

„Charakterisierung von Materialien“

Programm und Kurzfassungen der Vorträge

23. Workshop „Physikalische Akustik“ im Physikzentrum Bad Honnef, gemeinsam veranstaltet vom Fachausschuss Physikalische Akustik der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA) und dem Fachverband Akustik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)

Donnerstag, 19.10.2017

9:00	Willkommen Joachim Bös, Bernd Henning, Sigrun Hirsekorn, Jens Prager
9:10	Gleichzeitige Messung von Schallgeschwindigkeiten und Abständen zur Charakterisierung von Fluiden und Festkörpern <u>Mario Wolf</u> , Elfgard Kühnicke Institut für Festkörperelektronik, Technische Universität Dresden
9:50	Luftgekoppelte akustische Charakterisierung von geschichteten Materialien Sebastian Wöckel, Hendrik Arndt ifak – Institut für Automation und Kommunikation e. V., Magdeburg
10:30	Kaffeepause
11:00	Akustische Eigenschaften additiv gefertigter Werkstoffe <u>Jens Prager</u> , Emil Köppen, Dirk Gohlke Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin
11:40	Akustische Eigenschaften von 3D-gedruckten Zahnrädern <u>Philipp Neubauer</u> , Joachim Bös, Tobias Melz Fachgebiet Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik SAM, Technische Universität Darmstadt
12:20	Mittagessen
13:30	gemeinsame Sitzung des Fachausschusses Physikalische Akustik der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA) und des Fachverbands Akustik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)
14:00	Ultraschallbasierte Charakterisierung des Alterungsverhaltens von Polymeren <u>Manuel Webersen</u> , Bernd Henning Fachgebiet Elektrische Messtechnik, Universität Paderborn
14:40	Simulationsbasierte Materialdatenermittlung piezoelektrischer Werkstoffe und Homogenisierung komplexer piezoelektrischer Sensoren und Aktoren <u>Manuel Weiß</u> , Stefan Rupitsch Lehrstuhl für Sensorik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
15:20	Kaffeepause
15:50	Absorptionsmessungen im Kundtschen Rohr <u>Antje Grebel</u> , Joachim Bös, Tobias Melz Fachgebiet Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik SAM, Technische Universität Darmstadt

16:30	Parameter variations for a porous layer simulation <u>Ferina Saati Khosroshahi</u> , Lennart Moheit, Steffen Marburg Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme, Technische Universität München
17:10	Messung des Strömungswiderstandes poröser Materialien – Messverfahren und deren Unsicherheit <u>Tobias Ring</u> ^a , Christian Morgenstern ^b , Sabine C. Langer ^a ^a Arbeitsgruppe Vibroakustik, Technische Universität Braunschweig ^b Bertrand Technologie GmbH, Sassenburg
17:40	Ende des Vortragsprogramms am Donnerstag
ab 19:00	gemeinsames Abendessen

Freitag, 20.10.2017

8:40	Die Vielfalt von Ultraschallsensoren – Vom einfachen Einparkensensor bis zum Sensor für die akustische Breitband-Impedanzspektroskopie für die Kunststoffbewertung <u>Henning Heuer</u> ^{a,b} , Thomas Herzog ^a , Susan Walter ^b , Frank Schubert ^a ^a Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden ^b Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik, Technische Universität Dresden
9:20	Moderne Methoden des bildgebenden Ultraschalls zur zerstörungsfreien Werkstoffcharakterisierung und -prüfung <u>Marc Kreuzbruck</u> , Wolfgang Essig, Peter Fey, Igor Solodov, Maxim Daschewski Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart
10:00	Charakterisierung von Punktschweißverbindungen mittels Ultraschall <u>Frank Schubert</u> , Raffael Hipp, Chong Wang Ultraschallsensoren und -verfahren, Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden
10:40	Kaffeepause
11:10	Bauwerksüberwachung mit Ultraschall <u>Ernst Niederleithinger</u> , Herbert Wiggerhauser Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin
11:50	Kapazitive mikromechanische Ultraschallsysteme (CMUT) für die zerstörungsfreie Materialcharakterisierung und -überwachung <u>Sandro G. Koch</u> , Marco Kircher, Mario Grafe Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS, Dresden
12:30	Mittagessen (Ende des Workshops)

Kurzfassungen/Inhalte der Vorträge

Luftgekoppelte akustische Charakterisierung von geschichteten Materialien

Sebastian Wöckel, Hendrik Arndt

ifak – Institut für Automation und Kommunikation e. V., Magdeburg

Die steigende Komplexität der bspw. im Automobilbau verwendeten Materialien (Lamine, CFK, ...) sowie Fertigungs- und Fügeverfahren (Kleben) stellt steigende Anforderungen an Prüfsysteme zur Sicherung der Produktqualität. Diesbezüglich gewinnt, ausgehend von einer Nischenanwendung basierend auf wenigen kommerziellen und vorwiegend akademischen Systemen, die kontakt- und eingriffsfreie Prüfung mit luftgekoppeltem Schall zunehmend Marktrelevanz. Den Vorteilen einer koppelmittelfreien Messung, einer einfachen Handhabung und robuster Systeme stehen entscheidend der Reflexionsverlust an der Grenzschicht zu Luft und der resultierende geringe Signalkontrast sowie die geringe Auflösung infolge der für typische Luftschallfrequenzen $f < 2$ MHz resultierenden Wellenlänge als Nachteile entgegen.

Der vorliegende Beitrag diskutiert die Möglichkeiten eines algorithmischen Schätzverfahrens zur modellgestützten akustischen Charakterisierung von verdeckten Schichten, deren Ausdehnungen unterhalb der physikalischen Wellenlänge liegen. Unabhängig vom verwendeten Luftschallsystem werden ein lineares Ausbreitungsmodell des Schallsignals im Mehrschichtsystem sowie das Verfahren der Parameterschätzung zur Ableitung der akustisch relevanten Größen (Dichte, Dicke, Schallgeschwindigkeit und Dämpfung) anhand von Simulationsdaten dargestellt.

Akustische Eigenschaften additiv gefertigter Werkstoffe

Jens Prager, Emil Köppen, Dirk Gohlke

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Die Ultraschallprüfung additiv gefertigter Metallbauteile setzt eine genaue Kenntnis der akustischen Eigenschaften des Werkstoffs voraus. Insbesondere bei bildgebenden Rekonstruktionsverfahren müssen Anisotropien berücksichtigt werden, um ausreichende Abbildungsgenauigkeit zu erhalten. Es ist davon auszugehen, dass der lagenweise Aufbau des Werkstoffs beim selektiven Laserschmelzen eine bevorzugte Kornorientierung erzeugt, die sich in einer akustischen Anisotropie widerspiegelt.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, die akustischen Eigenschaften verschiedener additiv gefertigter Werkstoffe zu analysieren. In die Untersuchungen wurden verschiedene Stahl- und Aluminiumproben mit unterschiedlicher Aufbauorientierung einbezogen. Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Abhängigkeit der Schallausbreitungsgeschwindigkeit von der Aufbauorientierung. Zudem wurden neben örtlichen Schwankungen der gemessenen Schallgeschwindigkeiten auch lokale Änderungen der Porosität des Werkstoffs beobachtet.

Akustische Eigenschaften von 3D-gedruckten Zahnrädern

Philipp Neubauer, Joachim Bös, Tobias Melz

Fachgebiet Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik SAM, Technische Universität Darmstadt

Die additive Fertigung hält verstärkt Einzug in die Produktionsstätten, sodass immer mehr Maschinenelemente additiv gefertigt werden, darunter auch Zahnräder. In diesem Beitrag werden die akustischen Eigenschaften von mittels unterschiedlicher additiver Fertigungsverfahren hergestellten (3D-gedruckten) Zahnrädern untersucht. Die Fertigungsverfahren und die sich daraus ergebenden mechanischen Eigenschaften der Zahnräder werden vorgestellt. Die akustischen Eigenschaften der Zahnräder, ermittelt an einem akustischen Getriebeprüfstand, werden präsentiert. Es wird dargestellt, welche Chancen und Risiken sich bei der Verwendung von 3D-gedruckten Zahnrädern für akustische Untersuchungen ergeben.

Ultraschallbasierte Charakterisierung des Alterungsverhaltens von Polymeren

Manuel Webersen, Bernd Henning

Fachgebiet Elektrische Messtechnik, Universität Paderborn

Ultraschallbasierte Methoden sind weit verbreitet in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung (ZfP/NDT, NDE), aber auch in der zerstörungsfreien Materialcharakterisierung, bei der beispielsweise die mechanischen Parameter der Probe (Elastizitätsmodul und Poissonzahl) bestimmt werden. Dabei sind die jeweiligen Eigenschaften des Materials bei der Modellbildung und bei der Wahl des Messsystems zu berücksichtigen, etwa der Grad an Anisotropie, die Homogenität (oder Heterogenität) und der Einfluss von Absorption.

Speziell bei Kunststoffen ist bekannt, dass externe Einwirkungen wie Witterungseinflüsse oder UV-Bestrahlung eine signifikante Änderung der Materialeigenschaften verursachen. Diese meist irreversiblen Änderungen werden unter dem Begriff „Materialalterung“ zusammengefasst. Mittels ultraschallbasierter Materialcharakterisierung können die Folgen der Alterung zerstörungsfrei charakterisiert werden, beispielsweise durch Betrachtung von Proben vor und nach einer definierten Exposition.

In diesem Beitrag werden ausgewählte Verfahren zur ultraschallbasierten Materialcharakterisierung vorgestellt und zur Beschreibung des Alterungsverhaltens angewendet. Der Fokus liegt dabei auf künstlich hydrothermisch gealterten Proben auf Basis von Polyamid 6.

Simulationsbasierte Materialdatenermittlung piezoelektrischer Werkstoffe und Homogenisierung komplexer piezoelektrischer Sensoren und Aktoren

Manuel Weiß, Stefan Rupitsch

Lehrstuhl für Sensorik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Piezoelektrische Materialien kommen in den unterschiedlichsten Anwendungsgebieten der Sensorik und Aktorik zum Einsatz. Finite-Elemente-Simulationen werden hinzugezogen, um das mechanische und elektrische Verhalten komplexer Systeme zu optimieren oder im Detail vorherzusagen. Letzteres erfordert hinreichend genaue Materialdaten der beteiligten Werkstoffe. Zur Ermittlung der Materialdaten piezoelektrischer Materialien verwenden wir einen simulationsbasierten inversen Ansatz, der die Materialdaten durch einen Vergleich von Messungen und Simulationen anhand eines Optimierungsalgorithmus identifiziert. Im Gegensatz zu Standardmethoden erfordert dieses Vorgehen ausschließlich zwei unterschiedliche Probengeometrien. In diesem Beitrag werden wir den Ablauf der inversen Methodik beispielhaft anhand einer piezoelektrischen Keramik erläutern.

Zudem werden wir die Homogenisierung piezoelektrischer Wandler (piezoelektrischer Stapelaktor und Flächenwandler) durch einen inversen simulationsgestützten Ansatz vorstellen. Dieser beinhaltet eine Vereinfachung der komplexen Struktur durch simple homogene Modelle und die Ermittlung effektiver Materialparameter. In diesem Zusammenhang werden wir den Ablauf der Homogenisierung anhand zweier Wandler vorstellen und die ermittelten effektiven Materialdaten experimentell validieren.

Absorptionsmessungen im Kundtschen Rohr

Antje Grebel, Joachim Bös, Tobias Melz

Fachgebiet Systemzuverlässigkeit, Adaptronik und Maschinenakustik SAM, Technische Universität Darmstadt

Der Vortrag stellt die aktuelle Norm DIN EN ISO 10534-2 für Messungen der Schallabsorption im Impedanzrohr vor. Ausgehend davon werden einzelne Aspekte aufgegriffen, die möglicherweise Abweichungen in Messreihen, bedingt durch den Einbau der Probe, hervorrufen. Dies wird mit dem aktuellen Stand der Forschung verknüpft. Anhand einer am Fachgebiet SAM der TU Darmstadt durchgeführten Reihenuntersuchung werden besonders kritische Parameter beim Einbau und bei der Herstellung der Probe für die Messung eines PU-Schaumes identifiziert. Materialparameter und deren Einfluss auf den berechneten Absorptionsgrad werden in dieser Untersuchung nicht betrachtet, sie sind Gegenstand der Untersuchung von Ferina Saati.

Parameter variations for a porous layer simulation

Ferina Saati Khosroshahi, Lennart Moheit, Steffen Marburg

Lehrstuhl für Akustik mobiler Systeme, Technische Universität München

Porous media are widely known in the areas concerning noise absorption and interior and exterior acoustics. Among the numerical techniques to simulate a porous layer are analytical and semi-phenomenological rigid frame or limp models that can be implemented using finite element method and commercial software actively update the range of models offered. In this work, an investigation is done using a no-flow basic problem. By varying material pore complexity and properties, different models are studied to enhance the understanding of the various treatments.

Messung des Strömungswiderstandes poröser Materialien – Messverfahren und deren Unsicherheit

Tobias Ring^a, Christian Morgenstern^b, Sabine C. Langer^a

^a Arbeitsgruppe Vibroakustik, Technische Universität Braunschweig

^b Bertrandt Technologie GmbH, Sassenburg

Der Strömungswiderstand poröser Materialien ist für die Materialcharakterisierung in verschiedener Hinsicht von Bedeutung. Einerseits ist er in verschiedenen Anwendungen direkt von Interesse, wie beispielsweise beim Einsatz poröser Materialien an umströmten Körpern zur Reduktion aeroakustischer Quellen. Andererseits lassen sich weitere akustisch relevante Größen wie beispielsweise der Absorptionsgrad aus dem Strömungswiderstand abschätzen.

Die Messung des Strömungswiderstandes ist in der Norm EN 29053:1993 genormt. Diese Norm lässt zwei Messverfahren zu, Verfahren A mit einer konstanten Strömung durch die Probe und Verfahren B mit einer Wechselströmung. In welchen Grenzen beide Verfahren identische Werte liefern ist jedoch bisher nur unzureichend untersucht. Allerdings existieren Hinweise darauf, dass innerhalb relativ großer Unsicherheitsbudgets beide Verfahren vergleichbare Werte liefern.

In diesem Beitrag werden Vergleichsuntersuchungen zu beiden Verfahren vorgestellt und relevante Unterschiede aufgezeigt. Die Untersuchungen sind vor allem experimenteller, aber auch numerischer Art und zielen auf eine Quantifizierung der Eigenschaften sowie relevanter Unsicherheitsbudgets der beiden Messverfahren ab.

Die Vielfalt von Ultraschallsensoren – Vom einfachen Einparkensensor bis zum Sensor für die akustische Breitband-Impedanzspektroskopie für die Kunststoffbewertung

Henning Heuer^{a,b}, Thomas Herzog^a, Susan Walter^b, Frank Schubert^a

^a Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden

^b Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik, Technische Universität Dresden

Ultraschallsensoren sind komplexe elektro-mechanische Baugruppen, die für den jeweiligen Anwendungszweck individuell ausgelegt werden. Neben der Anpassung der akustischen Impedanz und der Messfrequenz für die jeweilige Anwendung müssen Parameter wie Bandbreite, Kopplungseffizienz, Temperaturbereich, Elementanzahl und deren Anordnung flexibel den Anforderungen entsprechend angepasst werden können. Neben diesen technischen Fragestellungen sind die Themen Lieferzeit, Kosten und Nutzungsdauer von entscheidender Bedeutung. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über verschiedene Aufbaukonzepte und Fertigungstechnologien von Ultraschallsensoren und diskutiert technologische Trends wie piezoelektrische Einkristalle, biplanare Arrays und Nutzung von Druck- und Abformtechniken zur Serienfertigung komplexer Ultraschallsensoren.

Charakterisierung von Punktschweißverbindungen mittels Ultraschall

Frank Schubert, Raffael Hipp, Chong Wang

Ultraschallsensoren und -verfahren, Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden

Widerstandspunktschweißungen werden in der blechverarbeitenden Fertigung, insbesondere im Karosserie- und Fahrzeugbau eingesetzt und besitzen eine hohe wirtschaftliche Relevanz. Die Fügestelle selbst ist meist von außen nicht sichtbar und somit auch nicht ohne Weiteres bewertbar. Für die Einschätzung ihrer Qualität sind neben der Scherzugkraft auch der Schweißlinsendurchmesser sowie die Linseneindringtiefe von zentraler Bedeutung. Nach dem aktuellen Stand der Technik erfolgt meist eine stichpunktartige Prüfung mit laborbasierten zerstörenden Methoden. Damit sind statistische Aussagen zur Qualität der Fügeverbindung möglich, allerdings erst nach deren Zerstörung und somit nicht am Originalbauteil selbst. Die Ultraschallprüfung stellt demgegenüber ein Verfahren dar, mit dem Punktschweißungen auch während der Produktion zerstörungsfrei geprüft und umfassend charakterisiert werden können. Der Übersichtsvortrag stellt verschiedene Ultraschallverfahren im Labor- und Praxiseinsatz vor, angefangen von konventionellen Einkanallösungen in Kontakttechnik über Matrixarrays, Ultraschallmikroskopie bis hin zu modernen Ansätzen mit tomographischer Rekonstruktion, geführten Wellen und Luft-Ultraschall. Neben der Darstellung der Messergebnisse werden die Methoden auch mittels numerischer Schallfeldsimulation veranschaulicht und erläutert. Dabei wird auch auf die besonderen Herausforderungen hinsichtlich Geometrie und Ankoppelbedingungen eingegangen.

Bauwerksüberwachung mit Ultraschall

Ernst Niederleithinger, Herbert Wiggerhauser

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Ultraschalltransmissionsmessungen werden schon länger in der Baustoffprüfung verwendet. Gegenüber schleichenden Veränderungen im Material, wie sie bei Ermüdung, Korrosion der Bewehrung oder chemischen Prozessen wie der Alkali-Kieselsäure-Reaktion auftreten, waren sie jedoch bisher nicht ausreichend sensitiv. In den letzten Jahren wurden aber deutliche Fortschritte erzielt. Es wurden langlebige, robuste Transducer entwickelt, die in Beton eingebettet werden können und eine hohe Wiederholgenauigkeit der Messungen gewährleisten. Zudem wurden Algorithmen aus der Seismologie, z. B. die Codawelleninterferometrie, adaptiert, mit denen relative Geschwindigkeitsänderungen bis zur Größenordnung 10^{-5} nachzuweisen sind. Mit dieser Methodik lassen sich zum einen Laborexperimente genauer begleiten, zum anderen reale Bauwerke langfristig überwachen. Im Vortrag werden Messtechnik und Datenverarbeitung erläutert sowie Beispiele aus der aktuellen Forschung vorgestellt.

Kapazitive mikromechanische Ultraschallsysteme (CMUT) für die zerstörungsfreie Materialcharakterisierung und -überwachung

Sandro G. Koch, Marco Kircher, Mario Grafe

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Ultraschallbasierte Aktor- und Sensorsysteme für die Materialcharakterisierung werden im Stand der Technik hauptsächlich durch Piezo-Keramiken (z.B. PZT), aber auch durch Kompositverbindungen und piezoelektrische Polymere realisiert. Diesen etablierten Technologien inhärent ist die inverse Proportionalität der Frequenz zur Dicke der piezoelektrischen Schicht, wodurch der erzeugbare Frequenzbereich, das Auflösungsvermögen sowie der Miniaturisierungsgrad wirtschaftlich eingeschränkt sind. Ein alternatives Konzept für Ultraschallwandler stellen die MEMS-basierten CMUTs (Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer) dar. Diese elektrostatisch betriebenen Ultraschallwandler sind einige zehn Mikrometer große Kondensatoren mit einer festen und einer flexiblen Elektrode, welche sowohl für die Schallemission als auch für die Schalldetektion zum Einsatz kommen. Die akustischen Eigenschaften einer CMUT-Zelle sind durch eine Vielzahl von geometrischen und elektrischen Parametern einstellbar, so dass dieser Wandlertyp an anwendungsspezifische Anforderungen angepasst werden kann. Zur Vergrößerung der akustischen Apertur und insbesondere zur Erhöhung des Schalldrucks werden mehrere Zellen in einem Kanal elektrisch parallel geschaltet. Aufgrund ihrer Größe bieten diese Systeme Vorteile gegenüber den konventionellen Piezo-Ultraschallsystemen in Hinblick auf die zunehmend an Bedeutung gewinnende Miniaturisierbarkeit, Arrayintegration und Elektronikintegrierbarkeit von Sensorsystemen.

Die CMOS-taugliche Technologie bietet somit das Potenzial, in Kombination mit einer integrierten Steuer- und Auswerteelektronik sowohl bei einkanaligen Systemen für die Materialcharakterisierung mittels akustischer Spektroskopie als auch bei mehrkanaligen Systemen für bildgebende Verfahren einen Mehrwert zu erzeugen.

Im Rahmen des Vortrags werden die am Fraunhofer IPMS entwickelte CMUT-Technologie sowie Anwendungsbeispiele für den Einsatz zur Materialcharakterisierung von Flüssigkeiten vorgestellt.