien, und die Einflussmöglichkeiten.

## Aktueller Stand der Normung in der Thermografie

M. Ziegler<sup>1</sup>, C. Šrajbr<sup>2</sup>, D. Müller<sup>3</sup>

<sup>1</sup>BAM, Berlin; <sup>2</sup>edavis GmbH, Stuttgart; <sup>3</sup>DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

Die Thermografie ist trotz ihrer ausgereiften wissenschaftlichen und technologischen Grundlagen ein noch relativ junges Mitglied in der Familie der zerstörungsfreien Prüfverfahren. Sie erschließt sich aufgrund einer Reihe von Vorzügen eine wachsende Anwendungsgemeinde. Für eine weitere Verbreitung insbesondere im industriellen Kontext spielen Normen, Standards und technische Regeln eine wichtige Rolle. In diesem Beitrag wird der aktuelle Stand der Normung in Deutschland vorgestellt. Wir zeigen, welche Normen und technischen Regeln es für die Thermografie in Deutschland und international gibt und wir wagen einen Blick in die Zukunft. Darüber hinaus lebt auch die Normierungsarbeit von der Beteiligung durch interessierte Kreise. Dies können industrielle und akademische Anwender\*innen, Hersteller\*innen von Geräten, Forschungseinrichtungen oder Dienstleistungsunternehmen sein. Sie können gern Ihre Bedarfe bezüglich Normierungsprojekten mitbringen und/oder direkt an die Autoren senden.

## Verifikation potentieller Defekte in kritischen Regionen von 3D-gedruckten Bauteilen mittels robotergestützter Mikro-Computertomographie

P. Dedyaeva<sup>1</sup>, K. Bliedtner<sup>1</sup>, F. Herold<sup>1</sup>

<sup>1</sup> VisiConsult X-ray Systems & Solutions GmbH, Stockelsdorf

Die Computertomographie (CT) wird häufig als zerstörungsfreie Prüfmethode in der Automobil- oder Luftfahrtindustrie eingesetzt, um die innere Struktur von sicherheitskritischen Teilen zu analysieren. Für die Qualitätssicherung von Metall-3D-Druck-Bauteilen werden Begleitbauteile für eine anschließende zerstörende Prüfung gedruckt. Dies steht in vielen Fällen dem wirtschaftlichen Einsatz von 3D-Druck Technologien, die als besonders energie- und ressourcenschonend gilt, im Weg. In der Herstellung von Metall-3D-Druck-Bauteilen, wo ein Pulverbettsschmelzverfahren verwendet wird, treten drei typische Fehlerarten auf: Poren, Einschlüsse oder Lack-of-Fusion-Fehler (LoF). 3D Drucker haben ein integriertes Überwachungssystem, welches hilft Hinweise darauf zu erkennen, wo ein Defekt entstanden sein könnte. Genau an jeder dieser verdächtigen Positionen wird das CT-System einen Region-of-Interest-Scan (ROI-Scan) durchführen.

Diese Studie untersucht im Rahmen des öffentlich geförderten Forschungsprojektes ENABL3D eine Methode zur Verifikation potentieller Defekte in den vom Überwachungssystem gefundenen kritischen Regionen. Hierfür wird ein Industrieroboter als Manipulator des Bauteils eingesetzt und eine kugelförmige Scantrajektorie verwendet. Zur Reduktion von Scanzeit und Optimierung der Durchstrahlbarkeit wird die Anzahl der Projektionen minimiert, sodass nur die Projektionsrichtungen verwendet werden, die den optimalen Informationsgewinn bieten.

Als Ergebnis wird gezeigt, dass dieser sogenannte Kugelscan geeignet ist, um relevante Defekte der kritischen Größenordnung sicher zu detektieren. Des Weiteren wird die minimale Anzahl an Projektionen bestimmt, die für eine hinreichende Defektrate genügt. Diese performante und robuste Methode ist somit für die Anwendung dieser Technologie insbesondere in stark regulierten Branchen wie der Medizin-, Luft- und Raumfahrtindustrie sehr gut geeignet.

## XaaS

[S. Buchmueller](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> VCxray Inspection Services GmbH, Sinsheim

Heutzutage sind Subscription oder Pay-per-use Modelle allgegenwärtig. Sogenannte Everything-as-a-service Modelle erlauben es Kunden nur für das zu bezahlen, was sie wirklich nutzen. Sie bieten maximale Flexibilität und Kostentransparenz. Als Grundlage sind digitale Prozesse notwendig, die auf Technologien wie Cloud Connectivity und Digitalisierung aufbauen.

XaaS ist die Evolution der Röntgenprüfung. X-Ray as a Service bietet Selbständigen, Dienstleistern bis hin zum Endkunden eine neuartige Plattform der CT-/Röntgenprüfung. Das System ermöglicht es seinen Nutzern einen schnellen und einfachen Zugang zur Welt der ZfP zu erlangen bzw. diesen zu erweitern ohne die Notwendigkeit eines eigenen Invests in Anlagen oder spezialisiertes Personal. Hierbei erfolgt die Umsetzung stets auf die Bedürfnisse des Kunden zugeschnitten und bietet eine neue Dimension der Möglichkeiten ungeachtet jeglicher Zeit- und Ortszonen.

In diesem Vortrag möchten wir Ihnen die Entstehung des Systems und dessen Erfolgsgeschichte näherbringen. Wir werden auf die technologischen Voraussetzungen und die möglichen Implementierungen eingehen. Entdecken Sie mit uns die Zukunft der ZfP. Wir freuen uns über zahlreiche Zuhörer.

# F-GZP



# QUALITÄT SCHAFFT SICHERHEIT

Die F-GZP ist die Fachgesellschaft der akkreditierten ZfP-Prüfstellen und das Exzellenzgremium der Prüfdienstleister innerhalb der DGZfP. Wir verstehen uns als Interessensgemeinschaft, Servicegemeinschaft und Wertgemeinschaft für unsere Mitglieder.

## Fachgesellschaft akkreditierter ZfP-Prüfstellen der DGZfP



DEUTSCHE  
GESELLSCHAFT FÜR  
ZERSTÖRUNGSFREIE  
PRÜFUNG e.V.

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](mailto:mail@dgzfp.de)

**Jetzt beitreten und von den gemeinsamen Vorteilen profitieren!**

[www.f-gzp.de](http://www.f-gzp.de)

## **XRnanotech – MicroCT Auflösungsstandard mit hohem Kontrast und Strukturen von 50 $\mu\text{m}$ bis 0.2 $\mu\text{m}$**

[A. Kubec](#)<sup>1</sup>, F. Döring<sup>1</sup>

<sup>1</sup>XRnanotech GmbH, Villigen-PSI, Schweiz

XRnanotech präsentiert sein neues Produkt im Bereich MicroCT Auflösungsstandards. Linienpaare mit einer Breite von 50  $\mu\text{m}$  bis zu 0.2  $\mu\text{m}$  auf einem einzelnen Target decken die meisten Anwendungsgebiete ab. Durch das hohe Aspektverhältnis und einer gesamten Strukturhöhe von mehr als 1.5  $\mu\text{m}$  können wir einen besseren Kontrast erreichen als viele andere Auflösungsstandards welche für diesen Bereich bereits auf dem Markt sind. Neben unserem Standard Design bieten wir unseren Kunden auch individuelle, und auf Ihre Herausforderungen optimierte Lösungen an.

## Anwendungen der Röntgenrefraktionstechnik zur zerstörungsfreien Charakterisierung von Keramiken und Verbundwerkstoffen

B.R. Müller<sup>1</sup>, A. Kupsch<sup>1</sup>, R. Laquai<sup>1</sup>, I. Serrano-Munoz<sup>1</sup>, G. Bruno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Die Brechung von Röntgenstrahlen (Röntgenrefraktion) an Grenzflächen zwischen Materialien unterschiedlicher Dichte ist analog zur Ablenkung von sichtbarem Licht an z. B. Glasoberflächen. Es gibt jedoch zwei wesentliche Unterschiede:

- a) konvexe Grenzflächen verursachen Divergenz (d. h. der Brechungsindex  $n$  ist kleiner als 1), und
- b) die Ablenkungswinkel sind sehr klein, und reichen von einigen Bogensekunden bis zu einigen Bogenminuten (d. h.  $n$  ist nahe bei 1);

Wie auch bei sichtbarem Licht ist die Ablenkungsrichtung der Röntgenstrahlen abhängig von der Orientierung der durchstrahlten Grenzfläche. Aufgrund dieser Eigenschaften eignen sich Röntgenrefraktionsmethoden hervorragend für:

- a) die Erkennung und Quantifizierung von Defekten wie Poren und Mikrorissen und
- b) die Bewertung von Porosität und Partikeleigenschaften wie Orientierung, Größe und räumliche Verteilung.

Wir zeigen die Anwendung der Röntgenrefraktionsradiographie (2,5D Technik) und der -tomographie (3D Technik) für die Untersuchung verschiedener Probleme bei in der Werkstoffwissenschaft und -technologie:

- a) Sintern von SiC-Grünkörpern
- b) Porositätsanalyse in Dieselpartikelfiltersilikaten
- c) Faser-Matrix-Haftung in Metall- und Polymermatrixverbundwerkstoffen
- d) Mikrorissbildung in Glaskeramik.

Wir zeigen, dass der Einsatz von Röntgenrefraktionsmethoden quantitative Ergebnisse liefert, die direkt als Parameter in Werkstoffmodellen verwendet werden können.

## Einsatz neuartiger, flexibler Magnetfeldsensoren für die elektromagnetische ZfP

A. Nicolicea<sup>1</sup>, M. Melzer<sup>1</sup>, M. Pelkner<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Die Magnetpulverprüfung ist eine weit verbreitete Prüfmethode für ferromagnetische Bauteile. Hierbei werden Oberflächenfehler wie Risse mit ferromagnetischem Pulver sichtbar gemacht, wodurch eine qualitative Bewertung des Bauteils ermöglicht wird.

Allerdings können die Anzeigen kaum zu einer quantitativen Bewertung herangezogen werden. Hierfür sind Magnetfeldsensoren nötig, die die Stärke der Streufelder messen, wodurch z. B. die Tiefe der Risse abgeschätzt werden kann. Bei kommerziellen Magnetfeldsensoren sind die sensitiven Elemente auf Platinen angebracht bzw. in eine Verkapselung integriert. Hierdurch erhöht sich der Abstand der Elemente zur Oberfläche und kleine Fehler können unter Umständen nicht mehr detektiert werden. Auch wird eine automatisierte Prüfung komplexer Geometrien durch die starren Sonden erschwert.

Um Streufelder von kleinen Fehlern in komplexen Bauteilen quantitativ bewerten zu können, validiert die BAM den Einsatz neuartiger, flexibler Magnetfeldsensoren. Hierbei sind die sensitiven Elemente auf flexiblen Folien aufgebracht und lassen sich verformen, wodurch sie auf viele mögliche Oberflächenformen appliziert werden können. Es wird ein geringerer Abstand der Elemente zur Oberfläche erreicht und Streufelder von kleinen Defekten können besser aufgelöst werden. Zudem verlieren die Sensoren durch Verformung weder ihre Sensitivität noch werden sie hierdurch zerstört. Dies macht diese Sensoren zu perfekten Kandidaten für die quantitative Bewertung von Rissstrefefeldern in komplex geformten, ferromagnetischen Bauteilen. Der Beitrag präsentiert die Charakterisierung der Sensoren sowie erste Versuche an komplexen Bauteilen. Schließlich wird eine Einschätzung hinsichtlich weiterer Anwendungsmöglichkeiten gegeben.



## Prüfmittelauswahl unter dem Gesichtspunkt automatisierter und KI-gestützter Auswertungen

[S. Robens](#)<sup>1</sup>, O. Goerz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau, Wuppertal

Der Vortrag beschäftigt sich mit den speziellen Anforderungen an Prüfmittel aus den Bereichen MT und PT, die vor allem für die automatisierte Auswertung wichtig sind. So werden neben den offensichtlichen Parametern, die auf die optischen Eigenschaften der Prüfmittel Einfluss haben, auch andere Bereiche der Applikation betrachtet.

## Kieferimplantate aus TiAl6V4 – Prozessentwicklung zur additiven Fertigung von maßhaltigen Hartgewebeimplantaten

C. Weidig<sup>1</sup>, C. Straube<sup>1</sup>, S. Matthes<sup>1</sup>, D. Scheller<sup>1</sup>, M. Anders<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ifw Jena – Günter-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH, Jena

Im Rahmen eines Forschungsprojektes konnte der Werkstoff TiAl6V4, welcher im PBF-LB-Verfahren verarbeitet wird, zum Einsatz als Hartgewebeimplantat (PSI) für den Kieferbereich des Menschen evaluiert werden. Der Schwerpunkt der Untersuchungen bestand in der Fertigung und zerstörungsfreien sowie zerstörenden Materialprüfung für patientenspezifische Implantate mit der Losgröße 1 unter den Kriterien verzugsarmer und konturnaher Fertigung. Dies beinhaltete sowohl die Pulvercharakterisierung des Ausgangswerkstoffes, die Parameteroptimierung zur Einstellung einer optimalen Dichte, als auch die Anpassung der nachgelagerten Wärmebehandlung zur Herstellung von Implantatproben. Zur Qualifizierung der Implantate bzw. des verarbeiteten Werkstoffes wurden sowohl statische und dynamische mechanische Eigenschaften ermittelt, welche ebenfalls zur Erstellung des im Gesamtvorhabens erstellten FEM-Modells dienen.

Die genannten Untersuchungen wurden weiterhin für konventionell CNC-gefertigte und EBM-gefertigte Proben durchgeführt, um eine technologische Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Zur Validierung der gefertigten Implantate wurden diese zerstörungsfrei auf Formtoleranz geprüft und in einem realen Lastfall über eine Lastspielzahl von 4 Millionen Zyklen getestet. Hierfür wurde eigens ein Teststand entwickelt und aufgebaut, welcher die realen Lastbedingungen im menschlichen Kiefer nachbildet.

## Millimeterwellen lösen ein Problem bei der Wanddickenprüfung von GFK-Bauteilen mit Ultraschall

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

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

Wie kann man die Qualität und Wanddicke von GFK-Bauteilen in Chemiewerken und Kraftwerken (z.B. Rohre mit und ohne Inliner) prüfen, wenn etablierte Prüfmethode versagen oder schwierig einsetzbar sind? Hier ist die ohne Koppelmedium arbeitende Millimeterwellen-Prüfung eine hervorragende Alternative.

Da die Schallkennimpedanz von GFK-Laminat sehr viel größer ist als die von Luft (ca. 4 Größenordnungen) kommt es bei einer Delamination im Inneren des GFK zu einer fast 100%-igen Reflexion des Ultraschalls. Damit ist eine solche Delamination nicht zu unterscheiden von einer korrosions- oder erosionsbedingten Verkleinerung der Wanddicke eines GFK-Bauteils.

Ganz anders sieht es aus bei der Verwendung eines millimeterwellenbasierten FMCW-Radars. Abgesehen von den praktischen Vorteilen dieses Verfahrens, das kein Koppelmedium benötigt, ergibt sich ein entscheidender physikalischer Vorteil. Da sich die optischen Brechungsindizes im Millimeterwellenbereich für GFK (ca. 2) und Luft (ca. 1) nicht sehr stark unterscheiden, ergibt sich nur eine ca. 30%-ige Reflexion. Die Millimeterwelle setzt sich also jenseits der Delamination fort und erlaubt weiterhin den Nachweis eines Rückwandechos. So kann zwischen einer Delamination im Inneren und einer korrosions- oder erosionsbedingten Verkleinerung der Wanddicke unterschieden werden.

In der vorliegenden Arbeit werden Ergebnisse mit einem FMCW-Millimeterwellen-Radar im Bereich 75 GHz bis 110 GHz an verschiedenen GFK-Testbauteilen präsentiert und diskutiert.

## Wanddickenmessung von GFK-Rohren mit Mikrowellen

J. Hinken<sup>1</sup>, S. Becker<sup>2</sup>

<sup>1</sup> fitm Hinken Consult, Magdeburg; <sup>2</sup> Becker Photonik GmbH, Porta Westfalica

Zum Transport aggressiver Flüssigkeiten werden in Chemie- und Kraftwerksanlagen oft unempfindliche GFK-Rohre, häufig ungleichmäßig von Hand gewickelt, verwendet. Trotzdem kann sich die Wanddicke im Laufe der Zeit durch chemische oder abrasive Angriffe vermindern. Regelmäßige, zerstörungsfreie Wanddickenmessungen sind erforderlich, trotz ihres sehr hohen Sicherheitsaufwandes oft mit Röntgenprüfung. Denn die Ultraschallprüfung erweist sich als unzuverlässig. Die mm-Wellenprüfung wäre hierfür technisch gut geeignet, siehe Beitrag S. Becker: „Millimeterwellen lösen ein Problem bei der Dickenprüfung von GFK mit Ultraschall“ in dieser Konferenz. Jedoch sind dafür die Gerätekosten hoch, und ein Verfahren mit funktechnischer Allgemeinzulassung ist unerlässlich. – Eine ISM-Frequenz im cm-Wellenbereich mit preiswerter Konsumertechnik (WLAN, Bluetooth) bietet sich an. – In diesem Beitrag wird ein Verfahren zur Messung von GFK-Rohrwanddicken bei  $f = 5,8$  GHz (Wellenlänge = 5,2 cm) beschrieben. Die Grundlagen sind von J.H. Hinken et. al. im Poster P9 der DGZfP Jahrestagung 2018 an Beispielen mit einheitlichen Rohrmaterialien (Permittivität aus Datenblatt) beschrieben. Es wird der Reflexionsfaktor  $r$  einer auf das Rohr aufgesetzten Mikrowellensonde gemessen. In Abhängigkeit von der Wanddicke durchläuft  $r$  eine Spirale in der komplexen Ebene. Bei der Auswertung der Messungen ist die Kenntnis der Permittivität des Wandmaterials nötig. – Bei GFK kann dieser Wert sehr unterschiedlich sein, mit Schwankungen von Rohr zu Rohr oder auch von Stelle zu Stelle eines Rohres. Das hier vorgestellte Verfahren zur Wanddickenmessung von GFK-Rohren ist daher zweiteilig: Zusätzlich zur eigentlichen Wanddickenmessung wird auch die Permittivität des Rohres bei der verwendeten Mikrowellenfrequenz gemessen. Das Verfahren wurde an verschiedenen Rohrabchnitten erprobt. Vergleiche mit mechanischen Wanddickenmessungen werden vorgestellt.

## **Inline-Überwachung der Aushärtung von applizierten Klebstoffen mit der Terahertz-Technik**

M. Mayr<sup>1</sup>, L. Wachter<sup>1</sup>

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

Das Kleben ist in einer Vielzahl von Anwendungen und Industriebereichen als unverzichtbares Fügeverfahren etabliert. Herausforderungen liegen derzeit in einer zuverlässigen Qualitätssicherung. So beschreibt die DIN 2304 das Kleben als einen durch zerstörungsfreie Prüfmethode nicht vollständig prüfbar Prozess. Gleichzeitig sind die Methoden der Terahertz (THz)-Technik in den letzten Jahren zu praxistauglichen Prüfverfahren avanciert. In Vorversuchen konnte sehr vielversprechend gezeigt werden, dass diese sich grundsätzlich sehr gut zur Überwachung von Klebstoffaushärtungsprozessen eignen und bisher keine anderen anwendungsgerechten, berührungslosen und zerstörungsfreien Methoden existieren. Die Entwicklungsarbeiten zielen auf eine zeitabhängige Charakterisierung des kohäsiven Klebstoffaushärtungsgrades sowie den Abgleich mit Referenzverfahren wie u. a. dynamische Differenzkalorimetrie, Rheologie, dielektrischer Analyse und zerstörenden Versuchen ab. Damit eine stark ausgeprägte Industrienahe hergestellt wird, sollen verschiedenste Klebstofftypen untersucht werden sowie industrierelevante Einflussfaktoren, wie Temperatur, Luftfeuchte sowie Klebevolumen und -geometrie Berücksichtigung finden. Letztlich wird anhand von Prüfungen in industrieller Umgebung die praktische Anwendbarkeit demonstriert.

**Stereomessverfahren in der Industrieendoskopie – *storniert***

[H. Küchler](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Evident Europe GmbH, Hamburg

## Semantic Wireframe Detection

Y. Zhou<sup>1</sup>, A. Osman<sup>1</sup>, M. Willms<sup>1</sup>, A. Kunz<sup>2</sup>, S. Philipp<sup>3</sup>, J. Blatt<sup>3</sup>, S. Eul<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken; <sup>2</sup> htwsaar, Saarbrücken; <sup>3</sup> OBG Hochbau GmbH & Co.KG, Ottweiler

We present a conceptually simple and effective algorithm to detect user specified wireframes in a given indoor room image. Previous deep learning-based methods can produce great line detection results, however, they contain many redundant information for some cases. Hence, our method integrates semantic segmentation algorithm to control which part of the image should be detected. Segmentation is the task of clustering parts of an image together which belong to the same object class. According to the class information the proposed algorithm can show the desired results e.g. wireframe between walls and ceilings. Our method can give texture information and prepare for the following reconstruction.

## Flächige Bestimmung der Schichtdicke mit Mehr-Puls-Thermografie

D. Hoffmann<sup>1</sup>, H. Quitter<sup>2</sup>, L. Wachter<sup>1</sup>, G. Schober<sup>1</sup>, M. Bastian<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg; <sup>2</sup> Julius-Maximilians-Universität, Würzburg

Die Beschichtung von Werkstoffen hat mit der zunehmenden Komplexität von Bauteilen signifikant an Stellenwert zugenommen. Aus Gewichts- und Kostengründen spielt in den meisten Fällen eine homogene und möglichst geringe Schichtdicke eine entscheidende Rolle. Die Ermittlung der Dicke von aufgetragenen Schichten ist hierbei eine wesentliche Voraussetzung sowohl zur Kontrolle 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 und eine Reparatur oftmals nicht oder nur mit hohem Aufwand möglich ist, ist der wirtschaftliche Schaden bei fehlerhaft beschichteten Bauteilen meist sehr groß. Die aktive Thermografie stellt eine vielversprechende Technik für die Qualitätsüberwachung von Beschichtungen im industriellen Umfeld dar. Die in diesem Beitrag eingesetzte Mehr-Puls-Thermografie kann als Kombinationstechnik aus Puls- und Lock-in-Thermografie angesehen werden. Diese bietet unter Verwendung von geeigneter Anregungs- und Auswertetechnik die Möglichkeit, flächig Dicken von Beschichtungen auf unterschiedlichen Materialien mit Genauigkeiten im Mikrometerbereich zu ermitteln. Dabei wird das Bauteil mit einer periodischen Blitzsequenz erwärmt und die Oberflächentemperatur mit einer Infrarotkamera gemessen. Durch pixelweise Betrachtung von sog. Phasen-Frequenz-Kurven, welche durch Fourier-Transformation aus dem Temperaturverhalten ermittelt werden, kann orts aufgelöst auf die Beschichtungsdicken des Bauteils rückgeschlossen werden. Eine absolute Bestimmung der Schichtdicken wird durch die Verknüpfung einzelner Phasen-Frequenz-Kurven mit Schichtdicken, die über ein Referenzverfahren bestimmt wurden, ermöglicht. In diesem Beitrag wird die Schichtdickenmessung mittels Mehr-Puls-Thermografie an industriellen Bauteilen mit unterschiedlichen Materialkonstellationen demonstriert. Weiterhin wird der Einfluss der Infrarotkamera-Ausrichtung auf die Visualisierung der Schichtdicke evaluiert und exemplarisch ein Vergleich zur konventionellen Ein-Puls-Thermografie vorgeführt.



### 3D V-ROX: smarte und kompakte photothermische Tomographie in der Luftfahrt

H. Plasser<sup>1</sup>, G. Mayr<sup>1</sup>, G. Thummerer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>voidsy gmbh, Wels, Österreich

Aufgrund Ihres geringen Gewichts und ihrer herausragenden mechanischen Eigenschaften kommen, im Bereich der Luftfahrt, vermehrt moderne Verbundwerkstoffe, wie kohlefaserverstärkte Kunststoffe, zur Anwendung. Bei der Herstellung entsprechender Leichtbaukomponenten kommt es trotz ständig weiterentwickelter Fertigungsverfahren und -techniken zu unterschiedlichen Defekten, wie etwa zu Delaminationen, Disbonds oder Fremdkörpereinschlüssen (Foreign Object Defects FODs). Derartige Fehlstellen führen zu einer kritischen Reduktion mechanischer Festigkeitswerte. Zur Beurteilung der Qualität von sicherheitsrelevanten Luftfahrtbauteilen ist die zerstörungsfreie Prüfung unerlässlich, wobei aufgrund eines gesetzlichen Regulativs die 100% Prüfung erzeugter Komponenten vorgeschrieben ist. Die aktive Thermografie stellt eine schnelle, großflächige und berührungslose Prüfmethode dar, welche die Basis für die Produktentwicklung der voidsy gmbh liefert. Oftmals gilt die aktive Thermografie als qualitatives Prüfverfahren und setzt zur Ermittlung absoluter Fehlergrößen die Anwendung einer Sekundärprüfmethode, wie der Ultraschallprüfung voraus.

An dieser Stelle tritt die aktuelle Produktentwicklung der voidsy gmbh in den Vordergrund. Der Game-Changer ist ein neuartiges mehrdimensionales Rekonstruktionsverfahren, welches die erste inlinefähige thermographische Tomographie ermöglicht. Diese erlaubt eine schnelle, berührungslose und bildgebende Inspektion von Bauteilen, sowie die Überwachung von Produktionsprozessen.

Neben der Möglichkeit berührungslos absolute Fehlergrößen zu ermitteln, kann in einem großen Anwendungsspektrum die Qualitätsprüfung bis zu 80 % schneller und kostengünstiger ausgeführt werden als beim Standardprüfverfahren Ultraschall. Der 3D Void Reconstructor with Optical eXcitation (V-ROX) setzt keine ionisierende Strahlung frei, es werden keine Materialien kontaminiert und es zeichnet sich, aufgrund des sehr kompakten Konzeptes, durch eine hohe Energieeffizienz aus und ist einfach zu automatisieren.

## Implementierung und Evaluierung des Delay-and-Sum-Beamforming für die SAFT-Rekonstruktion

D. Algernon<sup>1</sup>, C. Thurnherr<sup>1</sup>, A. Müller<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>SVTI Schweizerischer Verein für technische Inspektionen, Wallisellen, Schweiz

Der Rekonstruktionsalgorithmus SAFT (Synthetic Aperture Focussing Technique) wird erfolgreich in diversen Bereichen der Ultraschallprüfung angewendet. Beginnend in medizinischen Anwendungen reicht der Einsatzbereich schon lange über die mechanisierte Prüfung in Anwendungen der Kerntechnischen Sicherheit sowie allgemein dem Maschinenbau bis hin zur Ultraschallprüfung an Stahlbetonbauwerken.

Ultraschallprüfköpfe senden elastische Wellen naturgemäß mit einem Öffnungswinkel aus, woraus eine begrenzte Fokussierung resultiert. Wesen des SAFT-Algorithmus ist die rechnerische Fokussierung der aufgenommenen Ultraschallsignale. Diese erfolgt herkömmlich durch die lauftzeitbasierte (delay) Zuordnung von Amplituden zu diskreten geometrischen Volumenelementen. Herkömmlich werden hierbei die Amplitudenanteile der entsprechenden Signale gemäß ihrer Prüfkopfposition und der sich daraus ergebenden Distanz respektive Laufzeit zum entsprechenden Volumenelement aufsummiert. Der berechnete Summenwert wird dem jeweiligen Element zugeordnet. Diese Implementierung des SAFT-Algorithmus wird als Delay-and-Sum (DAS)-Beamforming bezeichnet. Eine Weiterentwicklung des SAFT-Algorithmus besteht in der Delay-Multiply-and-Sum (DMAS)-Variante. Hierbei wird eine multiplikative Kopplung von Signalpaaren im Sinne einer räumlichen Kohärenz der Empfangsapertur erzeugt. Durch diese wird beabsichtigt die Fokussierung bzw. das Signal-Rausch-Verhältnis, die resultierende Bildauflösung und den Kontrast zu verbessern.

Anhand der Analysesoftware Echolyst werden beide Varianten, DAS und DMAS, vergleichend auf exemplarische Datensätze angewendet. Auf dieser Basis werden die beobachteten Stärken und Schwächen beider Ansätze für die betrachteten Anwendungsgebiete diskutiert. Die betrifft die niederfrequente Ultraschallprüfung an Betonbauteilen einerseits sowie die konventionelle mechanisierte Prüfung in der Kerntechnik. Neben experimentellen Daten bieten simulierte Daten eine weitere Referenz für die objektive Evaluierung.

## Benefits of arbitrary waveform generator for ultrasound NDT applications

E. Carcreff<sup>1</sup>, N. Laroche<sup>1</sup>, [H. Calas](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TPAC, Nantes, Frankreich

Ultrasonic testing is currently one of the main techniques employed in many industries (power generation, oil and gas, aeronautics, etc.). This technique consists in generating ultrasonic waves into parts to be inspected in order to possibly detect and size defects from the analysis of back-scattered signals. The standard way to drive ultrasonic probes is to send a negative square pulse with fixed voltage to the piezo-electric elements. Nowadays, acquisition devices are more and more powerful and customizable. Arbitrary waveforms such as Burst, Chirp signals or coded sequences can be used as excitation signals for the probe. The arbitrary waveform generator (AWG) offers numerous advantages for NDT inspections: long excitation signals have more energy which can be beneficial in noisy materials, for long range inspection or for air-coupled ultrasound techniques. In this paper, the principle of the technology is presented. Then, several applications cases taken from industrial cases are detailed, showing the improvement compared to standard techniques. In particular, we show that AWG is beneficial for signal-to-noise ratio improvement in typical alloy from aeronautical industry. It also shows improvement for crack detection in such cases. Last, an example from aeronautics is presented showing that it is possible to use the AWG for air-coupled ultrasound techniques.

## **Austausch einer Ultraschallprüfelektronik in einer Prüflinie mit minimaler Vorbereitungszeit und kürzester Stillstandszeit**

[K. Dickmann](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Slickers Technology GmbH & Co. KG, Geldern

Slickers Technology wurde im Jahr 2022 von einem Stahlstabhersteller kontaktiert, der seit Jahren eine Ultraschallanlage zur Prüfung am Ende der Produktionslinie betreibt. Die Anlage kann sowohl Sechskantmaterial (Abmessungsbereich 16-70 mm) auf Kernfehler (KSR 1mm) als auch Rundmaterial im Durchmesserbereich (8-65) mm auf Kernfehler (KSR 1mm) und oberflächennahe Fehler prüfen. Für die Sechskantprüfung kommen drei Prüfköpfe mit Senkrechteinschallung zum Einsatz, für die Prüfung von Rundmaterial kommt eine Ultraschallrotationsmechanik mit acht Kanälen für die Senkrechteinschallung (Kernzonenprüfung) und zwei Kanälen für die Winkelschallung (Oberflächen nahe Zone) zum Einsatz. Beide Prüfmechaniken lassen sich mittels eines Schiebeteisches innerhalb weniger Minuten austauschen. Die Elektronik muss dabei flexibel genug sein, die unterschiedlichen Prüfanforderungen abzudecken.

Da sich für die bestehende Elektronik die Ersatzteil- und Servicesituation bedrohlich schwierig entwickelt hatte, entschied man sich zum Ersatz der Prüfelektronik.

Unglücklicherweise versagte die Prüfelektronik vor dem Liefertermin für die bei Slickers Technology bestellte Ersatzelektronik. Die bestehende Lösung stellte eine Verknüpfung zwischen SPS und Prüfelektronik dar, die ohne Umbauten an der Sensorik für die Wegverfolgung und Umprogrammierung der SPS nicht ersetzt werden konnte. Slickers Technology gelang es innerhalb einer Woche mit Unterstützung der Instandhaltung des Kunden eine Zwischenlösung zu etablieren, die es dem Kunden ermöglichte die Zwischenzeit bis zur Lieferung der Ersatzelektronik zu überbrücken und weiter produzieren zu können.

Dazu wurden zusätzliche Sensoren eingebaut, eine Elektronik ausgeliehen und eine Kurzschulung der Bediener durchgeführt.

Zusätzlich stand eine Rufbereitschaft zur Kundenunterstützung zur Verfügung.

Innerhalb eines geplanten Stillstands von zwei Tagen wurde dann die bestellte Elektronik installiert und die Steuerung umprogrammiert. Anschließend erfolgte eine umfangreiche Bedienerschulung.

## Ultraschall-Puls-Transmissionsverfahren: Automatisierte Drift-Erkennung in Signalreihen von Zementleimen im frühen Stadium der Hydratation

J. Harden<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Graz, Österreich

In der Vergangenheit hat sich die Ermittlung mechanischer Materialparameter von Zementleimen unter Verwendung des Ultraschall-Puls-Transmissionsverfahrens basierend auf piezoelektrischen Sensoren als verbreitete Versuchstechnik etabliert.

Damit ist eine quasi-kontinuierliche Erfassung von Signaldaten möglich, mit der die kontinuierliche Änderung von Materialeigenschaften gut abgebildet werden kann. Dadurch entstehen jedoch umfangreiche Signalreihen, die eine Automatisierung der Analyse erforderlich machen. Die dafür verwendeten numerischen Verfahren reagieren jedoch sensibel auf Signalstörungen wie das Driften der Signalamplituden. Dies wurde in Signalreihen kombinierter Kompressions- und Scherwellenmessungen an Zementleimen regelmäßig beobachtet. Die hier präsentierte Arbeit stellt einen adaptiven Algorithmus vor, der geeignet erscheint, driftende Signale zu erkennen. Dieser basiert auf fundamentalen statistischen Methoden zur Klassifizierung und Gewichtung von Signalamplituden. Ein besonderes Merkmal ist die Verwendung von Signaleigenschaften als Basis für Gewichtsfunktionen und zur Parametrierung des Analyseverfahrens. Das ermöglicht das adaptive Verhalten des Verfahrens, erweitert dessen Anwendungsspektrum und erhöht die Treffsicherheit. Das Verfahren wurde anhand von Signaldaten getestet, die mittels Ultraschall-Versuchen mit dem FreshCon-Gerät an Zementleimen aus gewöhnlichem Portlandzement mit unterschiedlichen Wasser-Bindemittel-Werten erhoben wurden. Die Berechnungsergebnisse, basierend auf 15 Signalreihen, zeigen eine stabile Übereinstimmung mit der visuellen Erkennung. Es hat sich gezeigt, dass der Algorithmus auf Signaldaten von Kompressions- und Scherwellenmessungen im selben Maße anwendbar ist. Die detektierten Signale können nachfolgend gezielt unterschiedlichen Methoden der Drift-Korrektur unterzogen werden. Außerdem liefert die Analyse weitere statistische Basisdaten, die für die nachfolgende, automatisierte Signalanalyse benötigt werden. In weiterer Folge erscheint es sinnvoll zu sein, in die nachfolgende Signalanalyse eine Rückkopplungsschleife zu integrieren, um die Eingangsparametrierung der Drift-Erkennung weiter zu präzisieren.

## Bewertung der Tiefe von senkrechten Rissen in Beton mit Hilfe des Winkelspiegels

U. Rabe<sup>1</sup>, S. Pudovikov<sup>1</sup>, H.-G. Herrmann<sup>1</sup>, H. Wiggenhauser<sup>2</sup>, E. Niederleithinger<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken; <sup>2</sup>Berater, Berlin;

<sup>3</sup>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

In der Ultraschallprüfung von Metallen ist die Winkelspiegelmethode weit verbreitet, um beispielsweise Ermüdungsrisse zu detektieren. Es werden Einzelschwinger oder Phased Arrays verwendet, die im Bauteil vertikal polarisierte Scherwellen (SV) unter einem Winkel von 45° erzeugen. Der Prüfkopf wird so positioniert, dass er die rechtwinklige Ecke beleuchtet, die aus Rückwand und Rissflanke gebildet wird. Angesichts einer alternden Infrastruktur ist die Ultraschall-Untersuchung von Rissen in Beton generell von Interesse. Die zerstörungsfreie Bestimmung der Tiefe von senkrechten Rissen in Beton basiert auf Laufzeitverfahren, die bei künstlichen Fehlern wie Sägeschnitten sehr gute Ergebnisse liefern, auf natürliche Risse jedoch derzeit nicht zuverlässig übertragbar sind. In der Ultraschallprüfung von Beton haben sich Prüfköpfe mit Trockenpunktkontaktwandlern durchgesetzt, die horizontal polarisierte Scherwellen (SH) aussenden. Es wird erläutert, wie die Daten im Full Matrix Capture Modus mit linearen Arrays für Beton aufgenommen wurden, und wie sie mit der Total Focusing Methode ausgewertet werden können, damit die Winkelspiegelanzeige auswertbar dargestellt wird. Anhand von Beispielen wird gezeigt, dass der Winkelspiegel genutzt werden kann, um zu überprüfen, ob ein Riss ein Trennriss ist oder nicht. Dies bedeutet eine erste Einschätzung der Risttiefe.

## Prüfsysteme für Batterie-Pouchzellen

D. Ilse<sup>1</sup>, T. Reinelt<sup>1</sup>, A. Szewieczek<sup>1</sup>, F. Beusse<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hillger NDT GmbH, Braunschweig

Die Batterieherstellung ist bereits heute eine Kernindustrie für viele zukunftsweisende Technologien. Moderne Batteriezellen sind essentiell für Elektrofahrzeuge (wie Elektroautos und Lkw), entlasten elektrische Versorgungsnetze als Stromspeicher in Solaranlagen und sind wichtige Komponenten für zahlreiche saubere Energieprojekte. In den letzten Jahren wurde weltweit eine große Menge an Produktionskapazitäten aufgebaut, viele weitere werden folgen. Forschungsinstitute und private Forschungslabore auf der ganzen Welt arbeiten an immer zuverlässigeren, leistungsfähigeren und kosteneffizienteren Modulen.

Moderne Batteriemodule haben ein komplexes Design, das in der Regel nicht standardisiert ist. Dabei kommen unterschiedliche Materialien und Produktionsverfahren zum Einsatz. Aufgrund der hohen Kapazität von Batterien in verschiedenen Anwendungen wie Fahrzeugen ist ihre Fertigungsqualität und Zuverlässigkeit sogar ein wichtiger Sicherheitsfaktor, von dem Menschenleben abhängen können. Daher sind geeignete ZfP-Verfahren für eine zuverlässige Qualitätssicherung unabdingbar.

Für die zerstörungsfreie Prüfung solcher Batteriezellen haben wir unsere bildgebenden Verfahren und Systeme weiterentwickelt und optimiert. Unsere Ultraschallprüftechnik kann im Labor eingesetzt, in Produktionslinien integriert oder sogar mobil eingesetzt werden. Verschiedene Modulgrößen und Geometrien können untersucht werden. Durch den modularen Aufbau in Hard- und Software können unsere Systeme jederzeit erweitert und angepasst werden.

## Forschung, Entwicklung und Neuheiten von Hillger NDT GmbH

A. Szewieczek<sup>1</sup>, [T. Reinelt](#)<sup>1</sup>, D. Ilse<sup>1</sup>, F. Beusse<sup>1</sup>  
Hillger NDT GmbH, Braunschweig

Die Hillger NDT GmbH ist seit 2019 ein Mitglied der Butting Gruppe und aus dem 1984 gegründeten Ingenieurbüro Dr. Hillger hervorgegangen. Wir entwickeln und fertigen spezielle Prüfsysteme zur bildgebenden Ultraschallprüfung. Der Firmenvortrag berichtet über folgende Neuentwicklungen: fokussierte Prüfköpfe für die luftgekoppelte Ultraschallprüfung, unseren neuen USBUS-Prüfstand zur Materialcharakterisierung, Prüfsysteme und verfahren für Batterie-Pouchzellen sowie der Anwendung unterschiedlicher Ultraschall-Prüfverfahren in automatisierten Industrieanlagen.



## Laser-Ultrasound as powerful technology for defect detection and material characterization

[E. Scherleitner](#)<sup>1</sup>, B. Reitingner<sup>1</sup>, W. Haderer<sup>1</sup>, N. Huber<sup>1</sup>, C. Kerschbaummayr<sup>1</sup>, C. Grünsteidl<sup>1</sup>, F. Noll<sup>1</sup>, M. Hettich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research Center for Non-Destructive Testing GmbH – RECENDT, Linz, Österreich

Following advances in laser technology and significant methodological developments, laser ultrasound has now become a measurement technique with high potential for problems in non-destructive material testing and characterization. Ultrasonic waves excited with focused laser light propagate in the specimen and are subsequently detected again with a laser vibrometer. Reconstruction algorithms allow inclusions to be located and physical models can be used to determine material properties. The method is non-contact, and flexible laser guidance – e.g. with optical fibers – also allows uneven samples to be scanned robotically and automatically. The potentially in-line-capable measurement technology can thus make an important contribution to increasing the resource efficiency of production processes. Furthermore, a very wide frequency range (industrially suitable typically 500 kHz to 50 MHz, but also up to the GHz range) is available for evaluation at each measurement point, which enables not only high-resolution defect detection but also new insights into the elastic properties and microstructure of materials even during thermal treatments. In this presentation we show examples of applications starting from in-situ monitoring of metallurgical processes during thermal treatment to the characterization of acoustic wave filters in the GHz-range for wireless communication.

## Fokussierte Prüfköpfe für luftgekoppelte Ultraschallprüfung

F. Beusse<sup>1</sup>, D. Ilse<sup>1</sup>, T. Reinelt<sup>1</sup>, [A. Szewieczek](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hillger NDT GmbH, Braunschweig

Die Hillger NDT GmbH (ehem. Ingenieurbüro Dr. Hillger) bietet seit über 20 Jahren Lösungen für die luftgekoppelte Ultraschallprüfung an. In diesem Beitrag stellen wir unsere neuen fokussierten Prüfköpfe vor. Die Vor- und Nachteile dieser Bauart werden anhand beispielhafter Befunde vorgestellt und diskutiert.

## Mehrschichtmessung im $\mu\text{m}$ -Bereich mit hochfrequentem Ultraschall an Teilen von Luftfahrzeugen

A. Zink<sup>1</sup>, H. Küchler<sup>1</sup>, A. Schönbauer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Evident Europe GmbH, Hamburg; <sup>2</sup>Evident Europe GmbH, Hamburg – Zweigniederlassung Österreich

In der Luftfahrt werden seit vielen Jahren CFRP basierende Bauteile eingesetzt. Kommt es zu einer Beschädigung dieser Bauteile, müssen diese in einem aufwendigen Prozess wieder instandgesetzt werden. Dabei wird auch im Reparaturbereich der Lackschichtaufbau erneuert.

Um diesen Prozess vorschriftsmäßig durchführen zu können, ist es wichtig die Dicke der Lackschichten messen zu können. Eine Messung mit herkömmlichen Schichtdickenmessern (wirbelstrombasierend oder magnetinduktiv) ist bei lackierten Kohlefaserbauteilen nicht möglich. Ein auf ultraschallbasierendes Schichtdickenmessgerät im hochfrequenten Bereich ist hier eine denkbare Lösung. Hier haben Versuche mit dem 72 DLP gute Ergebnisse gezeigt.

Natürlich profitieren davon auch andere wie zum Beispiel Automobil- und Kunststoffindustrie, wo ebenfalls aufwendige Beschichtungen und Lackierungen zum Einsatz kommen.

## Anwendungsmöglichkeiten des Smartphones in der Wirbelstromprüfung

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

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

Das Soundsystem eines Smartphones eignet sich für die Wirbelstromprüfung im Frequenzbereich bis 20 kHz. An der Audiobuchse wird der Wirbelstromsensor angeschlossen, der dem Phone ein Headset vorgaukelt.

Mit dem Smartphone können die Grundfunktionen des Wirbelstromgeräts wie Frequenzwahl, Amplituden- und Phaseneinstellung, Hoch- und Tiefpassfilter sowie Schwellen zur Signalbewertung trainiert werden.

Darüber hinaus können auch spezielle Anwendungen geübt werden. Dazu gehören die Rissprüfung in ferro- und nichtferromagnetischen Werkstoffen, die Wand- und Schichtdickenbestimmung und Werkstoffsortierung.

Der Gedanke der Nutzung von Soundchips kann auch mit modernen Hochleistungs-Microcontrollern umgesetzt werden. Da diese Schaltkreise klein und energiesparend sind, lassen sich komplette Wirbelstromgeräte in Miniaturformat aufbauen, so dass sie sich mit dem Sensor mitbewegen oder gar in diesen integriert werden können.

Das Poster stellt einige dieser Anwendungen vor.

## Flexibles mobiles CT-System as a Service

M. Eberhorn<sup>1</sup>, T. Schön<sup>1</sup>, A. Lambart<sup>1</sup>, S. Nottrott<sup>1</sup>, D. Rauch<sup>1</sup>, M. Luxa<sup>1</sup>, L. Hagner<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer EZRT, Fürth

Die industrielle Computertomographie (CT) ist ein etabliertes und in der Fertigungsprüfung sowie Qualitätssicherung ein immer häufiger gefordertes Standardwerkzeug für die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP). Belegt wird dies durch den kontinuierlich wachsenden Markt, nicht nur die Anzahl der weltweit verkauften CT-Systeme steigt, auch die Zahl der Messdienstleister nimmt stetig zu. Nicht verwunderlich, denn die Röntgentechnologie verbessert nicht nur das Sicherheitsniveau pro Teil, sondern kann auch bei der Kostenreduktion von der Entwicklung bis zur Produktion wichtigen Beitrag leisten.

System as a Service (SaaS)-Anwendungen und Cloud-Dienste verändern die heutige Informationstechnologie und unseren Alltag. Wie wird diese Art von Service die Zukunft der zerstörungsfreien Prüfung verändern? Die Firma Microvista, ein Servicespezialist im Bereich industrieller CT-Anwendungen, nimmt sich dieser Herausforderung an und hat das Fraunhofer EZRT beauftragt ein System zu entwickeln welches diese Herausforderung adressiert: Projektziel Flexibles mobiles CT-System as a Service“.

Methodik und Ergebnisse

Unsere Arbeit zeigt den Entwurf und die Implementierung eines flexiblen mobilen CT-Systems, das die Konzepte für System-as-a-Service (SaaS), die kundenspezifische und flexible Systemhardware/Systemaufbau sowie eine neuartige Software-Pipeline von der Datenerfassung bis zur Auswertung und Dokumentation der Ergebnisse umfasst. Dies ermöglicht die folgenden Vorteile:

- Geringe Investitionen für Prüfsysteme und kein Bedarf an geschultem Personal
- Geringer logistischer Aufwand – Machen Sie NDT zum Teil Ihrer Produktionslinie
- Einfache Installation – Mit nur „einem Stecker“ und nach einer automatischen Systemkalibrierung können Sie loslegen.
- Schnelles Eingreifen und optimale Betriebszeit oder Skalierung der Leistung
- Fernunterstützung für das Teach-in von neuen Teilen
- Ermöglicht neue Abrechnungsmodelle (pro Stück/pro Monat.

## Von der Digitalisierung bis zur KI, analoges Röntgen im Jahr 2023 – storniert

[P. Marx](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BW Plus NDT GmbH & Co. KG, Kamp Lintfort

## Riluminati – Das Risslumineszenzverfahren

[R. Dörn](#)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MR Chemie GmbH, Unna

RILUMINATI ist ein innovatives System zur frühzeitigen Erkennung von Ermüdungsrisse.

RILUMINATI ist ein innovatives Prüfmittelsystem zur Anwendung des patentierten Risslumineszenz-Verfahrens, mit dem Ermüdungsrisse an Bauteilen im laufenden Betrieb ohne weiteren Aufwand leicht ausfindig gemacht werden können. Diese Risse werden bei der Betrachtung unter UV-Licht direkt und unmissverständlich sichtbar. Die Bedeutung liegt in der allgemeinen Problematik ermüdungsbeanspruchter Konstruktionen, denn Risse begrenzen massiv ihre Lebensdauer. Das betrifft zum Beispiel Verkehrsinfrastrukturbauwerke oder allgemein Tragwerke unter nicht ruhender Beanspruchung (z. B. Brücken) sowie auch Maschinen, Baufahrzeuge, Kräne, Zentrifugen und Schiffe. Entstehen Risse in der mit Riluminati behandelten Oberfläche, genügt zur Inspektion eine UV-Leuchte. Auch ein Monitoring und zeitliche Risswachstumsbeobachtungen sind während des Betriebs und ohne großen Aufwand möglich. Dies spart Kosten und Zeit, erhöht die Sicherheit für Mensch und Maschine und stellt einen längeren Lebenszyklus für die Bauteile sicher.

Abt, C. ....	Di.2.A.2	Bruno, G. ....	Di.1.A.5, P9
Achzet, M. ....	Di.1.A.4, Mi.2.A.1	Buchmueller, S. ....	P7
Agathocleous, T. ....	Mo.2.A.2	Buchwald, E. ....	Mo.3.A.1
Alberdi, A. ....	Mo.3.A.3	Bulavinov, A. ....	Mo.2.C.3
Albino, P. ....	Mi.2.A.2	Buschke, P. ....	Mo.2.A.3
Alekseychuk, A. ....	Mi.3.C.3	Calas, H. ....	Mo.3.A.3, P21
Alekseychuk, V. ....	Mi.3.C.3	Carcreff, E. ....	Mo.3.A.3, Di.2.C.3
Algernon, D. ....	Mo.2.B.4, Mi.1.B.1, Mi.2.B.2, P20	Casperson, R. ....	P4
Alleyne, D. ....	Mi.2.A.3	Castro Cabeza, A.P. ....	Mi.1.B.2
Anders, M. ....	P12	Charizanis, A. ....	Mo.2.B.5
Andrii Sofienko, A. ....	Mo.3.B.3	Charmi, A. ....	Mi.2.C.2
Arndt, R.W. ....	Mi.1.B.1	Chojecki, H. ....	Mi.2.B.4
Artus, M. ....	Mi.3.B.2	Chrzan, K. ....	Mi.1.C.4
Awerbuch, M. ....	Mi.3.C.2	Chung, P.-L. ....	Mo.2.B.5
Ayalur-Karunakaran, S. ....	Mi.3.A.1	Costin, M. ....	Mo.3.B.3
Bach, M. ....	Mo.3.B.2	Custic, M. ....	Mi.2.C.4
Baensch, F. ....	P3, P4	Czurritis, P. ....	Di.1.B.1
Ballach, F. ....	Di.2.A.2	Dedyaeva, P. ....	P6
Bänsch, F. ....	Di.3.C.3	Dennerlein, F. ....	Di.2.A.2
Bardoux, O. ....	Mi.2.C.3	Deresch, A. ....	Mo.3.B.3
Barowski, J. ....	Di.1.A.3	Dethof, F. ....	Mi.1.B.2
Barton, S. ....	Mo.3.A.2, Di.3.B.2	Deutsch, S. ....	Di.2.C.3
Bartscher, M. ....	Di.2.A.2	Deutsch, W. ....	Mo.2.B.3
Bastian, M. ....	P18	Dickmann, K. ....	Mi.2.A.4, P22
Baumeister, C. ....	Mi.2.A.1	Dieck, S. ....	Di.1.C.1
Baumgarten, U. ....	Mi.3.C.4	Dochtermann, T. ....	Mo.2.B.3
Becker, S. ....	P13, P14	Döring, F. ....	P8
Bellon, C. ....	Di.2.A.2	Dörn, R. ....	P33
Bente, K. ....	Mo.2.C.5	Dornig, P. ....	Mo.2.A.2
Benz, E. ....	Di.1.B.1	Dreisbach, A.-L. ....	Mo.3.B.2
Berchtold, D. ....	Mi.1.A.1	du Baret de Limé, A. ....	Di.3.A.1
Berg, S. ....	Mi.2.B.1	Dugan, S. ....	Mi.1.A.1
Bernhardt, Y. ....	Mi.3.A.2	Ebell, G. ....	Mi.1.B.1
Beusse, F. ....	Mi.1.A.3, P25, P26, P28	Eberhorn, M. ....	P31
Bircher, B. ....	Mo.3.B.3	Eck, S. ....	Mo.2.A.2
Blatt, J. ....	P17	Eckel, S. ....	Mi.3.C.3
Bliedtner, K. ....	P6	Ehrler, J. ....	Di.1.B.3, Mi.1.C.2
Bonitz, F. ....	Mi.1.B.3	Elkarmoty, M. ....	Mi.1.B.4
Borges de Oliveira, F. ....	Di.2.A.2	Els, C. ....	Mo.2.B.2
Brackrock, D. ....	Di.3.B.1	Ernst, H. ....	Mi.1.A.1
Brence, B. ....	Mi.2.C.2	Estevam Schmiedt, J. ....	Mi.2.B.3
Brierley, N. ....	Mi.1.C.4	Eul, S. ....	P17
Brück, B. ....	Mi.2.A.1	Ewert, U. ....	Mo.3.B.3, Di.2.A.1, Di.3.C.3



Feistkorn, S. ....	Mi.1.B.1	Herrmann, H.-G. ....	P24
Fischer, B. ....	Di.1.B.4	Hess, J. ....	Di.2.A.2
Fischersworing-Bunk, A. ....	Mi.1.C.1	Hettich, M. ....	P27
Franzen, A. ....	Mo.2.A.3	Heuer, H. ....	Di.1.C.2, Di.1.C.3, Di.3.A.1, Mi.3.A.4
Freier, D. ....	Di.2.A.3	Heutling, B. ....	Mi.3.C.2
Friese, M. ....	Mi.1.B.1	Heymann, M. ....	Di.3.A.1
Fuchs, P. ....	Di.2.A.2	Hille, F. ....	Mo.3.B.2
Fürst, M. ....	Di.1.B.4	Hillger, W. ....	Mo.2.C.4
Gaal, M. ....	Mo.2.C.4, Mo.2.C.5	Hinken, J. ....	P14
Gansel, R. ....	Di.3.B.2	Hoffmann, D. ....	P18
Gaudiau, J.-P. ....	Mo.3.A.3	Hoffrogge, P. ....	Di.1.B.1
Gaul, T. ....	Mi.2.C.4	Hofmann, D. ....	Di.1.C.2, Di.1.C.3, Di.3.A.1, Mi.3.A.4
Goerz, O. ....	P11	Holstein, R. ....	Mi.1.B.1
Gohlke, D. ....	Mo.2.C.4, Mo.2.C.5	Homuth, E.-M. ....	Di.3.A.1
Gopalan, A. ....	Mo.3.C.1	Huber, N. ....	Mi.3.A.1, P27
Gramberger, T. ....	Mo.2.A.5	Hufert, J. ....	Di.2.B.4
Groesdonk, P. ....	Mi.2.B.3	Hufschläger, D. ....	Mo.2.C.4, Mo.2.C.5
Große, C.U. ....	Mi.1.B.1, Mi.1.B.4	Ilse, D. ....	Mo.2.C.4, Mi.1.A.3, P25, P26, P28
Grünsteidl, C. ....	P27	Jaenisch, G.-R. ....	Mo.3.B.3
Gude, M. ....	Mi.3.A.2	Jaeschke, T. ....	Di.1.A.3
Günnewig, O. ....	Di.2.A.2, Mi.1.C.4	Jahn, M. ....	Mi.1.A.1
Günther, M. ....	Mi.3.A.1	Jakobi, I. ....	Mi.2.B.4
Gür, C.H. ....	P1	Jennerjahn, I. ....	Di.1.B.3
Gurka, M. ....	Di.2.B.2	Jocham, M. ....	Mi.2.C.1
Gyula, A. ....	Di.3.B.1	Jüngert, A. ....	Di.3.B.1
Haderer, W. ....	P27	Kalauka, S. ....	Di.3.C.2
Hagner, L. ....	P31	Kankanti, K.P. ....	Mi.2.A.4
Hamza, A.G. ....	Mi.1.B.4	Kanzler, D. ....	Di.3.B.3, P3
Hansen, J. ....	Mi.1.C.3	Kaps, C. ....	Di.3.C.1
Harden, J. ....	P23	Kasperl, S. ....	Di.2.A.2
Härtel, K. ....	Di.1.C.4, Di.1.C.5	Kattinger, J. ....	Mi.1.C.2
Härtling, T. ....	Di.3.A.1	Keil, A. ....	P13
Hassel, T. ....	Di.3.B.2	Kelb, W. ....	Mi.3.C.1
Hauptvogel, M. ....	Mi.2.B.4	Keller, A. ....	Mo.3.C.3
Hausotte, T. ....	Di.2.A.2	Kerschbaummayr, C. ....	P27
Heckel, T. ....	Mo.2.A.1, Di.3.B.1, P2	Keuler, S. ....	Di.3.B.1
Heimann, J. ....	Mi.2.C.2	Keßler, S. ....	Mi.1.B.2
Heimbucher, C. ....	Mo.3.C.1	Kimmig, W. ....	Di.2.A.2
Helal, H. ....	Mi.1.B.4	Kirchner, F. ....	Mi.2.C.3
Helfen, T. ....	Mi.2.A.2	Kleefoot, M.-J. ....	Di.1.B.1
Henning, F. ....	Di.2.A.3	Klein, S. ....	Mo.2.B.3, Di.2.B.3, Mi.3.B.3
Henrix, F. ....	Mo.2.A.3	Knam, A. ....	Mo.2.C.1
Herold, F. ....	Di.2.A.1, P6		

Koch, R.H. ....	Mo.2.C.1	Mehringer, J. ....	Di.2.A.3
Köchel, O. ....	Mi.3.A.3	Meirer, K. ....	Mi.3.A.1
Köhler, C. ....	Mi.2.B.1	Melero, J. ....	Mi.2.C.3
Kolkoori, S. ....	Mo.2.C.1	Meli, F. ....	Mo.3.B.3
Kollofrath, J. ....	Mi.1.B.4	Melzer, M. ....	P10
Kölpin, N. ....	Di.1.A.1	Merchiers, A. ....	Di.1.A.2
Kölsch, B. ....	Mi.2.B.3	Michauk, J. ..	Di.1.C.2, Di.1.C.3, Di.3.A.1, Mi.3.A.4
Kornely, M. ....	Di.1.B.3, Mi.1.C.2	Mlinaric, M. ....	Di.3.B.2
Korpelainen, V. ....	Mo.3.B.3	Monot, L. ....	Di.1.B.4
Koster, D. ....	Di.2.B.3, Mi.3.B.3	Mook, G. ....	Di.1.C.1, P30
Kraemer, P. ....	Mo.3.B.2	Mück, A. ....	Mo.2.C.2
Kreutzbruck, M. ....	Mo.2.B.1, Mo.2.B.5, Mo.3.C.2, Di.1.B.3, Di.2.B.4, Mi.1.C.2, Mi.3.A.2	Muller, A. ....	Mo.2.B.4, Mi.2.B.2, P21
Krieger, J. ....	Mo.3.B.2	Müller, B.R. ....	Di.1.A.5, Mi.1.B.3, P9
Kubec, A. ....	P8	Müller, D. ....	P5
Küchler, H. ....	Di.2.C.1, Di.2.C.2, P29	Müller, I. ....	Mo.3.B.2
Kueppers, S. ....	Di.1.A.3	Mustapha, S. ....	Mi.2.C.2
Kühne, J. ....	Mo.3.B.2	Nestler, D. ....	Mo.2.B.2
Kunz, A. ....	P17	Neuhäusler, S. ....	Mi.1.C.1
Kupsch, A. ....	Di.1.A.5, P9	Nicolicea, A. ....	P10
Lackner, G. ....	Di.1.B.2	Niederleithinger, E. ....	Mi.1.B.1, P24
Lambart, A. ....	P31	Noll, F. ....	P27
Lapsien, J. ....	Di.3.A.3	Nottrott, S. ....	P31
Laquai, R. ....	P9	Odermatt, M. ....	Di.3.A.2
Laroche, N. ....	P21	Oemus, M. ....	Di.1.C.2, Di.1.C.3, Mi.3.A.4
Leinenbach, F. ....	Mi.3.B.1	Osman, A. ....	P17
Linscheid, F.F. ....	Di.1.A.4, Mi.2.A.1	Oswald-Tranta, B. ....	Mo.2.A.2
Littner, L. ....	Mi.3.A.2	Patel, N. ....	Mi.2.B.3
Luong, Q.R. ....	Mi.2.A.1	Pelkner, M. ....	P10
Luplow, C. ....	Di.3.B.1	Petrecca, D. ....	Mi.2.C.1
Lutz, J. ....	Mo.3.C.3	Philipp, J. ....	Di.1.B.3
Luxa, M. ....	P31	Philipp, S. ....	P17
Maack, S. ....	P3	Phillips, U. ....	Mo.2.A.3
Maass, N. ....	Di.2.A.2	Pietzsch, A. ....	Mi.3.A.3
Maier, B. ....	Mi.1.B.4	Pilz, C. ....	Di.1.C.2, Di.1.C.3, Di.3.A.1, Mi.3.A.4
Maier, H.J. ....	Mo.3.A.2, Di.3.B.2	Pinchuk, R. ....	Mo.2.C.3
Maier, J. ....	Di.2.C.5	Plasser, H. ....	Di.2.B.1, P19
Malke, R. ....	Mi.3.C.4	Pohlenz, F. ....	Mo.3.B.3
Marcial, N. ....	Mi.2.C.3	Pooch, M. ....	Di.1.C.2, Di.1.C.3, Di.3.A.1, Mi.3.A.4
Marihart, H. ....	Di.1.B.2	Popovych, O. ....	Mi.1.B.4
Matthes, S. ....	P12	Pörnbacher, J. ....	Di.1.B.4
Mayr, G. ....	Di.2.B.1, P19	Prager, J. ....	Mi.2.C.2
Mayr, M. ....	P15	Prokofyev, M. ....	Di.1.B.2
		Protz, R. ....	Mi.3.A.2

Pudovikov, S. ....	P24	Schubert, L. ....	Mo.3.B.2, Mi.2.C.4
Quitter, H. ....	P18	Schuhmacher, S. ....	Di.1.B.1
Rabe, U. ....	P24	Schulze, E. ....	Mi.3.A.3
Rake, M. ....	Di.1.C.2, Di.1.C.3, Mi.3.A.4	Schulze, M. ..	Di.1.C.2, Di.1.C.3, Di.3.A.1, Mi.3.A.4
Ramirez-Pinero, A. ....	Mi.1.B.4	Schulze, S. ....	Mi.1.B.1
Rast, H. ....	Mo.2.B.3	Schulze, T. ...	Di.1.C.2, Di.1.C.3, Di.3.A.1, Mi.3.A.4
Rauch, D. ....	P31	Schumacher, T. ....	Mi.1.B.4
Reindl, T. ....	Mo.3.C.2	Schuster, C. ....	Di.2.A.3
Reinelt, T. ....	Mi.1.A.3, P25, P26, P28	Schuster, J. ....	Mo.3.C.3
Reitinger, B. ....	Mi.3.A.1, P27	Seidel, M. ....	Di.1.C.4, Di.1.C.5
Rentala, V.K. ....	Di.3.B.3	Seker, N. ....	Di.1.B.1
Reuter, T. ....	Di.2.A.2	Selch, M. ....	Di.3.B.3
Riegel, H. ....	Di.1.B.1	Serrano-Munoz, I. ....	P9
Ritter, J. ....	Di.1.B.5	Simonin, Y. ....	Di.1.C.1, P30
Rittmann, J. ....	Mo.2.B.1, Mo.2.B.5, Di.2.B.4	Solodov, I. ....	Di.1.B.3
Robens, S. ....	P11	Spachtholz, J. ....	Mi.1.C.1
Rooyackers, W. ....	Di.2.C.1, Di.2.C.2	Sperreuter, M. ....	Mo.2.C.1
Roth, H. ....	Di.2.A.1	Spichtig, N. ....	Di.2.A.4
Samokrutov, A. ....	Mo.2.C.3	Sprau, B. ....	Mi.3.B.1
Saulais, H. ....	Di.2.C.3	Šrajbr, C. ....	Mi.2.B.4, P5
Sause, M.G.R. ....	Di.1.A.4, Mi.2.A.1	Steege, A. ....	Di.3.C.1
Schaefers, D. ....	Mo.2.B.3	Steffen, J.P. ....	Mo.3.B.3
Schäfer, F. ....	Di.2.A.3	Steinbrecher, N. ....	Mo.3.A.2
Schaible, T. ....	Mi.1.C.2	Stephan, M. ....	Mi.3.A.3
Schäle, D. ....	Mo.2.B.3	Stedel, M. ....	Di.1.B.1
Schaller, B. ....	Di.1.A.4	Stocker, T. ....	Di.2.A.3
Schauerte, C. ....	Di.1.A.2	Stopp, P. ....	Mi.3.B.3
Scheer, G. ....	Mo.3.B.1, Mi.3.C.1	Straube, C. ....	P12
Scheller, D. ....	P12	Stumm, C. ....	Mo.3.C.3, Mi.3.B.1
Scherleitner, E. ....	Mi.3.A.1, P27	Sukowski, F. ....	Di.2.A.3
Schickert, M. ....	Mi.1.B.1, Mi.1.B.3, Mi.3.B.2	Suppes, A. ....	Di.2.A.2
Schielein, R. ....	Di.2.A.2	Szewieczek, A. ....	Mo.2.C.4, Mi.1.A.3, P25, P26, P28
Schlech, T. ....	Di.1.A.4, Mi.2.A.1	Taffe, A. ....	Mi.1.B.1
Schlengermann, U. ....	P2	Taie, K. ....	Mi.1.B.4
Schmid, M. ....	Mi.3.C.3	Theado, H. ....	Mi.3.B.3
Schmitt, M. ....	P2, P3, P4	Thibault, C. ....	Di.2.C.3
Schmitz, S. ....	Mi.2.A.2	Thiry, M. ....	Di.1.A.1
Schnabel, A. ....	Mo.3.B.2	Thome, P. ....	Di.1.A.2
Schnell, F. ....	Mo.3.C.2	Thummerer, G. ....	Di.2.B.1, P19
Schober, G. ....	P18	Thurnherr, C. ....	Mo.2.B.4, Mi.2.B.2, P20
Schön, T. ....	P31	Trappe, V. ....	Di.1.A.5
Schönbauer, A. ....	Di.2.C.1, Di.2.C.2, P29	Trofaier, R. ....	Mo.2.A.4
Schrieck, B. ....	Mi.3.C.3		

Tschöke, K. ....	Mo.3.B.2, Mi.2.C.4
Tuschl, C. ....	Mo.2.A.2
Uebrig, A. ....	Mi.3.C.2
Ulanov, A. ....	Mi.1.B.3
Vogt, G. ....	Mi.2.B.1
Vogt, T. ....	Mo.3.B.2, Mi.2.A.3
von Dungern, F. ....	Mi.2.C.4
von Eisenhart-Rothe, K. ....	Di.2.A.4
von Schmid, M. ....	Di.2.A.2
Wachter, L. ....	Mi.1.A.2, P15, P18
Wagner, G. ....	Di.2.A.2
Walder, B. ....	Di.1.A.3
Walther, A. ....	Mi.1.B.1
Watzl, C. ....	Di.2.A.2
Weidenbrück, G. ....	Mi.3.B.4
Weidig, C. ....	P12
Weihnacht, B. ....	Mi.3.A.3
Weingard, C. ....	Mi.3.B.3
Weise, M. ....	Mo.2.C.4, Mo.2.C.5
Werner, D. ....	Mo.2.A.3
Werwein, A. ....	Di.3.A.1
Wiggenhauser, H. ....	P24
Wilke, M. ....	Di.1.C.1
Willms, M. ....	P17
Wittke, H. ....	Mi.2.C.4
Wohlgemuth, F. ....	Di.2.A.1, Di.2.A.2
Wohlgemuth, N. ....	Di.1.C.2
Wolf, J. ....	Mi.1.B.1
Wolf, M. ....	Di.1.B.1
Würschig, T. ....	Mo.2.A.3, Mi.2.A.2
Yagdjian, H. ....	Di.2.B.2
Yilmaz, B. ....	Mi.2.C.2
Zhang, T. ....	Mo.2.A.1
Zhou, Y. ....	P17
Ziche, L. ....	Mo.3.C.1
Ziegler, M. ....	P5
Zink, A. ....	Di.2.C.1, Di.2.C.2, P29
Zinn, P.-C. ....	Di.1.A.2, Di.1.A.3
Zoëga, A. ....	Mi.1.B.1
Zösch, A. ....	Di.1.C.4, Di.1.C.5
Zscherpel, U. ....	Di.3.C.3
Zwanzig, M. ....	Mi.1.B.1



DEUTSCHE  
GESELLSCHAFT FÜR  
ZERSTÖRUNGSFREIE  
PRÜFUNG e.V.

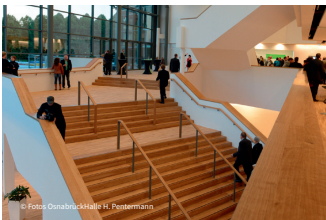
# Auf Wiedersehen zur DGZfP-JAHRESTAGUNG 2024

Zerstörungsfreie Materialprüfung

6. – 8. Mai

OSNABRÜCK

ZfP IN FORSCHUNG, ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG



© Fotos: OsnabrückHalle H. Penttermann

