

Modulare Ultraschallprüfsysteme für Forschung, Entwicklung und Qualitätssicherung

Lutz Bühling
Wolfgang Hillger
Detlef Ilse

Ing. Büro Dr. Hillger, Ultraschallprüftechnik, Braunschweig
Kontakt: Buehling@Dr-Hillger.de

1. Zusammenfassung

Das Ing. Büro Dr. Hillger für Ultraschallprüftechnik entwickelt und fertigt spezielle Prüfsysteme für Qualitätssicherung, Werkstoffforschung und Entwicklung. Innovationen sind Hochfrequenzultraschall (1989), PC-Karten der Serie HILLSCAN 30XX (1995 erste Firma in Deutschland), die Ankopplung über Luft seit 1998 sowie die Software Hillgus für Windows. Alle Systeme sind modular aufgebaut, flexibel einsetzbar und auch später erweiterbar.

Die berührungslose Prüfung mit Ankopplung über Luft bieten auf einfache Weise eine konstante Ankopplung über größere Bereiche und dies sogar bei rauen Oberflächen. Typische Anwendungen für unseren USPC 4000 AirTech sind die Prüfung von Faser- und Metallverbunden mit Waben oder Schaumkernen, von Holz und auch von mineralischen Baustoffen (z. B. Betonteilen bis zu einem Meter Dicke).

Für den Hochfrequenz-Ultraschall-Bereich ($20 \text{ MHz} < f < 120 \text{ MHz}$) werden bildgebende Systeme wie das HFUS 2000 für die hochauflösende Prüfung an dünnen metallischen und keramischen Bauteilen gefertigt (bis zur Mikroskopie).

Auch im Niederfrequenz-Ultraschall-Bereich ($20 \text{ kHz} < f < 1 \text{ MHz}$) liegen besondere Erfahrungen bezüglich der Ultraschallprüftechnik vor, um Werkstoffe mit hoher Schallschwächung und Streuung wie Beton und Faser- und Metallverbunden mit Waben oder Schaumkernen auch im Impuls-Echobetrieb prüfen zu können (USPC 3011/3041).

2. Vorstellung der Firma

Die Firma Ing. Büro Dr. Hillger wurde 1984 gegründet und fertigt seit 1989 bildgebende Ultraschallprüfsysteme mit bis zu 120 MHz Bandbreite [1]. Das Airtech 4000 war 1998 das erste in Deutschland entwickelte und gefertigte bildgebende Prüfsystem mit Luftankopplung. Die Firma besitzt 10 Jahre Erfahrung bezüglich Ultraschall-PC-Karten [2]. Seit 2003 können Ultraschallsignale mit bis zu 12 Bit Auflösung während des Scans digitalisiert und als full-wave A-scans gespeichert werden. Per Software lassen sich anschließend A-, B-, C- und D- Bilder berechnen und aufbereiten. Dabei ist bei unterschiedlich dicken Bauteilen eine automatische Blendenpositionierung möglich. Da das Datenformat offen gelegt ist, kann der Kunde auf Wunsch eigene Auswertungen implementieren. In diesem Jahr wurde eine über USB steuerbare Ultraschall-Sender-Empfänger-Technik entwickelt.

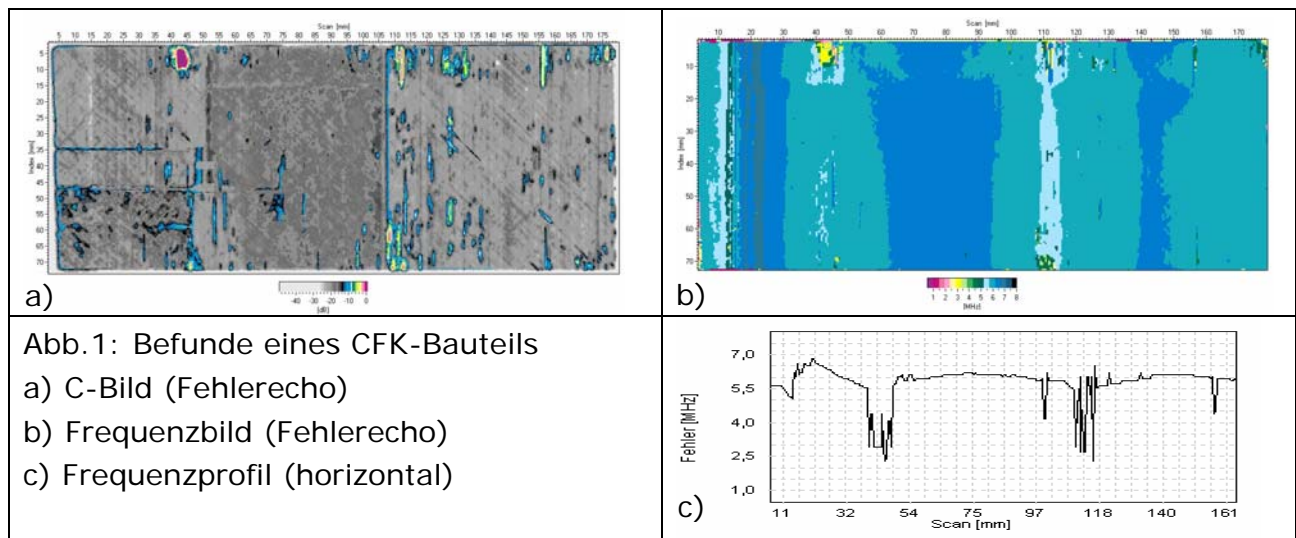
3. Geschäftsfelder

Neben Standardultraschallsystemen haben wir uns auf die Bildgebung, die Hochfrequenz- und Niederfrequenz-Ultraschallprüftechnik sowie die Ankopplung über Luft spezialisiert.

3.1 Bildgebende Ultraschallprüftechnik

Die Software Hillgus für Windows zeichnet sich durch leichte Bedienung aus. Vom einfachen A-Bild-System bis zum bildgebenden System mit 3D-(full-wave) Dateneinzug kann die Hard- und Software modular erweitert werden, wobei die Bedienoberfläche in ihrer Struktur erhalten bleibt.

Die Befunde lassen sich entsprechend der Prüfaufgabe mit speziellen Paletten darstellen. Beispielhaft zeigt Abb.1 a), z.B. „natürlichen Inhomogenitäten“ eines CFK-Bauteils in Grautönen, die Porositäten in Blautönen und die kritischen Delaminationen in Rottönen. Das neu entwickelte Frequenzbild in Abb.1b) stellt die Frequenzen der maximalen spektralen Amplituden aus den Reflektionen bzw. Rückstreuungen des Materials über der Fläche dar. Aus Abb. 1c) geht hervor, dass bei dem CFK-Bauteil die Frequenzen der Delaminationen im Bereich von ca. 3 MHz, Rückstreuungen an Poren bei 4 MHz und Rückstreuungen an Faserlagen in Abhängigkeit der Dicke zwischen 5,5 und 7 MHz liegen. Die Möglichkeiten der Porencharakterisierung aus den rückgestreuten Frequenzen (Abb.1c) werden noch untersucht.



3.2 Hochfrequenz – Ultraschallprüftechnik

Hohe Prüffrequenzen im Frequenzbereich von 20 bis 120 MHz erzeugen je nach Schallgeschwindigkeit im Werkstoff Wellenlängen zwischen 25 und 500 µm, mit denen eine laterale Fehlerauflösung entsprechend der Wellenlänge erreicht werden kann (Abb. 2). Durch die bei hohen Frequenzen möglichen kurzen Impulse wird auch eine hohe axiale Auflösung möglich: zum Beispiel die Trennung der Echofolge an einem 0,10 mm dicken Stahlplättchen (Abb. 3), aufgenommen mit einem 100 MHz-Prüfkopf. Die Befunde wurden mit dem HFUS 2000 erstellt, das einen weiten Frequenzbereich von einigen hundert Hz bis 120

MHz besitzt und daher einen erweiterten Anwendungsbereich eröffnet [1]. Wegen der hohen möglichen Pulsfolgefrequenzen bis zu 30 kHz lassen sich kurze Prüfzeiten durch hohe Scangeschwindigkeiten verwirklichen.

Zum Einsatz der Hochfrequenz-Ultraschalltechnik sind allerdings nur sehr homogene Werkstoffe mit einer kleinen Schallschwächung und -streuung geeignet.

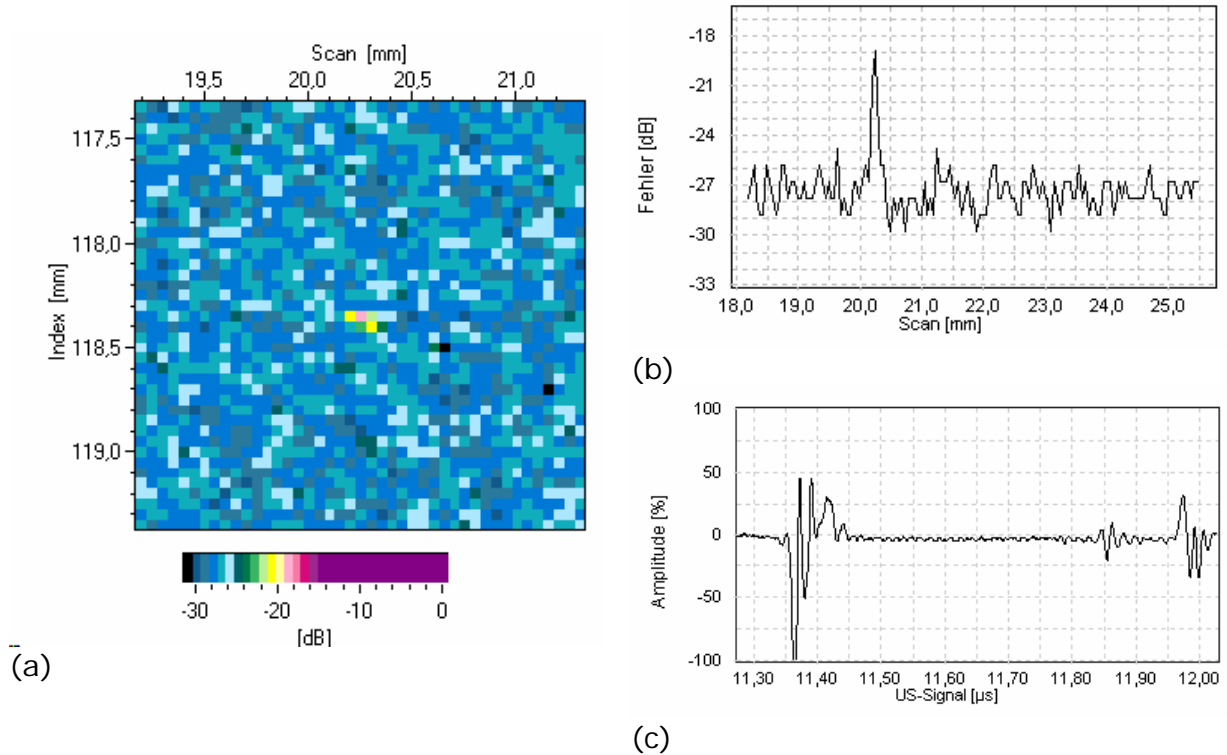


Abb. 2: Befunde einer Neusilberplatte mit Flachbodenbohrung von der Rückseite: a) C-Bild, b) Echodynamik und A-Bild c) im Fehlerbereich (80 MHz)

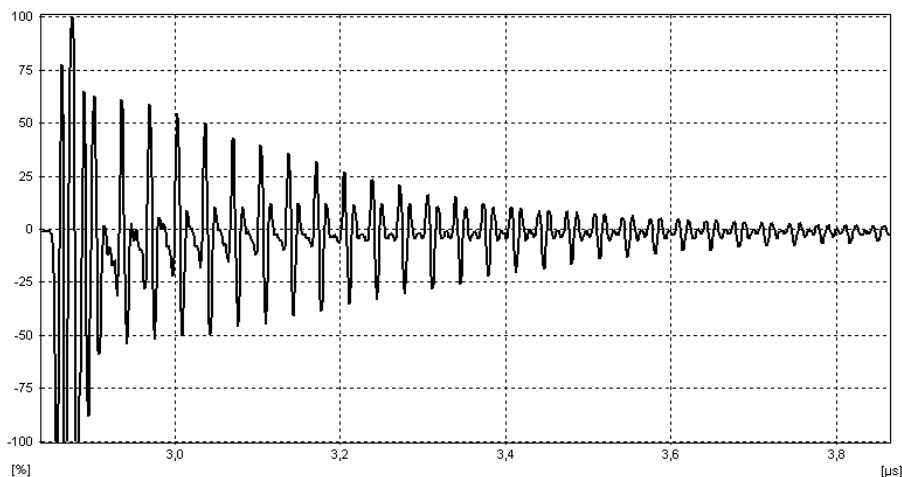


Abb. 3:
 Echofolge an
 einem 0,10 mm
 dicken
 Stahlplättchen,
 aufgenommen
 mit einem 100
 MHz-Prüfkopf in
 Direktkontakt

3.3 Niederfrequenz- Ultraschallprüftechnik

Schwer durchschallbare Werkstoffe wie mineralische Baustoffe (Abb. 5) oder Schäume (Abb. 6), bei denen eine starke Schallstreuung und/oder eine starke Schallschwächung auftreten, lassen sich nur mit Frequenzen im Bereich von 20 kHz bis 1 MHz prüfen [3, 4].

Prüfgeräte auf der Basis der Ultraschall-PC-Karte HILL-SCAN 3011/3041 in Kombination mit dem Burst-Sender HILL-SCAN 3100 sind für die Prüfung dieser Werkstoffe in Impuls-Echo-Technik optimiert (Bild 4). Der Tiefenausgleich kompensiert die Schallschwächung des Werkstoffes und diejenige infolge der Schallfelddivergenz, so dass Reflektoren in unterschiedlichen Tiefenlagen mit gleicher Amplitude angezeigt werden. Die empfangsseitigen HP- und TP-Filter unterdrücken wirksam störende Streuanzeigen.



Bild 4: USPC 3041 Portabel

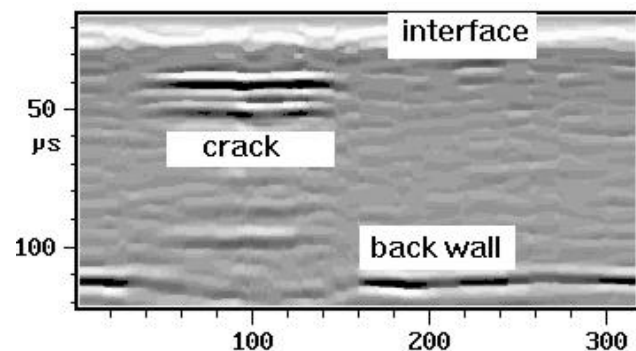


Abb. 5: links Betonprobe mit Kiesnest und Impuls-Echo-Prüfkopf, rechts Bt-Bild von einer Betonprobe mit Riss

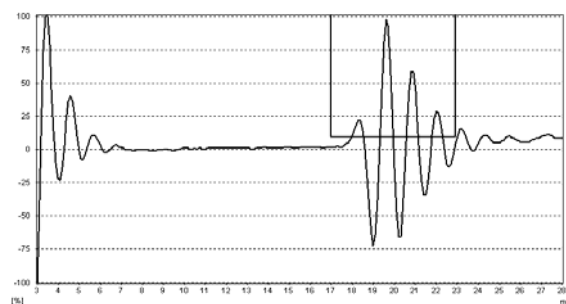


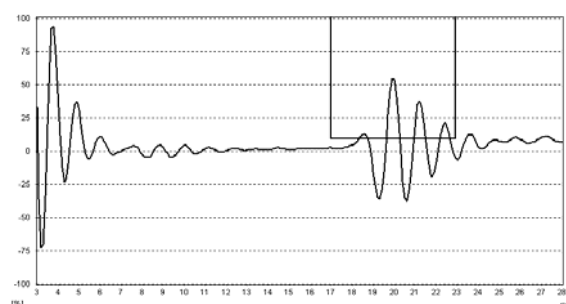
Abb. 5:

Impuls/Echo-Technik an einem Schaumteil, Rückwandechoabsenkungen an Modellfehlern

Schnitte 10 mm : 17 dB

Bohrung 8 mm: 13 dB

Bohrung 10 mm : 7 dB (Schaum mit kleinerer Dichte)



3.4 Ankopplung über Luft

Die berührungslose Ultraschallprüfung mit Ankopplung über Luft vermeidet die Nachteile der teilweise sehr aufwändigen Koppeltechniken [5-8]. Außerdem wird die Prüfung durch die Ankopplung mit Luft bei vielen Werkstoffen erst möglich.

Beispiele hierfür sind Faser- und Metallverbunde mit Waben- oder Schaumkernen, (Metall-)Schäume, bei denen z. B. Wasser eindringen kann, Holz [9] oder trockengepresste Grünkeramiken. Die einfache Ankopplung wird jedoch durch hohe Verluste durch den ungünstigen Impedanzsprung Festkörper/Luft erkauft.

Deshalb sind für die berührungslose Messung spezielle Anlagen notwendig:

- Prüfköpfe mit akustischer und elektrischer Anpassung (sende- und empfangsseitig)
- leistungsfähiger Burst-Sender für hohe elektrische Energie
- extrem rauscharme und auf die Bandbreite der Prüfköpfe angepasste Vorverstärker
- digitale Signalverarbeitung

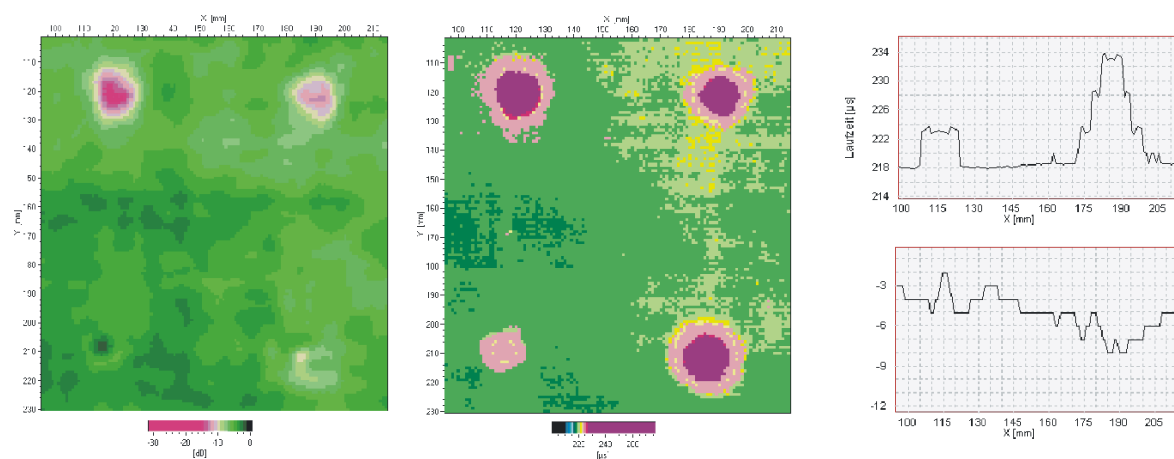


Abb. 6: Befunde poröser Rohlinge aus Faserkeramik (CFC)

Das modulare, bildgebende Ultraschallsystem USPC 4000 AirTech erfüllt diese Anforderungen für berührungslose Prüfungen mit Ankopplung über Luft für single-shot-Technik [10]. Der Frequenzbereich ist für bildgebende Prüfungen im Interesse eines hohen Signal-Rauschabstands auf den Bereich von 20 kHz bis 1,5 MHz begrenzt.

Ein freiprogrammierbarer Sender zur Erzeugung von Rechteck-, Burst-, Chirp- oder codierten Impulsen schafft die Voraussetzung für einen hohen Signal-Rauschspannungsabstand trotz hoher Impedanzunterschiede zwischen Gasen und Festkörpern [11].

Keramiken haben hervorragende Druckfestigkeiten und sind bis zu sehr hohen Temperaturen einsetzbar. Um ihre Zugfestigkeit zu erhöhen, werden spezielle Keramiken mit Kohlefasern verstärkt. Diese Werkstoffe sind jedoch porös und würden bei der Prüfung in Tauchtechnik Wasser aufnehmen, das in Poren und Delaminationen eindringt und damit die Detektion von Fehlern erschwert. Die Ankopplung über Luft vermeidet diese Nachteile und vereinfacht die Prüfung.

Abb. 6 stellt ein C- und D-Bild sowie Amplituden- und Laufzeitkurven einer Faserkeramik (CFC) -Probe mit künstlich eingebauten Fehlstellen dar. C- und D-Bild ergänzen sich und zeigen klar die künstlich eingebauten Delaminationen an.

Abb. 7 zeigt die berührungslose Prüfung einer Betonprobe (20*20*50 cm) mit einem künstlich eingebrachten Kiesnest [12]. Links ist der Aufbau mit den an gegenüberliegende Bauteilseiten befindlichen Prüfköpfen zu sehen, rechts das C-Bild mit der deutlichen Fehleranzeige. Trotz der rauen Oberflächen wird eine reproduzierbare Ankopplung erreicht.

Die einseitige Prüfung mit Ankopplung über Luft an Natursteinen (Lavabasalt-Platten) stellt Abb. 8 dar. Um innenliegende Risse anzuzeigen, werden durch Schrägeinschallung im Werkstoff Transversalwellen angeregt, die an der Bauteilrückseite reflektiert und nach Rückumwandlung in Longitudinalwellen über einen zweiten Prüfkopf empfangen werden. Mit einem "Prüfkopfwagen" (Abb. 7, Mitte) können die Untersuchungen auch vor Ort durchgeführt werden. Das C-Bild (Abb. 8, rechts) stellt Risse in einer Bodenplatte aus Lavabasalt dar, die sich durch eine um 8 dB kleinere Amplitude abzeichnen.

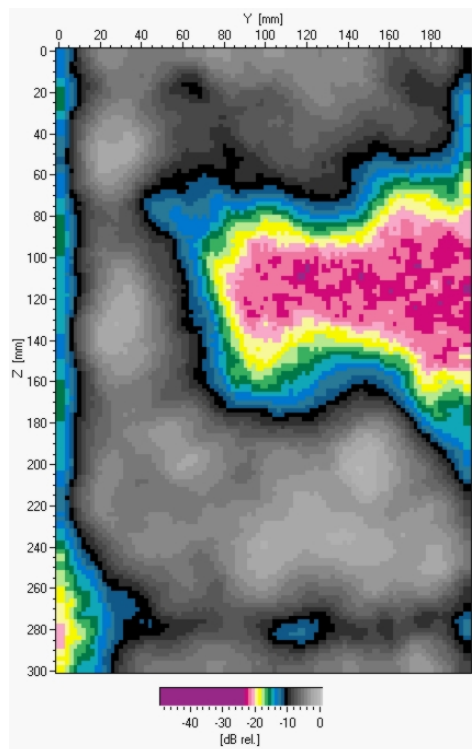
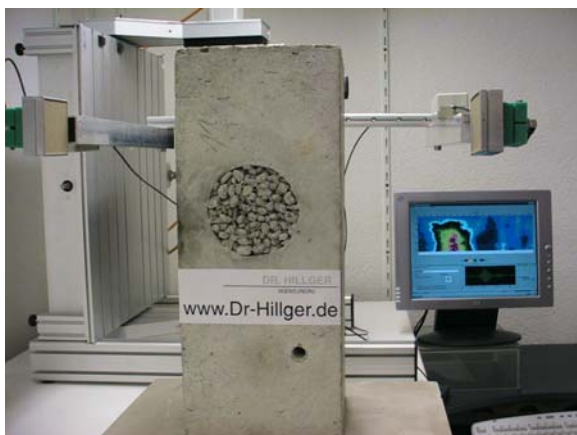


Abb. 7: Berührungslose Betonprüfung, links: Aufbau, rechts: C-Bild

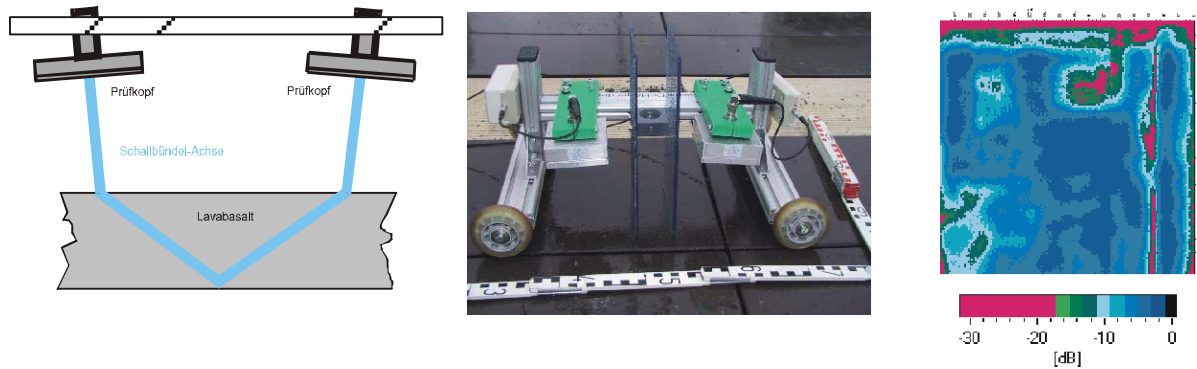


Abb. 8: Einseitige Prüfung von Platten aus Lavabasalt in V-Durchschallung mit einem Prüfwagen

4. Literatur

[1] Hillger, W.: Schadensanalyse an modernen Werkstoffen mit Hilfe eines neu entwickelten Ultraschallprüfsystems HFUS 2000, Kolloquium "Qualitätssicherung durch Werkstoffprüfung", Zwickau, 20.-21.03. 1991, DGZfP-Berichtsband 26, S. 200-208.

[2] Hillger, W. : Ultrasonic PC-boards for different applications, 7th European Conference on Non-Destructive Testing, Copenhagen, 26-29 May 1998, Conf. Proc., pp. 3113-3119.

[3] Hillger, W.: Erfahrungen beim Einsatz der Impuls-Echo-Technik an mineralischen Baustoffen, DGZfP- Jahrestagung 1994, DGZfP- Berichtsband 43.1, S. 61-67

[4] Hillger, W.: Inspection of concrete by ultrasonic pulse-echo-technique, 6th European Conference on Non Destructive Testing, Conference proc. part 2, (1994) pp. 1159-1163

[5] Grandia, W. A.; Fortunko, S.M.: NDE Applications of Air-Coupled Ultrasonic Transducers, 1995 IEEE International Ultrasonic Symposium Seattle, Washington, Conf. Proc., 1995, S. 697-709.

[6] Bhardwaj, M. C. : High transduction piezoelectric transducers and introduction of Non-Contact analysis, www.ndt.net/article/v05n01/bhardwaj/bhardwaj.htm

[7] Hillger, W., Gebhardt, W.; Dietz, M.; May, B. : Ultraschallprüfungen berührungslos mit Ankopplung über Luft- Illusion oder schon bald Realität?, DGZfP- Jahrestagung 1998, Berichtsband 63.1, S. 241-249.

[8] W. Hillger, R. Meier, R. Henrich: Inspection of CFRP components by ultrasonic imaging with air coupling, Insight Vol. 46, No. 3 March 2004, pp 147-150.

[9] A. Hasenstab, M. Krause, L. Bühlung, W. Hillger u.a.: Luftultraschall und Ultraschall-Echo-Technik an Holz, DGZfP- Jahrestagung 2005, Rostock, P54

[10] W. Hillger, L. Bühlung und D. Ilse: USPC 4000 AirTech - ein neues, bildgebendes Ultraschallprüfsystem für Ankopplung über Luft, DACH – Jahrestagung 2004, Zerstörungsfreie Materialprüfung, ZFP in Forschung, Entwicklung und Anwendung, Salzburg, 17. -19. Mai 2004, Conf. Proc. on CD.

[11] W. Hillger, M. Ahrholdt, H. Rohling, R. Henrich: Non-Contact Ultrasonic Imaging Techniques for Composite Components, 16th World Conference on NDT, 30.08.-03.09. 2004, Montreal, Canada, Conf. Proc. on CD

[12] W. Hillger: Imaging of Defects in Concrete Components with Non-Contact Ultrasonic Testing, 16th World Conference on NDT, 30. 08.-03.09. 2004, Montréal, Canada, Conf. Proc. on CD