

Erste Ergebnisse mit einem mehrkanaligen, ultrabreitband Radar-Abbildungssystem

Frank BONITZ¹, Martin SCHICKERT¹, Bernd MÜLLER¹, Alexander ULANOV¹

¹ Materialforschungs- und -prüfanstalt (MFPA) an der Bauhaus-Universität Weimar

Kontakt E-Mail: frank.bonitz@mfpa.de

Kurzfassung

Radar (oder Georadar) ist ein etabliertes Verfahren zur Untersuchung von Stahlbetonbauteilen, Fahrbahnen und Böden und wird zur Lokalisierung von Bewehrung, Spannkämen, Schichtungen und verborgenen Objekten eingesetzt. Der übliche Sensoraufbau besteht aus bistatischen Sender-Empfänger-Kombinationen in einem gemeinsamen Gehäuse. Mehrkanalige Anordnungen werden bisher für Bodenuntersuchungen eingesetzt und dazu verwendet, parallel getrennte Spuren entlang linearer Aperturen in Bewegungsrichtung aufzuzeichnen, um Arbeitsaufwand zu sparen.

Ein neu entwickeltes Mehrkanal-Radar-Messsystem wurde für kohärente Abbildungsverfahren konzipiert, wie sie bisher z. B. im Ultraschallbereich angewendet werden. Das System besteht aus einem universellen Radarsystem sowie einem modularen Antennensystem. Das Zeitbereichs-Radarsystem enthält 24 Sender- und 48 Empfangskanäle, die als Ultra-Wide-Band-(UWB)-Kanäle mit einer Bandbreite bis 5 GHz ausgelegt sind, und arbeitet vollständig parallel. Durch die Verwendung von Pseudo-Rauschfolgen wird ein großer Dynamikbereich erreicht. Das Antennensystem besteht derzeit aus 24 Modulen mit je einer aktiven Sender-Empfänger-Kombination. Die Antennenmodule können zu linearen oder planaren Arrays kombiniert werden.

Im Beitrag werden das Radar-Abbildungssystem und erste Anwendungen an Testkörpern präsentiert. Es werden die Transmissions- und Reflexionsanordnung der Antennenarrays, die gemessenen Rohdaten und Ergebnisse der Transmissionstomografie vorgestellt.

Erste Ergebnisse mit einem mehrkanaligen, ultrabreitband Radar-Abbildungssystem

F. Bonitz, M. Schickert, B. Müller, A. Ulanov
MFPA Abteilung "Sensorik für Produkte und Prozesse"



Materialforschungs- und -prüfanstalt (MFPA)
an der Bauhaus-Universität Weimar

www.mfpa.de

Ausgangssituation und Überblick

- 1 Multikanal-Mikrowellentomograph
- 2 Antennen
- 3 Transmissionsanordnung
- 4 Messergebnisse Transmission
- 5 Ausblick
 - Reflexionsanordnung
 - Antennenarrays

Ausgangssituation

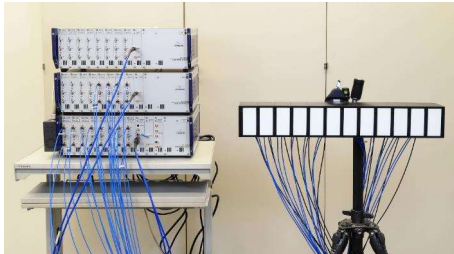


Transmissionssetup

- 1 Sender
- 1 Empfänger

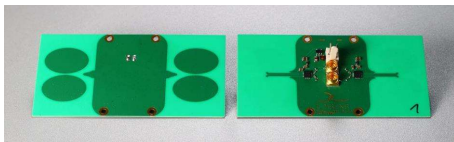
DGZfP Jahrestagung
2017, Schickert et al.

Multikanal-Mikrowellentomograph



Grundgerät Fa. Ilmsens GmbH

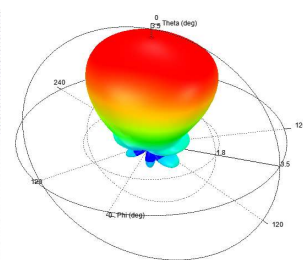
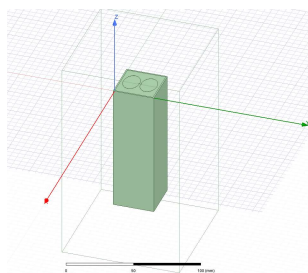
- 24 Sende-/48 Empfangskanäle, bis 1000 IRF/s
- Impulserzeugung: 9-Bit-M-Sequenz (Pseudoräuschen)
- Eindeutigkeitsbereich ca. 38 ns (ca. 11 m in Luft)
- Sendeleistung: -7 dBm
- Frequenzbereich 0,1 – 6 GHz
- Dynamikbereich, kalibriert bis 80 dB



Antennen (Design: Ilmsens GmbH)

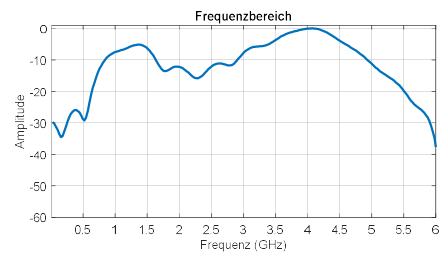
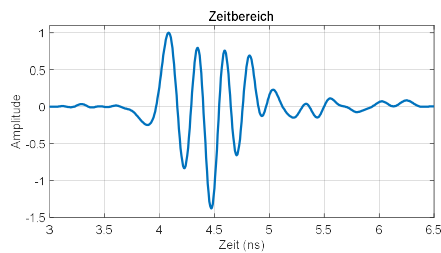
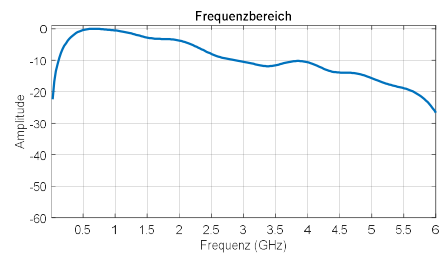
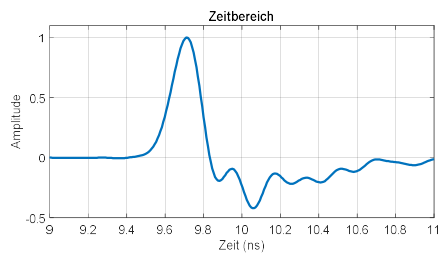
- Aktive, elliptische Tx / Rx-Antennen
- 1 Tx / 1 Rx, Platine 8 cm x 4 cm

Mikrowellen-Antennenarrays

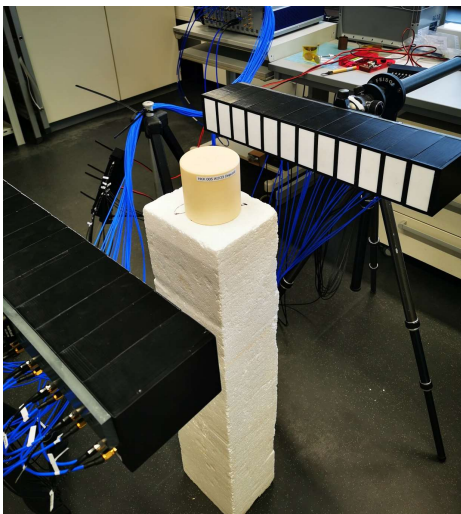


- Simulation (inkl. Gehäuse), Richtwirkung Signalqualität, Anpassung
- Breite Abstrahlcharakteristik bis ca. 120° bei -10 dB
- Frequenzbereich ca. 0,9 GHz bis 5 GHz
- Gute Anpassung für $\epsilon_r > 9$ (z.B. feuchtes Holz)
- Für Transmission in Luft geeignet aber stärkeres Übersprechen zwischen Tx und Rx
- Gehäuse und Arrayaufbau: 2 lineare Arrays je 1 x 12 Antennen
- Nutzung als Transmissions- und Reflexionssetup

Sendeimpuls (oben) und Transmissions-Signal (unten)

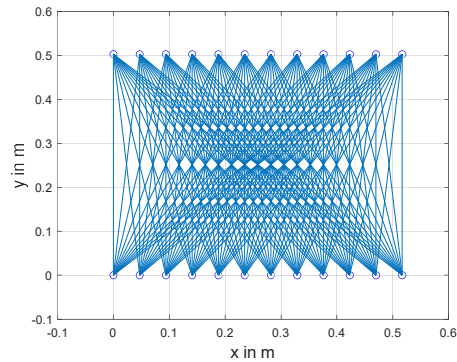
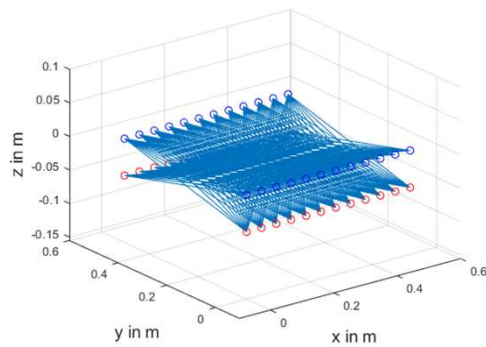


Transmissionsanordnung Setup und Testkörper



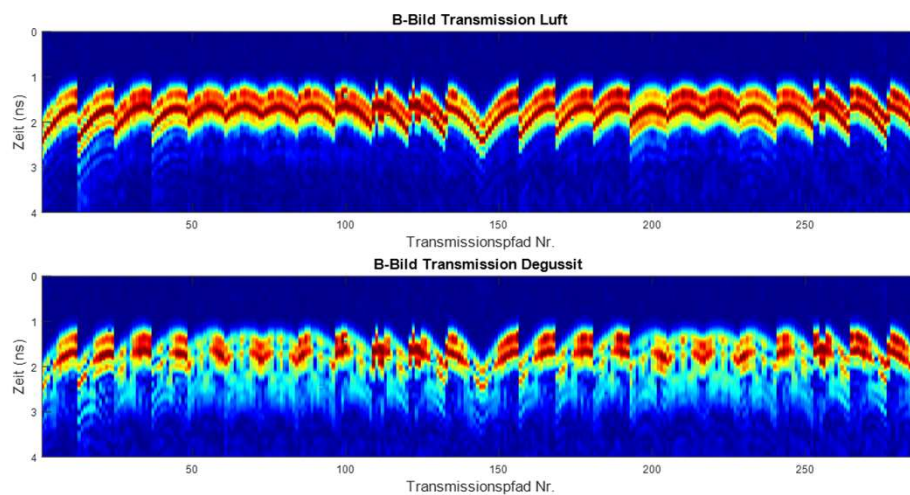
- Arrayabstand 50 cm
- Testkörper Position: $x=25$ cm, $y=25$ cm (mittig)
- HKK 003 (Zylinder Teflon $d=10$, cm $h=10$)
- HKK 005 (Zylinder Degussit $d=10$, cm $h=10$)
- Holzbalken (80 cm x 10 cm x 10cm)

Transmissionsanordnung - Ausbreitungspfade



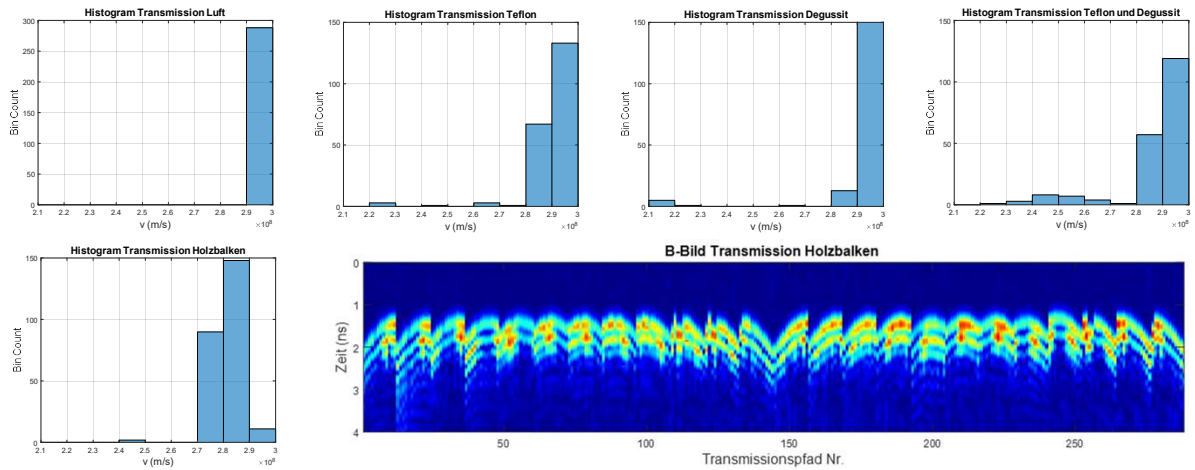
- 3D Koordinaten Tx (blau) / Rx (rot) → 2D Koordinaten für Verarbeitung in ReflexW-Software
- Bestimmung der Nullzeit über Referenzmessung in Luft
- Bestimmung der Signallaufzeiten für die Testszenarien über Picking-Algorithmus (Maximum)
- Berechnung der Tomogramme mittels ReflexW

Transmissionsanordnung - Messung Rohdaten



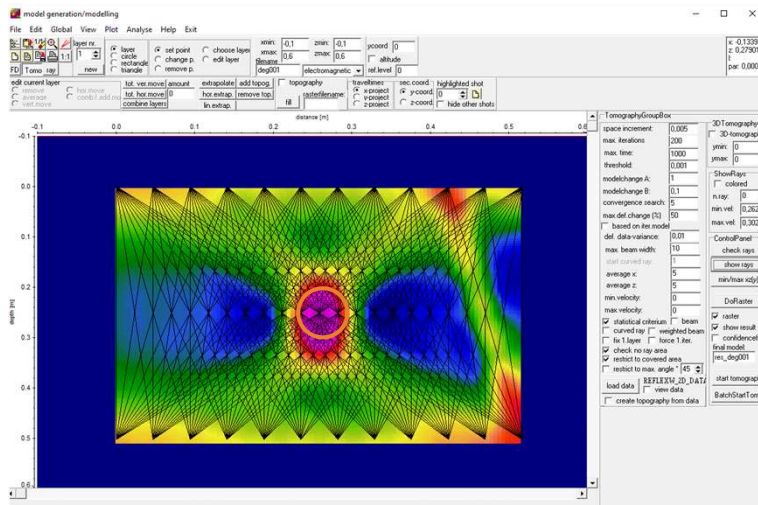
Abweichungen bei der Laufzeitbestimmung (Picking Algorithmus) führen zu Artefakten im Tomogramm

Transmissionsanordnung - Messung und Histogramme Ausbreitungsgeschwindigkeit



Histogramm-Auswertung für einfache Klassifizierungen denkbar

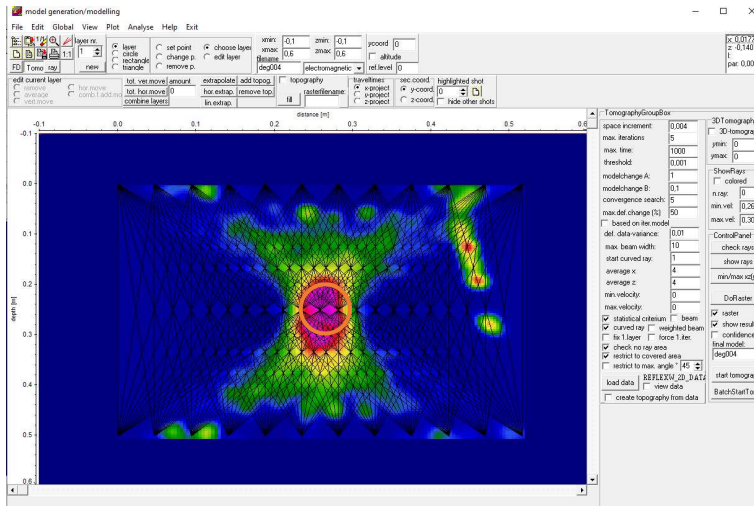
Transmissions - Tomogramm Degussit



Berechnung Tomogramme mittels ReflexW

- Eingangsparameter: Signallaufzeiten und Tx/Rx Positionen
- Berechnetes Tomogramm (ϵ_r), Strahlwege, Zylinder (orange)
- Annahme „direkte Wellenausbreitung“, Streuungs- und Beugungseffekte vernachlässigt

Transmissions-Tomogramm Degussit



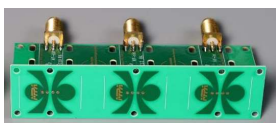
Berechnung Tomogramme mittels ReflexW

- Berechnetes Tomogramm (ϵ_r), Strahlwege, Zylinder (orange)
- Mit „curved ray“ Option, leicht verbesserte Ergebnisse
- Kleine Fehler im Picking-Algorithmus führen zu starken Abweichungen im Tomogramm, ebenso wie die initiale Schätzung der mittleren Permittivität

Ausblick

Hardwareentwicklung

- Bisher Fokus auf Hardware
- Weitere Entwicklungsarbeiten geplant
- Beliebige Rx, Tx-Anordnung
- Automatische Nullmessung und Referenzmessung
- 1xTx/2xRx-Antennenmodul (Einzelelement 2 cm x 2 cm)



Datenverarbeitung

- Preprocessing (Bestimmung Nullzeitpunkte, Picking-Algorithmen)
- Tomographiealgorithmen für Reflexions- und Transmissionsanordnung
- SAFT
- full-waveform inversion, diffraction tomography,
- Visualisierung
- ...

Klassifizierung

- Histogramme
- Tomogramme
- Korrelation mit Materialkenngrößen (Feuchte, u.a.)
- ...

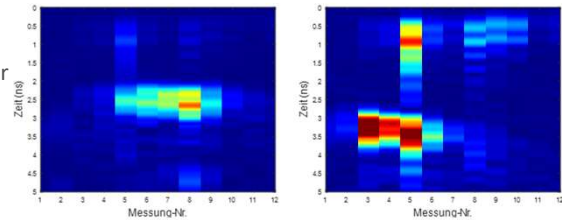
Ausblick Reflexionsanordnung



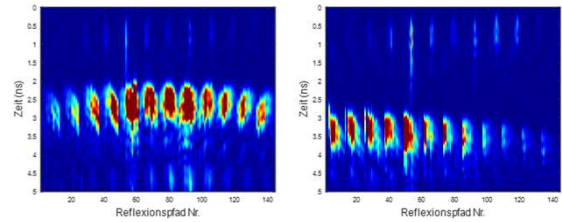
- Einhüllende der Radar-Rohdaten
- Luftankopplung, stärkeres Übersprechen
- Zielobjekt mit variierender Position vor einem Lineararray 1 x 12

Vergleich:

Herkömmlicher GPR Scan



Rohdaten Tomogramm



30 cm vor Antenne 6 und 7 40 cm vor Antenne 3 und 4
Zielobjekt



Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit.

Für spannende Themen mit Mikrowellen für Bachelor- und Masterarbeiten melden sie sich bei frank.bonitz@mfa.de

Die Autoren danken für die Förderung des AiF/IGF-Vorhabens Nr. 22298 BR.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

