

# Unterschiedliche Verfahren zum einseitigen Zugang bei der Ultraschallprüfung mit Ankopplung über Luft

Wolfgang HILLGER<sup>1</sup>, Detlef ILSE<sup>1</sup>, Lutz BÜHLING<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ingenieurbüro Dr. Hillger, Hermann-Schlichting-Straße 3, 38110 Braunschweig, Germany,  
[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de), [info@dr-hillger.de](mailto:info@dr-hillger.de)

## Kurzfassung

Bei der konventionellen Ultraschallprüfung ist ein Koppelmittel zwischen dem Prüfkopf und dem zu prüfenden Bauteil erforderlich. Bei Wasserankopplung treten störende Luftblasen, Kalkablagerungen und Algenwuchs auf. Die luftgekoppelte Ultraschallprüfung vermeidet diese Nachteile, ist jedoch nur für Frequenzen unterhalb 1 MHz einsetzbar. Diese Technik wird zunehmend auch für große Luft- und Raumfahrtprüfungen zur Qualitätskontrolle eingesetzt. Allerdings erfolgt die Prüfung in Transmissionstechnik mit separaten Sende- und Empfangsprüfköpfen an gegenüberliegenden Bauteilseiten, die senkrecht zur Bauteiloberfläche ausgerichtet werden müssen. Das Scannen komplex geformter Bauteile erfordert Mechaniken mit 10 Achsen. Wünschenswert ist deshalb berührungslose Prüfung mit einseitiger Zugänglichkeit. Der Vortrag stellt verschiedene Möglichkeiten vor und berichtet von ersten Ergebnissen des vom BMBF geförderten Vorhabens Berührungslose Ultraschallprüfung von Composites (BUC).

# Unterschiedliche Verfahren zur einseitigen Zugänglichkeit bei der Ultraschallprüfung mit Ankopplung über Luft

*W. Hillger, L. Bühling, D. Ilse,  
Ingenieurbüro Dr. Hillger, Braunschweig*



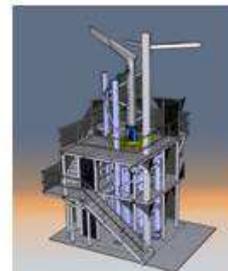
Jahrestagung 2015  
11. – 13. Mai in Salzburg



[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Übersicht

Vorstellung unserer Firma  
Luftgekoppelte Ultraschallprüftechnik  
Einseitige Zugänglichkeit  
Erste Ergebnisse



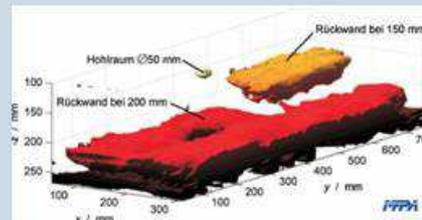
[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Highlights

Seit mehr als 30 Jahren entwickeln und bauen wir spezielle bildgebende Ultraschallprüfsysteme für:

### • Niedrige Frequenzen

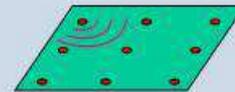
Leistungsfähige Sende- und Empfangstechnik für Materialien mit hoher Schallschwächung, z.B. Beton und Sandwich-Bauteile



Bildgebende Anzeige von Defekten im Beton

### • Structural Health Monitoring mit akustischen Wellen

Prüfung komplexer Strukturen ohne zu Scannen

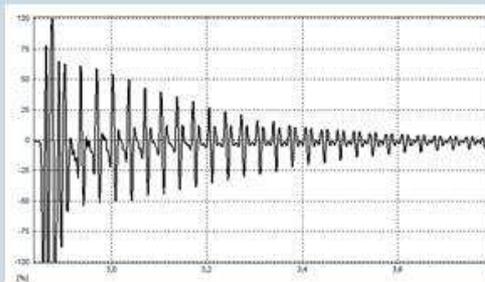


[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Highlights

### ▪ Hochfrequenz-Ultraschall

Frequenzbereich bis 200 MHz, extreme hohe Auflösung, Prüfung von dünnen Bauteilen, keramischen Bauteilen, Füge- und Lötverbindungen



A-Bild 0,1 mm Stahl, 100 MHz



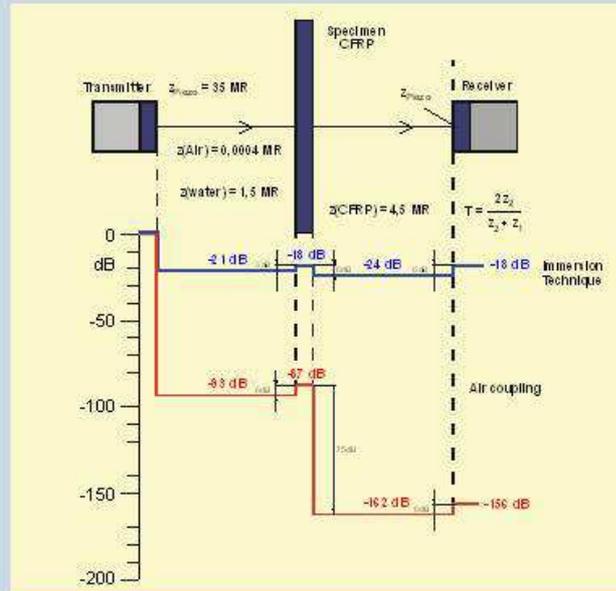
Foto (links) und C-Bild einer 2€-Münze

### ▪ Luftultraschall

[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Luftgekoppelte Ultraschallprüftechnik

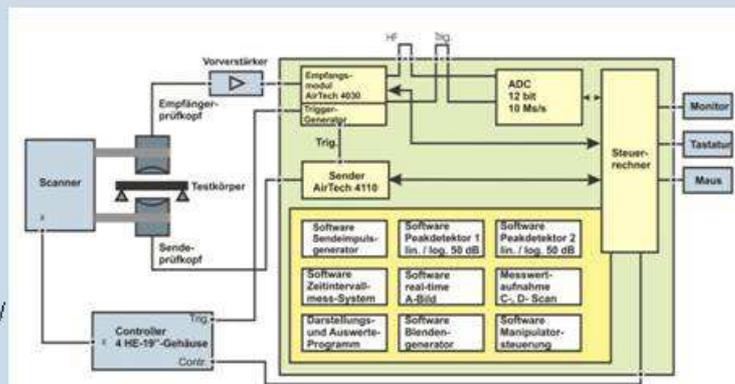
Keine Probleme mit der Ankopplung  
 Jedoch große Verluste durch  
 Impedanzunterschiede Festkörper/  
 Luft  
 Spezielle Prüfeinrichtung erforderlich



## USPC 4000 AirTech



- Programmierbarer Sender (Burst, Chirp, codierte Signale)
- Ausgangsleistung bis 1.2 kW
- Ultra-rauscharmer Vorverstärker
- Schnelle Datenaufnahme
- Vollständiger A-Bild-Einzug
- 14 (16) bit- ADC
- Bildgebung mit A-, B-, C- und D- Bildern



## AirTech Prüfköpfe



	AirTech50	AirTech75	AirTech120	AirTech200	AirTech300
Frequenz	50	75	125	200	300
Bandbreite [kHz]	5	9	13	21	68
Schwinger Ø [mm]	44.5	30	19	11	7.1
Max. Spannung [Vpp]	1500	1000	800	500	400
Nahfeldlänge [mm]	73	50	32	18	12
Empfindlichkeit [dB]	-33	-31	-32	-33	-52

[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Neu: Aktive Sende- und Empfangsprüfkopf-Arrays



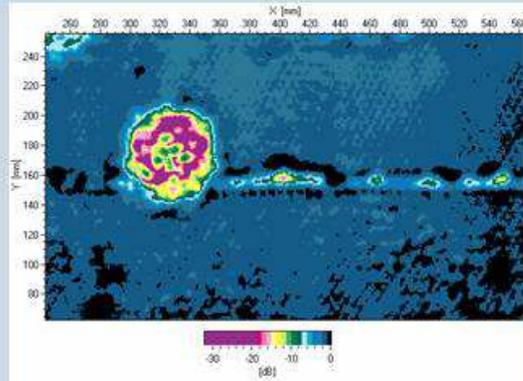
Aktive Ultraschall-Arrays AirTech 200-8 mit acht Elementen

- Schnelle parallele Datenaufnahme
- ULN-Verstärker und Bandpass-Filter eingebaut
- Großer Dynamikbereich

[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

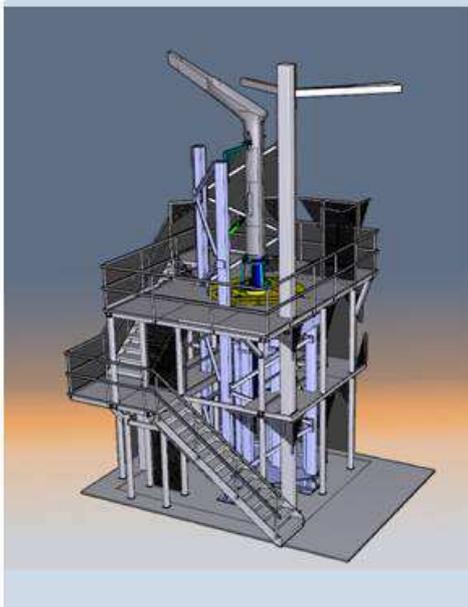
## Berührungslose Prüfung mit Ankopplung über Luft

- Keine Koppelmittel (keine Luftblasen, keine Korrosion)
- Gleichmäßige Ankopplung
- Keine Schädigung des Prüfkörpers
- Trotz hoher Verluste bei der Ankopplung sehr gute Prüfergebnisse



[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Zehn-Achsen-Anlage für den EC 145 Heckausleger



Prüfung in senkrechter Position

Zwei CFK-Lanzen drehbar und justierbar jeweils mit einem dreiachsigen Schwenkkopf

Abmessungen : 5,3 m x 4,9 m, Höhe 10,6 m

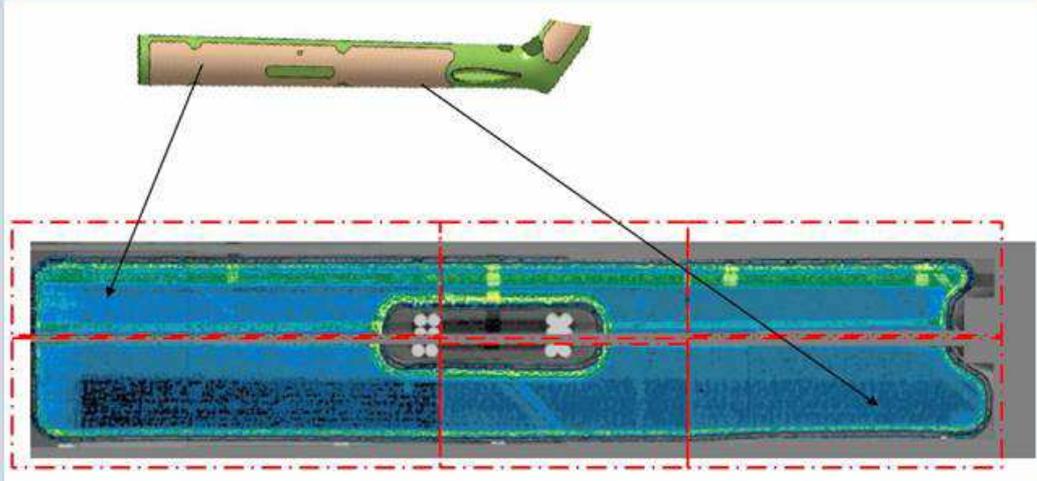
Zylindrisches Prüfvolumen:  
Länge 3 m, Durchmesserbereich  
0,3 to 1,1 m.

Ort: Airbus Helicopters, Donauwörth

Zusammenarbeit mit Airbus Helicopters,  
IW, Robo Technology und Ostertag

[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Tailboom and C-Scans



[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

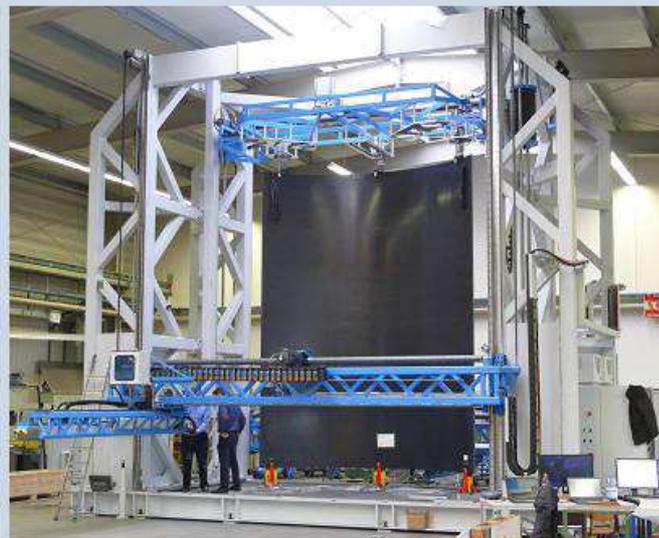
## Luftgekoppelte Ultraschallprüfung in der Praxis:

Prüfung großer  
Raumfahrtstrukturen

Zusammenarbeit mit Robo-  
Technology and Eugen Ostertag:

Anlage für RUAG, Zürich  
Verfahrwege: 5,7 x 4,0 x 2,5 m  
Masse : etwa 18,6 t

Neue Anlage in Zürich:  
Verfahrwege: 20 x 6 x 4 [m]



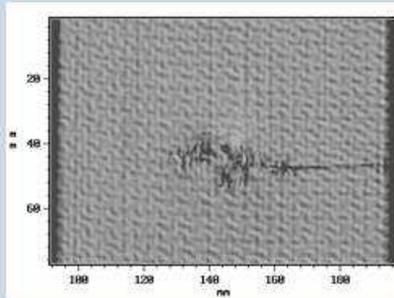
Quelle: Robo-Technology

[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Luftgekoppelte Ultraschall-Prüftechnik

### Grenzen bei der Anwendung:

- Impuls-Echo-Technik nicht anwendbar zur Anzeige innenliegender Fehler
- Zweiseitige Zugänglichkeit des Bauteils erforderlich
- Schmalbandige Ultraschallimpulse
- Frequenzen unterhalb von 1 MHz



Mit der Impuls-Echo-Technik können nur die Oberflächen von Bauteilen geprüft werden

## User Interface : Hillgus with Robot Control

## Berührungslose Ultraschallprüftechnik für Composites (BUC)

### Ziel:

Luftgekoppelte Ultraschallprüftechnik mit einseitigem Zugang  
Prüfsystem mit Array-Prüfköpfen

### Vorteile:

- Bauteile können auch im eingebauten Zustand geprüft werden
- Mechanik wird wesentlich vereinfacht (statt 10 Achsen nur 5)
- Drastische Kostensenkung vor allem für komplexe Anlagen

Partner: MFPA Weimar

Gefördert vom



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

BMBF – Fördermaßnahme  
KMU innovativ:  
Produktionsforschung

[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Anordnung der Prüfköpfe

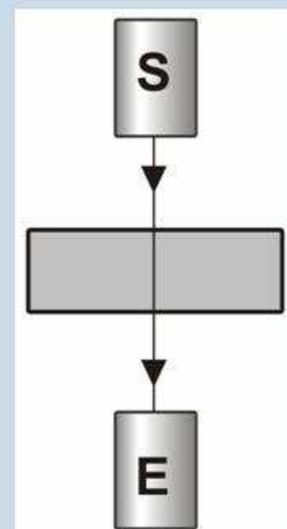
### Transmissionstechnik

#### Prüfköpfe:

Senkrechte Orientierung zur Oberfläche  
und gegenüber angeordnet

Je kleiner der Schallbündeldurchmesser,  
desto kleinere Toleranzen sind notwendig

Prüfung von Faserverbundwerkstoffen im  
Luft- und Raumfahrtbereich



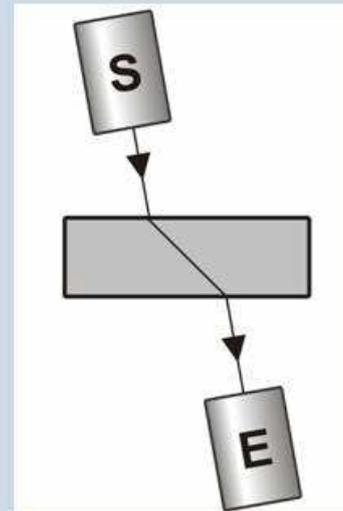
[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Schrägdurchschallung

Wellen-Umwandlung z.B. in Lamb-Wellen

Reagiert empfindlich auf unterschiedliche elastische Eigenschaften

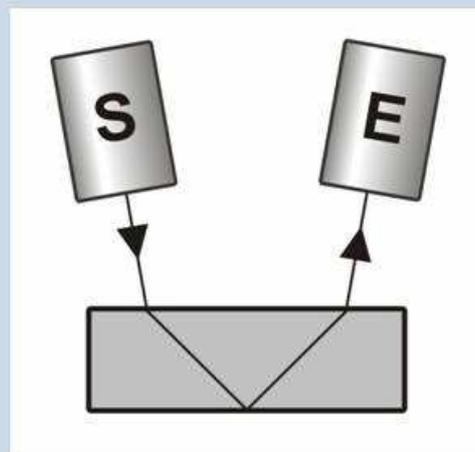
Anwendung: Materialcharakterisierung



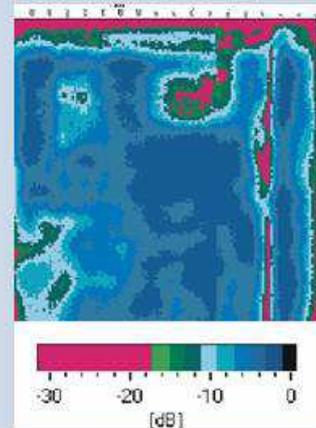
## Pitch und Catch

Luftultraschall mit einseitigem Zugang des Bauteils

Umwandlung in Rayleigh-, Lamb-Wellen oder auch in Transversalwellen



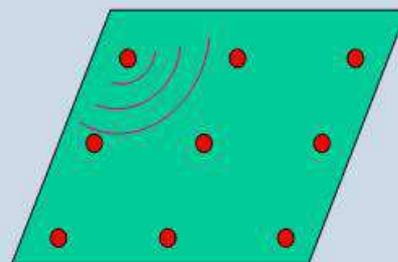
## Pitch und Catch zur Betonprüfung



[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Structural Health Monitoring (SHM) mit Lamb-Wellen

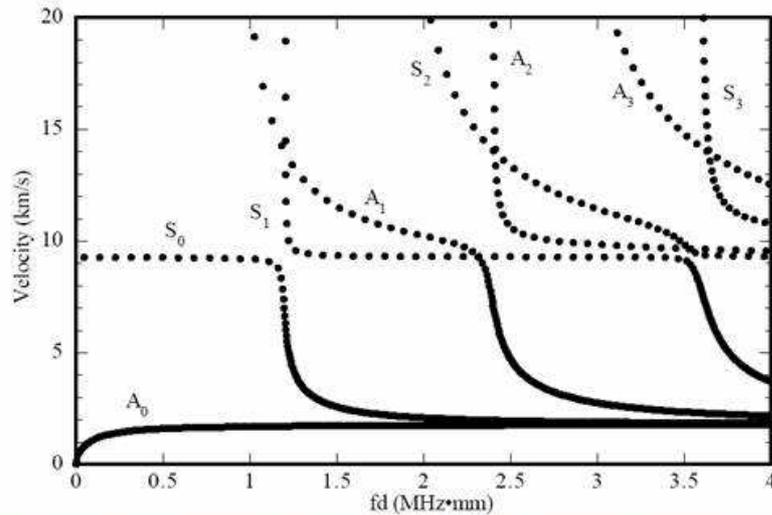
- Lamb-Wellen können sich mit kleiner Dämpfung großflächig in plattenförmigen Strukturen ausbreiten
- Interaktion mit Fehlstellen (genauer Steifigkeitsänderungen)
- Leichte Anregung mit PZTs
- Netzwerk von PZTs für die Anregung und für den Empfang
- Kein zeitaufwändiges Scannen



*Platte mit applizierten PZTs, einer wird als Aktuator verwendet, die umliegenden als Empfänger*

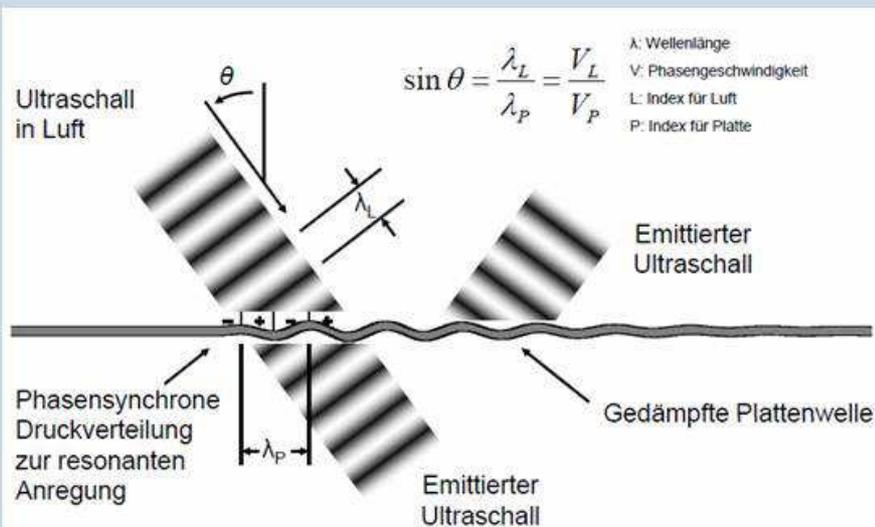
[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Dispersionskurven für monolithisches CFK



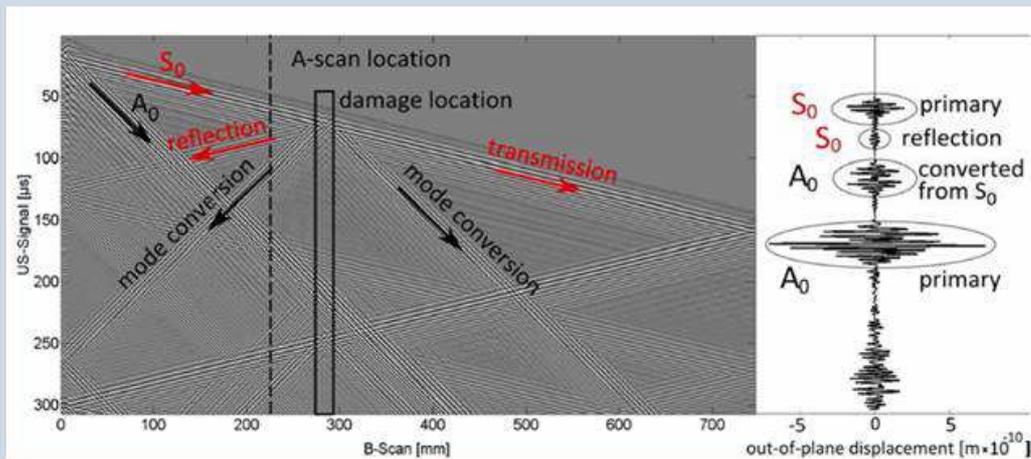
Quelle: LAMB WAVE PROPAGATION IN THERMALLY DAMAGED COMPOSITES,  
Michael D. Seale\* and Barry T. Smith, The College of William and Mary,  
Williamsburg, VA 23187

## Anregung von Plattenwellen



Quelle: Döring, Busse, IKT Stuttgart

## FEM-Simulation: CFK-Platte mit Schaden



B-Bild und A-Bild ( $x=220$ )

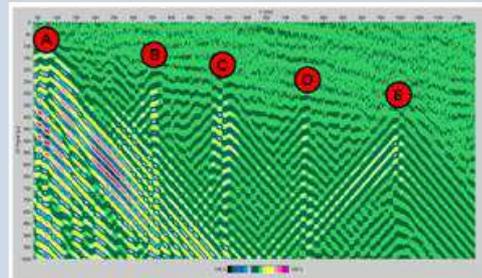
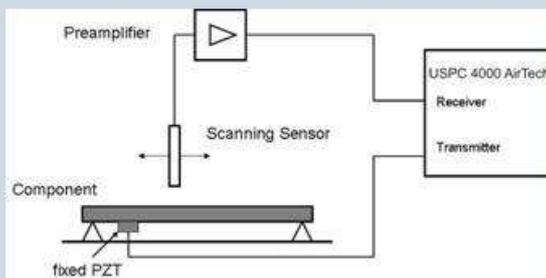
Quelle: A. SZEWIECZEK, C. HEINZE, W. HILLGER, D. SCHMIDT and M. SINAPIUS: Analysis Methods of Lamb Wave Propagation in Complex Composites, 6th European Workshop on Structural Health Monitoring - Th.2.E.2, 2012,

## Einsatz Geführter Wellen

- Anzeige von Fehlstellen durch Störung der Wellenausbreitung
- Wellenmode soll sich über die gesamte Dicke des Bauteils ausbreiten, nicht nur an der Oberfläche (Rayleigh-Wellen), damit Fehler auch im Kern von Sandwich-Bauteilen angezeigt werden
- Wechselwirkung von Lamb-Wellen mit Fehlern: Reflexionen, Modenumwandlungen
- Unterschiedliche out-of plane Amplituden der Moden A und S
- Damit unterschiedliche Empfindlichkeiten für die Moden
- für jedes Bauteil separate Optimierung der Prüfparameter notwendig
- Anregung des optimierten Wellenmodes:
  - berührungslos mit Schrägeinschallung,
  - mit appliziertem Aktuator, Interdigitalwandler?, PZTs rund, rechteckig

## Lamb-Wellen zur Schadensanzeige

- Anregung mit einem applizierten Aktuator
- Aufnahme des Wellenfeldes mit einem scannenden luftgekoppelten Sensor



[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Neue breitbandige Sensoren

Empfindlichkeit: ca. 10-30 mV/Pa  
Frequenzbereich: 1 kHz bis 60 kHz



Einkanalige Version:  
AirTech 10-60 BB



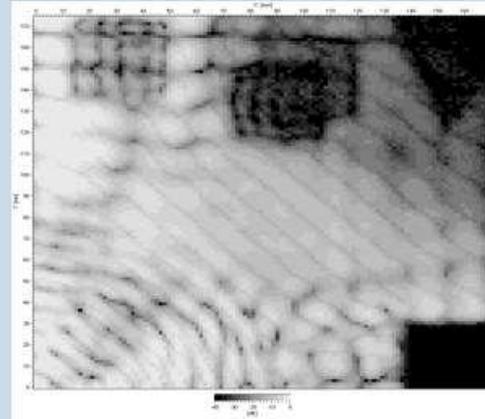
Achtkanalige Version mit Signal-  
konditionierung: AirTech 10-60-8 R

[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## CFK-Probe mit eingelegten Folien



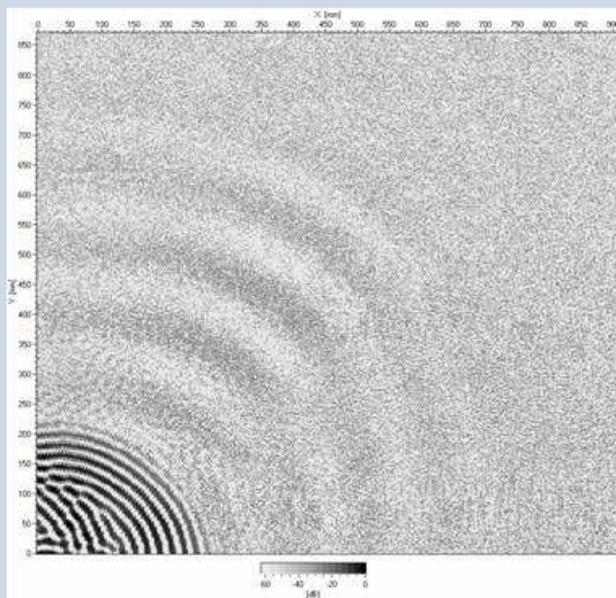
C-Bild Tauchtechnik 10 MHz



Luftgekoppelter US einseitig

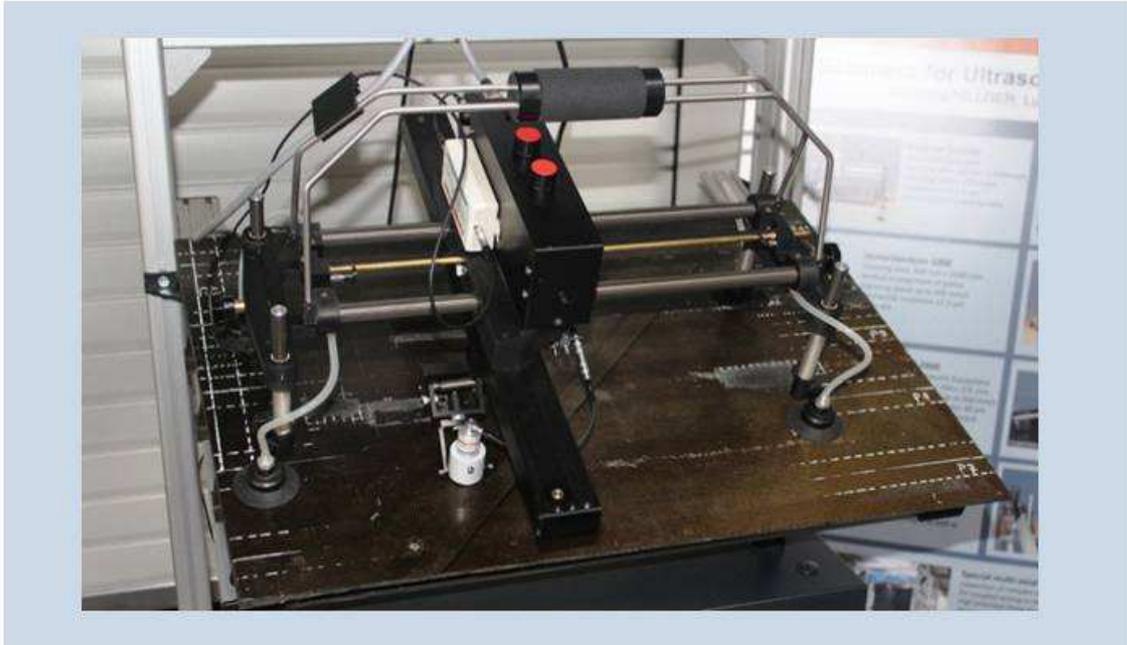
Testkörper: Fraunhofer-Institut ISC Bayreuth

## Monolithischer CFK-Testkörper



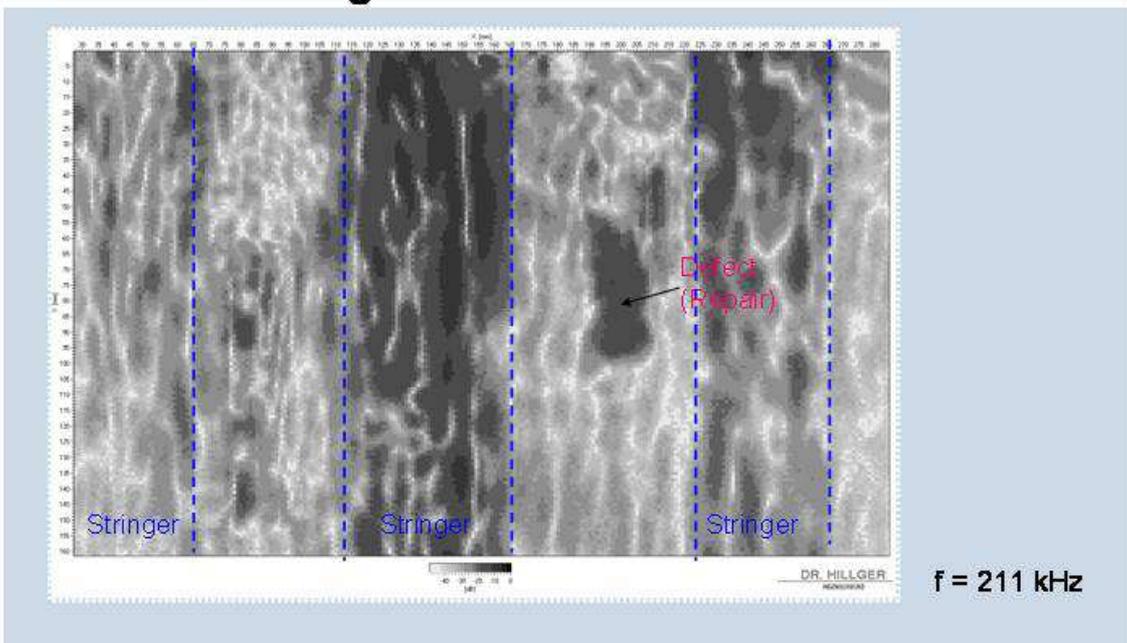
*F= 44 kHz, A- und S-  
Mode, fehlerfreie Platte*

## Demonstrator mit MUSE-Scanner



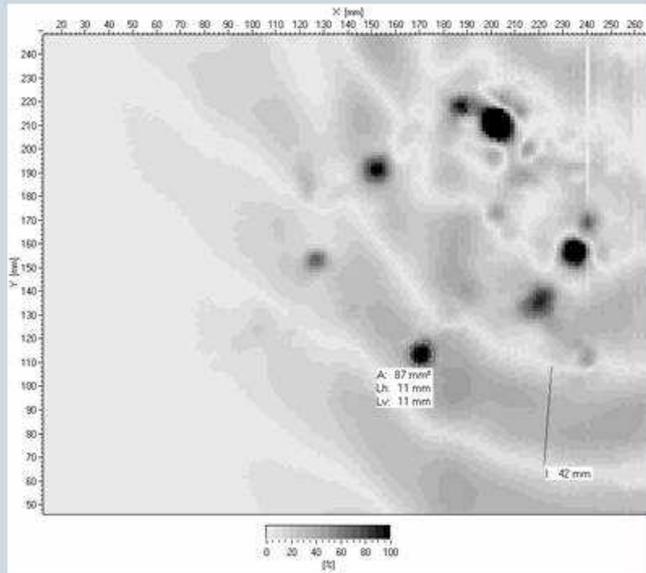
[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Stringerversteiftes CFK-Panel



[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## GFK Rotorblatt (Windgenerator)



$F = 52 \text{ kHz}$ ,  $\lambda_s = 8,8 \text{ cm}$

Anzeige von Porositäten

Testkörper: TU Berlin

[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

## Fazit

Ultraschallprüfungen mit Ankopplung über Luft werden meist in Transmissionstechnik mit Sender und Empfänger an gegenüber liegenden Bauteilseiten durchgeführt

Bei komplex geformten Bauteilen sind Roboter-Scanner mit 10 Achsen erforderlich

Große Kostenersparnis möglich bei einseitiger Zugänglichkeit

Hierzu wurden unterschiedliche Verfahren diskutiert

Verfolgt wird der Einsatz von Lamb-Wellen, aus deren Interaktion an Fehlstellen C-Bilder berechnet werden sollen

Für die Anregung können piezoelektrische Aktuatoren verwendet werden

Die Auswertung ist weitaus komplexer als die für Transmissionstechnik  
Erste positive Ergebnisse wurden präsentiert

[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

more than 30 years in ultrasonic testing

DR. HILLGER

Ultrasonic-Techniques

## Wir danken unseren Kunden für das Vertrauen ...



[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)

more than 30 years in ultrasonic testing

DR. HILLGER

Ultrasonic-Techniques

## ...und bei dem Auditorium für die Aufmerksamkeit

Weitere Informationen erhalten Sie bei unserer Tischpräsentation.

Kontakt: [info@dr-hillger.de](mailto:info@dr-hillger.de)



[www.dr-hillger.de](http://www.dr-hillger.de)