

Einleitung

beckerphotonik^{gmbh}
messtechnik | dienstleistung | ausbildung

Mobile 3D-Terahertz-Bildgebung beim Fügen von Kunststoff und Keramik

*Stefan Becker, Becker Photonik GmbH, Portastraße 73, D-32457 Porta Westfalica
Torsten Löffler, Synview GmbH, Hessenring 83, D-61348 Bad Homburg*

- Grundlagen der 3D-Terahertz-Bildgebung
- GFK-Bauteile in Schaum-Sandwichstruktur
- Risse und Lunker in GFK-Bauteilen
- Keramische Kühldose aus AlN (Leistungselektronik)
- Vergleich mit etablierten ZfP-Verfahren

0

Grundlagen der 3D-Terahertz-Bildgebung

beckerphotonik^{gmbh}
messtechnik | dienstleistung | ausbildung

Was ist THz-Strahlung?

- Elektromagnetische Strahlung im Frequenzbereich 0.1 THz - 10 THz
- Korrespondierender Wellenlängenbereich (Vakuum) ist 3 mm – 0.03 mm
- Man sprach lange Zeit von der sogenannten „THz-Lücke“

Das Diagramm zeigt die Position der THz-Strahlung im elektromagnetischen Spektrum. Die obere Achse stellt die Wellenlänge in mm dar, von 10^6 bis 10^{-8} . Die untere Achse stellt die Frequenz in Hz dar, von 10^6 bis 10^{19} . Die THz-Strahlung ist als Bereich zwischen 10^2 mm (100 mm) und 10^{-2} mm (0.01 mm) Wellenlänge sowie zwischen 10^{11} Hz und 10^{13} Hz Frequenz markiert. Ein farbiges Band zeigt die Übergänge zu Infrarot, Ultraviolett und Röntgenstrahlung.

Wellenlänge [mm] →

Frequenz [Hz] →

1

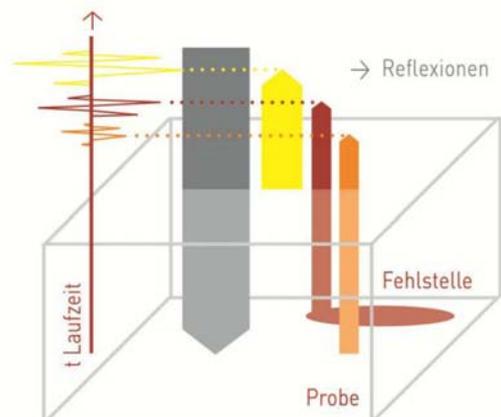
Wie wird THz-Strahlung erzeugt?

- Laserbasierte Systeme (*werden hier nicht weiter betrachtet*)
 - durchstimmbar
 - höhere Frequenzen (> 1 THz) möglich
- **Vollelektronische Systeme**
 - kompakt + robust
 - schnell (10 kHz)



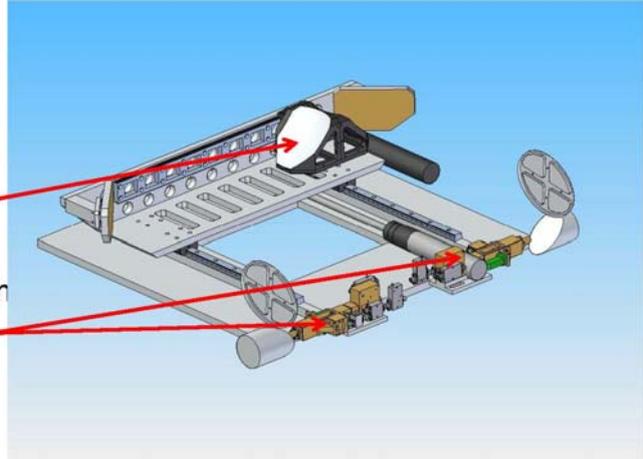
Wie funktioniert 3D-Terahertz-Bildgebung?

- Frequenzmodulierte Quelle (T_x)
und kohärenter Empfänger (R_x)
- „Entfernungsradar“ in Reflexion:
($T_x - R_x$) \sim d (Entfernung)
- „Laufzeitbild“ für jeden Messpunkt
- Zusammensetzung dieser
Laufzeitbilder ergibt die
3D-THz-Bildgebung



Wie funktioniert 3D-Terahertz-Bildgebung?

- Eine Abbildungsoptik führt und fokussiert die THz-Strahlung
- 2 Sende- und Empfangseinheiten (100 GHz + 300 GHz) integriert
- Das 3D-Terahertz-Bild wird zeilenweise aufgebaut und die Prüfzeiten liegen für 200 mm x 300 mm bei ca. 7 Minuten (keine Präparation notwendig)



SynViewCompact,
Synview GmbH, Bad Homburg

Wie funktioniert 3D-Terahertz-Bildgebung?

- Eine mobile Scaneinheit (je nach Ausführung 20 kg - 30 kg Gewicht) kann beliebig im Raum orientiert werden (horizontal, vertikal, auf dem Kopf)
- Ein Rechner enthält alle notwendigen Steuerungen

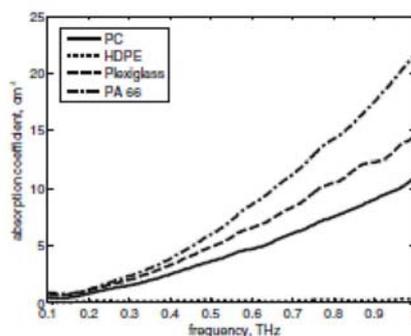
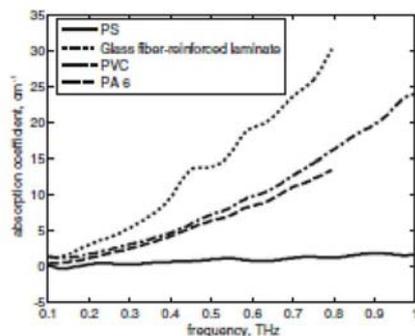


SynViewCompact,
Synview GmbH, Bad Homburg

Eigenschaften allgemein

- THz-Strahlung ist nicht-ionisierend, es ist keine Abschirmung von Menschen notwendig
- Es ist kein Kopplungsmedium notwendig (elektromagnetische Strahlung)
- Prüfung bei nur einseitigem Zugang zum Bauteil kein Problem!
- Portabel und an sehr großen Objekten einsetzbar
- Laterale Auflösung 1 mm in Vakuum (0.3 THz)
- Schnelle Datenaufnahme (Messkopf) mit bis zu 10 kHz
- Dielektrische Materialien können durchstrahlt werden (Kunststoff, GFK, Keramik, Papier etc.), elektrische Leiter (Metalle, CFK) und Wasser nicht

Eigenschaften bzgl. Kunststoffen



→ Absorption von Kunststoffen steigt im Bereich 0.1 THz - 1.0 THz um $\approx 1-2$ Größenordnungen an
→ Typische Eindringtiefe 5 – 30 mm (0.1 / 0.3 THz)

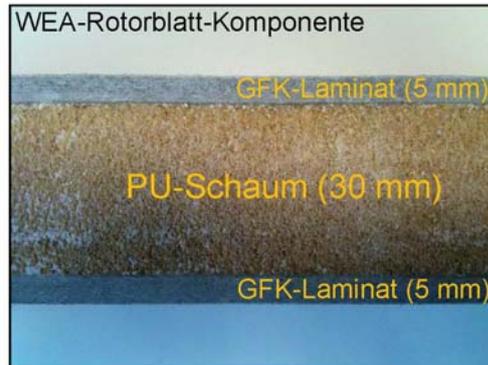
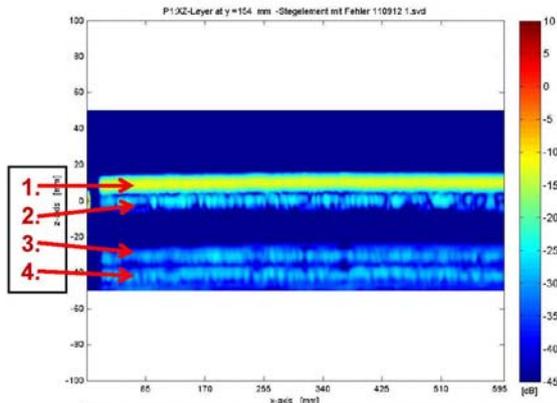
Quelle: Int J Infrared Mill Wave (2007) 28:363-371
DOI 10.1007/s10762-007-9217-9

Properties of Building and Plastic Materials in the THz Range

R. Flisiewicz · C. Jansen · S. Wietze · D. Mitterman · M. Koch · T. Kürner

GFK-Bauteile in Schaum-Sandwichstruktur

• B-Scan (100 GHz), Messung von der Oberseite



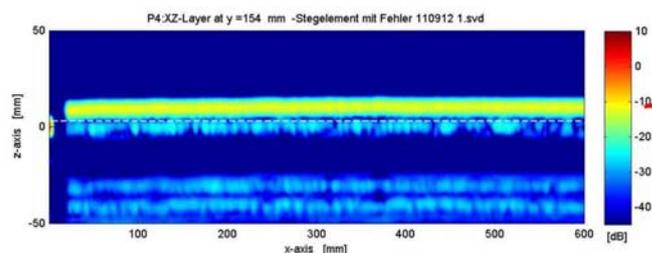
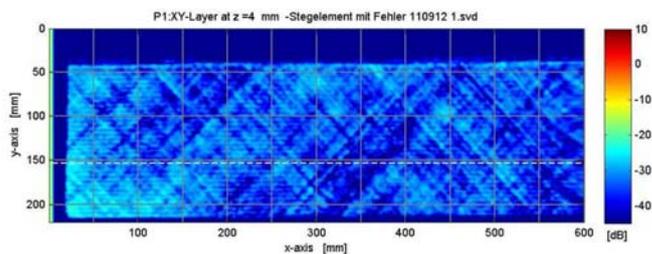
Signale von 4 Grenzflächen:

1. Luft - GFK
2. GFK - Schaum
3. Schaum - GFK
4. GFK - Luft

8 ←

GFK-Bauteile in Schaum-Sandwichstruktur

• C-Scan (100 GHz), Messung von der Oberseite



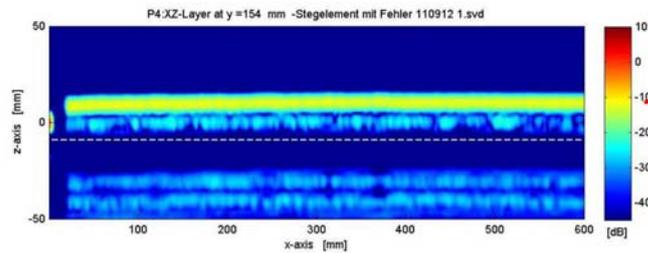
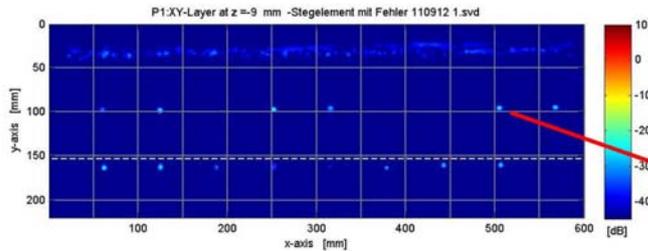
- WEA-Rotorblatt-Komponente
- 600 mm x 250 mm Scan
- Schicht ca. **3 mm** unter d. Oberfläche (erste GFK-Platte)
- Faserorientierungen sind gut sichtbar

- **B-Scan**
- Profilposition siehe gestrichelte Linie oben

9 ←

GFK-Bauteile in Schaum-Sandwichstruktur

C-Scan (100 GHz), Messung von der Oberseite



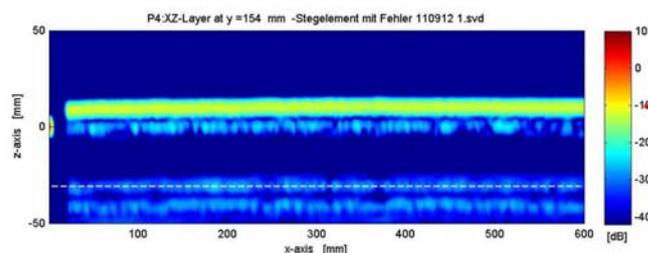
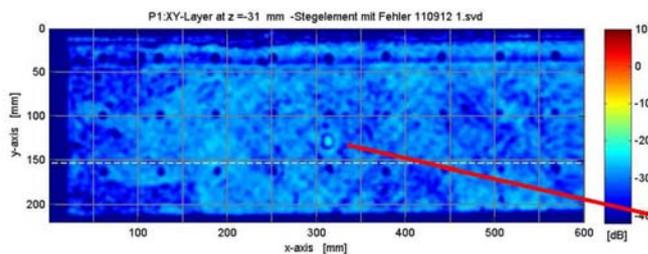
- WEA-Rotorblatt-Komponente
- 600 mm x 250 mm Scan
- Schicht ca. **10 mm** unter d. Oberfläche (im Schaum)
- Abstandsstäbchen

- **B-Scan**
- Profilposition siehe gestrichelte Linie oben

10

GFK-Bauteile in Schaum-Sandwichstruktur

C-Scan (100 GHz), Messung von der Oberseite



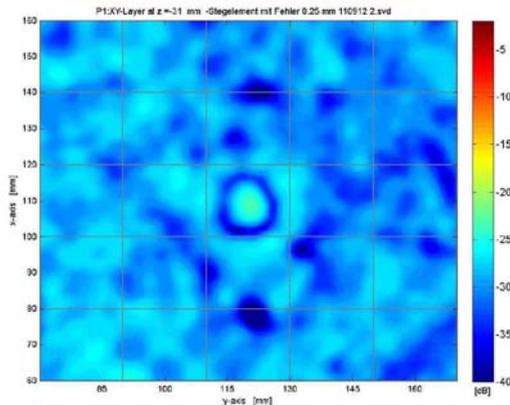
- WEA-Rotorblatt-Komponente
- 600 mm x 250 mm Scan
- Schicht ca. **35 mm** unter d. Oberfläche (Grenzfläche Schaum-GFK)
- Benetzungsfehler: Ø ca. 20 mm

- **B-Scan**
- Profilposition siehe gestrichelte Linie oben

11

GFK-Bauteile in Schaum-Sandwichstruktur

• B-Scan (100 GHz), Messung von der Oberseite

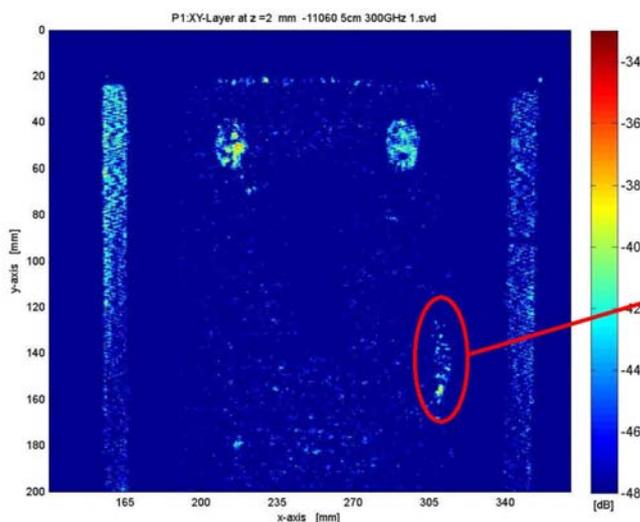


Vergrößerung des Benetzungsfehlers

Ein Vergleich mit der entsprechenden Grenzflächenschicht einer hochauflösenden Röntgen-CT zeigt Übereinstimmung bzgl. Position und Größe des Benetzungsfehlers.

Risse und Lunker in GFK-Bauteilen

• Komplexes SMC-Bauteil (Hochspannungstechnik)

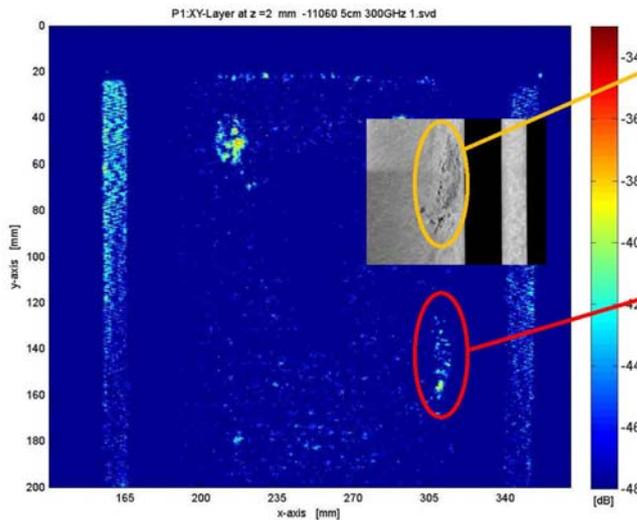


- 0.3 THz Messung
- 200 mm x 200 mm Scan
- Materialdicke 14 mm
- Schicht ca. 4 mm unterhalb der Oberfläche

- **Erhöhte Reflexion** auf einer Fläche von ca. 10 mm x 40 mm
- alle anderen charakteristischen Strukturen sind geometrisch bedingt

Risse und Lunker in GFK-Bauteilen

Komplexes SMC-Bauteil (Hochspannungstechnik)



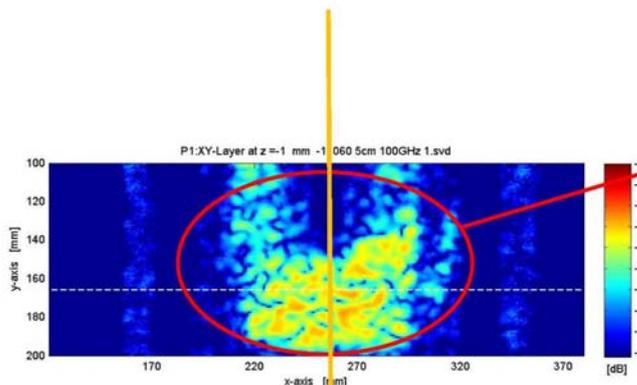
- **Vergleich mit Röntgen-CT**
- Position identisch mit Lunkernest
- Schicht ca. 4 mm unterhalb der Oberfläche

- **Erhöhte Reflexion** auf einer Fläche von ca. 10 mm x 40 mm
- alle anderen charakteristischen Strukturen sind geometrisch bedingt

14 ◀

Risse und Lunker in GFK-Bauteilen

Komplexes SMC-Bauteil (Hochspannungstechnik)



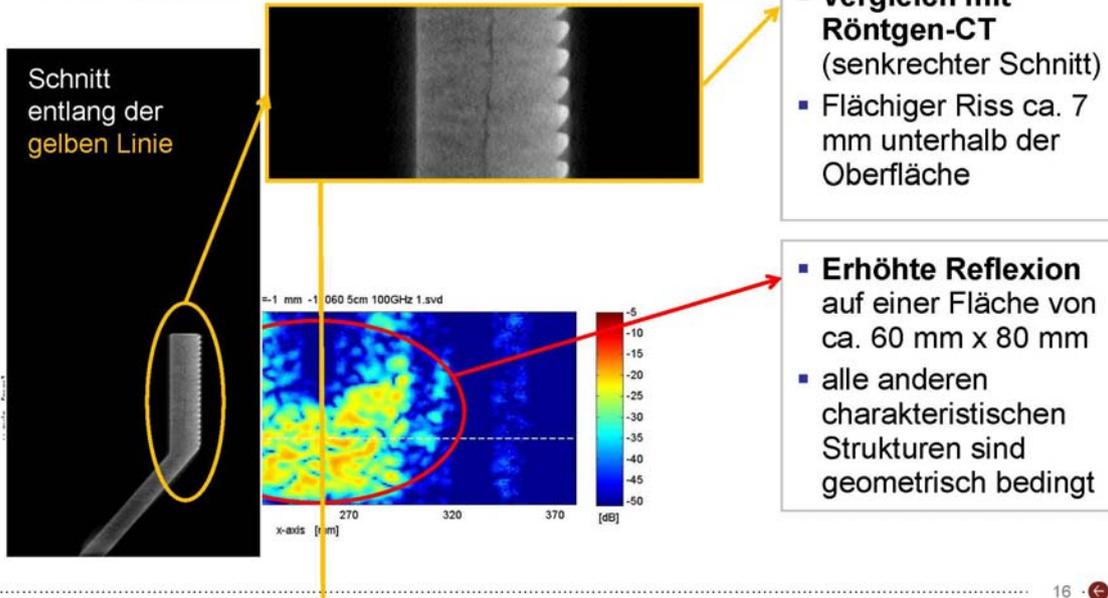
- **0.1 THz Messung**
- 200 mm x 100 mm Scan
- Materialdicke 14 mm
- Schicht ca. 7 mm unterhalb der Oberfläche

- **Erhöhte Reflexion** auf einer Fläche von ca. 60 mm x 80 mm
- alle anderen charakteristischen Strukturen sind geometrisch bedingt

15 ◀

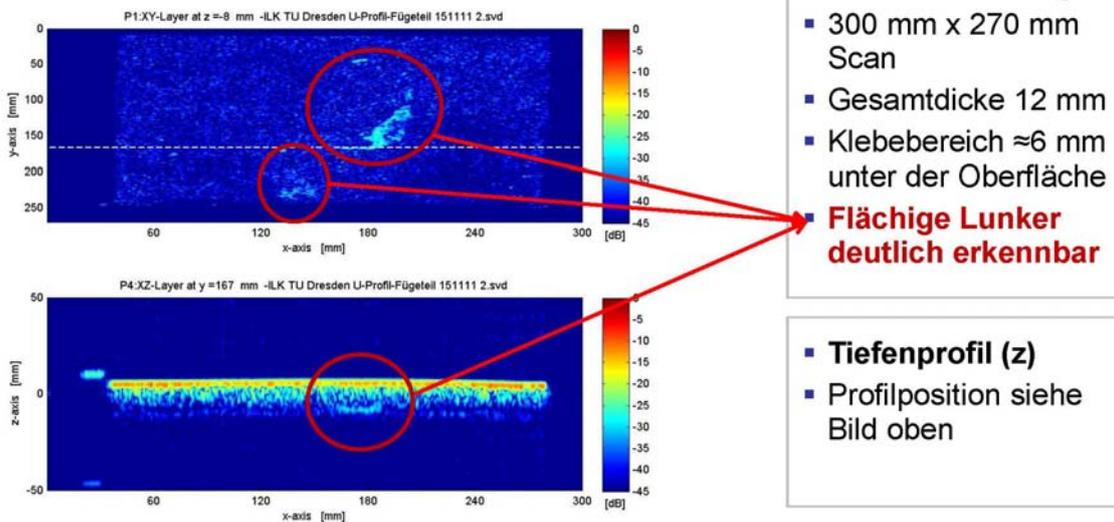
Risse und Lunker in GFK-Bauteilen

Komplexes SMC-Bauteil (Hochspannungstechnik)



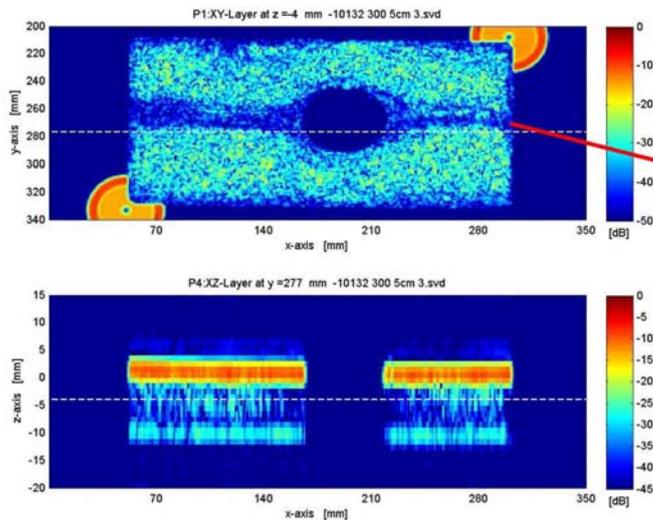
Risse und Lunker in GFK-Bauteilen

U-Profil (d=6mm), Verklebung



Risse und Lunker in GFK-Bauteilen

SMC-Platte, relative Faserorientierung

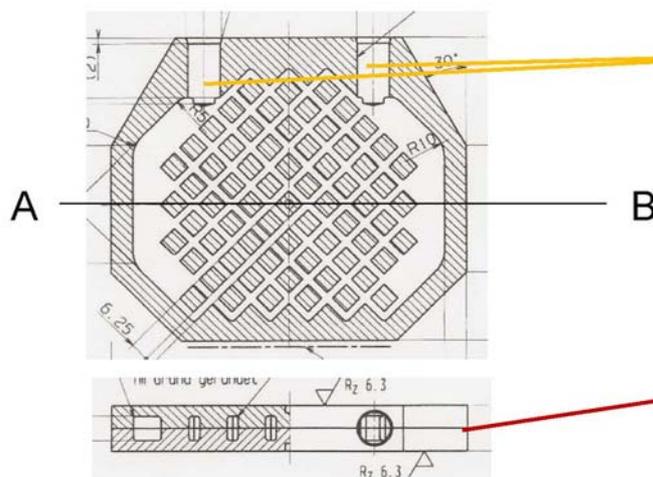


- **0.3 THz Messung**
- 350 mm x 140 mm Scan
- Materialdicke 6 mm
- Schicht ca. 3 mm unter der Oberfläche
- Es gibt eine Zone mit deutlich reduzierten Reflexionen

- **Abweichende Faserorientierung im Bereich der Binde-naht erklärt den Effekt!**

Keramische Kühldose aus AlN (Leistungselektronik)

Konstruktiver Aufbau der Kühldose

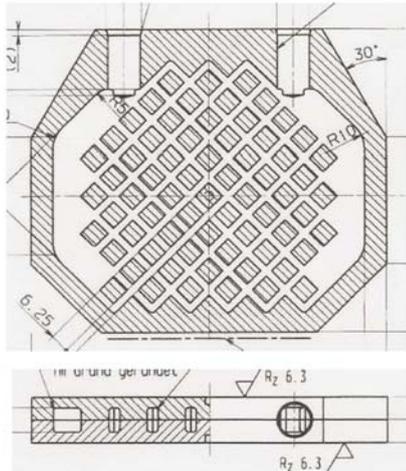


- **Aufsicht**
- 115 mm x 100 mm
- Ein- und Auslaß
- Innere Struktur zur Verbesserung der Kühlung

- **Schnitt A-B**
- Dicke 15 mm
- Obere und untere Hälfte werden miteinander verlötet

Keramische Kühldose aus AlN (Leistungselektronik)

• Konstruktiver Aufbau der Kühldose

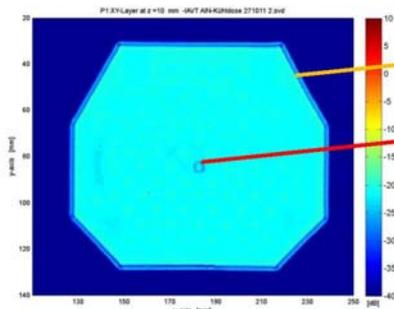


- **Material**
- AlN: Aluminiumnitrid
- Dichte: 3,26 g/cm³
- Brechungsindex: 2,9
- Wärmeleitfähigkeit: 180-220 W/mK
- Schmelzpunkt: 2150°C

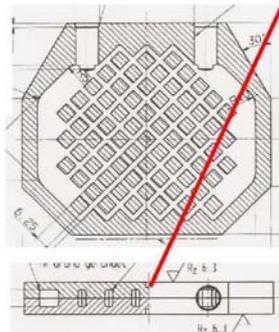
20

Keramische Kühldose aus AlN (Leistungselektronik)

• C-Scan, Laufzeitschicht Oberseite (außen)



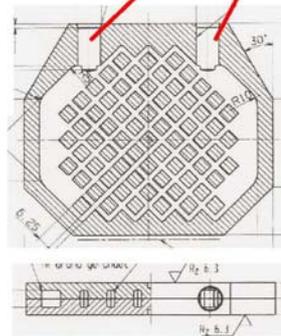
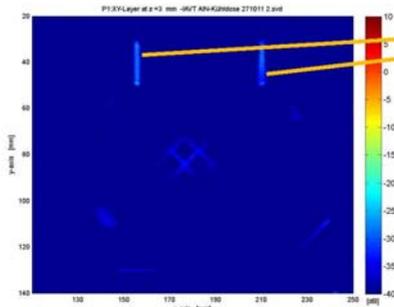
- **0.3 THz Messung**
- Laufzeitschicht Oberseite
- Zentrale Senkung, Durchmesser 3 mm



21

Keramische Kühldose aus AlN (Leistungselektronik)

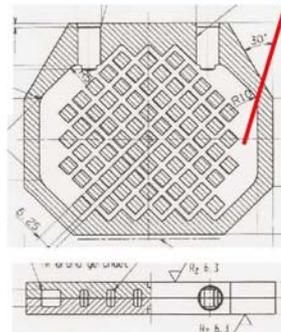
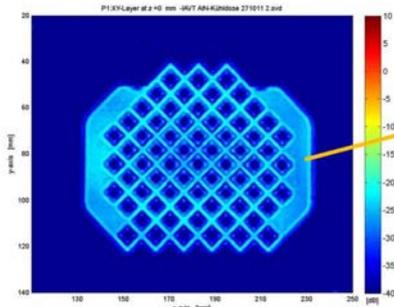
C-Scan, Laufzeitschicht Ein- und Auslass



- 0.3 THz Messung
- Ein- und Auslass
- Durchmesser wird nicht voll erfasst!

Keramische Kühldose aus AlN (Leistungselektronik)

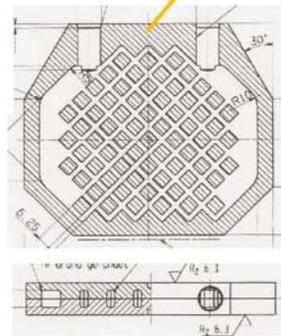
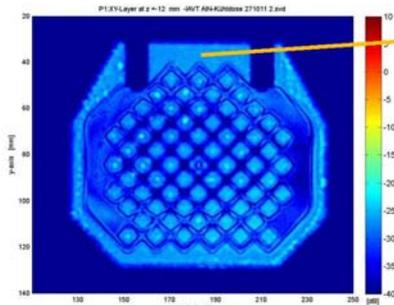
C-Scan, Laufzeitschicht Oberseite (innen)



- 0.3 THz Messung
- Oberseite (innen)

Keramische Kühldose aus AlN (Leistungselektronik)

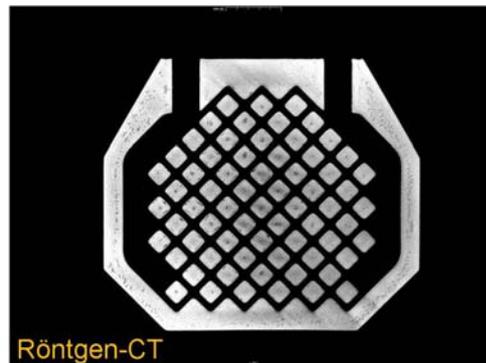
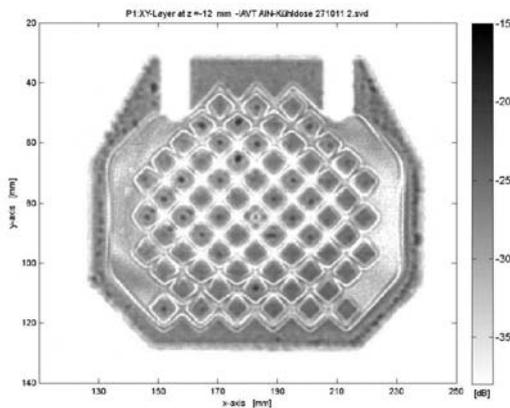
C-Scan, Laufzeitschicht Lotebene



- 0.3 THz Messung
- Lotebene
- Poren in der Lotebene sind sehr gut zu erkennen!

Keramische Kühldose aus AlN (Leistungselektronik)

C-Scan, Laufzeitschicht Lotebene, Vergleich mit Röntgen-CT



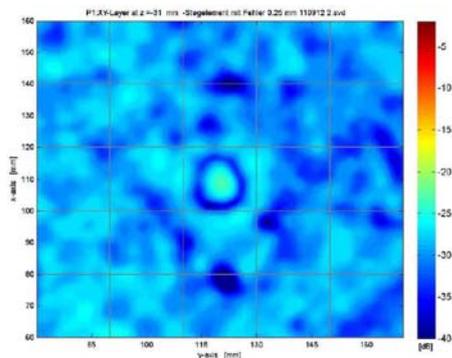
**Unter Berücksichtigung des Auflösungsunterschiedes:
Sehr gute Übereinstimmung!**

Vergleich mit etablierten ZfP-Verfahren

Volumenprüfung dielektrischer Materialien:

	Röntgen-CT	Ultraschall (Luft-US)	Thermografie	3D-THz-Bildgebung
max. Lateralauflösung (in GFK), für Probe mit 200x300 mm ²	< 1 mm, abh. v. d. Prüfteilgröße	< 1 mm	< 1 mm, abh. v. FOV	1-2 mm
Prüfung v. einer Seite	---	+	+	+
kontaktlos	+	--- (+)	+	+
Hohlstruktur / Schaum	+	○	-	+
Eindringtiefe, GFK-Laminat	+	+	-	○
Tiefenauflösung	+	+	-	○

Herzlichen Dank



Herzlichen Dank!



Becker Photonik GmbH

Dr. Stefan Becker

Portastrasse 73 (im BusinessCenter Porta Westfalica)

D-32457 Porta Westfalica

Telefon: 0571.88918865

Mobil: 0171.3270453

stefan.becker@becker-photonik.de

www.becker-photonik.de