

# **Forschungszentrum Ultraschall**

Jahresbericht 2019



# Forschungszentrum Ultraschall Jahresbericht 2019

## *Bunte Bilder mit Hintersinn*

In unserem Jahresbericht finden Sie mehrere großflächige Abbildungen. Sie zeigen, wie bunt und vielfältig unser Arbeitsalltag ist. Hier erläutern wir, was dahinter steckt.

**Das Titelbild** basiert auf Abb. 1 **Seite 6**: Elektronikentwicklung am FZ-U – und das ist nur ein kleiner Bruchteil der notwendigen Werkzeuge, Kabel, Messgeräte, Hilfsmittel. **Seite 24**: Ausschnitt aus dem Prüfbild – vgl. Abb. 1 **Seite 50**: Punktionskugeln für den LET – ein geschätztes Produkt für Ausbildungskurse **Seite 72**: Luftultraschallbild einer Korkplatte mit eingefrästem FZ-U-Logo – der Intensitätsunterschied macht den Kontrast.

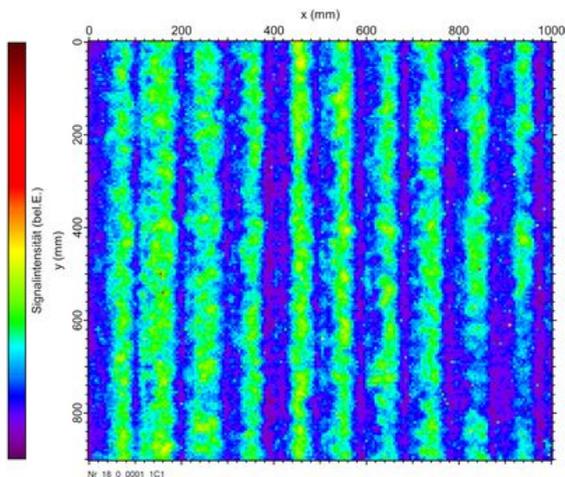


Abb. 1: Vorlage für das Titelbild des Jahresberichtes: Mit Luftultraschall erzeugtes Prüfbild einer Sandwichplatte. Die Streifenstruktur beruht auf der Profilierung der Metallplatte. Mehr zum Thema auf Seite 36.

# Zum Geleit



Dr. Ralf Steinhausen  
Geschäftsführer des FZ-U

*Liebe Leserin, lieber Leser,*

*im Jahr 2020 begeht das Forschungszentrum Ultraschall (FZ-U) seinen zehnten Geburtstag. Die ersten Jahre unseres Bestehens waren von Aufbauarbeit geprägt: Formalien, Anträge und zahlreiche Gespräche bestimmten die Arbeit. Mit den ersten Forschungsprojekten konnten wir uns Wissen und Fähigkeiten erarbeiten. Stück für Stück kamen Mitarbeiter hinzu und auch unsere Ausstattung wurde immer leistungsfähiger.*

*Nun, nach einem Jahrzehnt, haben wir viel erreicht: wir haben uns einen guten Namen erarbeitet und sind geschätzter Dienstleister und Forschungspartner. Unseren erfolgreichen Weg wollen wir fortsetzen. Die Schwerpunkte unserer aktuellen Forschungsaufgaben und wichtige Dienstleistungen stellen wir in unserem ersten Jahresbericht vor. Wir hoffen, damit neben unseren Fähigkeiten auch unsere Freude am Forschen, Entwickeln und Dienstleisten darzustellen. So kann es gerne weitergehen – daran arbeiten wir jeden Tag.*

*Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre!*

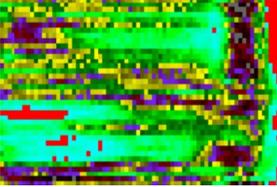
*Dr. Ralf Steinhausen*  
Geschäftsführer des FZ-U



<b>Das FZ-U</b>	<b>7</b>
Zahlen und Daten	8
Dienstleistungen	9
Abteilungen und Ansprechpartner	10
Ausstattung	12
Engagement	14
Praktisch gelernt – Workshops am FZ-U	17
Mittendrin und vorn dabei – Studierende am FZ-U	19
Interview mit dem Geschäftsführer	20
<b>Projekte</b>	<b>25</b>
Tiefe Töne tragen weiter – Entwicklung von niederfrequenten Wandlern	26
Verknotet geprüft – Ultraschallprüfung von Hohlprofilknoten	33
Schäume werden Prüferträume	36
Kling, Klang – das Spektrum entlang	41
Weitere Forschungsprojekte	45
Aktuelle Veröffentlichungen	48
<b>Dienstleistungen</b>	<b>51</b>
Medizintechnik – Ein Trainingskoffer macht Karriere	52
Luftultraschallwandler auf dem Prüfstand	60
Zertifizierte Geräteprüfung	64
Luftultraschall – Technologiekette aus einer Hand	66
Gut beraten, gut entwickelt, gut gemacht!	70
<b>Vorschau 2020</b>	<b>73</b>



## Einige Höhepunkte aus unserer Arbeit



Von uns entwickelte niederfrequente Ultraschallwandler erlauben es, auch stark dämpfende Schäume zu prüfen.

Mehr dazu auf Seite 26



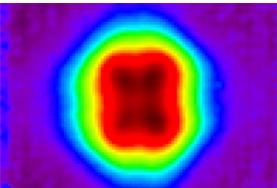
Wir arbeiten daran, Sandwichstrukturen in einem industriellen Umfeld prüfen zu können. Neue Prüftechnik macht's möglich.

Mehr dazu auf Seite 36



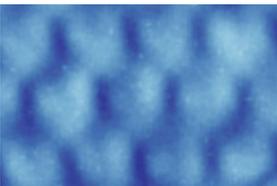
Wir erzählen die teils schweinische Geschichte von Entwicklung, Gegenwart und Zukunft unseres Endosonographie-Trainingsgerätes LET.

Mehr dazu auf Seite 52



Luftultraschallprüfung bedarf hochwertiger Prüfköpfe. Wir charakterisieren Luftschallwandler umfassend als Dienstleistung.

Mehr dazu auf Seite 60



Wir beherrschen die vollständige Technologie-kette im Luftgekoppelten Ultraschall. Wir geben einige Einblicke in Hardware und Prüfaufgaben.

Mehr dazu auf Seite 66



# Das FZ-U

Das Forschungszentrum Ultraschall ist ein leistungsfähiger Partner bei Forschung und Entwicklung. Wir stellen uns und unsere Dienstleistungen vor, informieren über unsere technische Ausstattung und erläutern unser Engagement in Fachverbänden und bei der Aus- und Weiterbildung.



## Zahlen und Daten

### *Das Forschungszentrum Ultraschall*

Das Forschungszentrum Ultraschall (FZ-U) ist eine industrienaher Forschungseinrichtung. Wir forschen und entwickeln im Bereich der Ultraschalltechnik mit den Schwerpunkten Prüfung, Sensorik und medizinischen Anwendungen.

### *Mitarbeiter*

Das FZ-U hat derzeit 11 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Die fachlichen Hintergründe sind gut gemischt: Physik, Elektronik, Maschinenbau und Medizintechnik.

### *Unsere Geschichte*

Gegründet wurde das FZ-U im Jahr 2010 auf Initiative regional in und um Halle (Saale) verankerter mittelständischer Unternehmen. Ihr Wunsch war es, ein Institut an der Schnittstelle zwischen unmittelbarer Anwendung und anwendungsgetriebener Forschung aufzubauen. Unsere Gründungsgeschichte dürfte einzigartig in Deutschland sein. Nach 10 Jahren können wir im Rückblick sagen: die Idee ist aufgegangen.

### *Geschäftsmodell*

Wir sind eine gemeinnützige GmbH. Derzeit haben wir 5 Unternehmen als Gesellschafter, welche thematisch mit Ultraschalltechnik und -prüfung Berührungspunkte haben. Fachlich und unternehmerisch sind wir unabhängig von unseren Gesellschaftern. Wir bekommen keine Grundfinanzierung. Wir finanzieren uns aus öffentlich geförderter Forschung sowie aus Industrieaufträgen. Dadurch können wir flexibel auf Anfragen reagieren.



## Dienstleistungen

### *Materialprüfung*

**Luftultraschallprüfung** umfassendes Angebot: Prüfung, Entwicklung von Prüfvorschriften, Beratung, Entwicklung von Wandlern und Ultraschallgeräten

**herkömmliche Ultraschallprüfung** mit von der DGZfP zertifiziertem Materialprüfer Stufe 3

### *Entwicklung*

**Prüftechnik** Wandler, Ultraschallgeräte, Verstärkertechnik

**Geräte- und Komponentenentwicklung** Nach Kundenwunsch fertigen wir Ultraschallelektronik in Einzelstücken bis zur Kleinserie

**Vakuumbeschichtung und Elektrodierung**

**Ultraschallsensorik**

**Medizinischer Ultraschall** Trainingsgeräte und -materialien für die Aus- und Weiterbildung von Mediziner\*innen

**Materialcharakterisierung**

### *Aus- und Weiterbildung*

fertige aber auch kundenspezifische Kurse, bisheriger Schwerpunkt: Grundlagen und Anwendung der Luftultraschallprüfung

### *Beratungsleistungen*

**Recherchen** Marktüberblick und Forschungsstand im Bereich der Ultraschalltechnik

**Machbarkeitsuntersuchungen** Recherche, Machbarkeit, betriebswirtschaftliche Machbarkeit, experimentelle Vorversuche, Lösungskonzepte

**Projektentwicklung** Förderprojekte (inklusive Fördermittelrecherche) und Aufträge



## Abteilungen und Ansprechpartner

### Dr. Ralf Steinhausen

Seit unserer Gründung sind wir gewachsen. Daran haben wir im Jahr 2019 unsere interne Struktur angepasst. Wir haben damit klare Zuständigkeiten nach innen und nach außen geschaffen.

### Organigramm

Unser aktuelles Organigramm ist in Abb. 2 dargestellt.



Abb. 2: Organigramm des FZ-U.

### Ansprechpartner

#### Geschäftsführer



Dr. Ralf Steinhausen

@ ralf.steinhausen@fz-u.de

☎ 0345 44 58 39 -10

Das Forschungszentrum Ultraschall ist ein kompetenter Ansprechpartner für alle Fragen der Ultraschalltechnik.



### *Leiter Forschung und Entwicklung*



Dr. Christoph Pientschke

@ [christoph.pientschke@fz-u.de](mailto:christoph.pientschke@fz-u.de)

☎ 0345 44 58 39 -18

Über Förderprojekte und Aufträge produzieren wir laufend neues Know-how in der Ultraschalltechnik.

### *Zerstörungsfreie Prüfung*



Abteilungsleiter: Dr. Mario Kiel

@ [mario.kiel@fz-u.de](mailto:mario.kiel@fz-u.de)

☎ 0345 44 58 39 -15

Prüfung mit Luftultraschall ist unser Tätigkeitsschwerpunkt. Wir beherrschen die gesamte Technologieketten.

### *Medizintechnik*



Abteilungsleiterin: Dr. Jana Klammer

@ [jana.klammer@fz-u.de](mailto:jana.klammer@fz-u.de)

☎ 0345 44 58 39 -16

Wir entwickeln Geräte und umfangreiches Zubehör, mit denen Mediziner die Nutzung der Endosonographie üben können.

### *Geräteentwicklung*



Abteilungsleiter: Uwe Illmann

@ [uwe.illmann@fz-u.de](mailto:uwe.illmann@fz-u.de)

☎ 0345 44 58 39 -14

Wir entwickeln Elektronik für leistungsstarkes Senden, empfindliches und rauscharmes Empfangen.

## Ausstattung

Am FZ-U verfügen wir über vielfältige Mess-, Prüf- und Präparationstechnik. Fachkundiges Personal kann damit umgehen. Das sind gute Voraussetzungen, um im Bereich der Ultraschalltechnik neue Lösungen zu entwickeln.



Abb. 3: Luftschallprüfung am FZ-U.

**Ansprechpartner:** Dr. Ralf Steinhausen

☎ (03 45) 44 58 39 - 10

@ kontakt@fz-u.de

### Luftschallprüftechnik

- ▶ Prüfgerät SonoAir (SONOTEC, Halle) und USPC 4000 Airtech (Ingenieurbüro Hillger, Braunschweig)
- ▶ Scanner 1500 mm × 1000 mm
- ▶ Prüfköpfe im Frequenzbereich 50 kHz bis 500 kHz

### Ultraschalltechnik und -charakterisierung

- ▶ optische Mikrofone (Xarion, Wien, Österreich)
- ▶ Echoskop (GAMPT, Merseburg) mit 1 MHz, 2 MHz und 4 MHz-Köpfen
- ▶ Verasonics Vantage 128 (Verasonics, Kirkland WA, USA) mit medizinischem Prüfkopf und Modul für Zerstörungsfreie Prüfung

**Mechanische Charakterisierung** Rheometer MCR 502 (Anton Paar, Graz, Österreich) inklusive Peltiereinheit und den Mess-Systemen: Kegel-Platte, Platte-Platte (auch als Einmal-Mess-System).

### Elektronikentwicklung

- ▶ Schaltungssimulation
- ▶ Bestückung
- ▶ Kontaktierung
- ▶ diverse Messtechnik (Funktionsgenerator, Spektrumsanalysator, Oszilloskop, Multimeter)

### Prototypenfertigung

- ▶ CAD
- ▶ Bedampfungsanlage der Firma Creavac (Dresden), bis zu vier verschiedene Verdampfungsmaterialien, maximaler Probendurchmesser 350 mm
- ▶ Polungsgerät (bis 80 kV)
- ▶ mechanische Bearbeitungsgeräte

**FEM-Modellierung** FEM-Software COMSOL mit dem »Acoustics Module« und dem »MEMS Module« (Schwerpunkt: Schallerzeugung und -ausbreitung)

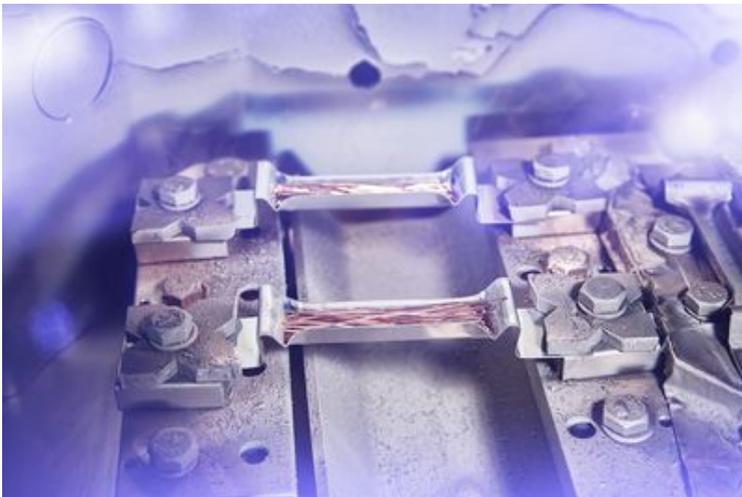


Abb. 4: Vakuumbeschichtung am FZ-U.



## Engagement

### *URSt erfolgreich: der Ultraschallstammtisch*



Seit 2016 veranstaltet das Forschungszentrum Ultraschall den

#### Ultraschallfokussierten Regionalen Stammtisch

unter dem regional verankerten Kürzel »URSt«. Hervorgegangen aus einer Idee am Rande unseres Innovationsforums QSonoMed hat er sich inzwischen zu einer Institution entwickelt. Ungefähr dreimal pro Jahr treffen sich um die 20 Teilnehmer und Teilnehmerinnen zu einer zwanglosen Runde. Uns verbindet das Interesse an Ultraschall, das oft ein berufliches ist. Medizinische Anwenderinnen, Techniker, Wissenschaftlerinnen: alle sind willkommen. Fachsimpeln und Netzwerken, Essen und Trinken – URSt gut!

Aus einem buchstäblichen *Stammtisch* – mit festem Lokal, dem Palais'S – hat sich inzwischen ein offeneres Format entwickelt. Jedes Jahr in der warmen Jahreshälfte veranstalten wir ein fachliches Seminar mit anschließendem Grillabend. Erstmals haben wir uns 2019 außerhalb Halles getroffen. Überraschend war die Erkenntnis nicht, aber doch erfreulich: Auch in Magdeburg kann (es) URSt schön sein.

**Termine 2020:** Siehe Seite 74.

**Ansprechpartnerin:** Dr. Jana Klammer

☎ (03 45) 44 58 39 - 16

@ jana.klammer@fz-u.de

## Kooperationen

Eine besonders enge Zusammenarbeit besteht auf der Basis eines Kooperationsvertrags mit der Hochschule Merseburg.

## Aus- und Weiterbildung

Im Bereich des Luftgekoppelten Ultraschalls führen wir seit 2014 Workshops für Anwender durch. In einem Grund- sowie einem Aufbaukurs geben wir unsere Kenntnisse in dieser noch jungen zerstörungsfreien Prüfmethode an Interessenten aus Industrie und Forschung weiter. Mehr zu den Workshops finden Sie auf Seite 17.

Das Forschungszentrum Ultraschall beteiligt sich aktiv mit Vorträgen und Postern an wissenschaftlichen Tagungen und publiziert Forschungsergebnisse in Fachzeitschriften (vgl. Publikationsliste Seite 48).

Das FZ-U bietet Studierenden Praktika (mehr dazu auf Seite 19). Auch für anwendungsbezogene Abschlussarbeiten können wir spannende Forschungsthemen vergeben. Auf diese Weise sind schon mehrere hervorragende studentische Abschlussarbeiten am FZ-U entstanden (Abb. 5).

**Ansprechpartner:** Dr. Christoph Pientschke  
☎ (03 45) 44 58 39 - 18  
@ christoph.pientschke@fz-u.de



Abb. 5: Maria Preuß hat für Ihre am FZ-U geschriebene Bachelorarbeit *Entwicklung eines Trainingsgerätes für die Endosonographie in der Aus- und Weiterbildung von Medizinern* den 2. Platz beim DKB-VIU-Nachwuchsforscherpreis 2016 erhalten.

## Fachverbände

Das FZ-U ist ein engagiertes Mitglied in verschiedenen Fachverbänden. Wir tauschen uns aus, diskutieren zukünftige Entwicklungen und übernehmen Verantwortung in Gremien.

- ▶ Das Forschungszentrum Ultraschall ist Gründungsmitglied der Zuse-Gemeinschaft. Hier setzen wir uns für die Belange des Forschungsmittelstandes ein. Wir unterstützen die Initiative ZusaNnah für Chancengleichheit in MINT durch aktive Teilnahme von Kolleginnen im Mentoring-Programm.
- ▶ Das FZ-U ist in verschiedenen Ausschüssen der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) aktiv und beteiligt sich an Konferenzen und Workshops.
- ▶ Im Composites United e. V. vertreten wir die Perspektive der zerstörungsfreien Prüfung, um die Anwendung der Kohlefaserverbundwerkstoffe voranzutreiben.
- ▶ Der Verband innovativer Unternehmen (VIU) ist Interessenvertreter für forschende KMU und gemeinnützige externe, nicht grundfinanzierte Industrieforschungseinrichtungen. Er vertritt somit unsere Anliegen und wir unterstützen seine Arbeit.
- ▶ Medizin- und Gesundheitstechnik ist ein wichtiger Leitmarkt für Sachsen-Anhalt. Wir unterstützen die Kooperation von Unternehmen und Forschungseinrichtungen durch aktive Netzwerkarbeit im Cluster Medizin- und Gesundheitstechnik des Landes Sachsen-Anhalt (Cluster Med-Tech).



Mitglied der  
**ZUSE-GEMEINSCHAFT**



**DEUTSCHE  
GESELLSCHAFT FÜR  
ZERSTÖRUNGSFREIE  
PRÜFUNG E.V.**

## Praktisch gelernt – Workshops am FZ-U

### Christoph Pientschke

In unseren Luftschall-Workshops vermitteln wir die physikalische Basis und teilen unsere praktische Erfahrung. Neben fertigen Workshops bieten wir auch kundenspezifische Kurse an.



Abb. 6: Praktisch fundiert: Workshops zum Luftgekoppelten Ultraschall am FZ-U.

Können und Wissen bedingen einander wechselseitig. Bei der zerstörungsfreien Prüfung wird das besonders augenfällig, bestimmen doch komplexe physikalische Wechselwirkungen den Kontrast der Ungänzarten oder die Auflösung.

Die Luftultraschallprüfung ist besonders anspruchsvoll, weil es hier für Prüfaufgaben keine Normen gibt, welche Orientierung für ein erfolgreiches Vorgehen geben können. Messparameter sind abhängig von der jeweiligen Prüfaufgabe zu wählen. Die Interpretation der Prüfbilder verlangt Hintergrundwissen über die Ausbreitung von Schall. Fundierte Entscheidungen sind zu treffen, die nur aus dem Verständnis von Physik, Material und typischen Fehlerbildern heraus getroffen werden können.

**Abrufbereite Kurse** Unsere fertig konzipierten Kurse bieten einen optimalen Einstieg bzw. eine hilfreiche Vertiefung zum Thema Luftgekoppelte Ultraschallprüfung an. Dabei ist uns neben den physikalischen Hintergründen die praktische Demonstration im Prüflabor wichtig. Kursunterlagen sind Bestandteil unseres Angebotes.

**Grundkurs** Wir geben einen Überblick von der grundlegenden Physik bis zur notwendigen Ultraschallprüftechnik. Wir erläutern grundlegende Kontrastmechanismen und demonstrieren in praktischen Vorführungen die Vielfalt an Prüfmöglichkeiten, das Vorgehen bei der Justage und den Einfluss von Messparametern.



**Aufbaukurs** Hier gehen wir schwerpunktmäßig auf aktuelle Fragestellungen ein. Wir beleuchten die Prüfung von Klebeverbindungen und erläutern Prüfaufgaben mit einseitiger Zugänglichkeit. Praktische Vorführungen illustrieren die theoretischen Konzepte und demonstrieren die notwendigen Arbeitsschritte für ein aussagekräftiges Ergebnis.

Wir werden nächstes Jahr verschiedene Fortbildungsveranstaltungen zum Luftgekoppelten Ultraschall anbieten. Die Termine standen zum Redaktionsschluss noch nicht fest.

**LET-Kurse** Die Anwendung unseres Endosonographie-Trainingsgerätes LET (vgl. Seite 52) ist nicht ganz einfach: Die notwendigen organisatorischen Abläufe, die Vor- und Nachbereitung des Gerätes und die Vielfalt von natürlichen und künstlichen Untersuchungsobjekten sind komplex. Wir bieten Applikationsmitarbeitern deswegen Kurse an, welche in die Benutzung des LET einführen. Das ist eine ideale Vorbereitung für die erfolgreiche Veranstaltung der Ausbildungskurse.

**Spezifische Kurse** Wir entwickeln Workshop-Konzepte nach Ihren Anforderungen. Sie bestimmen die Schwerpunkte, wir vermitteln das Wissen. Unser Schwerpunkt ist dabei Luftgekoppelter Ultraschall. Nach Absprache bieten wir im Rahmen von Technologieberatungen aber auch andere Themenfelder an. Bei Interesse an unseren Workshops nehmen Sie gerne Kontakt zu uns auf.

**Ansprechpartner:** Dr. Christoph Pientschke

☎ (03 45) 44 58 39 - 18

@ christoph.pientschke@fz-u.de

## Mittendrin und vorn dabei – Studierende am FZ-U

### Christoph Pientschke

Bittere Nachricht für PraktikantInnen: Kaffee-Koch-Diplome gibt's bei uns nicht. Stattdessen bieten wir spannende Forschungs- und Entwicklungsaufgaben an. Wir meinen: Abwarten und Tee trinken ist da keine Option!

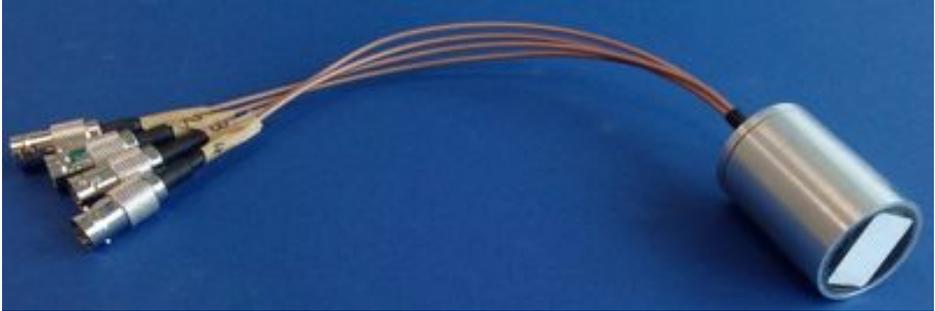


Abb. 7: Bachelorarbeit mit Praxisbezug: Maria-Luisa Grötzner hat einen neuartigen Phased-Array-Wandler für Luftgekoppelten Ultraschall entwickelt, charakterisiert und im Einsatz getestet.

Forschung zielt am FZ-U auf *praktikable* Lösungen. Wir sind nah dran an relevanten Fragestellungen und gestalten den aktuellen Entwicklungsstand mit. Studierende beziehen wir dabei gerne ein. Wir bieten ein hohes Maß an eigenständigem (aber kontinuierlich betreutem) Arbeiten an aktuellen Themen. Bei uns können Studierende (und SchülerInnen) mehrwöchige Praktika durchführen. Außerdem bieten wir – ausreichenden zeitlichen Vorlauf vorausgesetzt – spannende Themen für Bachelor- oder Masterarbeiten. Beispielsweise war eine Bachelorarbeit Ausgangspunkt für ein medizinisches Trainingsgerät (Seite 52).

Seit Ende 2019 unterstützen uns drei Studierende der Hochschulen Merseburg bzw. Anhalt. Zwei von ihnen helfen uns bei der Klangprüfung (Seite 41) und erarbeiten Lösungen zur reproduzierbaren Messung und zur Analyse der komplexen Daten. Eine Studentin entwickelt Messkonzepte für die zerstörungsfreie Schuhprüfung (Seite 46). Wir sind gespannt auf die Ergebnisse.

Bei Interesse an einem Praktikum oder einer Abschlussarbeit nehmen Sie frühzeitig Kontakt zu uns auf!

**Ansprechpartner:** Dr. Christoph Pientschke

☎ (03 45) 44 58 39 - 18

@ christoph.pientschke@fz-u.de



## Interview mit dem Geschäftsführer

Dr. Ralf Steinhausen, Geschäftsführer des FZ-U, spricht über die Anfänge des FZ-U, blickt auf die Gründungsphase, wichtige Ergebnisse und die aktuellen Arbeiten und erläutert das Forschungsumfeld.



Abb. 8: Büro des Geschäftsführers: Bildschirm, Papierstapel und viel Kaffee auf'm Tisch.

*Christoph: Ralf, ist das in Ordnung wenn ich Dich für das Interview sieze, das wirkt dann seriöser und distanzierter?*

Ralf: Wie Sie wünschen.

*Dr. Christoph Pientschke: Herr Dr. Steinhausen, ein Jahrzehnt Forschungszentrum Ultraschall ist ein schönes rundes Jubiläum. Aber ehrlich: von jetzt auf gleich konnten Sie sicher nicht losforschen und -entwickeln?*

Dr. Ralf Steinhausen: Nein, die ersten beiden Jahre waren wir mit der Beantragung der ersten Forschungsprojekte, der Beschaffung von Geräten und dem Einrichten unseres ersten Labors und zweier Büros beschäftigt. Ende 2012 konnten wir dann mit zunächst 3 Kollegen und mir in den eigenen Räumlichkeiten unsere Forschungstätigkeit starten.

*Im Rückblick betrachtet: was war die schwierigste Phase Ihrer Aufbauarbeit?*

Am Anfang kannte uns natürlich niemand. Zum Glück sind unsere fünf Gesellschafter selbst alles innovative Unternehmen, so dass wir in deren Umfeld unsere ersten FuE-Projekte starten und auch erste Aufträge akquirieren konnten. Richtig schwierig wurde es vor allem nach der Bundestagswahl 2013. Durch den Regierungswechsel gab es erst im Sommer 2014 einen Bundeshaushalt und bis dahin wurden aus Bundesmitteln auch keine unserer neuen Projekte bewilligt – obwohl die Begutachtung positiv war. Das war für uns schon existentiell, da



Abb. 9: Feierliche Eröffnung des FZ-U im Jahr 2014.

wir für einige Monate in Vorleistung gehen mussten. Bei der letzten Wahl 2017 hat die Regierungsbildung zwar noch länger gedauert, aber da waren wir dann schon besser drauf vorbereitet.

*Sie sind promovierter Physiker. Hilft Ihnen dieser Hintergrund als Geschäftsführer?*

Eine mathematische Grundausbildung, logisches Denken und Strukturieren von Aufgabenstellungen helfen natürlich auch bei der Geschäftsführung. Im Tagesgeschäft und bei strategischen Entscheidungen in unserer FuE-Tätigkeit ist es natürlich von großem Vorteil, dass ich mich 15 Jahre an der Uni mit Piezoelektrika experimentell beschäftigt habe. Zumindest müssen mir meine Kollegen nicht erklären, wie Ultraschall erzeugt und detektiert wird (*lacht*).

*Bei aller physikalischen Bildung: Was mussten Sie als Geschäftsführer neu lernen?*

Ich bin sehr froh, dass ich mit unserer Prokuristin Astrid Mann die notwendige kaufmännische Kompetenz zur Seite habe. Die Umstellung von der Grundlagenforschung an der Universität zur angewandten Forschung und Entwicklung war schon eine Herausforderung. Dabei nicht nur Lösungsmöglichkeiten zu suchen, sondern auch den Aufwand dafür mitzudenken und zu bepreisen war durchaus Neuland. Da zählt dann nicht das Verständnis im tiefen Detail, sondern die pragmatische Lösung, was für den Wissenschaftler in mir etwas unbefriedigend ist. Andererseits gibt es eine große Bandbreite von praktischen Fragestellungen, mit denen man konfrontiert wird.

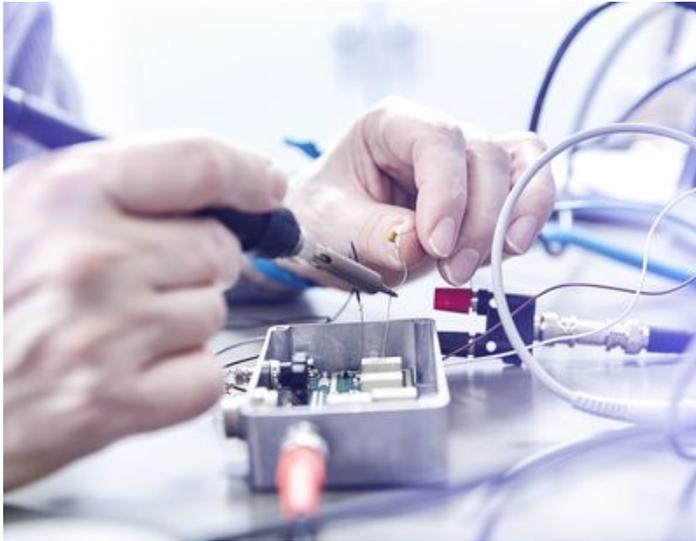


Abb. 10: Wissen und Fertigkeiten der Mitarbeiter sind das größte Kapital des FZ-U.

*Unternehmerisches Handeln und wissenschaftliches Denken stärken einander?*

Genau. Wir arbeiten nicht für die Schublade, sondern für den praktischen Einsatz, was uns stolz macht. Nur der wirtschaftliche Erfolg unserer Industriepartner kann unsere Eigenmittel bei FuE-Projekten refinanzieren. Diese unternehmerische Herangehensweise verbindet uns mit anderen Industrieforschungseinrichtungen der Zuse-Gemeinschaft, zu deren Gründungsmitgliedern wir im Jahr 2015 gehörten.

*Wie sind Sie mit Unternehmen im regionalen Umfeld und darüber hinaus vernetzt?*

Halle ist seit mehr als 50 Jahren ein Ultraschallzentrum. Ich denke an das ZIS – heute SLV Halle – das schon in den 60er Jahren z. B. im Bereich des Ultraschallschweißens aktiv war oder die renommierte Ultraschall-Forschungsgruppe an der Uni. Die Firmen SONOTEC und GAMPT wurden in den 90er Jahren gegründet und setzen die Traditionen im Gerätebau, der zerstörungsfreien Prüfung und medizinischen Diagnostik fort. Diese drei sowie die Firma MBQ Qualitätssicherungs GmbH aus Hettstedt und Smartpolymer aus Rudolstadt sind dabei nicht nur unsere Gesellschafter, sondern von Beginn an Netzwerkpartner. Kontinuierlich gewinnen wir Kunden und Partner aus allen deutschen Regionen. Unsere Lage ist ein Vorteil. Wenn's um Leichtbau geht – das derzeit wichtigste Anwendungsfeld für Luftschallprüfung – liegen wir z. B. zwischen den Zentren Dresden, Augsburg und Stade.



*Was ist die bisher skurrilste Anfrage aus der Kategorie »Gibt's da was mit Ultraschall«?*

Da war schon einiges dabei! Vertraulichkeit ist unseren Kunden wichtig, weswegen ich da nicht zu viel verraten kann. Abgesehen davon, sind auch auf den ersten Blick skurrile Ideen prüfenswert, nur so kann Neues entstehen. Gegen die Physik kommen natürlich selbst wir am FZ-U nicht an. Außerdem lernt ein Physiker immer dazu: ich hätte mir nie träumen lassen, dass ich mehrmals im Jahr frische Schweineorgane präpariere. Das ist ein feiner Ausdruck für das Reinigen und Zurechtschnippeln von Speiseröhren, Magen und Rektum ... Solche Sauereien sind bei uns Chefsache (*lacht*).

*Auf welche Arbeiten der vergangenen zehn Jahre sind Sie besonders stolz?*

Das ist zum einen das gerade angesprochene Endosonographie-Trainingsgerät LET. Hier haben wir in Kooperation mit Dr. Burmester aus Lübeck ein Gerät entwickelt, das es Medizinerinnen erlaubt, die sehr komplexe ultraschallüberwachte Endoskopie am Biomodell zu erlernen. Die vielen positiven Rückmeldungen von Ärzten, die den LET kennengelernt haben, sind für meine Mitarbeiter eine große Motivation. Im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung sind wir beim luftgekoppelten Ultraschall mittlerweile Weltspitze. Wir sind besonders stolz, dass wir die gesamte Technologiekette vom Piezokomposit über den Ultraschallwandler und die dazu passende Elektronik bis zu den Prüfverfahren und Auswertalgorithmen bei uns am FZ-U abbilden. Ein wesentlicher Teil dieser Ergebnisse wird mit dem System SonoAir der Fa. SONOTEC weltweit kommerziell erfolgreich vermarktet.

*Welche Bedeutung hat das Team für das Forschungszentrum Ultraschall?*

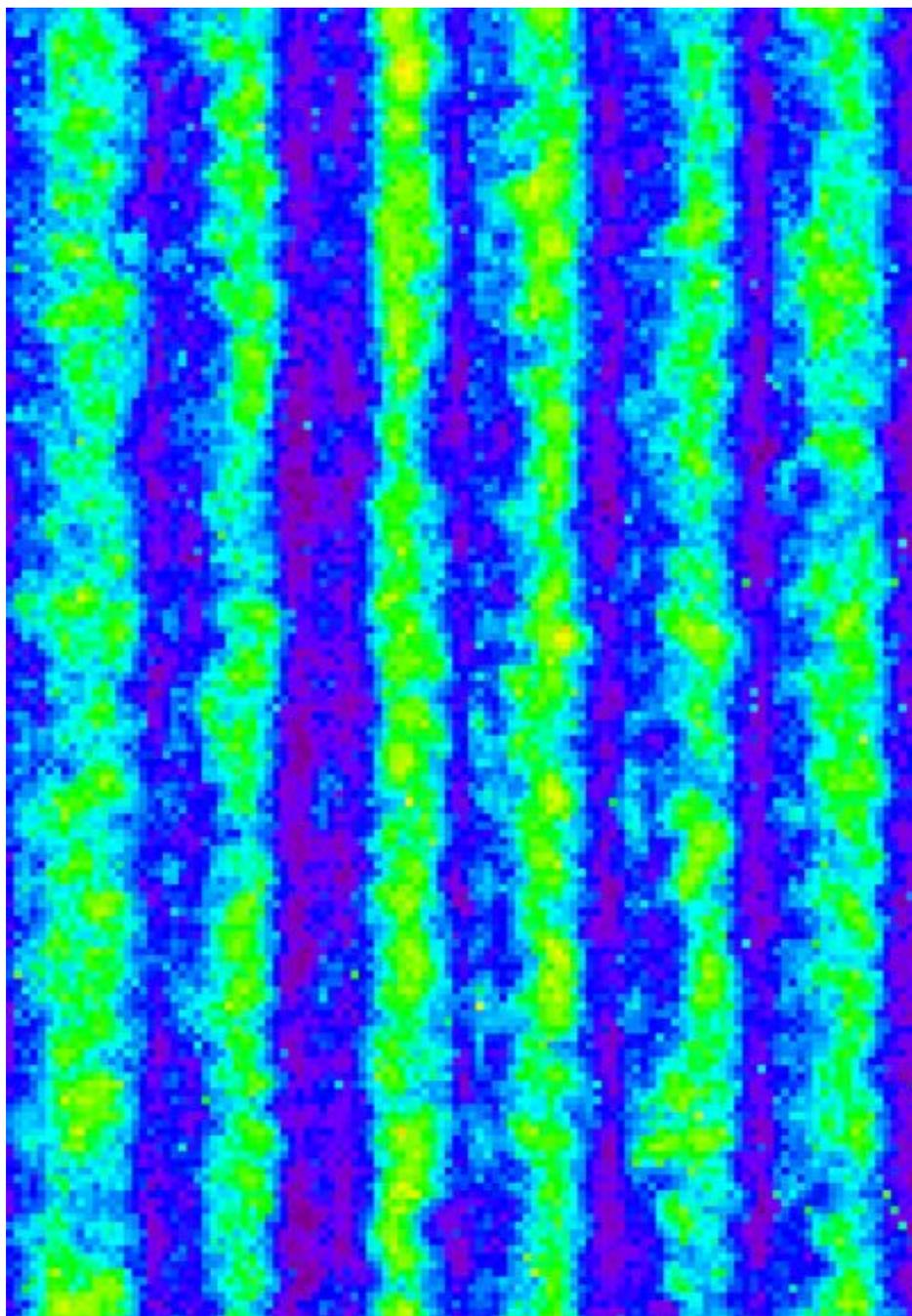
Die Mitarbeiter sind natürlich das größte Kapital des FZ-U. Ich bin stolz auf sehr engagierte und ideenreiche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Unser Team ist – bis auf den großen Physikeranteil – sehr heterogen. Sowohl von der Altersstruktur her als auch vom Frauenanteil, der bei uns bei fast 40 % liegt.

*Wo sehen Sie das FZ-U in zehn Jahren?*

In einem großen Gebäude mit Büros und Laboren für 20 Mitarbeiter, mit einer umfassenden technischen Ausstattung, mit einem vollen Auftragsbuch für die nächsten 12 Monate und vielen spannenden Forschungsprojekten.

So Christoph, und jetzt raus. Meine Familie wartet, es gibt nämlich auch noch ein Leben außerhalb des FZ-U.

*Dr. Steinhausen, vielen Dank für Ihre Antworten!*



# Projekte

Die Bearbeitung von Forschungsprojekten bildet das Rückgrat unseres Instituts. Aus der Fülle der durchgeführten Arbeiten haben wir diejenigen ausgewählt, welche aktuelle Schwerpunkte repräsentieren und deren Anwendungspotentiale wir die nächste Zeit erschließen werden.

Unseren Projektpartnern aus Industrie und Forschung danken wir herzlich für die engagierte, konstruktive und auch menschlich höchst erfreuliche Zusammenarbeit. Den Fördermittelgebern danken wir für die finanzielle Unterstützung, die uns spannende Projekte ermöglicht. Den Projektträgern danken wir für die kontinuierliche Begleitung der Vorhaben und die Unterstützung bei mancher administrativen Schwierigkeit.

## Tiefe Töne tragen weiter – Entwicklung von niederfrequenten Wandlern

### Mario Kiel

Wichtige Leichtbaumaterialien sind nur noch mit tieffrequentem Ultraschall prüfbar, der sich bisher nur mit großen Wandlern erzeugen ließ. Unsere Wandler auf Faserkompositbasis sind kompakter und haben deswegen eine bessere Auflösung. Neue Prüfmöglichkeiten werden so erschlossen.

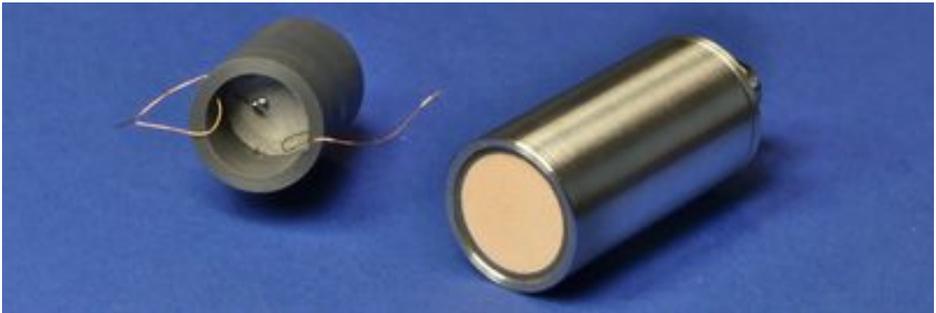


Abb. 11: Niederfrequente Ultraschallwandler (links: Funktionsmuster, rechts: Prototyp).

### *Hochfrequenter Schall lässt Prüfung schwächeln*

Bei der Luftultraschallprüfung ist eine ausreichende Signalstärke die Voraussetzung für eine erfolgreiche Prüfung. Leider ist schon der akustische Übergang zwischen dem Schallträgermedium Luft und den Prüfling mit erheblichen Reflexionsverlusten verbunden. Ist der Prüfling selbst stark schallschwächend, wird die Prüfung wegen des dann schlechten Signal-Rausch-Verhältnisses erschwert oder im schlimmsten Fall unmöglich. Die Schallschwächung von Materialien ist stark frequenzabhängig: Sie steigt mit wachsender Frequenz. Im Projekt haben wir deswegen den Ansatz verfolgt, optimierte *niederfrequente* Ultraschallwandler zu entwickeln, um auch hochdämpfende Materialien prüfen zu können.

### *Dicke Komposite schwingen tieffrequent*

Tiefere mechanische Resonanzfrequenzen erreicht man durch größere Abmessungen des schwingenden Systems. Bei Luftultraschallwandlern ist das schwingungsfähige System bisher häufig eine piezoelektrische Keramikscheibe, die zu



Abb. 12: Hohlfaserkomposit vor dem Elektrolieren mittels Vakuumbeschichtung.

Radialschwingungen angeregt wird. Diese führen auch zu einer Verformung in Dickenrichtung, welche an die Luft ankoppelt. Dadurch wird Schall erzeugt. Die Frequenz ist dabei proportional dem Scheibendurchmesser. Um tiefe Frequenzen zu erreichen, muss bei diesem Ansatz der Wandlerdurchmesser größer werden. Das beeinträchtigt allerdings die Eigenschaften des Schallfeldes und limitiert damit im Wesentlichen die Auflösung.

Viel effizienter lässt sich der Ultraschall durch einen Schwinger erzeugen, der hauptsächlich in die Schallausbreitungsrichtung schwingt. Wir verfolgen deswegen den Ansatz, durch die Verwendung von piezoelektrischen Faserkompositen die Dickenschwingung der Wandlerscheibe zu nutzen. Hierbei wird die Schwingungsfrequenz von der Länge der Fasern und damit der *Dicke* der Wandlerscheibe bestimmt.

Da der Durchmesser dann nicht mehr wesentlich die Resonanzfrequenz bestimmt, kann dieser relativ frei gewählt werden. Dies ermöglicht kleinere Scheibendurchmesser, was die Nahfeldlänge verkürzt, die Schallbündelbreite verkleinert und damit die laterale Auflösung bei der Prüfung vergrößert.

Im Projekt haben wir piezoelektrische Faser-Komposite für tieffrequente Ultraschall-Anwendungen gefertigt (Abb. 12). Das heißt, Frequenzen zwischen 50 kHz und 200 kHz waren unser Ziel. Unsere Wandler wirken als Dickenschwinger, deswegen sind die Wandlerscheiben teilweise über 20 mm dick. Die Effizienz der Wandler wird durch den Volumenanteil der piezoelektrischen Fasern bestimmt. Wie wir in einem vorherigen Projekt zeigen konnten, lässt sich der optimale Bereich gut durch *hohle* Fasern erreichen. Die gefertigten Faserkomposite wurden mittels Vakuumbeschichtung elektroliert.

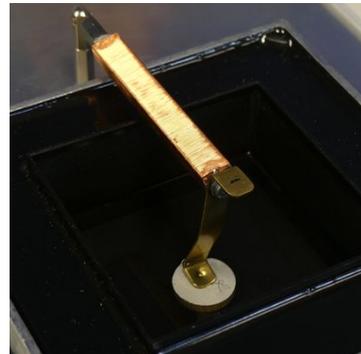
## *Hochspannung macht dicke Scheiben piezoelektrisch*

Damit die Wandler­scheiben piezoelektrische Eigenschaften aufweisen, müssen sie gepolt werden. Das heißt, eine ausreichend hohe elektrische Feldstärke – im Bereich mehrerer kV/mm – muss eine gewisse Zeit anliegen. Bei dicken Scheiben erfordert das eine sehr hohe elektrische Spannung von mehreren 10.000 Volt.

Um so hohe Spannungen zu erzeugen und sicher zu handhaben, haben wir ein spezielles Polungsgerät entwickelt (Abb. 13). Der Prototyp erreicht Ausgangsspannungen bis 80 kV. Der Polungsraum ist berührungssicher eingehaust. Der Schutzdeckel muss elektronisch entriegelt werden, was nur im spannungslosen Zustand möglich ist. Das Polungsregime – der zeitliche Verlauf der Polungsspannung – kann frei vorgegeben werden und eine Temperierung der Proben ist ebenfalls möglich.



(a) Gesamtansicht



(b) Detail: Massezuführung von oben

Abb. 13: Prototyp des Polungsgerätes.

## *Mit tiefen Frequenzen durch die Proben: Kompositwandler*

Mit den gepolten Wandler­scheiben haben wir Luftschallwandler aufgebaut. Dazu wurden die Scheiben mit Anpass-Schicht und Dämpfungskörper versehen. Die Schallfelder einiger im Projekt aufgebauter Sender ist in Abb. 14 abgebildet.

Um hohe Sendeleistungen zu erzielen, werden die Luftschallwandler stets bei relativ hohen elektrischen Spannungen betrieben. Am Schallwandler mit 100 kHz Nennfrequenz zeigte sich, dass der Schalldruck linear mit der wirk­sa­men elektrischen Feldstärke steigt. Als Referenz untersuchte kommerzielle Wandler verschiedener Frequenz zeigten hingegen ein deutlich ausgeprägtes Sättigungsverhalten.

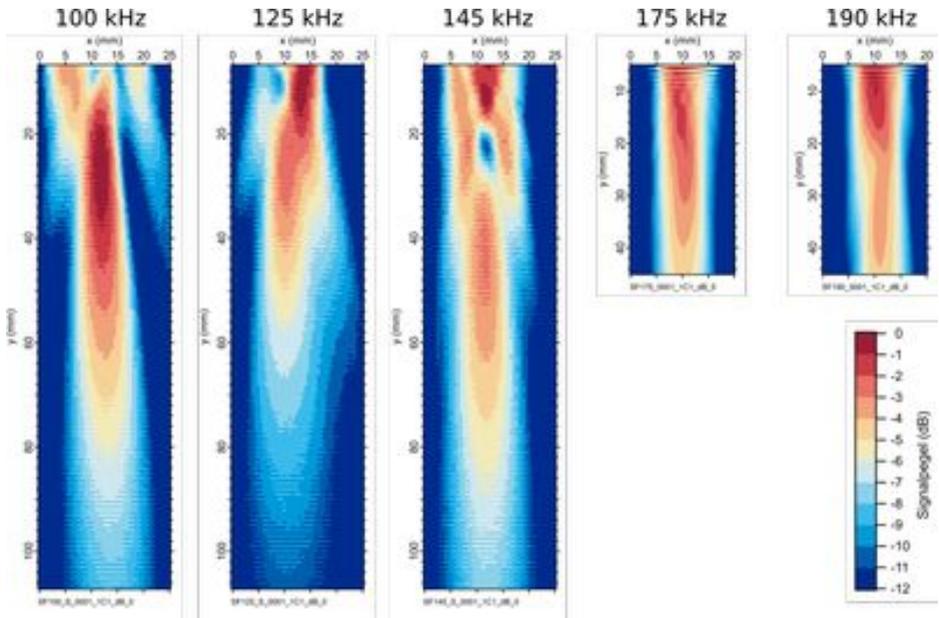


Abb. 14: Schallfelder einiger im Projekt gebauter Ultraschallwandler.

## In die Röhre schallen

Unsere Arbeiten zielten auf die Transmissionsprüfung mit Luftultraschall. Bei dieser Prüfmethode ist die üblicherweise plattenförmige Probe zwischen Sender und Empfänger angebracht. Deswegen haben wir Optimierungen für das System Sender und Empfänger vorgenommen.

An mehreren wegen der hohen Schallschwächung anspruchsvollen Prüfaufgaben haben wir die gefertigten Wandler praktisch getestet. Neben Sandwichstrukturen (vgl. auch Seite 36) wurden isolierte Rohrleitungen mit den neuen Wandlern geprüft. Diese Rohrleitungen (Abb. 15 auf Seite 30) bestehen aus einem Stahl-Innenrohr. Der Zwischenraum zwischen diesem und einem Kunststoff-Außenrohr ist mit PU-Schaum gefüllt. Die Verbindung dieser Rohre geschieht durch Verschweißen des Innenrohrs. An den Fugestellung wird die Isolation durch eine schaumgefüllte Muffe hergestellt. Die Prüfung dieser Bereiche ist von besonderem Interesse.

Üblicherweise wird in Transmission gemessen. Die ideale Anordnung in Abb. 16a auf Seite 30 ist wegen der ausschließlichen Zugänglichkeit von außen nicht anwendbar. Stattdessen muss bei axialer Wandleranordnung die Schichtfolge Kunststoffrohr–Schaum–Metallrohr zweimal durchdrungen werden. Jedoch



Abb. 15: Draufsicht PU-isolierte Rohrleitung.

ist die Schichtfolge nur einmal zu durchdringen, wenn Sender und Empfänger um  $90^\circ$  versetzt angeordnet werden (Abb. 16b). Freilich ist durch den schrägen Schallweg und resultierende Modenumwandlungen mit Signaleinbußen zu rechnen.

Zwei Rohre mit verschiedenen Durchmessern wurden mit den beiden Prüf- anordnungen untersucht. Dabei wurden im Projekt gebaute 50 kHz-Wandler eingesetzt. Bei Transmission in axialer Wandleranordnung (Abb. 17) zeigte der Bereich der Muffe deutlich winkelabhängige Unterschiede in der Schallintensität. Zwischen  $110^\circ$  und  $300^\circ$  ist diese beim großen Rohrdurchmesser deutlich höher als bei anderen Winkeln. In den anderen Winkelbereichen ist die Signalintensität

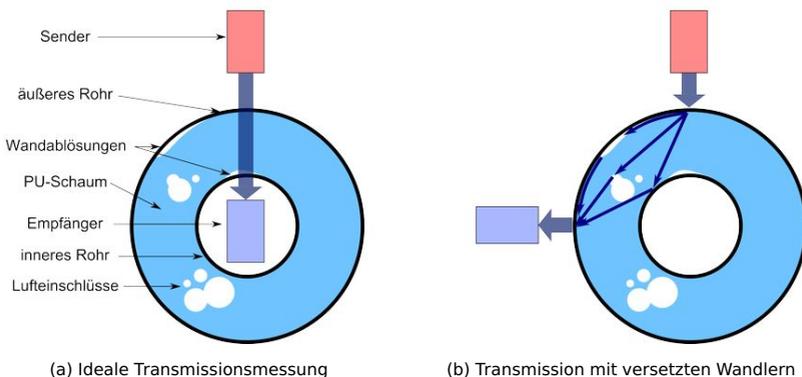


Abb. 16: Vorgehen bei der Prüfung einer PU-isolierten Rohrleitung.

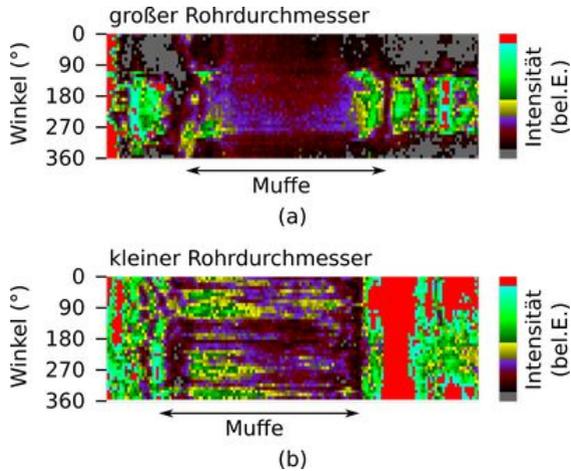


Abb. 17: Prüfung einer PU-isolierten Rohrleitung. Die Schallintensität ist als Farbpixel mit axialer Koordinate (horizontal) und den Umfangswinkel des Rohres (vertikal) dargestellt.

klein, was auf zusätzliche Grenzflächen (z. B. Delamination, fehlende Anhaftung) zurückzuführen ist und damit auf Ungängen.

Weiteren Aufschluss gibt die Anordnung mit versetzten Wandlern (Abb. 18). Wiederum für die großen Rohrdurchmesser zeigt sich dort eine verstärkte Schallintensität zwischen  $0^{\circ}$ – $50^{\circ}$  sowie  $330^{\circ}$ – $360^{\circ}$ . Hier scheint ein defekter

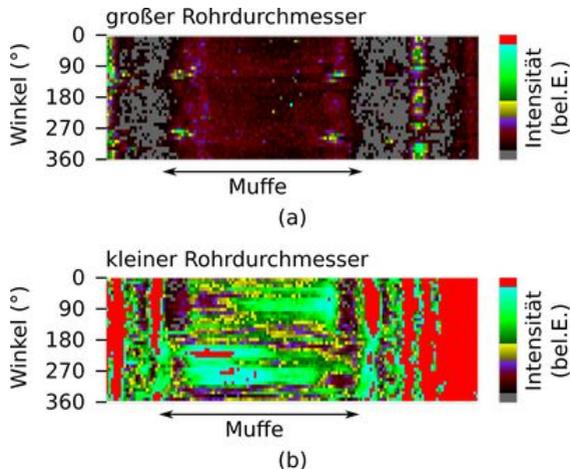


Abb. 18: Prüfung einer PU-isolierten Rohrleitung (Darstellung wie in Abb. 17 erläutert).



Schaumbereich zu sein. Fehlender Schaum kann für diesen Bereich aufgrund der vorhandenen Transmission bei axialer Anordnung ausgeschlossen werden. Die Kombination beider Messmethoden liefert so Aussagen über die Rohrqualität. Nur durch die verwendeten äußerst niederfrequenten Ultraschallwandler sind diese möglich.

## Fazit

Im Projekt ist es uns gelungen, niederfrequente Luftultraschallwandler bis hinunter zu 50 kHz herzustellen. Sie basieren auf piezoelektrischen Faserkompositen und sind somit als Dickenschwinger herstellbar, wodurch ihre laterale Auflösung größer als bei herkömmlichen Radialschwingern ist. Im Prüfeinsatz bewähren sich diese neuartigen Wandler.

Wegen der hohen Linearität der Wandler führt eine höhere Ansteuerspannung zu einem höheren Schalldruck als bei herkömmlichen Wandlern. Um die Vorteile der Wandler voll auszuspielen zu können, ist somit eine Verbesserung der Sende-Elektronik wünschenswert. Aber auch mit der derzeitigen Ansteuerung erweitern die Wandler die für die Luftultraschallprüfung zugänglichen Materialien. Die Prüfung von Schaumstrukturen wird somit an weiteren Verbundsystemen möglich.

**Ansprechpartner:** Dr. Mario Kiel

☎ (03 45) 44 58 39 - 15

@ mario.kiel@fz-u.de

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekttitel:	NF-Ultraschall zur Prüfung von PU-Verbundmaterialien
Projektlaufzeit:	4/2017 – 3/2019
Fördermittelgeber:	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Programm:	INNO-KOM-Ost (Projekträger EuroNorm)

## Verknötet geprüft – Ultraschallprüfung von Hohlprofilknoten

### Ralf Steinhausen und Mario Kiel

Geschweißte Hohlprofilknoten sind wegen der ortsabhängigen Krümmungen schwierig mit Ultraschall zu prüfen. Wir haben Methoden entwickelt, um beispielsweise Spaltmaße verlässlich und praktikabel zu vermessen.



Abb. 19: Geschweißter Hohlprofilknoten einer Teststruktur (Universität Stuttgart).

### Anwendung von Hohlprofilen

Unter anderem im Bauwesen sind geschweißte Hohlprofilkonstruktionen aus Stahl verbreitet. Die verwendeten Kreishohlprofile sind im Prinzip Rohre mit konstruktiver Funktion. Hohe mechanische Stabilität geht bei ihnen mit relativ geringem Gewicht einher. Oft werden Fachwerke aus diesen Hohlprofilen errichtet. Dafür werden die Hohlprofil-Gurte durch Streben miteinander verbunden. Diese Verbindung kann durch Schweißen geschehen. Durch die zwei kreisförmigen Querschnitte, die darin schräg verbunden werden, entstehen dabei komplexe Geometrien (Abb. 19).

### Prüfung von Hohlprofilknoten

Hohlprofilknoten müssen häufig *dynamischen* Lasten widerstehen, z. B. in Straßenbrücken. Aus Dauerbelastungsversuchen lassen sich Anforderungen für die Ausführung von Hohlprofilknoten ableiten. Diese mit Ultraschall zerstörungsfrei zu prüfen, war unsere Aufgabe im Projekt. Mit der Phased-Array-Technik ist es

zwar leicht möglich, unter verschiedenen Winkeln in den Prüfling einzuschallen. Jedoch erschweren die ortsabhängig gekrümmten Ober- und Grenzflächen erheblich die Zuordnung der Echos. Nur verbunden mit Informationen über die Prüfkopfposition und -orientierung sind Aussagen über typische Schweißnaht-unregelmäßigkeiten möglich.

### *Unser Ansatz: mit Vorwissen zur Qualitätsaussage*

Unsere Methodik haben wir anhand von Probekörpern mit definierten Fehlstellen entwickelt. So konnten wir beispielsweise einen Spalt im Fersenbereich der Kronenspitze untersuchen (Abb. 20a). Dazu wird die Strahlen-Akustik herangezogen. Dann kann der Schallweg mit Hilfe vergleichsweise einfacher geometrischer Überlegungen analysiert werden (Abb. 20b). Der Spalt muss senkrecht vom Schallstrahl getroffen werden, damit das Echo zurück zum Prüfkopf reflektiert wird. Eine Verschiebung des Prüfkopfes erlaubt es, die Kante des Spaltes mit dem Ultraschall abzufahren.

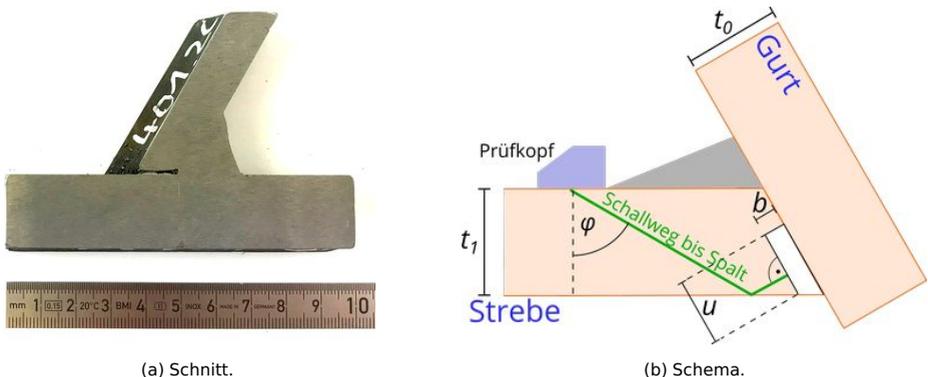


Abb. 20: Spalt an der Ferse.

In den vom Prüfgerät angezeigten Sektorscans (Beispiel in Abb. 21) können neben der Ultraschallanzeige der Ungängen auch deren Abstände von der Prüfkopfvorderseite und Tiefe abgelesen werden. Gegebenenfalls muss dann noch berücksichtigt werden, dass der Schall umgelenkt wird. Die Position des Prüfkopfes auf dem Prüfling kann genau genug bestimmt werden, damit beim gezielten Anschallen des Spaltes und mit verschiedenen geometrischen Größen die Länge des Spaltes berechnet werden kann. Zerstörende Dauerbelastungsversuche bei unseren Projektpartnern haben Aussagen über die zulässigen Grenzen für das Spaltmaß ergeben. Dank unseres Prüfverfahrens können diese nun mit

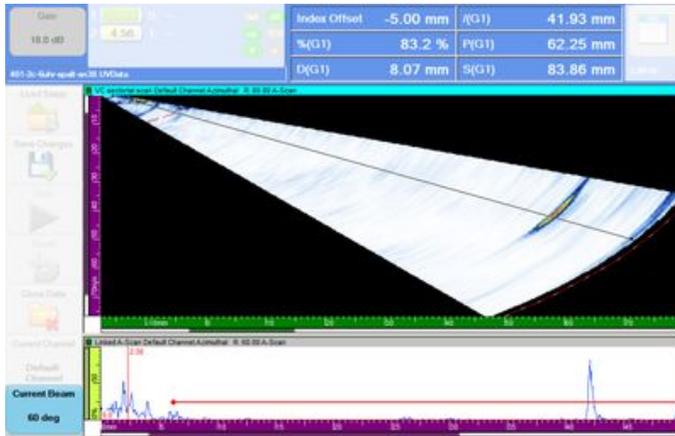


Abb. 21: Screenshot des Prüfgerätes bei der Untersuchung eines Hohlprofilknotens mit Fersenspalt.

Ultraschall zerstörungsfrei hinreichend genau vermessen werden. Damit unser Ansatz in der Praxis gut umgesetzt werden kann, greifen wir dazu lediglich auf die Möglichkeiten herkömmlicher Phased-Array-Geräte zurück.

**Ansprechpartner:** Dr. Ralf Steinhausen

☎ (03 45) 44 58 39 - 10

@ ralf.steinhausen@fz-u.de

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Forschungsnetzwerk  
Mittelstand



Industrielle  
Gemeinschaftsforschung



Forschungsvereinigung  
Stahlanwendung e. V.

Projekttitel: Wirtschaftliche Auslegung von ermüdungsbeanspruchten geschweißten Rundhohlprofilknoten unter Berücksichtigung der erforderlichen Schweißnahtqualität  
 Projektlaufzeit: 1/2018 – 12/2019  
 Fördermittelgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie  
 Programm: AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)  
 Förderkennzeichen: IGF-Vorhaben Nr 18883 BG  
 Projektpartner: Universität Stuttgart (Institut für Konstruktion und Entwurf), Hochschule für angewandte Wissenschaften München (Labor für Stahl- und Leichtmetallbau)

## Schäume werden Prüferträume

### Mario Kiel

Im Leichtbau sparen aufgeschäumte Kunststoffe Gewicht, ohne die konstruktive Festigkeit zu beeinträchtigen. Traumhafte Eigenschaften, wenn ihre zerstörungsfreie Prüfung nicht so anspruchsvoll wäre. Wir entwickeln Lösungen, um solche Materialien im industriellen Umfeld und Maßstab prüfen zu können.



Abb. 22: Miniaturisierter Vorverstärker zur Integration in Schallköpfe.

### *Sandwichplatten: leicht und stabil*

Typische Sandwichplatten bestehen aus Polyurethan (PUR)-Schäumen, welche zwischen zwei versteifenden Metallplatten eingebracht sind (Abb. 23). Solche Sandwichplatten werden z. B. für Gebäude (Hallen, Wände) oder zur Wärmeisolierung eingesetzt. Produziert werden für solche Anwendungen typischerweise auch mehrere Quadratmeter große Strukturen.

### *Anfangs kein Traum: die Prüfbarkeit von Sandwichstrukturen*

So günstig ihre konstruktiven Eigenschaften sind – für die zerstörungsfreie und berührungslose Luftultraschallprüfung sind Sandwichstrukturen ein anspruchsvolles Material. Zum einen ist das Materialsystem komplex: der Schaumkern dämpft äußerst stark und die Profilierung der Metallplatten überlagert die Signale von Ungängen. Zum anderen soll die Prüfung in den Produktionsprozess integriert werden (sogenannte *inline*-Prüfung), was hohe Ansprüche an Schnelligkeit aber auch an Robustheit u. a. gegen elektromagnetische Störungen stellt.



(a) Gesamtaufnahme



(b) Detail

Abb. 23: Sandwichplatten: Profilierte Metaldecklage mit Schaumkern (IMA Dresden).

## *Schwere Prüfung – schnell gemacht*

Bei niedrigen Frequenzen ist die Schallschwächung durch Schäume deutlich kleiner. Deswegen können sie nur mit vergleichsweise niedrigfrequentem Ultraschall geprüft werden. Verbessern lässt sich die Bildgebung, wenn zusätzlich noch fokussiert wird. Wir haben Wandler mit tiefen Ultraschall-Frequenzen eingesetzt (50 kHz – 100 kHz). An Probekörpern mit definierten Fehlern haben wir nachgewiesen, dass wichtige Schadensbilder wie Klebefehlstellen und Delaminationen detektiert werden können.

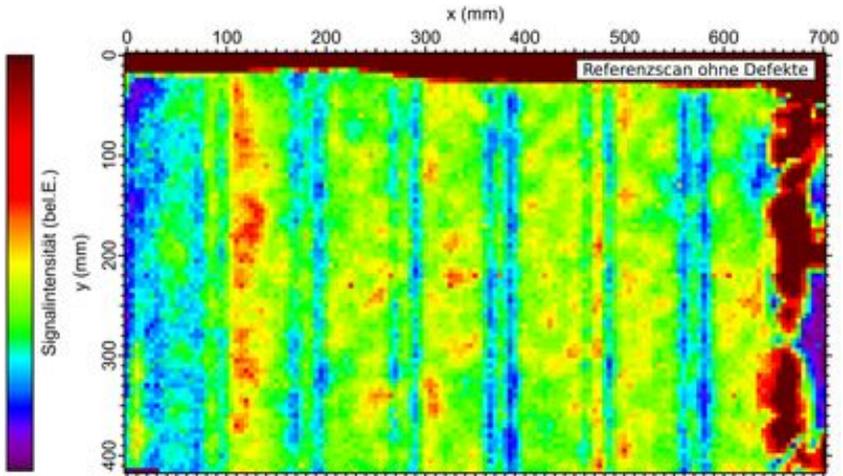
Freilich: nur im Labormaßstab das Material prüfen zu können, ist für eine industriefähige Lösung zu wenig. Der Schall muss hochempfindlich empfangen werden, was grundsätzlich störanfällig ist. Wir haben deswegen kompakte 60 dB-Vorverstärker entwickelt. Diese wurden direkt in die Köpfe integriert (Abb. 22), was den elektromagnetischen Störeinfluss merklich minimiert.

Um die großflächigen Bauteile schnell zu prüfen, ist Mehrkanaligkeit entscheidend. Dann können parallel mehrere Prüfungen örtlich versetzt stattfinden. Mehr Prüffläche pro Zeit kann dadurch erreicht werden. Konkret nutzen wir auf der Senderseite jeweils vier Gruppen von je zwei parallel betriebenen Sendern. Auf der Empfängerseite werden acht Prüfköpfe mit einem Multiplexer angesteuert, wodurch ein quasi-paralleler Empfang ermöglicht wird. Die entsprechende Prüftechnik entwickeln wir bis zum Demonstrator.

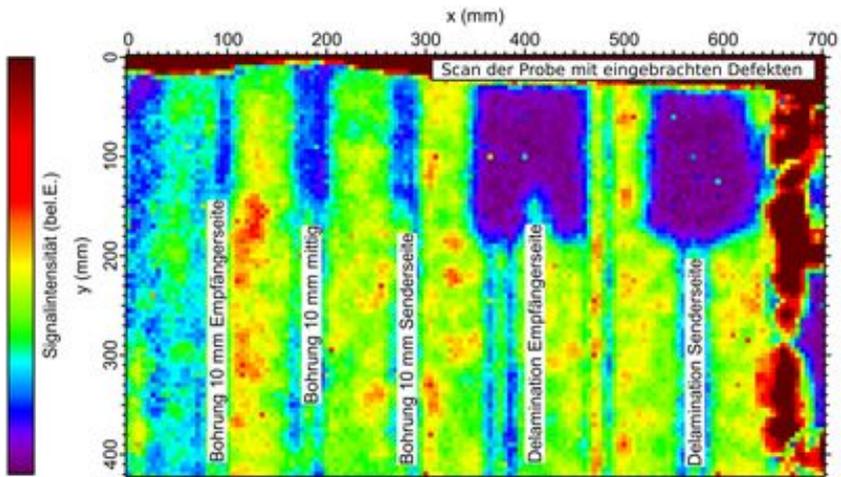
Die erhebliche Erhöhung der Prüfgeschwindigkeit ist mit einer entsprechend höheren Datenrate verbunden. Das setzt große Anforderungen an die Datenaufnahme und -verarbeitung. Weil die Datenmenge steigt, sollten nur wesentliche Signalinformationen identifiziert und weiter verarbeitet werden.

## Wenn zu viel Profil die Prüfung stört

Die Oberflächenprofilierung der Sandwichplatten (vgl. Abb. 23) beeinflusst merklich die Intensität der Signale. Im C-Scan einer intakten Probe ist deswegen ein deutliches vertikales Streifenmuster zu erkennen (Abb. 24a). Auch bei nicht-



(a) Referenzmessung einer intakten Probe



(b) Testprobe

Abb. 24: Prüfung einer Sandwichplatte mit Luftgekoppeltem Ultraschall.

intakten Proben tritt dieses Muster auf und behindert erheblich die Deutung des C-Bildes. Das wird am Vergleich mit einer Test-Probe deutlich, die mit definierten Fehlstellen versehen wurde (Abb. 24b). Die Signalstärke der Fehlstellen ist hierbei ähnlich wie die der Fehlstellen.

Im industriellen Einsatz muss eine Abweichung von einem als »gut« definierten Referenzzustand automatisiert festgestellt werden. In einem anderen Projekt (vgl. Seite 26) hatten wir die Möglichkeit, erste Ansätze für diese Aufgabenstellung zu entwickeln. Eine zielführende Idee ist es, die Differenz zwischen der Referenz-Probe und dem Prüfling zur Beurteilung heranzuziehen. Das Differenzbild (Abb. 25) zeigt wie gewünscht keine vertikale Streifenstruktur mehr. Stattdessen zeichnen sich deutlich die eingebrachten Fehlstellen ab. Da ein direkter Ist-Soll-Vergleich stattfindet, ist kein konkretes Vorwissen über die Wechselwirkung zwischen Oberfläche und Schall mehr erforderlich, um die Ungängen zu identifizieren. Das Verfahren kann bei Bedarf um erweiterte Datenanalysemöglichkeiten erweitert werden (z. B. zur Auswertung der Phasenlage).

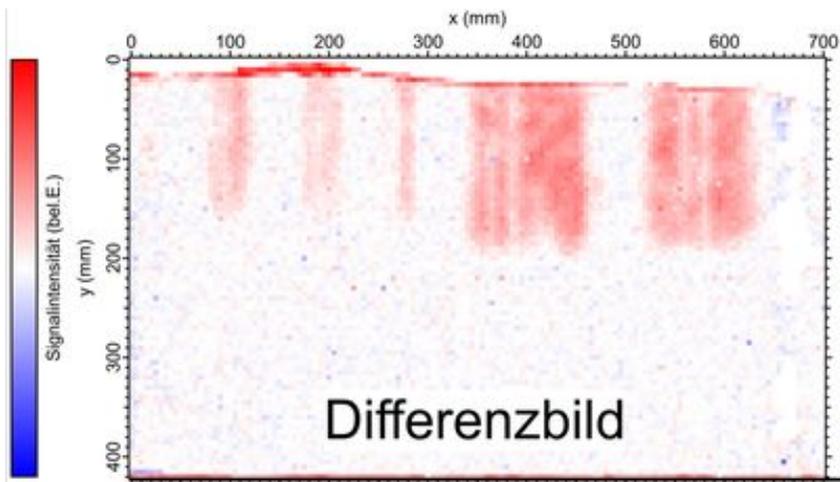


Abb. 25: Die Differenz zwischen Referenz-Probe (Abb. 24a) und Testprobe (Abb. 24b) erlaubt die Identifikation der Ungängen.

### *So geht's weiter: Demonstrator zum Projektabschluss*

Wir sind jetzt in einer spannenden Phase unseres Projektes. Nachdem wir aufgrund von umfangreichen Tests die besten Ansätze herausgefunden haben, gehen wir jetzt den entscheidenden Schritt.



Wir führen die neuen Ideen in einem Demonstrator zusammen, der zum Projektende (März 2020) vorliegen wird. Wir nutzen hierbei auch die in einem anderen Projekt entwickelten niederfrequenten Ultraschallwandler (vgl. Seite 26).

Damit wird zu Projektende ein leistungsstarkes Mehrkanal-Prüfsystem zur Verfügung stehen. Die konstruktiv überaus nützlichen Sandwichplatten mit Schaumkernen können damit schneller und verlässlicher automatisiert geprüft werden, als das bisher der Fall war. Wenn das kein Traum ist. . .

**Ansprechpartner:** Dr. Mario Kiel

☎ (03 45) 44 58 39 - 15

@ mario.kiel@fz-u.de

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Projekttitlel:	Produktionstaugliches, elektronisches Prüfsystem zur Fertigungsüberwachung von Kunststoff-Leichtbauteilen
Kurztitel:	IfUS
Projektlaufzeit:	10/2017 – 3/2020
Fördermittelgeber:	Bundesministerium für Bildung und Forschung
Programm:	KMU-innovativ: Elektroniksysteme; Elektromobilität
Projektpartner:	Projekträger VDI/VDE SONOTEC, IMA Dresden

## Kling, Klang – das Spektrum entlang

### Mario Kiel und Christoph Pientschke

In diesem Projekt übertragen wir die Idee der Klangprüfung auf kleine Bauteile. Wir bringen Bauteile zum Klingen. Der Klang, d. h. der Zeitverlauf der Schwingungen, erlaubt Rückschlüsse auf die Maßhaltigkeit und Ungängen.



Abb. 26: Miniaturdrehteile (HÖRISCH-PRÄZISION GmbH).

### *Der Hintergrund: Vollständige Prüfung erwünscht*

Die industriellen Qualitätsansprüche sind in einigen Branchen enorm. Bei komplexen Endprodukten wie Automobilen muss auch das kleinste (und meist billigste) Bauteil verlässlich intakt sein, um hohe Folgekosten zu vermeiden. Deswegen ist eine 100-Prozent-Prüfung aller Bauteile wünschenswert. Im Produktionsprozess ist das anspruchsvoll, weil die Taktzeiten zur Produktion der Bauteile häufig sehr kurz sind.

### *Die Prüfaufgabe*

In einem Forschungsprojekt erarbeiten wir mit einem Industriepartner ein Prüfverfahren für Miniaturdrehteile (Abb. 26). Mit akustischen Methoden wollen wir feststellen, ob die Bauteile kritisch von einem definierten Gut-Zustand abweichen. Eine inline-Prüfung soll damit perspektivisch ermöglicht werden. Das heißt die Prüfung ist im Herstellungsprozess mit den kurzen Taktzeiten integriert.

## Lösungsansatz: Klangprüfung als integrierte Methode

Unser Lösungsansatz basiert auf der Klangprüfung, welche eine *integrale* Aussage über den Prüfling ermöglicht. Dazu werden die Bauteile zu akustischen Schwingungen angeregt. Aus dem Alltag ist das vertraut: Schüsseln mit Riss klingen beim Anschlagen dumpfer als intakte.

Bei den Miniaturdrehteilen können Maßabweichungen, Materialabweichungen und Risse auftreten. Die Herausforderung der Messaufgabe besteht darin, charakteristische Signaturen im Klang zu finden, welche erlauben, diese Abweichungen zu identifizieren, differenzieren und idealerweise zu bewerten.

## Erste Ergebnisse: Stabschwingungen theoretisch und praktisch

Die Miniaturdrehteile lassen sich physikalisch gut als rotationssymmetrische Stäbe beschreiben. Die Eigenfrequenzen lassen sich dann aus Abmessungen und Materialeigenschaften berechnen. Je nach Schwingungsart (Längsschwingung, Torsion, Biegeschwingung) unterscheiden sich die Frequenzen und der Zusammenhang zu den Stabparametern. Auch die Randbedingungen sind ent-

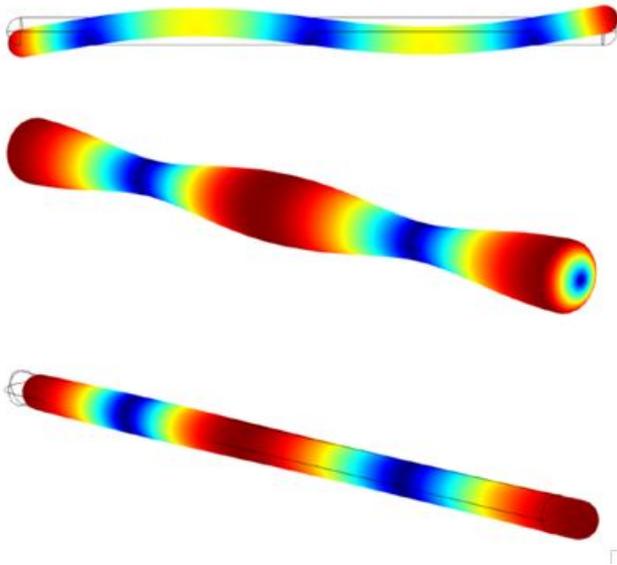


Abb. 27: Modellerte Schwingungsformen – Biegeschwingung, Torsionsschwingung, Längsschwingung (von oben nach unten).

scheidend. Die Eigenfrequenzen der Schwingungsmoden sind wegen der kleinen Abmessungen der Drehteile größtenteils im Ultraschallbereich. Je nach Schwingungsmode beeinflussen die Abmessungen des Stabes die Resonanzfrequenz auf charakteristische Weise unterschiedlich.

Mit Modalanalysen mit COMSOL wurden die theoretischen Überlegungen überprüft (Abb. 27). Kerben und Poren in Stäben brechen die Rotationssymmetrie und sind somit nur noch numerisch zu behandeln. Es wurden Modalanalysen durchgeführt, um diesen Einfluss abzuschätzen. Kerben führen beispielsweise zu charakteristischen Verschiebungen der Resonanzfrequenz. Das Ausmaß hängt u. a. von ihrer Lage und Größe ab.

Mit unserem Projektpartner haben wir einen Messaufbau entwickelt, mit dem die Miniaturdrehteile angeregt werden können. Die Frequenz wird dabei kontinuierlich durchgestimmt, so dass ein großer Frequenzbereich resonant angeregt werden kann. Wir nutzen axiale und Biege-Schwingungsmoden. Derzeit nehmen wir mit der Messapparatur viele Spektren auf (Abb. 28). Wir untersuchen dabei möglichst einfache Miniaturdrehteile. Indem wir verschiedene Exemplare desselben Types untersuchen, können wir Aussagen zur Reproduzierbarkeit der Einspannung und Anregung treffen.

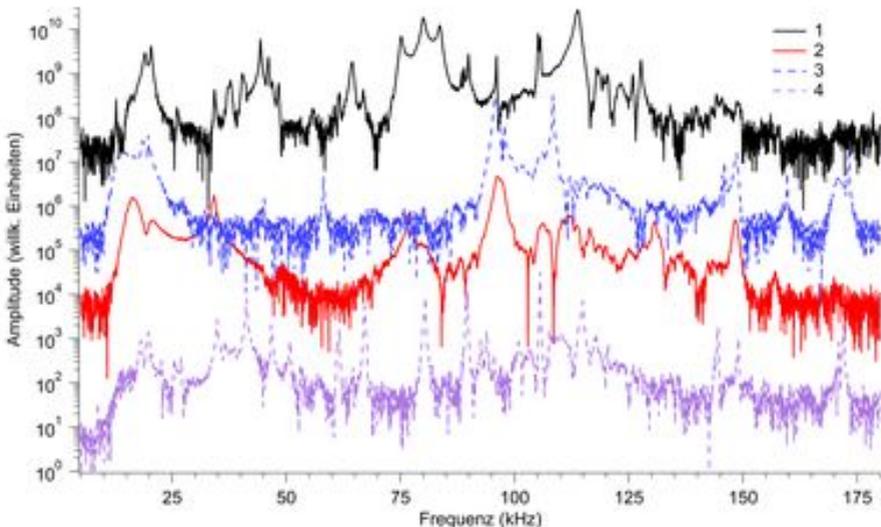


Abb. 28: Spektren von Miniaturdrehteilen – Einfacher Stab: 1 (Biegeschwingung), 2 (Längsschwingung) – Strukturierter Stab: 3 (Längsschwingung), 4 (Biegeschwingung).



## So geht es weiter

Im nächsten Schritt werden wir Miniaturdrehteile mit definierten Abweichungen der Abmessungen untersuchen. Die gemessenen Frequenzverschiebungen werden mit den theoretisch erwarteten verglichen. Es wird abgeschätzt, welches die kleinsten Maßabweichungen sind, die über die Resonanzfrequenzverschiebung gemessen werden können. Wir werden außerdem untersuchen, wie die mechanischen Auslenkungen und ihr zeitlicher Verlauf beeinflusst werden. In vergleichbarer Weise wird die definierte Strukturierung der Miniaturdrehteile untersucht.

Im Rahmen des Projektes werden wir für einzelne Prüfaufgaben (Maßabweichungen, Ungängen) verschiedene Methoden zur Datenanalyse entwickeln, um die Resonanzspektren zu analysieren. Ziel ist es dabei zunächst, charakteristische Maßzahlen zu definieren.

Wir planen, diese Datenanalysetechniken in einem unabhängigen Projekt später weiter auszubauen. Wir sehen hier ein erhebliches Potential für weitere Zweige der Zerstörungsfreien Prüftechnik.

**Ansprechpartner:** Dr. Mario Kiel

☎ (03 45) 44 58 39 - 15

@ mario.kiel@fz-u.de

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Projekttitel:	Entwicklung einer inlinefähigen vollautomatischen Qualitätskontrolle für Geometrie und Material bei Miniaturbauteilen mittels resonanter Ultraschall-Spektralanalyse
Kurztitel:	RSUA
Projektlaufzeit:	9/2018 – 8/2020
Fördermittelgeber:	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Programm:	ZIM
Projektpartner:	HÖRISCH-PRÄZISION GmbH (Apolda)



## Weitere Forschungsprojekte

### CaPS

Clamp-on Ultraschall-Sensoren ermöglichen die nicht-invasive Charakterisierung von Flüssigkeiten, z. B. Blut, durch die Schlauchwand hindurch. Von besonderem Interesse sind hier die Blasendetektion und die Durchflussmessung. Nicht nur in der Medizintechnik sondern auch im Pharmabereich, Lebensmittelverarbeitung, Biotechnologie oder chemischen Industrie ist das relevant. Überall dort, wo Einweg-Artikel (*Disposables*), wie z. B. Schläuche oder Tropfkammern zwingend verwendet werden müssen, bieten sich die Ultraschallverfahren besonders an, da kein direkter Kontakt mit dem Medium (Fluid) erforderlich ist.

Schläuche beeinflussen mit ihren je nach Modell unterschiedlichen aber auch zeitlich variablen Eigenschaften die Messung. Ziel im Projekt ist es, die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit bestehender Mess-Systeme zu verbessern. Materialänderungen des Schlauches sollen erfasst und kompensiert werden. Durch eine verbesserte Sensorik sollen neue Anwendungsgebiete erschlossen werden.

**Ansprechpartner:** Dr. Christoph Pientschke

☎ (03 45) 44 58 39 - 18

@ christoph.pientschke@fz-u.de



SACHSEN-ANHALT



EUROPÄISCHE UNION

**EFRE**

Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung

Projekttitel:	Charakterisierung akustischer Parameter von Schlauchmaterialien sowie deren zeitliche Veränderung und Erforschung von Methoden zur Kompensation der Einflüsse beim Einsatz von Clamp-on Ultraschallsensoren in der Medizintechnik und Biotechnologie
Kurztitel:	CaPS
Projektlaufzeit:	8/2018 –7/2020
Fördermittelgeber:	Land Sachsen-Anhalt und die Europäische Union
Programm:	EFRE
Projektpartner:	Hochschule Merseburg, GAMPT (Merseburg), SONOTEC (Halle)



## AiF Schuhe

Bisher werden Schuhe nur zerstörend geprüft. Im Zuge der fortschreitenden Automatisierung der Produktion entsteht auch ein Bedarf an zerstörungsfreier Qualitätssicherung *inline*. Im Projekt soll deswegen über eine innovative Anwendung der Ultraschalltechnik die Zahl der zerstörungsfrei durchführbaren Prüfungen am fertigen Schuh erhöht werden. Dies soll an der wichtigen Gruppe der Klebeverbindungen erfolgen. Neben Nahtverbindungen stellt das Kleben eine der wichtigsten Füge-techniken in der Schuhindustrie dar. Einen wesentlichen Bereich nehmen hierbei die Klebungen der Laufsohlen ein.

Die Klebeverbindungen werden mit Luftgekoppeltem Ultraschall geprüft. Hierbei werden verschiedene neuartige Ansätze verfolgt, welche den Informationsgehalt der Ultraschallsignale möglichst umfassend zur Bewertung heranziehen. Korrelationen mit quantitativen zerstörenden Prüfverfahren (Abreißtest) werden gesucht. Im Laboraufbau wird dabei zunächst an ebenen Materialproben gearbeitet. Das als geeignet bewertete Messprinzip wird auf reale Schuhe übertragen. Dann kommt wegen der komplexeren Geometrie der automatischen Prüfkopfführung eine hohe Bedeutung zu. Am Projektende soll ein Demonstrator zur Prüfung von Klebeverbindungen an Schuhen mittels Luftultraschall entstehen. Daran sollen Empfehlungen für diese wichtige Prüfaufgabe abgeleitet werden.

**Ansprechpartner:** Dr. Ralf Steinhausen

☎ (03 45) 44 58 39 - 10

@ ralf.steinhausen@fz-u.de



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekttitel:	Zerstörungsfreie Prüfung von Schuhen mit Ultraschall- technik am Beispiel von Sohlenklebung
Kurztitel:	ZPSU
Projektlaufzeit:	9/2018 –8/2020
Fördermittelgeber:	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Programm:	AiF
Projektpartner:	PFI Germany Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V.



## UltraZest

Im Projekt UltraZest wurde die Gerätetechnik für eine großflächige Ultraschallstimulation der menschlichen Kopfhaut entwickelt. Neben der Erzeugung von Ultraschall wurde dabei auch für eine optimierte Einkopplung gesorgt. Es wurde dabei eine Halterung entwickelt, um acht Ultraschallwandler verlässlich in Kontakt mit der Kopfhaut zu halten. Die Ansteuerung der Ultraschallwandler geschieht dabei simultan mit Ultraschallpulsen. Die mittlere Leistung und die Frequenz der Pulse sind frei einstellbar. Das Ansteuergerät erlaubt auch die Vorgabe von verschiedenen Anregungsregimen. Neben einer händischen Bedienung wurde dabei auch eine über PC-Schnittstelle einstellbare Parametrisierung des Gerätes vorgesehen. Dieses erlaubt Studienleitern die Vorgabe der Pulseigenschaften ohne Veränderungsmöglichkeit durch den Anwender.

Am Projektende lag somit ein Prototyp für ein vollständiges System zur Ultraschallstimulation der menschlichen Kopfhaut vor. Dieses soll perspektivisch für medizinische Studien eingesetzt werden, um die Wirkung von Ultraschall zu untersuchen.

**Ansprechpartner:** Dr. Christoph Pientschke  
☎ (03 45) 44 58 39 - 18  
@ christoph.pientschke@fz-u.de

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekttitel:	Ultraschalleinkopplung in Gewebe zur Zellstimulation der Kopfhaut
Kurztitel:	UltraZest
Projektlaufzeit:	6/2018 – 8/2019
Fördermittelgeber:	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Programm:	INNO-KOM



## Aktuelle Veröffentlichungen

Am FZ-U veröffentlichen wir unsere Ergebnisse häufig im Rahmen von Tagungen mit Anwendungs-Schwerpunkt. Außerdem entstehen bei uns studentische Abschlussarbeiten.



Abb. 29: Entwicklungen führen bei uns nicht nur zu Prototypen, sondern auch zu Publikationen.

- [1] Mario Kiel | Stefan Scheunemann und Ralf Steinhausen, *Air-Coupled Ultrasonic Testing Using Low-Frequency Transducers Based On Piezoelectric Fiber Composites*, *International Symposium on Piezocomposite Applications (ISPA)*, Dresden, Okt. 2019
- [2] Jana Klammer, *Ausgedruckt in einem Guss – 3D-Druck im medizinischen Modellbau*, 6. *Mitteldeutsches Forum: 3D-Druck in der Anwendung*, Mitteldeutsches Netzwerk Rapid Prototyping – enficos, Leipzig, Okt. 2019
- [3] Ralf Steinhausen | Mario Kiel und Stefan Scheunemann, *Zerstörungsfrei Prüfen mit Luftultraschall – Vom Wandler zum industriellen Prüfverfahren*, 45. *Jahrestagung für Akustik (DAGA)*, Vortrag, DEGA, 2019
- [4] Tobias Gautzsch | Andreas Bodi | Manuel Lucas | Ralf Steinhausen und Mario Kiel, *Detection of delamination and impact damage in multilayered lightweight materials*, *10th International Symposium on NDT in Aerospace*, Dresden, 2018, URL: <https://www.ndt.net/article/aero2018/papers/Th.5.C.1.pdf>
- [5] Tobias Gautzsch | Manuel Lucas | Andreas Bodi | Ralf Steinhausen und Mario Kiel, *Measurement of sub-millimeter flaws in thick layered materials with air-coupled ultrasound*, *ASNT Annual Conference*, 2018

- [6] Maria-Luisa Grötzner, *Entwicklung und Charakterisierung eines Linear-Array-Wandlers für die luftgekoppelte Ultraschallprüfung*, Bachelorarbeit, Hochschule Merseburg, 2018
- [7] Mario Kiel, *Air-Coupled Ultrasonic Testing – An Introduction*, *UT Summit 2018*, Vortrag, SONOTEC, Halle (Saale), 2018
- [8] Mario Kiel | Stefan Scheunemann | Maria Grotzner | Manuel Lucas und Andreas Muck, *Quality Classification of Adhesive Bonds in Composite Structures by Single-sided Air-coupled Ultrasonic Testing Using Linear Phased Array Probes*, *NDE of Aerospace Materials & Structures*, Seattle, 2018, URL: <https://ndtlibrary.asnt.org/2018/QualityClassificationofAdhesiveBondsInCompositeStructuresBySinglesidedAircoupledUltrasonicTesting>
- [9] Mario Kiel | Ralf Steinhausen | Christoph Pientschke | Torsten Sperling und Christian Lösche, *Durchgedreht und Lückenhaft – Die Inline Prüfung von Aluminiumgussbolzen*, *DGZfP Jahrestagung*, DGZfP, Leipzig, 2018, URL: <https://www.ndt.net/article/dgzfp2018/papers/Mi.3.C.4.pdf>
- [10] Franz Schönberg | Ralf Steinhausen | Michael Pfeiffer | Andreas Bodi und Tobias Gautzsch, *Luftgekoppelter Ultraschall – Vorstellung neuer Ansätze im Bereich der koppelmittelfreien Prüfung*, *DGZfP-Jahrestagung 2018*, DGZfP, Leipzig, 2018, URL: <https://www.ndt.net/article/dgzfp2018/papers/Mo.3.B.3.pdf>
- [11] Ralf Steinhausen | Maria-Luisa Grötzner | Stefan Scheunemann | Mario Kiel und Andreas Bodi, *Steer it up: One-sided Adhesive Bonds test with air-coupled ultrasound*, *polymertec 2018*, Vortrag, Merseburg, 2018
- [12] Ralf Steinhausen | Mario Kiel | Andreas Bodi und Tobias Gautzsch, *A new approach to air-coupled broadband measurement: Effective testing of composite laminates by using a new multi-element transducer*, *12th ECNDT*, Göteborg, Schweden, 2018, URL: <http://cdn.ecndt2018.com/wp-content/uploads/2018/05/ecndt-0341-2018-File001.pdf>



# Dienstleistungen

Das Spektrum unserer Dienstleistungen reicht von der Herstellung von Prototypen bis zur Auftragsforschung und Beratung. Wir sind kompetenter Ansprechpartner für alle Fragen rund um Ultraschalltechnik. Wir stellen einige Schwerpunkte vor: etablierte und neue Dienstleistungen.

## Medizintechnik – Ein Trainingskoffer macht Karriere

### Maria Preuß und Sabine Kern

Wir arbeiten am FZ-U oft daran, Ideen buchstäblich eine Gestalt zu geben. Auf den LET sind wir dabei besonders stolz. Seine Geschichte beginnt schweinish und hört beim 3D-Druck noch lange nicht auf.



Abb. 30: Das Logo des Endosonographie-Trainingsgerätes.

### *Die Idee, die aus der Praxis kam*

Dr. Burmester beklagte sich. Der erfahrene Gastroenterologe (Magen-Darm-Spezialist) an den Sana-Kliniken Lübeck führte seit Jahren Fortbildungsveranstaltungen zur Endosonographie durch. Die Mediziner im Kurs übten die endoskopische Arbeit mit Ultraschallbildgebung an Schweineorganen, die in mehreren Litern Ultraschallgel lagen. Das war fehlerträchtig, weil zahlreiche Luftblasen die Ultraschallbildgebung störten und die Organe nicht richtig fixiert waren. Unser Ideengeber wollte in Zukunft die minimal-invasiven Operationstechniken besser mit den Kursteilnehmern üben können.

Nach dem Erstkontakt mit Dr. Burmester konnten wir bei einem ultraschallüberwachten endoskopischen Eingriff am Patienten dabei sein. Uns beeindruckte, wie nur durch Video- und Ultraschallbilder eine Orientierung im Körperinneren möglich war. Wir erlebten, wie viel Fingerspitzengefühl durch die technische Apparatur geleitet werden kann. Solche Fertigkeiten lassen sich nur durch Praxis erlernen, anfänglich lieber an Trainingsobjekten statt an Patienten.

Für die Gastroenterologie stellt der Magen-Darm-Trakt eines Hausschweins ein geeignetes Trainingsobjekt dar, weil Größe und Form der Organe, ihr endoskopisch betrachtetes Inneres und ihr Verhalten bei Manipulationen vergleichbar zu menschlichen Organen sind.

Im Jahr 2015 nahm die Entwicklung des Trainingsgerätes Fahrt auf (Abb. 31). Die Firma Hitachi hat uns auf dem Entwicklungsweg unterstützt.



**ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN**

- fachspezifische EUS-Trainingsgeräte  
Lungenmodell  
Modell für Urologie
- Sonographie-Modell Abdomen
- Elastographischer Kontrast der  
Punktionsobjekte
- künstliche Organe ersetzen Biomodell

**ZAHLEN UND FAKTEN**

- bis Dezember 2019 wurden:
- 6 LET-Geräte verkauft
  - 30 EUS-Kurse veranstaltet
  - ca. 500 Mediziner am LET weitergebildet

*Erste Teilnahme am Dreiländertreffen der DEGUM in Linz (seitdem jährliche Teilnahme)*

**MARKTREIFE**

Offizielle Markteinführung  
**1. Quartal 2017**



*Fertigung des Urmodells im 3D-Druck*  
*Erster offizieller EUS-Kurs mit LET an der Charité Berlin*

*Handbuch als Bedienungsanleitung (bebildert, in Deutsch und Englisch)*

**OPTIMIERUNG/ RE-DESIGN**

Start Produktion in Kleinserie  
**4. Quartal 2016**



*Neues Produkt-Design für LET-Koffer*

*Namensgebung und Logo*

**REALISIERUNGSPHASE**

Bau erster Prototyp  
**1. Quartal 2016**



*Erstes Modell in großem Maßstab*

*Entwicklung von künstlichen Punktionsobjekten*

**MACHBARKEITSSTUDIE**

Funktionstest mit dem Demonstrator  
**4. Quartal 2015**



*Live-Demonstration der Endosonographie am Patienten*

**IDEE**

Erste Kontaktaufnahme  
**2. Quartal 2015**



*Anfrage Dr. Burmester*

Abb. 31: Der LET: der Entwicklungsweg von der Idee bis zum Produkt.

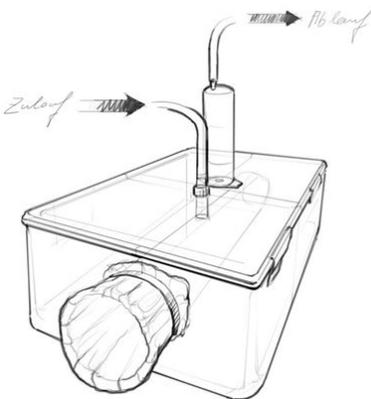
Dr. Burmester hatte sehr konkrete Vorstellungen entwickelt, wie die bisherige Trainingsmethode verbessert werden könnte. Er schlug vor, ein gekapseltes System mit Wasserankopplung zu nutzen. Wichtig war dabei, die durch die endoskopischen Prozeduren mechanisch belasteten Objekte zu fixieren. Im wechselseitigen Austausch konnten wir mit ihm dieses Konzept verfeinern und immer besser umsetzen.

### *Ausgezeichnete Entwicklung zum Prototypen*

Wir haben Dr. Burmesters Konzept aufgegriffen und einen ersten Prototyp für einen Praxistest entwickelt. Im Rahmen einer Bachelorarbeit entstanden viele Lösungen, die bis heute das Endosonographie-Trainingsgerät prägen.

Der erste Entwurf (Abb. 32a) war auf das Wesentliche beschränkt: Ein wasserdichtes Gefäß, das Organ darin mittels Matrix fixiert, rundum von einem Wasserbad umgeben. In der Skizze wird schon ein Knackpunkt deutlich: da das Endoskop durch eine natürliche Öffnung geführt werden muss, ist eine wasserdichte Verbindung nach außen notwendig. Eine Frischhaltedose erwies sich als ein optimaler Startpunkt, um die Tüftelei zu beginnen. Der Entwurf ließ sich damit gut umsetzen. Die Durchführung des Darmes mit endoskopischer Zugänglichkeit gelang. Ein Praxistest bei Dr. Burmester in Lübeck (Abb. 32b) verlief erfolgreich.

Jetzt ging es darum, den Ansatz auf den wesentlichen Teil eines porzinen (schweinischen) Magen-Darm-Traktes hochzuskalieren. Für das Gehäuse fiel die Wahl bald auf einen wasserdichten Koffer, damit das ganze Trainingsgerät



(a) Entwurfsskizze.



(b) Der erste Praxistest.

Abb. 32: Machbarkeitsversuch: vom Entwurf zum Praxistest.

gut handhabbar werden würde. Schnell bürgerte sich am FZ-U deswegen ein Spitzname für das Gerät ein: der »Schweinekoffer«.

Der Schweinekoffer würde voll werden: in den Kursen werden Speiseröhre, Magen und Rektum eines Schweines endoskopisch untersucht. Der Zugang sollte dabei durch die *natürlichen Öffnungen* geschehen, die mit Durchführungen im Gehäuse zu realisieren waren. Eine wichtige zu übende Operationstechnik sind Punktionen, also gezielte Einstiche in Organe. Diese sind auch Grundlage von Drainagen (die Entfernung von Flüssigkeit aus Hohlräumen) und Biopsien (Entnahme von Gewebe). Für das Üben der Drainagen hatte Dr. Burmester sogenannte »Pseudozysten« vorgesehen, die in unserem Biomodell durch wassergefüllte Harnblasen repräsentiert wurden. Die Gewebeentnahme sollte hingegen an künstlichen Objekten geübt werden.

Die Gestaltung und Herstellung der Aussparungen, um die Organe und Trainingsobjekte so zu fixieren, dass sie sich bei den Übungen nicht zu stark verschieben, erwies sich als technologisch anspruchsvolle Aufgabe. In den ersten Versuchen verwendeten wir ein in zeitraubender Handarbeit geformtes und verstärktes Modell aus Pappmaché. Diesen Ansatz haben wir verfeinert durch ein robusteres glasfaserverstärktes Styropormodell, wobei die Urformen für die Punktionsobjekte mühsam Stück für Stück am Modell fixiert wurden (Abb. 33a). Durch Gießen wurde dieses Modell mit einem Kunststoff abgeformt und so eine zweiteilige Matrix hergestellt. Damit der Kunststoff in der Ultraschallbildgebung keine störenden Echos erzeugt, wurde er vor dem Guss geeignet modifiziert. Schließlich waren wasserdichte Zugänge für den vollständig mit Wasser gefluteten Koffer zu konstruieren, die für die endoskopische Zugänglichkeit sorgten.

Für die Punktionsobjekte haben wir ein geeignetes gut formbares Ersatzmaterial gefunden. Sie liefern einen guten sonographischen Kontrast und sind



(a) Styropor-Modell für den Prototypen



(b) Derzeit verwendetes modulares Modell

Abb. 33: Evolution des Urmodells: vom handgefertigten Muster zum 3D-gedruckten Modell.



mechanisch hinreichend stabil. Damit waren alle Bausteine beisammen, um einen ersten Prototypen zu fertigen.

In der Summe waren das ungewöhnlich vielfältige und anspruchsvolle Aufgaben für eine Bachelorarbeit. Nicht nur deren Gutachter waren überzeugt: die Autorin, frischgebackene Ingenieurin, erreichte mit ihrem fertigen Werk den zweiten Platz des DKB-VIU-Nachwuchsforscherpreises (Abb. 5 auf Seite 15)!

## *Der Weg zum Produkt: vom »Schweinekoffer« zum LET*

Dr. Burmester lobte die Gebrauchseigenschaften des Prototypen nach den praktischen Tests unter realistischen Bedingungen. So hatte er sich das vorgestellt.

Es war Anfang 2016 und unser neuartiges Endosonographie-Trainingsgerät sollte in Produktion gehen. Der Prototyp hatte hervorragend funktioniert. Doch für eine verlässlich qualitätsvolle Herstellung mussten zahlreiche Details optimiert werden. Die Bachelorarbeit war zwar abgeschlossen, die Arbeitsübergabe verlief jedoch reibungslos und die Verbesserungsarbeiten konnten nahtlos anschließen. Die Formgebung einzelner Komponenten wurde verbessert, Verbindungstechniken überarbeitet, weniger aufwändige Herstellungstechniken etabliert. Je näher das Produkt rückte, um so wichtiger wurden auch Vertrieb, Dienstleistungsangebot und Marketing. Unser »Kind« bekam einen Namen: *Luebeck EUS-Trainer* (LET). Von einer Grafikerin wurde ein Logo (Abb. 30), ein ansprechendes Produktdesign (Abb. 34) und Werbematerial entwickelt. Am FZ-U entstanden Handbücher und Schulungsmaterialien.

Die Vorbereitung der Organe gehört von Anfang an zu unseren begehrten Dienstleistungen. Die Präparation der Organe ist am FZ-U Chefsache. Auch wenn sie in einem separaten Labor stattfinden, haben die intern »Schlachtefeste« genannten Schweinezerlegungen eine olfaktorische Ausstrahlung. Uns Techniker und Physiker am FZ-U konnte das nur anfangs irritieren. Bevor Schweineteile im Koffer liegen dürfen, muss freilich der Amtsschimmel wiehern. Und es stimmt ja auch: die Keime im Schweinedarm haben wenig Charme. Deswegen ist die Arbeit mit solchem tierischen Material in Deutschland genehmigungs- und registrierungspflichtig. Jedes Organ, welches wir am FZ-U präparieren, wird rückverfolgt gekennzeichnet und bei uns erfasst.

Neben den präparierten Organen werden auch Punktionsobjekte und diverse Verbrauchsmittel bei den Ausbildungskursen benötigt. Wir wissen von den Veranstaltern, wie wesentlich unsere Zuarbeit ihnen die Arbeit erleichtern kann. Deswegen haben wir auch Fragen der Bestellung, der Verpackung und der Organisation der Logistikkette große Aufmerksamkeit gewidmet. Rechtzeitig zum Kurstermin erreichen die gebrauchsfertigen Organe, die Punktionskugeln (vgl. Seite 50) und das notwendige Zubehör den Veranstaltungsort.



Abb. 34: Der LET heute.

Im Jahr 2017 haben wir den LET offiziell auf den Markt gebracht und bieten seitdem auch unseren umfassenden Service rund um das Produkt an.

### *Erfolgreich im Einsatz: Der LET heute*

Der LET wurde seit der Markteinführung zum etablierten Ausbildungsgerät in der ultraschallgestützten Endoskopie. Bis Ende 2019 sind mehr als 30 Kurse in über zehn Städten mit dem LET durchgeführt worden. Die Kursveranstalter und -teilnehmer wissen die einzigartigen Eigenschaften des LET zu schätzen:

- ▶ realitätsnahes Training
- ▶ optimale sonographische Sichtbarkeit der Objekte
- ▶ stabile Lage der Trainingsobjekte, auch bei endoskopischen Interventionen
- ▶ artefaktfreie Ultraschallbilder
- ▶ CT-geeignet, Anschluss für Diathermie
- ▶ einfaches Bestücken und Reinigen
- ▶ umfangreicher Service (Organe, Punktionsobjekte, Zubehör, Schulung)

Auch unser kundenfreundlicher Service ist Grundlage des Erfolges. Spezifisch für die thematischen Schwerpunkte der Kurse zusammengestellte Pakete mit allen notwendigen Materialien (vom Schweinemagen bis zum Y-Stück) werden von uns termingegenau geliefert. Mit Schulungskursen und instruktivem Schulungsmaterial bieten wir einen optimalen Einstieg in die Nutzung des LET.

## Die Zukunft des LET ist vielfältig

Auch das beste Gerät muss sich kontinuierlich an die Anwenderwünsche anpassen und neu entstehenden Anforderungen gerecht werden. Daran arbeiten wir in engem Austausch mit unseren Kunden.

Eine mittelfristig wichtige Entwicklungslinie sehen wir in *kundenspezifischen* Trainingsgeräten. Voraussetzung ist ein neuentwickeltes Urmodell, das unsere bisherige Lösung aus glasfaserverstärktem Styropor deutlich verbessert. Das Urmodell wurde im 3D-Druck gefertigt (Abb. 35) und ist modular konzipiert. Damit können Einzelteile leicht ausgetauscht werden, was die Entwicklung neuer Varianten erheblich beschleunigt. Das Innenleben des LET kann so – anders als bisher (vgl. Abb. 33) – flexibel an die Bedürfnisse der Kunden angepasst werden. Einerseits können so neuartige Organsysteme vom LET unterstützt werden. Auch *spezifische* Übungsmodelle mit Lungen oder für die Urologie sind in Planung. Andererseits können Übungsmodelle speziell für weitere Operationstechniken wie die Stentimplantation gebaut werden.

Auch im Bereich der künstlichen Punktionsobjekte entwickeln wir am FZ-U kontinuierlich weiter. Inzwischen bieten wir auch strukturierte Punktionskugeln (Abb. 36a) an. Nun lässt sich die Punktion realitätsnäher trainieren, weil die Zielregion – anders als mit den einfachen Punktionsobjekten – nicht direkt an der Organwandung liegt. Die Binnenstruktur ist über den sonographischen Kontrast detektierbar. Diese Zielregion muss im Ultraschallbild (Abb. 36b) – das immer eine Schnittebene darstellt – erst einmal gefunden und danach getroffen



Abb. 35: Modulares Abformmodell und gegessene Matrix.



(a) Strukturierte Punktionskugel. Die Zielobjekte sind rot eingefärbt.

(b) Sonogramm der Punktionskugel im Einsatz, links ist die Kugel mit den Binnenstrukturen zu erkennen.

Abb. 36: Strukturierte Punktionskugeln.

werden. Weil der Zielbereich zusätzlich zur sonographischen Kontrastierung auch eingefärbt ist, kann der Erfolg der Punktion sehr gut überprüft werden.

Unsere Materialentwicklungen finden inzwischen nicht nur Anwendung in der Endosonographie sondern auch zum ultraschallüberwachten Punctionstraining mit Sonden auf der Körperoberfläche. Darüber hinaus sind medizinische Phantome – also Probekörper, die bestimmte Materialeigenschaften nachbilden – am FZ-U ein aktuell bearbeitetes Thema. Die Modifikationsmöglichkeiten über die Form und den sonographischen Kontrast hinaus interessieren uns dabei besonders und sind Gegenstand von Forschungsprojekten.

Vorerst eine Vision bleibt die Hoffnung, dereinst die tierischen Organe durch hinreichend realistisch nachgebildete künstliche Objekte zu ersetzen. Immerhin ist uns bisher die Entwicklung nützlicher Teillösungen gelungen. Was vor ein paar Jahren mit einer guten Idee begonnen hat, ist inzwischen Realität geworden. Dank der intensiven Zusammenarbeit mit unserem Ideengeber Dr. Burmester konnten wir uns ein erfolgreiches neues Geschäftsfeld aufbauen.

Wir sind gespannt, wohin die weitere Entwicklung des LET führen wird. Dank stetiger Verbesserungsvorschläge und neuer Ideen der Anwender sind wir uns sicher: die Karriere des LET geht erfolgreich weiter.

**Ansprechpartnerin:** Sabine Kern

☎ (03 45) 44 58 39 - 17

@ sabine.kern@fz-u.de

## Luftultraschallwandler auf dem Prüfstand

### Stefan Scheunemann

Für die erfolgreiche Luftultraschallprüfung ist die Qualität der Ultraschallwandler entscheidend. Hier zählt jedes Dezibel. Deswegen bietet eine umfangreiche Charakterisierung von Sendern und Empfängern einen wichtigen Beitrag zur Qualitätssicherung. Wir offerieren diese als Dienstleistung.

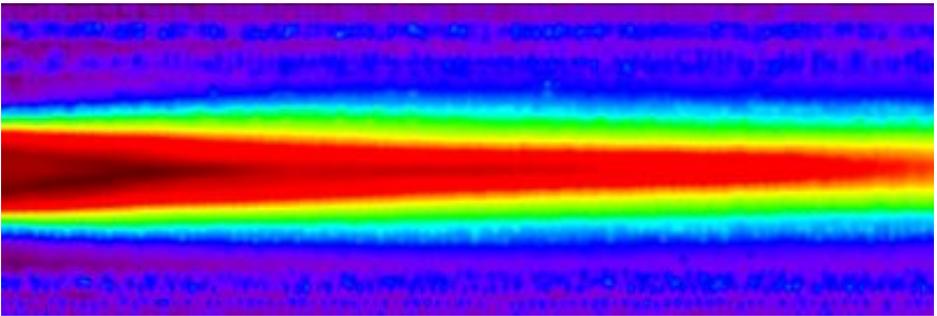


Abb. 37: Schallfeld eines Luftultraschallwandlers.

Mit unseren Kunden vereinbaren wir ein für seine Ansprüche optimiertes und vergleichbares Vorgehen der Charakterisierung seiner Wandler. Uns steht dazu ein breites Methodenspektrum zur Verfügung.

### *Dielektrische Charakterisierung*

Für einen ersten Eindruck vom Wandler nehmen wir die relativ schnell zu messenden elektrischen Impedanzspektren auf. Der aufgenommene frequenzabhängige Gang des komplexen Widerstandes bietet eine gute Möglichkeit, um Resonanzfrequenzen abzuschätzen und Aussagen über das Schwingungsverhalten des Gesamtsystems Wandler zu gewinnen. Auch für die elektrische Beschaltung geben die Messungen wertvolle Hinweise.

### *Wandlercharakterisierung*

Für Sender und Empfänger können wir die Resonanzfrequenz, die Schwingungsdauer und die Bandbreite bestimmen. Dazu werden die Impulsantworten als Zeitreihen aufgenommen. Die Sender werden mit einem elektrischen Impuls angeregt und der resultierende Schall mit einem breitbandigen optischen

Mikrofon aufgenommen. Zur Charakterisierung der Empfänger benutzen wir einen breitbandigen Ultraschallsender, der impulsförmig angeregt wird. Die jeweiligen Sender und Empfänger werden reproduzierbar zueinander positioniert. Mit dieser Anordnung können wir auch die Empfangs- und Sendempfindlichkeit der Wandler bestimmen. Als Beispiel sind in Abb. 38 die Impulsantwort und das Spektrum eines am FZ-U gefertigten Wandler-Paares dargestellt.

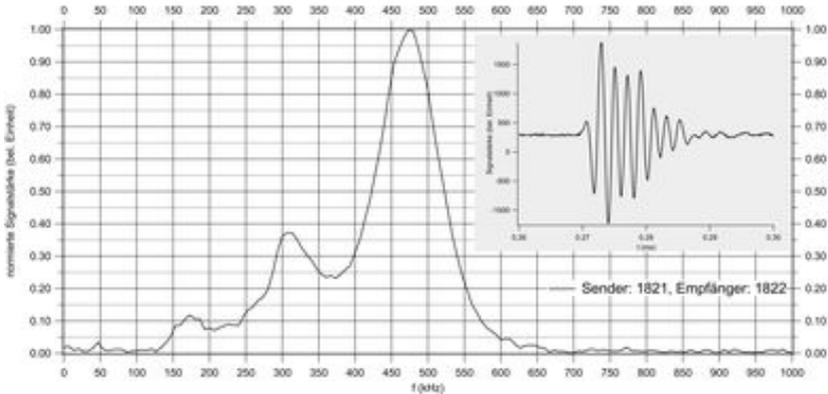


Abb. 38: Impulsantwort eines Wandlerpaares (kleines Bild) und das daraus berechnete Spektrum.

Für die im Luftultraschallbereich häufig vorkommende Transmissionsanordnung ist das Zusammenspiel von Sender und Empfänger entscheidend. Zu dessen Beurteilung werten wir die Antwort des Empfängers auf einen definierten impulsförmigen Anregungspuls des Senders aus. Außerdem können die optimalen Parameter für eine burstförmige Anregung im Prüfeinsatz ermittelt werden.

Der resultierende Schalldruck eines Sender ist von der anliegenden elektrischen Spannung abhängig. Der Zusammenhang ist nur für kleine Anregungsspannungen linear. In der Luftultraschalltechnik werden jedoch häufig hohe Anregungsspannungen benötigt. Die Auslenkung der piezoelektrischen Wandlermaterialien hängt nichtlinear von der wirksamen elektrischen Feldstärke ab. Wir bestimmen den realen Verlauf des Schalldrucks in Abhängigkeit von der Anregungsspannung (bis 800 Volt) und ein eventuelles Sättigungsverhalten.

### Vermessung des Sender-Schallfeldes

Für die Schallfeldvermessung setzen wir ein optisches Mikrofon ein. Mit diesem scannen wir das Schallfeld des Wandlers entlang der akustischen Achse oder quer dazu ab (Schema in Abb. 39). Dabei ist eine Ortsauflösung bis 10  $\mu\text{m}$  möglich.

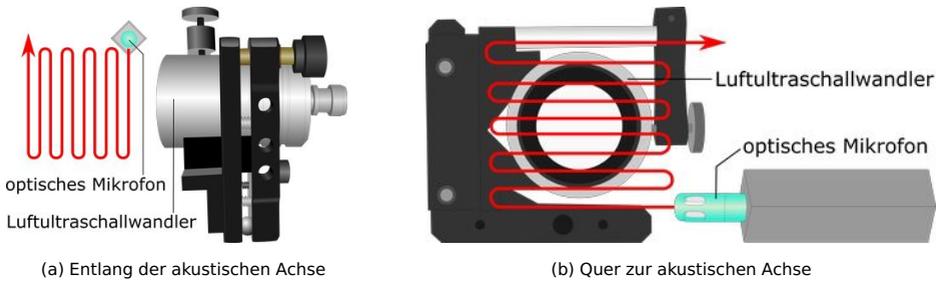


Abb. 39: Scan des Schallfeldes (Schema).

Das Messprinzip des optischen Mikrofons (Abb. 40) basiert auf der lokalen Dichteänderung der Luft durch die Schallwelle. Da die Dichte der Luft auch die Lichtgeschwindigkeit beeinflusst, lässt sich *optisch* ihre Änderung detektieren. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass keine mechanisch schwingenden Teile vorkommen, so dass das Verfahren breitbandig für Frequenzen bis etwa 1 MHz funktioniert. Die Messgröße ist dann der absolute Schalldruck (bis zu einem Pegel von 160 dB bezogen auf 20  $\mu\text{Pa}$ ). Ein Beispiel für ein so gemessenes Schallfeld wird in Abb. 41 präsentiert. Je nach Anwendungsbereich kann die Darstellung angepasst werden. So können beispielsweise absolute oder normierte Schallwechseldrücke in individuell vorgegebenen Farbcodes abgebildet werden.

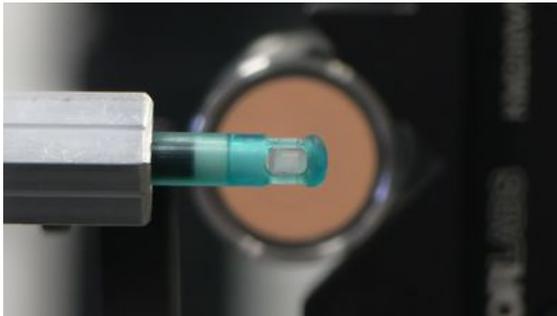


Abb. 40: Optisches Mikroskop im Prüfstand.

Aus der gemessenen Schallfeldverteilung lassen sich anwendungsrelevante Eigenschaften *quantitativ* und *reproduzierbar* ermitteln. Zum Beispiel kann geprüft werden, ob nicht erwünschte Nebenkeulen vorkommen und die Nahfeldlänge sowie die Schallbündelbreite lassen sich bestimmen.

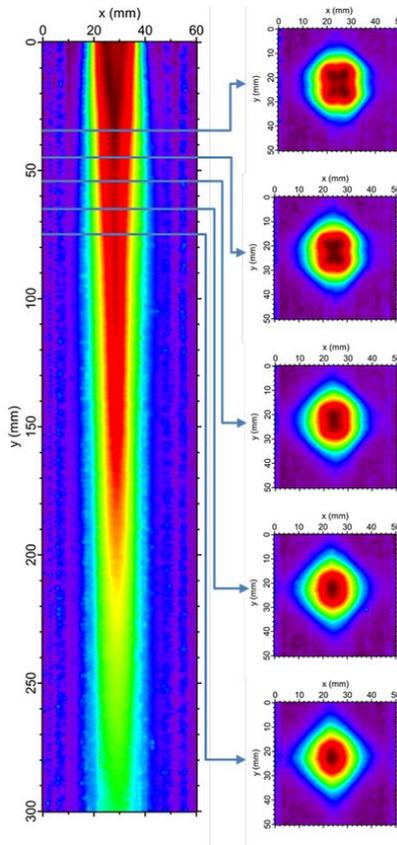


Abb. 41: Schallfeld in der akustischen Achse (großes Bild) und an ausgewählten Positionen quer dazu.

## Fazit

Wir sind in der Lage, Luftultraschallwandler (Sender und Empfänger) reproduzierbar hinsichtlich ihrer Wandlereigenschaften (einzeln und kombiniert) zu vermessen. Wir bieten somit eine Möglichkeit, Wandler bezüglich ihrer für die Prüfung relevanten Eigenschaften objektiv zu charakterisieren und zu vergleichen. Das ist ein wichtiger Beitrag für die Qualitätssicherung von Prüfsystemen.

**Ansprechpartner:** Stefan Scheunemann

☎ (03 45) 44 58 39 - 17

@ stefan.scheunemann@fz-u.de

## Zertifizierte Geräteprüfung

### Jana Klammer

Auf die Ultraschallprüfung kann man sich verlassen: eine leistungsstarke Methode, ein standardisierter Prüfvorgang und geschultes Personal bürgen für Qualität. Im Zentrum dieser Sicherheitskette steht die Prüftechnik. Sie jährlich zu prüfen ist im Sinne des Qualitätsmanagements per Norm vorgeschrieben. Wir werden diese Prüfung ab 2020 am FZ-U anbieten.



Abb. 42: Die Geräteprüfung erfordert diverse Messtechnik.

### *Normierte elektrische Vermessung für verlässliche Prüftechnik*

Eine verlässliche Ultraschallprüfung ist nur möglich, wenn die eingesetzte Prüftechnik richtig funktioniert. Bei Prüfgeräten im Impulsbetrieb mit A-Bild-Darstellung wird das sichergestellt, indem diese laut Norm DIN EN 12668-1:2010 einmal im Jahr geprüft werden. Um die elektrische Funktionssicherheit des Ultraschallgerätes nachzuweisen, sind u. a. folgende Punkte sicherzustellen:

- ▶ die Impulsqualität ist in Ordnung (d. h. Spannung, Anstiegszeit und Impulslänge sind richtig und Nachschwingung ist klein),
- ▶ die Linearität der Achsen ist gegeben und
- ▶ die Verstärkerbandbreite stimmt.

Um diese Qualitätsmerkmale sicherzustellen, werden sie mit normierten Verfahren überprüft.



## *Zertifizierte Prüfung bietet Sicherheit*

Das FZ-U verfügt über die notwendigen Messgeräte und die notwendige Expertise, um die von der Norm geforderten Prüfungen verlässlich umzusetzen. Anfang 2020 werden wir deswegen für die Prüfung der Ultraschallprüfgeräte nach DIN EN ISO 9001:2015 zertifiziert sein. Auf dem Weg dahin haben wir nicht nur die entsprechenden Messplätze aufgebaut sondern auch einen kundenfreundlichen Service etabliert.

## *Unkomplizierter Service: Sie schicken – wir prüfen*

Die Geräteprüfung von uns ist kundenfreundlich, flexibel, schnell und zu einem fairen Preis. Wie läuft das konkret ab?

- ▶ Das Gerät wird nach telefonischer Absprache zu uns geschickt.
- ▶ Nach einer Eingangskontrolle nehmen wir die Prüfung vor.
- ▶ Wir dokumentieren die Prüfergebnisse in einem Protokoll. Falls alles in Ordnung ist, bestätigen wir das mit einem Zertifikat.
- ▶ Wir schicken das Gerät zurück.
- ▶ Auf Wunsch erinnern wir im nächsten Jahr rechtzeitig an die notwendige Geräteprüfung.

Insgesamt dauert das geschilderte Vorgehen in der Regel (abhängig vom Auftragsvolumen) nicht länger als sieben Arbeitstage.

## *Fazit*

Wir unterstützen Sie, den durch die Norm vorgegebenen Pflichten unkompliziert nachzukommen: verlässlich, schnell und zu fairen Preisen.

Ab 2020 bieten wir Ihnen unseren Service an. Gerne beraten wir Sie schon im Vorfeld!

**Ansprechpartnerin:** Dr. Jana Klammer

☎ (03 45) 44 58 39 - 16

@ jana.klammer@fz-u.de

## Luftultraschall – Technologiekette aus einer Hand

### Mario Kiel

Mit der Luftultraschallprüfung kennen wir uns aus: von der Wandler- und Prüftechnikentwicklung bis zur Auswertemethodik entwickeln wir neuartige Lösungen. Wir beherrschen die Anwendung für vielfältige Materialien. So sind wir bestens aufgestellt, um neue Prüflösungen zu entwickeln.

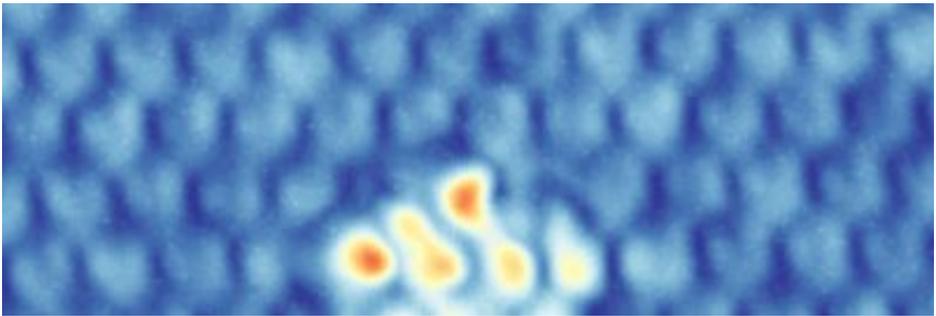


Abb. 43: Prüfbild einer Wabenstruktur.

Einige Bilder verdeutlichen unser am FZ-U vorhandenes Know-how. Wir stellen ausgehend von am Haus gefertigten Wandlerscheiben (Abb. 44) Luftultraschallwandler her (Abb. 45). Wir entwickeln mehrkanalige Prüfgeräte (inklusive Leistungselektronik und rauscharmer Verstärkung) und binden Scantechnik ein (Abb. 46 auf Seite 68). Wir entwickeln Prüfmethode und erarbeiten Prüfanweisungen. Wir haben ein umfassendes Know-how hinsichtlich Prüfaufgaben (Materialkombinationen, Ungängen, Methoden). Wir können hier nur eine kleine Auswahl von Prüfaufgaben vorstellen (Seite 69). Finden Sie mehr ausführlich kommentierte Beispiele und ausführliche Erläuterungen zur Luftultraschallprüfung auch auf unserer Seite

<https://www.luftultraschall.de>

**Ansprechpartner:** Dr. Mario Kiel

☎ (03 45) 44 58 39 - 15

@ mario.kiel@fz-u.de

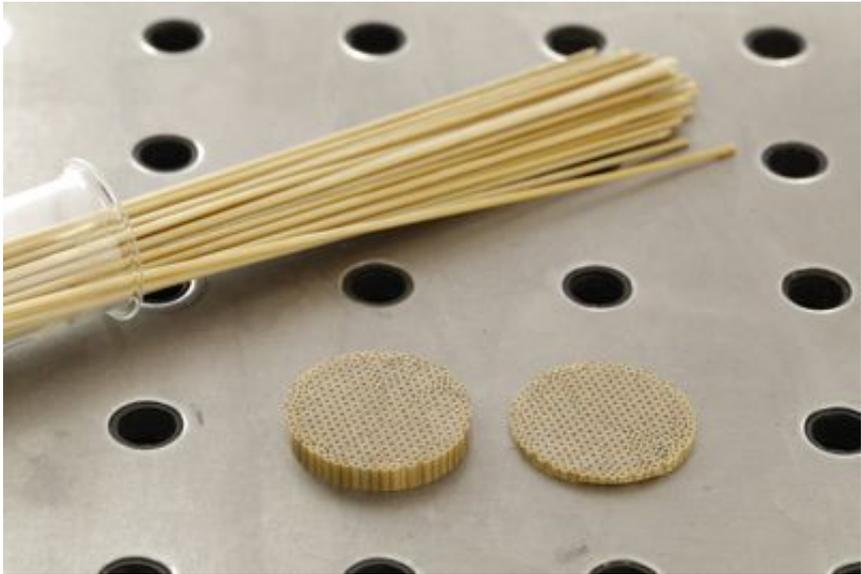


Abb. 44: Piezokeramische Fasern und am FZ-U gefertigte Wändlerscheiben.



Abb. 45: Am FZ-U gefertigte Wändlerscheiben und Luftultraschallwandler.



Abb. 46: Am FZ-U entwickelte Prüftechnik im Einsatz (Transmissions-Messung).

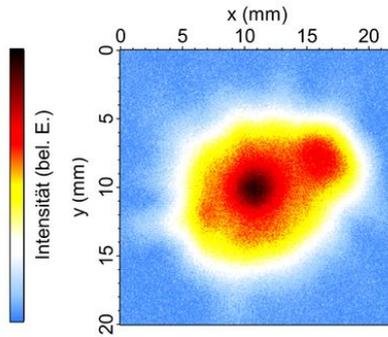


Abb. 47: Prüfbild einer Punktschweißverbindung.

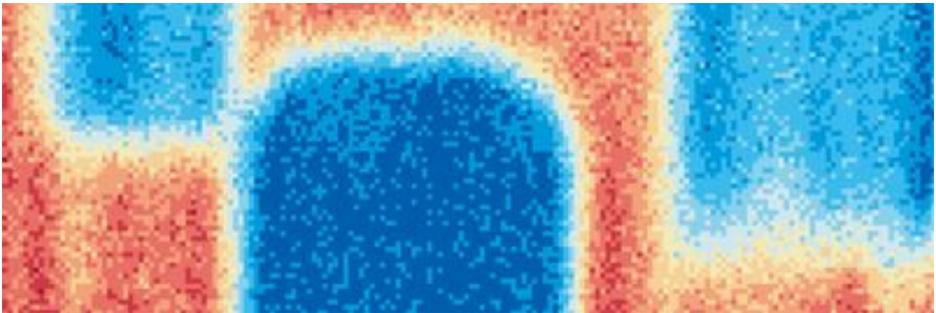


Abb. 48: Einseitige Prüfung einer Klebeverbindung zwischen Aluminium und CFK.

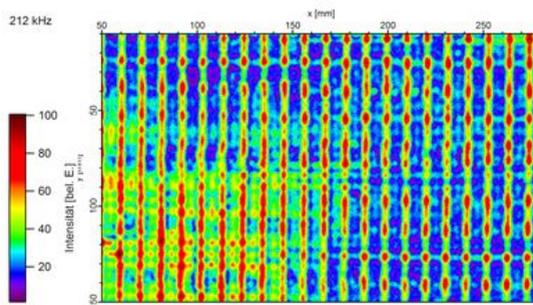


Abb. 49: Prüfbild von faserverstärktem Beton mit deutlich sichtbarer Faserbewehrung.



## Gut beraten, gut entwickelt, gut gemacht!

### Christoph Pientschke

Forschung und Entwicklung am FZ-U ist grundsätzlich nah an der Anwendung. Unsere Beratungsleistungen helfen, Entscheidungen zu treffen. Unsere Auftragsforschung bietet Lösungen auf den Punkt.



Abb. 50: Beratung am FZ-U: passgenau, partnerschaftlich, lösungsorientiert.

### *Gibt's da was mit Ultraschall?*

Abstand messen, Platten prüfen, Babys gucken, Partikel verteilen, Leber tasten, Risse finden – für Ultraschall gibt es zahlreiche Anwendungen. Den mechanischen Wellen ist einiges zuzutrauen, wenn es um Sensorik, Medizin und Produktionstechnik geht. Immer wieder bekommen wir aus unterschiedlichen Branchen Anfragen, ob nicht eine Lösung mit Ultraschall möglich wäre. In der Tat: häufig ist sie es.

Wir unterstützen Sie, damit Ihre gute Idee zur praktischen Lösung wird. Neuen Ideen begegnen wir offen mit wissenschaftlicher Neugier und gesunder Skepsis. Wir hinterfragen, recherchieren die Hintergründe und können so begründete Aussagen zur Machbarkeit treffen. Wenn wir von der Realisierbarkeit überzeugt sind, finden wir mit Forschergeist eine Lösung. Unsere Lösungen sind praktisch: sie sind kein Papier für die Schublade, sondern sie funktionieren.

### *Damit Sie weiterkommen: unsere Beratungsleistungen*

Wenn wir von einer Idee überzeugt sind, finden wir mit unseren Partnern einen Weg, diese umzusetzen (vgl. Abb. 51). Wie läuft das typischerweise ab?

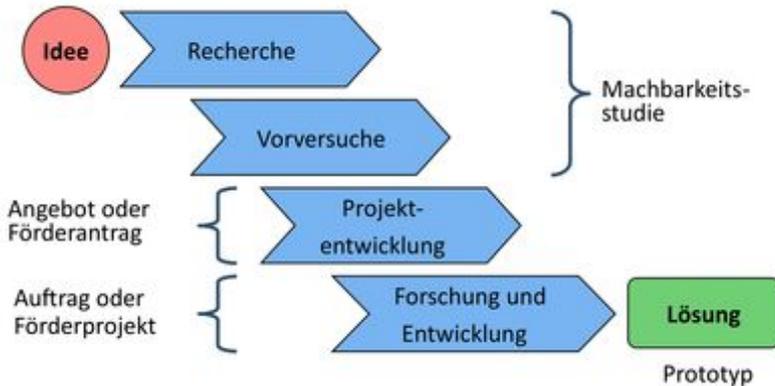


Abb. 51: Der Kundenwunsch entscheidet die Beratungstiefe.

Sie haben eine Idee. Wir diskutieren diese kundig mit Ihnen, tragen Informationen zusammen und finden in ersten Versuchen Ansatzpunkte zur Lösung. Damit können wir verlässlich die Schritte zur Umsetzung planen. Im Anschluss arbeiten wir in enger Abstimmung mit Ihnen an der Lösung. Selbstverständlich können wir an jeder Stelle dieser Kette unsere Dienstleistungen anbieten: ganz nach Ihrem Bedarf und abhängig von der Komplexität der Aufgabenstellung.

Im Einzelnen bieten wir:

**Recherchen** Sie suchen Informationen zum Thema Ultraschall: ob Marktüberblick oder einen Einblick in den Stand der Forschung. Man findet nur, was man weiß. Sachkundig tragen wir für Sie die relevanten Informationen zusammen und bereiten Sie nach Ihren Wünschen übersichtlich auf.

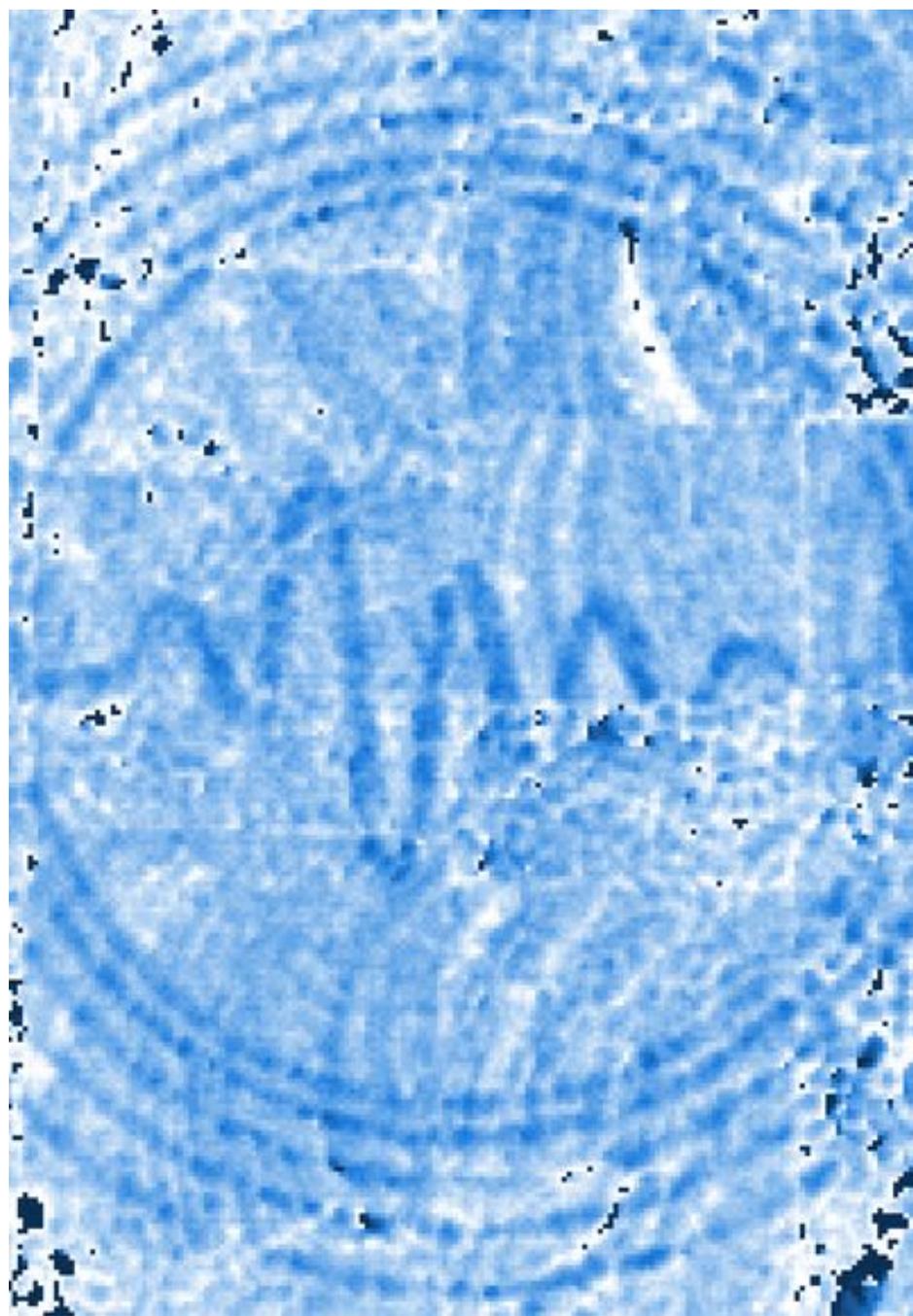
**Machbarkeitsuntersuchungen** Ultraschall hat viele Einsatzgebiete. Wir überblicken die Möglichkeiten, recherchieren Varianten und bewerten Sie nach technischer und betriebswirtschaftlicher Machbarkeit. Mit Vorversuchen entwickeln wir Lösungskonzepte.

**Projektentwicklung** Ob im Rahmen von Förderprojekten oder Aufträgen finden wir gemeinsam mit Ihnen den Weg zur Lösung. Wir strukturieren die komplexen Aufgaben und finden bei Bedarf Wege durch den Förderdschungel.

**Ansprechpartner:** Dr. Christoph Pientschke

☎ (03 45) 44 58 39 - 18

@ christoph.pientschke@fz-u.de



# Vorschau 2020

Auch 2020 veranstalten wir wieder eine Reihe von Veranstaltungen. Wir stellen alle bis Redaktionsschluss bekannten Termine zusammen.



## URSt – der Ultraschallfokussierte Regionale Stammtisch



Alle Termine 2020 im Überblick:

**Neujahrs-URSt** 23. Januar 2020 in Halle, Palais'S

**URSt-Seminar** 14. Mai 2020

**Herbst-URSt** 19. November 2020 in Halle

Gerne nehmen wir Sie in unseren E-Mail-Verteiler auf.

**Ansprechpartnerin:** Dr. Jana Klammer

☎ (03 45) 44 58 39 - 16

@ jana.klammer@fz-u.de

## Aus- und Weiterbildung



Auch 2020 führen wir wieder Workshops zur Luftultraschallprüfung durch. Die Termine standen zum Redaktionsschluss noch nicht fest.

**Ansprechpartner:** Dr. Christoph Pientschke

☎ (03 45) 44 58 39 - 18

@ christoph.pientschke@fz-u.de



# Forschungszentrum Ultraschall Jahresbericht 2019

## Impressum

Herausgeber      Forschungszentrum Ultraschall gGmbH  
Köthener Straße 33a, 06118 Halle (Saale)  
Deutschland  
www.fz-u.de      kontakt@fz-u.de  
☎ (03 45) 44 58 39 -10

## Bildnachweis

Die Abbildungen stammen – falls nicht anders zugeordnet – vom FZ-U.

Catharina Burmester: (30), (34) • Dr. Eike Burmester: (36b) • Maria-Luisa Grötzner: (7) •  
Christian Krupp: (5) • Florian Rapp: (32a) • Manfred Steinhausen: (9) •  
Janos Stekovics: (Seite 3) (3), (23a), (23b), (44), (45), (46) • Marco Warmuth: (4), (Seite 6), (42), (10) •  
Pixabay: Thomas Breher (29) – Free Photos (51)

Hinweis: Um die Dateigröße klein zu halten, wurde die Bildauflösung für die PDF-Version gegenüber der Druckfassung größer gewählt.

## Redaktion

Gesamtredaktion:      Christoph Pientschke (CP)  
Texte und Bilder:      Ralf Steinhausen, Mario Kiel, Jana Klammer,  
Stefan Scheunemann, Sabine Kern, Maria Preuß, CP  
Layout und Satz:      L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X unter Verwendung von KOMA-Script, CP

## Stand

Redaktionsschluss der gedruckten Fassung: 11. Dezember 2019  
letzte Aktualisierung der PDF-Version: 11. Dezember 2019

Druck  **WirmachenDruck.de**  
Sie sparen, wir drucken!

klimaneutral auf Recyclingpapier gedruckt,  
Auflage: 80



## **Forschungszentrum Ultraschall gGmbH**

Köthener Straße 33a  
06118 Halle  
Deutschland

Telefon: (0345) 44 58 39 -10  
Fax: (0345) 44 58 39 -19  
E-Mail: [kontakt@fz-u.de](mailto:kontakt@fz-u.de)  
web: [www.fz-u.de](http://www.fz-u.de)