



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG e.V.

SCHALL 23 – Entwicklung und Anwendung der Schallemissionsanalyse und Zustandsüberwachung mit geführten Wellen

21./22. MÄRZ 2023 | WETZLAR



09:00

Begrüßung

Markus Sause, Vorsitzender des DGZfP-Fachausschusses Schallemissionsprüfverfahren
Peter Hohmann, Vizepräsident, Technische Hochschule Mittelhessen

Session 1 | **Zustandsüberwachung**

Sitzungsleitung: S. Pirskawetz

1
09:15

Entwicklung eines Verfahrens zur Analyse von Gelenkdefekten des erhaltenen Knies von einseitig Beinamputierten mit Hilfe der Schallemissionsanalyse SEA

J. Subke¹, A. Keller¹, M. Schmeiler¹, B. Schneider¹, H. Hermawan¹, H.-J. Schwalbe¹
¹ Technische Hochschule Mittelhessen, Gießen

2
09:35

Simulation der Ausbreitung von Schallemissionssignalen in einem großformatigen Laborprobekörper aus Spannbeton

G. Manthei¹, J. Heinrich¹, F. Schubert²
¹ Technische Hochschule Mittelhessen, Gießen;
² Fraunhofer IKTS, Dresden

3
09:55

Weiterentwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens zur Charakterisierung von Furnier mit Hilfe von Ultraschallwellen

M. Kühmstedt¹, K. Tschöke¹, R. Krüger²
¹ Fraunhofer IKTS, Dresden; ² HFT, TU Dresden

4
10:15

Erfahrungen zum Dämpfungsverhalten impulsartiger, energiereicher Signale an Spannbetonkonstruktionen

M. Käding¹, G. Schacht¹, S. Marx²
¹ MKP GmbH, Weimar; ² Institut für Massivbau, TU Dresden

10:35

Pause



Session 2 | **Zustandsüberwachung Bauwerke**

Sitzungsleitung: A. Jüngert

5 Überwachung von Abrasion in doppelwandigen Rohrleitungen mit Schallemissionsanalyse und geführten Wellen

11:00

T. Gaul¹, K. Tschöke¹, A. Pietzsch¹, L. Schubert¹, T. Kippert²

¹ Fraunhofer IKTS, Dresden; ² KRONOS TITAN GmbH, Leverkusen

6 SHM: Spanndrahtbruchdetektion mittels Schallemissionsanalyse – dargestellt an verschiedenen Bauwerken

11:20

S. Schmidt¹

¹ Bilfinger Noell GmbH, Würzburg

7 Richtlinie „Detektion von Spanndrahtbrüchen mit Schallemission“

11:40

S. Pirskawetz¹

¹ BAM, Berlin

8 24/7 Large Area Corrosion Monitoring

12:00

T. Vogt¹, D. Alleyne¹

¹ Guided Ultrasonics Ltd, London, Großbritannien

12:20 Pause

Session 3 | **Zustandsüberwachung Fertigungsprozesse**

Sitzungsleitung: L. Schubert

9 Echtzeitfähige Analyse hochfrequenter Ultraschalldaten zur Überwachung von Fertigungsprozessen

13:30

Q.R. Luong¹, T. Schlech¹, F.F. Linscheid¹, M. Achzet¹, M.G.R. Sause¹

¹ Universität Augsburg

10 Structural Health Monitoring (SHM) for continuous monitoring of hydrogen pressure vessels

13:50

B. Yilmaz¹, A. Charmi¹, J. Heimann¹, E. Duffner¹, M. Schukar¹, J. Prager¹

¹ BAM, Berlin

11 Detektion von Kissing Bonds in geklebten Bauteilen mittels der Methode des nichtlinearen Ultraschalls

14:10

M. Kornely¹, J. Ehrler¹, I. Solodov¹, M. Kreuzbruck¹

¹ IKT, Universität Stuttgart

12 Akustische Überwachung des Werkzeugverschleißes bei der zerspanenden Bearbeitung

14:30

C. Baumeister¹, M. Achzet¹, Q.R. Luong¹, F.F. Linscheid¹, B. Brück¹, T. Schlech¹, M.G.R. Sause¹

¹ Universität Augsburg

14:50 Pause

Session 4 | **Verbundwerkstoffe und Verklebungen**

Sitzungsleitung: A.J. Brunner

13
15:15 **Abschwächungsanalyse der Amplitude von geführten Ultraschallwellen in anisotropen Verbundstrukturen mit komplexer Geometrie**

B. Boos¹, H. Yagdjian¹, L. Mix¹, M. Gurka¹

¹ Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Kaiserslautern

14
15:35 **Schallemissionsanalyse während der zyklischen Belastung von kontinuierlich faser-verstärkten Kunststoffen**

M. Gfrerrer¹, J. Wiener¹, A.J. Brunner², G. Pinter¹

¹ WPK, Montanuniversität Leoben, Österreich;

² Empa (i.R.), Dübendorf, Schweiz

15
14:55 **Sensorische Überwachung eines Ultraschallschweißprozesses**

P.-L. Chung¹, T. Reindl¹, J. Rittmann¹, M. Kreuzbruck¹

¹ IKT, Universität Stuttgart

16
16:15 **Charakterisierung der Haftfestigkeiten mittels geführter Ultraschallwellen**

M. Nicolai¹, H. Zeipert², Y. Lugovtsova¹, L. Claes², J. Bulling¹, S. Johannesmann², J. Prager¹,

B. Henning²

¹ BAM, Berlin; ² Universität Paderborn

17:30 Abendveranstaltung im Mathematikum Gießen mit anschließendem Abendessen im Benediktiner Weissbräuhaus; Bustransfer: Abfahrt 17:30 Uhr ab Tagungshotel

PROGRAMM | Mittwoch, 22. März 2023

Session 5 | **Messtechnik und Standardisierung**

Sitzungsleitung: H. Trattnig

17
09:00 **Herausforderungen für Langzeitüberwachung von Strukturen und Komponenten mit Schallemission**

A.J. Brunner¹, H. Trattnig²

¹ Empa (i.R.), Dübendorf, Schweiz; ² Vallen Systeme GmbH, Wolfratshausen

18
09:20 **Vorteile dezentraler AE-Systeme**

H. Kühnicke¹, L. Wang²

¹ KERT, Dresden; ² KERT, Shenzhen, China

19
09:40 **Eine neue ISO Norm zur Bestimmung der Empfindlichkeitsspektren von AE Sensoren**

H. Vallen¹

¹ Vallen Systeme GmbH, Wolfratshausen

20
10:00 **Aktuelle Normenprojekte der CEN/TC 138/WG 7 und ISO/TC 135/SC 9**

G. Lackner¹

¹ TÜV AUSTRIA SERVICES GMBH, Wien, Österreich

10:20 Pause

Session 6 | **Grundlagen und Algorithmenentwicklung**

Sitzungsleitung: K. Tschöke

- 21**
10:45 **Einfluss der Rissdynamik auf die Anstiegszeit von elektromagnetischer Emission und Schallemission**
C.F. Appel¹, M.G.R. Sause¹
¹ Universität Augsburg
- 22**
11:05 **Ereignisbasierte Verteilte Zustandsüberwachung und Schadenserkenkung in großskaligen und komplexen Konstruktionen mit hybrider Multisensorfusion**
S. Bosse¹, P. Krämer²
¹ Mathematik und Informatik, Universität Bremen; ² FB Maschinenbau, Universität Siegen
- 23**
11:25 **Ein inverses Verfahren zur Schadensrekonstruktion mittels geführter Wellen in Stahlplatten**
J. Bulling¹, B. Jurgelucks², A. Walther², J. Prager¹
¹ BAM, Berlin; ² Humboldt-Universität zu Berlin
- 11:45 Diskussion und Schlusswort

POSTER

- P1** **Temperaturkompensation von Signalen geführter Ultraschallwellen durch Merkmalsextraktion und Ermittlung geeigneter Funktionen**
C. Polle¹, M. Koerdt¹, B. Maack¹, A. Herrmann¹
¹ Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE), Bremen
- P2** **Bleifreie, 3D druckbare piezoelektrische Kompositsensoren zur Detektion geführter Ultraschallwellen in dünnwandigen Bauteilen**
T. Roloff¹, R. Mitkus¹, M. Sinapius¹
¹ Institut für Mechanik und Adaptronik, TU Braunschweig

VORTRAG 1

Entwicklung eines Verfahrens zur Analyse von Gelenkdefekten des erhaltenen Knies von einseitig Beinamputierten mit Hilfe der Schallemissionsanalyse SEA

J. Subke¹, A. Keller¹, M. Schmeiler¹, B. Schneider¹, H. Hermawan¹, H.-J. Schwalbe¹

¹Technische Hochschule Mittelhessen (THM), Gießen

Für Patienten, die durch ein traumatisches Ereignis ein Bein verloren haben und mit einer Prothese versorgt wurden, ist die Wiederherstellung und Erhaltung der Mobilität ein hohes Gut. Die Entwicklung einer Gonarthrose ist aus diesem Grund zu verhindern, die eine massive Bewegungseinschränkung und damit einen hohen Verlust an Lebensqualität zur Folge hätte.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Verfahrens auf der Basis der SEA, um frühzeitig die Veränderungen des Knorpels im Kniegelenk zu dokumentieren und die Grundlagen für die therapeutischen Maßnahmen auf der Basis der gemessenen Gelenkdefekte bei einseitiger Beinamputation zu schaffen.

Methode

Voraussetzung für die SEA-Untersuchung ist die Mobilität des Patienten, der 3 Kniebeugen innerhalb von 10 Sekunden durchführen muss. Im Vergleich zur SEA-Standardbewegung muss der Patient mit einem Bein die Kraft für die Flexion und Extension der Kniebeuge aufbringen. Der Patient erhält die Möglichkeit, durch Einsatz der Armkräfte die Ausführung der Kniebeugen mit Hilfe eines Gestells zu unterstützen.

Zur Untersuchung des Patienten werden 1 SEA-System von BoneDiaS, 2 DMS-Sensoren von Hottinger, 1 Kraftmessplatte FDM-S von Zebris und 2 Videokameras verwendet. Die Schallemission der Gelenkreibung wird an der Kondyle des Femurs mittels eines piezoelektrischen Sensors abgeleitet. Mit der FDM-S Platte werden die Bodenreaktionskräfte, mit 2 DMS-Sensoren von Hottinger die Haltekräfte der Arme gemessen. Zur Unterstützung der Bewertung wird die Bewegung aus frontaler und sagittaler Sicht mit je 1 Videokamera dokumentiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die Gleichmäßigkeit der Kniebeugen wird anhand der Videoaufzeichnung bewertet. Die Bewegung und Belastung ist bei einbeiniger Kniebeuge asymmetrisch im Vergleich zur zweibeinigen Kniebeuge.

Die Aufteilung der 3 aufgenommenen Kräfte zeigt, wie groß die Unterstützung durch die Haltekräfte im Vergleich zur Bodenreaktionskraft während der Bewegung werden. Ebenso die Links-Rechts Stabilität kann anhand der Haltekräfte bemessen werden. In Korrelation mit den kinematischen Daten werden die SEA-Signale für das erhaltene Kniegelenk bewertet, so dass auf diese Weise das erhaltene Kniegelenk bei einem einseitig Beinamputierten auf Defekte hin geprüft werden kann.

VORTRAG 2

Simulation der Ausbreitung von Schallemissionssignalen in einem großformatigen Laborprobekörper aus Spannbeton

G. Manthei¹, J. Heinrich¹, F. Schubert²

¹Technische Hochschule Mittelhessen (THM), Gießen

²Fraunhofer IKTS, Dresden

Ein Forschungsprojekt an der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM) befasst sich mit dem Ermüdungsverhalten vorgespannter Eisenbahnschwellen aus Stahlbeton. Zur Untersuchung der Rissausbreitung in der Bahnschwelle wurden vor und während eines dynamischen Dreipunktbiegeversuchs Schallemissions(SE)messungen durchgeführt. Die Wellenausbreitungsmessungen vor der Prüfung dienten zur Bestimmung des Lokalisierungsfehlers von SE-Ereignissen und zur Ermittlung der Geschwindigkeiten der elastischen Wellen. In dieser Arbeit wurden Messungen mit künstlichen SE-Quellen durchgeführt, um simulierte und gemessene SE-Signale im Frequenzbereich bis 250 kHz zu vergleichen. Für die Simulation wird der frei verfügbare Solver Numerical AE3D des Fraunhofer Instituts IKTS in Dresden verwendet. Dieses Simulationsprogramm basiert auf der Elastodynamic Finite Integration Technique (EFIT) und ermöglicht die numerische Berechnung der Wellenausbreitung von SE-Signalen für ein linear elastisches, isotropes und heterogenes Medium. Durch den Einsatz von EFIT ist es möglich, die Ausbreitung von elastischen Wellen so zu simulieren, wie es in Experimenten der Fall ist. Die Ergebnisse können somit zum Vergleich und zur Interpretation von gemessenen Experimenten verwendet werden. Ziel ist es, die Ergebnisse der Simulation mit den Ergebnissen der Messung zu vergleichen. Dieser Vergleich soll dazu beitragen, die Ergebnisse des THM-Forschungsprojekts weiter zu analysieren und die Lokalisierung von AE-Ereignissen für zukünftige Messungen zu verbessern.

VORTRAG 3

Weiterentwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens zur Charakterisierung von Furnier mit Hilfe von Ultraschallwellen

M. Kühmstedt¹, K. Tschöke¹, R. Krüger²

¹Fraunhofer IKTS, Dresden

²Professur für Holz- und Faserwerkstofftechnik (HFT), Technische Universität Dresden

Motivation:

Unter anderem durch den Klimawandel und einen nachhaltigen Umgang mit den Ressourcen befördert, hat das Konstruieren mit Holz in den letzten Jahren einen Aufschwung erlebt. Der von Natur aus heterogene, anisotrope Werkstoff Holz mit Wuchsbesonderheiten (Aststellen, Faserorientierung) lässt sich zu Holzwerkstoffen (Furnierlagenverbunde) verarbeiten. Damit ein einzelnes Furnier optimal verbaut werden kann, muss zunächst eine Materialcharakterisierung durchgeführt werden. Resultierend daraus wird das Furnier lastgerecht zu einem Holzwerkstoff verbaut bzw. findet gegebenenfalls eine gezielte Verstärkung von Schwachstellen, vor Einbau, statt.

Kurzfassung:

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der zerstörungsfreien Charakterisierung von Buchenfurnier (0,5 mm Materialstärke) mit geführten Wellen. Gegenstand der durchgeführten Untersuchungen war es, einen Versuchsstand zur Bestimmung der Materialparameter zu konzipieren und aufzubauen. Dabei sollen Elastizitätsmodul und Schubmodul der Buchenfurniere durch das Anwenden von elastischen Wellen im Ultraschall-Frequenzbereich ermittelt werden. Im Frequenzbereich von 200 kHz wurden Ultraschallwellen angeregt und detektiert. Das Senden und Empfangen der Ultraschallwelle wurde mit piezoelektrischen Wandlern realisiert. Zur Ergebnisdarstellung wurden Polardiagramme erstellt, welche die E-Module, Schubmodule und die Faserrichtung in einem 360° Messkreis, in der Furnierebene, darstellen. Die Validierung der Messergebnisse erfolgte durch Zugversuche. Resultierend aus dem Vergleich der Ergebnisse, konnte für bestimmte Winkelbereiche bzgl. der Faserorientierung eine Übereinstimmung der Messergebnisse festgestellt werden. Für die abschließende Beurteilung der Ultraschallmessergebnisse in Faserrichtung, welche nicht mit den Zugversuchen übereinstimmen, sind weitere Untersuchungen notwendig.

VORTRAG 4

Erfahrungen zum Dämpfungsverhalten impulsartiger, energiereicher Signale an Spannbetonkonstruktionen

M. Käding¹, G. Schacht¹, S. Marx²

¹MKP GmbH, Weimar

²Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden

Die Schallemissionsanalyse hat sich im Brückenbau als vielversprechendes Messverfahren für die Überwachung spannungsrissskorrosionsgefährdeter Bauwerke zur Detektion einzelner Drahtbrüche etabliert. Geschickt verteilte Sensoren ermöglichen eine gesamtheitliche Überwachung. Die Verteilung der Sensoren am Bauwerk stellt dabei eine zuverlässige Detektion der Ereignisse sicher und ist damit für den technischen und wirtschaftlichen Erfolg der Messung entscheidend. Hierfür ist es erforderlich, den maximal möglichen Sensorabstand zu bestimmen, welcher von der Charakteristik der Signalquelle, dem Signalübertragungsverhalten des Bauwerks bzw. Materials, sowie den vorherrschenden Nebengeräuschen abhängt.

Der vorliegende Beitrag thematisiert in dieser Kette der Signalübertragung das Ausbreitungsverhalten in großen Spannbetonkonstruktionen. Hierzu werden eigene Experimente vorgestellt, die an zwei Brücken unterschiedlicher Bauweise in-situ und an sechs Brückenträgerelementen von drei Brücken unter laborähnlichen Bedingungen durchgeführt wurden. Letztere wurden bei Rückbauvorhaben gewonnenen. Im Fokus der Untersuchungen stand das frequenzabhängige Dämpfungsverhalten für unterschiedliche Signalquellen. Die üblicherweise praktizierte orthogonale Anregung mit einem Rückprallhammer auf der Betonoberfläche wurde mit der Anregung longitudinal zur Spanngliedachse bzw. durch reale Drahtbrüche verglichen. Die Drahtbrüche wurden an den Brückenträgerelementen künstlich provoziert. Aus dem Vergleich der Ergebnisse an den verschiedenen Objekten wurde die Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Messungen mit dem Rückprallhammer auf Drahtbrüche untersucht. Es wurde gezeigt, dass die Dämpfungskoeffizienten der Drahtbrüche in verschiedenen Frequenzbereichen zwar stärker streuen, im Median jedoch denen von Rückprallhammerschlägen sehr ähneln. Es wurde weiterhin gezeigt, dass die Dämpfung im Frequenzbereich von 0 10 kHz mit ca. 4,9 dB/m nur etwa halb so groß ist, wie im Bereich von 40 50 kHz mit ca. 10,5 dB/m.

VORTRAG 5

Überwachung von Abrasion in doppelwandigen Rohrleitungen mit Schallemissionsanalyse und geführten Wellen

T. Gaul¹, K. Tschöke¹, A. Pietzsch¹, L. Schubert¹, T. Kippert²

¹Fraunhofer IKTS, Dresden

²KRONOS TITAN GmbH, Leverkusen

Bei der Produktion von Titandioxid werden doppelwandige Rohrleitungen in der Herstellungslinie verwendet. Das abrasive Titandioxid wird dabei in der inneren Rohrleitung transportiert, während die äußere Rohrleitung ein Medium zur Kühlung der inneren Rohrleitung führt. Im Herstellungsprozess kommt es durch die abrasive Wirkung des titanhaltigen Pulvers zu Wanddurchbrüchen und einem Vermischen der Medien aus der inneren und äußeren Rohrleitung. Eine zerstörungsfreie Prüfung der inneren Rohrleitung ist mit dem Stand der Technik nur im ausgebauten Zustand an den Randbereichen eines Rohrabschnittes möglich und liefert keine zuverlässigen Aussagen über den innenliegenden Bereich.

In einem mehrmonatigen Feldversuch wurde an zwei Rohrabschnitten das Potential von Messverfahren basierend auf geführten elastischen Wellen zur frühzeitigen Erkennung von Abrasion und Wanddurchbrüchen untersucht. Dabei wurde ein Rohrabschnitt mit einem Schallemissionsmesssystem und ein Rohrabschnitt mit einem Messsystem für geführte Wellen instrumentiert.

Das verwendete Schallemissionssystem befand sich an der äußeren Rohrleitung und hat kontinuierlich Schallemissionssignale aufgezeichnet. Für die Bewertung der Abrasion wurden unterschiedliche Schallemissionsparameter wie Events, Hits, Energie und Frequenzinhalt betrachtet und ihre Anwendbarkeit für die untersuchte Aufgabe bewertet. Eine Überwachung der inneren Rohrleitung erfolgte mittels aktiv angeregter geführter Wellen, welche über Wellenleiter eingekoppelt wurden. Dabei konnte gezeigt werden, dass die voranschreitende Abrasion mit einer wanddickeabhängigen Ausbreitungsgeschwindigkeit korreliert. Mit klassischen NDT-Prüfmethoden wurde die Messkampagne begleitet und die Ergebnisse abschließend validiert.

VORTRAG 6

SHM: Spanndrahtbruchdetektion mittels Schallemissionsanalyse – dargestellt an verschiedenen Bauwerken

S. Schmidt¹

¹Bilfinger Noell GmbH, Würzburg

Ein Großteil der Bestandsbrücken in Deutschland wurde in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts erbaut und erreicht nun das Ende ihrer geplanten Lebensdauer. Zudem wurden in den Spannbetonbrücken dieser Baujahre Spannstähle verbaut, welche anfällig für Spannungsrisskorrosion sind. Ein Versagen der Spanndrähte kündigt sich nicht an. Die Überwachung der Spannglieder und ihrer einzelnen Litzen gestaltet sich mit herkömmlichen Methoden schwierig oder liefert nur Momentaufnahmen des Bauwerkszustandes.

Die Möglichkeiten und Vorteile der SEP bei der Überwachung von Spanngliedern werden anhand der Ergebnisse von mehreren SHM-Projekten dargestellt. Durch die Energie von Drahtbrüchen ist es möglich, dass ein einzelner Sensor einen weiten Bereich abdecken kann, sodass auch nicht oder schwer zugängliche Bereiche überwacht werden können. Es kann der exakte Zeitpunkt der Änderung des Tragwerks bestimmt und direkte Maßnahmen ergriffen werden. Die vollständig automatisierte Auswertung setzt im Schadensfall umgehend einen Alarm ab und bereitet die Messdaten für den Betreiber in einem Interface auf.

VORTRAG 7

Richtlinie „Detektion von Spanndrahtbrüchen mit Schallemission“S. Pirskawetz¹¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Ein großer Teil unserer Brücken wurden in den 1950er bis 1970er Jahren als Spannbetonbrücken gebaut. Mit der damals noch relativ jungen Technologie entstanden elegante, teilweise gewagte Bauwerke mit großen Spannweiten, welche die Vorteile der Materialien Stahl und Beton geschickt kombinieren. Die Standsicherheit einiger dieser Brücken ist heute gefährdet. Die Ursachen liegen in der enorm gewachsenen Belastung durch Schwerverkehr, teilweise ungenügender Wartung und in konstruktiven und Materialschwächen, die der mangelnden Erfahrung mit der Technologie in der Bauzeit geschuldet sind. Ein neuralgischer Punkt der Bauwerke sind die in den Beton integrierten Spannglieder. Infolge von Korrosion und Ermüdung können Elemente der Spannglieder reißen, wodurch die für das Tragwerk notwendige Spannung und somit die Tragfähigkeit reduziert werden. Nicht bei allen Brücken kündigen sichtbare Risse im Beton oder auffällige Verformungen den Tragfähigkeitsverlust bzw. das finale Versagen rechtzeitig an.

Die Schallemissionsanalyse ist die derzeit einzige Methode, das Reißen einzelner Spannstähle zuverlässig und mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand zu detektieren. Trotzdem es schon einige Spannbetonbauwerke gibt, die mit Schallemissionsanalyse überwacht werden, ist das Verfahren noch wenig bekannt. Außerdem fehlen technische Richtlinien, was die Ausschreibung und Vergabe von entsprechenden Aufträgen und die Bewertung der Angebote sehr erschwert. Um sowohl Baulastträger als auch Dienstleistungsanbieter in den Vergabeverfahren und im Betrieb der Monitoringsysteme zu unterstützen, hat sich eine Gruppe von Experten aus den Bereichen Bauingenieurwesen und Schallemission zum Entwurf einer Richtlinie Detektion von Spanndrahtbrüchen mit Schallemission zusammengefunden. Mit diesem Beitrag wird die Richtlinie vorgestellt, deren Bearbeitung bis zur SCHALL 23 abgeschlossen sein soll.

VORTRAG 8

24/7 Large Area Corrosion Monitoring

T. Vogt¹, D. Alleyne¹

¹Guided Ultrasonics Ltd, London, Großbritannien

Evolving world demands require new mechanical integrity solutions. The risk and subsequent consequences of unanticipated corrosion wall loss resulting in the release of hydrocarbon is every operators worst scenario. Employing risk assessments and intervention-based measurements exclusively, combined with limited site access, current travel restrictions, costs of labor, and site hazards, can place high consequence areas – especially those over or adjacent to water resources – in jeopardy. In this presentation we will discuss the latest advances that combine high-accuracy point measurement with long-range pipe change monitoring using permanently installed sensors. This provides 24/7 overwatch of critical areas, removing the threat of hydrocarbon release, allowing for informed planning and intervention maintenance. Real-world applications involving planning where to place sensors and cost-benefit relationships will be discussed.

VORTRAG 9

Echtzeitfähige Analyse hochfrequenter Ultraschalldaten zur Überwachung von Fertigungsprozessen

Q.R. Luong¹, T. Schlech¹, F.F. Linscheid¹, M. Achzet¹, M.G.R. Sause¹

¹Universität Augsburg

Für eine effiziente Entwicklung von Software zur Auswertung großer Datenmengen, die typischerweise bei der Überwachung von Prozessen anfallen, wird das sogenannte Ultra High Ultrasonics Framework, kurz UHU, entwickelt. Ziel dieses Frameworks ist es, den Auswertungsprozess bestehend aus der Datenerfassung, Feature-Extraktion und Datenfusion für Daten verschiedener Art zu vereinheitlichen. Dadurch soll sowohl die Entwicklung von Auswerterroutinen und Auswertungssoftware erleichtert, als auch die Übertragbarkeit ähnlicher Konzepte für verschiedene Anwendungen ermöglicht werden. Das Framework übernimmt hierbei die Verwaltung und das Auslesen der Dateien, das Vorverarbeiten der Signale sowie das Extrahieren von Signalcharakteristiken, welche vom Endbenutzer selbst definiert werden können. Das Framework wird bereits für die Auswertung von Körperschallsignalen, Daten von Kraft-Momenten-Sensoren sowie Beschleunigungs- und Maschinendaten eingesetzt. Es ist dabei so ausgelegt, dass es die Möglichkeit bietet, beliebige weitere Messsysteme und Messprinzipien für verschiedene Anwendungen entsprechend kombinieren zu können. Im Kontext der Prozessüberwachung ist insbesondere die Echtzeitauswertung der Daten von großem Interesse, die gerade bei hochfrequenten Daten wie z.B. aus der Körperschallanalyse eine Herausforderung darstellt. Daher wurden in dieser Arbeit Multi-threading- und Multiprocessing-Techniken angewendet, um eine echtzeitfähige Auswertung hochfrequenter Daten, wie den Körperschallsignalen, zu ermöglichen. Hierzu wurden verschiedene Strategien basierend auf der Parallel Computing Toolbox von MATLAB getestet. Erhöhte Rechenzeiten aufgrund des zusätzlichen Kommunikationsaufwands und Optimierungen im Auswertungsprozess wurden dabei berücksichtigt. Durch das Parallel Computing können mehrere Datensätze gleichzeitig ausgewertet und folglich der Gesamtdurchsatz an verarbeiteten Daten drastisch erhöht werden.

VORTRAG 10

Structural Health Monitoring (SHM) for continuous monitoring of hydrogen pressure vessels

B. Yilmaz¹, A. Charmi¹, J. Heimann¹, E. Duffner¹, M. Schukar¹, J. Prager¹

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

While hydrogen is one of the most promising energy carriers, the safety of hydrogen storage technology remains one of the most important factors for technological and societal approval. While the engineering safety factors of the pressure vessels are kept high, the periodic inspection and the limited lifetime are making the application very costly considering manpower, time, money, and material waste. The development of an integrated structural health monitoring system can allow an easy transition from the current situation to cost-effective predictive maintenance. Hence, we propose to integrate three different SHM systems into hydrogen pressure vessels, namely guided wave ultrasonics, acoustic emission, and fibre optic sensing, to continuously monitor the condition and integrity.

In this work, we evaluated the condition of a Type IV composite overwrapped pressure vessel using ultrasonic guided wave propagation. We mounted fifteen piezo-electric wafers on the composite cylinder by shaping three rings containing five sensors each. We acquired data from the sensor network following different boundary conditions with artificial damages on the selected locations. The data were evaluated with guided wave tomography techniques using ultrasonic features (amplitude, frequency, etc.) as well as artificial intelligence (AI). The results suggest that both traditional guided wave fusion techniques and AI-based characterization methods can detect artificial damages. In future work, it is planned to integrate acoustic emission and fiber optic sensing. Moreover, the measurement and the test results will be implemented into a digital twin to derive trends and make predictions on the damage propagation as well as the remaining useful lifetime.

This work is supported by QI-Digital Innovation Ecosystem (www.qi-digital.de).

VORTRAG 11

Detektion von Kissing Bonds in geklebten Bauteilen mittels der Methode des nicht-linearen UltraschallsM. Kornely¹, J. Ehrler¹, I. Solodov¹, [M. Kreuzbruck](#)¹¹Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

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

In dieser Arbeit wurden Kissing Bonds an Aluminiumsubstraten mit Epoxid- und Silikonklebstoffsystemen reproduzierbar hergestellt. Zur Herstellung wurde ein PTFE-Trockenschmier-spray verwendet, das zu einem komplett adhäsiven Versagen der Klebverbindung führt. Die Kissing Bonds wurden anschließend mit unterschiedlichen zerstörungsfreien Prüfverfahren (Ultraschall, Shearografie, Röntgen) untersucht, wobei der Nachweis der Kissing Bonds nur mit der Methode des nichtlinearen Ultraschalls erfolgreich war. Die niedrigen Anhaftungskräfte zwischen Klebstoff und Substrat führen zu einer ausgeprägten Nichtlinearität, während Bereiche mit guter Anhaftung zu einer niedrigen Nichtlinearität führen. Zum grundsätzlichen Nachweis wurde ein Laser-Doppler-Vibrometer genutzt, der die, durch einen Piezoshaker erzeugten Schwingungen auf der Prüfkörperoberfläche misst. Die Messungen bestätigen die aufgestellte Vermutung und zeigen eine stark erhöhte Amplitude der höher Harmonischen im Bereich der Kissing Bonds. Um das Verfahren des nichtlinearen Ultraschalls auch mit kostengünstigerer Ausrüstung anzuwenden, sind in einem ersten Schritt auch Prüfungen mittels eines breitbandigen Lasermikrofons durchgeführt worden.

VORTRAG 12

Akustische Überwachung des Werkzeugverschleißes bei der zerspanenden Bearbeitung

C. Baumeister¹, M. Achzet¹, Q.R. Luong¹, F. F. Linscheid¹, B. Brück¹, T. Schlech¹, M.G.R. Sause¹

¹Universität Augsburg

Ungefähr ein Fünftel der Maschinenausfälle in der Zerspanung sind werkzeugbedingt. Diese Ausfälle können durch den Einsatz geeigneter Prozess- und Zustandsüberwachungssysteme vermieden werden. Für die Überwachung zerspanender Prozesse können verschiedene Überwachungsstrategien und -systeme eingesetzt werden. Im Rahmen dieser Untersuchungen wird insbesondere der Einsatz von Körperschallsensoren analysiert, die inline Aufschluss über den Zustand des Werkzeugs liefern sollen. Strategien zur Datenfusion werden mittels den aus den Rohdaten extrahierten Merkmalen untersucht. Die Datengrundlage, zur Erarbeitung von Diagnosemodellen, basierend auf Methoden des maschinellen Lernens, bilden praxisnahe Fallbeispiele für Bohr- und Fräsprozesse. Zur Erfassung der notwendigen Daten zur Bestimmung des Verschleißes eines Werkzeugs werden alle Versuche mittels Körperschallsensorik überwacht, während das Werkzeug kontinuierlich im Einsatz verschlissen wird. Als Grundlage der Untersuchungen wird je ein Regressionsmodell für die Überwachung der kontinuierlichen Abnutzung eines Werkzeugs bei einem Bohr- und bei einem Fräsprozess bei gleichbleibendem Material untersucht. Als nächster Schritt werden Modelle erstellt, die unterschiedliche metallische Materialien und den Einfluss von Variationen in den Prozessparametern berücksichtigen. Referenzwerte für die verschiedenen Regressionsmodelle bildet die Verschleißmarkenbreite, die den Zustand des Werkzeugs in Form des Werkzeugverschleißes beschreibt, welche mittels Lichtmikroskopie bestimmt wird.

VORTRAG 13

Abschwächungsanalyse der Amplitude von geführten Ultraschallwellen in anisotropen Verbundstrukturen mit komplexer Geometrie

B. Boos¹, H. Yagdjian¹, L. Mix¹, M. Gurka¹

¹Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Kaiserslautern

In diesem Beitrag wird eine neue Methodik zur Erzeugung von Abschwächungsfeldern von breitbandigen geführten Ultraschallwellen für komplex geformte Bauteile aus anisotropen Verbundwerkstoffen vorgestellt. Dies kann ein erster Schritt für die Entwicklung eines Systems zur Strukturüberwachung (SHM) von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK), zur Auslegung von Sensorpositionen sein. Eine Herausforderung für SHM-Systeme von CFK-Strukturen sind deren Materialeigenschaften, insbesondere die anisotrope Ausbreitungsgeschwindigkeit von akustischen Wellen, sowie deren Abschwächung durch Dämpfung, Streuung, Modenkonversion und Dispersion. Daher muss die geometrie- und materialbedingte Abschwächung der Signale verstanden werden, bevor eine weitere Verarbeitung der Daten möglich ist. Mit den Erkenntnissen über die Abschwächungseigenschaften kann auch das Verständnis über den Informationsgehalt der aufgezeichneten Signale verbessert werden. Dadurch können Strukturzustandsparameter, die bereits in SHM Systemen genutzt werden, reevaluiert und neue Parameter abgeleitet werden. Wenn dies abgeschlossen ist, muss ein Verständnis über den Informationsgehalt der aufgezeichneten Signale und die Identifikation der wichtigsten Parameter aufgebaut werden. Die Signale in den untersuchten Strukturen wurden mit Bleistiftminenbrüchen (PLB) angeregt und die Schallwellen mit breitbandigen Piezosensoren aufgezeichnet. Anhand von radialen Prüfkoordinaten wurde die Abschwächung entlang von fünf Winkelrichtungen bestimmt. An den Koordinaten wurden dafür die Amplitude und die Ankunftszeit gemessen. Entlang jeder Winkelrichtung wurde eine eindimensionale Funktion an die Amplitudendaten gefittet, die den konstanten Abschwächungsfaktor α enthielt. Anschließend wurde eine weitere Fit-Funktion zwischen den Abschwächungsfaktoren der verschiedenen Winkelrichtungen durchgeführt, womit das Abschwächungsfeld erzeugt werden konnte. Abschließend wurde das Dämpfungsfeld auf das CAD-Modell der Struktur aufgetragen. Mit dem Wissen über die winkelabhängige Abschwächung, wurden die Signale von zwei Richtungen auf ihren Informationsgehalt untersucht.

VORTRAG 14

Schallemissionsanalyse während der zyklischen Belastung von kontinuierlich faserverstärkten Kunststoffen

M. Gfrerrer¹, J. Wiener¹, A.J. Brunner², G. Pinter¹

¹Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe, Montanuniversität Leoben, Österreich

²Empa (im Ruhestand), Dübendorf, Schweiz

In kontinuierlich faserverstärkten Kunststoffen treten bei Belastung diverse Schädigungsmechanismen auf, welche die mechanischen Eigenschaften herabsetzen und die Lebensdauer terminieren. In diesem Beitrag wird ein Fokus auf den Mechanismus der Matrixrissbildung gelegt. Die Matrixrissdichte hat einen signifikanten Einfluss auf die Steifigkeit des Materials und kann bei semi-transparenten Laminaten, wie zum Beispiel bei glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK), optisch detektiert werden. Bei nicht transparenten Laminaten, wie zum Beispiel carbonfaserverstärkten Kunststoffen, ist eine alternative zerstörungsfreie Prüfmethode erforderlich.

Zu diesem Zweck wird in diesem Beitrag Schallemission (SE) während der zyklischen Belastung von $\pm 45^\circ$ GFK Laminaten gemeinsam mit einer automatisierten optischen Rissdetektion untersucht. Herausfordernd für die Anwendung der Schallemissionsanalyse (SEA) sind die zahlreichen Störsignale, welche von der servo-hydraulischen Prüfmaschine erzeugt werden. Es wird untersucht, wo der Ursprung der Störsignale liegt und mit welchen Maßnahmen das Verhältnis von Nutz- zu Störsignalen optimiert werden kann. Neben Elastomerwerkstoffen als Dämpfungselementen zwischen Prüfkörper und Einspannung, wird ein Bandpassfrequenzfilter getestet. Letzterer stellt sich als besser geeignet heraus, da mehr Störsignale eliminiert werden.

Aus den Ermüdungsmessungen geht hervor, dass gleichzeitig mit der optisch detektierten Rissinitiierung auch die ersten SE-Ereignisse erfasst werden. Mit zunehmender Rissdichte werden ab einem gewissen Zeitpunkt die SE-Signale mit einer höheren Rate detektiert als die Matrixrissdichte steigt, da auch andere Schädigungsmechanismen oder Reibung von Rissflanken Quellen für Schallemission sein können.

VORTRAG 15

Sensorische Überwachung eines Ultraschallschweißprozesses

P.-L. Chung¹, T. Reindl¹, J. Rittmann¹, M. Kreutzbruck¹

¹ Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart

Das Ultraschallschweißen ist ein anerkanntes und weit verbreitetes Fügeverfahren, um Einzelkomponenten dauerhaft miteinander zu verbinden. Besondere Merkmale sind eine ausschließlich lokale Erwärmung der Fügepartner, geringe Schweißzeiten sowie eine hohe Wirtschaftlichkeit des Prozesses. Die Schweißnahtqualität hängt dabei von vielzähligen Faktoren ab. Ausgehend von den Prozessparametern, den Toleranzen der Fügeteile bis hin zu Theorien über ein chaotisches Werkstoffmodell im Grenzbereich des Ultraschallschweißens wird der Prozess gewollt und ungewollt beeinflusst. Dies kann zu schwankenden Prozessqualitäten führen. Die Bewertung der Schweißnahtqualität erfolgt bisher durch eine zerstörende Prüfung der Schweißnaht. Die sensorische Überwachung des Ultraschallschweißprozesses ermöglicht es, schon während des Prozesses Aussagen über die Schweißnahtqualität treffen zu können. Im Rahmen dieser Arbeit wird die sensorische Überwachung der im Prozess auftretenden mechanischen Schwingungseffekte mithilfe von Piezoschwingern aufgezeigt. Neben der Schallenergiedichte sowie dem im Prozess auftretenden nichtlinearen Schwingungsverhalten wird anhand von nachgelagerten Zugversuchen die Schweißnahtqualität untersucht. Dabei weist sowohl die Höhe der Schallenergiedichte als auch insbesondere der Verlauf des Nichtlinearitätsfaktors über die Prozessdauer eine Korrelation mit der resultierenden Schweißnahtqualität auf.

VORTRAG 16

Charakterisierung der Haftfestigkeiten mittels geführter Ultraschallwellen

M. Nicolai¹, H. Zeipert², Y. Lugovtsova¹, L. Claes², J. Bulling¹, S. Johannesmann², J. Prager¹, B. Henning²

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

²Universität Paderborn

Klebeverbindungen sind aus dem heutigen Leichtbau wie der Automobil- und Luftfahrtindustrie nicht mehr wegzudenken. Durch die Verklebung gleicher oder ungleicher Materialien entstehen viele Vorteile gegenüber konservativen Fügeverfahren wie dem Schweißen oder dem Nieten. Aufgrund hoher Sicherheits- und Qualitätsansprüche wird die Festigkeit dieser Verbindungen jedoch noch immer zerstörend geprüft. Akzeptierte zerstörungsfreie Verfahren, insbesondere um schwache Haftfestigkeiten zu prüfen, sind nicht vorhanden und Thema gegenwärtiger Forschung. Ein Ansatz, der in diesem Projekt verfolgt wird, liegt in der Verwendung geführter Ultraschallwellen und der gezielten Auswertung spezifischer Bereiche des Dispersionsdiagramms, den sogenannten vermiedene Kreuzungen (engl. mode repulsion regions), welche eine potenzielle Charakterisierung der Haftfestigkeiten zulassen könnten.

Hierzu wurden neben Simulationen mittels der Scaled Boundary Finite Elemente Methode, zur Findung geeigneter Charakterisierungsparameter, auch experimentelle zerstörungsfreie Untersuchungen von verklebten Zweischichtstrukturen durchgeführt. Es konnten verschiedenste Haftfestigkeiten reproduzierbar hergestellt, zerstörend validiert und zerstörungsfrei mittels geführter Ultraschallwellen untersucht werden. Die Ausprägungen bestimmter mode repulsion regions zeigen eine vielversprechende Sensitivität.

VORTRAG 17

Herausforderungen für Langzeitüberwachung von Strukturen und Komponenten mit Schallemission

A.J. Brunner¹, H. Trattig²

¹privat, Zürich (ehemals Empa Dübendorf), Schweiz

²Vallen Systeme GmbH, Wolfratshausen

Alternde Infrastruktur in vielen Ländern bei beschränkten Mitteln für Unterhalt oder Sanierungen stellt die Herausforderung, mit einfachen und zuverlässigen Methoden die Strukturintegrität zu untersuchen und quantitativ zu bewerten. Die Anforderungen an die Dauer entsprechender Langzeit-Strukturüberwachung gehen tendenziell zu mehreren Jahren oder gar bis zu Jahrzehnten. Schallemissionsüberwachung ist eine Methode, die dafür gut geeignet erscheint. Daher sind dazu in den letzten Jahren viele Forschungs- und Entwicklungsprojekte an unterschiedlichen Prüfobjekten durchgeführt worden. Ein wichtiger Aspekt, über den bisher aber nur wenig publiziert worden ist, sind die Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Schallemissions-Messsysteme und Sensoren selbst. Publierte Beispiele umfassen meist Messzeiten von etwa einem Jahr oder weniger und Hinweise auf dabei aufgetretene Probleme mit der Messtechnik sind rar. In diesem Beitrag werden Erkenntnisse aus der Literatur sowie aus einem innerhalb des Fachausschusses Schallemissionsprüfung der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung versandten Fragebogens zum Thema Langzeitüberwachung mit Schallemission zusammengefasst. Einen wesentlichen Einfluss haben die Umwelt- und Betriebsbedingungen der Prüfobjekte, z.B. Temperaturvariation, Vibrationen, Schadstoffe, oder unsachgemäße Bedienung des Messsystems. Dadurch induzierte Probleme betreffen mehrheitlich die Sensorhalterung oder die Computersteuerung bzw. die Datenspeicherung und weniger die spezifischen Sensoren und die Datenerfassungsgeräte. Daraus werden Empfehlungen für die Planung und Implementierung von Langzeitüberwachungs-Systemen mit Schallemission abgeleitet.

VORTRAG 18

Vorteile dezentraler AE-Systeme

H. Kühnlicke¹, L. Wang²

¹KERT, Dresden

²KERT, Shenzhen, China

Die bekannten AE-Systeme besitzen eine zentrale Einheit, in der die Informationen von allen Sensoren verarbeitet werden. Dezentrale AE-Systeme bilden ein Netz von Sensoren. Dieses Sensornetz arbeitet autark, d.h. es kann ohne Zentraleinheit AE-Messungen durchführen. Alle Informationen werden direkt zwischen den Sensoren ausgetauscht. Dieses Prinzip führt zu skalierbaren, stromsparenden und kostengünstigen Systemen.

Bei n Sensoren stehen dem System die n -fache Rechenleistung und das n -fache Speichervolumen eines Einzelsensors zur Verfügung. Gleichzeitig wird nur der n -fache Strom verbraucht. Ähnliches gilt auch für andere Systemparameter. Leistungsfähigkeit und Kosten passen sich an die Anzahl der Sensoren an.

KERT-AE-Sensoren der 5. Generation bilden ein dezentrales AE-System. Die Sensoren können ohne zusätzliche Hardware alle Messaufgaben bewältigen. Die Messergebnisse werden in den Flash-Speichern der Sensoren abgelegt. Zur Einstellung des Systems und zum Auslesen der Ergebnisse sind Mini-Computer geeignet. Voraussetzung ist lediglich ein moderner Browser und eine Schnittstelle für Single Pair Ethernet 10Base-T1L oder Bluetooth LE 5.1. Die Messung selbst ist unabhängig vom Mini-Computer.

Entwicklungsziele für die KERT-Systeme waren geringe Kosten für die Anschaffung und – noch wichtiger ein möglichst geringer Arbeitsaufwand für die Durchführung der Messungen. Es gibt deshalb zwei Systemvarianten. Die ISM-Variante mit drahtlosem Datenaustausch und Stromversorgung mit Akkus in jedem Sensor ist für kurzzeitige mobile Prüfeinsätze vorgesehen. Optimiert wurde die Installationszeit des Messsystems. Es müssen keine Kabel verlegt werden und die Positionen der Sensoren auf der Prüfoberfläche werden automatisch vom System selbst vermessen. Die SPE-Variante mit Single-Pair-Ethernet-Kabeln und zentraler Stromversorgung ist für Langzeitmessungen gedacht, bei denen die Installationszeit für das System im Vergleich mit dem ständigen Wartungsaufwand eine untergeordnete Rolle spielt. Das regelmäßige Aufladen der Akkus entfällt und die Langzeit-zuverlässigkeit ist größer als die der ISM-Variante.

VORTRAG 19

Eine neue ISO Norm zur Bestimmung der Empfindlichkeitsspektren von AE SensorenH. Vallen¹¹Vallen Systeme GmbH, Wolfratshausen

Etliche Normen zur Schallemissionsprüfung von zB sicherheitskritischen Strukturen definieren eine minimale Sensorempfindlichkeit zur Anwendung der jeweiligen Norm. Jeder Hersteller und Anwender von Schallemissionssensoren muss sicherstellen, dass die verwendeten Sensoren diese geforderte Mindestempfindlichkeit erfüllen. Bisher gab es keine etablierte, nicht-kontroverse und für Dienstleister praktisch durchführbare Norm zur Bestimmung der Empfindlichkeitsspektren von Schallemissionssensoren. Eine solche Norm ist für die Vereinheitlichung der Schallemissionsprüfung, der Datenkorrelation und -interpretation und für einen sinnvollen Austausch von Daten zwischen unterschiedlichen Anwendungs- und Forschungsgruppen unbedingt erforderlich.

Alle bisher existierenden ISO- und ASTM-Normen zur Bestimmung der Empfindlichkeitsspektren von Schallemissionssensoren erfordern einen schweren (zB 2 t), immobilen Prüfblock, der für spezialisierte Labors handhabbar sein mag, aber für die meisten Schallemissionsdienstleister praktisch nicht zu handhaben ist. Die neue Norm ISO 24543 wurde mit dem Ziel entwickelt, die Bestimmung der Empfindlichkeitsspektren mit einfachen und preisgünstigen Hilfsmitteln und einfacher Handhabung realisieren zu können.

„ISO 24543, Zerstörungsfreie Prüfung Schallemissionsprüfung Überprüfung der Empfangsempfindlichkeitsspektren von piezoelektrischen Schallemissionssensoren“ wurde vom Gremium ISO/TC135/SC9/WG9 entwickelt und erhielt im September 2022 den Veröffentlichungsstatus in englischer Sprache.

Dieser Beitrag präsentiert einen Überblick über diese neue Norm.

VORTRAG 20

Aktuelle Normenprojekte der CEN/TC 138/WG 7 und ISO/TC 135/SC 9

G. Lackner¹

¹TÜV AUSTRIA SERVICES GMBH, Wien, Österreich

Die Schallemissionsprüfung als ZfP-Verfahren nach EN ISO 9712 ist auch im Bereich der Normung gut etabliert. Es existieren CEN und ISO Normen zu Terminologie, Grundlagen, Verfahren und Produkten. Der Schwerpunkt in der Anwendung liegt bei metallischen Komponenten und hier wiederum bei der Prüfung von Druckgeräten. Um dem vermehrten Einsatz in der Dauerüberwachung von Anlagenkomponenten mit Schallemission gerecht zu werden, wurde die EN 17391 von der Arbeitsgruppe 7 der CEN/TC 138 verfasst und Anfang 2022 als DIN EN veröffentlicht. In der internationalen Normung werden mehrere Projekte für die Schallemissionsprüfung vom Unterausschuss 9 der ISO/TC 135 in verschiedenen Arbeitsgruppen vorangetrieben. Auch hier stehen Anwendungen für metallische Komponenten im Vordergrund. Dieser Beitrag berichtet schwerpunktmäßig über die Inhalte der verschiedenen Normenprojekte und geht auch auf Themen für zukünftigen Projekte ein. Dazu zählt unter anderem die Terminologie, die hinsichtlich CEN und ISO noch nicht harmonisiert ist.

VORTRAG 21

Einfluss der Rissdynamik auf die Anstiegszeit von elektromagnetischer Emission und SchallemissionC.F. Appel¹, M.G.R. Sause¹¹Universität Augsburg

Beim Bruchvorgang von Materialien kommt es neben der Entstehung von Schallemission durch die ruckartige Mikroverformung auch zur Entstehung von elektromagnetischer Emission durch die ruckartige Bewegung von Ladungsträgern. Beide Phänomene sind geprägt von der Rissdynamik, d.h. der Geschwindigkeit der Rissausbreitung, der Schwingung der Rissflanken nach dem Abstoppen eines Risses, sowie der generellen makroskopischen Bewegung des Materials. Die Kombination der beiden Messverfahren hat verschiedene Vorteile, jedoch ist insbesondere die Bestimmung des ersten Anstiegs der mikroskopischen Bewegung von großem Interesse zum besseren Verständnis beider Signalarten. Im vorliegenden Fall wurden die Methoden mit Aufnahmen einer High-Speed-Kamera kombiniert, die zusätzlich eine bildgebende Erfassung des Rissfortschritts erlaubt. Die aus den Bilddaten extrahierten zeitabhängigen Rissverläufe werden als Grundlage für eine numerische Berechnung der entstehenden Signale verwendet und belegen damit grundsätzliche Überlegungen zum Zusammenhang zwischen Rissdynamik, Schallemissionssignalen und elektromagnetischen Signalen. Insbesondere mit Blick auf die Anstiegszeit konnte gezeigt werden, dass diese im Falle der elektromagnetischen Emission von der makroskopischen Relativbewegung der Bruchflächen während aber vor allem nach dem Risswachstum dominiert wird, wohingegen die Anstiegszeit der Schallemission, wie bereits vormals gezeigt, durch die mikroskopische Bewegung der Rissflanken während des Risswachstums und der anschließenden Trägheitsbewegung bestimmt wird. Durch die Kombination von elektromagnetischer Emission und Schallemission können somit die konsekutiven bruchdynamischen Prozesse ganzheitlich abgebildet werden.

VORTRAG 22

Ereignisbasierte Verteilte Zustandsüberwachung und Schadenserkenkung in großskaligen und komplexen Konstruktionen mit hybrider Multisensorfusion

S. Bosse¹, P. Krämer²

¹Mathematik und Informatik, Universität Bremen

²FB Maschinenbau, Universität Siegen

Robuste und sichere Schadenserkenkung in großskaligen Bauteilen und Konstruktionen ist immer noch eine Herausforderung, sowohl hinsichtlich der Messtechnik als auch der Datenauswertung. Beispiele sind Betonbauteile oder Stahlbetonkonstruktionen, insbesondere solche die unter widrigen Bedingungen wie Off-shore Windenergieanlagen betrieben werden. Für die Zustandsüberwachung, vor allem Risserkennung, können geführte Wellen oder akustische Emissionen eingesetzt werden, die auf eine Rissentstehung oder Ausbreitung hindeuten. Beide Verfahren beruhen häufig auf Referenzmessungen (differentielle Diagnostik). Diese können aber durch veränderte externe Einflüsse und Störungen ungültig werden. Werden z.B. akustische Messungen mit Abtastraten mit mehr als 1Ms/s durchgeführt und sind die Bauteile mit einer großen Anzahl von Sensoren ausgestattet können die Datenvolumen immens große werden (Tera Bytes bis Peta Bytes), gerade auch auf der longitudinalen Achse. Eine echtzeitfähige Schadenserkenkung ist nicht mehr möglich. Anstelle einer zentralisierten global Zustandsschätzung sollen Methoden der lokalen Zustandsschätzung mit globaler Fusion diskutiert und vorgestellt werden. Dabei wird ein verteiltes digitales Sensornetzwerk angenommen, in dem Sensorknoten nur lokale Senordaten verarbeiten, um im ersten Schritt eine Anomalie festzustellen, die ein Ereignis für weitere Analysen auslösen. Durch selbst-organisierende, selbst-adaptive und agentenbasierte Nachbarschaftsinteraktion der Sensoren und Sensorfusion (mit Analyse geführter Wellen und akustische Emissionsanalyse) soll ein möglicher Schaden näher und durch datengetriebene Ensembleprädiktoren charakterisiert werden. Dabei soll ein möglichst großer Parameterraum abgedeckt werden und die Implementierung der Schadens- und Anomalieprädiktoren im eingebetteten System realisierbar sein. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Erkennung von Rissentstehung und Propagation.

VORTRAG 23

Ein inverses Verfahren zur Schadensrekonstruktion mittels geführter Wellen in Stahlplatten

J. Bulling¹, B. Jurgelucks², A. Walther², J. Prager¹

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

²Humboldt-Universität zu Berlin

Die Charakterisierung von Schäden in schalenförmigen Bauteilen, wie zum Beispiel Rohrleitungen, Laminaten und Platten, ist mittels geführter Ultraschallwellen besonders effektiv durch die Inspektion großer Bereiche der Struktur von nur wenigen Sensorpositionen ausgehend. Besonders die Größenbestimmung des Schadens ist jedoch eine herausfordernde Aufgabe, da durch die verschiedenen dispersiven Moden der geführten Wellen nicht immer ein einfacher Zusammenhang zwischen den vom Schaden kommenden Reflektionen und der Schadensgröße hergestellt werden kann. Eine Möglichkeit die Größe der Schäden zu bestimmen, ist der direkte Vergleich der Messsignale mit den Signalen aus einem Simulationsmodell. Diese Rekonstruktion des Schadens im Simulationsmodell stellt ein inverses Problem bzw. ein Optimierungsproblem dar. Für die Optimierung werden mehrere Vorwärtsrechnungen gebraucht, um das Schadensmodell an die Messdaten anzupassen.

Aufgrund der kurzen Wellenlängen von Ultraschallwellen sind klassische Methoden für die Vorwärtsrechnung, wie z.B. die Finite Elemente Methode (FEM), zu rechenintensiv. Eine Möglichkeit den Rechenaufwand zu reduzieren, bietet die Approximation der Wellenausbreitung mittels der semi-analytischen Scaled Boundary Finite Element Method (SBFEM). Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass die benötigten Freiheitsgrade und damit die Rechenzeit im Vergleich zur FEM wesentlich geringer sind.

In diesem Beitrag wird ein gradientenbasiertes Optimierungsverfahren zur Größenbestimmung von Schäden vorgestellt. Der Gradient des SBFEM-Vorwärtsmodells wird durch Algorithmisches Differenzieren berechnet, wodurch eine genaue und schnelle Optimierung ermöglicht wird. Es werden Untersuchungen an 2D-Querschnittsmodellen von Stahlplatten präsentiert. Dabei werden Eigenschaften des entwickelten Algorithmus untersucht. In diesen Untersuchungen werden zunächst künstliche Messdaten aus unabhängigen Simulationen verwendet, aber auch eine experimentelle Validierung anhand von einfachen Vergleichsfehlern vorgestellt. Hierbei wird auf die Herausforderungen einer Validierung von 2D Modellen mit Experimenten eingegangen.

POSTER 1

Temperaturkompensation von Signalen geführter Ultraschallwellen durch Merkmalsextraktion und Ermittlung geeigneter Funktionen

C. Polle¹, M. Koerdt¹, B. Maack¹, A. Herrmann¹

¹Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE), Bremen

In diesem Beitrag wird der Temperaturskalierungsansatz (TS) für die Temperaturkompensation von geführten Ultraschallwellen (GUW) vorgestellt. In vielen früheren Arbeiten konnte beobachtet werden, dass die Amplituden der GUW sich mit der Temperatur ändern. In dem TS-Ansatz wird angenommen, dass für jede Wandlerkonfiguration mehrere Funktionen $M(f, T)$ existieren, die die Änderung der maximalen Amplitude in Abhängigkeit von der Frequenz f und der Temperatur T beschreiben. Es wird außerdem angenommen, dass mehrere Funktionen $F(f, T)$ existieren, die die Änderungen der Halbwertsbreite (englisch: FWHM, full width at half maximum) des Signalteils beschreiben, die den Maximalwert der Amplitude der Messung enthält. Außerdem wird angenommen, dass die Funktionen $M(f, T)$ und $F(f, T)$ auch von dem Medium abhängen, in dem sich die GUW ausbreiten, so dass eine Änderung des Mediums zu einer Änderung der Funktionen führt. Dies bedeutet, dass diese Funktionen zur Schadenserkenkung verwendet werden können.

POSTER 2

Bleifreie, 3D druckbare piezoelektrische Kompositsensoren zur Detektion geführter Ultraschallwellen in dünnwandigen BauteilenT. Roloff¹, R. Mitkus¹, M. Sinapius¹¹Institut für Mechanik und Adaptronik, Technische Universität Braunschweig

Der Bauteilzustand dünnwandiger Strukturen kann mittels geführter Ultraschallwellen charakterisiert werden. Die dazu verwendeten Structural Health Monitoring Systeme können großflächige Strukturabschnitte überwachen und bestehen meist aus Netzwerken mehrerer Aktoren und Sensoren. Bei der dauerhaften Installation eines solchen Systems sind diskrete Wandler zu applizieren oder zu integrieren. Letztere bestehen oftmals aus bleihaltigen piezoelektrischen Keramiken mit großen piezoelektrischen Ladungskonstanten, aber hohen akustischen Impedanzen. Sowohl das enthaltene Blei, als auch der große Impedanzunterschied zwischen Struktur und Sensor wirken sich negativ auf die Anwendbarkeit und Performance der Systeme aus. Im Rahmen dieses Beitrages wird in einem ersten Ansatz evaluiert, inwiefern sich applizierte, dünne und vor allem bleifreie piezoelektrische Kompositsensoren zur Detektion geführter Ultraschallwellen in isotropen Materialien eignen. Die 3D druckbaren und mittels Tape Casting gefertigten Sensoren bestehen aus einem Photopolymer mit darin dispergierten, mikroskaligen Kalium-Natrium-Niobat-Partikeln und Kohlenstoffnanoröhren. Die Detektierbarkeit geführter Ultraschallwellen wird in einer Aluminiumplatte bis zu einem Frequenz-Dickenprodukt von 0,5 MHzmm überprüft. Neben der Sensitivität wird dabei ebenfalls die akustische Impedanzanpassung der Sensoren an die Struktur untersucht, indem bei der Interaktion zwischen eintreffender Welle und Sensor entstehende Reflektionen mithilfe von 3D-Laservibrometrie qualitativ analysiert werden. Der Beitrag zeigt damit erste Nutzungsmöglichkeiten bleifreier Piezokompositsensoren im Bereich des Structural Health Monitorings auf.

Fraunhofer IKTS

Maria-Reiche-Straße 2 | 01109 Dresden
Kontakt: Andrea Gaal
Tel.: +49 351 88815-671
E-Mail: andrea.gaal@ikts.fraunhofer.de
Webseite: <https://www.ikts.fraunhofer.de>

Das Fraunhofer IKTS entwickelt Prüf- und Monitoringsysteme auf Grundlage verschiedener Methoden der zustandsorientierten Instandhaltung. Dazu gehört der Einsatz sogenannter geführter Wellen, bspw. bei der Überwachung von Druckbehältern aus faserverstärkten Verbundwerkstoffen (CFK) oder dem Korrosionsmonitoring von schwer zugänglichen Rohrleitungen durch das CoMoRanger®-System.

Technische Hochschule Mittelhessen

Wiesenstraße 14 | 35390 Gießen
Kontakt: Prof. Dr. Jörg Subke
Tel.: +49 641 309 2563
E-Mail: joerg.subke@lse.thm.de
Webseite: <https://www.thm.de>

- 1. Akustisch-kinetische Analyse von Kniegelenken zur Dokumentation von Veränderungen der Knorpeloberfläche – Präsenzprüfung
Die Besucher sind herzlich eingeladen, den Verschleiß und Belastungsstatus ihrer Kniegelenke prüfen zu lassen.*
- 2. Schallemissionsanalyse in Betonstrukturen
Künstliche Intelligenz in der Schallemissionsanalyse*

Universität Augsburg

Am Technologiezentrum 8 | 86159 Augsburg
Kontakt: Teresa Grunwald
Tel.: +49 821 598-69143
E-Mail: teresa.grunwald@uni-a.de
Webseite: www.uni-a.de/to/kipronet

Körperschallsensoren überwachen akustisch ein Getriebe und geben die erfassten Daten in Echtzeit an eine KI weiter, die anhand der Sensordaten die Zustände des Antriebes, Verschleiß oder Belastungszustände erkennt: Das KI-Produktionsnetzwerk präsentiert, wie man schon jetzt mit KI die Zukunft der Produktion gestalten kann und welche Rolle Schallemissionsanalyse und Zustandsüberwachung spielen.

Vallen Systeme GmbH

Bürgermeister-Seidl-Str. 8 | 82515 Wolfratshausen
Kontakt: Veronika Hielscher
Tel.: +49 8171 38391-24
E-Mail: office@vallen.de
Webseite: <https://www.vallen.de>

AE – Messsysteme

AUTOR*IN	PROGRAMM-NR.	AUTOR*IN	PROGRAMM-NR.
Achzet, M.	9, 12	Lackner, G.	20
Alleyne, D.	8	Linscheid, F.F.	9, 12
Appel, C.F.	21	Lugovtsova, Y.	16
Baumeister, C.	12	Luong, Q.R.	9, 12
Boos, B.	13	Maack, B.	P1
Bosse, S.	22	Manthei, G.	2
Brück, B.	12	Marx, S.	4
Brunner, A.J.	14, 17	Mitkus, R.	P2
Bulling, J.	16, 23	Mix, L.	13
Charmi, A.	10	Nicolai, M.	16
Chung, P.-L.	15	Pietzsch, A.	5
Claes, L.	16	Pinter, G.	14
Duffner, E.	10	Pirskawetz, S.	7
Ehrler, J.	11	Polle, C.	P1
Gaul, T.	5	Prager, J.	10, 16, 23
Gfrerrer, M.	14	Reindl, T.	15
Gurka, M.	13	Rittmann, J.	15
Heimann, J.	10	Roloff, T.	P2
Heinrich, J.	2	Sause, M.G.R.	9, 12, 21
Henning, B.	16	Schacht, G.	4
Hermawan, H.	1	Schlech, T.	9, 12
Herrmann, A.	P1	Schmeiler, M.	1
Johannesmann, S.	16	Schmidt, S.	6
Jurgelucks, B.	23	Schneider, B.	1
Käding, M.	4	Schubert, F.	2
Keller, A.	1	Schubert, L.	5
Kippert, T.	5	Schukar, M.	10
Koerd, M.	P1	Schwalbe, H.-J.	1
Kornely, M.	11	Sinapius, M.	P2
Krämer, P.	22	Solodov, I.	11
Kreutzbruck, M.	11, 15	Subke, J.	1
Krüger, R.	3	Trattnig, H.	17
Kühmstedt, M.	3	Tschöke, K.	3, 5
Kühnicke, H.	18		

AUTOR*IN	PROGRAMM-NR.
Vallen, H.	19
Vogt, T.	8
Walther, A.	23
Wang, L.	18
Wiener, J.	14
Yagdjian, H.	13
Yilmaz, B.	10
Zeipert, H.	16

