



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG e.V.

DGZfP-JAHRESTAGUNG 2022

Zerstörungsfreie Materialprüfung

Kassel 23. – 25. Mai



- Kurzfassungen der Vorträge und Posterbeiträge
- Ausstellerprofile

ZfP IN FORSCHUNG, ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG

ÜBERSICHT

Montag, 23. Mai 2022

09:00 – 11:00

Blauer Saal

Eröffnungsveranstaltung

11:30 – 12:30

Mo.1.A

Vorträge der Preisträger

A. Erhard, G. Mook, D. Treppmann

13:45 – 15:05

Mo.2.A

Seite 8

**Prüfgeräten und Zubehör –
Neues von Herstellern und Lieferanten**

S. Robens, E. Neuser

15:30 – 16:30

Mo.3.A

Seite 24

Algorithmen/Simulation

M. Kreutzbruck

17:00 – 17:40

Mo.4.A | Poster mit Kurzpräsentation

Seite 102

Digitalisierung und Verfahren

D. Treppmann

18:00 – 21:30

Poster- & Ausstellerabend mit Prämierung

Dienstag, 24. Mai 2022

08:30 – 10:00

Di.1.A

Seite 35

Thermographie

M. Goldammer, M. Stamm

10:30 – 12:10

Di.2.A

Seite 51

Künstliche Intelligenz

S. Oeckl, A. Osman

13:00 – 14:00

Podiumsdiskussion

**Nachwuchsgewinnung in der ZfP – Ideen
und Wege**

14:30 – 17:00

Mitgliederversammlung der DGZfP (Kolonnadensaal)

20:00 – 24:00

Konferenzabend, Bräuerkirche Kassel

Mittwoch, 25. Mai 2022

08:30 – 09:30

Mi.1.A

Seite 64

ZfP 4.0

C. Pick, B. Valeske

10:15 – 11:55

Mi.2.A

Seite 76

Additive Fertigung

F. Herold, M. Pelkner

12:30 – 13:30

Mi.3.A

Seite 93

Mikrowellen/Terahertz

J. Jonuscheit, G. Schober

13:45

Schlusswort

Mo.2.B**Prüfgeräten und Zubehör –
Neues von Herstellern und Lieferanten***J. Büchler, H. Rast***Mo.3.B****Ausbildung***S. Feistkorn, A. Jung***Mo.4.B | Poster mit Kurzpräsentation****Radiographie***T. Wenzel***Mo.2.C****Computertomographie***H. Herold, E. Neuser***Mo.4.C | Poster mit Kurzpräsentation****Ultraschallprüfung***J. Kurz***Di.1.B****Bauwesen***C. Grosse, S. Küttenbaum***Di.2.B****Oberflächenverfahren***R. Casperson, T. Orth***Di.1.C****Materialcharakterisierung***V. Trappe, R. Tschuncky***Di.2.C****Robotik***F. Ahrens, M. Spies***Mi.1.B****Zustands- und Fertigungsüberwachung***A. Jüngert, B. Weihnacht***Mi.2.B****Normen und Regelwerke***J. Büchler, R. Holstein***Mi.3.B****Strahlenschutz***W. Essig, C. Kaps***Mi.1.C****Luftgekoppelter Ultraschall***M. Gaal, T. Gautzsch***Mi.2.C****Verbundwerkstoffe***M. Gurka, T. Hochrein***Mi.3.C****Kulturerbe***K.U. Berg, T. Fuchs*

Ost)

Wir danken unseren Sponsoren für die freundliche Unterstützung.



BMB Gesellschaft für
Materialprüfung mbH



DEKRA Incos GmbH



DIMATE GmbH



DÜRR NDT GmbH & Co. KG



EVIDENT Europe GmbH (Olympus)



Framatome GmbH



HILLGER NDT GMBH



IT-SERVICE LEIPZIG GMBH



iWP Innovative Werkstoffprüfung GmbH



KARL DEUTSCH Prüf- und
Messgerätebau GmbH + Co KG



Helmut Klumpf Technische Chemie KG



PIBS



Verasonics Inc.



VOGT Ultrasonics GmbH



Waygate Technologies



W.S. Werkstoff Service GmbH



Wilhelm Nosbüsch GmbH



Zeppelin Aviation & Industrial
Service GmbH



Die Zukunft liegt in Ihrer Hand – Aufbruch in ein neues Zeitalter

Dr. Jörg Wallner, Zukunftsforscher

Director Strategic Foresight bei 2b AHEAD ThinkTank

Unsere Zukunft ist ein spannendes, sehr facettenreiches Konstrukt: eine Vielzahl von Trends verändern das Umfeld, in dem wir künftig arbeiten und leben werden, absehbar und grundlegend: Wie bereiten wir uns also darauf vor, dass der Zugang zum globalen Wissen einfacher denn je sein wird, etablierte Tätigkeiten, Fähigkeiten und Rollen an Wert verlieren und dafür kontextuelles Denken, Kreativität und Werteorientierung wichtiger denn je sein werden? Wie verändern sich unser Erleben, unsere Erfahrungen und Wertvorstellungen und was bedeutet das für die künftige Arbeitswelt, ihre Anforderungen an Arbeitgeber und Arbeitnehmer, an Anbieter und Kunden, an Partner in der Wertschöpfung? Welche Herausforderungen ergeben sich daraus für Sie in der Prüf-Branche und wie wichtig ist es, dafür eine ebenso attraktive wie erreichbare Vision als Orientierung zu haben? Reisen Sie mit mir (mindestens) 10 Jahre in die Zukunft – auf der Suche nach Gestaltungsmöglichkeiten für eine großartige Zukunft!

Zur Person:

Dr. Jörg Wallner ist Director Strategic Foresight des 2b AHEAD Think Tank. Zukunftsforschung, Strategieentwicklung und Transformation unter den Vorzeichen der Digitalisierung stehen im Mittelpunkt seiner Tätigkeit. Als Impulsgeber zeigt er Unternehmen, wie sie mit Digitalisierung umgehen können. Er coacht Manager, gibt Unternehmen ihre Zukunftsbilder, berät Vorstände zu Zukunfts- und Digitalstrategien, entwickelt datengetriebene Geschäftsmodelle und begleitet Unternehmen bei der Umsetzung entsprechender Konzepte und bei der Befähigung ihrer Mitarbeiter. Jörg Wallner lebt in Hamburg, ist verheiratet und hat 3 Kinder.

KURZFASSUNGEN DER VORTRÄGE UND POSTER

Dichtheitsprüfung von Kanistern und Kunststofffässern im Produktionsprozess

[J. Lapsien](#)¹

¹ CETA Testsysteme GmbH, Hilden

Thermoplastisch hergestellte Kunststoffverpackungen, wie Drums, Kanister oder IBC´s (Intermediate Bulk Container), werden für den Transport und die Lagerung der unterschiedlichsten Produkte eingesetzt. Die typischen Volumina liegen zwischen ca. 60 l und ca. 1000 l. Werden Schüttgüter transportiert so müssen sie feuchtigkeitsdicht sein, insbesondere wenn das Schüttgut hygroskopisch ist oder Feuchtigkeit die Qualität des transportierten oder gelagerten Gutes beeinträchtigt. Und im Fall von Flüssigkeiten (z. B. Sirup) ist eine entsprechende Mediendichtheit gefordert.

Bei der Herstellung von großvolumigen Kunststoffhohlkörpern wird häufig das Extrusionsblasformen eingesetzt. Hierbei ergeben sich prozessbedingt statistische Variationen in der Wandstärke des Materials, insbesondere beim Anlauf des Produktionsprozesses, wenn noch nicht alle Komponenten die Betriebstemperatur erreicht haben. Einschlüsse im Material des Vorformlings können nach dem thermoplastischen Prozess die Ursache für Undichtheiten sein. Und an den Nähten können ebenfalls Undichtheiten auftreten, wenn diese unvollständig verschweißt sind. sein.

Damit kommt der produktionsbegleitenden Dichtheitsprüfung zur Qualitätsabsicherung eine hohe Bedeutung zu.

Die Dichtheitsprüfung derart großvolumiger Produkte im Produktionsprozess in akzeptablen Gesamtprüfzeiten und die Erkennung kleinster Löcher ist eine messtechnische Herausforderung. Aufgrund der guten Verfügbarkeit wird häufig Druckluft als Prüfmedium eingesetzt.

Viele derzeit im Einsatz befindliche Dichtheitsprüfstände wurden individuell entwickelt. Übergeordnete Steuerungen steuern und kontrollieren die mechanische Adaption, die pneumatischen Ventile zur Befüllung der Produkte und werten die mit Drucksensoren ermittelten Druckänderungen aus. Vielfach wird nur zwischen Gut- und Schlechteilen unterschieden.

Durch den Einsatz eines flexibel ausgelegten Prüfstandes ergeben sich viele Prozessvorteile und eine erhöhte Prozesssicherheit.

Vorstellung einer neuen Universal-MT-Rissprüfanlage

W. Deutsch¹, D. Braun¹, T. Dierks¹, T. Neudecker¹, [S. Robens](#)¹

¹ KARL DEUTSCH, Wuppertal

Im Laufe des Jahres 2021 konnte eine vollständig überarbeitete MT-Rissprüfanlage vorgestellt werden. Beim Maschinenbau wurde Wert auf einen modularen Aufbau gelegt, so dass aus identischen Komponenten, mehrere Maschinenvarianten gebaut werden können. Die Prüfanlage vom Typ DEUTROFLUX-UMT verfügt über zwei Kontakte zur kombinierten Magnetisierung. Drei Bau- bzw. Spannlängen sind verfügbar. Die Trafos sind so ausgelegt, dass auch mit hohem Durchsatz geprüft werden kann. Besonderes Augenmerk wurde auf die Bediensoftware DEUTROFLUX-MEMORY gelegt, die über ein Siemens Touchpanel gesteuert wird. Auch hier sind je nach Kundenanforderung mehrere Module verfügbar. Mithilfe der Software werden Prüfprotokolle und Statistiken erstellt für eine lückenlose Dokumentation des Prüfprozesses.

MesoFocus: Brennflecke zwischen Micro- und Minifocus

M. Odermatt¹, D. Krähenbühl¹

¹ Comet x-ray, Flamatt, Schweiz

Die neue MesoFocus Technologie ermöglicht innovative Röntgenquellen für industrielle Anwendungen, bei denen Auflösung und Leistung wichtig sind. Die MesoFocus Technologie eliminiert den Trade-off, den bisher zwischen geschlossenen Röntgenröhren und offenen Mikrofokusröhren eingegangen werden musste: Geschlossene Röhren sind robust und stabil und für die Produktionsumgebung geeignet, bieten aber nur eine begrenzte Auflösung, während offene Mikrofokusröhren eine hohe Auflösung bieten, aber nicht für die Produktionsumgebung und den 24/7-Betrieb geeignet sind.

Nebst vielen Anwendungsfeldern in Automotive und insbesondere Luftfahrt ermöglicht die MesoFocus Technologie ideale Voraussetzungen bei der Inspektion von additiv gefertigten Teilen. Überdies bietet die MesoFocus Technologie die Basis zur Inspektion von Batterien und Batterie-Packs, welche durch den Trend zur e-Mobilität systemrelevant geworden ist.

Die Einfachheit und Vielseitigkeit der MesoFocus Technologie schliesst nicht nur die Lücke zwischen Mikro- und Minifokus, MesoFocus senkt auch die Kosten der Prüfung drastisch die Kostenreduktion ist sowohl durch Durchsatz, Reproduzierbarkeit, Stabilität und hoher Betriebszeit mit minimalem Wartungsaufwand gegeben.

Vermessung von COMET MesoFocus-Röhren mit der Brennfleck-Kamera „Kowospot X“

[F. Hörauf](#)¹, K. Bavendiek¹, U. Zscherpel²

¹ Kowotest GmbH, Langenfeld; ² BAM, Berlin

Mit der digitalen KOWOSPOT X Kamera wurden an 3 verschiedenen COMET 225kV MesoFocus-Röhren die Brennflecke nach EN12543-2 / ASTM E1165 vermessen und die Ergebnisse untereinander, sowie mit der Kantenmethode nach EN12543-5 und mit der User-Methode nach ASTM E1165, die bei COMET als Referenz verwendet wird, verglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Lochkamera-Methode bei ausreichender Vergrößerung, kleinstmöglichem Loch und geeignetem Detektor in der Lage ist, die Brennflecke der neuen MesoFocus-Röhren zuverlässig mit geringer Toleranz zu vermessen – das gilt auch für die 50W Brennflecke. Im Vortrag werden dazu an der BAM aufgenommene Brennfleck-Bilder sowie die Bilder und Ergebnisse der Referenzmessungen der beiden anderen Norm-konformen Methoden gezeigt.

Zusätzlich wurden bei deutlich höheren Energien an einem COMET 450kV MesoFocus-Röhrenprototyp Brennfleck Aufnahmen gemacht. Damit wurde die Frage beantwortet, ob der digitale Detektor – im Gegensatz zum klassischen Zahnarzt-Film – auch bei Röntgenenergien oberhalb von 200keV eingesetzt werden kann und wie sich eine eventuelle Durchstrahlung der Lochblende auswirkt.

Laser Shearography NDT: Technologische Vorteile und Anwendungen in der Luft- und Raumfahrtindustrie

[R. Wahler](#)¹, L. Crosbie¹

¹ Dantec Dynamics GmbH, Ulm

Die Fähigkeit, Defekte in Luft- und Raumfahrtstrukturen mithilfe der Laser-Shearographie effektiv und effizient zu erkennen, ist allgemein bekannt. Die Technologie kann zur Erkennung einer Reihe von Fehlern eingesetzt werden, einschließlich: Delaminierungen, Kissing Bonds, gerissene Kerne, Eindringen und Fremdkörperschäden (FOD) in Laminaten, Waben, Schaumkernen und gebundenen Bauteilen. Shearografie-Systeme werden zur ZfP seit 20 Jahren für eine Reihe von Luft- und Raumfahrtanwendungen verwendet, darunter: Radomen, Hubschrauberblätter, Druckbehälter, Tanks und Steuerflächen. Der Vorteil der Durchführung wiederholbarer NDT-Inspektionen mit Laser-Shearographie sind hohe Inspektionsraten, nachvollziehbare und reproduzierbare Messergebnisse. Laser Shearografie ist eine zeiteffiziente und damit kostengünstige Lösung. Flexible Lösungen für eine wachsende Anzahl von Testanwendungen erfordern die Bereitstellung einer agilen Roboterintegration. Die Validierung der Testergebnisse muss anhand von benutzerdefinierten Toleranzen festgelegt werden. Zuverlässige Messungen sind ein absolutes Vorrecht für jede ZfP-Technologie. Dies ist an sich schon eine Herausforderung, für die Dantec Dynamics die Lösung für Ihre Testanwendung hat.

Neue Produkte für die Röntgenprüfung in der produktionsnahen Computer Tomographie und im mobilen Einsatz

E. Neuser¹

¹ Waygate Technologies, Wunstorf

Phoenix Speed|scan HD

- Der neue Standard für die industrielle Serien-Inspektion im Bereich 3D Röntgen: Automatisch, Schnell, Zuverlässig.
- Voll automatische High-Speed CT mit bis zu 100% Kontrolle im Herstellungsprozess bei gleichzeitig 90% weniger Benutzerinteraktion (Bedienung und Auswertung)

Power|scan HE

- High Energy CT System optimiert für große Proben mit komplexen Strukturen wie z. B. Bauteile aus der Luft- und Raumfahrttechnik
- ausgestattet mit Scatter|corrent Technologie für gleichbleibende Bildqualität bei reduzierter Aufnahmezeit

DXR140P-HC & DXR75P-HR

- Portable hochauflösende Röntgen-Flachbilddetektoren der neuesten Generation
- DXR140P-HC: optimiert für schnelle Bildgebung mit hohen Kontrasten
- DXR75P-HR: optimiert für hohe Ortsauflösung bei kurzen Belichtungszeiten
- Robuster Aufbau für den Einsatz in rauen Industrieumgebungen

OdorCheckerSpot – Technische Emissionsprüfung und Geruchsbewertung von Bauteilen am Beispiel von Automotive Interieur-Komponenten

[M. Leidinger](#)¹, J. Peter¹, M. Müller¹

¹ 3S GmbH, Saarbrücken

Die Bewertung der Gas-Emissionen bzw. des Geruchs von produzierten Bauteilen wird zunehmend wichtiger, so gibt es z.B. in der Automobil-Branche immer mehr Abnahme-Kriterien die dieses Thema betreffen. Störende oder unangenehme Material- oder Bauteilgerüche im Fahrzeuginnenraum führen zur Belastung für Insassen und werden oft als schwerwiegender Qualitätsmangel empfunden. Materialien und Bauteile werden zwar bei Serienanlauf im Zuge der Erstmusterung zurzeit noch überwiegend humansensorisch auf Geruch geprüft. Allerdings finden aus Kosten- und Zeitgründen in der Serienproduktion keine ausreichend engmaschigen und fortlaufenden Kontrollen des Qualitätsmerkmals Geruch statt.

Mit dem OdorCheckerSpot (OCS) hat die 3S GmbH gemeinsam mit einem Automobil-Hersteller ein Messgerät entwickelt, das die geruchliche Qualität von KFZ-Interieur-Komponenten technisch bewerten kann. Der OCS liefert Messsignale auf Basis temperaturmodulierter Gassensoren, die vom Anwender durch ein spezifisches Training auf Geruchsintensitätswerte bezogen werden können. Dazu werden die entsprechenden Bauteile oder Komponenten sowohl mit dem Gerät als auch durch menschliche Panels als Referenz vermessen und ein mathematisches Modell für den Zusammenhang zwischen den Daten parametrisiert. Im weiteren Messbetrieb kann das Gerät dann die Geruchsintensität von Prüflingen der selben Art bestimmen.

Durch die Platzierung der Prüflinge in einer externen Messkammer und umfangreicher Parametrierbarkeit des Systems kann das Gerät zur Vermessung einer großen Bandbreite unterschiedlicher Teile eingesetzt werden.

Auch in anderen Bereichen kann solch eine Prüfung eingesetzt werden, z.B. zur Qualitätskontrolle in der chemischen Produktion oder als Eingangsprüfung von potenziell gefährlichen Gütern wie z.B. Batterien.

Helling Technologiezentrum für Mess- und Prüftechnik

N. Riess¹, A. Ivankov¹

¹ Helling GmbH, Heidgraben

Hohe Sicherheitsanforderungen in der Industrie und im Verkehrswesen haben uns veranlasst, unsere Mess- und Prüftechnik zu erweitern und in einem neu errichteten Technologiezentrum in unserem Stammsitz Heidgraben zu konzentrieren.

Dies gilt insbesondere für die Zertifizierung von UV Lichtquellen, die in der Eindringprüfung und Magnetpulverprüfung zum Einsatz kommen, ebenso natürlich auch für unsere Kontrollkörper.

Gleichzeitig mit der Errichtung der Halle haben wir die Akkreditierung unseres Prüflabors durch die DAKKS beantragt.

Zur Laborausstattung gehören:

- Spektrometer mit Photomultiplier / Diff D7 Cosine, $f_2=0,93\%$, Wellenlängenbereich 250 - 600 nm, Auflösung besser als 0,36 nm;
- Array-Spektrometer mit CCD-Array / 2048 Pixel, Wellenlängenbereich 250 - 850 nm, Auflösung 0,5 nm;
- Kalibrierungsstandards: Hg-Niederdruck-lampe, Halogen Irradiation Standard Lamp;
- Korrelationsfarbtemperaturquelle gem. CIE Standard (A-Quelle) mit stabilisierter Stromversorgung;
- Luftgekühlte UV-A-Diode (Schwerpunktwellenlänge $\lambda = 365,6$ nm, Halbwertbreite $\Delta\lambda = 9,2$ nm mit stabilisierter Stromversorgung;
- Kühlkammer/Wärmekammer (10° - 50°C).

Unsere hochqualifizierten Fachkräfte und die High-End-Ausrüstungen machen es möglich, UV-Leuchten verschiedener Hersteller in Übereinstimmung mit Anforderungen gängiger Normen wie Rolls-Royce RRES90061, ASTM E3022, Airbus AITM6-1001, DIN EN ISO 9934-3, DIN EN ISO 3059 zu vermessen und zu zertifizieren.

Das Technologiezentrum verfügt zusätzlich über einen großzügig bemessenen Besprechungsraum.

Im Vortrag werden das Technologiezentrum sowie Messungen und Zertifikate an Beispielen dargestellt.

Bildgebende Schweißpunktprüfung

S. Kierspel¹

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

Die Prüfung von Schweißpunkten mit Ultraschall ist ein seit Jahrzehnten etabliertes Verfahren – nicht nur in der Automobilindustrie. Dabei werden vorgegebene Schweißlinsendurchmesser mit definierten Schallfelddurchmessern von speziell für diesen Anwendungsfall gefertigten Prüfköpfen verglichen. Aus den dabei gewonnenen Signalfolgen können Rückschlüsse auf den Zustand der Schweißlinse gezogen werden. Allerdings gibt es Grenzen hinsichtlich der horizontalen Auflösung der Signale und deren Bewertung. Dies zu verbessern ist Ziel der bildgebenden Schweißpunktprüfung mit Phased-Array-Ultraschall. Die Verwendung von Matrix-Array Prüfköpfen liefert nicht nur detailreichere Informationen aus der Fügeebene, es ermöglicht auch die Vermessung der Schweißlinse hinsichtlich Dicke, Durchmesser und verschweißtem Bereich. Spezielle Phased Array Algorithmen werden dabei verwendet, um die laterale Auflösung zu verbessern. Vor allem aber erhält man eine visualisierte Darstellung der Schweißlinse. Der folgende Vortrag soll zeigen, wie die Prüfung mit Phased-Array Ultraschall ausgeführt wird, welche Ergebnisse dabei erzielt und wie diese dargestellt werden.

Fortschrittliche Produktlösungen von Tessonics für die Prüfung von Punktschweißverbindungen im Karosseriebau

R. Maev¹, [Y. Oberdörfer](#)¹, E. Valetsky¹, R. Kitzmann¹

¹ Tessonics Europe GmbH, Frechen

Die manuelle Ultraschallprüfung von Widerstandsschweißpunkten im Karosseriebau ist eine etablierte Technologie und wird in verschiedenen Ausführungen seit Jahren erfolgreich praktiziert. Aber auch dieser Bereich ist wie andere Bereiche der Industrie aktuellen Trends wie Steigerung der Datenverfügbarkeit, Industrie 4.0 und steigende Forderung nach Automatisierung und Robotisierung unterworfen. Aktuelle Produktneuerungen und -verbesserungen von Tessonics nehmen diese Trends auf und bieten interessante Möglichkeiten, die Ultraschallprüfung von Widerstandsschweißpunkten im Karosseriebau zu verbessern und zu optimieren: mit dem Tessonics RSWA F-2 können Daten direkt im Anschluss an eine manuelle Prüfung auch über Standortgrenzen hinweg mit Hilfe einer Server-Lösung zusammengefasst, archiviert und bereitgestellt werden. Das in eine Schweißzange integrierte RIWA-System verwendet künstliche Intelligenz, um Ultraschallbilder taktgebunden und quasi in Echtzeit auszuwerten und so eine 100%-Prüfung aller Schweißpunkte zu ermöglichen, während mit dem neuen Tessonics Smart Robotic System (SRS) robotergestützte Prüfungen von Widerstandsschweißpunkten auf Karosserieteilen oder ganzen Karossen möglich werden

Neue Ansätze in der tomografischen Visualisierung und Auswertung von Ultraschallmessdaten bei Betonprüfung

[A. Bulavinov](#)¹, R. Pinchuk¹, A. Samokrutov¹, V. Shevaldykin¹

¹ ACS-Solutions GmbH, Saarbrücken

Das Full-Matrix-Capture-Verfahren (FMC) bei Ultraschalldatenaufnahmen mittels Gruppenstrahlersysteme bietet eine neue Qualität für die bildgebende Ultraschallprüfung von Bauwerkstoffen und wird erfolgreich in den im Markt erhältlichen Prüfgeräten eingesetzt. Diese implementieren jedoch nur das Prinzip des linearen Wandler-Arrays mit 2D-Rekonstruktion des B-Bildes nach dem SAFT-Prinzip.

Die in Ultraschall-Betonprüfgeräten eingesetzten Dry-Point-Contact-Wandler (DPC) bieten durch ihren matrixartigen Aufbau die Möglichkeit, den dreidimensionalen FMC-Datenaufnahmevergang zu realisieren und damit die tomografische Volumenrekonstruktion durchzuführen.

Der aktuelle Vortrag präsentiert die neue Geräteplattform sowie die ersten praktischen Prüfergebnisse an Betonbauwerken mit 3D-FMC Bildrekonstruktion und Visualisierung von Ultraschallprüfdaten und thematisiert die Vorteile der dreidimensionalen Datenerfassung mit DPC-Wandlersystemen in Bezug auf die Erhöhung des Informationsinhaltes der Ultraschall-Betonprüfung sowie die Verbesserung ihres Nachweisvermögens. Unter anderem wird hierbei die quantitative Risstiefenbewertung diskutiert, die durch den neuen Ansatz eine praktische Dimension gewinnt.

Innovative Fehlerprüfung mit dem Krautkrämer USM 100

[T. Fausten](#)¹

¹ Waygate Technologies, Baker Hughes Digital Solutions GmbH, Hürth

Das neue USM 100 ist ein leichtes, vielseitiges und smartes Ultraschallprüfgerät, das auf der über 70-jährigen Erfahrung von Krautkrämer in der Entwicklung von Ultraschallprüfgeräten aufbaut.

Das über den Touchscreen oder Tasten zu bedienende Gerät mit einem 7-Bildschirm ist für links- oder rechtshändige Bedienung ergonomisch gestaltet. Das IP 67 zertifizierte Gehäuse gewährleistet einen zuverlässigen Betrieb in rauen Industrieumgebungen.

Der Frequenzbereich von 200 kHz bis 30 MHz, verbunden mit einem leistungsstarken Rechtecksender, erlauben ein außergewöhnlich großes Anwendungsspektrum. Individuell auf die Anwendung zugeschnittene Apps erlauben eine effektive Prüfung. Das USM 100, das die neue Norm für Geräte DIN EN ISO 22232-1 erfüllt, führt die Prüfungen mit Smartphone ähnlichen Funktionen in die Zukunft der vernetzten Welt. Mittels einer WLAN-Verbindung können die Daten in eine Cloud übertragen und dort weiterverarbeitet werden. Eine universelle USB-C Schnittstelle stellt die Verbindung zu einem PC her, der auch die Steuerung des Gerätes übernehmen kann.

Mit der digitalen Anbindung des Gerätes an die InspectionWorks Plattform von Waygate Technologies können Aktualisierungen, Apps und Informationen heruntergeladen werden und sorgen damit für einen reibungslosen Ablauf in der Prüfung.

Produktivitätssteigernde und zeitsparende Auswertung von Ultraschallprüfergebnissen mit der Weldsight-Software

[H. Küchler](#)¹, A. Zink¹

¹ Olympus Deutschland GmbH, Hamburg

Bei heutigen Ultraschallprüfungen werden viele Daten erzeugt. Gerade bei der Nutzung von Phased-Array-Technologien zur Schweißnahtprüfung oder bei Korrosionsscans, ist die Bewertung von Anzeigen zeitaufwendig und kompliziert. Man muss Formanzeigen von den Anzeigen in der Schweißnaht trennen. Bei der Restwanddickenmessung wird nach flächiger Wanddickenreduzierung gesucht. Die Weldsightsoftware kann hier helfen, die Produktivität bei der Auswertung der Anzeigen zu erhöhen.

Die Arbeitsweise der Weldsightsoftware

Zur Auswertung von Anzeigen aus der Schweißnahtprüfung, welche mit der Phased Array Prüfung, oder auch mit kombinierten TOFD Spure aufgenommen wurden, ist die Weldsightsoftware ein produktives Werkzeug. Datensätze der älteren Omniscan Geräte sowie Datensätze der neuen Geräte Omniscan X3 und Focus PX werden von der Software geladen und verarbeitet. Über die Merge-Funktion werden Datensätze, die von links- und rechts der Schweißnaht stammen, zusammenfügen. Eine Schweißnahtblende erleichtert die Bewertung der Anzeigen aus diesem Bereich, ohne dass es zu störenden Formanzeigen kommt.

Bei Korrosionsscans von großen Flächen, können diese mit der Software erleichtert zusammengefügt werden. Die Analyse von Bereichen mit reduzierter Wanddicke wird durch eine Analysefunktion zur Markierung dieser Flächen vereinfacht und optimiert.

Gefundene Anzeigen werden halb- oder vollautomatisch in einen Bereich übertragen.

Forschung, Entwicklung und Neuheiten von Hillger NDT GmbH

[W. Hillger](#)¹, T. Reinelt¹, A. Szewieczek¹

¹ Hillger NDT GmbH, Braunschweig

Die Hillger NDT GmbH ist ein Mitglied der Butting Gruppe und ist 2019 aus dem 1984 gegründeten Ingenieurbüro Dr. Hillger hervorgegangen. Wir entwickeln und fertigen spezielle Prüfsysteme zur bildgebenden Ultraschallprüfung. Der Firmenvortrag berichtet über folgende Neuentwicklungen:

- Squirterdüsen zur Prüfung von faserverstärkten Bauteilen
- Geräteserie USBUS: leistungsfähige und preiswerte Ultraschallsysteme für die Bereiche Forschung, Entwicklung und Ausbildung
- Extrem rauscharme Vorverstärker für Luftultraschall
- Phased Array Technik für Luftultraschall

Neuerungen aus dem Bereich der Infrarotmesstechnik – Die HDR-Funktion der Kameraserie ImageIR® erleichtert die Analyse von Objekten mit extremen Temperaturgradienten

[A. Kipp](#)¹

¹ InfraTec GmbH, Dresden

Wenn mit einer Wärmebildkamera sehr hohe Temperaturen gemessen werden sollen, muss beachtet werden, dass – physikalisch bedingt – hohe Strahlungsintensitäten auftreten. Diese können die Eigenschaften der Detektorpixel der Kamera temporär oder dauerhaft so beeinflussen, dass die Temperaturmessung stark verfälscht wird bzw. Pixel des Arrays sogar irreparabel ausfallen. Zur Dämpfung dieser zu hohen Intensitäten werden deshalb spezielle Neutraldichtefilter vor dem Detektor der Kamera angeordnet. Sie ermöglichen die Messungen an heißen Objekten bis zu einem – jeweils von der Dämpfung des Filters abhängigen – oberen Ende des Temperaturmessbereiches. Gleichzeitig begrenzen sie jeweils aber auch den nutzbaren Temperaturmessbereich nach unten. Zur Messung von Temperaturen in einem sehr breiten Temperaturmessbereich ist deshalb ein Wechsel von Neutraldichtefiltern mit unterschiedlichen – sich aber jeweils überlappenden – nutzbaren Temperaturmessbereichen notwendig.

Dabei wird gewöhnlich in Etappen vorgegangen und für jeden einzelnen Messbereich der Neutraldichtefilter gewechselt. HDR macht eine Unterbrechung der Messungen für den Filterwechsel überflüssig. Die Funktion erlaubt das kontinuierliche Aufnehmen von Messszenarien, die extrem voneinander abweichende Temperaturen aufweisen, sowie das thermische Analysieren von Messobjekten, die schnelle Temperaturänderungen über einen sehr großen Bereich hinweg erfahren. HDR ermöglicht kontrastreiche Thermografie-Aufnahmen und -Sequenzen in einem breiten Temperaturbereich mit bis zu 3.000 K, die zudem eine hohe Messgenauigkeit auszeichnen.

Bildgebende Darstellung der Materialbeschaffenheit mittels Wirbelstromprüfverfahren

[J. Hansen](#)¹, H. Springer²

¹ ETHER NDE Ltd, St. Albans, Großbritannien; ² Springer New Technologies GmbH,
Simmozheim

Das Wirbelstromprüfverfahren hat sich in den letzten Jahren als anerkanntes und vorteilhaftes Prüfverfahren etabliert. Die bildgebende Darstellung der Prüfungen, besonders auch durch die Geschwindigkeit, mit der sich Messdaten aufnehmen lassen, hat neue Möglichkeiten zur Qualitätssicherung an diversen Materialien und bei unterschiedlichen Verfahren durchgesetzt. In der Metall-Additiven-Fertigung (am), wie auch beim Auftrags-schweißen von unterschiedlichen Materialien (z. B. Kupfer auf Stahl), wird das Prinzip on-line, direkt während der Fertigung, eingesetzt um Fertigungsfehler unmittelbar zu erkennen und entsprechende Maßnahmen ergreifen zu können – eine Zeit- und Kosten-ersparnis durch die in-line Anwendung. Anwendungsbeispiele und die dafür entwickelten Sonden und Geräte werden vorgestellt.

präsentiert auf Englisch

Transiente Ultraschall-Simulation mittels Sub-Apertur und Gaussian Beam Equivalent Point Source Modellierung

[M. Spies](#)¹, O. Müller¹

¹ Baker Hughes - Process & Pipeline Services, Stutensee

Die Simulation zerstörungsfreier Prüfverfahren gewinnt zunehmend an Bedeutung für praktische Anwendungen. Dies betrifft verschiedene Aspekte, wie beispielsweise die Prüfkopf-Optimierung, aber auch die virtuelle Abbildung kompletter Prüfprozesse. Auf Basis entsprechender physikalischer Modelle helfen Ultraschall-Simulationsverfahren beim Verständnis komplexer Wellenphänomene, bei der Optimierung von Prüfparametern und bei der Interpretation experimenteller Ergebnisse.

Aus der Vielzahl der verfügbaren Verfahren bieten (halb-)analytische Verfahren den Vorteil effizienter Rechenzeiten bei hinreichender Genauigkeit. Abhängig von der Prüffrequenz und der Komplexität des Prüfzenarios erfordern transiente Simulationen allerdings unter Umständen dennoch lange Rechenzeiten. Daher befasst sich dieser Beitrag mit zwei recheneffizienten Verfahren zur breitbandigen Simulation.

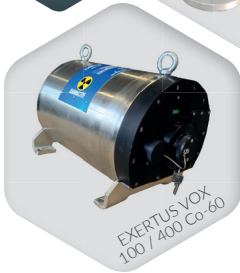
Sub-Apertur Modellierung ersetzt die Überlagerung von Punktquellen, wie beispielsweise bei der bereits vielfach vorgestellten GPSS-Methode, durch die Überlagerung kleiner Rechtekaperturen, um das Verhalten von Rechteckprüfköpfen zu simulieren. Beim Einsatz der sogenannten Gaussian Beam Equivalent Point Source Modellierung wird ein Gaußscher Strahl so angepasst, dass er das Verhalten einer Kugelwelle möglichst exakt simuliert. Auch hier wird dann ein Superpositionsansatz angewandt, bei beiden Verfahren werden die Fernfeld-Richtwirkungen für Rechtekaperturen genutzt.

In diesem Beitrag werden die wesentlichen Prinzipien dieser Methoden präsentiert. Es werden repräsentative breitbandige Schallfeldsimulationen im Vergleich zu GPSS-Ergebnissen und experimentellen Ergebnissen zur Validierung gezeigt. Die Verfahren werden anhand von Simulationen für verschiedene Fokus- und Steuerungsmodi eines Phased Array Sensors veranschaulicht, der im Hinblick auf verschiedene Pipeline-Inspektions-szenarien optimiert wurde.



RT

Gamma
Radiography



**INNOVATIV
ZUVERLÄSSIG
SICHER**

**Ihr starker und
zuverlässiger Partner für
Ihre ZfP-Anwendungen:**

- Vor-Ort-Service
- Strahlervertrieb
- Anlagenverleih
- Geräteservice
- Gezielte Beratung

RT

Radiographic
Testing



UT

Ultrasonic
Testing



**Unsere Produkte und
Dienstleistungen für Sie:**

RT

Gamma
Radiography

RT

Radiographic
Testing

UT

Ultrasonic
Testing

MT

Magnetic
Particle Testing

PT

Penetrant
Testing

VT

Visual Testing

LT

Leak Testing

HT

Hardness
Testing

DR

Digital
Radiography

Ein Simulationstool zur Modellierung scannender luftgekoppelter Ultraschallprüfungen auf Basis der Elastodynamischen Finiten Integrations-technik (EFIT)

[F. Schubert](#)¹, M. Barth¹

¹ Fraunhofer IKTS, Dresden

Die luftgekoppelte Ultraschallprüfung steht seit einiger Zeit wieder verstärkt im Fokus von Anwendern, Entwicklern und Geräteherstellern. Sie weist zwar die gleichen physikalischen Grundlagen auf wie die konventionelle Ultraschallprüfung, verfügt aber über eine Reihe von Besonderheiten, die bei der Auslegung von Messaufbauten und der Auswertung von Messdaten berücksichtigt werden müssen. Im Mittelpunkt stehen dabei die vergleichsweise niedrigen Prüffrequenzen sowie die großen akustischen Impedanz- und Schallgeschwindigkeitsunterschiede zwischen Luft und dem zu prüfenden Festkörper. Bei der numerischen Simulation konventioneller Ultraschallprüfverfahren wird die Schallausbreitung in der umgebenden Luft aus Rechenzeitgründen meist vernachlässigt. Zur Berechnung luftgekoppelter Prüfungen muss sie dagegen explizit berücksichtigt werden, was neue Herausforderungen für das Simulationsverfahren mit sich bringt, insbesondere bei der Realisierung der üblicherweise durchgeführten scannenden Prüfung. Im Beitrag wird ein Simulationstool zur Berechnung und Optimierung der luftgekoppelten Ultraschallprüfung an nahezu beliebig gestalteten Mehrschichtaufbauten mit und ohne Fehlstellen auf Basis der Elastodynamischen Finiten Integrationstechnik (EFIT) vorgestellt. Es umfasst die 2D- und 3D-Modellierung ebener und gekrümmter, isotroper und anisotroper Bauteile in Transmissions-, Impuls-Echo- und Pitch-Catch-Konfigurationen unter Einbeziehung von Lamb- und Leakywellen. Ein besonderes Augenmerk bei der Entwicklung lag auf der Rechenzeitminimierung im Scanbetrieb, was durch verschiedene Maßnahmen erreicht wurde. Der Beitrag präsentiert die frei konfigurierbaren Parameter des EFIT-Solvers, eine Benutzeroberfläche auf LabView-Basis sowie typische Anwendungsbeispiele aus der luftgekoppelten Ultraschallprüfung.

Simulationsbasiertes Deep Learning-Modell für die Detektion von Fehlstellen in Betonstrukturen

C. Thurnherr¹, A. Muller¹, D. Algernon¹

¹ SVTI Schweizerischer Verein für technische Inspektionen, Wallisellen, Schweiz

Das Ziel der aktuellen Arbeit liegt in der Entwicklung eines Deep Learning-Modells zur Detektion und Charakterisierung relevanter Fehlstellen in Stahlbetonstrukturen. Insbesondere erfolgt dies unter Berücksichtigung einer mitunter starken Beeinträchtigung der Signale durch das materialbedingte Gefügerauschen. Das Trainieren anwendungsorientierter Deep Learning-Modelle verlangt ein grosses und vollständiges Datenset. Eine experimentelle Datenerhebung ist allerdings aufgrund des Designs und der Herstellbarkeit von Testproben in ihrer Menge beschränkt. Ein Deep Learning-Modell alleine mit experimentellen Daten zu trainieren, ist daher fast nicht möglich. Daher werden in der aktuellen Studie verschiedene virtuelle Ultraschalluntersuchungen mit der kommerziellen Simulationssoftware CIVA durchgeführt. Die Simulationen berücksichtigen dabei strukturbedingtes Rauschen, um die Detektion von Fehlstellen in Beton so realistisch wie möglich abzubilden. Es werden verschiedene Arten von Fehlstellen wie zum Beispiel Kiesnester betrachtet. Die Nutzung von Simulation bietet hierbei die Chance, eine grosse Datenmenge zu erzeugen, was für das zuverlässige Trainieren von Deep Learning-Modellen unabdingbar ist. Zudem können die Parameter mithilfe der Simulation systematisch variiert werden, was ein umfangreiches Datenset garantiert. Die Simulationsdaten, welche Rauschsignale enthalten, werden anschliessend genutzt, um mit der intern entwickelten Software Echolyst A.I. ein Deep Learning-Modell zu trainieren. Abschliessend wird dieses Modell mit vorhandenen experimentellen Daten validiert, welche unter anderem an realen Kiesnestern aufgenommen wurden. Die Studie zeigt das Potenzial von künstlicher Intelligenz, um die Effektivität von Ultraschallprüfungen zur Detektion von Fehlstellen in Betonstrukturen deutlich zu steigern.

Revision der ISO 9712 – Was kommt auf uns zu?

[R. Holstein](#)¹, M. Zwanzig²

¹ DGZfP Ausbildung und Training GmbH, Berlin; ² DGZfP e.V., Berlin

Im September 2021 erschien der finale Entwurf der revidierten ISO 9712. In einem vierjährigen Prozeß wurde die Norm grundlegend überarbeitet. Auch wenn die grundlegenden Prinzipien und Prozesse beibehalten wurden, so müssen sich doch die Schulungsteilnehmer, deren Arbeitgeber und auch die Zertifizierungsstellen auf eine ganze Reihe von Änderungen einstellen. Diese Änderungen sollen im Beitrag ausführlich vorgestellt werden.

Additive Herstellung von Prüfobjekten für die ZfP-Ausbildung – eine Chance?

[C. Weidig](#)¹, C. Straube¹

¹ ifw Jena GmbH, Jena

In der Ausbildung für zerstörungsfreie Prüfverfahren kommen regelmäßig zu prüfende Objekte zum Einsatz, die stets individuelle Ungängen aufweisen. Dies erschwert allerdings die Vergleichbarkeit der Qualifikationsprüfungen, da alle Prüfungsteilnehmer unterschiedliche Prüfungsobjekte bekommen. Stand der Technik ist, fehlerbehaftete Bauteile aus der Produktion oder speziell angefertigte Werkstücke als Prüf- und Übungsobjekte zu verwenden.

Das pulverbettbasierte Schmelzen von Metall mittels Laserstrahl (PBF-LB/M) bietet Vorteile, hinsichtlich individueller, kundenspezifischer Produktlösungen, die eine hohe Flexibilität hinsichtlich Geometrie, Varianten und Stückzahl erfordern. Im Rahmen eines öffentlich geförderten Projektes zur Einflussuntersuchung von definiert eingebrachten inneren Ungängen in additiv gefertigten Bauteilen auf deren mechanischen Eigenschaften, war es u. a. das Ziel die endgültige Geometrie und Ausprägung dieser Ungängen zu untersuchen. Anhand dieser Erkenntnisse wurden metallische Prüfobjekte hergestellt, die in der ZfP-Ausbildung Anwendung finden könnten. Dazu wurden Ungängen in Probekörper definiert eingebracht und mit Hilfe der digitalen Durchstrahlungsprüfung, der Ultraschallprüfung und der Farbeindringprüfung untersucht.

Auf Basis dieser Erkenntnisse soll abgeschätzt werden, ob die additive Herstellung von Metall-Prüfobjekten für die ZfP-Ausbildung geeignet ist.

Human Factors in der POD – ist das möglich?

M. Bertovic¹, J. Given¹, V.K. Rentala², J. Lehlleitner¹, D. Kanzler², T. Heckel¹,
V. Tkachenko¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² Applied Validation
of NDT, Berlin

Menschliche Faktoren sind ein häufig genanntes Thema, wenn wir über die Zuverlässigkeit der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) sprechen. Die Probability of Detection (POD), das üblicherweise verwendete Maß für die Zuverlässigkeit der ZfP, betrachtet jedoch nur die technische Fähigkeit eines ZfP-Systems, einen Fehler zu entdecken. Nach mehreren Jahrzehnten der Erforschung des Einflusses der menschlichen Faktoren auf die Zuverlässigkeit der ZfP gibt es immer noch keinen allgemein akzeptierten Ansatz, um menschliche Faktoren in der Zuverlässigkeitsbewertung sichtbar zu machen. Dieser Vortrag gibt einen Überblick über verschiedene verfügbare Methoden zur Einbeziehung menschlicher Faktoren in die Zuverlässigkeitsbewertung. Dieses Thema ist ein essentieller Bestandteil des laufenden WIPANO-Projekts normPOD, das sich als Ziel gesetzt hat die Standardisierung der Zuverlässigkeitsbewertung in Deutschland voranzutreiben und im Vergleich zu den schon bekannten internationalen Normen einen Fokus auf den Umgang mit den menschlichen Faktoren zu legen.

Einfluss des Bildrauschens innerhalb der Messkette eines industriellen Computertomografen – Propagation of image noise through the measurement chain in industrial X-ray computed tomography

[T. Reuter](#)¹, A.M. Müller¹, T. Hausotte¹

¹ Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik, Erlangen

Industrial X-ray computed tomography is a technology that is able to measure inner and outer features at once. This fact leads to an increasing interest for the application in the context of dimensional metrology. In order to evaluate the quality of a measurement, the task specific measurement uncertainty has to be determined. Currently, VDI/VDE 2630 part 2.1 gives a guideline to determine the task specific measurement uncertainty with a large number of experimental repetitions and a calibrated workpiece. Thus, current research aims to determine this measurement uncertainty numerically using simulations. To achieve this, all relevant factors influencing a measurement and their impact on the specific measurand have to be investigated.

One of these influencing factors is the image noise originating from different sources within the measurement chain. In this contribution, we will analyse how different noise levels, given as signal-to-noise ratios (SNR) at the maximum intensity of a free beam, will influence the measured geometry of a scanned part. The local statistical behaviour of the measured surface is determined from measurement repetitions (simulations with aRTist 2.12 (BAM, Berlin)), followed by a dense geometric sampling of each surface, using the discrete uncertainty framework developed at FMT. This method allows us to make locally resolved statements about the measurement uncertainty at arbitrary surface points without the need for specific dimensional measurands and is therefore well suited for the evaluation of the propagation of projection noise through the complete measurement chain.

Neue Möglichkeiten für die CT durch Mesofocus-Röhren mit 450 kV

[U. Zscherpel](#)¹, D. Barroso¹, M. Odermatt², A. Riedo²

¹ BAM, Berlin; ² COMET, Flamatt, Schweiz

Mit einem Prototyp einer 450 kV Mesofocus-Röhre wurde anhand von Beispielen demonstriert, worin die Vorteile einer Mesofocus-Röhre mit Brennfleckgrößen in Bereich von 50 bis 450 μm bei Röntgenröhrenspannungen bis 450 kV liegen. Dazu wurde ein Detektor mit 50 μm Pixelgröße verwendet, der eine Projektionsfläche von 23x29 cm^2 erfasst. Beides wurde in den Spiral-CT-Set-Up der BAM montiert, der frei verstellbar ist.

Die bisher notwendige genaue mechanische Justage der Ausrichtung von Detektor, Drehachse und Quellposition wurde durch eine geometrische Kalibrierung der Achspositionen anhand eines Testkörpers mit Kugelprojektionen bestimmt, die bei der CT-Rekonstruktion als Rekonstruktionsparameter mitgegeben werden. So können auch für Spiral-CT scharfe Rekonstruktionen ohne mechanische Justage erzielt werden.

Aufgrund der verwendeten kleinen Pixelgrößen und der großen Fläche des Detektors lassen sich schwer durchstrahlbare Objekte bei 450 kV wie Turbinenschaufeln oder AM-Bauteile aus dickem Edelstahl 316L in einem CT-Scan Artefakt-frei rekonstruieren. Der gegenüber klassischen Microfocus-Röhren erweiterte Leistungsbereich von 50 bis 450 W der 450 kV Mesofocus-Röhren erzeugt bei Vergrößerungsfaktoren unter 3 eine deutlich höhere Durchstrahlungsleistung bei ausreichender Auflösung. Dabei ist die Stabilität der Ausgangsleistung ausgezeichnet, sie wurde für Scanzeiten bis 12h analysiert.



x.OS – das Röntgenbetriebssystem für NDT Profis

Universelle Steuersoftware

Steuern Sie beliebige Röntgensysteme mit dem VC.control. Vom CT-System bis zur Roboterlösung mit einer Oberfläche.

Leistungsstarkes Aufnahmetool

Für jede Anforderung mit höchster Qualität prüfen dank VC.acquire.

Egal ob offline oder aus dem Home Office

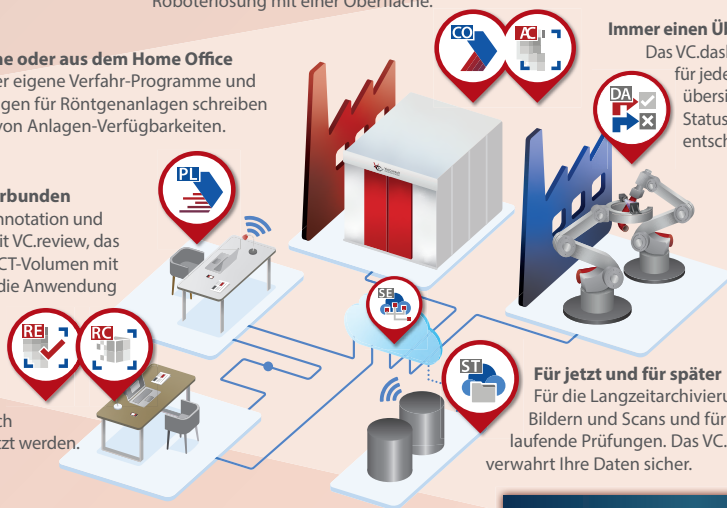
Mit VC.planner eigene Verfah-Programme und Prüfanweisungen für Röntgenanlagen schreiben unabhängig von Anlagen-Verfügbarkeiten.

Immer einen Überblick

Das VC.dashboard stellt für jedes Bauteil übersichtlich den Status und die Prüfentscheidungen dar.

Separat & verbunden

Egal ob die Annotation und Bewertung mit VC.review, das Erstellen von CT-Volumen mit VC.reco oder die Anwendung einer anderen x.OS Software: alles ist verbunden, kann aber auch separat genutzt werden.



Für jetzt und für später

Für die Langzeitarchivierung von Bildern und Scans und für derzeit laufende Prüfungen. Das VC.storage verwahrt Ihre Daten sicher.

Sie möchten unsere Lösungen kennenlernen? Schreiben Sie eine Email an info@visiconsult.de!

Machen Sie Ihr Unternehmen fit für die Zukunft und digitalisieren Sie jetzt Ihre Röntgenprozesse.

Das modulare Softwareportfolio von VCxray bietet eine ganzheitliche Lösung und hohe Flexibilität.

Röntgen-Computertomographie von Materialien geringer Dichte

L. Pavasaryte¹, A. Funk¹, M.P. Widjaja¹, M. Grunwald¹, [A. Waske](#)¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Derzeit werden enorme Anstrengungen in den Material- und Ingenieurwissenschaften unternommen, um neue Konstruktionsmaterialien zu finden, die umweltfreundlich und leicht sind, einen geringen Energieverbrauch bei ihrer Herstellung haben und sich gut in einen Kreislaufwirtschaftsansatz integrieren lassen. Inspirationen für solch neuartige Materialien finden sich in der Natur, zum Beispiel bei verschiedenen Pilzarten oder den holzbasierten Ausscheidprodukten einiger Termitenarten. Polymere mit Carbonfasern oder anderen Partikeln sind in Sachen Leichtbau bereits jetzt zu Standardwerkstoffen geworden und ersetzen zunehmend klassische Stahl- oder Aluminiumkonstruktionen, wobei ihre Umweltfreundlichkeit derzeit noch verbesserungswürdig ist. Wir verwenden zerstörungsfreie Röntgen-Computertomographie (XCT) mit einer Zeiss Versa 620, um innere Details von Proben mit geringer Dichte mit hohem Kontrast sichtbar zu machen. Hierbei ist die Visualisierung sehr feiner Details wie z. B. einzelner Kohlefasern oder der Organe im Inneren einer Termite möglich. Einige Proben mit geringer Dichte erfordern vor der Röntgentomographie zusätzlich eine spezielle Behandlung mit Kontrastmitteln. Im Vortrag zeigen wir die Möglichkeiten und Grenzen des verwendeten Röntgenmikroskops auf und gehen auf typische Herausforderungen ein. Da zu erwarten ist, dass in Zukunft eine Vielzahl neuartiger Materialien vor allem unter Umweltverträglichkeits- und Energiespar-Aspekten entwickelt wird, werden sich mittelfristig auch die zerstörungsfreien Prüfmethoden an diese Materialien anpassen. Mit der vorliegenden Arbeit wollen wir hierzu einen Beitrag leisten.

Einsatz induktionsangeregter Thermografie zur Detektion von Fehlern in Schweißverbindungen nach DIN 6520

[E. Prints](#)¹, I. Kryukov², M. Mund³, J. Lehmann⁴, C. Srajbr⁵, K. Dilger³, S. Böhm¹

¹ Universität Kassel, Fachgebiet Trennende und Fügende Fertigungsverfahren, Kassel; ² Universität Kassel, Fachgebiet Trennende und Fügende Fertigungsverfahren, Kassel; ³ Technische Universität Braunschweig, Institut für Füge- und Schweißtechnik, Braunschweig; ⁴ GSI - Niederlassung SLV Hannover, Hannover;

⁵ edevis GmbH, Stuttgart

Das Fügen metallischer Werkstoffe durch Schweißen ist ein fester Bestandteil der Wertschöpfungskette in verschiedensten Branchen. Beim Schweißen kann eine Vielzahl von Unregelmäßigkeiten entstehen, die in der DIN EN ISO 6520 erfasst und kategorisiert sind. Schweißverbindungen unterliegen im allgemeinen hohen Qualitätsanforderungen. Die Zulässigkeit von Unregelmäßigkeiten wird anhand normativ festgelegter Kriterien (z. B. DIN EN ISO 5817 oder DIN EN ISO 10042) bewertet. Die aktive Thermografie ist bisher nicht hinreichend zur Prüfung von Schweißnähten qualifiziert, woraus sich eine Normungslücke ergibt.

Ziel des Forschungsvorhabens QualiTWeld, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen der Förderrichtlinie WIPANO - Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen gefördert wird, ist die Qualifizierung thermografischer Verfahren mit aktiver Anregung für die Prüfung von Schweißverbindungen. Das Projekt trägt dazu bei, die thermografische Prüfung zur Anwendung an Schweißverbindungen zu etablieren. Zur objektiven Bewertung der Prüfverfahren und -systeme der aktiven Thermografie werden im Rahmen des Projektes Prüfkörper unter Verwendung relevanter Werkstoffgruppen mit typischen, realitätsnahen Schweißnahtunregelmäßigkeiten entwickelt.

Im Rahmen dieses Beitrages wird auf die Herstellung von Prüfkörpern zur Erzeugung von Unregelmäßigkeiten in Anlehnung an DIN EN ISO 5817 und 10042 eingegangen. Es werden die Ergebnisse von Untersuchungen zur Erfassung der Detektionsgrenzen induktionsangeregter Thermografie zum Nachweis dieser Unregelmäßigkeiten vorgestellt. Die zur Erwärmung der Prüfkörper eingesetzten Prüfanordnungen, deren Vor- und Nachteile in der Anwendung sowie das Potential zur Fehleridentifikation werden diskutiert.

Virtuelles Wellenkonzept zur photothermalen Porositätsbestimmung in CFK-Komponenten

H. Plasser¹, G. [Mayr](#)¹, G. Hendorfer¹, Z. Major²

¹ FH OÖ Forschungs & Entwicklungs GmbH, Wels, Österreich; ² Johannes Kepler Universität, Linz, Österreich

Hohe Festigkeit und geringes Gewicht sind die Hauptgründe für den häufigen Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen in der Luftfahrt. Der Herstellungsprozess solcher Materialsysteme ist ein mehrstufiger Prozess und anfällig für die Bildung von luftgefüllten Hohlräumen. Diese Porosität schwächt die Epoxidmatrix und führt zu einer erheblichen Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften. Im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung stellt die Pulsthermographie mit optischer Blitzanregung eine interessante photothermale Methode dar, da sie aufgrund der Infrarotkamera ein berührungsloses, schnelles Prüfverfahren zur Abschätzung von Materialeigenschaften oder zur Fehlererkennung ist. In dieser Arbeit setzen wir das Virtuelle Wellenkonzept ein, welches Ultraschallprüfverfahren für photothermale Messdaten zugänglich macht. Basierend auf dieser Möglichkeit kann die Durchschallungs- bzw. Puls-Echo-Methode angewendet werden, um die Laufzeit der virtuellen Wellen zu bestimmen, die direkt mit der porositätsabhängigen thermischen Diffusionszeit zusammenhängt. Ein vom Signal-Rausch-Verhältnis abhängiger Ansatz wird für die zeitliche Begrenzung der Messdaten verwendet, um die optimale Auswertezeit zu erhalten. Dadurch wird sichergestellt, dass nur Zeitbereiche ausgewertet werden, die Informationen über die Wärmediffusion innerhalb der Probe enthalten. Darüber hinaus werden unerwünschte Effekte von Wärmeverlusten durch Konvektion und Strahlung reduziert. Nachdem das Auswerteverfahren an simulierten Daten vorgestellt wurde, wird die experimentelle pixelweise Abschätzung der porositätsabhängigen thermischen Diffusionszeit an einer realen CFK-Komponente demonstriert. Die Ergebnisse werden durch Röntgen-Computertomographie-Referenzmessungen validiert, wobei eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der aktiven Thermographie erzielt werden kann.

Hochaufgelöste thermografische Detektion eingeschlossener Defekte mit Hilfe von 2D-strukturierten Beleuchtungsmustern

[J. Lecompagnon](#)¹, P. Hirsch¹, C. Rupprecht², M. Ziegler¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin; ² Technische Universität Berlin, FG Beschichtungstechnik

Für die aktive Thermografie als zerstörungsfreie Prüfmethode galt lange Zeit die Faustformel, dass die Auflösung interner Defekte/Inhomogenitäten auf ein Verhältnis von Defekttiefe/Defektgröße ≤ 1 beschränkt ist. Die Ursache hierfür liegt in der diffusiven Natur der Wärmeleitung in Festkörpern. Sogenannte Super-Resolution-Ansätze erlauben seit Kurzem die Überwindung dieser physikalischen Grenze um ein Vielfaches. Damit ergibt sich die attraktive Möglichkeit die Thermografie von einem rein oberflächensensitiven Prüfverfahren hin zu einem Verfahren mit verbesserter Tiefenreichweite zu entwickeln. Wie weit diese Entwicklung getrieben werden kann, ist Gegenstand aktueller Forschung. Wir konnten bereits zeigen, dass diese klassische Grenze für 1D- und 2D-Defektgeometrien mit Hilfe des Abscannens des Prüfkörpers mittels einzelner Laserspots und der anschließenden Anwendung von photothermischer Super-Resolution-Rekonstruktion überwunden werden kann. Bei dieser Methode wird eine Kombination aus sequenzieller räumlich strukturierter Beleuchtung und numerischen Optimierungsmethoden eingesetzt. Dies geschieht allerdings auf Kosten der experimentellen Komplexität, die zu einer langen Messdauer, großen Datensätzen und langwieriger numerischer Auswertung führt. In dieser Arbeit berichten wir über einen neuen experimentellen Ansatz, bei dem räumlich strukturierte 2D-Beleuchtungsmuster in Verbindung mit Compressed-Sensing und Computational-Imaging-Methoden verwendet werden, um die experimentelle Komplexität deutlich zu verringern und die Methode für die Untersuchung größerer Prüfflächen nutzbar zu machen.

Der experimentelle Ansatz basiert dabei auf der wiederholten (blinden) photothermischen Anregung mit räumlich strukturierten 2D-Mustern unter Verwendung moderner Projektortechnik und eines Hochleistungslasers. In der anschließenden numerischen Rekonstruktion werden mehrere Messungen unter Ausnutzung der Joint-Sparsity der Defekte innerhalb des Prüfkörpers mittels nichtlinearer konvexer Optimierungsmethoden kombiniert. Als Ergebnis kann eine 2D-sparse Defekt-/Inhomogenitätskarte erstellt werden.

Induktiv angeregte Thermografie mit automatisierter Prüfung im Vergleich mit der Magnetpulverprüfung

D. Müller¹, M. Finckbohner¹, S. Lugin¹, U. Netzelmann¹

¹ Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

Trotz ständiger Verbesserungen von Herstellungsprozessen kann es, sei es durch Vormaterialfehler oder durch Abweichungen von den idealen Prozessparametern, zu Oberflächenfehlern in Schmiedeteilen kommen. Diese werden bei Massenteilen mit der Magnetpulver-Rissprüfung unter viel Personalaufwand und bei geringem Grad der Dokumentation untersucht. Eine Alternative dazu ist die induktiv angeregte Thermografie mit automatisierter Fehlererkennung. In mehreren Studien wurde nun deren Prüfzuverlässigkeit mit der Magnetpulverprüfung verglichen.

Ein Prüfstand für die robotergeführte, vollautomatische Prüfung von Schmiedeteilen aus Stahl wurde aufgebaut. An Hand von ausgewählten Typen von Schmiedeteilen wurden Prüflose gemischt aus fehlerfreien und fehlerhafteten Teilen zusammengestellt. Aus den induktionsthermografisch gemessenen Infrarotbildsequenzen wurden zunächst Puls-Phasen-Thermografiebilder errechnet. Die Hälfte dieser Bilder und darin eingezeichneten Fehleranzeigen dienten dem Training eines neuronalen Netzwerks vom Typ U-Net. Die Menge der Trainingsdaten wurde durch Bildtransformationen von Fehlerbildern künstlich vergrößert. Die andere Hälfte der Prüfteile wurde dann auf Fehler automatisch analysiert. Die Prüfergebnisse wurden mit denen einer Großserien-Magnetpulverprüfung verglichen. Betrachtet man diese als Referenz, so wurde je nach Typ von Prüfteil eine Übereinstimmung von 68% bzw. 82% erzielt. Rechnet man kleinere Anzeigen bei der thermografischen Prüfung dazu, ist die Übereinstimmung noch besser. Von der Induktionsthermografie nicht oder nur sehr schwach detektierte Magnetpulveranzeigen wurden bei einer nachfolgenden metallografischen Untersuchung als von Rissen sehr geringer Tiefe ($< 150 \mu\text{m}$) stammend erkannt.

Robotergestützte Laserthermografie zur automatischen Detektion von Oberflächenfehlern

N.W. Pech-May¹, P. Hirsch¹, J. Lecompanion¹, [M. Ziegler](#)¹

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

Mittels Laserthermografie können Oberflächenfehler, insbesondere oberflächenoffene Risse, mit hoher Sensitivität nachgewiesen werden. Grundsätzlich werden hierzu ein fokussierter Hochleistungslaser im kW-Bereich, eine Thermografiekamera und eine Relativbewegung zwischen Laser und Prüfobjekt benötigt, sowie ein geeigneter Auswertalgorithmus zur Unterscheidung zwischen Oberflächenfehler und defektfreiem Bereich. In diesem Beitrag berichten wir über ein Verfahren, bei dem die Relativbewegung durch einen Roboter realisiert wird, um große und nicht-planare Prüfobjekte wie z. B. Turbinenschaufeln vollständig prüfen zu können. Wir zeigen, welchen Einfluss der Anregungslaser hat, der hinsichtlich Spotgeometrie, Wellenlänge und Scanschema variiert werden kann, und wir demonstrieren unsere Auswertalgorithmen mit dem Ziel einer automatischen Detektion von Oberflächenfehlern.

Ultraschallprüf- und Analysetechniken zur zerstörungsfreien Detektion von Kiesnestern in Stahlbetonbauteilen

D. Algernon¹, S. Feistkorn¹, Y. Schiegg², B. Mühlen²

¹ SVTI Schweizerischer Verein für technische Inspektionen, Wallisellen, Schweiz; ² TFB AG, Wildegg, Schweiz

Kiesnester bergen die Gefahr von Strukturschwächungen und Dauerhaftigkeitsproblemen für Stahlbetonbauwerke. Die Detektion von Kiesnestern bildet die Grundlage für die Früherkennung von Mängeln und Schäden bzw. für die Zustandsbeurteilung bestehender Bauwerke. Das übergeordnete Ziel dieses Forschungsvorhabens bestand darin, die Möglichkeiten und Grenzen zerstörungsfreier Prüfverfahren hinsichtlich der Detektion von Kiesnestern zu ermitteln und zu optimieren. Hierfür wurden sowohl experimentelle als auch analytische Untersuchungen durchgeführt. Mit dem Ziel einer realistischen Repräsentation des Schadensphänomens wurden Betonprobekörper gefertigt, die unterschiedliche Kiesnesterprägungen beinhalten sowie praxisnahe Randbedingungen für die Ermittlung der Leistungsfähigkeit verschiedener Prüfverfahren und Prüftechniken aufweisen. Die Untersuchungen erfolgten primär mit dem Ultraschallverfahren sowohl in Puls-Echo- als auch in Full-Matrix-Capture-Konfiguration sowie unter Anwendung verschiedener Signalverarbeitungsalgorithmen. Darüber hinaus wurden ergänzende Untersuchungen mit dem Impakt-Echo-Verfahren durchgeführt. Grundsätzlich folgte die Kiesnestdetektion dabei einer systematischen musterbasierten Analyse, die der diffusen Anzeigencharakteristik gerecht wird. Die experimentellen Untersuchungen wurden durch rechnerische Modellierung und Simulation mit der Software CIVA gestützt. Darüber hinaus wurde auf Basis der Daten aus Experiment und Simulation das Potenzial Künstlicher Intelligenz im Sinne der Generierung eines Deep Learning-Modells demonstriert. Dieses zeigt in einem ersten Schritt die automatisierte Detektion von Kiesnestern auf Basis von Spektrogrammen. In einer faktoriellen Analyse werden die Ergebnisse hinsichtlich des Leistungsvermögens der herangezogenen Verfahren und Techniken quantifiziert. Insbesondere werden wesentliche Kriterien für die Kiesnestdetektion in einer Prüfanweisung implementiert.

Digitalisierung und Inspektion von Brücken mithilfe von Multibeam Sonar und Laserscan

[F. Müller-Braune](#)¹

¹ Sitowise, Jyväskylä, Finnland

Sitowise ist ein finnisches Ingenieurunternehmen, das sich im Bereich Infrastruktur seit längerem auf Innovationen im Bereich der Untersuchung und Digitalisierung von Wasserbauwerken spezialisiert hat. Dabei greift es auf ein Expertenteam von Ingenieuren und Datenverarbeitungsspezialisten zurück, das bereits 2010 operiert. Das Team entstand als Reaktion auf die wachsenden Ansprüche und neuen technischen Möglichkeiten in der Bauwerksinspektion. Sitowise bietet hochauflösende Inspektionsdaten, die mit Hilfe von Multibeam Sonar und Laserscans gewonnen werden. Das Verfahren ermöglicht es, die Bauwerksabschnitte sowohl unter, als auch über Wasser in einem detaillierten 3D-Punktwolkemodell komplett darzustellen.

Die gewonnenen Daten werden anschließend von spezialisierten Bauwerksprüfern ausgewertet und auf Auffälligkeiten untersucht. So lassen sich Beschädigungen wie Ausbrüche genauso feststellen wie Auskolkungen oder Verformungen an der Bausubstanz. In den schwer einsehbaren Bereichen unter Wasser lassen sich so leicht Daten gewinnen, die mit traditionellen Verfahren bisher kaum zu bekommen waren. Alle Punkte der Punktwolke verfügen über eine Georeferenzierung. Dies ermöglicht es, Beschädigungen genauestens zu verorten und im Nachhinein wieder zu finden. Die Digitalisierung von Brücken mithilfe des Verfahrens von Sitowise stellt auch die Vergleichbarkeit zwischen Ist-Zustand und z. B. BIM-Planungsmodellen her. Es ist auch möglich mehrere Punktwolken desselben Bauwerks miteinander zu vergleichen. Dies vereinfacht die Überwachung der Bauwerksentwicklung und stellt eine sinnvolle Ergänzung zur Handnahen Prüfung dar.

Sitowise bietet dabei den kompletten Prozess, schlüsselfertig aus einer Hand: Von den Vermessungsarbeiten vor Ort, über die Datennachbearbeitung bis hin zur Auswertung.

UACIS – Entwicklung eines drohnenbasierten Systems für die zerstörungsfreie Bauwerksdiagnostik

[A. Müller](#)¹, C. Thurnherr¹, L. Rössler¹, D. Algernon¹

¹ SVTI, Wallisellen, Schweiz

Das Vorhaben Unmanned 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. Ziel der Entwicklung ist die Anwendung des Systems auf Infrastrukturbauten ebenso wie auf Tragwerke in der Energietechnik. Insbesondere Brücken, Containments oder Kühltürme stehen aufgrund ihrer Altersstruktur, Exposition und begrenzten Zugänglichkeit im Fokus der Bauwerksuntersuchungen. Neben der kontaktlosen Inspektion wird das Drohnensystem zusätzlich in der Lage sein, mechanische Anpresskräfte auf Bauteiloberflächen in fast beliebiger Orientierung aufzubringen. Sonst nur schwer zugängliche Bereiche werden so auch für Kontaktprüftechniken erschlossen und ökonomisch prüfbar. Die zusätzliche Einbindung innovativer Technologien wie insbesondere der Künstlichen Intelligenz trägt neben der Kombination verschiedener Prüfverfahren an einer Drohne dazu bei, vorausschauend Instand zu setzen und damit die Lebensdauer relevanter Bauwerksstrukturen zu maximieren.

präsentiert auf Englisch

Detektion und Tiefenbestimmung von verdeckten Rissen an T-Stößen am Beispiel der A1 Autobahnbrücke in Leverkusen

J. Keil¹, B. Selbach¹

¹ TÜV Austria Tecnotest GmbH, Leverkusen

Der Vortrag beschreibt eine ungewöhnliche Methode zur Detektion und Risstiefenbestimmung an T-Stößen an einer Autobahnbrücke. Bisher wurden Risse an T-Stößen mit Kehlnahtschweißungen im Rahmen der wiederkehrenden Prüfung visuell oder mit Hilfe des Magnetpulverprüfverfahrens detektiert. Das Reparaturverfahren sah vor, dass diese Risse so lange ausgeschliffen und nachgeprüft werden, bis keine Anzeige mehr festgestellt werden konnte. Kritische Risse, die in die tragende Struktur des Kastenträger Stegbleches laufen, waren mit dieser Methode teilweise nicht feststellbar. Mit Hilfe eines modifizierten ToFD Verfahrens konnte die TÜV Austria Tecnotest, selbst bei dünnen Blechen, Risse in der tragenden Struktur feststellen und deren Tiefe bestimmen. Die Methode eignet sich insbesondere für die wiederkehrende Überwachung von Stahlbrücken.

Erste Ergebnisse mit einem mehrkanaligen, kohärenten Radar-Abbildungssystem

F. Bonitz¹, M. Schickert¹

¹ Materialforschungs- und -prüfanstalt Weimar (MFPA Weimar)

Radar (oder Georadar) ist ein etabliertes Verfahren zur Untersuchung von Stahlbetonbauteilen, Fahrbahnen und Böden und wird zur Lokalisierung von Bewehrung, Spannkänen, 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 Sende- und 48 Empfangskanäle, die als Ultra-Wide-Band-(UWB)-Kanäle mit einer Bandbreite bis 5 GHz ausgelegt sind, und arbeiten vollständig parallel. Durch die Verwendung von Pseudo-Rauschfolgen als Sendesignale 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 heterogenen Materialien wie Beton oder Holz vorgestellt. Bei der Bildgebung werden konventionelle Radargramme (B-Bilder) mit SAFT-Rekonstruktionen (Synthetic Aperture Focusing Technique) und FMC/TFM-Bildern (Full Matrix Capture/Total Focusing Method) verglichen.

Hoch ortsauflösende, bildgebende mikromagnetische Materialcharakterisierung mit magnetooptischer Sensorik

[L. Lauck](#)¹, C. Zimmer¹, K. Szielasko¹

¹ Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

Mikromagnetische Prüfverfahren stellen ihre Leistungsfähigkeit bereits in industriellen Wertschöpfungsketten ferromagnetischer Erzeugnisse in größerem Umfang unter Beweis. Die Wirtschaftlichkeit und Ressourceneffizienz kann durch die Integration mikromagnetischer Prüftechniken in Produktionsprozesse erheblich gesteigert werden. Einige Prozesse, wie z. B. das Laserhärten, erzielen eine lokal definierte Verbesserung der Materialeigenschaften, ebenso wie einige Beanspruchungsszenarien eine partielle Schädigung erzielen. Die entsprechende Qualitätssicherung erfordert somit eine lateral ortsauflösende zerstörungsfreie Prüfung. Mikromagnetische Prüftechniken wie 3MA (Mikromagnetische Multiparameter- Mikrostruktur- und Spannungs-Analyse) erzielen z. B. in Form der BEMI-Technik (Barkhausen Noise and Eddy Current Microscope) die benötigte Ortsauflösung in der Größenordnung von wenigen 10 µm. Hierfür ist allerdings eine äußerst zeitaufwendige Manipulation der meist einkanaligen Sensorik über Werkstoffoberflächen notwendig. Die Dauer eines Scans von 100 mm² liegt dabei durchaus in der Größenordnung von mehr als 50 Stunden.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse eines vom BMBF geförderten Forschungsvorhabens vorgestellt, welches darauf abzielte, mithilfe eines magnetooptischen (MO) Sensors eine sowohl schnelle, als auch hochortsauflösende Technik zur mikromagnetischen Materialcharakterisierung zu entwickeln. Der MO-Sensor arbeitet nach dem Prinzip des Faraday-Effekts und bildet die auf seiner Wandlerfläche von 250 mm² wirkende Feldstärkeverteilung quasi instantan ab. Diese Verteilung wird von einer Digitalkamera mit einer Ortsauflösung von 20 µm erfasst, wobei quasi Echtzeit-Performance erzielt wird. Zur mikromagnetischen Materialcharakterisierung wurde ein Prüfkonzept erarbeitet, welches während der magnetischen Hysterese ferromagnetischer Proben eine zeitlich definierte Bildfolge (Bildsequenz/Video) der Feldstärkeverteilung entsprechender Probenoberflächen aufzeichnet. Anhand dieser MO-Daten konnten mikromagnetische Merkmale abgeleitet werden, welche die laterale Verteilung von Werkstoffzuständen- und Eigenschaften wie Spannungs- und Härteunterschiede mit hoher Ortsauflösung und innerhalb kürzester Zeit abbilden.

Untersuchung der Integrität von glasfaserverstärkten Zahnstiften mittels Synchrotron-Röntgenrefraktion

B.R. Müller¹, A.P. Soares², A. Kupsch¹, D. Baum³, B. Hesse⁴, P. Zaslansky²

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² Charité Universitätsmedizin, Berlin; ³ Zuse Institut, Berlin; ⁴ Xploraytion GmbH, Berlin

Die Integrität der Verstärkungsfasern in Komposit-Zahnstiften ist entscheidend für die Biegefestigkeit und die langfristige Haftung am Zement in den Wurzelkanälen. Es wurde vermutet, dass die Integrität von glasfaserverstärkten Zahnstiften durch das Beschleifen während der zahnmedizinischen Behandlung beeinträchtigt wird. Eine Beschädigung der Fasern führt zu einer erheblichen strukturellen Schwächung über den gesamten Stift-durchmesser. Glasfragmente, die durch den Kontakt mit dem Zahnbohrer entstehen, können sich vom Stift lösen und die Haftfähigkeit erheblich verringern.

Mit Hilfe hochauflösender Synchrotron-Röntgen-Refraktions-Radiographie (SXRR) konnte das Ausmaß der Schäden zuverlässig identifiziert und charakterisiert werden.

Dazu wurden die Glasfaserstifte sowohl im Herstellungszustand als auch nach der Bearbeitung mit einem Diamantbohrer untersucht. Die Datensätze wurden zur Visualisierung und Quantifizierung der morphologischen Charakteristika intakter und durch das Beschleifen beschädigter Regionen analysiert. Sie zeigen Schäden im bearbeiteten Bereich (z. B. Brüche, Splitter und Risse) sowie herstellungsbedingte Inhomogenitäten der Fasern mit einer signifikanten Zunahme der inneren Oberflächen in Probenregionen, die durch das Beschleifen beschädigt wurden.



GMH Prüftechnik

GmbH · ND · Testing · Systems · Services



SIE KÖNNEN QUALITÄT VORAUSSETZEN. ODER SIE SICHERSTELLEN.



Prüfanlage

für Wälzlagerrollen in der Produktion

Rollenprüfanlage ROPA-PD 300/5-1C

- Voll in die Produktionslinie integrierbare Prüfanlage
- Prüfung aller gängigen Rollengeometrien
- Integrierte Rollen Zu- und Abführung
- Automatische Sortierung Gut/Schlecht
- Betriebssystem Windows 10/64 bit
- Konturverfolgung für Kegel- und Tonnenrollen
- Vollintegriertes Steuerungs- und Antriebssystem
- Vollautomatische Bewertung der Prüfergebnisse
- 2D und 3D Auswertung
- Leistungsfähiger Reportgenerator mit Exportfunktionen
- Ferndiagnose und Offline-Analysefunktion



Ultraschall-Tauchtechnik-Prüfanlage

Tauchbeckenprüfanlage USB 600/5-1C

- Qualitäts- und Reinheitsgradprüfung von Stahlproben
- Vollautomatische Bewertung der Prüfergebnisse nach SEP1927
- Betriebssystem Windows 10/64 bit
- Vollintegriertes Steuerungs- und Antriebssystem
- Darstellung der Prüfergebnisse in A-, B-, C-, Laufzeit C-Bild
- 2D und 3D Auswertung
- Leistungsfähiger Reportgenerator mit Exportfunktionen
- Ferndiagnose und Offline-Analysefunktionen



Beladeportal

zur Tauchbeckenprüfanlage USB 600/5-1C

- Vollautomatische Steuerung des Bewegungsablaufs
- Automatische Erkennung der Belegt-Positionen
- Laservermessung der Probengeometrien
- Autarker Betrieb bis zu zwei Arbeitsschichten
- Betriebssystem Windows 10/64 bit
- Vollintegriertes Steuerungs- und Antriebssystem
- Vollintegriertes NC/SPS-basiertes Steuerungs- und Antriebssystem
- Greifer mit Positionierhilfe für Rund- und Vierkantproben



Ultraschall-Tauchtechnik-Prüfanlage

Tauchbeckenprüfanlage USB 300/5-1C kombi

- Prüfung von Schweißnähten an verschiedenen Automotivkomponenten
- Vollautomatische Bewertung der Prüfergebnisse nach verschiedenen Regelwerken
- Betriebssystem Windows 10/64 bit
- Vollintegriertes Steuerungs- und Antriebssystem
- Darstellung der Prüfergebnisse in A-, B-, C-, Laufzeit C-Bild
- 2D und 3D Auswertung
- Leistungsfähiger Reportgenerator mit Exportfunktionen
- Ferndiagnose und Offline-Analysefunktionen

MADE IN GERMANY

www.gmh-prueftechnik.de

Experimentelle und simulative Untersuchung von auxetischen Aluminiumblechen

T. Heib¹, H.-G. Herrmann²

¹ Universität des Saarlandes, Saarbrücken; ² Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

Auxetische Materialien zeichnen sich durch ihre negative Poissonszahl aus, die dafür sorgt, dass sich bei Zugbelastung das Material senkrecht dazu ausbreitet. Fast alle natürlichen Materialien besitzen eine positive Poissonszahl und weisen dieses Verhalten nicht auf. Durch Anpassung der makroskopischen Struktur lässt sich dieser Mechanismus jedoch aufprägen. Im Fokus steht die Charakterisierung auxetisch strukturierter Aluminiumbleche mit rechteckiger Perforation. Es werden die digitale Bildkorrelation (DIC) und Thermographie in-situ während eines quasistatischen Zugversuchs angewandt. Dabei können zum einen die lokalen Dehnungsfelder bestimmt und zum anderen die thermische Veränderung aufgrund elastischer und plastischer Deformationsprozesse ermittelt werden. Parallel wird eine gekoppelte thermo-mechanische Simulation umgesetzt und deren Ergebnisse mit den Versuchen korreliert. Zu den bereits genannten Prüfmethoden werden ex-situ vor und nach dem Zugversuch HF-Ultraschall Scans und Mikrotomographie Messungen an den Proben durchgeführt, mit denen sich Geometrische Veränderungen (z. B. Ausdünnung) oder beginnende Schädigungen in Form von Rissen darstellen lassen. Der Einsatz von auxetischen Materialien ist, aufgrund ihres hohen Porenanteils, vor allem im Bereich von Leichtbauanwendungen interessant. Hierfür ist eine möglichst genaue Beschreibung des Deformationsmechanismus notwendig.

Laser-Ultraschall als zerstörungsfreie Methode zur Fehlerdetektion und Materialcharakterisierung: Prinzip und Beispiele spezieller Anwendungen.

[E. Scherleitner](#)¹, B. Reitingner¹, W. Haderer¹, N. Huber¹, C. Kerschbaummayr¹, C. Grünsteidl¹, M. Hettich¹

¹ Research Center for Non-Destructive Testing GmbH - RECENDT, Linz, Österreich

Durch technologische Fortschritte in der Lasertechnologie und wesentliche methodische Weiterentwicklungen ist Laser-Ultraschall in den letzten Jahren zu einem Messverfahren mit hohem Lösungspotential für Probleme in der zerstörungsfreien Prüfung geworden. Mit fokussiertem Laserlicht angeregte Ultraschallwellen breiten sich dabei in der Probe aus und werden anschließend wieder mit einem Laser-Vibrometer detektiert. Rekonstruktionsalgorithmen erlauben es Einschlüsse zu lokalisieren und über physikalische Modelle können Materialeigenschaften bestimmt werden. Die Methode ist berührungslos, durch flexible Laserführung – z. B. mit optischen Fasern – können unebenen Proben robotergerstützt und automatisiert abgescannt werden. Die potenziell in-line fähige Messtechnik kann so einen wichtigen Beitrag zur Steigerung der Ressourceneffizienz von Produktionsprozessen leisten. Des Weiteren steht an jedem Messpunkt ein sehr breiter Frequenzbereich (industriell geeignet typisch 500kHz bis 50MHz, aber auch bis in den GHz-Bereich) zur Auswertung zur Verfügung, was neben einer hochauflösenden Fehlerdetektion auch neue Einblicke in die elastischen Eigenschaften und die Mikrostruktur von Materialien ermöglicht. Im geplanten Beitrag werden wir verschiedene Anwendungsbeispiele zur zerstörungsfreien Fehlersuche und Materialcharakterisierung zeigen

- Automatisierte- und roboterunterstützte Prüfung von CFK Bauteilen aus der Luftfahrttechnik,
- Bestimmung der Einhärtetiefe von induktiv gehärteten Stahlkomponenten,
- In-situ-Beobachtung von metallurgischen Prozessen (z. B. Kornwachstum, Phasenumwandlungen) während thermischer Behandlungen,
- Charakterisierung von Schichten mit Dicken im Mikrometerbereich für elektronische Bauteile in der Telekommunikation.

Röntgen-Computertomographie-Verfahren zur quantitativen Charakterisierung periodischer Minimalflächenstrukturen (TPMS)

G. Bruno¹, S. Evsevleev¹, T. Mishurova¹, D. Meinel¹, A. Koptioug², M. Surmeneva³, D. Khrapov³, A. Paveleva³, R. Surmenev³

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² Mid Sweden University, Östersund, Schweden; ³ Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russland

Additiv gefertigte (AM) dreifach periodische metallische minimale Oberflächenstrukturen (TPMSS, aus dem Englischen Triply Periodic Minimum Surface Structures) erfüllen mehrere Anforderungen sowohl im biomedizinischen als auch im technischen Bereich: Abstimmbare mechanische Eigenschaften, geringe Empfindlichkeit gegenüber Herstellungsfehlern, mechanische Stabilität und hohe Energieabsorption. Allerdings stellen sie auch einige Herausforderungen in Bezug auf die Qualitätskontrolle dar, die ihre erfolgreiche Anwendung verhindern können. Tatsächlich ist die Optimierung des AM-Prozesses ohne die Berücksichtigung struktureller Merkmale wie Fertigungsgenauigkeit, interne Defekte sowie Oberflächentopographie und -rauheit unmöglich. In dieser Studie wurde die quantitative zerstörungsfreie Analyse von Ti-6Al-4V-Legierung TPMSS mit Hilfe der Röntgen-Computertomographie (XCT) durchgeführt. Es werden mehrere neue Bildanalyse-Workflows vorgestellt, um die Auswirkungen der Aufbaurichtung auf die Wanddickenverteilung, die Wanddegradation und die Verringerung der Oberflächenrauheit aufgrund des chemischen Ätzens von TPMSS zu bewerten. Es wird gezeigt, dass die Herstellungsgenauigkeit für die Strukturelemente, die parallel und orthogonal zu den hergestellten Schichten gedruckt werden, unterschiedlich ist. Verschiedene Strategien für das chemische Ätzen zeigten unterschiedliche Pulverabtragsfähigkeiten und damit ein Gradient der Wanddicke. Dies wirkte sich auf die mechanische Leistung unter Druck durch die Verringerung der Streckspannung aus. Eine positive Auswirkung des chemischen Ätzens ist die Verringerung der Oberflächenrauigkeit, die möglicherweise die Ermüdungseigenschaften der Bauteile verbessern kann. Schließlich wurde XCT eingesetzt, um die Menge des zurückgehaltenen Pulvers mit der Porengröße des TPMSS zu korrelieren, wodurch der Herstellungsprozess weiter verbessert werden kann.

KI-basierte Bewertung von Wirbelstromsignalen zur Klassifizierung von Schleifverbrennungen auf Stahlkugeln

W. Korpus¹, J. Litau¹

¹ ibg Prüfcomputer GmbH, Ebermannstadt

Der Nachweis von linienförmigem Schleifbrand auf Stahlkugeln (branchenintern Temper Lines genannt) ist eine regelmäßige und komplexe Aufgabenstellung in der Kugellagerindustrie. Je nach Anwendungsbereich der Kugeln ist das Auftreten von wenigen kurzen Verbrennungslinien (zumeist Anlasszonen mit wenigen Mikrometern Tiefe) zulässig, eine höhere Anzahl kurzer Linien oder längere, teils komplett umlaufende Linien dagegen nicht. Traditionell wird dieses Fehlermerkmal manuell mittels stichprobenbasiertem Nitalätzverfahren und anschließendem Vergleich mit unternehmensinternen Bildstandards abgesichert.

Gestiegene Qualitätsanforderungen der Zielbranchen Windenergie und Bahn bedürfen künftig einer vollautomatischen ZfP-basierten Lösung zur 100% Prüfung. Hier bietet sich das Wirbelstrom-Verfahren mit einer Prüfsonde im Differenzprinzip an, das auch schon als Standard für die Prüfung auf Oberflächenfehler an Kugeln zum Einsatz kommt. Allerdings sind heutige, Schwellwert-basierte Methoden der Auswertung und Interpretation von Wirbelstromsignalen nicht ausreichend, um eine automatische Bewertung und Klassifizierung analog des bisherigen Verfahrens vorzunehmen.

Erste Erfolge liefern hier Machine Learning (ML) Lösungen auf der Basis von neuronalen Netzwerkmodellen, die in der Lage sind, Schleifbrandschäden an Stahlkugeln in ihrer geometrischen Ausprägung zu erkennen und zu klassifizieren. Dazu werden zunächst 100% der Oberfläche jeder Kugel mit einem eddyvisor Wirbelstromprüfgerät und einer 10-MHz-Hochfrequenz-Prüfsonde abgetastet. Nach Abschluss der Prüfung wird das resultierende Wirbelstrom C-Bild zur Auswertung in die speziell trainierte ML-Software zum Scan Processing übertragen. Das Auftreten von Schleifverbrennungen und deren geometrisches Erscheinungsbild auf der Prüfteiloberfläche wird dabei von der Künstlichen Intelligenz (KI) zuverlässig erkannt und den Nitalätz-Bildstandards der Kugelhersteller entsprechend bewertet.

3D-Thermografie mittels künstlicher Intelligenz

[J. Rittmann](#)¹, M. Kreutzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

Für den eindimensionalen Fall der Wärmeausbreitung in der aktiven Thermografie können über bekannte Auswertemethoden, wie die Laser-Flash-Analyse oder die Thermographic Signal Reconstruction und Betrachtung einer charakteristischen Zeit, direkt auf die Dicke des untersuchten Prüfkörpers geschlossen werden. Für den mehrdimensionalen Fall beeinflussen diffusive Effekte die Wärmeausbreitung der thermischen Welle, was bei der Auswertung der Dicke speziell an Rändern und Abweichungen einer ebenen Platte zur Fehlinterpretation führt. Je tiefer ein Defekt im Bauteil liegt, desto diffuser wird er in einer Veränderung der Oberflächentemperatur wahrgenommen, bis er bei zu großer Tiefe nicht mehr erkannt wird. Obwohl bei tiefliegenden Strukturen die Effekte nicht an der Oberfläche durch einen Temperaturgradienten ersichtlich sind, beeinflussen auch tiefliegende Defekte die Oberflächentemperatur.

Innerhalb dieses Papers werden Wärmeflussimulationen der Impulsthermografie unterschiedlicher Defektgeometrien herangezogen, um ein neuronales Netz zur tiefenaufgelösten Defektinterpretation zu trainieren. Die Defektgeometrien orientieren sich dabei an Geometrien realer Impactschäden in Verbundwerkstoffen und wurden mittels FEM aus einem mikromechanischen Bruchmodell realitätsnah gewonnen. Das neuronale Netz basiert auf einem Encoder-Decoder-Ansatz wobei als Eingabeinformationen die Temperaturwerte der Abkühlkurve nach einer pulsförmigen Anregung dienen. Die Segmentierung erfolgt in Abhängigkeit von der Rückwandgeometrie. Durch das Training von mehreren tausend Defektgeometrien mittels einem Encoder-Decoder-Netz sind wir erstmals in der Lage, ohne zusätzliche Informationen über das Bauteil, direkt auf dessen Rückwandgeometrie schließen zu können.

KI-basierte Analyse von Wirbelstrom- und Ultraschalldaten bei der Schienenprüfung

[T. Heckel](#)¹, R. Casperson¹, A. Simroth²

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt, Dresden

Die zerstörungsfreie Prüfung von Eisenbahnschienen auf betriebsbedingte Schädigungen wird mit Schienenprüfzügen mittels Ultraschall- und Wirbelstromprüfverfahren durchgeführt. Die Auswertung der Prüfdaten erfolgt überwiegend manuell, die eingesetzte Software unterstützt die Auswertenden lediglich durch eine Vorauswahl relevanter Anzeigen. Die Überprüfung der Ergebnisse erfolgt anschließend vor Ort mittels handgeführter Prüfgeräte. Instandhaltungsmaßnahmen werden auf Basis der Befundung vor Ort abgeleitet. Ziel des durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) im Rahmen von mFUND unter dem Förderkennzeichen 19FS2014 geförderten Vorhabens AIFRI (Artificial Intelligence For Rail Inspection) ist es, durch den Einsatz von KI-Methoden den Automatisierungsgrad des Prüfprozesses von der Auswertung der Daten bis hin zur Planung von Instandhaltungsmaßnahmen zu erhöhen. Die Genauigkeit der Fehlerdetektion soll gesteigert werden, um eine automatisierte Einstufung der aufgefundenen Anzeigen in Risikoklassen zu ermöglichen. Hierfür werden Daten sowohl von Wirbelstromprüfungen als auch Ultraschallprüfungen verwendet.

Im Rahmen des IT-orientierten Projektes werden relevante Schienenschädigungen und in der Schiene vorhandene Artefakte analysiert und in einen parametrierbaren digitalen Zwilling übertragen. Mit diesem digitalen Zwilling werden virtuelle Schädigungsbilder generiert, mit denen KI-Algorithmen auf die Defekterkennung und -klassifizierung trainiert werden. Insbesondere werden hierbei Synergien genutzt, die durch die Verknüpfung von Daten der Wirbelstrom- und Ultraschallprüfung bei einer gemeinsamen Bewertung entstehen. Mit Hilfe von Zuverlässigkeitsbetrachtungen werden die entwickelten und trainierten Algorithmen hinsichtlich der Detektion und Charakterisierung von Schienenschädigungen bewertet.

Im Verlauf des Projektes soll mit dem entwickelten IT-Werkzeug ein Demonstrator aufgebaut und im Feld mit realen Datensätzen getestet werden.

Fortschritte in der Anwendung von künstlicher Intelligenz bei der zerstörungsfreien Prüfung im Karosseriebau

R. Maev², R. Kitzmann¹, [Y. Oberdörfer](#)¹

¹ Tessonics Europe GmbH, Frechen; ² The Institute for Diagnostic Imaging Research, Physics Department, University of Windsor, Kanada

Um mit der steigenden Produktionsgeschwindigkeit und Vernetzung der Fertigung im Rahmen von Industrie 4.0 Schritt halten zu können, befindet sich die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) unter ständigem Innovationsdruck. Die Leistungsfähigkeit der Prüfsysteme kann durch maschinelle, insbesondere aber durch informationstechnische Verfahren deutlich gesteigert werden. Die in der ZfP übliche Interpretation von Bilddaten kann durch Künstliche Neuronale Netze (KNN) im Vergleich zu herkömmlichen Auswertelgorithmen signifikant beschleunigt und in ihrer Güte verbessert werden.

Zunächst erfolgt eine kurze Einführung zu KNN und eine Beschreibung der Schweißpunktprüfung mit einer integrierten Ultraschallanwendung im Automobilbau. Danach werden die Grundlagen verknüpft und mit Beispielen aus der Fertigung angereichert. Abschließend wird ein Ausblick auf weitere Anwendungsmöglichkeiten gegeben.

Arbeitssicherheit bei der Magnetpulver- und Eindringprüfung

K. Alward¹

¹ PFINDER KG, Böblingen

Prüfmittel für die Magnetpulver- und Eindringprüfung verfügen über ein unterschiedliches Gefährdungspotential für Mensch und Umwelt. Durch Sicherheitsdatenblätter sowie Hinweise auf dem Gebindeetikett wird dies aber auch für den Anwender ohne chemische Grundkenntnisse transparent. Durch immer neue Erkenntnisse über Rohstoffe verschärfen sich die offiziellen Gefährungseinschätzungen.

Der Hersteller kann nur durch hohen Entwicklungsaufwand und Substitution von Inhaltsstoffen eine unveränderte oder sogar verbesserte Produkteinstufung erreichen. Das Thema Rohstoffverfügbarkeit führt hierbei zu einer weiteren Komplexitätssteigerung.

Worauf ist beim Einsatz der Produkte zu achten und welche Entwicklungen sind in Zukunft zu erwarten?

Maßgeschneiderte Hochfrequenz-Wirbelstromsonden zur Detektion von Kohlenstofffasern

J. Hufert¹, S. Joas¹, M. Kreutzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

Als zerstörungsfreies Prüfverfahren hat sich die Wirbelstromprüfung bereits etabliert, um oberflächennahe Defekte in leitfähigen Werkstoffen kosteneffizient zu detektieren. Zur Prüfung von nur schwach leitfähigen Werkstoffen wie CFK mit einigen kS/m müssen höhere Prüffrequenzen (>1 MHz) verwendet werden, um messbare Wirbelströme im Prüfkörper zu induzieren. Hierdurch wird die Nachweisempfindlichkeit von Kohlenstofffasern gesteigert und im Grenzfall sogar die Detektion von Defekten in Isolatoren durch Nachweis von Verschiebungsströmen möglich. Der Frequenzbereich von Wirbelstromsonden wird jedoch maßgeblich durch deren Resonanzfrequenz limitiert. Um also eine Wirbelstromprüfung an schwach leitfähigen Werkstoffen durchzuführen, müssen hierzu die verwendeten Wirbelstromsonden an die vorherrschenden Prüfgegebenheiten angepasst sein. In dieser Arbeit wird ein Reverse-Engineering-Ansatz gewählt, um für ein Wirbelstromprüfgerät der Rohmann GmbH Wirbelstromsonden zu konstruieren, die einen Frequenzbereich bis zu 30 MHz besitzen. Zunächst werden kommerzielle Wirbelstromsonden analysiert und auf Basis einer analytisch berechneten Resonanzfrequenz Spulen designt. Die Spulen werden in 3D gedruckte Gehäuse eingebettet und ihre elektrischen Eigenschaften vor dem Einsatz am Wirbelstromprüfgerät mit Hilfe eines Funktionsgenerators und Oszilloskops überprüft. Die experimentelle Charakterisierung der Wirbelstromsonden erfolgt an Prüfkörpern mit aufgeklebten Kohlenstofffaserbündeln, die unterschiedliche Faseranzahlen besitzen. Es konnte gezeigt werden, dass eine auf Empfindlichkeit optimierte Sonde in der Lage ist, zwei Einzelfasern zuverlässig und reproduzierbar nachzuweisen. Die in Versuchen geringste nachweisbare Faseranzahl der zur Verfügung stehenden kommerziellen Sonden liegt hingegen bei 117. Die Werkstoffprüfung an Isolatoren durch die maßgeschneiderten Hochfrequenz Wirbelstromsonden soll zukünftig durch weitere Steigerung der real erreichbaren Resonanzfrequenzen ermöglicht werden und dadurch die Lücke bis zur Mikrowellenprüfung in der GHz-Region schließen.

Inspection starts here

Erstklassige ZfP durch Erfahrung und Innovation

In seiner langen Geschichte als Marktführer für industrielle Prüflösungen vereint Waygate Technologies mehr als 125 Jahre ZfP-Erfahrung und das Erbe renommierter Branchennamen wie Krautkrämer, Phoenix|x-ray, Seifert, Everest und Agfa NDT. Dabei entwickeln wir die Innovationen von morgen mittels einer globalen DNA verbunden mit der unübertroffenen Präzision deutscher Ingenieurskunst.

waygate-tech.com



**Waygate
Technologies**

a Baker Hughes business

Anwendung der Shearografie für die schnelle Prüfung von Bauteilen aus der Massenproduktion

[J. Plassmann](#)¹, A.-K. Bömkes¹, C. Petry¹, M. Schuth¹

¹ Hochschule Trier, Technikum OGKB, Trier

Das optisch-interferometrische Messverfahren der Shearografie ist eine anerkannte zerstörungsfreie Prüfmethode, die derweilen vor allem in der Prototypenentwicklung der Luft- und Raumfahrt eingesetzt wird. Messobjekte werden mit kohärentem Laserlicht beleuchtet und durch Shear-Optiken mittels Kamerabildaufnahme erfasst. Dabei werden bei geringster Anregung des Messobjektes Deformationen im Sub-Mikrometer Bereich sichtbar. Anomalien in diesem Deformationsverhalten lassen auf Materialfehler schließen.

Durch die neuartige Methode des räumlichen Phasenschiebens bei der Shearogramm-Berechnung lässt sich die Verfahrensrobustheit z. T. enorm steigern. Nach dem aktuellen Stand der Technik mit zeitlichem Phasenschieben sind typischerweise 8 Bildaufnahmen je Messung notwendig. Beim räumlichen Phasenschieben sind es lediglich 2, wodurch Messungen im Kameravideotakt durchführbar sind. Störungen wie Schwingungen führen so nur noch in geringem Maße zur Dekorrelation bei der Messung. Zudem werden durch den Einsatz dynamischer Anregungsverfahren sehr schnelle Prüfungen realisierbar.

In unserem Paper zeigen wir die Anwendung der neuen Technik für günstige Bauteile, die z. T. in der Massenfertigung produziert werden. Die Shearografie mit räumlichem Phasenschieben bietet durch ihre Robustheit und Echtzeittauglichkeit eine praxisgerechte und wirtschaftliche ZfP-Lösung für bisher nicht berücksichtigte, potentielle Materialfehler in solchen Bauteilen.

Neuentwicklung eines Inspektionssystems zur Online-Streulflussprüfung kaltgewalzter Stahlbänder

[J. Schwarzmann](#)¹, H. Krauhäuser¹, T. Beiküfner²

¹ IMS Messsysteme GmbH, Heiligenhaus; ² IMS Röntgensysteme GmbH, Heiligenhaus

Kaltgewalztes Stahlblech enthält häufig nichtmetallische Einschlüsse (non-metallic inclusions NMIs). Diese gelangen bei der Stahlherstellung und dem anschließenden Brammenguss ins Material. Ein Teil der Einschlüsse bleibt über die Walzprozesse hindurch innerhalb des Materials, ohne die Materialoberfläche zu durchdringen. NMIs können bei nachfolgenden Produktionsschritten, insbesondere in Verbindung mit Umformung, Probleme verursachen. Eine optische Detektion solcher Defekte ist nicht möglich. Daher besteht der Bedarf nach einem Online-Inspektionssystem für die Detektion von nichtmetallischen, inneren Einschlüssen.

Magnetischer Streulfluss wird bereits weitläufig zur Detektion von Einschlüssen, Rissen und anderen Materialinhomogenitäten eingesetzt. Da viele NMIs nicht ferromagnetisch sind, ist eine Detektion mittels magnetischem Streulfluss grundsätzlich möglich. Allerdings beschränkt sich deren Einsatz bisher hauptsächlich auf die manuelle Inspektion von statischen Bauteilen, halbautomatische oder manuelle Inspektion von Werkstücken im Labor oder die Inspektion großer Teile mittels beweglicher Sonden (Detektion großer Inhomogenitäten durch Rohrleitungsmolche u. ä.). Das von der IMS Messsysteme GmbH entwickelte Inspektionsgerät ermöglicht die magnetische Streulfluss-Inspektion von Kaltband während der Produktion. Durch den Einsatz empfindlicher GMR-Sensoren mit optimierter Geometrie konnte der Messabstand im Vergleich zu Hall-Sensoren deutlich vergrößert werden. Sensoren, Magnet und Signalverarbeitung wurden zu einem Sensormodul zusammengefasst. Mehrere Sensormodule bilden eine magnetische Zeilenkamera. Diese bietet eine vollständige Materialabdeckung und ist beliebig skalierbar.

Die Bildübermittlung findet über den GigE – Kamerastandard statt. Erfasste Defekte werden über eine erweiterte Oberflächeninspektionssoftware klassifiziert und in Form eines Defektdiagramms sowie optimierter Bilder dargestellt. Dies ermöglicht eine Bewertung des produzierten Materials sowie eine Optimierung vorausgehender Prozesse.

Der Vortrag beinhaltet die Entwicklung des Inspektionssystems, dessen Spezifikationen und die Vorstellung von Messergebnissen aus laufender Produktion.

Roboterassistierte Ultraschallprüfung von CFK-Komponenten mit komplexer Geometrie

[K. Schlachter](#)², C. Eitzinger², K. Felsner², A. Bulavinov¹, A. Boldyrev¹, R. Pinchuk¹

¹ ACS-Solutions GmbH, Saarbrücken; ² PROFACOR, Steyr-Gleink, Österreich

Die konstruktions- und fertigungstechnisch optimierten Komponenten aus kohlefaserverstärkten Kompositwerkstoffen weisen in Bezug auf die Prüftechnik eine Tendenz zu immer komplexeren Bauteilen hinsichtlich Geometrie und innerem Aufbau auf. Diese Teile haben in der Regel zahlreiche, oft zweiachsig gekrümmte Oberflächen unterschiedlichster Krümmungsradien und viele verschiedene Materialmischungen. Dennoch ist die Ultraschallprüfung solcher Bauteile in der industriellen Qualitätskontrolle am meisten verbreitet.

In dem aktuellen Beitrag wird eine generalisierte Verarbeitungspipeline für eine vollautomatisierten Ultraschallinspektion von CFRP-Bauteilen für den industriellen Einsatz präsentiert. Am Beispiel realer Komponenten werden die Methoden zur Ultraschallprüfung von komplexen CFK-Bauteilen erläutert, welche auf der Basis der modernen Robotertechnik in Kombination mit der Adaptiven Full-Matrix-Capture Methode in Tauchtechnik entwickelt und für den industriellen Einsatz erfolgreich umgesetzt wurden. Die schnelle Datenerfassung und automatische Auswertung der Ultraschallprüfergebnisse wird durch Echtzeit-Rekonstruktionstechniken realisiert, die insbesondere auf die komplexe Bauteilgeometrie optimiert wurden.

Inspiziert von bemerkenswerten Erfolgen im Bereich deep learning, wird ein Domänen Randomisiertes rein auf Simulationen beruhendes - Training des neuronalen Netzes vorgeschlagen. Erhebliche Vorteile dieses Ansatzes gegenüber Methoden in der aktuellen Literatur im Umfeld der zerstörungsfreien Prüfung ergeben sich durch eine unbegrenzte Verfügbarkeit der Daten inklusive zuverlässigem Ground-Truth und eine einfache Integration seltener Fehlerfälle. Zur Datenerzeugung wird ein Raytracing-Ansatz verfolgt. Dies ermöglicht die Abbildung wichtiger physikalischer Effekte und Artefakte.

Die Evaluierung des Ansatzes erfolgt anhand realer, geometrisch komplexer CFRP Bauteile mit künstlichen und natürlichen Materialfehlern. Die Ergebnisse zeigen eine erfolgreiche Überbrückung der Realitätslücke durch das Domänen-Randomisierte Training. Fehler werden mit einer geringen Falsch-Positiv Rate erkannt und erfolgreich von Wiederholungsartefakten unterschieden.

Robotergeführte Ultraschallprüfung von Gasturbinenschaufeln mit adaptiver TFM im ZfP 4.0-Umfeld

[C. Hassenstein](#)¹, T. Heckel¹, D. Voehringer², T. Berendt³, J. Prager¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² Siemens Energy Global GmbH & Co. KG, Berlin; ³ KleRo GmbH Roboterautomation, Berlin

Leit- und Laufschaufeln stationärer Gasturbinen sind im Betrieb anspruchsvollen Bedingungen ausgesetzt. Die Prüfung, Wartung und Reparatur der hochbelasteten Teile sind notwendig, um Sicherheit und Effizienz über längere Zeiträume zu gewährleisten. Eine der in diesem Prozess angewandten Methoden ist die Ultraschallprüfung.

Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung ist es das Ziel des Projektes MRO 2.0, den Aufbereitungsvorgang um digitale Prozesse zu erweitern und somit zu modernisieren. Eine der Aufgaben ist es, dabei anstelle der konventionellen Ultraschallprüfung eine Array-Technik mit rekonstruierenden Verfahren einzusetzen und eine automatisierte, digital eingebundene Methode im Rahmen von ZfP 4.0 zu entwickeln.

Um die Ist-Geometrie der Oberfläche und die verbleibende Wandstärke flächendeckend an den Turbinenschaufeln zu bestimmen, wird ein adaptives TFM-Verfahren in Tauchtechnik eingesetzt, welches die Brechung der Schallwellen an der Grenzfläche zum Prüfkörper in der Rekonstruktion berücksichtigt. In der hierfür entwickelten Prüfanlage führt ein Roboterarm einen Array-Prüfkopf und scannt das Bauteil normal zur inspizierten Oberfläche. Somit kann ein 3D-Modell des Ist-Zustandes des zu prüfenden Bauteils erstellt werden. Spezielle Herausforderungen an die Aufgabe stellen die komplexe Geometrie des Prüfobjektes sowie dessen geringe und ortsabhängige Wandstärke dar. Ein weiterer Fokus liegt auf der Optimierung der Prüfparameter, Verbesserung der Prüfgeschwindigkeit sowie der Zuverlässigkeit der Methode.

In diesem Vortrag werden die während des Projektes entwickelte Methode und die im zweiten Projektjahr erarbeiteten Ergebnisse vorgestellt, mit dem Schwerpunkt auf die entwickelten Rekonstruktionsalgorithmen und den Versuchsaufbau.

Frei positionierbare Dualroboteranlage zur Freiformprüfung großer Bauteile mittels luftgekoppeltem Ultraschall

Y. Bernhardt¹, T. Reindl¹, [M. Kreutzbruck](#)¹, T. Gramberger²

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart; ² Fill Gesellschaft m.b.H., Gurten, Österreich

Im Rahmen des DFG-Großgeräte-Projektes JAMES & MAID wurde am Institut für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart eine flexible Dualroboteranlage zur zerstörungsfreien Materialprüfung (ZfP) von großflächigen Leichtbauteilen konzipiert und aufgebaut. Innerhalb der Forschungsplattform lassen sich die 4 t schweren Robotereinheiten auf Luftkissen frei im Raum verschieben. Die Anlage besitzt Toolchanger, mit denen zukünftig zerstörungsfreie Prüfverfahren wie Ultraschall, Wirbelstrom, Thermografie oder auch viele neuartige Prüfansätze voll automatisiert eingesetzt werden können. Gegenwärtig ist die Anlage mit einem 4-Kanal Luftultraschallsystem bestückt.

Eine besondere messtechnische Herausforderung stellt, insbesondere bei Prüfverfahren in Transmission, die erforderliche hohe Bahngenauigkeit der Roboter dar. Ein einzigartiges Laser-Sensor-System zur Kalibrierung, welches ohne einen stationär in der Zelle befindlichen Lasertracker auskommt, ist die Basis für eine modellbasierte Echtzeitkalibration der Kinematik und ermöglicht eine sehr hohe Absolutgenauigkeit. Die zusätzliche Nutzung des Systems zur Kalibration der beiden Roboterbasen zueinander stellt ein Novum dar und erhöht die Flexibilität der mobilen ACCUROVER Prüfanlage erheblich.

Das Laser-Sensor-System nutzt dabei die Laserstrahlen, um das reale kinematische Modell der Roboter zu identifizieren. Erkannte Abweichungen vom Sollmodell werden berücksichtigt, um einen realistischen digitalen Zwilling zu erzeugen. Die inverse Kinematik wird simultan im Interpolationszyklus der Steuerung berechnet und eventuelle Ausrichtungsfehler werden in Echtzeit kompensiert.

Roboterbasierte bildgebende Wirbelstromprüfung mittels CAD/CAM

[G. Grzonkowski](#)¹, M. Siekmann²

¹ Rohmann GmbH, Frankenthal; ² Rohmann GmbH, Frankenthal; ³ Daimler Truck AG, Stuttgart

Viele Prüfanwendungen im Bereich der automatisierten Wirbelstromprüfung erfordern komplexe Sensorbewegungen am Bauteil. Aufbauend auf dem universalen Roboter-Prüfsystem EloScan-Compact hat die Rohmann GmbH für die Prüfungen von Turbolader-Rotoren einen Laborstand entwickelt, welcher für eine spätere Integration in die Produktionslinie vorbereitet ist. Die notwendige Prüfempfindlichkeit erfordert bei diesen Bauteilen eine berührende Prüfung, welche mit Sensoren in einem verschleißfesten Keramikkörper realisiert werden. Für eine optimale Sensorführung verschiedener Tools und für ein einfaches Hinzufügen weiterer Teiletypen bzw. Prüfungen setzt die Rohmann GmbH auch bei diesem System auf eine CAD/CAM Lösung. Hierzu wurde für die Realisierung automatisierter C-Scan der Postprozessor entsprechend den Anforderungen für die Scanalyzer Software angepasst. Für das Ausblenden von Störkonturen kommt die in der C-Scan Software integrierte Bildauswertung zum Einsatz.

BMB Cloud: Inline Remote Inspections – Erfahrungsbericht bei 55.000 Bauteilen/Tag

H.M. Berg¹, H.W. Berg¹, M.L. Wolf (geb. Berg)¹

¹ BMB Gesellschaft für Materialprüfung mbH, Bad Rappenau

Die Stichworte obigen Titels werden seit Jahren im Markt als die Lösung für die Zukunft angepriesen, dieser Vortrag geht jedoch im Besonderen auf die konkreten Anwendungsberichte aus der Praxis ein. So konnte eine Vielzahl von Fortschritten im Bereich der technischen Ergonomie erzielt werden, jedoch welche Schulungskonzepte für Prüfer*innen zeigen sich in der Praxis als wegweisend? Zumal Prüfer*innen im Homeoffice Einsatz bei BMB im Bereich der CT seit Jahren die gängige Praxis sind, so folgte nun der Sprung auch in die 2D Live-Röntgenprüfung oder auch die zeitlich versetzte Prüfung bis hin zum Roboter-Bauteilhandling. Mindestens Letzteres eröffnet natürlich auch Chancen im Bereich der Prüfung über Landesgrenzen hinweg.

Zusätzlich werden die Nachteile dieses Digitalisierungsschubes inkl. den Implikationen für das Arbeiten gemeinsam mit den Kunden in Echtzeit kritisch hinterfragt sowie Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Der Vortrag schließt mit den nächsten Stufen der Digitalisierung: Unter anderem welche KI wird in welcher Form für die Prüfaufgaben der Zukunft nutzbringend sein.

NDT 4.0 Anforderungen, Möglichkeiten und Realisierung in der PT/MT-Prüftechnik

[R. Link](#)¹, N. Riess², R. Pawelletz², M. Lorenzen²

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

Industrie 4.0 und in Folge NDT 4.0 beruhen auf der Integration digitaler, Internet und Cloud Systeme in Produktion und Prüfung.

Hieraus ergeben sich die folgenden Möglichkeiten für Prüfgeräte, die am Beispiel der MT/PT Prüfung realisiert wurden.

a) Die Prüfung erfolgt durch einen Prüfer, der mittels digital vorliegender Prüfanweisung durch die rechnergesteuerten Einstellungen geführt wird, wobei die Prüfparametereinstellungen durch den Prüfer aktiviert werden. Die Markierung, Vermessung, Bewertung, Darstellung und Dokumentation erfolgt durch den Prüfer auf einem Computersystem u. U. mit Bildverarbeitungssystem. Dabei sind Vermessungen und Verarbeitungen immer getrennt auf einer Kopie der ursprünglichen Anzeige zu erfolgen. Sämtliche digital vorhandenen Informationen können allen interessierten Parteien entsprechend zur Verfügung gestellt werden. Ein wesentlicher Aspekt ist der direkte Kontakt mit der Produktion, Konstruktion und u. U. der Materialbeschaffung. Die digitale Dokumentation sorgt auch für einen späteren Nachweis einer korrekten Prüfung!

b) Die Prüfung erfolgt automatisiert. Dabei werden alle Schritte der Prüfung wie in a) durch das Handhabungs- und Rechnersystem inklusive Bildverarbeitung gesteuert, kontrolliert und ausgewertet. KI, Machine Learning oder Neuronale Netzwerke könnten, falls erforderlich und allgemein zugänglich, mit dem notwendigen Datensatz bei komplexen Entscheidungen zu einem späteren Zeitpunkt integriert werden. Die automatisierte Auswertung hat den Vorteil, dass der Prüfungsvorgang nicht vom physiologisch-psychologischen Zustand des Prüfers beeinflusst wird. Das Ergebnis durch einen Prüfer hängt nachweisbar von den Umgebungsbedingungen ab, oder falls nur wenige Anzeigen zu beobachten sind. In diesem Vortrag berichten wir über den Stand der Technik, über Fortschritte sowie unsere positiven/negativen Erfahrungen bei PT/MT Prüfungen, Prüfsystemen und Prüfobjekten.

Internationale ZfP 4.0 Aktivitäten

[J. Vrana](#)¹, R. Singh²

¹ Vrana GmbH, Rimsting; ² InspiringNext, Cromwell, USA

ZfP 4.0, NDE 4.0, oder die ZfP im Zeichen der Digitalisierung und Digitalen Transformation, begann 2017 in Deutschland und wird zunehmend zu einem weltweiten Trend in der ZfP Community. Dieser Vortrag bietet einen Überblick über die NDE 4.0 Aktivitäten in den ZfP Landesgesellschaften, in der EFNDT und in der ICNDT. Er bietet einen Überblick über die Vorträge bei der NDE 4.0 Konferenz 2021, einen Vorgeschmack auf die NDE 4.0 Konferenz 2022 und eine Übersicht über weitergehende Informationsquellen zum Thema ZfP 4.0.

Automatische Prüfung von Carbonfaser-Tape-Gelegen zur Überführung in den digitalen Zwilling

[J. Oswald](#)¹, C. Jungmann¹, R. Rick¹, J. Summa¹, U. Rabe¹, D. Koster¹, S. Pudovikov¹, H.-G. Herrmann¹, T. Link², R. Schlimper³, K. Wolf⁴

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

Durch die zunehmende Verwendung von Bauteilen aus Kohlenstoff- oder Glasfaserverstärkten Kunststoffen gewinnt auch deren Qualitätssicherung stark an Bedeutung. Besonders bei sicherheitsrelevanten Teilen ist es entscheidend, dass Schwankungen der Materialeigenschaften in Breiten- und Längsrichtung detektiert und lückenlos dokumentiert werden können. Dabei gibt es bei unterschiedlichen Prozessschritten, von der Faser- oder Tape-Herstellung bis hin zur Konsolidierung oder der Umformung im Hybrid-Spritzguss verschiedene Ansätze zur Prüfung relevanter Eigenschaften.

Eigenschaften wie Fasergehalt, Tapedicke oder Homogenität können bereits in frühen Herstellungsschritten geprüft werden, um somit schon vor der Weiterverarbeitung wichtige Erkenntnisse über das Ausgangsmaterial zu erlangen. Die Herangehensweise und Ergebnisse zur (UD) Tape-Herstellung wurden im vergangenen Jahr vorgestellt.

Wie sich die individuellen Eigenschaften einzelner Tapes in weiteren Verfahrensschritten auf die Qualität der daraus gefertigten Teile auswirken, ist dabei Gegenstand aktueller Forschung und bietet Möglichkeiten zur Optimierung.

In diesem Beitrag steht die Prüfung von konsolidierten Tape-Gelege im Fokus. Dabei wird die Anwendbarkeit ausgewählter Testmethoden für den Prozessschritt diskutiert und es werden Ergebnisse vorgestellt. Des Weiteren wird ein Inlinesystem vorgestellt, das es erlaubt, die Tape-Gelege vor dem Hybrid-Spritzguss sowie die fertig hergestellten Bauteile zu prüfen und die dadurch erhaltenen Qualitätsdaten in einen digitalen Zwilling einzupflegen. In Zuge dessen wird auch die einheitliche Bereitstellung von Daten unterschiedlicher Verfahren besprochen, da diese die Grundlage für die Zusammenführung aller Prüfdaten darstellt.

Einsatz einer körperschallbasierten In-Prozess-Sensorik zur Identifizierung von Schweißnahtunregelmäßigkeiten beim Elektronenstrahlschweißen

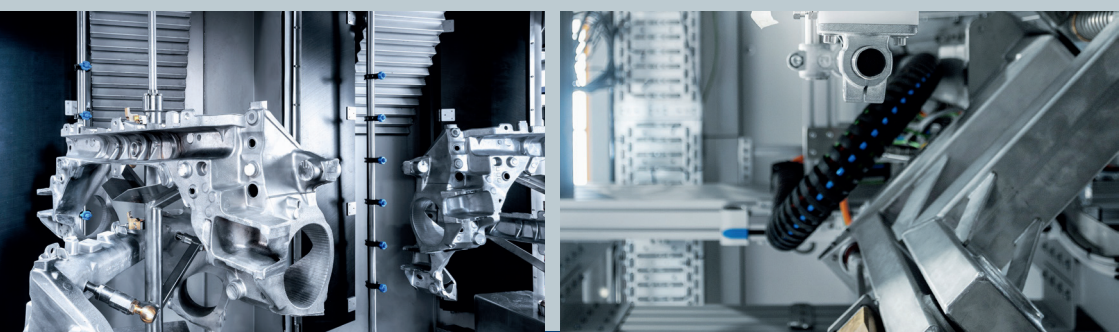
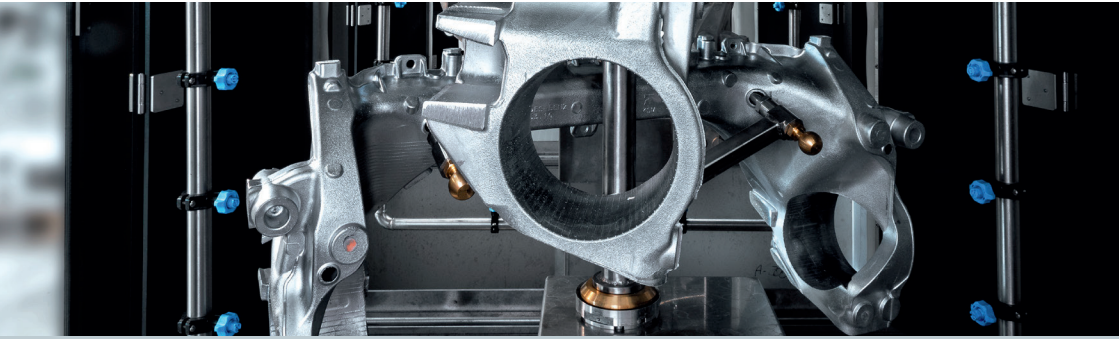
[C. Wolf](#)¹, I. Kryukov¹, M. Wiegand¹, S. Böhm¹

¹ Universität Kassel, Fachgebiet für Trennende und Fügende Fertigungsverfahren, Kassel

Das Elektronenstrahlschweißen wird aufgrund der hohen erreichbaren Nahtqualität (z. B. minimaler Schweißverzug) und der endkonturnahen Fertigungsmöglichkeit häufig innerhalb der letzten Schritte einer Fertigungsprozesskette eingesetzt. In der dort verwendeten vollautomatisierten Fertigung können nicht erfasste Prozessschwankungen zu folgenschweren Fertigungsausfällen führen. Aus wirtschaftlicher Sicht fordern die Anwender der Elektronenstrahltechnologie eine grundsätzliche Reproduzierbarkeit durch maximale Prozessstabilität. Diesbezüglich wird seitens der Anlagenhersteller sukzessive die Weiterentwicklung der Technologie betrieben. Moderne Maschinen bieten die Möglichkeit, anhand primärer Sollgrößenregelung und sekundärer Prozessgrößenmessung den Schweißprozess zu überwachen.

Trotz der Tatsache, dass beim Elektronenstrahlschweißen alle Prozessparameter als gut mess- und protokollierbare elektrische Größen (z. B. Strahl-, Linsenstrom, Beschleunigungsspannung) vorliegen, kann allein aus der Erfassung dieser Parameter nicht auf eine hinreichende Qualität der erzeugten Schweißnaht geschlossen werden. Neben einer nicht ausreichenden Entmagnetisierung mit unzulässiger Strahlablenkung können auch Unregelmäßigkeiten bei der Nahtkantenvorbereitung sowie bauteil- oder werkstoffbedingte Prozesseinflüsse, die zu Poren oder Rissen führen, entstehen. Diese Abweichungen können aktuell entweder gar nicht oder nur unzureichend detektiert werden. An dieser Stelle wird eine In-Line-Prüfmethode benötigt, mit der Abweichungen bereits im Produktionsprozess erfasst werden können. Anhand der beim Elektronenstrahlschweißen vorherrschenden Vakuumumgebung, bietet sich die körperschallbasierte Schallemissionsprüfung als Monitoringmethode an.

Im Rahmen dieser Veröffentlichung wird das Potential der körperschallbasierten Schallemissionsprüfung während des Elektronenstrahlschweißens zur Detektion von Schweißnahtunregelmäßigkeiten vorgestellt. Dazu wurden die Fügepartner aus unterschiedlichen Werkstoffen im Stumpfstoß miteinander verschweißt und die Prozessgeräusche mittels Körperschallsensoren aufgezeichnet. Bei den Schweißversuchen wurden typische Unregelmäßigkeiten (z. B. unvollständige Durchschweißung, Risse) eingebracht und untersucht. Im Anschluss wurden die akustischen Signale hinsichtlich fehlerspezifischer Auffälligkeiten untersucht und mit den Ergebnissen der zerstörenden Prüfung (u. a. Querschiffe) korreliert.



SEIT 1972

KUNDENORIENTIERTE LÖSUNGEN AUS EINER HAND

L+R plant, konstruiert und fertigt Anlagen für die zerstörungsfreie Prüfung. Wir arbeiten für die Marktführer der Industrie. Weltkonzerne in den Bereichen Eisenbahnwesen, Energiewirtschaft, Automobil oder Luftfahrt nutzen Anlagen von Laubinger + Rickmann.

Wer anspruchsvollste Prüftechnik braucht, arbeitet mit L+R.

Weitere Infos zu unseren individuellen Anlagen: www.laubinger-rickmann.de

Vertrauenswürdigkeit sicherheitskritischer elektronischer Komponenten in einer global verflochtenen Liefer- und Wertschöpfungskette

[D. Koster](#)¹, U. Netzelmann¹, S. Quirin¹, J. Oswald¹, C. Jungmann¹, R. Rick¹, P. Stopp¹, N. Brosta¹, H. Gieser², N. Kovac², L. Meixner², F. Altmann³, S. Brand³

¹ Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken;

² Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme u. Festkörper-Technologien EMFT, München;

³ Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS, Halle (Saale)

Die Mikroelektronik ist zu einem unverzichtbaren Bestandteil unseres Lebens geworden und eine Schlüsseltechnologie der fortschreitenden Digitalisierung und Vernetzung unserer Gesellschaft. Der rasant zunehmende Einsatz von Elektroniksystemen in kritischen Infrastrukturen, für Industrie 4.0 oder Anwendungen im Internet of Things (IoT), der Kommunikationstechnik, im Automobilbereich oder bei medizinischen Geräten erhöht das Risiko für digitale Angriffe mit hohem Schadpotential. Zusätzlich ist durch die Globalisierung der Herstellerketten für elektronische Systeme die Gefahr von Fälschungs- und Manipulationsversuchen gewachsen. Als Hardware-Trojaner wird die Manipulation in der Verschaltung von Elektronikkomponenten bezeichnet, um unerlaubten und versteckten Zugriff z. B. auf persönliche Daten und Firmengeheimnisse zu erhalten oder Kontrolle über Produktionsprozesse oder sicherheitsrelevante Infrastruktur zu erlangen. Die Manipulation kann dabei an unterschiedlichen Stellen der Wertschöpfung erfolgen und lange Zeit unbemerkt bleiben. Neben der Implementierung in der Entwicklungsphase von mikroelektronischen Schaltkreisen können Hardware-Trojaner auch unbemerkt innerhalb der Chip- oder Baugruppenfertigung eingesetzt werden. Ein weiterer Angriffspunkt ist der Transport, bei dem gefälschte oder manipulierte Bauelemente eingeschleust werden können. Daher ist die Gewährleistung der Vertrauenswürdigkeit auf Ebene der integrierten Schaltkreise, der Bauelemente und Elektroniksysteme durch geeignete Prüfmethoden zum Nachweis von Hardware-Trojanern von zunehmender Bedeutung.

Im Rahmen des Fraunhofer-internen Projektes Trusted resource aware ICT TRAICT wurden verschiedene Angriffsszenarien analysiert und mögliche Detektionsmechanismen identifiziert. Mit den gewonnenen Erkenntnissen wurden danach Hardware-Trojaner-Ansätze in eine Demonstrator-Baugruppe implementiert. In diesem Beitrag werden die erzielten Ergebnisse besprochen, die jeweiligen Nachweisempfindlichkeiten und Einsatzgrenzen für die Hardware-Trojaner-Detektion diskutiert und ein erstes multimodales Prüfkonzept vorgestellt.

Untersuchung der Integrität von CFK-Balkenproben mittels Schallemissionsanalyse

[B. Weihnacht](#)¹, A. Pietzsch¹, E. Schulze¹, K. Tschöke¹, O. Köchel¹

¹ 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 nutzt geführte akustische Wellen, die sich nach Entstehung eines Strukturschadens großflächig im Bauteil ausbreiten und von vereinzelt Sensoren am Bauteil erfasst und lokalisiert werden. Damit können auch in großem Abstand voneinander angebrachte akustische Sensoren größere Bauteile überwachen.

Dafür wurden mit den Projektpartnern Bauteilproben mit verschiedenen Lagenaufbauten in 4-Punkt-Biegeversuchen getestet, wobei diese mit Schallemissionsmessungen begleitet wurden. Die 10 Sensoren befanden sich für diese Balkenversuche auf der Oberseite (3 Sensoren), Unterseite (3 Sensoren), seitlich vorn (2 Sensoren) und seitlich hinten (2 Sensoren), wodurch der mittlere Bereich der Probe gut erfasst werden konnte. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die bisher vermessenen 15 Proben teilweise trotz gleicher Fertigung sehr unterschiedlich verhalten und bei unterschiedlichen Lastniveaus versagen. Die Auswertung erfolgte u.a. bezüglich der georteten Ereignisse, der Betriebsparameter, der Frequenzinhalte und der gewichteten Peakfrequenz, die sich als brauchbarer Schadensparameter etabliert hat.

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

Neuartige Matrix Phased-Array Luftultraschallsender

W. Essig¹, Y. Bernhardt¹, S. Lindenlaub¹, I. Jennerjahn¹, M. Kreutzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

In der Kontaktultraschallprüfung ist die Gruppenstrahlerprüftechnik seit Jahrzehnten Stand der Technik. Durch die Nutzung mehrerer paralleler Sender und Empfänger lassen sich durch konstruktive und destruktives Überlagern von einzelnen Wellen elektronische Fokuspunkte einstellen und durch besondere Auswertalgorithmen wie z. B. die TFM anwenden. Über 16.000 Sende- und Empfangselemente werden beispielsweise bei Ultraschallkameras eingesetzt. Im Vergleich hierzu ist der Stand der Technik im luftgekoppelten Ultraschall in einem früheren Stadium. Die meisten Systeme arbeiten aktuell lediglich mit einem Sender und einem Empfänger. Wenn mehr Kanäle verwendet werden, dann nur um die Prüfgeschwindigkeit zu erhöhen und nicht um eine elektronische Fokussierung zu nutzen.

In dieser Arbeit wurde erstmalig ein 8 x 8 Array aus Luftultraschallsendern für die zerstörungsfreie Prüfung aufgebaut und charakterisiert. Die auf Mikrocontroller basierende Elektronik und eine Verstärkerplatine ermöglichen ein elektronisches Fokussieren auf bestimmte Punkte in verschiedenen Ebenen. Ein solches Mehrkanalsystem mit 64 Sendern kann somit nicht nur die Scangeschwindigkeit erhöhen, sondern auch die örtliche Auflösung verbessern.

Kontaktfreie Ultraschall-Schichtdickenbestimmung von auftragsgeschweißten Beschichtungen mittels Dispersionsmessung

G. Kaniak¹, B. Burbaum², [J. Pörnbacher](#)¹, W. Rohringer¹, M. Brauns¹, B. Fischer¹

¹ XARION Laser Acoustics GmbH, Wien, Österreich; ² Siemens Energy, Berlin

Die Messung von Schichtdicken auftragsgeschweißter Schichten stellt durch die Ähnlichkeit der Materialeigenschaften von Schicht und Grundmaterial eine Herausforderung dar. Akustische Methoden sind durch ihre leichte Anwendbarkeit gegenüber Röntgen- oder Ionenstrahl-basierten Methoden im Vorteil, benötigen allerdings traditionell meist ein Koppelmedium, was wiederum insbesondere hinsichtlich der Messzeit einschränkt.

Das hier vorgestellte kontaktfreie Ultraschallverfahren ist durch Ausnutzung von Laseranregung in Verbindung mit einem luftgekoppelten optischen Mikrofon, das eine einzigartige Bandbreite von über 2 MHz aufweist, in der Lage diese Hemmnisse zu überwinden. Die Ultraschall-Anregung erfolgt mittels eines gepulsten Lasers, der im thermo-elastischen Regime zerstörungsfrei eine akustische Schockwelle anregt. Diese Anregung ist breitbandig, wodurch im betrachteten Frequenzbereich bis über 2 MHz neben der Rayleigh-Welle des mehrere Zentimeter starken Grundmaterials auch disperse Moden durch Wellenleitereffekte in der aufgeschweißten Schicht angeregt werden. Hier bringt ein breitbandiger Sensor in Verbindung mit breitbandiger Anregung Vorteile.

Der Messaufbau sieht eine stationäre Position der Laseranregung vor, während sich der akustische Sensor entlang einer Linie über die Probe bewegt und für Messpositionen in Abständen von 500µm Akustische Signale aufgezeichnet werden. Werden diese Zeitsignale über der Ortsposition zu einem B-Bild kombiniert, lassen sich durch Anwendung der Fourier-Transformation die Phasengeschwindigkeiten der gemessenen Moden über der Frequenz bestimmen.

Beispielhaft wird die Anwendung anhand der Schichtdickenbestimmung von Triballoy auf Inconel für Turbinenteile demonstriert, wobei die Schichtdicken zwischen 100µm und 600µm variiert wurden. Die gemessenen Phasengeschwindigkeiten werden in geeigneten Frequenzbereichen über 1 MHz ausgewertet. Durch Vergleich mit Schichtdickenbestimmung mittels zerstörender Verfahren kann ein Modell der Schichtdicke als Funktion der Phasengeschwindigkeit erstellt werden.

Kontaktfreie breitbandige Ultraschallprüfung – Eine Methode zur Detektion einzelner Poren in CFK?

[A. Abreu](#)¹, M. Kreutzbruck², M. Brauns³

¹ Premium Aerotec GmbH, Augsburg; ² IKT, Universität Stuttgart; ³ XARION Laser Acoustics GmbH, Wien, Österreich

Bei der Ultraschall-Impuls-Echo-Prüfung von kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff im Flugzeugbau gilt üblicherweise ein Grenzwert von 6 dB für die zulässige Schallschwächung. Dies dient dazu die Porosität im Bauteil auf ein akzeptables Maß zu beschränken. Man erhält keine Information über die Größenverteilung und Lage der Poren. Die Anwendung von kontaktfreier breitbandiger Ultraschallprüfung durch Laseranregung und Detektion mittels optischem Mikrofon ist eine noch sehr neue Methode zur Prüfung von CFK Bauteilen. Das Ultraschallmikrofon basiert auf Laser-Interferometrie und kommt vollständig ohne bewegliche Teile aus und bietet eine sehr hohe Detektionsbandbreite. Die Kombination aus breitbandigem Laser als Ultraschallquelle und sehr breitbandigem Empfänger eröffnet die entkoppelte Detektion von sehr kurzen Schallsignaturen, was im Bereich des Luftschalls bislang noch nicht möglich war und bislang auch die Hürde für Impuls-Echo Luftschallanwendungen darstellte. In diesem Beitrag präsentieren wir die Anwendung dieser Methode auf ein poröses Testbauteil. Es ergeben sich einzelne klar abgegrenzte Anzeigen, die den Verdacht nahelegen, dass sie durch einzelne Poren erzeugt werden. Der Vergleich mit computertomographischen Aufnahmen zeigt, ob einzelne Poren mit dieser Methode tatsächlich detektiert werden können.

Luftultraschall mit Phased-Array-Technik

W. Hillger¹, A. Szewieczek¹, D. Ilse¹, M. Gaal², D. Hufschläger², K. Bente³, M. Weise², D. Gohlke²

¹ Hillger NDT GmbH, Braunschweig; ² Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ³ HMU – Health and Medical University, Potsdam

Der Vortrag berichtet über zwei Forschungsprojekte KALLUP (Vorrichtung zur Charakterisierung und Kalibrierung von luftgekoppelten Prüfköpfen) und PALUP (Phased-Array-Technik für Luftultraschall-Prüfungen). Projektpartner sind die BAM in Berlin und Hillger NDT. Die Phased-Array-Technik ermöglicht bekanntermaßen eine wesentlich flexiblere Anpassung der Ultraschallprüftechnik an unterschiedliche Prüfaufgaben als die klassische einkanale Prüftechnik. Um diese Flexibilität auch bei berührungslosen Verfahren wie der Ankopplung über Luft zu erreichen, arbeiten die Partner BAM und Hillger NDT intensiv auf dem Gebiet. Entwickelt wurde ein achtkanaliger thermoakustischer Wandler, der als breitbandiger Phased-Array-Sender eingesetzt wird. Das Ziel im PALUP-Projekt ist die Entwicklung eines Phased-Array-Demonstrators mit Luftankopplung, wobei als Sender und Empfänger Sensoren aus zellulären Kunststoffmaterialien eingesetzt werden. Die Arrays erlauben durch das Umschalten der Elemente ein elektronisches Scannen, elektronisches Schwenken des Einschallwinkels und elektronisches Fokussieren, was bisher nur mit der Phased-Array-Technik mit Koppelmitteln möglich ist. Die Teilziele der BAM sind: die Entwicklung des Layouts für Array-Sender und -Empfänger, Auswahl des zellulären Kunststoffs für den Wandlerbau, Konzept und Bau des Sende- und Empfangssensors sowie die Charakterisierung der Sensoren. Die Teilziele von Hillger NDT sind: die Konzipierung der Prüfstrategie, Konzept und Bau der mehrkanaligen Sendetechnik, Konzept und Bau der mehrkanaligen Empfangstechnik, Entwicklung der Software für Datenerfassung.

Untersuchung des Aufschmelzverhaltens im FFF-Druck mittels Durchstrahlungsprüfung

[M. Kornely](#)¹, J. Ehrler¹, J. Kattinger¹, M. Kreutzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

Der 3D-Druck hat sich im 21. Jahrhundert als das Verfahren zur Herstellung von Prototypen und Kleinstserien etabliert. Im Kunststoffbereich wird insbesondere das Fused Filament Fabrication (FFF) eingesetzt, bei dem ein Kunststofffilament in einer Düse aufgeschmolzen und schichtweise ein Bauteil aufgebaut wird. Wie bei allen Fertigungsverfahren besteht auch beim FFF-Verfahren ein Interesse daran, den Prozess durch Simulation weiter zu optimieren. Um das Aufschmelzverhalten des Kunststoffs in der Düse besser zu verstehen, sind Kenntnisse über das reale Aufschmelzverhalten erforderlich.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Aufbau vorgestellt, der eine Untersuchung des Aufschmelzverhaltens im Druckprozess ermöglicht. Hierfür wurde eine 3D-Druckerdüse in eine Röntgen-Computertomografieanlage integriert, wodurch eine Durchstrahlung der Düse während des Druckprozesses realisiert werden kann. Durch die Verwendung von Filamenten mit hoch absorbierenden Füllstoffen (wie z. B. Bronze oder Wolfram) kann ein entsprechender Kontrast zwischen Metaldüse und Kunststofffilament erzielt werden. Hierdurch kann festgestellt werden, wo in der Düse der Aufschmelzvorgang beginnt und ab wann ein Kontakt zwischen Schmelze bzw. Filament und der Düsenwand vorliegt. Durch die so gewonnenen Informationen, können künftig Simulationen verifiziert und verbessert werden. Zusätzlich bietet der Aufbau die Möglichkeit, Düsengeometrien im Druckprozess zu analysieren und anschließend zu optimieren.



Zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen

- Magnetpulverprüfung (MT)
- Eindringprüfung (PT)
- Wirbelstromprüfung (ET)
- Sichtprüfung (VT)
- Ultraschallprüfung (UT)
- Entmagnetisierung von Bauteilen

Zerstörende Werkstoffprüfungen

- Mechanisch-Technologische Prüfungen
- Metallographie
- Chemische Analyse
- Sonstige Untersuchungen

GABO Campus

- Prüfwerk ZfP nach DIN 54161
- Grundlagen der NDT
- Lehrgänge VT / PT / MT / UT
- Individuelle Schulungen / Firmenlehrgänge
- Beratung

VOR ORT
auch möglich!



Zertifizierungen:
ZfP: DIN EN ISO 9001:2015
ZP: DIN EN ISO/IEC 17025:2018

GABO Werkstofftechnik GmbH

Streichhoffeld 3 · D-73457 Essingen
Telefon: +49 7365 / 9237 100
info@gabo-werkstofftechnik.de

www.gabo-werkstofftechnik.de

In-situ Prozessüberwachung in der additiven Fertigung von Metallen (L-PBF) mittels TT und ET

[N. Scheuschner](#)¹, F. Heinrichsdorff², A. Gordei³, H. Ehlers¹, J. Kochan³, H. Jahangir⁴, M. Pelkner¹, C. Maierhofer¹, K. Hilgenberg¹

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

³ Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik, Berlin;

⁴ Siemens Energy Global GmbH & Co. KG, Berlin

Durch die additive Fertigung ergeben sich durch die nun mögliche wirtschaftliche Fertigung hochgradig individueller und komplexer metallischer Bauteile in kleinen Stückzahlen bis hinunter zum Einzelstück für viele Industriebereiche ganz neue Möglichkeiten. Gleichzeitig entstehen jedoch neue Herausforderungen im Bereich der Qualitätssicherung, da sich auf statistischen Methoden beruhende Ansätze nicht anwenden lassen, ohne wiederum die Vorteile der Fertigung massiv einzuschränken.

Eine mögliche Lösung für dieses Problem liegt in der Anwendung verschiedener In-situ-Überwachungstechniken während des Bauprozesses. Jedoch sind nur wenige dieser Techniken kommerziell verfügbar und noch nicht so weit erforscht, dass die Einhaltung strenger Qualitäts- und Sicherheitsstandards gewährleistet werden kann. In diesem Beitrag stellen wir die Ergebnisse einer Studie über mittels L-PBF gefertigte Probekörper aus der Nickelbasis-Superlegierung Haynes 282 vor, bei denen die Bildung von Defekten durch lokale Variationen der Prozessparameter wie der Laserleistung provoziert wurde. Die Proben wurden in-situ mittels Thermographie, optischer Tomographie, Schmelzbadüberwachung und Wirbelstromprüfung sowie ex-situ mittels Computertomographie (CT) überwacht, mit dem Ziel, die Machbarkeit und die Aussichten der einzelnen Methoden für die zuverlässige Erkennung der Bildung relevanter Defekte zu bewerten.

Detektion von Bindefehlern durch Laser-Thermografie beim pulverbettbasierten Schmelzen von Metallen mittels Laserstrahl

F. Herzer¹, J. Schilp¹

¹ Fraunhofer IGCV, Augsburg

Beim pulverbettbasierten Schmelzen von Metallen mittels Laserstrahl (eng. Powder Bed Fusion of Metals using a Laser Beam, PBF-LB/M) stellt das Thema Qualitätssicherung insbesondere in Form der Prozessüberwachung, nach wie vor eine große Herausforderung dar. Branchen wie beispielsweise die Luft- und Raumfahrt oder die Medizintechnik können stark von der Gestaltungsfreiheit der additiven Fertigungsbauweise profitieren, erfordern aber aufgrund ihrer starken Regulierungen ein hohes Maß an Qualitätsnachweisen. Aktuell am Markt verfügbare Systeme im Bereich der Prozessüberwachung fokussieren sich auf die Erfassung der Prozessemissionen bei der Schichterzeugung. Durch das Zusammenspiel einer Vielzahl an Parametern und das erneute Aufschmelzen bereits verfestigter Schichten ist die Interpretation der Daten und die Verknüpfung mit resultierenden Ungängen bzw. Defekten hochkomplex und fehleranfällig. Im Rahmen des MULTIMATERIAL-Zentrum Augsburg wird daher im Forschungsprojekt Multisurv untersucht, welches Potenzial die aktive Thermografie unter Nutzung des Anlagenlasers besitzt, um Bindefehler in bereits verfestigten Schichten zu detektieren. Durch die Prüfung der verfestigten Schichten wird das Resultat und nicht der Entstehungsprozess überwacht bzw. kontrolliert. Anhand eines entwickelten Vorgehens konnte bereits die prinzipielle Detektierbarkeit von künstlich eingebrachten Bindefehlern nachgewiesen werden. Nachfolgend wird daher dargestellt, welche Anforderungen durch das Reaktionsverhalten der eingebrachten Ungängen an die Anregung mittels des Prozesslasers resultieren und wie diese bei der Integration der Thermografie in eine PBF-LB-Anlage berücksichtigt werden können.

Aktive Laserthermografie im L-PBF-Prozess zur in-situ Detektion von Defekten

P.P. Breese¹, T. Becker¹, S. Oster¹, S.J. Altenburg¹, C. Metz², C. Maierhofer¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² THETASCAN GmbH, Dinslaken

Die zerstörungsfreie Prüfung von metallischen Bauteilen hergestellt mit additiver Fertigung (Additive Manufacturing – AM) gewinnt zunehmend an industrieller Bedeutung. Grund dafür ist die Feststellung von Qualität, Reproduzierbarkeit und damit auch Sicherheit für Bauteile, die mittels AM gefertigt wurden. Jedoch wird noch immer ex-situ geprüft, wobei Defekte (Poren, Risse etc.) erst nach Prozessabschluss entdeckt werden. Übersteigen Anzahl und/oder Abmessung die vorgegebenen Grenzwerte für diese Defekte, so kommt es zu Ausschuss, was angesichts sehr langer Bauprozessdauern äußerst unrentabel ist. Eine Schwierigkeit ist dabei, dass manche Defekte sich erst zeitverzögert zum eigentlichen Materialauftrag bilden, z. B. durch thermische Spannungen oder Schmelzbadaktivitäten. Dementsprechend sind reine Monitoringansätze zur Detektion ggf. nicht ausreichend.

Daher wird in dieser Arbeit ein Verfahren zur aktiven Thermografie an dem AM-Prozess Laser Powder Bed Fusion (L-PBF) untersucht. Das Bauteil wird mit Hilfe des defokussierten Prozesslasers bei geringer Laserleistung zwischen den einzelnen gefertigten Lagen unabhängig vom eigentlichen Bauprozess erwärmt. Die entstehende Wärmesignatur wird ort- und zeitaufgelöst durch eine Infrarotkamera erfasst. Durch diese der Lagenfertigung nachgelagerte Prüfung werden auch zum Bauprozess zeitversetzte Defektbildungen nachweisbar.

In dieser Arbeit finden die Untersuchungen als Proof-of-Concept, losgelöst vom AM-Prozess, an einem typischen metallischen Testkörper statt. Dieser besitzt eine Nut als oberflächlichen Defekt. Die durchgeführten Messungen finden an einer eigens entwickelten L-PBF-Forschungsanlage innerhalb der Prozesskammer statt. Damit wird ein neuartiger Ansatz zur aktiven Thermografie für L-PBF erforscht, der eine größere Bandbreite an Defektarten auffindbar macht. Der Ansatz wird validiert und Genauigkeit sowie Auflösungsvermögen geprüft. Eine Anwendung am AM-Prozess wird damit direkt forciert und die dafür benötigten Zusammenhänge werden präsentiert.

Hochauflösende online Wirbelstromprüfung von PBF-LB/M Bauteilen mit GMR Arrays

[H. Ehlers](#)¹, M. Pelkner¹, R. Thewes², D. Jutkuhn³

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² Technische Universität Berlin; ³ Fraunhofer IAPT, Hamburg

In den letzten Jahren haben additive Fertigungstechnologien an Bedeutung gewonnen. Für komplexe Funktionsbauteile oder die Produktion von Werkstücken in kleinen Stückzahlen kann das Laser-Pulverbettschmelzen eingesetzt werden. Hohe Sicherheitsanforderungen, z. B. in der Luft- und Raumfahrt, erfordern eine umfassende Qualitätskontrolle. Daher werden nach der Fertigung zerstörungsfreie Offline-Prüfverfahren wie die Computertomographie eingesetzt. In jüngster Zeit wurden zur Verbesserung der Rentabilität und Praktikabilität zerstörungsfreie Online-Prüfverfahren wie die optische Tomographie entwickelt. In diesem Beitrag wird die Anwendbarkeit der Wirbelstromprüfung mit GMR Sensoren für die online Prüfung von PBF-LB/M Teilen demonstriert. Die Ergebnisse einer online Wirbelstromprüfung mit GMR Sensoren und einer Ein-Draht-Anregung werden gezeigt. Während des Produktionsprozesses wird für jede Lage eine Wirbelstromprüfung durchgeführt. Trotz hochauflösender Arrays mit 128 Elementen wird durch eine angepasste Hardware die Prüfdauer geringgehalten. So kann die Messung während des Beschichtungsvorgangs durchgeführt werden, ohne den Fertigungsprozess signifikant zu verlangsamen. Eine online Wirbelstromprüfung eines stufenförmigen Testkörpers aus Haynes282 über 184 Lagen zeigt, dass die Kanten nicht nur in der aktuellen Lage detektiert werden können, sondern auch in einer Tiefe von 400 µm, wenn eine Anregungsfrequenz von 1,2 MHz gewählt wird.

POD, aber wie? Konzeption und Herstellung von Testkörpersätzen und Prüfvorschriften für die experimentelle Zuverlässigkeitsbestimmung von ZfP-Prüfansätzen

[A. Jüngert](#)¹, T. Heckel², V. Tkachenko², M. Bertovic², J. Vrana³, D. Kanzler⁴

¹ MPA Universität Stuttgart; ² Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ³ Vrana GmbH, Rimsting; ⁴ Applied Validation of NDT, Berlin

Im Rahmen des WIPANO Vorhabens normPOD wird eine Richtlinie zur experimentellen und simulationsgestützten Zuverlässigkeitsbewertung erstellt. In der Richtlinie wird die Zuverlässigkeitsbewertung beispielhaft für zwei praktische Anwendungsfälle vorgestellt. Ein Anwendungsfall beschäftigt sich mit konventionellen Ultraschallprüfungen an ferritischen Stählen und deren Schweißnähten.

Zur Berechnung von Probability-Of-Detection (POD)-Kurven ist es notwendig, dass ein geeigneter Testkörpersatz zur Verfügung steht, der sowohl leicht zu findende Fehlstellen als auch Fehlstellen, die an der Grenze der Detektierbarkeit liegen, enthält. Im Vorhaben kommen verschiedene Testkörper zum Einsatz, die entweder Ersatzfehler wie Nuten und Bohrungen oder künstlich eingebrachte realistische Fehlstellen wie Risse und Schweißfehler enthalten.

Zur Erstellung eines möglichst allgemeinen Leitfadens zur Testkörperherstellung für die Zuverlässigkeitsbewertung werden verschiedene Möglichkeiten betrachtet. Es wird ein Testkörpersatz mit Ersatzfehlern hergestellt und durch Testkörper mit realistischen Fehlstellen ergänzt. Mit Hilfe von Simulationen mit CIVA sollen die optimalen Konfigurationen und Anordnung von realistischen Fehlstellen und Ersatzfehlern identifiziert, und anschließend mithilfe geeigneter Fertigungsverfahren eingebracht und validiert werden. Neben den Testkörpern, die gezielt für das Vorhaben hergestellt werden, kommen außerdem kommerziell erhältliche Testkörpersätze mit realistischen Fehlstellen zum Einsatz.

Die Prüfaussage einer Ultraschallprüfung hängt weiterhin wesentlich von den Informationen ab, die dem Prüfpersonal vor Ort zur Verfügung steht. Es muss ein ausgewogenes Maß zwischen zu wenig und zu viel Informationen gefunden werden. Im letzten Schritt wird deshalb eine geeignete Vorlage für eine Prüfanweisung erstellt, die so formuliert ist, dass die Wahrscheinlichkeit menschlicher Fehler (z. B. Missverständnis, Fehlinterpretation, Überspringen von Schritten usw.) möglichst gering ist.

EMPIR-Projekt NanoXSpot: Neue Normentwürfe für die Brennfleckmessung an Röntgenröhren im Makro-, Mikro- und Nanometerbereich für Hersteller und Anwender

[U. Ewert](#)¹, G.-R. Jaenisch², D. Schumacher², B. Bircher³, F. Meli³, A. Deresch⁴

¹ KOWOTEST Gesellschaft für Prüfausrüstung mbH, Teltow; ² Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ³ Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS, Labor Länge, Nano- und Mikrotechnik, Bern-Wabern, Schweiz;

⁴ YXLON International GmbH, Hamburg

Im Rahmen des EMPIR-Projektes NanoXSpot (Nanometre X-ray Focal Spot Measurement) werden rückführbare Messverfahren zur Bestimmung der Brennfleckgröße und -form von Röntgenröhren im Bereich von 100 nm bis 10 mm entwickelt, welche die Grundlage für die Erarbeitung mehrerer Normentwürfe bilden. Diese werden 2022 parallel bei ISO TC 135 (NDT) SC 5 (RT) und CEN TC 138 (NDT) WG 1 (RT) eingereicht. Entsprechende Normen werden auch bei ASTM vorgestellt. Die Norm EN 12543-4 (Kantenmethode) wird umgeschrieben für die Messung von Brennflecken von 1 µm – 10 mm durch Auswertung von Loch- oder Scheibenaufnahmen. Der im Rahmen des NanoXSpot-Projektes neu entwickelte NxS-Testkörper ist geeignet für den Bereich von 1 µm – 100 µm. Von 100 µm bis 10 mm können ASTM-Lochtestkörper verwendet werden, die bereits bei ASTM E 1165 beschrieben sind. Neu ist die Anwendung eines CT-Algorithmus zur Rekonstruktion der Brennflecke, um Lochblenden-basierte Brennfleckkameras, insbesondere im Bereich unter 100 µm, zu ersetzen. Ein neuer Normteil, EN 12543-6, wurde entworfen, um die Brennfleckmessung im Bereich 100 nm – 20 µm mit hoher Genauigkeit zu ermöglichen. Verschiedene Strichgruppen-Testkörper kommen hier zum Einsatz. Das sind die JIMA-Prüfkörper, ein neuer Hochkontrast-Strichgruppentestkörper von YXLON (HiCo) und der neu entwickelte Testkörper NxS. Diese werden vorgestellt. Die Messprozedur für Röhrenhersteller wird auf einer numerischen Fit-Prozedur basieren, die über einen Ringversuch im Projekt validiert wurde. Beide Normen benötigen numerische Auswertelgorithmen zur korrekten Anwendung, die als kommerzielle Software und Public Domain – Software verfügbar gemacht werden. Es wird über die zu erwartenden Standardprozeduren und die erforderliche Hardware zur Anwendung der Normen informiert.

Detailerkennbarkeit nach ASTM E 1441 im Anwendungsfall

[F. Wohlgemuth](#)¹, D. Sorkalla¹, N. Wörle¹, M. Jelinek¹, M. Frieß¹, C. Abt¹

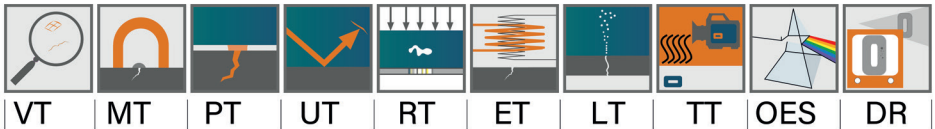
¹ HEITEC PTS GmbH, Kuchen/Fils

Die Messung der modulation transfer function (MTF) sowie der contrast discrimination function (CDF) nach der Richtlinie ASTM E 1695 erlauben nicht nur den Vergleich verschiedener Computertomographie (CT)-Systeme oder -Systemeinstellungen, sondern nach Richtlinie ASTM E 1441 auch die Berechnung des Contrast-Detail-Diagramm (CDD). Das CDD ermöglicht, abhängig vom lokalen Grauwertkontrast eines Defektes, eine Aussage über die größenabhängige Defekterkennbarkeit im Messvolumen und ist damit eine attraktive Vorhersagemöglichkeit für jegliche Anwendungsfälle der CT im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung. Nach unserem Kenntnisstand existieren jedoch momentan noch wenige publizierte Studien zur Anwendung des CDD. Weiterhin enthält die Defekterkennbarkeitsgrenze nach der Richtlinie einen physiologischen Faktor c , dessen Wert mit 2-5 angegeben wird und somit eine gewisse Variabilität erzeugt.

In diesem Beitrag werden Messungen eines defektbehafteten Aluminium-Gussteils an einem HEITEC PTS GmbH HeiDetect Valu CT-System vorgestellt, bei denen die Defekterkennbarkeit bei verschiedenen Systemeinstellungen mit dem bei diesen Einstellungen gemessenen CDD korreliert wird. Das HeiDetect Valu CT-System der HEITEC PTS GmbH ist ein kostengünstiges und kompaktes Einsteigergerät, das perfekt für die Prüfung kleiner und mittelgroßer Aluminium- und Polymerbauteile geeignet ist und sowohl röntgencomputertomographische Aufnahmen als auch digitale Radiographie ermöglicht. Ziel der Studie ist es, die Anwendungstauglichkeit der ASTM E 1441-Richtlinie zu überprüfen und auf Komplikationen bei der Anwendung hinzuweisen. Dabei soll auch untersucht werden, inwiefern die durch den physiologischen Faktor c entstehende Variabilität Relevanz im Anwendungsfall besitzt.

Ihr Partner für ZfP-Ausbildung und Qualitätssicherung

**Anerkannte Ausbildungsstätte der DGZfP.
Ausbildung nach DIN EN ISO 9712 sowie DIN 54161.**



- Schulung inhouse
- Qualitätssicherung
- Rezertifizierungsprüfungen
- Erfolgsorientierte Schulung
- Filmauswertung, Härteprüfung
- Modulare Ausbildung an Ihren Prüfsystemen
- PIBS-Expert: Filmauswertung; Optische-Emissions-Spektralanalyse (OES); Naturwissenschaftliche-Forensische Untersuchungsmöglichkeiten (z.B. an Oldtimer)

Der Mensch ist immer noch das Wichtigste auf der Welt, wir schulen Sie in der ZfP, um ein Risiko zu minimieren und zu bewerten, bevor es zu einem Risiko wird, für eine sichere Zukunft.



Mail: info@pibs.de
Tel.: +49 (0) 2445 – 5465

Lasst uns mal POD standardisieren!

[D. Kanzler](#)¹, V.K. Rentala¹, M. Bertovic², T. Heckel², V. Tkachenko², J. Given², S. Keßler³, F. Dethof³, A. Jüngert⁴, J. Vrana⁵

¹ Applied Validation of NDT, Berlin; ² Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ³ Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg;

⁴ Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart; ⁵ Vrana GmbH, Rimsting

Seit beinahe 50 Jahren werden Zuverlässigkeitsbewertungen zerstörungsfreier Prüfverfahren erfolgreich in unterschiedlichen Industriebranchen eingesetzt.

Dennoch gibt es weiterhin viele Vorbehalte, da die Bewertungsgrundlage nicht standardisiert ist und konkrete Handlungsanweisungen fehlen. Dem gegenüber steht die Anerkennung in der ZfP-Community darüber dass dem Wissen über die Zuverlässigkeit eines zerstörungsfreien Prüfverfahren eine Schlüsselfunktion für die ZfP 4.0 zukommt.

Im Vortrag wird die Notwendigkeit für eine Norm zum Thema Zuverlässigkeitsbewertungen eingeführt. Es wird darauf eingegangen, warum es bisher (in Deutschland) noch keine Norm oder Richtlinie gab und gibt und was der:die Anwender:in aus einer Richtlinie zur Zuverlässigkeitsbewertung von ZfP-Prüfverfahren erwarten kann.

Es werden konkrete Schritte und Vorgehensweisen zur Bewertung der Zuverlässigkeit eines Verfahrens aufgezeigt; von der Definition eines Anwendungsfalls, über die Herstellung geeigneter Testkörper bis hin zur Durchführung und Bewertung von Prüfungen unter Einbeziehung von menschlichen Einflüssen. Die Beispiele umfassen sowohl Anwendungen aus dem Bauwesen als auch aus dem Maschinen- und Anlagenbau.

Der Vortrag fasst die bisherigen und geplanten Arbeiten in dem WIPANO Projekt Normung für die probabilistische Bewertung der Zuverlässigkeit für zerstörungsfreie Prüfverfahren zusammen und zieht Bilanz.

Richtlinie zur Charakterisierung von luftgekoppelten Ultraschallwandlern

M. Gaal¹, Y. Bernhardt², L. Császár³, N. Dengiz⁴, M. Fuchs⁵, T. Gautzsch⁶, D. Gohlke¹, T. Hahn-Jose⁷, T. Heckel¹, W. Hillger⁸, D. Hufschläger¹, D. Ilse⁸, M. Kiel⁹, P. Labud¹⁰, F. Schubert¹¹, R. Sommerhuber³, A. Szewieczek⁸, T. Waschkies⁴

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart; ³ Xarion Laser Acoustics GmbH, Wien, Österreich;

⁴ Fraunhofer IZFP, Saarbrücken; ⁵ SONOTEC GmbH, Halle (Saale); ⁶ Actemium NDS GmbH, Nürnberg; ⁷ Inoson GmbH, St. Ingbert; ⁸ Hillger NDT GmbH, Braunschweig;

⁹ Forschungszentrum Ultraschall gGmbH, Halle (Saale); ¹⁰ Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg; ¹¹ Fraunhofer IKTS, Dresden

Zur Charakterisierung von luftgekoppelten Ultraschallwandlern werden mehrere verschiedene Methoden und Verfahren angewendet. Durch die unterschiedlichen Herangehensweisen werden oft unterschiedliche Prüfkopfparameter und Schallfeldgrößen ermittelt, was einen direkten Vergleich von Datenblättern erschwert. Für die Charakterisierung von Kontakt- und Tauchtechnikprüfköpfen hat sich ISO 22232:2021 bereits etabliert, allerdings ist diese Norm nicht auf die luftgekoppelten Wandlertechnologien direkt übertragbar. Daher erkannten Hersteller, Forschungseinrichtungen und Anwender den Bedarf an einer Richtlinie zur einheitlichen Charakterisierung von luftgekoppelten Wandlern. Gemeinsam arbeiten sie aktuell im Rahmen des Unterausschusses Luftgekoppelte Ultraschallprüfung der DGZfP an der Erstellung einer solcher Richtlinie mit dem Anspruch, die bestehende Normung um die luftgekoppelte Prüfung zu erweitern und somit die Vereinheitlichung der Charakterisierung dieser Wandler zu erleichtern.

In diesem Beitrag wird ein Überblick über den geplanten Inhalt der Richtlinie und über die Methoden zur akustischen Charakterisierung von luftgekoppelten Ultraschallwandlern gegeben. Insbesondere werden verschiedene Methoden der Ermittlung von wichtigen Wandlerparametern wie z.B. Empfindlichkeit, Mittenfrequenz, Bandbreite, Fokusgröße und Fokusabstand dargestellt und verglichen.

Lokale Defektresonanz mittels akustischer Kamera im Hochfrequenzbereich

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

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

Durch mechanische Anregung schwingen Bauteile von einer definierten Geometrie und Werkstoffeigenschaften mit einer bestimmten Resonanzfrequenz. Durch lokale Steifigkeitsunterschiede können bei gezielter Anregung lokale Schwingungen an kleinen Defekten besonders hervortreten. Da die Schwingungen in Resonanz auftreten reichen geringe Energieeinträge um große Auslenkungen der Defekte hervorzurufen. Die Auslenkung der Defektschwingungen regen wiederum die außenliegende Luft zur Bewegung an und erzeugen Schallwellen, die durch Mikrofone empfangen werden können (RACE, Resonant Air Coupled Emission).

In diesem Beitrag wird ein System aus 72 MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) Mikrofonen erstmalig zur Lokalisierung lokaler Defektresonanzen eingesetzt. Die speziell gewählten Mikrofone lassen eine Frequenzerfassung bis 80 kHz zu. Im Vergleich zu herkömmlichen Audiomikrofonen mit einer Bandbreite von 20 kHz lassen sich hierdurch deutlich kleinere Defekte (Beispielsweise Impactschäden in Faserkunststoffverbundbauteilen) mit Flächen im Subzentimeterbereich detektieren. In den hier vorgestellten Untersuchungen werden RACE Ergebnisse mit Messungen mittels dem Standardverfahren für lokale Defektresonanzbestimmung der scannenden Laser-Doppler-Vibrometrie verglichen und der Zusammenhang zwischen lokaler Defektresonanzfrequenz und Defektgröße demonstriert.

Einführung in die gitterbasierte Dunkelfeld- und Phasenkontrast-Röntgenbildgebung

V. Ludwig¹, B. Akstaller¹, L. Dietrich¹, S. Schreiner¹, C. Rauch¹, T. Michel¹, G. Anton¹, S. Funk¹

¹ ECAP, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

Die gitterbasierte Dunkelfeld- und Phasenkontrast-Röntgenbildgebung, auch Talbot-Lau-Röntgenbildgebung genannt, liefert neben dem konventionellen Röntgen-Schwächungsbild gleichzeitig zwei weitere Bildinformationen. Die zusätzlichen Bilder resultieren zum einen aus der Phasenverschiebung der Röntgenwellen (Phasenbild) und zum anderen aus der Streuung an granularen bzw. faserigen Strukturen des Objekts (Dunkelfeld).

Insbesondere das Dunkelfeldbild ist eine geeignete Erweiterung, um mikroskopische Strukturen (Mikrometerskala) unterhalb der Auflösungsgrenze des bildgebenden Systems sichtbar zu machen, die ansonsten im herkömmlichen Schwächungsbild unentdeckt bleiben würden. In der Medizin konnte dies erfolgreich z. B. in der Mammographie oder der Lungenbildgebung demonstriert werden. Im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung können z. B. die Automobil- und Luftfahrtindustrie profitieren, wenn es um Faserverbundwerkstoffe oder auf Pulver basierende metallische Werkstoffe geht. Risse, Lufteinschlüsse und strukturelle Defekte führen zu deutlichen Signalen in den Dunkelfeldbildern, sodass fehlerhafte Bauteile leicht erkannt werden können.

In diesem Beitrag werden die Grundlagen der gitterbasierten Dunkelfeld- und Phasenkontrast-Röntgenbildgebung präsentiert. Die gleichzeitige Gewinnung der drei Bildinformationen erfolgt durch das Einbringen eines Talbot-Lau-Interferometers in den Strahlengang eines klassischen Röntgengeräts. Ein solches Interferometer besteht aus mikrostrukturierten Gittern, durch die kleinste Veränderungen der Röntgenwellenfront, verursacht durch das Objekt, detektiert werden können. Das zugrundeliegende physikalische Prinzip, die technische Umsetzung in der Praxis sowie die Möglichkeiten der Anwendung werden erläutert.

Entwicklung eines elektro-magnetischen Ultraschall-Prüfsystems auf Basis von geführten Wellen für Composite-Flugzeugstrukturen

F. Niese¹, [T. Roelfes](#)¹, M. Koerdt², B. Maack²

¹ ROSEN Technology and Research Center GmbH, Lingen; ² Faserinstitut Bremen e.V., Bremen

Faserverbundwerkstoffe CFK (carbonfaserverstärkter Kunststoff) und GFK (glasfaserverstärkter Kunststoff) gelten aufgrund ihrer Struktur und Anisotropie allgemein als schwer prüfbar mit konventionellen ZfP-Methoden sowohl während des Fertigungsprozesses aber auch bei den wiederkehrenden Inspektionen. Im Rahmen des öffentlich geförderten Forschungsprojektes ENEMAC (Entwicklung eines elektro-magnetischen Ultraschall-Prüfsystems auf Basis von geführten Wellen für Composite-Flugzeugstrukturen) wurde eine alternative Ultraschallprüfmethode entwickelt und optimiert. Sie basiert auf dem dispersiven Verhalten geführter Plattenwellenmoden. Durch Defekte wird die Ausbreitung der Ultraschallsignale gestört, so dass sich die Phasengeschwindigkeit bzw. die Spurwellenlänge lokal ändert. Durch geeignete Prüfköpfe können diese Änderungen lokal erfasst und ausgewertet werden. In vorteilhafter Weise kommen hierzu koppelmittelfrei arbeitende elektromagnetische Ultraschallprüfköpfe (EMAT: Electromagnetic Acoustic Transducer) zum Einsatz.

Das Demonstratorsystem wurde an plattenförmigen Testköpern und realen Rumpfsegmentstrukturen erfolgreich erprobt. Delaminationen, Porenfelder und Impacts können sowohl lokalisiert sowie tiefen- und flächenmäßig quantifiziert werden.

Der Beitrag stellt die Prüfmethode, das Demonstratorsystem und die erzielten Ergebnisse vor.

In situ Charakterisierung von Reparaturen in GFK Schalenstrukturen mittels Lockin Thermografie und Felddehnungsmessungen

M. Stamm¹, C. Ghafarian¹, R. Krankenhagen¹, V. Trappe¹

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

Die tiefgreifende Reparatur von Faserverbundwerkstoffen stellt eine besondere Herausforderung dar, die unter anderem bei der Instandhaltung von Rotorblättern von Windkraftanlagen zum Tragen kommt. Um die Reparaturen von Rotorblattschalen zu untersuchen und zu optimieren, wurden an der BAM Sandwich-Schalenprüfkörper aus Glasfaserkunststoff (GFK) entwickelt. Nachdem in diese Schalenprüfkörper Modell-Reparaturen eingebracht wurden, werden zyklische mechanische Ermüdungsversuche bis zum Bruch durchgeführt. Vorrangiges Ziel ist es, den Einfluss verschiedener Reparaturvariablen auf die Ermüdungslebensdauer der Struktur zu verstehen, sowie die stabilste Reparaturmethode zu bestimmen.

Während der zyklischen Lastversuche wurden regelmäßig in situ Messungen mit einer Thermografie Kamera und einem optischen Felddehnungsmesssystem durchgeführt. Durch beide Messmethoden lassen sich Eigenschaften der Probekörper zeitlich und räumlich aufgelöst darstellen.

Während die Felddehnungsmessungen Aufschluss über die Verformung an der Oberfläche geben, erfasst die thermische Inspektion Temperaturänderungen an der Oberfläche. Besonders die thermografischen Messwerte bilden hier das oberflächennahe Volumen ab, in dem sich Temperaturänderungen an der Oberfläche abzeichnen.

Die Messergebnisse beider Systeme stellen also verschiedene aber korrelierte Parameter dar. Die zyklische Belastung ruft eine periodische Temperaturänderung im Bauteil hervor. Dieser so genannte Thermoeleastische Effekt kann durch eine Lockin-Analyse der Temperaturtransienten nachgewiesen werden. Die thermischen Effekte lassen Rückschlüsse auf die tatsächliche Lastverteilung im Probekörpervolumen zu.

Darüber hinaus führen nichtelastische Verformungen zu einer zusätzlichen Wärmefreisetzung, die durch geeignete Auswerteverfahren ebenfalls nachgewiesen werden können. Entsprechende Hot-Spots in der räumlichen Verteilung erlauben eine frühzeitige Erkennung besonders belasteter Bereiche lange vor dem eigentlichen Bauteil-Versagen. Das gestattet die Lokalisierung des Initial-Schadens, was mit der numerischen Spannungsanalyse korreliert werden kann und der Entwicklung und Bewertung verschiedener Reparaturstrategien dienlich ist.

Ultraschallbasierte Prozessüberwachung am Beispiel eines T-RTM Prozesses

[M. Achzet](#)¹, T. Schlech¹, F. Linscheid¹, J. Faber², M. Sause¹

¹ Universität Augsburg; ² DLR, Augsburg

Eine in den Prozess integrierte Qualitätsüberwachung bietet einen maßgeblichen Vorteil für nachhaltige und effiziente Fertigungsverfahren, wovon gerade komplexe Fertigungsverfahren zur Verarbeitung hochpreisiger oder aufwändig hergestellter Materialien profitieren. Ein derartiges Überwachungssystem wurde am Beispiel eines T-RTM Prozesses zur Herstellung faserverstärkter Kunststoffe mittels eines in das Formwerkzeug integrierten Sensornetzwerks untersucht. Der Fokus der Untersuchungen lag insbesondere auf der Datenauswertung des Netzwerks aus Ultraschallsensoren. Prozessrelevante Größen, wie die Fließfrontdynamik und der Polymerisationsgrad konnten aus den Daten der einzelnen Sensoren gewonnen werden. Für eine effiziente, flächendeckende Auswertung wurde ein Rekonstruktionsalgorithmus entwickelt und speziell auf die Fließfrontdynamik im T-RTM Prozess angewandt. Ein Vergleich mit den Ergebnissen der gefertigten Bauteile sowie Validierungsversuche an einfachen Plattenwerkzeugen bestätigen die Ergebnisse des Rekonstruktionsalgorithmus und zeigen, dass für die Benetzung des Halbzeugs kritische Stellen mit Hilfe der Messungen visualisiert und effizient identifiziert werden können.

Echtzeitfähiges MIMO-Bildgebungssystem für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

[M. Brinkmann](#)¹, G. Hamberger¹, F. Gumbmann¹

¹ Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, München

Das vorgestellte Multiple Input Multiple Output (MIMO) Bildgebungssystem besteht aus zwei kohärenten gegenüberliegenden multistatischen Antennenarrays mit jeweils mehr als 9000 virtuellen Kanälen und ermöglicht eine orts aufgelöste Werkstoffprüfung, die gänzlich ohne mechanische Bewegung der Antennen auskommt. Mit einer konfigurierbaren Bandbreite von maximal 12 GHz zwischen 70 GHz und 82 GHz eignet sich das System ideal für die Untersuchung des Frequenzverhaltens von Radomen von Automobilradarsensoren. Mithilfe von beschleunigten Nahfeld-Bildgebungsverfahren können derzeit bis zu 70 dreidimensionale komplexwertige Rekonstruktionen pro Sekunde durchgeführt werden. Durch die kurze Rekonstruktionsdauer kann das System in dynamischen Szenarien eingesetzt werden, in denen die Werkstoffe mittels Förderband kontinuierlich bewegt werden.

Die Bewegung der Werkstoffe erlaubt eine Kombination der bestehenden MIMO Bildgebungsverfahren mit Inverse Synthetic Aperture Radar (ISAR) Bildgebungsverfahren. Die daraus resultierende virtuelle Vergrößerung der Apertur führt ohne zusätzlichen Hardwareaufwand zu einer deutlich verbesserten Auflösung. Bereits während der Bewegung der Werkstoffe werden Einzelmessungen rekonstruiert, die im Anschluss zu einem Gesamtvolumen kombiniert werden. Durch die verbesserte Auflösung können auch kleine Objekte mit einer Größe von wenigen Millimetern, bspw. innerhalb von Verpackungen, detektiert und lokalisiert werden.

Dickenbestimmung verdeckter Polymerschichten mit Millimeterwellen

S. Becker¹, A. Keil¹

¹ Becker Photonik GmbH, Porta Westfalica

Wie kann man die Qualität und Dicke von Polymerschichten prüfen, wenn etablierte Prüfmethoden versagen oder schwierig einsetzbar sind? Hier ist die ohne Koppelmedium arbeitende Millimeterwellen-Prüfung eine hervorragende Alternative.

Ein industrieller Anwendungsfall einer solchen Prüfung ist die thermische Isolierung mit Polymerschäumen, die typisch mit Dicken von 10 mm bis 50 mm auf Metallsubstrate geklebt werden. Beim Klebeprozess können dabei starke Unterschiede der Dicke und Qualität der Klebeschicht entstehen. Für radarbasierte Millimeterwellenprüfung ist es kein Problem, die Klebeschicht durch eine 50 mm starke Schaumschicht hindurch einseitig (in Reflexion) zu prüfen.

Ein weiterer Anwendungsfall der Millimeterwellen-Prüfung sind PE-Inliner von GFK-Rohren (z. B. in Chemiewerken und Kraftwerken). Ultraschallprüfungen gestalten sich hier z. T. wegen der Ankopplung des Prüfkopfes an die unebene (und ggf. verschmutzte) GFK-Oberfläche schwierig.

In der vorliegenden Arbeit werden für die beiden o.g. Anwendungen Ergebnisse mit einem FMCW-Radar im Bereich 75 GHz bis 110 GHz präsentiert. Für den ersten Anwendungsfall können auch in Situationen, in denen die Dicke der Klebeschicht deutlich kleiner ist als die bandbreitenbegrenzte Tiefenauflösung des Radars, durch Auswertung der optischen Gesamtdicke (Abstand Eintrittsecho-Metallrückwandecho) zuverlässige Aussagen über die Qualität der typisch einige mm dicken Klebeschicht gewonnen werden. Für die zweite Anwendung ist im Idealfall (abhängig von den genauen Dimensionen) bei der Millimeterwellenprüfung sowohl die Dicke des GFK-Laminats wie auch die Dicke des PE-Inliners bestimmbar. Starker Verschleiß am Inliner z.B. durch Korrosion ist ggf. nachweisbar.

Mikrowellenprüfung mittels Smartphones

[A. Himmelmann](#)¹, G. Mook¹, S. Dieck², J. Hinken³

¹ Otto-von-Guericke Universität, Magdeburg; ² DeltaSigma Analytics GmbH, Magdeburg; ³ fitm Hinken Consult, Magdeburg

Die Mikrowellenprüfung ist ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung von elektrisch isolierenden Materialien. Dabei werden Frequenzen im Bereich von 300 MHz 300 GHz genutzt. Das Verfahren findet Anwendung in der Prüfung von verschiedenen Materialien wie z.B. GFK, PTFE oder Schäumen. Die steigende Leistungsfähigkeit von mobilen Endgeräten, wie Smartphones und Tablets, ermöglicht die Nutzung der Hardware für die mobile zerstörungsfreie Prüfung.

Im Rahmen des aktuellen Projekts wird ein 24-GHz Transceiver genutzt, um die zerstörungsfreie Prüfung elektrisch isolierender Materialien mittels Mikrowellentechnik und Smartphone umzusetzen.

Dabei umfasst die Entwicklung zunächst die Signalverarbeitung des Transceivers. Dessen Ausgangssignal wird über eine elektrische Schaltung so angepasst, dass ein Mikrocontroller die Spannungssignale über eine USB-Schnittstelle an das Smartphone weitergeben kann. Durch eine speziell für die Verarbeitung dieser Signale programmierte App kann die Prüfung durchgeführt werden. Dazu werden die veränderlichen Spannungssignale des Sensors in eine x- und y-Koordinate umgerechnet. Diese Koordinaten werden genutzt, um die Position eines Punktes in der Impedanzebene darzustellen. Sich ändernde Materialeigenschaften und Defekte verändern das Signal und somit auch die Position des Punktes. Mit Hilfe dieser Darstellung wurde die zerstörungsfreie Prüfung an einem Objekt mit gezielt eingebrachten Fehlern durchgeführt. In das Objekt wurden sowohl Sacklochbohrung unterschiedlicher Tiefe und von unterschiedlichem Durchmesser als auch offene und verdeckte Risse eingebracht.

Neue Konzepte in der Strahlenschutzausbildung

A. Steege¹, K. Schulz¹, C. Kaps¹

¹ DGZfP e.V., Berlin

Die Ausbildung im Strahlenschutz muss an die Gegebenheiten des modernen Lernens angepasst werden. Die Schwierigkeiten Präsenzs Schulungen während der Coronazeit durchzuführen, hat deutlich gezeigt, wie sinnvoll moderne Ansätze zur Wissensvermittlung sind. Der Wechsel weg von reinen Präsenzkursen hin zu Blended Learning Kursen ist dabei nicht nur für die Strahlenschutzausbildung eine Möglichkeit auch in Zukunft eine attraktive Ausbildung anzubieten. Anhand von kleinen Learningnuggets und eines Kursablaufplans soll das Konzept des Blended Learnings für Strahlenschutzkurse vorgestellt werden. Gerade die Vermittlung der naturwissenschaftlichen Grundlagen eignet sich für eine reine Selbstlernphase. Strahlenschutzkurse können durch eine Aufteilung in Selbstlernphase und Präsenzphase entzerrt werden. Der Fokus der Präsenzphase kann dann auf der Vermittlung praktischer Fähigkeiten liegen oder von Inhalten die häufigen Änderungen unterworfen sind und in weiterführenden Diskussionen vermittelt werden müssen. Zusätzlich wird die Einbettung einer Learning-Management-Plattform (LMS), auch in reine Präsenzs Schulungen, vorgestellt, dies wird eine Möglichkeit sein den Teilnehmern zusätzliches Lehrmaterial während und nach einer Schulung zur Verfügung zu stellen.

Erfahrungen bei der praktischen Umsetzung der SEWD-Richtlinie in der Gammaradiografie

[A. Hetterich](#)¹

¹ DEKRA Incos GmbH, Ingolstadt

Der Umgang mit und die Beförderung von sonstigen radioaktiven Stoffen darf gemäß StrlSchG nur genehmigt werden, wenn der erforderliche Schutz gegen SEWD gewährleistet ist. Unter SEWD versteht man dabei „Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter.“

Als Schutzziel gilt es eine Entwendung von HRQ zu erschweren oder zu verzögern und damit eine Gefährdung von Leben und Gesundheit durch schwerwiegende deterministische Schäden infolge der Freisetzung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung zu verhindern.

In der SEWD-Richtlinie sind neben allgemeinen Festlegungen zur Sicherung insbesondere Sicherungsanforderungen für die Informationstechnik, für den ortsveränderlichen sowie ortsfesten Umgang und für die Beförderung definiert. Die geforderten Schutzziele der SEWD-Richtlinie sonstige radioaktive Stoffe umzusetzen, bedeutet einen erheblichen technischen, personellen und finanziellem Aufwand bei der Beantragung neuer Genehmigungen.

In diesem Vortrag wird anhand eines praktischen Beispiels erläutert, wie die SEWD-Richtlinie sonstige radioaktive Stoffe in der Gammaradiografie umgesetzt werden kann.“

Auf Nummer sicher – physische Sicherung von radioaktiven Materialien

J. Schulz¹

¹ Von zur Mühlen'sche GmbH, Bonn

Die Absicherung radioaktiven Materials ist von elementarer Wichtigkeit: in die falschen Hände gelangt kann einiges angerichtet werden. Vieles ist möglich, aber nicht alles nötig. Bevor überstürzt in Maßnahmen der physischen und technischen Sicherung (wie z. B. Zäune, Einbruchmeldeanlagen, Videoüberwachung, etc.) investiert wird, sollten systematisch die Umgebungsbedingungen analysiert und im Rahmen einer Risikoabschätzung Vorannahmen zu potenziellen Gefährdungen getroffen werden. Als erste Annäherung verdeutlicht das so genannte Zwiebelschalenmodell, wie der Notwendigkeit nach physischer und technischer Sicherung strukturiert entsprochen werden kann. Ähnlich den Schalen einer Zwiebel lassen sich bestimmte Schutzzonen nach dem Ausmaß des Schutzbedarfs (z. B. Einbruchswahrscheinlichkeiten) definieren. Danach können pragmatische und effiziente Lösungen zur Absicherung gesucht werden, die sich an dem konkreten Schutzbedarf ausrichten und mit den darauf aufbauenden organisatorischen Prozessen in Einklang gebracht werden können. So vermeidet man ein mit Kanonen auf Spatzen schießen und erhält ein ganzheitliches Sicherheitskonzept mit aufeinander abgestimmten Maßnahmen. Mit dieser Methodik erreichen Sie das wirklich benötigte Maß an physischer und technischer Sicherheit, was im Idealfall auch finanzielle Einsparungen bedeuten kann.

Kontaktlose, bildgebende Untersuchung historischer Dokumente im Terahertz-Frequenzbereich

[I. Ullmann](#)¹, J. Schür¹, K. Root¹, M. Vossiek¹

¹ Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

Bei der Untersuchung historischer Schriften ist es häufig nicht möglich oder erwünscht, die empfindlichen Dokumente zu öffnen, da das Risiko einer Beschädigung zu hoch ist. Zur kontaktlosen Inspektion solcher Dokumente kann die Röntgen-Technologie eingesetzt werden, allerdings einhergehend mit hohen Anforderungen an die Betriebssicherheit und einem potentiellen Beschädigungsrisiko für die zu untersuchenden Dokumente. Hier kann die Terahertz-Technologie eine interessante Alternative sein. Aufgrund der nicht-ionisierenden Strahlung und der geringen benötigten Leistungspegel gilt sie als unbedenklich, sowohl für Menschen als auch für historische Dokumente.

Da Terahertz-Wellen die Eigenschaft besitzen, nichtleitfähige Materialien (u. a. Papier) zu durchdringen, besitzen Terahertz-Radarverfahren ein großes Potenzial zur berührungslosen und bildgebenden 3D-Darstellung von historischen Dokumenten. Im Gegensatz zum Seitenmaterial beinhalten historische Tinten häufig leitfähige oder stark verlustbehaftete Partikel, welche einen Bildkontrast zum Seitenmaterial bilden. Aufgrund der kurzen Wellenlängen sind mit Terahertz-Bildgebung Bildauflösungen im Sub-Millimeterbereich möglich. Die Terahertz-Technik wird daher bereits in vielfältigen Anwendungen im Bereich des Kulturerbes eingesetzt, beispielsweise zur Untersuchung historischer Gemälde. Die Untersuchung historischer Schriften mit Terahertz-Technologie ist dagegen noch ein relativ wenig beforschtes Gebiet.

In diesem Beitrag werden verschiedene Mess- und Auswertemethodiken zur kontaktlosen Untersuchung historischer Dokumente mit Terahertz-Bildgebung vorgestellt und diskutiert:

- Reflexions- und Transmissionsmessungen,
- physikalische und synthetische Fokussierung,
- Kurzpuls- und Dauerstrichverfahren.

Der Beitrag zeigt aktuelle Forschungsergebnisse mit den verschiedenen Messmodalitäten. Im Fokus stehen zudem verschiedene Bildrekonstruktionstechniken. Die Eignung der Terahertz-Bildgebung zur Abbildung einlagiger und mehrlagiger Schriften wird diskutiert. Eine weitere Anwendung stellt die Abbildung historischer Schriftrollen dar, welche aufgrund der zylindrischen Objektgeometrie besondere Anforderungen an die Messgeometrie stellt.

Medea und Jason, eine Radiologische Untersuchung im Neuen Palais Potsdam

[S. Hohendorf](#)¹, M. Solís del Toro², S. Friedmann², M. Grunwald¹, B. Redmer¹

¹ BAM, Berlin; ² Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg,
Potsdam

Seit der Antike gehört die Medea-Sage zu den bekanntesten Geschichten der Weltliteratur. Der berühmte französische Künstler Carle Van Loo hat sich dieses Epos um 1759 angenommen und ein beeindruckendes Ölgemälde mit Abmessungen von 2,30x3,28m² erschaffen. Mit Mademoiselle Clairon als Medea und Henri Louis Le Kain als Jason ist ein Kunstwerk entstanden, das seitdem einige Veränderungen und Restaurierungen erfahren hat.

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) hatte 2020 die Möglichkeit, dieses und ein zweites Kunstwerk, im Neuen Palais in Potsdam, für die Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg, radiografisch zu untersuchen. Hierbei wurden sowohl technologisch als auch kunsthistorisch einige interessante Entdeckungen gemacht, die im vorliegenden Beitrag vorgestellt werden.

Zerstörungsfreie Untersuchung von historischen Schriften mit gitterbasierter Phasenkontraströntgenbildgebung

[L. Dietrich](#)¹, B. Akstaller¹, S. Schreiner¹, V. Ludwig¹, T. Michel¹, G. Anton¹, S. Funk¹

¹ ECAP, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

Röntgenstrahlung gehört zu den am häufigsten verwendeten Werkzeugen zur Untersuchung von historischen Schriften. Mit wachsendem Alter werden die feinen Strukturen von Papier oder Pergament brüchig, weswegen es oft nicht möglich ist, den Inhalt solcher Schriften zu extrahieren, ohne dabei das Dokument vollständig und unwiderruflich zu zerstören oder zu beschädigen. Mithilfe von Röntgenstrahlung kann aber aufgrund von Absorption durch Metallstoffe in der Tinte das Schriftstück ohne Öffnen sichtbar gemacht werden. Die Qualität dieses Bildes ist abhängig vom Metallgehalt der Tinte, welcher aber nicht bei allen historischen Tinten vorhanden bzw. hoch ist.

Die Röntgen-Phasenkontrastbildgebung erweitert das konventionelle Absorptionsbild noch um das differentielle Phasenbild und Dunkelfeldbild, beides Bildmodalitäten mit zusätzlichen, komplementären Informationsgehalt. Das differentielle Phasenbild ist sensitiv auf Dichte- und Dickeunterschiede wegen der Abhängigkeit der Modalität von der Elektronendichte. Diese treten zum Beispiel beim Wechsel zwischen unterschiedlich dichtem Material oder zwischen Material und Luft auf. Mit dem Dunkelfeld lassen sich besonders faserige oder poröse Strukturen sichtbar machen, da die Bildgebung auf Kleinwinkelstreuung sensitiv ist. Damit können Signaturen potentiell sichtbar gemacht werden, die im Absorptionsbild keinen Kontrast aufweisen.

In diesem Vortrag soll die gitterbasierte Phasenkontrast-Röntgenbildgebung als Werkzeug zur Untersuchung von historischen Schriften vorgestellt und analysiert werden und inwiefern sie es ermöglicht, die konventionelle Absorptionsbildgebung zu erweitern.

Passive and active bridge monitoring

C.-M. Liao¹, F. Bernauer², C. Hadziioannou³, D. Fontoura Barroso¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² Ludwig-Maximilians-University, München; ³ University of Hamburg

Prestressing techniques are commonly used in civil infrastructures such as long-span bridges to maintain the structural performance in their designed lifetime. However, the pre-stress loss cannot be avoided. Thus, the bridge monitoring becomes important in civil engineering. A preliminary investigation of the coda wave interferometry (CWI) method for identifying the pre-stress loss in a large-scale prestressed bridge model is presented. The passive and active measurements have been carried out in in-situ test at the structure BLEIB. As a result, the wave velocity change reveals the influence of the pre-stress change and the correlation coefficients contribute to develop local damage detection.

Digitalisierung und Inspektion von Brücken mithilfe von Multibeam Sonar und Laserscan

[F. Müller-Braune](#)¹

¹ Sitowise, Jyväskylä, Finnland

Sitowise ist ein finnisches Ingenieurunternehmen, das sich im Bereich Infrastruktur seit längerem auf Innovationen im Bereich der Untersuchung und Digitalisierung von Wasserbauwerken spezialisiert hat. Dabei greift es auf ein Expertenteam von Ingenieuren und Datenverarbeitungsspezialisten zurück, das bereits 2010 operiert. Das Team entstand als Reaktion auf die wachsenden Ansprüche und neuen technischen Möglichkeiten in der Bauwerksinspektion. Sitowise bietet hochauflösende Inspektionsdaten, die mit Hilfe von Multibeam Sonar und Laserscans gewonnen werden. Das Verfahren ermöglicht es, die Bauwerksabschnitte sowohl unter, als auch über Wasser in einem detaillierten 3D-Punktwolkemodell komplett darzustellen.

Die gewonnenen Daten werden anschließend von spezialisierten Bauwerksprüfern ausgewertet und auf Auffälligkeiten untersucht. So lassen sich Beschädigungen wie Ausbrüche genauso feststellen wie Auskolkungen oder Verformungen an der Bausubstanz. In den schwer einsehbaren Bereichen unter Wasser lassen sich so leicht Daten gewinnen, die mit traditionellen Verfahren bisher kaum zu bekommen waren. Alle Punkte der Punktwolke verfügen über eine Georeferenzierung. Dies ermöglicht es, Beschädigungen genauestens zu verorten und im Nachhinein wieder zu finden. Die Digitalisierung von Brücken mithilfe des Verfahrens von Sitowise stellt auch die Vergleichbarkeit zwischen Ist-Zustand und z. B. BIM-Planungsmodellen her. Es ist auch möglich mehrere Punktwolken desselben Bauwerks miteinander zu vergleichen. Dies vereinfacht die Überwachung der Bauwerksentwicklung und stellt eine sinnvolle Ergänzung zur Handnahen Prüfung dar.

Sitowise bietet dabei den kompletten Prozess, schlüsselfertig aus einer Hand: Von den Vermessungsarbeiten vor Ort, über die Datennachbearbeitung bis hin zur Auswertung.

Optimierte Detektion von kritischen Defekten in 3D-Druck Bauteilen mittels μ CT

[K. Bliedtner](#)¹, P. Dedyeva¹, F. Herold¹

¹ VisiConsult X-ray Systems & Solutions GmbH, Stockelsdorf

Für die Qualitätssicherung von Metall 3D-Druck-Bauteilen kommen mehrere Techniken zum Einsatz und meist werden Begleitbauteile für eine anschließende zerstörende Prüfung gedruckt. Diese aufwendige Qualitätssicherung steht in vielen Fällen dem wirtschaftlichen Einsatz von 3D-Druck Technologien, die als besonders energie- und ressourcenschonend gilt, im Weg.

Durch den Einsatz von Mikro-Computertomographie (μ CT) Scans lassen sich auch komplexe Bauteile direkt auf Defekte untersuchen. Typischerweise treten drei Fehlerarten auf, von denen Gasporositäten und Einschlüsse mittels μ CT gut erkennbar sind. Lack-of-Fusion Poren hingegen, die durch mangelnde Schichtanbindung im Druckprozess entstehen, sind richtungsabhängig aufgrund sehr geringer Kontrastunterschiede nur schwer zu erkennen.

Diese Studie untersucht im Rahmen des öffentlich geförderten Forschungsprojektes ENABL3D Methoden zur optimierten Detektion dieser Lack-of-Fusion Defekte. Dazu wird zunächst die Hardware und die CT-Rekonstruktion optimiert. Zusätzlich werden unterschiedliche Algorithmen auf Projektions- und Volumendaten angewendet, um Rauschen zu reduzieren, Signalanteile von ebendiesen zu trennen und den Kontrast der Defekte zu optimieren. Die so detektierten Defekte werden anhand von mikroskopischen Querschnittsbildern geschliffener Probekörper (Schliffproben) mit den tatsächlichen Defekten überprüft. Somit wird das Potenzial der untersuchten Algorithmen objektiv verglichen und deren Parameter werden optimiert.

Hiermit konnte an Beispielbauteilen gezeigt werden, ob diese additiv gefertigte Metallkomponenten frei von kritischen Defekten sind, was für die Anwendung dieser Technologie insbesondere in stark regulierten Branchen wie der Medizin-, Luft- und Raumfahrtindustrie von großer Bedeutung ist.

Automatische Parameteranpassung im CT-Postprocessing zur Bestimmung der Faserorientierung in kurzglasfaserverstärkten Thermoplasten

[T. Reindl](#)¹, M. Kornely¹, M. Kreutzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

Aufgrund ihrer sehr guten spezifischen mechanischen Eigenschaften werden mittlerweile viele hochbelastete Bauteile aus faserverstärkten Kunststoffen hergestellt. Auch dank ihres hohen Leichtbaupotenzials ersetzen sie zunehmend die konventionellen Metall- und Leichtmetalllegierungen.

Die in kurzglasfaserverstärkten Bauteilen vorliegende Faserorientierung sowie deren Verteilung und Länge haben einen erheblichen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften wie die Steifigkeit und die Festigkeit. Besonders an ohnehin kritischen Bauteilstellen im Bereich von Bindenähten, Schweißnähten oder Kerben, muss über den Fertigungsprozess ein kraftflussgerechter Faserverlauf eingestellt werden.

Im Spritzgießprozess kann die Orientierung der Fasern durch Prozessparameter beeinflusst und über Simulationsmodelle bedingt vorhergesagt werden. Zur Verifizierung, aber auch Kalibrierung dieser Simulationen, kann eine Bestimmung der Faserorientierung über Schlifffbilder erfolgen. Allerdings können auf Basis dieser zweidimensionalen Abbildungen meist nur qualitative Aussagen im Rahmen einer Stichprobe getroffen werden. Dagegen erlaubt die Röntgen-Computertomografie (CT) eine vollumfängliche dreidimensionale Abbildung der Faserstruktur. Moderne Bildbearbeitungsprogramme können mithilfe von Algorithmen die Faserorientierung, den Faservolumengehalt sowie die Faserlänge aus CT-Datensätzen berechnen, wobei das Ergebnis der Berechnung stark von den gewählten Eingangsparametern der Algorithmen abhängt.

In dieser Arbeit wurde eine Methode mithilfe der Software Avizo entwickelt, welche die Übereinstimmung der berechneten Faserorientierung mit dem CT-Scan quantitativ ermittelt und optimiert. Dazu wurde eine automatische Parameteranpassung des Auswertalgorithmus implementiert, welche die Eingangsparameter schrittweise verändert und so iterativ die beste Faserberechnung findet. Neben einer deutlich schnelleren Ermittlung der optimalen Parameter im Vergleich zu einer manuellen Anpassung wird auch die Güte der Berechnung verbessert. Zusätzlich kann der Einfluss verschiedener Bildbearbeitungsalgorithmen und morphologischer Filter auf das Ergebnis automatisiert ermittelt werden.

Implementierung eines XEye Röntgendetektors in die in-situ CT eines PVT Züchtungsreaktors

M. Salamon¹, M. Arzig², P. Wellmann², N. Uhlmann¹

¹ Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Erlangen; ² Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

Das Physical-Vapor-Transport (PVT) Verfahren wird heute weitläufig zur Herstellung von Silizium Carbide (SiC) verwendet. Das Besondere an dem Verfahren ist die Züchtung, die anders als bei den am weitesten verbreiteten Halbleitermaterialien nicht aus der Schmelze, sondern aus der Gasphase erfolgt. Diese Eigenschaft bietet besonders für Röntgenverfahren den Vorteil, dass der entstehende Kristall von einer für Röntgenstrahlen nahezu transparenten Gasphase umschlossen ist; im Gegensatz zur Schmelzzüchtung, bei der der Kontrast zwischen bereits erstarrtem Material und der Schmelze lediglich auf einem geringen Dichteunterschied beruht. Vergangene Arbeiten haben gezeigt, dass die wesentlichen Herausforderungen des Röntgenverfahrens und insbesondere der Computertomographie darin bestehen, die Messtechnik an den peripheren Aufbau des Züchtungsreaktors anzupassen. Ein wesentliches Kriterium stellt dabei die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) des bildgebenden Systems dar. Die zur Züchtung erforderliche Prozesstemperatur von ca. 2300°C wird anhand einer induktiven Heizung innerhalb eines Graphittiegels erzeugt. Damit einhergehend ergeben sich E-Felder im Umfeld der Heizspule die insbesondere den Detektor stören können. Dies ist bei dem bislang verwendeten Detektor vom Typ Varian 2520 D der Fall. Nur mithilfe einer speziellen Abschirmung war der in-situ Betrieb bislang möglich. Im Rahmen der Weiterentwicklung der Züchtungsanlage wurde das CT System mit einem XEye Detektor ausgestattet. Der am Fraunhofer EZRT entwickelte Detektor besitzt aufgrund seiner Bauweise eine deutlich bessere Verträglichkeit gegenüber den E-Feldern und kann so ohne besondere Vorkehrungen an der Anlage betrieben werden. Die sich daraus ergebenden Vorteile für die in-situ Computertomographie sowie die bildgebenden Eigenschaften des Systems werden im Rahmen der Veröffentlichung dargestellt und mit dem bisherigen Detektor verglichen.

Neue Möglichkeiten zur Automatisierung und Durchsatzsteigerung der CT mittels PolyCT

M. Salamon¹, U. Hartnagel², J. Kinzinger², A. Doering³, J. Butzer³

¹ Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS, Erlangen; ² XRAY-LAB GmbH & Co. KG, Sternenfels; ³ Robert Bosch GmbH, Stuttgart

Die universell einsetzbare PolyCT-Erweiterung für CT-Systeme ermöglicht bislang insbesondere die Durchsatzsteigerung bei Serienanwendungen an länglich ausgedehnten Messobjekten, die gleichzeitig nicht bei der höchst möglichen Auflösung des CT Systems gemessen werden müssen. Für Zentrallabore stellt dieses Szenarium nur einen Ausnahmefall dar, da hier vorwiegend wechselnde Messobjekte in kleinen Stückzahlen mit hohen Anforderungen an Auflösung und Detailerkennbarkeit tomographiert werden. Die wachsende Nachfrage nach Automatisierungslösungen der CT eröffnet jedoch ein neues Anwendungsgebiet für das PolyCT-Add-on. Die Dreifachanordnung der Drehteller ermöglicht neben dem Simultanscan auch die einzelne Abbildung eines jeden Drehtellers im Detektorfeld mit der sich aus der Objektgeometrie ergebenden maximal möglichen Auflösung. Somit kann mit Hilfe entsprechender Steuerungs-Macros der CT Anlage eine einmalige Bestückung des Systems für zahlreiche Messobjekte z.B. für einen Scandurchlauf über das Wochenende, erfolgen. Aufgrund der Bauweise des PolyCT hängt jedoch die Qualität der Ergebnisse von der Präzision der Mechanik und der Einspannsituation ab. Im Rahmen der Veröffentlichung wird die Methode an einem kommerziell erhältlichen CT-System erprobt und die Ergebnisse mit Einzelmessungen verglichen um Aufschluss über die so erzielbare Bildqualität zu geben.

Dunkelfeld- und Phasenkontrast-Röntgenbildgebung in der zerstörungsfreien Prüfung und Fremdkörperdetektion

B. Akstaller¹, S. Schreiner¹, V. Ludwig¹, T. Michel¹, G. Anton¹, S. Funk¹

¹ Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

Röntgenbildgebung hat sich in der zerstörungsfreien Prüfung und Fremdkörperdetektion in vielen Disziplinen etablieren können, wie beispielsweise in der Medizin, in der Forschung oder im Qualitätsmanagement der industriellen Fertigung.

Dabei stützt sie sich auf die Absorption von Röntgenstrahlung im untersuchten Objekt. Eine Methode, diese Bildinformation zu erweitern ist die Gitterbasierte Phasenkontrast-Röntgenbildgebung. Dabei wird mithilfe von Mikrostrukturen die Röntgenwelle derart modifiziert, dass zusätzlich zur Absorption das Phasenbild und das Dunkelfeldbild aufgenommen werden können. Der Kontrast im Phasenbild basiert auf der Beugung von Röntgenstrahlen, welche besonders bei organischen Stoffen oder schwach absorbierenden Materialien schwer erkennbare Strukturen sichtbar machen kann. Kleine Dichteänderungen, Objektkanten oder Übergänge zwischen verschiedenen Materialien sind dadurch besonders markant. Im Dunkelfeld können fasrige oder granuläre Stoffe detektiert werden, deren Strukturgröße im Mikrometerbereich, und damit weit unterhalb der Bildauflösung, liegt. Dies ist auch dann möglich, wenn diese Strukturen keine Strahlung absorbieren, da das Dunkelfeld auf Kleinwinkelstreuung basiert. Dadurch wird beispielsweise die Erkennung von Fremdkörpern mit ähnlichen Absorptionseigenschaften, aber unterschiedlicher innerer Struktur ermöglicht.

Der Vortrag fokussiert sich auf verschiedene Proben, bei denen die Erkennbarkeit durch die Verknüpfung der Bildmodalitäten erhöht werden konnte. Die Messungen wurden mit einem eigens entwickelten Scanner für großflächige Anwendungen durchgeführt.

Eine neue Technologie für Röntgenfilm-Scanner für ZfP 4.0

K. Bavendiek¹, U. Zscherpel²

¹ Kowotest GmbH, Langenfeld; ² BAM, Berlin

Die Umsatzzahlen zeigen es, der Röntgenfilm behauptet sich gegen die digitalen Techniken. Die Zukunft ist digital, digitale Transformationen wie z.B. ZfP 4.0 bereiten die digitale Welt von morgen vor. Die Brücke für den Film in die digitale Zukunft ist ein schneller Filmscanner.

Mindestanforderungen an Filmdigitalisierungssysteme wurden bereits 2003 in der EN ISO 14096 beschrieben, die Qualität der Röntgenfilm-Digitalisierungssysteme wurde in drei Klassen eingeteilt. Es werden im Wesentlichen die Anforderungen an den erfassten Dichtebereich, die dabei erreichte Dichtekontrast-Empfindlichkeit sowie die Ortsauflösung beschrieben. Nur bei der Einhaltung der Vorgaben der höchsten Qualitätsklasse DS kann der Film nach der Digitalisierung entsorgt werden (Digitale Archivierung).

Aktuell lieferbare Scanner können diese Anforderung nicht oder nur mit sehr hohen Scanzeiten erfüllen. Sie arbeiten mit Laser-Scanning (D 4,7 bei 50 µm Pixelgröße) oder CCD-Scanzeilen (für einen Filmscan mit 60 µm Basisortsauflösung und der geforderten Dichtekontrast-Empfindlichkeit für $D > 4,0$ werden mehr als 40 Minuten benötigt). Mit neuester Technologie aus der Astro-Fotografie und Licht-Technik wurde ein Filmscanner aufgebaut, der in der Lage ist, einen 254 x 190 mm² Film mit 30 µm Basisortsauflösung und Dichten bis zu $D = 5,2$ innerhalb von 20 Sekunden normgerecht zu digitalisieren. Die Klasse DS wird zum ersten Mal für alle Filmbelichtungen ab 100 keV Energie erreicht.

Mit einem solchen Filmdigitalisierungssystem können Filme sofort nach der Entwicklung für die digitale Weiterverarbeitung in ein ZfP 4.0 System überführt werden (der bestehende Film-Prüfprozess kann unverändert beibehalten werden). Auch bestehende Film-Archive können ökonomisch und normkonform digitalisiert (und danach physikalisch aufgelöst) werden, mit allen Vorteilen von digitalen Archiven.

Neue Testkörper zur Messung der Basisortsauflösung und Unschärfe sowie für die Brennfleckmessung in der Hochenergie-Radiographie

U. Ewert¹, M. Salamon², F. Hörauf³, U. Zscherpel⁴, H. Roth⁵

¹ KOWOTEST Gesellschaft für Prüfausrüstung mbH, Teltow; ² Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, Entwicklungszentrum Röntgentechnik, Fürth; ³ KOWOTEST Gesellschaft für Prüfausrüstung mbH, Langenfeld; ⁴ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ⁵ Waygate Technologies Baker Hughes, Stuttgart

In der digitalen Radiographie ist es erforderlich, die Basisortsauflösung in der Objektebene (SRbimage) und in der Detektorebene (SRbdetector) zu messen. Dazu wurde in Analogie zum Doppeldraht-Bildgüteprüfkörper (DD-BPK, duplex wire) ein Doppelplatten-Bildgütestestkörper (DP-BPK) entwickelt und gefertigt, der in die internationale Standardisierung eingebracht werden soll. Dieser Testkörper besteht aus Wolfram-Plättchenpaaren in Analogie zum klassischen Entwurf des CERL C (der Central Electricity Research Laboratories, Leatherhead, UK) aus den 1960er Jahren, der nicht mehr verfügbar ist. Hintergrund ist der zu geringe Kontrast des verfügbaren Doppeldraht BPKs bei Energien > 1 MeV und Materialdicken > 25 mm Fe. Statt der Anordnung von Pt-Drahtpaaren oder W-Drahtpaaren nach ISO 19232-5 und ASTM E2002 werden W-Plättchenpaare mit rechteckförmigem Querschnitt pro Plättchen verwendet, wobei der Plättchenabstand der Plättchendicke entspricht. Die Plättchenhöhe ist das 6-fache der Plättchendicke, um eine höhere Schwächung der hochenergetischen Röntgenstrahlung zu erhalten und damit den Kontrast zu erhöhen. Um die Messanordnung bei Strahlungsenergien > 8 MeV zu überprüfen, wurden Simulationen mit höheren Streuverhältnissen und Messungen mit einem LINAC und Stahlplattenpaketen bis 100 mm Dicke durchgeführt. Zu Vergleichszwecken wurde auch ein neuer Testkörper nach IEC 62976: 2017 zur Messung von Brennflecken von LINACs verwendet. Der Testkörper besteht aus Kupfer und hat eine geschwungene Kante. Die Unschärfe und SRb-Werte werden aus der Modulationsübertragungsfunktion bestimmt. Die Brennfleckmaße können nach IEC 62976 aus der MTF, der Detektorunschärfe und der 1. Ableitung des Kantenprofils (d.h. der Line Spread Function - LSF) berechnet werden. Die Mess- und Simulationsergebnisse werden vorgestellt. Ein erster Standardentwurf wurde bei ASTM vorgestellt und diskutiert.

EMPIR-Projekt NanoXSpot: Ringversuch zur Untersuchung der neu entwickelten Methoden für die Brennfleckmessung an Röntgenröhren im Mikro- und Nanometerbereich

D. Schumacher¹, G.-R. Jaenisch¹, U. Ewert², B. Bircher³, F. Meli³, A. Sofiienko⁴, J.P. Steffen⁵, A. Deresch⁶

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² KOWOTEST GmbH, Langenfeld; ³ METAS, Bern, Schweiz; ⁴ Excillum, Kista, Schweden; ⁵ X-Ray WorX, Garbsen; ⁶ YXLON, Hamburg

Im Rahmen des EMPIR-Projektes NanoXSpot (Nanometre X-Ray Focal Spot Measurement) werden rückführbare Messverfahren zur Bestimmung der Brennfleckgröße und -form von Röntgenröhren mit Submikrometerauflösung (100 nm – 20 µm) entwickelt, die die Grundlage für die Erarbeitung eines Standardentwurfes bilden. Der Standardentwurf wird bei CEN TC 138 (Non-destructive testing) WG 1 (Radiographic testing) eingereicht und mit ISO und ASTM harmonisiert. Zur Untersuchung der entwickelten Methoden (Brennfleck-CT, Fit-Prozedur für Strichgruppenkörper) und des im Projekt NanoXSpot neu entworfenen Testkörpers, NxS, wurde ein Ringversuch durchgeführt. Dabei wurde sowohl der angestrebte Überlappungsbereich mit EN 12543 Teil 5 (Messung der effektiven Brennfleckgröße von Mini- und Mikrofokus-Röntgenröhren) und ASTM E 2903 (Standard Test Method for Measurement of the Effective Focal Spot Size of Mini and Micro Focus X-ray Tubes) für Brennflecke >5 µm als auch Brennflecke <5 µm untersucht. Im Mittelpunkt standen dabei Stabilität und Wiederholbarkeit der entwickelten Methoden zur Bestimmung der Brennfleckgröße. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse des durchgeführten Ringversuches vorgestellt und diskutiert, um Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Vorbereitung eines erweiterten Ringversuchs mit Partnern und Stakeholdern abzuleiten.

Gitterbasierte Phasenkontrast-Röntgenbildgebung für zerstörungsfreie Prüfung

[C. Rauch](#)¹, B. Akstaller¹, L. Dietrich¹, S. Schreiner¹, V. Ludwig¹, T. Michel¹, G. Anton¹, S. Funk¹

¹ ECAP, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

Röntgenstrahlung kann genutzt werden, um in das innere von Werkstücken zu blicken, ohne diese zu zerstören. Herkömmliche Bildgebungsverfahren nutzen dazu die Absorption der Röntgenstrahlung, die für unterschiedliche Dichten und Materialien unterschiedlich stark ist. Diese Absorptionskontrastbildgebung ist in Industrie und Medizin weit verbreitet.

Durch Phasenkontrastbildgebung können neben dem Absorptionsbild noch zwei weitere Bildmodalitäten mit zusätzlichem Informationsgehalt genutzt werden. Das differentielle Phasenbild ist sensitiv auf Variationen in der Elektronendichte und kann Strukturen in Objekten sichtbar machen, die kaum Absorptionskontrast erzeugen. Die zweite Bildmodalität, das Dunkelfeldbild, ist aufgrund ihrer Sensitivität für Kleinwinkelstreuung besonders gut geeignet, poröse Strukturen und Fasern oder Veränderungen in der inneren Struktur zu erkennen. Dies kann zum Beispiel zur Erkennung von Rissen oder Fremdkörpern genutzt werden.

In diesem Poster wird die Methode der Gitterbasierte Phasenkontrast-Röntgenbildgebung präsentiert und ihre Vorteile gegenüber der herkömmlichen Absorptionskontrastbildgebung dargestellt.



Für die Sicherheit von morgen:
www.dgzfp.de

PERSPEKTIVE WERKSTOFFPRÜFUNG



DGZfP
AUSBILDUNG UND
TRAINING GmbH

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

[S. Schreiner](#)¹, B. Akstaller¹, K. Esch¹, V. Ludwig¹, T. Michel¹, G. Anton¹, S. Funk¹

¹ ECAP, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen

Röntgenstrahlung in der zerstörungsfreien Prüfung ermöglicht den Blick in geschlossene Objekte. Der Kontrast in der Standardradiographie entsteht durch Absorption von Röntgenstrahlung, die in der Stärke von der Materialzusammensetzung und Dichte abhängig ist. Phasenkontrast erweitert die Standardbildgebung durch ergänzende Bildmodalitäten, das Dunkelfeld und das Phasenbild. Der Kontrast im Phasenbild basiert auf der Beugung von Röntgenstrahlen an einem Objekt, welche besonders bei Elementen mit niedriger Ordnungszahl (C, H, O) oder schwach absorbierenden Materialien, verglichen mit der Absorption von Röntgenstrahlen, deutlich stärker ausgeprägt sind.

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

Ungängen in additiv gefertigten Bauteilen – Einfluss auf die dynamischen Festigkeiten

C. Weidig¹, C. Straube¹

¹ ifw Jena GmbH, Jena

Das pulverbettbasierte Schmelzen von Metall mittels Laserstrahl (PBF-LB/M) ist eine additive Fertigungsmethode zur Herstellung metallischer Bauteile. Es bietet Vorteile, hinsichtlich individueller, kundenspezifischer Produktlösungen, die eine hohe Flexibilität hinsichtlich Geometrie, Varianten und Stückzahl erfordern. Die zahlreiche Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet der letzten Jahre hat die Technologie mittlerweile über die Schwelle von der reinen Nischenanwendung hin zur Serienfertigung gebracht. Durch diese neuartige Herstellungsmethode stellt sich allerdings auch die Frage nach der Werkstoffprüfung von additiv gefertigten Bauteilen. Wo es bei nahezu allen etablierten Verfahren Normungen und Richtlinien gibt, wie Ungängen zu bewerten sind, fehlen diese öffentlich zugänglichen Vorschriften im Bereich der additiven Fertigung jedoch gänzlich. In der vorliegenden Studie wurde untersucht, wie sich Fehlstellen in additiv gefertigten Bauteilen auf die dynamischen Eigenschaften auswirken. Dazu wurden Ungängen in Probekörper definiert eingebracht und diese mit Hilfe der digitalen Durchstrahlungsprüfung untersucht, um die resultierenden Fehlergrößen und Ausprägungen zu detektieren. Anschließende Festigkeitsuntersuchungen zeigten die Einflüsse der eingebrachten Fehlstellen auf die ermittelten dynamischen Eigenschaften wie Schwingfestigkeit oder auch Ermüdungsfestigkeit. Experimentell ermittelte Wöhlerlinien geben erste Hinweise darauf, wie groß der tatsächliche Einfluss von Ungängen in Proben ist. Dies ermöglicht Aussagen zur Festigkeit nicht nur unter statischer Belastung, sondern auch unter dynamischen Laständerungen.

Untersuchung von dickwandigen GFK-HD-RTM Platten mittels Ultraschalldoppelbrechung

[L. Littner](#)¹, Y. Bernhardt¹, M. Kreutzbruck¹, R. Protz², M. Gude²

¹ Institut für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart; ² Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik der Technischen Universität Dresden

Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV) werden immer häufiger auch in Bauteilen mit größeren Wanddicken eingesetzt. Dabei spielen vor allem die exzellenten gewichtsspezifischen mechanischen Eigenschaften eine wichtige Rolle. Um dieses Leichtbaupotenzial der FKV voll auszunutzen, ist es von großer Bedeutung, den Einfluss von Defekten auf das Versagensverhalten zu verstehen. Dabei muss sichergestellt werden, dass die vorliegenden Defekte auch detektiert werden können. Dafür stehen verschiedenste Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) zur Verfügung. Ein Bereich der ZfP ist die Prüfung mittels Ultraschall. Da Reflexionen und innere Streueffekte bei Ultraschallprüfungen an Laminaten mit zunehmender Wanddicke zu nicht zu vernachlässigenden Verlusten des Messsignals führen, muss die zerstörungsfreie Prüfbarkeit von dickwandigen Laminaten unterschiedlichen Lagenaufbaus mittels Ultraschall erst nachgewiesen werden. Der Fokus des Vortrags liegt in der zerstörungsfreien Prüfung von dickwandigen Laminaten aus glasfaserverstärktem Polyurethanharz. Die 4 mm bzw. 10 mm dicken Prüfkörper wurden sowohl mit einer unidirektionalen Faserorientierung als auch mit einer $\pm 45^\circ$ Faserorientierung im Hochdruck Resin Transfer Molding (HD-RTM) hergestellt. Als ZfP-Verfahren wurde die Ultraschalldoppelbrechung verwendet. Hierbei werden polarisierte Schwerwellen genutzt, um den Faserverlauf und somit auch mögliche Faserfehlorientierungen zu ermitteln. Zur Bestimmung der Faserorientierung wurden die Messergebnisse mit den Ergebnissen eines numerischen Ringpuffermodells verglichen. Um Rückschlüsse auf die Qualität der Messergebnisse der Ultraschalldoppelbrechung zu erhalten, erfolgten Röntgenuntersuchungen sowie zerstörende Belastungsversuche zur Ermittlung mechanischer Kennwerte. Mit den gewonnenen Ergebnissen können die Einsatzgrenzen der Ultraschalldoppelbrechung in Bezug auf die Wanddicke, dem Schichtaufbau und der Faserorientierung von FKV-Bauteilen bestimmt werden.

Mikrowellen-Spektroskopie für pyrolytische Bioslurries

A. Göller¹, B. Jungstand¹, N. Dahmen², K. Raffelt²

¹ hf sensor GmbH, Leipzig; ² KIT, Eggenstein-Leopoldshafen

Die elementare Zusammensetzung von Bioslurries als Zwischenstufe für die Herstellung nachhaltig erzeugter, qualitativ hochwertiger BTL-Kraftstoffe (Biomass-to-Liquid) im bioliq® Prozess des Karlsruher Instituts für Technologie, ihr Wassergehalt und ihr Heizwert müssen sorgfältig überwacht werden, um den nachfolgenden Prozess der Flugstromvergasung zu regulieren und die Qualität des Rohsynthesegases sicherzustellen. Dafür ist die kontinuierliche messtechnische Erfassung der Zusammensetzung der Bioslurries sehr wichtig.

Mikrowellenspektroskopische Messverfahren in Verbindung mit der multivariaten Datenanalyse sind für die Lösung derartiger Messaufgaben bestens geeignet, da darauf basierende Messsysteme zerstörungsfrei und in vielen Ausführungsformen ohne direkten Medienkontakt arbeiten können. Diese besonderen Eigenschaften waren die Motivation, Möglichkeiten des Einsatzes mikrowellenspektroskopischer Techniken für die Ermittlung der Eigenschaften von Bioslurries im bioliq® Prozess zu untersuchen.

Mikrowellenprüfung mit Kreuzpolarisation zur Erkennung von In-Plane-Ondulationen in GFK

J. Hinken¹

¹ fitm Hinken Consult, Magdeburg

Elektromagnetische Wellen und damit auch Mikrowellen sind polarisiert. Das heißt, dass ihre Feldgrößen elektrisches Feld und magnetische Feld Richtungen haben. Sie sind Vektoren. Die Polarisationsrichtung der Welle wird üblicherweise mit der Richtung des elektrischen Feldes gleichgesetzt. Die einfachste Polarisationsart ist die lineare Polarisierung. Dabei bewegt sich der elektrische Feldvektor während einer Periode auf einer Geraden hin und her.

Eine Standardantenne in der Mikrowellenprüfung ist der offenen Rechteckhohlleiter. Das elektrische Feld verläuft parallel zur Schmalseite. Wird eine solche Antenne als Sendantenne, ausgerichtet für horizontale Polarisierung, betrieben und gegenüberliegend eine entsprechende Empfangsantenne mit Ausrichtung für vertikale Polarisierung, so wird, wenn keine Störung vorliegt, kein Signal empfangen. Keine Störung bedeutet dabei, dass Permittivitäts-(d. h. Dielektrizitäts-)Strukturen zwischen beiden Antennen nur rein horizontal oder rein vertikal verlaufen. Solche Strukturen können z. B. Glasfaserverläufe ($\epsilon_r = 5 \dots 6$) in einer Polymermatrix ($\epsilon_r = 2,5 \dots 3,5$) sein.

Bei unidirektionalem glasfaserverstärkten Kunststoff (GFK) verlaufen die Glasfasern idealerweise nur in eine Richtung (Längsrichtung, x-Richtung). Wenn also z. B. ein Bauteil aus idealem unidirektionalem GFK in z-Richtung mit längspolarisierter Mikrowelle durchstrahlt wird, so wird eine Empfangsantenne mit Polarisierung in Querrichtung (y-Richtung) kein Signal aufnehmen. Nur wenn die Glasfasern in ihrem Verlauf in der x/y-Ebene vom idealen Verlauf abweichen, wenn also In-Plane-Ondulationen auftreten, werden elektrische Feldkomponenten in Querrichtung angeregt. Sie können dann von der Empfangsantenne als kreuzpolarisierte Signal aufgenommen werden.

Im Beitrag wird die Mikrowellen-Transmissionsprüfung, kopolar und kreuzpolar, von GFK-Blattfeder-Elementen der Automobiltechnik beschrieben. Insbesondere die kreuzpolaren C-Bilder zeigen mit hohem Signal-zu-Geräusch-Verhältnis In-Plane-Ondulationen in den Blattfedern

Inline-Detektion von Gelpartikeln und Ermittlung des Aufschmelzgrades mittels Terahertz-Wellen

M. Mayr¹, K. Dietl¹, H. Malatyali¹, J. Rudloff¹, B. Baudrit¹, G. Schober¹, M. Bastian¹

¹ SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

Gelpartikel treten häufig bei der Verarbeitung von Kunststoffen auf und führen zu Qualitätsproblemen z. B. bei Verpackungsanwendungen. Als Gelpartikel werden nicht aufgeschmolzenes Material, Fremdmaterial oder teilvernetztes Material bezeichnet. Im Forschungsprojekt soll neben der Detektion von Gelpartikeln zusätzlich der Aufschmelzgrad des Polymers untersucht werden, was insbesondere im Compounding Arbeitsschritte verkürzen und somit eine nachhaltigere Prozessführung sicherstellen kann.

Im Forschungsprojekt soll dazu die Terahertz (THz)-Messtechnik inline am Extruder eingesetzt werden. Dazu wurde die Messtechnik zunächst unter Laborbedingungen an einem Hochdruck-Kapillar-Rheometer HKR getestet, da bei dem HKR definierte Druck-, Temperatur- und Volumenzustände eingestellt werden können. Anschließend wurde die THz-Messtechnik direkt an einem Extruder im Prozess implementiert, um direkt die Kunststoffschmelze zu analysieren. Dieser Ansatz ermöglicht eine schnelle, kontinuierliche 100 %-Kontrolle während der Verarbeitung. Die Vorteile der THz-Technik liegen in einer berührungslosen Arbeitsweise, welche im Vergleich zur Röntgenstrahlung nicht ionisierend und gesundheitsgefährdend ist, sowie im Vergleich zur Ultraschalltechnik in einer hohen Eindringtiefe in Polymeren und Temperaturunabhängigkeit.

Da Gelpartikel in der Regel einen anderen Aggregatzustand (fest) als die umgebende Schmelze (flüssig) aufweisen, können diese durch Laufzeitmessungen aufgrund unterschiedlicher Brechungsindizes erkannt werden. Außerdem können die THz-Wellen in Abhängigkeit der Größe der Gelpartikel gestreut werden, welche als veränderte Dämpfung in Erscheinung treten. Der Aufschmelzgrad der Kunststoffschmelze macht sich durch unterschiedliche Absorptionseffekte bemerkbar. Werden diese Effekte auf physikalische Wechselwirkungsmechanismen reduziert und in ein Systemmodell überführt, können Aussagen über den Aufschmelzgrad und Gelpartikelart sowie -geometrie getroffen werden.

Zerstörungsfreie Charakterisierung thermisch und/oder radioaktiv gealterter Polyethylenkabel durch THz-Zeitbereichsspektroskopie unter Zuhilfenahme maschineller Lernprozesse

A. Keller¹, C. Stumm¹

¹ Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren, Saarbrücken

In Anbetracht des weltweit stetig ansteigenden Energiebedarfs und des Wunsches nach möglichst CO₂-neutraler Energieerzeugung planen heutzutage viele Länder eine Laufzeitverlängerung ihrer Kernkraftwerke (KKW). Zwar werden bis Ende 2022 alle KKW in Deutschland heruntergefahren, dennoch bleibt es wichtig, den Zustand internationaler Anlagen bewerten zu können. In einem typischen KKW sind durchschnittlich 25000 Kabel mit einer Gesamtlänge von 1500 km verlegt, die teils rauen Umgebungsbedingungen wie erhöhter Temperatur und radioaktiver Strahlung ausgesetzt sind. Diese Bedingungen können zur Alterung der Kabelisolierungen führen, wodurch es zu Versprödung und auch Rissen des Materials kommen kann, was wiederum Kurzschlüsse bedingen kann.

Im Rahmen des Europäischen Forschungsprogramms Horizon2020 wurde vor diesem Hintergrund das Projekt TeaM Cables ins Leben gerufen. Themenbereiche des Projekts sind unter anderem die Charakterisierung und Modellierung diverser Temperatur- und Strahlungseinflüsse und die möglichst frühzeitige zerstörungsfreie Detektion von Alterungseffekten. Da Alterungseffekte zu Änderungen im dielektrischen Verhalten von Polymeren führen können, trägt das Fraunhofer IZFP mit seiner Kompetenz in der Terahertz-Spektroskopie zum Forschungsvorhaben bei, indem Proben aus vernetztem Polyethylen mittels THz-Zeitbereichsspektroskopie untersucht werden. Die dadurch erhaltenen Daten werden am Fraunhofer IZFP mit den Daten der zerstörenden Prüfverfahren, die in den Einrichtungen anderer Partner durchgeführt werden, wie bspw. Bruchdehnung oder Oxidationsinduktionszeit, fusioniert. Anschließend wird auf dieser Datengrundlage mithilfe von Methoden des maschinellen Lernens ein Modell zur Vorhersage des Alterungsverhaltens entwickelt, mit dem es möglich ist, die verschiedenen gealterten Proben voneinander zu unterscheiden und unterschiedlichen Alterungsdauern zuzuordnen. Im vorliegenden Beitrag werden einige ausgewählte Ergebnisse dieser Untersuchungen vorgestellt.

LED-angeregte Pulskompressions-Thermografie

P. Pfeffer¹, D. Hannibal¹, [G. Schober](#)¹

¹ SKZ – KFE gGmbH, Würzburg

Die Thermografie ist eine in unterschiedlichsten Industriezweigen verbreitete Methode zur Produktprüfung und Qualitätssicherung. Die Erschließung neuer Anwendungsfelder wird derzeit besonders durch die eher geringe Tiefenreichweite und die in zunehmender Tiefe abnehmende Auflösung limitiert. Um diese Defizite zu verringern, wird die Anwendung von fortschrittlichen Methoden der Bauteilanregung und der Signalverarbeitung, insbesondere die der Pulskompression, als Lösung herangezogen. Die Methoden der Pulskompression nutzen modulierte Anregungssignale wie Chirps oder binäre Signale und erzeugen nach Korrelation der Messdaten mit dem Anregungssignal zeitlich aufgelöste Daten mit hohem Signal-zu- Rausch Verhältnis (SNR). In den hier vorgestellten Arbeiten wird die Anwendung der Pulskompression anhand verschiedener Beispiele demonstriert. Die Besonderheit bildet dabei die Verwendung eines speziell für die Thermografie entwickelten LED-Strahler-Systems, das eine energieeffiziente und vielseitige Art der Probekörperanregung ermöglicht.

Leckageanalyse mittels spektraler Thermographie für die Produktion

S. Quirin¹, D. Moser¹, W. Schäfer¹

¹ Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Saarbrücken

Das Projekt Leckageanalyse mittels spektraler Thermographie in der Produktion Leck-Stop wurde in der Förderlinie Photonik für die flexible, vernetzte Produktion Optische Sensorik des BMBF bearbeitet. Es beschäftigt sich mit der automatisierten Leckageortung im Infrarotbereich mittels einer Wärmebildkamera.

Bei vielen Bauteilen spielt die Dichtheitsprüfung eine entscheidende Rolle zur Sicherstellung ihrer Funktion und der Langlebigkeit des Gesamtsystems. Die Ortung auftretender Leckagen im Prozess der Fertigung ist oft mit großem Mehraufwand verbunden, sodass die Entsorgung als Schlechtteil mit geringem Erkenntnisgewinn gängig ist. Die Forschungsbeiträge der Verbundpartner ermöglichten die Konzeption eines universellen, flexiblen Prüfsystems zur positionsgenauen Bewertung von Bauteilen auf Leckagen im Kontext von Industrie 4.0. Durch die optische Erfassung wird das Prüfsystem grundsätzlich unabhängig von der Bauteil-Kontur einsetzbar. Auch für die Beurteilung hat die gewählte optische Analyse Vorteile im Vergleich zu konventionellen Verfahren wie Schnüffelsonden oder das Eintauchen in Wasserbäder: Neben schneller, automatisierter Kennwert-basierter Auswertung ist diese auch intuitiv optisch nachvollziehbar.

Zur Realisierung des neuartigen Prüfverfahrens wurde auf die Wechselwirkung von Infrarot-Strahlung (IR) mit dem aus einer Leckage austretenden Prüfgas gesetzt. Als Prüfgas wurde CO₂ aufgrund seiner Infrarot-aktiven, aber sonst inerten Eigenschaft ausgewählt, was die Integration in Fertigungsprozesse begünstigt. Insbesondere handelt es sich um ein nichtbrennbares und natürlich vorkommendes Gas.

Das Fraunhofer IZFP zeichnete sich für die Entwicklung des Systems zur Erkennung und Vermessung des Gasaustritts aus Infrarotaufnahmen verantwortlich. Um ein kostengünstiges System zu erhalten, wurde große Anstrengung in die Umsetzbarkeit mittels eines ungekühlten Kameramodells gesteckt. Mit Hilfe der entwickelten Software und Bildverarbeitungskette kann die Leckage geortet und bewertet werden.

Ultraschall-Rollenprüfkopf für die automatisierte Prüfung

P.K. Chinta¹, T. Balensiefer¹, C. Deters¹, F. Kahmann¹, C. Sturm¹, B. von Kirchbach¹, J. Ininger¹

¹ Waygate Technologies, Baker Hughes Digital Solutions GmbH, Hürth

In der zerstörungsfreien Prüfung sind, neben der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit (Probability of Detection, POD) die Anforderungen an die Prüfbereichsabdeckung und die Prüfgeschwindigkeit stark gestiegen. Der in diesem Beitrag vorgestellte Ultraschall-Rollenprüfkopf, Krautkrämer Wheel Probe 2.0, bietet signifikante Verbesserungen in allen drei genannten Bereichen. Die Einheit ist mit Phased-Array-Prüfköpfen ausgestattet, welche von einem drehend gelagerten Kunststoffmantel umschlossen sind. Die mechanische und die elektrische Schnittstelle ermöglichen die Einbindung in verschiedenste Prüfmaschinenumgebungen. Beispiele hierfür stellen die Ganzkörperprüfung von Rohren, die Prüfung von Rohrschweißnähten oder von Blechen sowie die Anbindung an robotische Systeme dar. Aufgrund der aufgeführten Funktionalitäten reduziert die Prüfkopfeinheit die Komplexität der Mechanik einer Prüfmaschine und führt so zu einer Erhöhung der Zuverlässigkeit.

In dem Beitrag werden die Ergebnisse von Ultraschallsimulationen und Prüffahrten präsentiert. Die Versuche umfassen Prüfungen von Rohren mit Durchgangsbohrungen und Quernuten in der Schweißnaht und in der Wärmeeinflusszone. Die Erkennung von Längs- und Schrägnuten im Rohr wird ebenfalls untersucht. Zusätzlich werden die Homogenität und der Testabdeckungsbereich diskutiert.

Simulation von Impakt Echo Inspektionen in Beton zur Analyse der Detektionswahrscheinlichkeit

F. Dethof¹, S. Keßler¹

¹ Helmut-Schmidt-Universität/ Universität der Bundeswehr Hamburg

Es ist eine große Herausforderung, für jede zerstörungsfreie Prüfung die Auffindwahrscheinlichkeit für definierte Defekte zu quantifizieren. Dies gilt insbesondere für Inspektionsverfahren im Bauwesen, die auf der Ausbreitung von elastischen Wellen beruhen, wie dem Impakt Echo Verfahren. In Beton kommt noch erschwerend dazu, dass die Ausbreitung elastischer Wellen aufgrund der mehrphasigen Natur von Beton (Poren, Gesteinskörnung, Zementmatrix) sehr komplex ist. Aus diesem Grunde wurden mittels der elastodynamischen finiten Integrationstechnik (EFIT) numerische Simulationen von Impakt Echo Inspektionen durchgeführt, um die Faktoren zu bestimmen, die das Messergebnis und damit auch maßgeblich die Detektierbarkeit beeinflussen.

In dieser Arbeit werden die Einflüsse diverser Parameter bei Impakt Echo Inspektionen numerisch untersucht. Bei diesen Messungen ist das Wellenfeld besonders komplex, da neben den immer generierten Kompressions-, Scher- und Oberflächenwellen auch Lambwellen auftreten, deren Resonanzfrequenz am Ende auch gemessen werden soll. Auch wenn die Dimensionen der Streukörper klein im Verhältnis zur Wellenlänge sind, zeigen die Simulationsergebnisse, dass mehrere der getesteten Parameter, wie unter anderem der Porengehalt und der Anteil an Gesteinskörnung, das Messergebnis beeinflussen. Um den Mehrwert numerischer Simulationen bei komplexen Geometrien aufzuzeigen wurden reale Messungen an einem Probekörper nachsimuliert und miteinander verglichen. Dabei wurde auch untersucht, wie es am besten gelingen kann, das Rauschen, dem alle Messungen unterlegen sind, numerisch nachzubilden.

Das umfassendste Ultraschallprüfgerät Angebot



- Phased Array HW mit einzigartigem Formfaktor und TFM-Fähigkeit
- API offenes Plattform für weitere SW Entwicklung
- Hochwertiges Elektronik für schnelles TFM und fortschrittliche Bilderalgorithmen
- Ultra kompaktes konventionelles Ultraschall Elektronik

Treffen Sie uns in Kassel !

Array-Prüfköpfe für luftgekoppelte Ultraschallprüfung

D. Hufschläger¹, M. Gaal¹, D. Gohlke¹, M. Weise¹, A. Szewieczek², W. Hillger², D. Ilse²

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² Hillger NDT, Braunschweig

Seit Jahren stellt die luftgekoppelte Ultraschallprüfung eine etablierte Alternative zur konventionellen Prüfung von Leichtbaukomponenten aus den Bereichen Luft- und Raumfahrt sowie Automotive dar. Im Gegenteil zur flüssigkeitsgekoppelten Prüfung in Kontakt oder im Tauchbecken ist sie weniger invasiv und bietet daher zeitliche und finanzielle Anreize. Normalerweise wird die luftgekoppelte Prüfung mit Einzelelementschwingern in Durchschallung realisiert, wohingegen die Gruppenstrahlertechnik bereits Industriestandard im Bereich der Kontakttechnik darstellt. Die damit verbundenen Vorteile wie die aktive Fokussierung oder, die gezielte Manipulation des Einschallwinkels zur Anregung von geführten Wellen, finden im Bereich der luftgekoppelten Prüfung dabei noch wenig Anwendung.

Im Rahmen dieses Beitrags stellen wir die ersten Zwischenergebnisse des geförderten Projektes PALUP Phased- Array-Technik für Luftultraschall-Prüfungen vor. Ziel des Projektes ist die Entwicklung von Mehrelementschwingern auf Basis von zellulären Kunststoffen, die Entwicklung einer dedizierten Pulserstufe im Kilovoltbereich, sowie die nötige rauscharme messtechnische Auswertung jedes Einzelelements.

Simulation und Vermessung von thermoakustischen Schallquellen

D. Hufschläger¹, [M. Gaal](#)¹, M. Ahmadzadeh²

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

Zur Simulation des Schallfeldes von beliebig geformten konventionellen Schallquellen existieren viele Ansätze (EFIT, GPSS). Sie alle basieren auf der Annahme eines monochromatischen akustischen Signals, was meist eine gültige Annäherung darstellt. Allerdings sind bei thermoakustischen Quellen aufgrund ihrer Funktionsweise und der hohen Bandbreite viele der existierenden Ansätze nicht direkt anwendbar und können Beobachtungen bei der Vermessung von thermoakustischen Wandlern nicht vollständig abbilden und erklären.

In diesem Beitrag wurde die bekannte Methode der generalisierten Punktquellensynthese (GPSS) für die Berechnung von Schallfeldern von thermoakustischen Schallquellen angewendet. Dabei gehen zahlreiche Parameter wie die Dicke und Geometrie der leitfähigen Schicht, Krümmung des Substrats, sowie die Signalform der Anregung in die Simulation ein. Neu an dem präsentierten Ansatz ist die Abweichung von der üblichen monochromatischen Annäherung und die Berücksichtigung der großen Bandbreite von thermoakustischen Wandlern. Für die Validierung der Simulationen wurden Schallfelder von Quellen mit bekannter Anregung und Geometrie breitbandig durch ein optisches Mikrofon vermessen.

Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung und Schadenanalyse Hand in Hand – am Beispiel einer Leckage an einer Rohrleitung aus austenitischen Stahl

U. Baumgarten¹, [R. Malke](#)¹

¹ DEKRA Incos GmbH, Ingolstadt

Im Zuge von Schadensanalysen sind an einem Schadensteil gezielte Probennahmen und verschiedene (zerstörende) Untersuchungen notwendig. Dies gilt sowohl für metallographische Untersuchungen, als auch die Probennahme für fraktographische Untersuchungen. So erfolgt die Festlegung der Schliffebenen beispielsweise unter Berücksichtigung von zerstörungsfreien Prüfverfahren. Hilfreich können dabei beispielsweise Ultraschallprüfungen, aber auch Oberflächenrissprüfungen und Durchstrahlungsprüfungen sein. An dem hier präsentierten Beispiel einer Rohrleitung aus austenitischen Stahl, an der eine Leckage auf Grund von Spannungen im Bauteil auftrat, wird beispielhaft die Festlegung der Schliffebenen auf Basis von Ultraschallprüfungen und Durchstrahlungsprüfungen präsentiert. Des Weiteren wurden die für die Untersuchung mittels EDX aufzubrechende Risse auf Basis von ZFP Methoden definiert. Auf Basis der zerstörenden Untersuchungen wurde die Schadensursache festgestellt.

Welche Frequenz hat mein Ultraschallprüfkopf? – Alles eine Frage der Perspektive

A. Mück¹

¹ SONOTEC GmbH, Halle (Saale)

Eine typische Situation: Fa. XYZ (Name geändert) benötigt für eine Aufgabe spezielle Ultraschallprüfköpfe, gefordert ist eine Frequenz von 2 MHz. Eine Bestellung wird ausgelöst, Datenblätter werden vorab verschickt. Erwartungsvoll wird der Lieferung entgegen gefiebert. Das Paket wird sofort ausgepackt, die Prüfköpfe werden eingebaut und ein Testlauf wird gestartet. Die Ergebnisse sehen gut aus. Jedoch gibt es beim genauen Hinsehen eine große Überraschung: Statt der spezifizierten und im Prüfprotokoll dokumentierten Mittenfrequenz von 2 MHz lassen sich aus den Messdaten nur 1,5 MHz ablesen.

Die Frequenz ist eine der wichtigsten Eigenschaften eines Ultraschallprüfkopfs. Sie beeinflusst das Schallfeld und geht in die Formeln zur Berechnung von Nahfeldlänge und Öffnungswinkel ein. Eine Abweichung gegenüber dem Nennwert führt zur falschen Anwendung von AVG-Kennlinien. Aufwendig berechnete Simulationsergebnisse stellen sich als nutzlos heraus, weil Eingangsparameter nicht stimmen. Aus diesem Grund verlangt die Norm EN ISO 22232-2, dass die Mittenfrequenz eines Ultraschallprüfkopfs im Datenblatt zu spezifizieren ist. Der Wert ist für jeden Prüfkopf zu ermitteln, das Ergebnis in einem Prüfprotokoll zu dokumentieren. Abweichungen vom Nennwert sind nur in engen Grenzen zulässig.

Im Vortrag wird gezeigt, dass alle Beteiligten mit ihren Aussagen Recht haben. Die Mittenfrequenz ist keine objektive Eigenschaft, die losgelöst von allen Randbedingungen feststeht. Sie ist das Ergebnis einer Messung unter ganz konkreten Umgebungsbedingungen und damit abhängig von der Perspektive des jeweiligen Betrachters, sprich Anwenders. Das verwendete Ultraschallgerät, Art und Positionierung eines Reflektors, verwendete Algorithmen – alle diese Parameter haben eine Auswirkung auf die Messung. Dies wird anhand verschiedener Beispiele anschaulich dargestellt.

Möglichkeiten der Full Waveform Inversion zur Abbildung in heterogenen Festkörpern

[I. Reichert](#)¹, M. Schickert¹, T. Lahmer¹

¹ Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar (MFPA Weimar), Weimar

Die Ultraschallabbildung von Einzelobjekten in heterogenen Festkörpern wie Beton wird vor allem mit linearisierten Methoden durchgeführt, die auf eine Wellenart beschränkt sind und geometrische Reflexionen und Modenkonzersionen vernachlässigen. Dadurch ist die Rekonstruktionsgenauigkeit limitiert, und es können Artefakte induziert werden. Indem mehr Informationen des vollständigen Wellenfeldes berücksichtigt werden, verspricht die Full Waveform Inversion (FWI) eine genauere Abbildung. Das Verfahren vergleicht die gemessenen Signale mit dem Ergebnis der Vorwärtsrechnung des Streufeldes der Signalquelle. Die Verteilung der Materialkennwerte wird iterativ so angepasst, dass die Differenz der berechneten zu den gemessenen Signalen minimiert wird. Durch ein realitätsnahes Vorwärtsmodell sind keine einschränkenden Annahmen über die Wellenausbreitung notwendig. Da das Problem schlecht gestellt (ill posed) ist, werden Regularisierungstechniken zur Stabilisierung eingesetzt. Im Beitrag werden Arbeitsweise und Möglichkeiten des modellbasierten Ansatzes erläutert. Erste Ergebnisse an idealisierten Streugeometrien in homogenen und heterogenen Festkörpern, die auf synthetischen und messtechnischen Signalen basieren, werden vorgestellt.

Kunstvolle Formen der Ultraschallbildgebung

H. Rieder¹, H. EL-Hajjaji¹

¹ pers. Mitglied der DGZfP, Saarbrücken

Ultraschallanwendungen in dem großen Spektrum von der Modellierung, Simulation, Datenerfassung, Aus- und Bewertung, 2D- und 3D-Abbildungen gehören heute in der ZfP zum täglichen Geschäft. Doch gibt es derzeit keinen Überblick über die in der Regel kunstvollen Abbildungen des Ultraschalls in den verschiedensten Anwendungsspektren. Aus meinem großen Fundus an Medienmaterial aus den verschiedensten Ultraschallanwendungen in der ZfP (mehr als 40 Jahre Arbeit für die ZfP) möchte ich auf der Jahrestagung der DGZfP 2022 in Kassel einen multimedialen Blick auf den Ultraschall präsentieren, der die Schönheit der Bildervielfalt aus den Bereichen Ultraschall und Akustik widerspiegeln soll.

Die Medienpräsentation soll das oben genannte Spektrum in Form von Foto- und Bildmaterial, Kurzfilmen und virtuellen Animationen präsentieren. Zu diesem Zweck steht auf der Konferenz ein Bildschirm zur Verfügung, auf dem eine Sequenz von Medienmaterial zu sehen ist.

Automatisierte Prüfung von Stangen mit sehr kleinen Durchmessern im Durchlaufverfahren mit Ultraschall Phased-Array Technologie

S. Schmitz¹, T. Helfen¹, S. Standop¹

¹ Waygate Technologies, Baker Hughes Digital Solutions GmbH, Hürth

Seit einigen Jahren ist eine stetig wachsende Nachfrage nach einer Ultraschallprüfung für Stangen und Draht im Durchmesserbereich von 5 mm bis 10 mm zu verzeichnen.

Während in der Vergangenheit eine Wirbelstromprüfung für den überwiegenden Teil der Qualitäten ausreichend und eine Ultraschallprüfung nur bei Sonderanwendungen erforderlich war, werden heute Stangen mit kleinen Durchmessern immer öfter auch mit Ultraschall geprüft, um die steigenden Qualitätsanforderungen an das Vormaterial für leichte und trotzdem hochfeste Bauteile zu erfüllen.

Diese Prüfung wird bisher in der Regel mit konventionellen Prüfanlagen in Tauchtchnik-Tanks oder mittels mechanischen Rotationsprüfanlagen durchgeführt, die entweder einen vergleichsweisen geringen Durchsatz aufweisen oder mechanisch sehr komplex aufgebaut sind.

Mit der neuen Krautkrämer ROWA Ux 400 mini stellt Waygate Technologies jetzt erstmals auch die Phased-Array Technologie für die Ultraschall-Prüfung von Stangen in diesem Durchmesserbereich zur Verfügung.

Die Krautkrämer ROWA Ux 400 mini ermöglicht durch den Einsatz von hochfrequenten Phased-Array Prüfköpfen eine einfache und robuste Prüfmechanik, die bei sehr guter Fehlerauflösung hohe Durchsätze und eine hohe Wiederholgenauigkeit bietet.

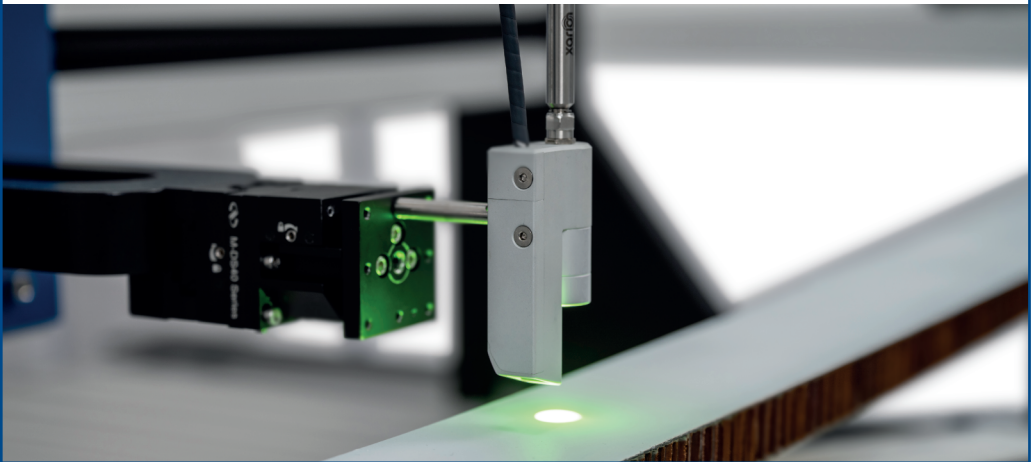
Damit lassen sich Fehlergrößen wie beispielsweise Flachbodenbohrungen mit einem Durchmesser von 0.4 mm oder Längsnuten mit einer Tiefe von 0.1 mm sicher auffinden. Durch eine optimierte Führung sind bei längsausgedehnten Fehlern Prüfgeschwindigkeiten bis zu 1.8 m/s bei hohen Reproduzierbarkeiten möglich.

In diesem Praxisbericht werden Möglichkeiten und Erfahrungen bei der Ultraschallprüfung von Stangenmaterial mit sehr kleinen Durchmessern vorgestellt.

Free your Inspection from Water-coupling!

XARION's unique ultrasonic inspection technology matches today's standard liquid-coupled UT in sensitivity and resolution, while not requiring water or coupling gel.

- ✓ Measure: composite parts or adhesive layers with high resolution
- ✓ Contact-free: no water, no coupling gel needed
- ✓ Integration: can easily be integrated into robotic or scanner systems
- ✓ Arrange: single-sided and through-transmission arrangement possible
- ✓ High resolution and speedy: much higher resolution and faster scanning than traditional air-coupled UT



Eingebettete langzeitzuverlässige PZT-EMUS-Sensormanschette zur Schweißnahtprüfung an Offshore-Strukturen

[A. Schnabel](#)¹, T. Gaul¹, R. Schwerz¹, M. Oemus¹, A. Lienert²

¹ Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden;

² WiE GmbH – Werk für industrielle Elektronik, Kreischau

Für den Übergang von turnusmäßiger zu permanenter Überwachung während des Betriebs ohne den Einsatz von Tauchern, aber unter Zuhilfenahme von Unterwasserfahrzeugen (ROV), wurde im Projekt ELMEDA eine neuartige Messsystem entwickelt.

Das gurtartige, elektronische Messsystem dient zur Überwachung von Schweißnähten und arbeitet mit geführten Wellen. Generell ist das System für die Prüfung von zylindrischen Bauteilen zur kombinierten Messung von Abrasion und Defektdetektion geeignet. Hauptanwendung ist derzeit die Langzeitüberwachung ausgewählter Gründungsstrukturen von Offshore-Windenergieanlagen.

Im Vordergrund steht der Entwicklungsfortschritt des innovativen integrierten Sendempfänger-Konzeptes bestehend aus elektromagnetischer Spulenanregung von Ultraschallwellen (EMUS) und sensitiver piezoelektrischer Empfangssensorik. Die beschriebene Anregungsart bietet große Vorteile durch vereinfachte Ankopplungstechnik.

Die unterwasserfeste Auslegung und somit Kapselung des Messsystems bildet den wesentlichen Bestandteil für eine langzeitzuverlässige Funktionsweise. Die Kapselung basiert zum Großteil auf adaptierter Leiterplattentechnologie in Kombination mit geeigneten Kapselmaterialien. Weiterhin wurde die Entwicklung der Energieübertragung und Datenkommunikation so ausgelegt, dass diese mit ROV kompatibel sind.

Die Arbeit wird die genannten Aspekte der Forschung & Entwicklung beleuchten und somit zur zukünftigen Sensorentwicklung für maritime Anwendungen beitragen.

Schallstrahl mit überlagertem A-Bild: deutlich schnellere und fehlerminimierte Ultraschallprüfung

[H. Springer](#)¹

¹ Springer New Technologies GmbH, Simmozheim

Es kommt manchmal vor, dass es was wirklich neues in der ZfP gibt. Wir stellen eine neue Herangehensweise bei der konventionellen Ultraschallprüfung vor: gespeicherte Arbeitsabläufe mit dargestellter Schweißnaht und Formteil, dazu eine interaktive Schallwegdarstellung mit überlagertem A-Bild. Das vermeidet Interpretationsfehler. Durch die interaktiven Schallwegdarstellung unterscheiden Sie ganz einfach zwischen echtem Fehler und Reflektion auf Grund der Bauteilgeometrie. Schnell, einfach. unkompliziert.

Der Sonatest WAVE Interaktive Scan-Plan kombiniert Echtzeit-Prüfung mit Simulation. Daher wird die Defektortung nicht mehr mit Hilfe der Trigonometrie berechnet, sondern basiert auf einem tatsächlichen Schallstrahl, der eine Visualisierung des Strahlwegs in dem Bauteil bietet. Mit A-Bild-Informationen und Blenden-Position, die über den Schallstrahl überlagert werden, kann der Benutzer den Materialfehler genau lokalisieren und die Tiefe und den Oberflächenabstand bestimmen. Dies ist besonders nützlich für komplexe Geometrien wie Schweißnähte mit großen Kappen, T-Verbindungen oder bei Streben.

Neue Squirterdüsen für Anwendungen im Luftfahrtbereich

A. Szewieczek¹, F. Beuße¹, [W. Hillger](#)¹

¹ Hillger NDT GmbH, Braunschweig

Die Squirter Technik ist ein bewährtes Ankoppelverfahren für Ultraschallprüfungen großer und komplexer Bauteile, beispielsweise im Luftfahrtbereich. Hierbei wird der Ultraschall über einen Wasserstrahl an das Bauteil angekoppelt. Aufgrund des geringen Wasserstrahldurchmessers von typischerweise unter 1 cm können selbst komplex geformte Bauteile mit einem robotergestützten Prüfsystem untersucht werden.

Trotz großer Fortschritte im Bereich der Ankopplung über Luft wird die Squirter Technik verstärkt nachgefragt. Dieses Verfahren liefert eine gleichmäßige Ankopplung bei hohen Frequenzen, stellt dabei jedoch hohe Anforderungen an einen laminaren Wasserstrahl.

Hierfür bietet die Hillger NDT neue Squirterdüsen an, welche sowohl für die Durchschallungs- als auch für die Impuls-Echo Technik geeignet sind. Die Düsen sind mit Bifrequenz-Prüfköpfen erhältlich, wodurch kein Prüfkopfwechsel zwischen den beiden Betriebsarten erfolgen muss. Der Schallkegel des Prüfkopfs wird nicht durch die Düse beeinflusst, wodurch sowohl fokussierte als auch unfokussierte Prüfköpfe verwendet werden können. Durch eine kurze Wasserstrecke in der Düse und eine schnelle Selbstentlüftung wird eine laminare Strömung erreicht, wodurch die selben Prüfergebnisse erzielt werden, wie bei einer Tauchtechnik-Prüfung.

Der Unterschied zwischen Simulation und Praxis – Einfluss von Toleranzen im Ultraschallprüfsystem und deren Berücksichtigung

T. Heckel¹, [V. Tkachenko](#)¹, T. Zhang¹, C. Luplow¹, A. Jüngert², D. Brackrock¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; ² Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart

Bei der simulationsunterstützten Planung kritischer Ultraschallprüfaufgaben ist die detaillierte Kenntnis der Parameter der eingesetzten Prüfköpfe von entscheidender Bedeutung.

Durch die in den Regelwerken (früher DIN EN 12668-2 jetzt DIN EN ISO 22232-2) zugelassenen Toleranzen bei der Herstellung der Prüfköpfe sind einige Prüfkopfparameter nur ungefähr bekannt. Durch die Alterung von Prüfköpfen und Verschleiß durch Benutzung können diese Parameter zusätzlich variieren.

Somit kann es zwischen der Simulation der Prüfung und der eigentlichen Prüfung bei ausgewählten Prüfaufgaben zu signifikanten Unterschieden kommen, die nicht vollständig durch die Empfindlichkeitsjustierung und Entfernungsjustierung ausgeglichen werden können.

Gerade in Hinblick auf die Beurteilung der intrinsischen Fähigkeit von Prüfverfahren und deren Abgrenzung zu Einflüssen aus der Applikation und der Human Factors ist es wichtig, bei der Simulation den verwendeten Prüfkopf genau zu kennen. Bei kritischen Applikationen reicht es hier oft nicht aus, nur die Daten aus dem Datenblatt zu verwenden, sondern es wird der aktuelle Ist-Zustand benötigt.

Im Posterbeitrag werden mit Hilfe von Simulationsrechnungen die möglichen Abweichungen an Beispielen der im Projekt normPOD, welches unter der Förderkennzeichen 03TN0006C öffentlich gefördert wird, verwendeten Testkörper die sich aus der Varianz laut Herstellerangaben ergeben können, dargestellt. Die Ergebnisse werden Messungen an Testkörpern gegenübergestellt.

Prüfstand zur Detektion von Materialfehlern in gegossenen Turbinenrädern aus Nickelbasislegierung mithilfe von Wirbelstrom

M. Siekmann¹

¹ Daimler Truck AG, Stuttgart

Materialfehler in hochbelasteten Bauteilen können zur Schwächung im Betrieb führen. In vielen Fällen führt dies zum Funktionsversagen. Um Bauteile auf innenliegende Inhomogenitäten hin zu untersuchen, wird ein Prüfverfahren entwickelt, mit dessen Hilfe Materialfehler an hochbelasteten Bereichen des Turbinenrades in Abgasturboladern zerstörungsfrei detektiert werden können. Durch die Verwendung der Wirbelstromprüfungsmethodik, können Produktions- und Verarbeitungsfehler erkannt werden, bevor das Bauteil verbaut wird. Mithilfe eines Prototypenprüfstandes wird eine Möglichkeit geschaffen, Bauteile zerstörungsfrei vor ihrer Verwendung zu untersuchen. Der Prüfstand inkludiert neben einer Roboterzelle mit vollautomatischer Bauteilmanipulation das Wirbelstromprüfgerät PL600 der Firma Rohmann GmbH.

Die Auswertung und Deutung der Signalergebnisse urteilen über die Einsatzfähigkeit des Produktes.

Digitalisierung der UT-Prüfung mittels optischem Tracking von Ultraschallsonden

J. Ehrler¹, M. Kreutzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

Die Digitalisierung von Prüfprozessen ist einer der Herausforderungen bei der Entwicklung moderner zerstörungsfreier Prüfsysteme. Um ein hohes Maß an Prüfzuverlässigkeit zu garantieren, spielt neben der optimalen Prüfhardware, auch die Zuordnung der Messdaten zur Messposition eine wichtige Rolle.

In einem Kooperationsprojekt wird ein optisches Trackingsystem entwickelt, mit dem es möglich ist, Positionen unterschiedlicher Ultraschallprüfköpfe berührungslos im Raum zu bestimmen und mit den Messergebnissen zu verknüpfen. Hierfür werden infrarot LED-Marker genutzt, deren Position mit einer Kamera im Raum verfolgt werden kann. Somit können alle sechs Freiheitsgrade berechnet werden. Die Referenz zum Raum, und die damit einhergehende absolute Positionsbestimmung, erfolgt über fest installierte Marker. Über die intelligente Verknüpfung mehrerer Kameras und Tracker kann eine Positionsgenauigkeit von wenigen Millimetern erreicht werden. Hierdurch kann auf das aufwendige Markieren von Prüfstellen verzichtet werden. Die Dokumentation gestaltet sich durch die genaue Positionsbestimmung ebenfalls wesentlich einfacher und zusätzlich kann über eine nachträgliche 3D Darstellung der Ultraschalldaten eine noch bessere Auswertung der Messdaten erfolgen.

Für das Trackingsystem wird ein bestehendes optisches Kamerasystem über einen Universalübersetzungsencoder mit einem Phased-Array-Ultraschallsystem gekoppelt. Es können unterschiedliche Einzelschwingerprüfköpfe oder Phased-Array Prüfköpfe in das System eingebunden werden.

Der aufwendige Einsatz von mechanischen Encodern entfällt somit komplett. Durch den mobilen Aufbau des Systems lassen sich ebene Bauteile als auch komplexere Bauteile prüfen. Diese Kombination ermöglicht die weitere Digitalisierung der handgeführten Ultraschallprüfung genau in den Bereichen, wo eine roboterbasierte Prüfung aus Platz- oder Kostengründen nicht umsetzbar ist.

μEddy – ein Weg zum intelligenten Wirbelstromsensor

G. Mook¹, Y. Simonin¹

¹ Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg

Die Integration von Wirbelstromsensoren in den Bearbeitungsprozess von Werkstücken stellt dann eine Herausforderung dar, wenn der Sensor bewegt werden muss. Insbesondere wegen der Übertragung analoger Signale von rotierenden Komponenten wächst der Bedarf nach Integration des Wirbelstromgerätes in den Sensor selbst oder zumindest dessen unmittelbare Nähe. Ist das Gerät klein genug, kann es sich mitbewegen, die Signale erfassen, auswerten und im Bedarfsfalle übertragen. Dazu bieten sich verschiedene Funkstandards wie Bluetooth, Wifi oder LTE an.

Der Beitrag stellt ein Wirbelstromgerät auf der Basis eines Hochleistungs-Microcontrollers vor. Dieser erzeugt das Erregerfeld, erfasst die Messspannung und demoduliert sie in Real- und Imaginärteil. Diese Information kann auf ein stationäres Gerät übertragen oder auch im Controller direkt ausgewertet werden.

Experimentelle und simulative Untersuchung von auxetischen Aluminiumblechen

T. Heib¹, H.-G. Herrmann²

¹ Universität des Saarlandes, Saarbrücken; ² Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

Auxetische Materialien zeichnen sich durch ihre negative Poissonszahl aus, die dafür sorgt, dass sich bei Zugbelastung das Material senkrecht dazu ausbreitet. Fast alle natürlichen Materialien besitzen eine positive Poissonszahl und weisen dieses Verhalten nicht auf. Durch Anpassung der makroskopischen Struktur lässt sich dieser Mechanismus jedoch aufprägen. Im Fokus steht die Charakterisierung auxetisch strukturierter Aluminiumbleche mit rechteckiger Perforation. Es werden die digitale Bildkorrelation (DIC) und Thermographie in-situ während eines quasistatischen Zugversuchs angewandt. Dabei können zum einen die lokalen Dehnungsfelder bestimmt und zum anderen die thermische Veränderung aufgrund elastischer und plastischer Deformationsprozesse ermittelt werden. Parallel wird eine gekoppelte thermo-mechanische Simulation umgesetzt und deren Ergebnisse mit den Versuchen korreliert. Zu den bereits genannten Prüfmethoden werden ex-situ vor und nach dem Zugversuch HF-Ultraschall Scans und Mikrotomographie Messungen an den Proben durchgeführt, mit denen sich Geometrische Veränderungen (z. B. Ausdünnung) oder beginnende Schädigungen in Form von Rissen darstellen lassen. Der Einsatz von auxetischen Materialien ist, aufgrund ihres hohen Porenanteils, vor allem im Bereich von Leichtbauanwendungen interessant. Hierfür ist eine möglichst genaue Beschreibung des Deformationsmechanismus notwendig.

Schadensindizes als Parameter zur optimierten Identifikation von Sensorpositionen für die Prüfung mit geführten Wellen am Beispiel einer genieteten Reparatur

[S.D. Power](#)¹, R. Sridaran Venkat¹, C. Boller¹

¹ Universität des Saarlandes – LZfPQ, Saarbrücken

Geführte akustische Wellen, sind Basis einer weit verbreiteten Methode zur Detektion von Schäden in flächigen Bauteilen, insbesondere im Zusammenhang mit dem Structural Health Monitoring (SHM). Für den Fall einer schadenstolerant ausgelegten Struktur, (z. B. im Bereich der Luftfahrt üblich), sind Ort und tolerierbare Schadensgröße bekannt, nicht jedoch, wann diese Schadensgröße erreicht wird. Dieser Zeitpunkt kann jedoch mit einem SHM-System automatisch ermittelt werden, wenn die erforderliche Information zielgerichtet erfasst wird. Um dies zu tun bietet es sich an, das Verhalten der geführten Wellen, für einen bestimmten Zeitraum einerseits für den ungeschädigten und andererseits für den tolerierbar geschädigten Zustand zu betrachten. Bildet man die Differenz dieser beiden Bilder, so ist dies allein durch den Schaden selbst verursacht. Integriert man diese Differenzsignale für jeden Punkt über der gemessenen Zeit auf dem betrachteten Bauteil auf, so erhält man eine Topografie aller Orte, an denen Schadensinformation zur Detektion des tolerierbaren Schadens eingesammelt werden können. Da man Sensoren zur Detektion dieser Information üblicherweise nur an diskreten Orten platzieren kann, können diese Orte anhand der Topografie ermittelt werden. Ein probates Mittel zur Ermittlung dieser Topografien – und damit auch optimaler Sensororte – ist die numerische Simulation. Neben der Verwendung des Differenzsignals als Schadensindex gibt es noch weitere Schadensindizes, z. B. auf der Basis verschiedener Formen von Fehlerquadraten oder Korrelationskoeffizienten. In dem Beitrag wird am Beispiel einer genieteten Reparatur gezeigt, wie die zuvor genannten Topografien unterschiedlicher Schadensindizes numerisch erstellt und daraus mögliche Sensormuster abgeleitet werden können, die dann auf der Basis experimenteller Ergebnisse validiert und abschließend diskutiert werden.

Nutzen Sie unsere Vergleichsprüfungen für Ihre Eignungsprüfungsstrategie



F-GZP

Der **5-Jahresplan der F-GZP** beinhaltet u. a. die in der Durchführung befindlichen sowie geplante Vergleichsprüfungen in den jeweiligen Verfahren.
Für weitere Informationen wenden Sie sich an: vergleichspruefungen@dgzfp.de

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

Fachgesellschaft akkreditierter ZfP-Prüfstellen – eine Fachgesellschaft der DGZfP



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG e.V.

Wir garantieren Qualität!

Fordern Sie bitte kostenloses Informationsmaterial an:

Geschäftsstelle F-GZP/DGZfP

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

www.dgzfp.de/fgzp

Datenfusion für das multivariate Condition-Monitoring von Antriebssträngen

[C. Schmidt](#)¹, O. Mey², S. Klein¹, A. Schneider², D. Mayer², O. Enge-Rosenblatt², H.-G. Herrmann¹

¹ Fraunhofer IZFP, Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren, Saarbrücken;

² Fraunhofer IIS/EAS, Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, Institutsteil Entwicklung Adaptiver Systeme, Dresden

Die steigende Nachfrage nach effizienten, zuverlässigen und verfügbaren industriellen Produktionsanlagen hat zur Entwicklung von Systemen zur kontinuierlichen Zustandsüberwachung (CM) geführt. Durch die Analyse von Sensorsignalen und eine frühzeitige Erkennung und Klassifizierung von Schäden durch CM-Systeme, können drohende Ausfälle bedingt durch Verschleiß frühzeitig erkannt werden, was eine kosteneffiziente vorausschauende Wartung von Fertigungssystemen ermöglicht und schwere Schäden verhindert. Die Datenanalyse kann durch die Anwendung von Algorithmen des maschinellen Lernens (ML) und die Fusion von Daten aus heterogenen Sensoren verbessert werden. Mittels einer eigens entwickelten, flexiblen, IoT-fähigen Linux-Plattform wurde ein Demonstratorsystem entwickelt. Mit diesem wurde eine schrittweise Integration von Klassifizierungen aus Vibrations- und Acoustic Emission-Sensoren (AE-Sensoren) umgesetzt, um die Informationen aus Signalen zu kombinieren, die im Nieder- und Hochfrequenzbereich erfasst werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass mit der vorgeschlagenen Kombination aus Vibrations- und AE-Sensorik sowie dem Algorithmus zur Fusion der Klassifikatoren eine Verbesserung der Schadensklassifizierung sowie Robustheit erreicht werden kann. Eine Anpassung und Erweiterung für weitere Anwendungen und Sensormodalitäten ist möglich.

AUSSTELLER

BW Plus NDT GmbH & Co. KG

Kontakt: Peer Marx
Telefon: +49 173 795 4012
E-Mail: p.marx@bwplusndt.de
Webseite: www.bwplusndt.de



Die BW Plus NDT ist ein Handelsunternehmen, das Produkte der namhaftesten Hersteller aus der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung vertreibt. Unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Außendienst sind auf analoges und digitales Röntgen, UT, VT, PT, MT, HT und ET spezialisiert. Seit fast 20 Jahren arbeitet das Unternehmen im Bereich der zerstörungsfreien Materialprüfung und hat sich als langjähriger Partner, der immer größer und komplexer gewordenen Kundschaft etabliert.

Unser Produktportfolio hat sich stetig erweitert und ermöglicht es uns, unseren Kunden eine 360-Grad Betreuung im gesamten NDT-Bereich zu bieten.

Carestream NDT

Kontakt: Kai-Uwe Summerer
Telefon: +49 151 65009038
E-Mail: kai-uwe.summerer@carestream.com
Webseite: www.carestream.com/specials/virtual-ndt/index.htm



CarestreamNDT ist ein weltweit führender Hersteller von Premium-Produkten für die analoge (Röntgenfilm) und digitale (CR/DR) Radiographie in der ZfP-Branche:

- Röntgenfilme + Fotochemikalien + Entwicklungsmaschinen (BAM zertifiziert)
- Digitale Radiographiesysteme – auch DR in „non glass“ Technologie (BAM zertifiziert)
- Computergestützte Radiographie – CR – Speicherfoliensysteme (BAM zertifiziert)
- Digitale Bildbetrachtungs – Software „Industrex“, arbeitet universell mit allen CR/DR Systemen.
- Digitales Zubehör und Speicherfolien in verschiedensten Ausführungen

DGZfP Ausbildung und Training GmbH

Kontakt: Karina Bachmann
Telefon: +49 30 67807-130
E-Mail: ausbildung@dgzfp.de
Webseite: www.dgzfp.de



DGZfP
AUSBILDUNG UND
TRAINING GmbH

Die DGZfP Ausbildung und Training GmbH ist der größte Anbieter für die Qualifikation von ZfP-Prüfpersonal in Deutschland. Mit ihrem umfangreichen Schulungsprogramm qualifiziert sie Prüfpersonal entsprechend den industriellen Anforderungen auf der Grundlage eines internationalen Regelwerkes. Neben Berlin unterhält die DGZfP weitere Ausbildungszentren in Hamburg, Wittenberge, Magdeburg, Dortmund, Mannheim, Dresden und München. Auf Wunsch der Kund*innen kann auch eine Inhouse-Schulung am Firmensitz durchgeführt werden.

DGZfP e.V.

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



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG e.V.

Die Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e. V. ist ein gemeinnütziger Verein, der es sich zur Aufgabe gemacht hat, die Anwendung zerstörungsfreier Prüfungen (ZfP) in der Industrie zu verbreiten.

Die Entwicklung und Verbreitung dieser Prüfverfahren unterstützen wir durch Gremienarbeit, Konferenzen und Schulungen, aber auch durch Öffentlichkeitsarbeit und die Erstellung von Fachliteratur. Wir fördern so den Austausch zwischen Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Hochschulen und vertreten die Interessen von rund 1.600 Mitgliedern aus allen Bereichen der Industrie. Für den fachlichen Austausch bieten wir somit ein exzellentes Netzwerk.

DÜRR NDT GmbH & Co. KG

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



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

Eddyfi Technologies

Kontakt: Mara Gundel
Telefon: +49 172 6900 458
E-Mail: mgundel@eddyfi.com
Webseite: www.eddyfi.com



Eddyfi Technologies provides the most advanced NDT technologies in the world, helping OEMs, asset owners and service companies enhance productivity, save lives, and protect the environment. Its mission is to provide unmatched advanced NDT solutions enabled by its expertise and technology leadership. Eddyfi Technologies offers a diversified portfolio of NDT sensors, instruments, software and robotic solutions for the inspection of critical components and assets in key industries such as aerospace, energy, and power generation.

E.F.-Agentur für ZfP Prüfer

Kontakt: Jörn Rademacher
Telefon: +49 172 64370361
E-Mail: info@zfp-pruefer.de
Webseite: www.zfp-pruefer.de



Die E.F.-Agentur für ZfP Prüfer ist ein Dienstleister im Bereich der Vermittlung von Prüfaufträgen und Prüfern in der zerstörungsfreien Materialprüfung und einzigartig im gesamten DACH-Raum. Gerne sind wir auch behilflich bei der Suche in der zerstörenden Materialprüfung. Als Dienstleistungsunternehmen sind wir Ihre erste Wahl, wenn es um Qualität und Schnelligkeit geht.

Wir Suchen und Finden – während Sie sich weiter um Ihr Geschäft kümmern können. Besuchen Sie auch unseren einzigartigen Marketplace der neuen Generation.

EVIDENT Europe GmbH (Olympus)

Kontakt: Andrea Rackow
Telefon: +49 40 23773-0
E-Mail: insidesales@olympus.de
Webseite: www.evidentscientific.com



Der Industrie Bereich von Evident umfasst Mikroskope und Videoskope, Produkte für zerstörungsfreie Prüftechniken sowie RFA-Analysatoren. Die Technologien von Evident richten sich an Kunden in den Bereichen Produktwartung und -fertigung sowie Umweltuntersuchungen. Evident Produkte stützen sich auf hochmoderne Technologien und finden weitverbreiteten Einsatz in der Qualitätskontrolle, in der Infrastrukturprüfung und in der Messtechnik.

**Framatome GmbH
Abt. Qualicon**



Kontakt: Karsten Rohde
Telefon: +49 9131 900-92113
E-Mail: Karsten.Rohde@framatome.com
Webseite: www.framatome.com/EN/customer-4108/nondestructive-testing.html

Die Framatome GmbH ist mit seinen ca. 3.000 Mitarbeiter:innen ein international agierendes Unternehmen im Bereich der Kernenergie.

Als eine Abteilung der Framatome GmbH mit ca. 120 Mitarbeiter:innen führt die Qualicon seit mehr als 40 Jahren zerstörungsfreie Prüfungen an sicherheitstechnisch relevanten Bauteilen und Großkomponenten verschiedenster Industriesparten durch. Neben der Qualifizierung und Entwicklung neuer Prüftechniken sowie dem Prüfservice in Kernkraftwerken mit eigenen Prüfsystemen liefert Qualicon komplette Anlagen für mechanisierte Prüfungen im nichtnuklearen Industriemarkt (insbesondere in den Bereichen Luft- und Raumfahrt, Bahn- sowie Schmiedewesen). Des Weiteren führt Qualicon mechanisierte Ultraschallprüfungen an Radsatzwellen im Eisenbahnwesen durch.

**Fraunhofer-Institut für Keramische
Technologien und Systeme IKTS**



Kontakt: Stephan Heilmann
Telefon: +49 351 88815-501
E-Mail: info@ikts.fraunhofer.de
Webseite: www.ikts.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Keramische
Technologien und Systeme IKTS

Das Fraunhofer IKTS am Standort Dresden-Klotzsche beschäftigt sich seit vielen Jahren mit Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP). Neben Methoden, Sensoren und Geräten für verschiedene Arten der ZfP konzentriert sich die Arbeit auf Dienstleistungs- und Forschungskooperationen für die Material- und Bauteildiagnose, die strukturelle Gesundheitsüberwachung, die Nanoanalytik und Sensorik sowie Bio- und Umwelttechnik.

**Fraunhofer-Institut für Techno- und
Wirtschaftsmathematik ITWM**

Kontakt: Dr. Joachim Jonuscheit
Telefon: +49 631316000
E-Mail: teratec@itwm.fraunhofer.de
Webseite: www.itwm.fraunhofer.de

Die Abteilung »Materialcharakterisierung und -prüfung« des Fraunhofer ITWM entwickelt in enger Zusammenarbeit mit Partnern aus Industrie und Forschung maßgeschneiderte, industriell taugliche optische Prüfsysteme. Die Technologien reichen von der optischen Kohärenztomographie (OCT) im sichtbaren Spektralbereich über die Zeitbereichsspektroskopie im Terahertz-Frequenzbereich bis zu elektronischen Systemkonzepten im Millimeterwellenbereich. Diese Systeme werden eingesetzt in:

- Qualitätssicherung und -optimierung
- Oberflächen- und Materialcharakterisierung
- In-line, at-line und off-line Inspektion

GMH Prüftechnik GmbH

Kontakt: Thorsten Schürmann
Telefon: +49 170 5334779
E-Mail: t.schuermann@gmh-prueftechnik.de
Webseite: www.gmh-prueftechnik.de

Die GMH Prüftechnik GmbH ist der Hersteller für hochwertige Prüfanlagen mit Sitz in Nürnberg und gehört zur global agierenden Georgsmarienhütte. Wir liefern mechanisierte, halbautomatische und vollautomatische Prüfanlagen für ein breites Feld von Anwendungen in der Stahl- und stahlverarbeitenden Industrie, im Schienenverkehr und für zahlreiche weitere Anwendungsgebiete der Industrie. Hier tragen unsere Prüfanlagen maßgeblich zur Qualitätssicherung und -kontrolle bei - sowohl in der Produktion als auch im mobilen Einsatz. Wenn es die Anwendung erfordert, kombinieren wir auch verschiedene Prüfverfahren (Ultraschall, Wirbelstrom) in einer Anlage - immer mit der Zielsetzung das optimale Zusammenspiel der Faktoren Prüfergebnis, Qualität und Wirtschaftlichkeit zu erreichen.

hf sensor GmbH

Kontakt: Dr. Arndt Göller
Telefon: +49 341-497260
E-Mail: sales@hf-sensor.de
Webseite: www.hf-sensor.de



Die hf sensor GmbH ist ein Systemhaus für Mikrowellensorik. Hierfür stellt hf sensor ein modular aufgebautes breites Produkt- und Lösungsspektrum zur Verfügung und verfügt über umfangreiches Spezialwissen. In der Materialfeuchtemesstechnik bietet hf sensor mit dem MOIST-Baukastensystem eine große Palette von Feuchtesensoren und -messgeräten an. Im Geschäftsfeld Mikrowellen-TS-Sensorik fertigt hf sensor Prozess-TS-Sensoren, Laborgeräte und Handgeräte. Für die Bestimmung von Stoffparametern in komplexen Vielstoffgemischen wurden vor kurzem neue mikrowellenspektroskopische Messsysteme eingeführt. Das Geschäftsfeld Microwave Imaging beinhaltet Mikrowellenscanner als bildgebende Mikrowellen-Messsysteme. Daneben stellt hf sensor seit einigen Jahren auch Sensoren und Lösungen für die mikrowellenbasierte Defektoskopie her.

Hillger NDT GmbH

Kontakt: Dr.-Ing. Wolfgang Hillger
Telefon: +49 5307 7945
E-Mail: info@hillger-ndt.de
Webseite: www.hillger-ndt.de



Die Firma Hillger NDT GmbH wurde 1984 als Ingenieurbüro Dr. Hillger gegründet und gehört seit 2019 zur Butting Gruppe. Unser Firma entwickelt, baut und vertreibt spezielle bildgebende Ultraschallprüfsysteme im Frequenzbereich von 10 kHz bis 200 MHz sowohl für Anwendungen in der für Industrie als auch für Forschung und Entwicklung. Seit 1998 entwickeln wir auch koppelmittelfreie Systeme mit Ankopplung über Luft. Erfolgreiche Industrieereinsätze erfolgten bei den Firmen Airbus Helicopters in Donauwörth und bei RUAG SPACE in der Schweiz.

ibg Prüfcomputer GmbH

Kontakt: Wolfgang Korpus
Telefon: +49 9194 7384-0
E-Mail: info@ibgndt.de
Webseite: www.ibgndt.de



ibg ist einer der weltweit führenden Hersteller von Wirbelstromprüfgeräten für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung (NDT). Zum einen entwickeln und produzieren wir Prüfgeräte und Prüfanlagen zur Detektion von Rissen, Poren und anderen Oberflächendefekten sowie Schleifbrand; auf der anderen Seite Geräte und Anlagen zur magnetinduktiven Gefügeprüfung: Prüfung auf Gefügemerkmale wie Materialverwechslung, Härte, RHT, EHT, Vergütung, Kernfestigkeit, Weichfleckigkeit, Charge, Gußgefüge, Ledeburit, Sphäroguß, Schleifbrand, Entkohlung und viele andere.

**InfraTec GmbH Infrarotsensorik
und Messtechnik****INFRA**TEC.

Kontakt: André Kipp
Telefon: +49 351 82876-600
E-Mail: thermo@infrotec.de
Webseite: www.infrotec.de

InfraTec bietet Thermografie-Lösungen für die zerstörungsfreie Prüfung und aktive Thermografie in Wissenschaft und Industrie. Die Thermografie ermöglicht die berührungslose Fehlerprüfung von elektronischen Bauteilen und Baugruppen während des Fertigungsprozesses sowie die Analyse des thermischen Verhaltens von Prüfkörpern im Bereich der Material- und Bauteilprüfung. Vorteilhaft ist dabei die HDR-Funktion der Wärmebildkamera ImageIR®. Sie erlaubt das kontinuierliche Aufnehmen von Messszenarien, die stark voneinander abweichende Temperaturen aufweisen, sowie das thermische Analysieren von Messobjekten, die extrem schnelle Temperaturänderungen über einen sehr großen Bereich hinweg erfahren.

IT-Service Leipzig GmbH

Kontakt: Matthias Spieß
Telefon: +49 2129 3457912
E-Mail: info@its-leipzig.com
Webseite: www.it-service-leipzig.com



Die IT-Service Leipzig GmbH bietet Ingenieur-Technischen Service in RT, UT, MT, PT, VT, LT, HT, DR. Neben dem Vertrieb von Geräten und Zubehör bietet sie kurzfristig Reparatur- und Wartungsleistungen sowie Ersatz- und Leihgeräte an. Eigene Elektronik- und Mechanikwerkstätten ermöglichen Sonderanfertigungen nach Kundenwunsch. Als Vertriebs- und Servicepartner von OSERIX liefert IT-S zuverlässige Gamma-Radiografie-Technik inkl. Zubehör und Strahlungsquellen (Ir-192, Se-75, Co-60 und Cs-137) inkl. Quellenwechsel-, Jahreswartungs- und Reparaturservice. Die IT-Service Leipzig GmbH ist unter anderem Channel Partner von Baker Hughes Energy Services LLC und Vertragspartner von Yxlon.

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

Kontakt: Dietger Schäle
Telefon: +49 202 7192-0
E-Mail: info@karldeutsch.de
Webseite: www.karldeutsch.de

KARL DEUTSCH**KARL DEUTSCH – Mit Sicherheit geprüft!**

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

KOWOTEST GmbH

Kontakt: Fritz Hörauf
Telefon: +49 2173-22383
E-Mail: info@kowotest.de
Webseite: www.kowotest.de



KOWOTEST ist Hersteller und Lieferant von Zubehör für die Zerstörungsfreie Prüfung, insbesondere für die Röntgenprüfung. Zur Filmtechnik bieten wir das komplette Sortiment von der Aufnahme bis hin zum Strahlenschutz an. Für digitale Röntgentechnik CR, DR und CT sind wir spezialisiert auf Prüfkörper wie Doppeldraht-BPK, CR-, DR-, CT-Phantome. Mit der KOWOSPOT X haben wir ein Tool für die einfache Überprüfung der Brennfleckgröße an Röntgenröhren und mit dem KOWOSCAN X einen Scanner, der durch das neuartige Konzept Röntgenfilme mit höchster Auflösung in Sekundenschnelle digitalisiert.

Laubinger + Rickmann GmbH & Co. KG

Kontakt: Philipp Hettich
Telefon: +49 160 1094209
E-Mail: hettich@laubinger-rickmann.de
Webseite: www.laubinger-rickmann.de



Seit 50 Jahren fertigt Laubinger + Rickmann (L+R) individuelle Sondermaschinen für höchste Qualitätsansprüche.

Die Anlagen zur Eindringprüfung (PT) von L+R werden speziell für die Anforderungen des jeweiligen Bauteils und des damit verbundenen Prüfprozesses entwickelt. Kundenspezifische Lösungen bezüglich Durchsatz, Automationsgrad und Platzverhältnissen sind dabei unsere Spezialität.

MITOS GmbH

Kontakt: Marian Willner
Telefon: +49 89 5484 2170
E-Mail: marian.willner@mitos.de
Webseite: www.mitos.de



MITOS entwickelt die Software X-AID, eine System-unabhängige Lösung für die industrielle Computertomografie. Von der Rekonstruktion der Schnittbilder aus den Projektionsdaten verschiedenster CT Aufnahme-Modi, der Korrektur diverser CT Artefakte wie Strahlaufhärtung oder Streuung, der Analyse spezifischer Strukturen bzw. Fehlstellen im Volumen bis zur 3D Visualisierung der resultierenden Daten; mit X-AID lassen sich sämtliche Schritte der CT Datenbearbeitung schnell und einfach durchführen sowie ganze Arbeitsabläufe individuell automatisieren.

NDT-Service GmbH

Kontakt: Rolf Rogasik
Telefon: +49 171 2733734
E-Mail: rolf.rogasik@ndt-service.de
Webseite: www.ndt-service.de



Vertrieb und Applikation für Geräte und Anlagen für die zerstörungsfreie Prüfung.
Carestream – Speicherfoliensysteme, Detektoren und Röntgenfilme
Tedyne ICM – mobile Röntgenröhren und Detektorsysteme
Gildaroni: Röntgenkabinensysteme inkl. CT
ISEND: Inline-Wirbelstromprüfung von Langprodukten
Proceq: Ultraschall Prüfgeräte

Nikon Metrology GmbH

Kontakt: Gábor Szabó
Telefon: +49 151 40246345
E-Mail: Gabor.szabo@nikon.com
Webseite: www.nikon.com



Nikon Metrology bietet Messlösungen für vielfältige Anwendungen: von der Maßhaltigkeitsprüfung an Miniaturelektroniken bis zur Überwachung der Passgenauigkeit von Baugruppen. Die optischen Präzisionslösungen und die Computertomografie tragen zu einem effizienten Produktionsprozess, vom Entwurf bis zur Fertigung, bei. Qualitätsprodukte werden in kürzerer Zeit geliefert.

NUCLEAR GmbH – Anlagen und Geräte für Strahlentechnik

Kontakt: Jeanette Gärtner
Telefon: +49 211 382015
E-Mail: info@nuclear-gmbh.de
Webseite: www.nuclear-gmbh.de



Vertrieb gamma-radiografischer Arbeitsgeräte inkl. Zubehör der Typen Teletron SU, Teletron RB 1, Sentinel 880, 1075 ScarPro.

Vertrieb radioaktiver Isotope wie IR-192, SE-75 und CO-60 in verschiedenen Kapsulierungen inkl. Strahlerhalterwartung u. -wechsel, Rücknahme abgeklungener Strahlenquellen. Jahresinspektionen und Reparaturen an den Gammageräten Teletron SU, Teletron RB1, Teletron DS 2, Sentinel 880 - Delta/Elite/Omega, 1075 ScarPro, Sentinel Sentry 110, Gammamat TI/TSI Serie sowie Zubehörteilen.

Bereitstellung von Leihgeräten.

ADR-Transporte, Kundenservice vor Ort

Beratung in allen Fragen hinsichtlich Strahlenschutz und Strahlentechnik.

PIBS

Kontakt: Ralf Vellen
Telefon: +49 2445-5465
E-Mail: info@pibs.de
Webseite: www.pibs.de



PIBS steht seit mehr als 30 Jahren unter der Gründung und Leitung von Irene Vellen für die erfolgsorientierte und qualifizierte Aus- und Weiterbildung in der Zerstörungsfreien Werkstoffprüfung (ISO 9712, DIN 54161). Auch in der nächsten Generation mit Ralf Vellen bleibt PIBS weiterhin als anerkannte DGZfP-Ausbildungsstätte ein zuverlässiger Partner für die Aus- und Weiterbildung von Fachpersonal. Zur Erreichung der erforderlichen Qualifizierungsbedarfe bieten wir kundennahe und flexible Ausbildungsprogramme mit einheitlichem Qualitätsstandard, sowohl bei der In-Haus-Schulung als auch bei der kombinierten Online- und Präsenzs Schulung.

Rohmann GmbH

Kontakt: Petra Rohmann
Telefon: +49 6233 3789-0
E-Mail: info@rohmann.de
Webseite: www.rohmann.de



Rohmann GmbH – 45 Jahre Wirbelstromprüfung

Seit ihrer Gründung im Jahr 1977 hat sich die Rohmann GmbH auf die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mittels Wirbelstrom spezialisiert. Die umfangreiche Produktpalette reicht von Sensoren über Spulen, Rotoren und universellen Handgeräten bis hin zur maßgeschneiderten Prüfanlage. Kunden aus den verschiedensten Industriezweigen wie Luftfahrt, Automobil, Schienenverkehr und Stahlindustrie schätzen die Arbeit des familiengeführten Unternehmens.

SONOTEC GmbH

Kontakt: Dirk Willmann
Telefon: +49 345 13317-849
E-Mail: dirk.willmann@sonotec.de
Webseite: www.sonotec.de

Gegründet 1991 ist die SONOTEC GmbH heute ein weltweit führender Produkt- und Lösungsspezialist für Präzisionsmesstechnik. Mit über 190 Mitarbeitern entwickelt und fertigt das Technologieunternehmen am mitteldeutschen Standort Halle (Saale) in den drei Geschäftsbereichen – Nicht-invasive Flüssigkeitsüberwachung, Vorbeugende Instandhaltung und Ultraschallwandler – innovative Ultraschallmesstechnik. Zum weltweit vertriebenen Portfolio zählen kundenspezifische Ultraschallwandler und -sensoren sowie Prüfgeräte und Messtechniklösungen für eine Vielzahl verschiedener Branchen und Industrien.

Springer New Technologies GmbH

**SPRINGER NEW
TECHNOLOGIES GmbH**
for ultra sound NDT
and eddycurrent solutions



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

Die Firma Springer New Technologies GmbH ist ein eigenständiges Vertriebsbüro für physikalische Messtechnik, mit Fokus auf zerstörungsfreie Prüfmethoden. Vetreten werden die Firmen für Ultraschall: SONATEST, PEAK, Phoenix ISL; für Wirbelstrom & EMAT: ETHER NDE; für Terahertz ZfP, MFL-Scanner, Farbeindringtests & MPI: Baugh&Weedon. Kundenspezifische Anlagen für die ZfP-Automatisierung für rotationssymmetrische Bauteile werden mit dem Partner ARNOLD RV hergestellt. Ein Spezialgebiet ist das in-line Prüfen bei der Metall Additiven Fertigung.

TOPndt Service GmbH

Kontakt: Riccardo Russo
Telefon: +49 176 34358616
E-Mail: info@topndt-service.de
Webseite: www.topndt-service.de



DTOPndt Service GmbH

Der zuverlässige und kompetenter Partner für Ihr ndt-Prüfequipment.

Ein junges Unternehmen, mit einem sehr erfahrenen und kompetenten Team im Fachbereich der ZfP.

Unser Anspruch: flexibel und transparent, eine hohe Professionalität sowie kurze Bearbeitungszeiten.

Kalibrierarbeiten / Wartungen / Inspektionen / Instandsetzungsarbeiten / Handel mit Neu- und Gebrauchtequipment

TÜV SAARLAND HOLDING GMBH

Kontakt: Holger Haßdenteufel
Telefon: +49 151 15059662
E-Mail: holger.hassdenteufel@tuev-saar.de
Webseite: www.tuev-zfp.de



Intelligente Prüfverfahren für den gesamten Materialzyklus: TÜV Saarland ZfP-Gruppe Prüfen, Schulen, Zertifizieren. Zerstörungsfreie Prüfverfahren der TÜV Saarland ZfP-Gruppe

Zerstörungsfreie Prüfverfahren liefern wichtige Informationen über den ganzen Material-Lebenszyklus. Das Einsatzfeld von zerstörungsfreien Prüfverfahren wächst mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Techniken stetig. Von den Materialtests in der Produktion, über die Nutzungsphase bis hin zur Wiederverwertung, umfasst ZfP inzwischen den gesamten Lebenszyklus des Materials. Das Portfolio der TÜV Saarland ZfP-Gruppe beinhaltet für Sie Beides: eingeführte wie neuentwickelte Verfahren sowie die entsprechenden Schulungen und Weiterbildungen inkl. der Zertifizierung Ihrer Mitarbeiter.

THE PHASED ARRAY COMPANY (TPAC)

Kontakt: Hervé Saulais
Telefon: +33 240563029
E-Mail: contact@tpac-ndt.com
Webseite: www.tpac-ndt.com



TPAC is a leading Ultrasonic technology company focused on providing the NDT industry with the right solution. We can provide standard off-the-shelf or custom solutions to challenging problems. With over 25 years of experience in Phased Array Ultrasound, we can even provide custom software, probes and electronics. Our team of experts range from practical NDT to research scientists that specialize in Physics, Signal Processing and Material Science. Our latest breakthrough includes our family of imaging algorithms based on FMC/TFM, a high resolution imaging technology. Paired with our small form factor and high performance electronics we are ready to help you from A to Z!

VCxray by VisiConsult Xray Systems & Solutions GmbH

Kontakt: Ulrich Brand
Telefon: +49 451 290 286 0
E-Mail: u.brand@visiconsult.de
Webseite: www.visiconsult.de



VisiConsult ist ein Familienunternehmen aus Norddeutschland und gilt als innovativer Spezialist für Röntgen Standardkabinen und kundenspezifische Sonderanlagen. Um höchste Qualitätsstandards zu gewährleisten, werden alle Produkte intern nach ISO 9001 entwickelt und gefertigt. Weiterhin wird auf lokale Zulieferer und Nachhaltigkeit gesetzt. Unsere Systeme werden an die Prozesse unserer Kunden angepasst und schlüsselfertig geliefert, wobei Kunden besonders die hohe Flexibilität und außergewöhnliche Zuverlässigkeit schätzen. Mehr als 25 Jahre Erfahrung in Bildverarbeitung und besonders Automatischer Fehlererkennung (ADR) führen zu hocheffizienten Lösungen "Made in Germany".

Verasonics Inc.

Kontakt: Toni Baumann
Telefon: +1 425-998-9836 x104
E-Mail: tonibaumann@verasonics.com
Webseite: www.verasonics.com



Verasonics designs and markets leading-edge Vantage™ Research Ultrasound Systems for academic and commercial investigators. These real-time, software-based, programmable ultrasound systems accelerate research by providing unsurpassed speed and control to simplify the data collection and analysis process. Researchers in more than 35 countries routinely use the unparalleled flexibility of the Vantage platform to advance the art and science of ultrasound through their own research efforts. In addition, every Vantage System can be upgraded to any configuration - protecting capital equipment investments and expanding research options. Verasonics' Vantage Systems are the ideal solution for ultrasound-driven research and development in biomedical, materials science, earth sciences, and the physics of acoustics.

VOGT Ultrasonics GmbH

Kontakt: Carsten Köhler
Telefon: +49 5139 9815-0
E-Mail: info@vogt-ultrasonics.de
Webseite: www.vogt-ultrasonics.de



Seit 1983 ist die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung unsere Leidenschaft. Wir bieten unseren Kunden hochleistungsfähige Ultraschallprüfsysteme nach Baukastenprinzip – ideal angepasst auf die individuelle Prüfaufgabe (Inline und Offline), Ultraschall Phased Array Schweißpunktprüfsysteme für die manuelle und robotergesteuerte Schweißpunktprüfung – mit dem Fokus auf Benutzerfreundlichkeit und höchster Genauigkeit und wir übernehmen mit unserem Prüfzentrum in Burgwedel (bei Hannover) die automatisierte Einzel- und Serienprüfung von Bauteilen in Ultraschall-Tauchtechnik - schnell, zuverlässig und normgerecht.

W.S. Werkstoff Service GmbH

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



Wir sind Ihr Partner für Werkstofftechnik und Werkstoffprüfung. Unsere akkreditierte Inspektionsstelle (ISO/IEC 17020) und unser akkreditiertes Prüflabor (ISO/IEC 17025) unterstützen Sie mit Ingenieursdienstleistungen, Schadensanalytik und bei komplexen Prüfungen. Unsere DGZfP-anerkannte Ausbildungsstätte (ISO 9001, IHK, AZAV) bietet Präsenz-, Online- und In-House- Kurse zu Werkstofftechnik und Werkstoffprüfung in ZP und ZfP an (ISO 9712, DIN 54161).

Waygate Technologies

Kontakt: Gerd Heitmann
Telefon: +49 2233-601-0
E-Mail: waygate_technologies@bakerhughes.com
Webseite: www.waygate-tech.com



Waygate Technologies ist ein Unternehmen für industrielle Inspektionstechnik und Weltmarktführer in der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP). In seiner langen Geschichte vereint Waygate Technologies mehr als 125 Jahre Erfahrung und das Erbe renommierter Branchennamen wie Krautkrämer, phoenix|x-ray, Seifert, Everest und Agfa NDT sowie eine globale DNA mit der unübertroffenen Präzision deutscher Ingenieurskunst. Wir bieten ein umfassendes Portfolio preisgekrönter Technologien in den Bereichen industrielle Radiographie und Computertomographie (CT), visuelle Prüfung, Ultraschall, Wirbelstromtechnologie und robotergesteuerte Inspektion. Waygate Technologies hat seinen Hauptsitz in Deutschland und ist Teil des Bereichs Digital Solutions im Baker Hughes Konzern (NASDAQ: BKR).

YXLON International GmbH



Kontakt: Ana Segrt
Telefon: +49 40 52729-0
E-Mail: marketing@hbg.yxlon.com
Webseite: www.yxlon.de

Yxlon International ist ein Unternehmen der Schweizer Comet Holding AG. Sie entwickelt, produziert und vermarktet High-End-Röntgen- und CT-Systemlösungen für industrielle Anwendungen – von F&E-Laboren bis hin zu Produktionsumgebungen. Ob in der Automobil-, Luftfahrt- oder Elektronikindustrie, für traditionelle oder neue Herstellungsverfahren und Materialien, Yxlon's Prüfsysteme sichern seit 1998 weltweit die Qualität unterschiedlichster Produkte und Komponenten, verkürzen Entwicklungszeiten und unterstützen bei der Optimierung von Fertigungsprozessen.

Abreu, A.	Mi.1.C.3	Bulavinov, A.	Mo.2.B.3, Di.2.C.1
Abt, C.	Mi.2.B.3	Burbaum, B.	Mi.1.C.2
Achzet, M.	Mi.2.C.5	Butzer, J.	P6
Ahmadzadeh, M.	P24	Casperson, R.	Di.2.A.3
Akstaller, B.	Mi.2.C.2, Mi.3.C.3, P7, P11, P12	Chinta, P.K.	P21
Algernon, D.	Mo.3.A.3, Di.1.B.1, Di.1.B.3	Crosbie, L.	Mo.2.A.5
Altenburg, S.J.	Mi.2.A.4	Császár, L.	Mi.2.B.5
Altmann, F.	Mi.1.B.2	Dahmen, N.	P15
Alward, K.	Di.2.B.1	Dedyaeva, P.	P3
Anton, G.	Mi.2.C.2, Mi.3.C.3, P7, P11, P12	Dengiz, N.	Mi.2.B.5
Arzig, M.	P5	Dersch, A.	Mi.2.B.2, P10
Balensiefer, T.	P21	Deters, C.	P21
Barroso, D.	Mo.3.C.2	Dethof, F.	Mi.2.B.4, P22
Barth, M.	Mo.3.A.2	Deutsch, W.	Mo.2.A.2
Bastian, M.	P17	Dieck, S.	Mi.3.A.3
Baudrit, B.	P17	Dierks, T.	Mo.2.A.2
Baum, D.	Di.1.C.2	Dietl, K.	P17
Baumgarten, U.	P25	Dietrich, L.	Mi.2.C.2, Mi.3.C.3, P11
Bavendiek, K.	Mo.2.A.4, P8	Dilger, K.	Di.1.A.1
Becker, S.	Mi.3.A.2	Doering, A.	P6
Becker, T.	Mi.2.A.4	Ehlers, H.	Mi.2.A.2, Mi.2.A.5
Beiküfner, T.	Di.2.B.4	Ehrler, J.	Mi.2.A.1, P35
Bente, K.	Mi.1.C.4	Eitzinger, C.	Di.2.C.1
Berendt, T.	Di.2.C.2	EL-Hajjaji, H.	P28
Berg, H.M.	Mi.1.A.1	Enge-Rosenblatt, O.	P39
Berg, H.W.	Mi.1.A.1	Esch, K.	P12
Bernauer, F.	P1	Essig, W.	Mi.1.C.1
Bernhardt, Y.	Di.2.C.3, Mi.1.C.1, Mi.2.B.5,	Evsevelev, S.	Di.1.C.5
.....	Mi.2.C.1, P14	Ewert, U.	Mi.2.B.2, P9, P10
Bertovic, M.	Mo.3.B.3, Mi.2.B.1, Mi.2.B.4, P33	Faber, J.	Mi.2.C.5
Beuße, F.	P32	Fausten, T.	Mo.2.B.4
Bircher, B.	Mi.2.B.2, P10	Feistkorn, S.	Di.1.B.1
Bliedtner, K.	P3	Felsner, K.	Di.2.C.1
Böhm, S.	Di.1.A.1, Mi.1.B.1	Finckbohner, M.	Di.1.A.4
Boldyrev, A.	Di.2.C.1	Fischer, B.	Mi.1.C.2
Boller, C.	P38	Fontoura Barroso, D.	P1
Bömkes, A.-K.	Di.2.B.3	Friedmann, S.	Mi.3.C.2
Bonitz, F.	Di.1.B.5	Frieß, M.	Mi.2.B.3
Brackrock, D.	P33	Fuchs, M.	Mi.2.B.5
Brand, S.	Mi.1.B.2	Funk, A.	Mo.3.C.3
Braun, D.	Mo.2.A.2	Funk, S.	Mi.2.C.2, Mi.3.C.3, P7, P11, P12
Brauns, M.	Mi.1.C.2, Mi.1.C.3	Gaal, M.	Mi.1.C.4, Mi.2.B.5, P23, P24
Breese, P.P.	Mi.2.A.4	Gaul, T.	P30
Brinkmann, M.	Mi.3.A.1	Gautzsch, T.	Mi.2.B.5
Brosta, N.	Mi.1.B.2	Ghafafian, C.	Mi.2.C.4
Bruno, G.	Di.1.C.5	Gieser, H.	Mi.1.B.2

Given, J.	Mo.3.B.3, Mi.2.B.4	Jelinek, M.	Mi.2.B.3
Gohlke, D.	Mi.1.C.4, Mi.2.B.5, P23	Jennerjahn, I.	Mi.1.C.1
Göller, A.	P15	Joas, S.	Di.2.B.2
Gordei, A.	Mi.2.A.2	Jüngert, A.	Mi.2.B.1, Mi.2.B.4, P33
Gramberger, T.	Di.2.C.3	Jungmann, C.	Mi.1.A.4, Mi.1.B.2
Grünsteidl, C.	Di.1.C.4	Jungstand, B.	P15
Grunwald, M.	Mo.3.C.3, Mi.3.C.2	Jutkuhn, D.	Mi.2.A.5
Grzonkowski, G.	Di.2.C.4	Kahmann, F.	P21
Gude, M.	P14	Kaniak, G.	Mi.1.C.2
Gumbmann, F.	Mi.3.A.1	Kanzler, D.	Mo.3.B.3, Mi.2.B.1, Mi.2.B.4, P33
Haderer, W.	Di.1.C.4	Kaps, C.	Mi.3.B.1
Hadziioannou, C.	P1	Kattinger, J.	Mi.2.A.1
Hahn-Jose, T.	Mi.2.B.5	Keil, A.	Mi.3.A.2
Hamberger, G.	Mi.3.A.1	Keil, J.	Di.1.B.4
Hannibal, D.	P19	Keller, A.	P18
Hansen, J.	Mo.2.B.8	Kerschbaummayr, C.	Di.1.C.4
Hartnagel, U.	P6	Keßler, S.	Mi.2.B.4, P22
Hassenstein, C.	Di.2.C.2	Khrapov, D.	Di.1.C.5
Hausotte, T.	Mo.3.C.1	Kiel, M.	Mi.2.B.5
Heckel, T.	Mo.3.B.3, Di.2.A.3, Di.2.C.2, Mi.2.B.1, Mi.2.B.4, Mi.2.B.5, P33	Kierspel, S.	Mo.2.B.1
Heib, T.	Di.1.C.3, P37	Kinzinger, J.	P6
Heinrichsdorff, F.	Mi.2.A.2	Kipp, A.	Mo.2.B.7
Helfen, T.	P29	Kitzmann, R.	Mo.2.B.2, Di.2.A.4
Hendorfer, G.	Di.1.A.2	Klein, S.	P39
Herold, F.	P3	Kochan, J.	Mi.2.A.2
Herrmann, H.-G.	Di.1.C.3, Mi.1.A.4, P37, P39	Köchel, O.	Mi.1.B.3
Herzer, F.	Mi.2.A.3	Koerdt, M.	Mi.2.C.3
Hetterich, A.	Mi.3.B.2	Kohn, K.-U.	Mi.2.C.1
Hettich, M.	Di.1.C.4	Koptioug, A.	Di.1.C.5
Hilgenberg, K.	Mi.2.A.2	Kornely, M.	Mi.2.A.1, P4
Hillger, W.	Mo.2.B.6, Mi.1.C.4, Mi.2.B.5, P23, P32	Korpus, W.	Di.2.A.1
Himmelman, A.	Mi.3.A.3	Koster, D.	Mi.1.A.4, Mi.1.B.2
Hinken, J.	Mi.3.A.3, P16	Kovac, N.	Mi.1.B.2
Hirsch, P.	Di.1.A.3, Di.1.A.5	Krähenbühl, D.	Mo.2.A.3
Hohendorf, S.	Mi.3.C.2	Krankenhausen, R.	Mi.2.C.4
Holstein, R.	Mo.3.B.1	Krauhäuser, H.	Di.2.B.4
Hörauf, F.	Mo.2.A.4, P9	Kreutzbruck, M.	Di.2.A.2, Di.2.B.2, Di.2.C.3, Mi.1.C.1, Mi.1.C.3, Mi.2.A.1, Mi.2.C.1, P4, P14, P35
Huber, N.	Di.1.C.4	Kryukov, I.	Di.1.A.1, Mi.1.B.1
Hufert, J.	Di.2.B.2	Küchler, H.	Mo.2.B.5
Hufschläger, D.	Mi.1.C.4, Mi.2.B.5, P23, P24	Kupsch, A.	Di.1.C.2
Ilse, D.	Mi.1.C.4, Mi.2.B.5, P23	Labud, P.	Mi.2.B.5
Ininger, J.	P21	Lahmer, T.	P27
Ivankov, A.	Mo.2.A.8	Lapsien, J.	Mo.2.A.1
Jaenisch, G.-R.	Mi.2.B.2, P10	Lauck, L.	Di.1.C.1
Jahangir, H.	Mi.2.A.2	Lecompagnon, J.	Di.1.A.3, Di.1.A.5

Lehleitner, J.	Mo.3.B.3	Niese, F.	Mi.2.C.3
Lehmann, J.	Di.1.A.1	Oberdörfer, Y.	Mo.2.B.2, Di.2.A.4
Leidinger, M.	Mo.2.A.7	Odermatt, M.	Mo.2.A.3, Mo.3.C.2
Liao, C.-M.	P1	Oemus, M.	P30
Lienert, A.	P30	Oster, S.	Mi.2.A.4
Lindenlaub, S.	Mi.1.C.1	Oswald, J.	Mi.1.A.4, Mi.1.B.2
Link, R.	Mi.1.A.2	Pavasaryte, L.	Mo.3.C.3
Link, T.	Mi.1.A.4	Paveleva, A.	Di.1.C.5
Linscheid, F.	Mi.2.C.5	Pawelletz, R.	Mi.1.A.2
Litau, J.	Di.2.A.1	Pech-May, N.W.	Di.1.A.5
Littner, L.	P14	Pelkner, M.	Mi.2.A.2, Mi.2.A.5
Lorenzen, M.	Mi.1.A.2	Peter, J.	Mo.2.A.7
Ludwig, V.	Mi.2.C.2, Mi.3.C.3, P7, P11, P12	Petry, C.	Di.2.B.3
Lugin, S.	Di.1.A.4	Pfeffer, P.	P19
Luplow, C.	P33	Pietzsch, A.	Mi.1.B.3
Maack, B.	Mi.2.C.3	Pinchuk, R.	Mo.2.B.3, Di.2.C.1
Maev, R.	Mo.2.B.2, Di.2.A.4	Plasser, H.	Di.1.A.2
Maierhofer, C.	Mi.2.A.2, Mi.2.A.4	Plassmann, J.	Di.2.B.3
Major, Z.	Di.1.A.2	Pörnbacher, J.	Mi.1.C.2
Malatyali, H.	P17	Power, S.D.	P38
Malke, R.	P25	Prager, J.	Di.2.C.2
Mayer, D.	P39	Prints, E.	Di.1.A.1
Mayr, G.	Di.1.A.2	Protz, R.	P14
Mayr, M.	P17	Pudovikov, S.	Mi.1.A.4
Meinel, D.	Di.1.C.5	Quirin, S.	Mi.1.B.2, P20
Meixner, L.	Mi.1.B.2	Rabe, U.	Mi.1.A.4
Meli, F.	Mi.2.B.2, P10	Raffelt, K.	P15
Metz, C.	Mi.2.A.4	Rauch, C.	Mi.2.C.2, P11
Mey, O.	P39	Redmer, B.	Mi.3.C.2
Michel, T.	Mi.2.C.2, Mi.3.C.3, P7, P11, P12	Reichert, I.	P27
Mishurova, T.	Di.1.C.5	Reindl, T.	Di.2.C.3, P4
Mook, G.	Mi.3.A.3, P36	Reinelt, T.	Mo.2.B.6
Moser, D.	P20	Reitinger, B.	Di.1.C.4
Mück, A.	P26	Rental, V.K.	Mo.3.B.3, Mi.2.B.4
Mühlán, B.	Di.1.B.1	Reuter, T.	Mo.3.C.1
Müller, A.	Mo.3.A.3, Di.1.B.3	Rick, R.	Mi.1.A.4, Mi.1.B.2
Müller, A.M.	Mo.3.C.1	Rieder, H.	P28
Müller, B.R.	Di.1.C.2	Riedo, A.	Mo.3.C.2
Müller, D.	Di.1.A.4	Riess, N.	Mo.2.A.8, Mi.1.A.2
Müller, M.	Mo.2.A.7	Rittmann, J.	Di.2.A.2
Müller, O.	Mo.3.A.1	Robens, S.	Mo.2.C.2
Müller-Braune, F.	Di.1.B.2, P2	Roelfes, T.	Mi.2.C.3
Mund, M.	Di.1.A.1	Rohringer, W.	Mi.1.C.2
Netzelmann, U.	Di.1.A.4, Mi.1.B.2	Root, K.	Mi.3.C.1
Neudecker, T.	Mo.2.A.2	Rössler, L.	Di.1.B.3
Neuser, E.	Mo.2.A.6	Roth, H.	P9

Rudloff, J.	P17	Steege, A.	Mi.3.B.1
Rupprecht, C.	Di.1.A.3	Steffen, J.P.	P10
Salamon, M.	P5, P6, P9	Stopp, P.	Mi.1.B.2
Samokrutov, A.	Mo.2.B.3	Straube, C.	Mo.3.B.2, P13
Sause, M.	Mi.2.C.5	Stumm, C.	P18
Schäfer, W.	P20	Sturm, C.	P21
Scherleitner, E.	Di.1.C.4	Summa, J.	Mi.1.A.4
Scheuschner, N.	Mi.2.A.2	Surmenev, R.	Di.1.C.5
Schickert, M.	Di.1.B.5, P27	Surmeneva, M.	Di.1.C.5
Schiegg, Y.	Di.1.B.1	Szewieczek, A.	Mo.2.B.6, Mi.1.C.4, Mi.2.B.5, P23, P32
Schilp, J.	Mi.2.A.3	Szielasko, K.	Di.1.C.1
Schlachter, K.	Di.2.C.1	Thewes, R.	Mi.2.A.5
Schlech, T.	Mi.2.C.5	Thurnherr, C.	Mo.3.A.3, Di.1.B.3
Schlimper, R.	Mi.1.A.4	Tkachenko, V. ...	Mo.3.B.3, Mi.2.B.1, Mi.2.B.4, P33
Schmidt, C.	P39	Trappe, V.	Mi.2.C.4
Schmitz, S.	P29	Tschöke, K.	Mi.1.B.3
Schnabel, A.	P30	Uhlmann, N.	P5
Schneider, A.	P39	Ullmann, I.	Mi.3.C.1
Schober, G.	P17, P19	Valetsky, E.	Mo.2.B.2
Schreiner, S.	Mi.2.C.2, Mi.3.C.3, P7, P11, P12	Voehringer, D.	Di.2.C.2
Schubert, F.	Mo.3.A.2, Mi.2.B.5	von Kirchbach, B.	P21
Schulz, J.	Mi.3.B.3	Vossiek, M.	Mi.3.C.1
Schulz, K.	Mi.3.B.1	Vrana, J.	Mi.1.A.3, Mi.2.B.1, Mi.2.B.4
Schulze, E.	Mi.1.B.3	Wahler, R.	Mo.2.A.5
Schumacher, D.	Mi.2.B.2, P10	Waschkies, T.	Mi.2.B.5
Schür, J.	Mi.3.C.1	Waske, A.	Mo.3.C.3
Schuth, M.	Di.2.B.3	Weidig, C.	Mo.3.B.2, P13
Schwarzmann, J.	Di.2.B.4	Weihnacht, B.	Mi.1.B.3
Schwerz, R.	P30	Weise, M.	Mi.1.C.4, P23
Selbach, B.	Di.1.B.4	Wellmann, P.	P5
Shevaldykin, V.	Mo.2.B.3	Widjaja, M.P.	Mo.3.C.3
Siekman, M.	P34	Wiegand, M.	Mi.1.B.1
Simonin, Y.	P36	Wohlgemuth, F.	Mi.2.B.3
Simroth, A.	Di.2.A.3	Wolf, M.L.	Mi.1.A.1
Singh, R.	Mi.1.A.3	Wolf, C.	Mi.1.B.1
Soares, A.P.	Di.1.C.2	Wolf, K.	Mi.1.A.4
Sofiienko, A.	P10	Wörle, N.	Mi.2.B.3
Solís del Toro, M.	Mi.3.C.2	Zaslansky, P.	Di.1.C.2
Sommerhuber, R.	Mi.2.B.5	Zhang, T.	P33
Sorkalla, D.	Mi.2.B.3	Ziegler, M.	Di.1.A.3, Di.1.A.5
Spies, M.	Mo.3.A.1	Zimmer, C.	Di.1.C.1
Springer, H.	Mo.2.B.8, P31	Zink, A.	Mo.2.B.5
Srajbr, C.	Di.1.A.1	Zscherpel, U.	Mo.2.A.4, Mo.3.C.2, P8, P9
Sridaran Venkat, R.	P38	Zwanzig, M.	Mo.3.B.1
Stamm, M.	Mi.2.C.4		
Standop, S.	P29		



JAHRESTAGUNG 2023

Zerstörungsfreie Materialprüfung



© M.Maier, Abb.7



Friedrichshafen

15. – 17. Mai

ZfP IN FORSCHUNG, ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG

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