

# Mobiles Verfahren zur globalen akustischen Zustandsbewertung von luftfahrtrelevanter Strukturen

Sabine GOLDBACH\*, Rainer FRANKE\* , Matthias STRIEGLER\*, Dieter KRAHNERT\*\*, Stefan EBNER\*\*, Uwe LIESKE\*\*\*, Lars SCHUBERT\*\*\*, Manuel TREPTE\*\*\*\*, J. BECKERT\*\*\*\*

\* IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH

\*\* Sobatec Kamenz

\*\*\* Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP Institutsteil Dresden

\*\*\*\* Teletronic Rossendorf GmbH

## Kurzfassung

Ziel war es, eine effektive Prüfung großflächiger Strukturen mittels geführter Wellen zu ermöglichen und ein mobiles Testsystem zu entwickeln, das - adaptiert an besonders zu testende Bereiche einer Flugzeugstruktur - sehr schnell Aussagen über den Schadenszustand dieses Bereiches treffen kann. Die permanente Instrumentierung einer Großstruktur mit unbekanntem Hotspots würde viele 100 Ultraschallwandler benötigen. Konventionelle Ultraschallprüftechniken, die bei solchen Prüfaufgaben üblicherweise angewendet werden, sind zeit- und personalintensiv. Das im Rahmen des Projektes entwickelte Prüfgerät stellt eine Lösung dar, die eine effektive Prüfung eines größeren Strukturbereiches ermöglicht. Die dazu notwendige Technik beruht auf koppelmittelfreien Wandlerarrays, die eine tomografische Fehlerbewertung und bildgebende Fehlerrekonstruktion mittels Luftultraschall ermöglichen. Das entwickelte mobile Prüfsystem soll zunächst dazu dienen, luftfahrtrelevante Strukturen nach Fatigue-Tests zu prüfen. Durch die bessere Beurteilungsmöglichkeit von Lage und Größe eines unter Belastung variablen Defektes können Versagensprognosen und Kriterien für das Materialdesign schneller und sicherer formuliert werden. Das Prüfgerät ermöglicht außerdem, die Prüfung der Struktur-Bauelemente ausschließlich von der leicht zugänglichen Außenseite und stellt somit sowohl dem Hersteller als auch dem Servicebereich ein Prüfmittel zur Verfügung, das kosten- und zeitgünstig arbeitet und gleichzeitig eine effektive Auswertung ermöglicht.

# Mobiles Verfahren zur globalen akustischen Zustandsbewertung von Luftfahrtrelevanten Strukturen (Akusimo)

SAB-Fördernummer: 13973-76/2418

## Zielstellung

Ziel des Vorhabens waren grundlegende Untersuchungen zur Entwicklung eines Verfahrens mit geführten Wellen zur effektiven Prüfung großflächiger Luftfahrtstrukturen. Mit der zu entwickelnden Prüftechnologie soll überprüft werden, ob mit diesem koppelmittelfreien System ein effektiver und schnellerer Nachweis von Schädigungen im Vergleich mit konventionellen Verfahren möglich ist. Das Projekt wurde aus Mitteln der Europäischen Union und des Freistaates Sachsen vertreten durch die Sächsische Aufbaubank (SAB) finanziert.

## Datenerfassungselektronik (Teletronic)

Die Teletronic Rossendorf GmbH befasste sich mit der Entwicklung der Wandler und der entsprechenden Datenerfassungselektronik. Die Erprobung der Wandler und der Elektronik sowie die Eingrenzung der Parameter für Messelectronik erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem IZFP-D.

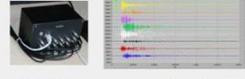
### Spezifikation des Gesamtsystems

- Masterplatine**
- Stromversorgung: Power over Ethernet
  - PC-Schnittstelle: GigaBit - Ethernet
  - Sendekanäle: 1 Aktor
  - Sendewaveform: 100 µs, 14 Bit, 40 MS/s

- Slaveplatine**
- Empfangskanäle: 2 x 6 Sensoren
  - Abtastrate: 2 MS/s, 14 Bit
  - Burst-Betrieb: Aufzeichnungsdauer: 2 ms
  - Untere Grenzfrequenz: 10 kHz
  - Obere Grenzfrequenz: 500 kHz
  - individuelle Verstärkung je Empfangskanal, einstellbar von 0 dB bis 20 dB



Neu entwickelter Stack (links) und zwei kommerzielle Luftultraschallwandler



Darstellung des Sendepulses (Wav) und 8 Empfangssignale in der Messsoftware



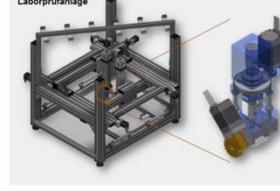
Schematischer Aufbau des Gesamtsystems

Während der Projektarbeit wurden verschiedene Wandler für eine Spritzgussart und zu erweichende Amplitude untersucht, wobei deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Wandlertypen zu erkennen waren. Die Wandler mussten aufgrund ihrer Größe auch das Material und die Bauform von der Funktion (Sensoren = Luftultraschallwandler oder Aktor = Piezoelektronik) abhängig gemacht werden. Neben der Wandlerkonzeptionierung wurde auch eine Datenerfassungselektronik entwickelt, welche auf die verwendeten Sensoren und Aktoren abgestimmt ist. Das Ziel, eine mehrkanalige Messelectronik zu entwickeln, konnte erreicht und die Funktion in der Messsoftware nachgewiesen werden.

## Demonstrator und Handprüfgerät (Sobatec)

Durch die SOBAtec GmbH wurde eine 2-Wandler-Prüfanlage als Labormuster zur Verfahrensoptimierung und Ermittlung der Einflussfaktoren entwickelt und gefertigt. Zwei verschiedene Zellennarrays in Form von Handprüfgeräten wurden für unterschiedliche Messaufgaben (Sensorenarray, Sensortyp) und Oberflächengeometrien konstruiert und für die Arbeiten am IZFP realisiert.

### Labormusteranlage



An der Labormusteranlage wurden zwei unabhängige facha-Systeme realisiert. Die Steuerung erfolgt über eine PC-Schnittstelle und kann darüber netzwerktechnisch angesteuert werden. Sender und Detektor lassen sich unabhängig voneinander in x-, y- und z-Richtung verfahren. Zusätzlich ist in z-Richtung (vertikal im dringenden Zustand) möglich. Die Sensoren können um eine Länge positioniert werden und auch schräg auf die ebene Probe aufgestellt werden. Um die Ausbreitungswinkel zwischen beiden zu definieren, ist die Drehung um die Hochachse notwendig. Dadurch sind unterschiedliche Messenflüsse systematisch analysierbar.

### Zellennarray für Luftultraschallwandler



Das Handmessgerät ist mit verschiedenen Sensoren ausgestattet. Durch die Anordnung über die Luft ist ein Anpassen der Sensoren notwendig. Zusätzlich wurde eine elektronische Abschwächung zwischen Empfänger und Detektor realisiert. Die Verstärkung kann dabei erfolgen oder schrittweise zwischen den einzelnen Messungen verändert werden. So lässt sich z.B. der Einfluss des Abstandes zwischen Empfänger und Detektor direkt erfassen. An dem Zellennarray für die Kontaktmessung können derzeit bis zu 12 Sensorköpfe montiert werden. Das Messgerät kann mittels Spezialflans am Prüfobjekt für die Inbetriebnahme befestigt werden. Die Sensoren werden einzeln auf der gekrümmten Oberfläche zugeleitet und die gewünschte Anpresskraft anschließend eingestellt.

## Bereitstellung und konventionelle Prüfung von Teststrukturen (IMA)

Bei IMA Dresden wurden Probekörper (ebene CFK-Platten und CFK-Baueile) mit lokalen Schäden definiert, hergestellt und mit konventionellen Ultraschallverfahren geprüft, um die Grundlagenerkenntnisse des Fraunhofer-IZFP Dresden zu unterstützen und das entwickelte System zu verifizieren.

- Vorarbeiten:**
- Definition der Anforderungen an ein mobiles Prüfgerät
  - Definition der Prüfkörper
  - Ermittlung des Anpressdrucks des Prüfkopfes



Gekrümmte Rumpfschale mit abgetönten Springern



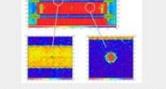
Ebene Rumpfschale mit Impact



Fertigung ebener CFK-Platten im RTM-Verfahren, Einbringung von Impakten



An einer gekrümmten Rumpfschale aus CFK mit abgetönten Springern wurden Ultraschalluntersuchungen mittels Gitterstrahlverfahren durchgeführt. Dieser Prüfversuch wurde parallel dazu mit Laserinterferometrie von ZFP Dresden geteilt.

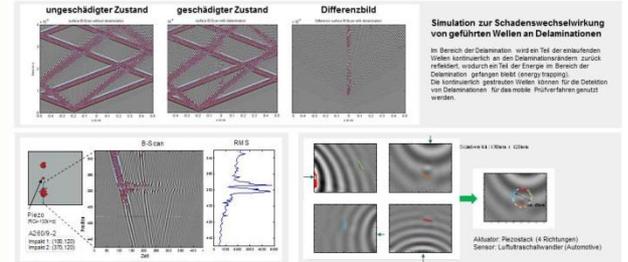


An einer ebenen CFK-Rumpfschale mit getönten Springern wurde ein Impact in das Material und ein Impact auf den getönten Springern aufgebracht. Nachfolgend wurde das Panel mittels Ultraschalltauchtechnik geprüft.

Die Untersuchungen zeigen die Grenzen der derzeit eingesetzten Prüftechnik auf. Mittels Tauchtechnik ist die Dimension der prüfbarer Teile eingeschränkt, da sie von der Größe des Tauchbeckens abhängt. Mittels Phased Array-Technik ist es eher möglich, mit entsprechend großer Zeitauflösung und mit entsprechender Erfahrung auch gekrümmte Strukturen flächig zu prüfen. Aus diesem Grund waren die Verfahren mit kurzer Prüfdauer und schneller Auswertung sinnvoll. Im Rahmen des Projektes wurden Anforderungen an ein mobiles Prüfgerät definiert und Vorversuche bezüglich der Anpresskräfte durchgeführt. Diese Ergebnisse waren Grundlage für die Sensor- und Manipulatorkonzeptionierung bei den Projektpartnern Teletronic und SOBAtec. Gleichzeitig wurden ebene Probekörper hergestellt bzw. Baueile aus Bauteiluntersuchungen bereit gestellt, die mit dem bei ZFP strahlenden Prüfverfahren als auch vergleichend mit der Tauchtechnik, auf dem Markt befindlichen Ultraschallverfahren geprüft wurden. Mit dem entwickelten Prüfgerät ist es möglich, die Schädigungsanordnung von Impaktstellen zu beschreiben. Die Verifizierung des Prüfsystems erfolgte an zwei Baueilen mit Delaminationen.

## Prüfung mit geführten Wellen (IZFP)

Am Fraunhofer Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren erfolgten Simulationen zur Schadensentwicklung von geführten Wellen mit Delaminationen zur Ausdehnung und zum Empfang von geführten Wellen ohne Verwendung von Koppelmitteln für die mobile Bauteilprüfung.



Im Rahmen des Projektes konnte gezeigt werden, dass die Detektion von Impaktstellen mittels geführter Wellen auch durch mobile Sensoren möglich ist. Für die Detektion von Delaminationen können zwei-mechanische Effekte genutzt werden. Zum einen zeigte sich ein Amplitudenanstieg hinter dem Delaminationsgebiet, zum anderen konnten die in der Delamination hin- und zurücklaufenden Wellen (Energy trapping) erfolgreich nachgewiesen werden. Beide Effekte wurden mittels Simulation aufgetriggert und mittels Laservibratoren an ebenen und gekrümmten CFK-Platten und CFK-Komponenten verifiziert. Neben der koppelmittelfreien Anbindung sowohl der sendenden als auch empfangender Piezoelemente konnten auch Luftultraschallsensoren für die einseitige Detektion von geführten Wellen verwendet werden. Dabei gelang es, durch die Ausdehnung des Ultraschalls aus 4. auf die Lage der Delamination bezogenen Richtungen auch deren Größe übereinstimmend mit der konventionellen Ultraschalltauchtechnik zu ermitteln.

## Zusammenfassung

Ziel des Vorhabens war die prototypische Umsetzung eines koppelmittelfreien Sensorsystems für die Bauteilprüfung auf Basis von geführten Wellen. Ausgehend von Untersuchungen zur Schadensentwicklung von geführten Wellen mit Delaminationen, wurden verschiedene Ankopplungskonzepte durch die Projektpartner untersucht. Die Verfahrensschritte erfolgten sowohl mittels Simulation als auch mittels Labormusteranlagen. Dabei wurden die Auswirkungen von Delaminationen an ebenen und gekrümmten Baueilen ausbreitenden Wellenpaarkeile. Hiergegenüber wurde dieser durch die Delamination. Auch dieser Effekt kann für den Schadensnachweis herangezogen werden. Beide Effekte wurden mit Simulationen und Labormustern an von der IMA bereitgestellten, ebenen und gekrümmten Proben nachgewiesen. Die praktische geführte Wellenpaarkeile mittels koppelmittelfreiem Absorberlack für die Ausbreitung von geführten Wellen und luftgekoppelten Sensorelementen für die Detektion der Wellenfelder. Der Nachweis zur Detektion von Impaktstellen wurde erbracht und die Schadensgröße mit dem durch die IMA mittels konventioneller Ultraschalltauchtechnik ermittelten Ergebnissen verglichen. Durch die Ausdehnung von geführten Wellen aus 4 Richtungen kann die Größe des Schadensgebietes trotz der hinter der Delamination auftretenden Streuung gut abgeschätzt werden. Im Ergebnis wurde ein Demonstratorantrag entwickelt, das eine referenzielle Schadensbestimmung durch eine einseitige Bauteilprüfung gewährleisten kann. Dies ist ein besonders hervorzuhebendes Ergebnis des Vorhabensprojektes, da ein Verfahren entwickelt wurde, das ohne eine Messung am unbeschädigten Bauteil eine Bestimmung von Existenz und Größe eines Schadens gewährleisten kann.