

gmbh
beckerphotonik

messtechnik | dienstleistung | ausbildung



Mobile Dual-Energy 3D-Terahertz-Bildgebung für Kunststoff und Keramik

- Einleitung
- Grundlagen der 3D-Terahertz-Bildgebung
- Risse und Faserorientierungen in GFK-Bauteilen
- Fügeverbindungen von GFK-Profilen
- Polyurethan-Strukturschaum
- Untersuchung einer AlN-Kühldose (Leistungselektronik)
- Technologieausblick





Warum noch eine weitere Prüftechnik?

Wirbelstrom

Ultraschall

Thermografie

Shearografie

Röntgen-Durchstrahlungsprüfung

Röntgen-CT

u.v.m.





Warum noch eine weitere Prüftechnik?

Wirbelstrom

Ultraschall

Shearografie

Thermografie

- ✓ *nur einseitiger Zugang zum Bauteil vorhanden*
- ✓ *dielektrische Materialien*
- ✓ *direkte Volumeninformation, Einsetzbarkeit bei Schaum, Sandwich- u. Hohlstrukturen*

Röntgen-Durchstrahlungsprüfung

Röntgen-CT

u.v.m.

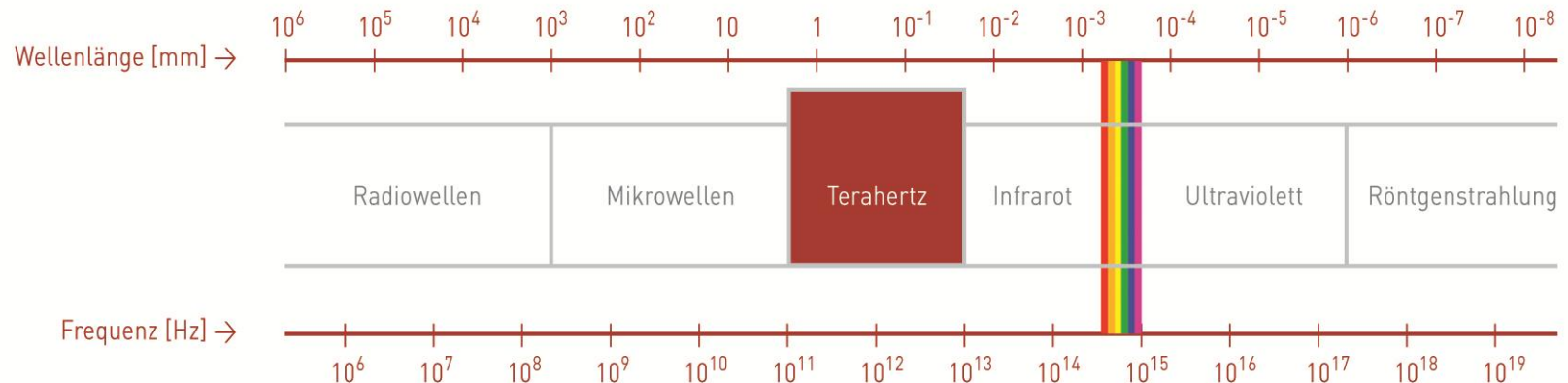




Grundlagen der 3D-Terahertz-Bildgebung

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“





Grundlagen der 3D-Terahertz-Bildgebung

Wie wird THz-Strahlung erzeugt?

- Laserbasierte Systeme (*werden hier nicht weiter betrachtet*)
 - Aufwendig + teuer
 - Durchstimmbar
 - Höhere Frequenzen (> 1 THz) möglich
- Vollelektronische Systeme (*SynViewScan**)
 - Kompakt + robust
 - Breitbandig
 - Höhere Intensitäten



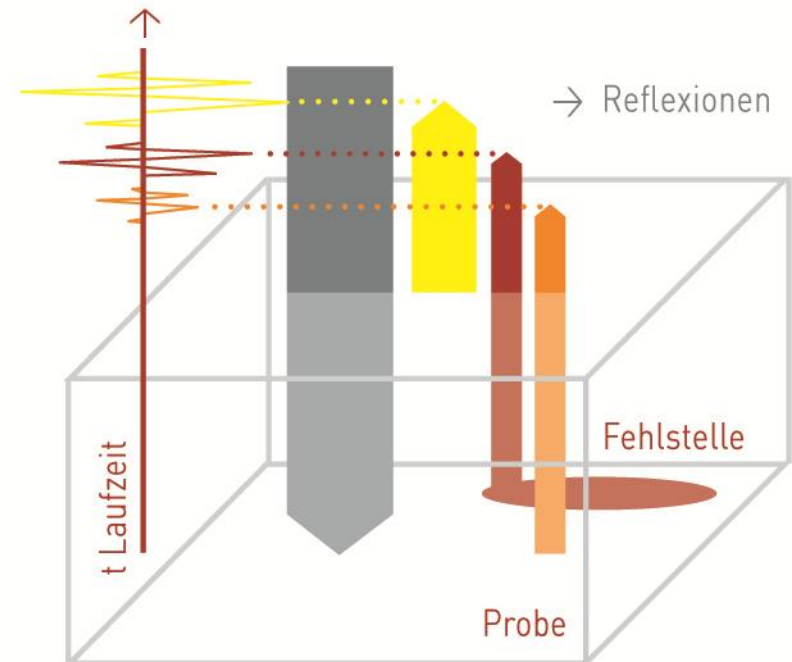
(* Synview GmbH, Bad Homburg)



Grundlagen der 3D-Terahertz-Bildgebung

Wie funktioniert SynViewScan?

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





Grundlagen der 3D-Terahertz-Bildgebung

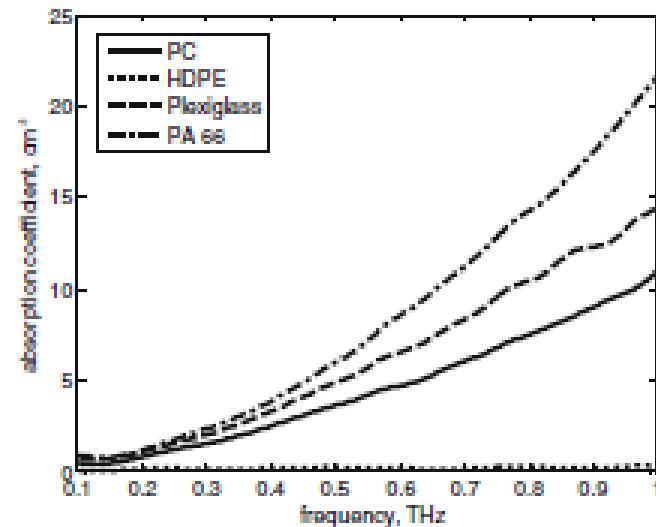
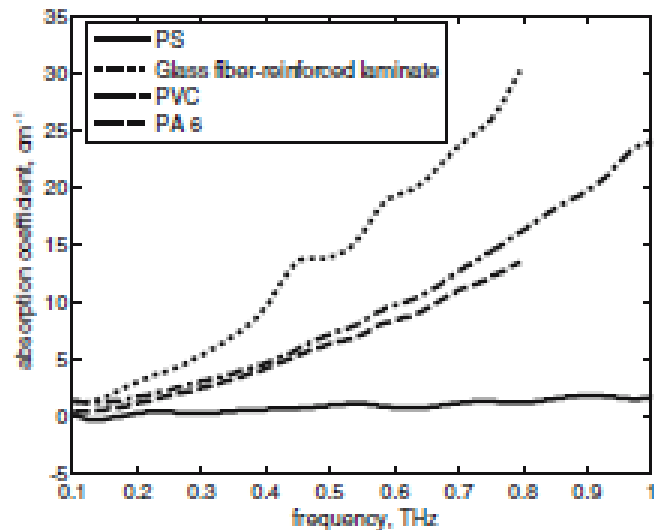
Eigenschaften 1

- 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



Grundlagen der 3D-Terahertz-Bildgebung

Eigenschaften 2



→ 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 Milli Waves (2007) 28:363–371
DOI 10.1007/s10762-007-9217-9

Properties of Building and Plastic Materials
in the THz Range

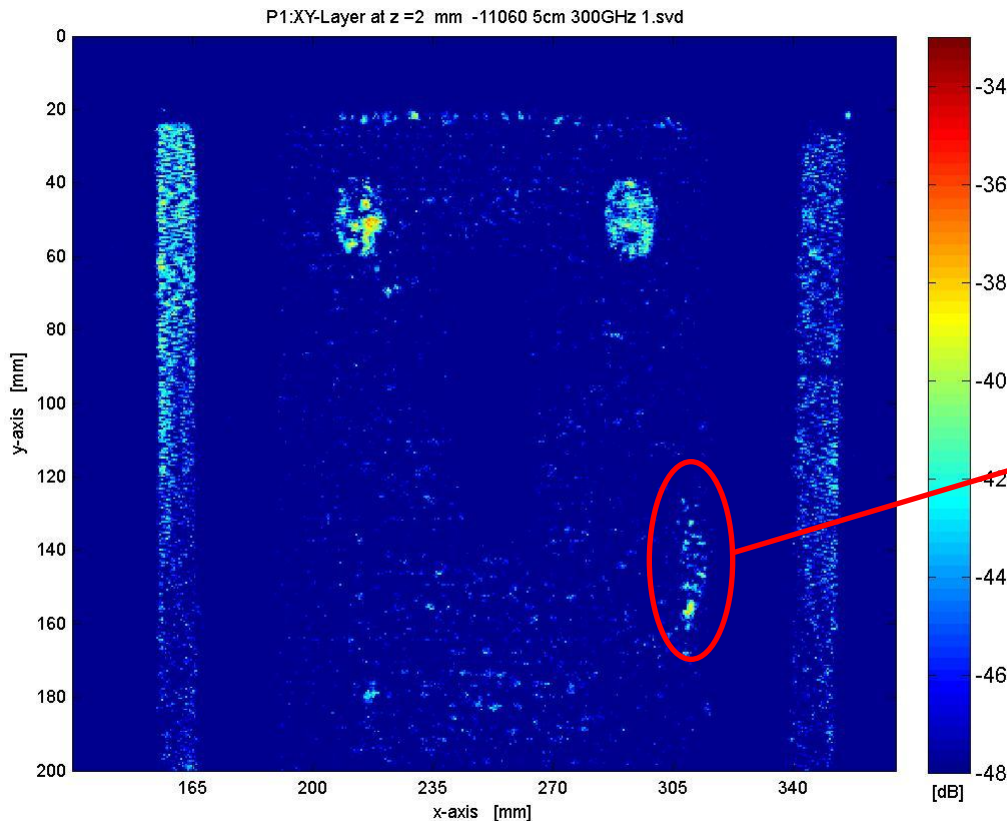
R. Piesiewicz · C. Jansen · S. Wietzke · D. Mittleman ·
M. Koch · T. Kürner





Risse und Faserorientierungen in GFK-Bauteilen

➔ Komplexes SMC-Bauteil



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

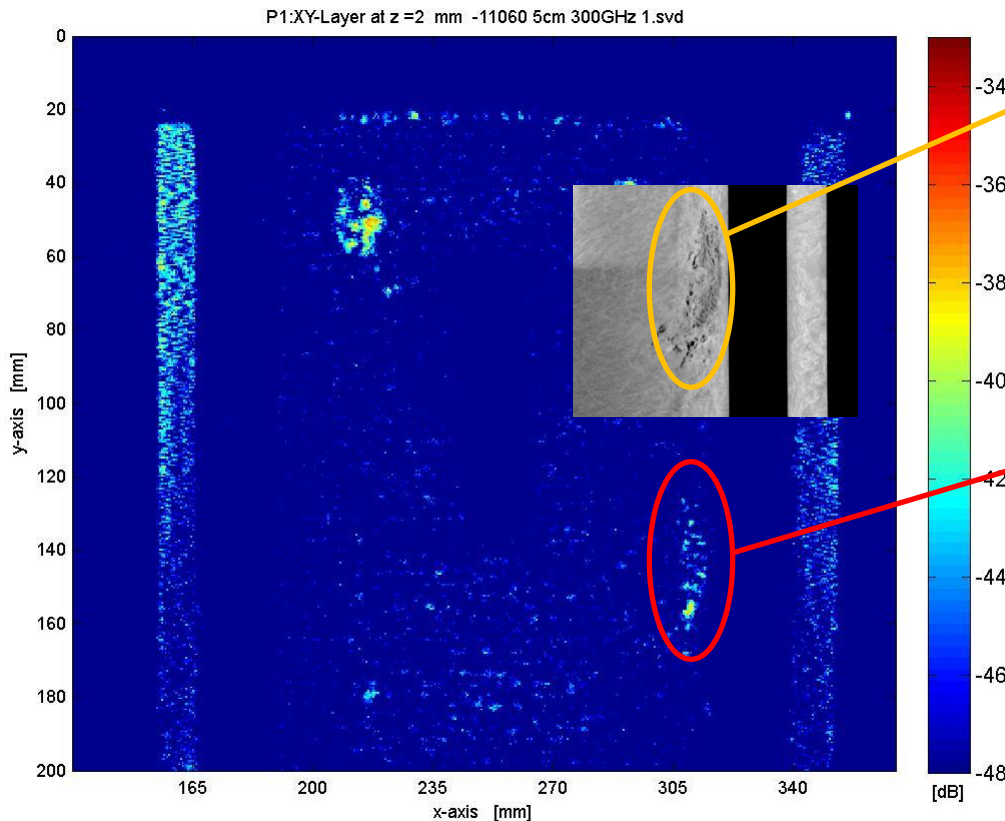
- **Erhöhte Reflexion** auf einer Fläche von ca. 10 mm x 40 mm
- alle anderen charakteristischen Strukturen sind geometrisch bedingt





Risse und Faserorientierungen in GFK-Bauteilen

➔ Komplexes SMC-Bauteil



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

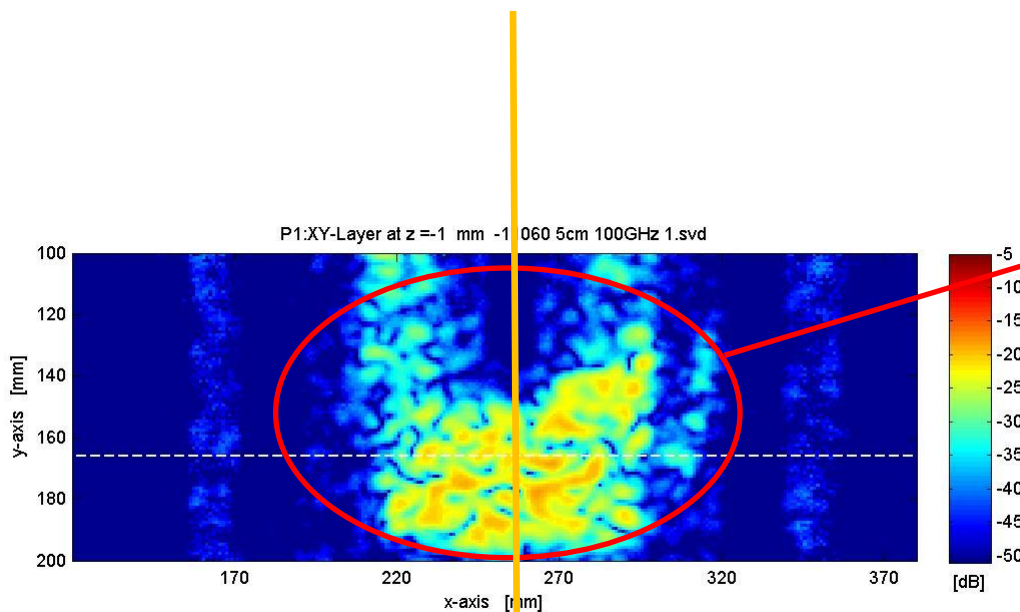
- **Erhöhte Reflexion** auf einer Fläche von ca. 10 mm x 40 mm
- alle anderen charakteristischen Strukturen sind geometrisch bedingt



Risse und Faserorientierungen in GFK-Bauteilen

➔ Komplexes SMC-Bauteil

- **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

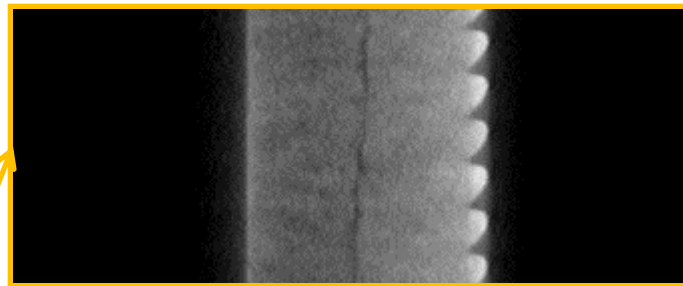




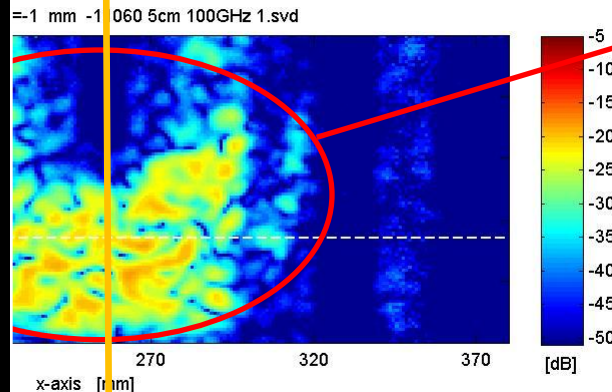
Risse und Faserorientierungen in GFK-Bauteilen

➤ Komplexes SMC-Bauteil

Schnitt
entlang der
gelben Linie



- Vergleich mit Röntgen-CT (senkrechter Schnitt)
- Flächiger Riss ca. 7 mm unterhalb der Oberfläche

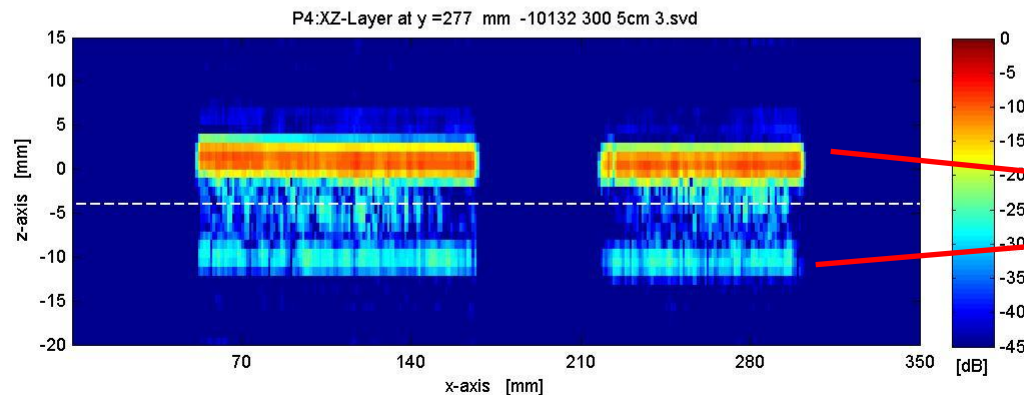
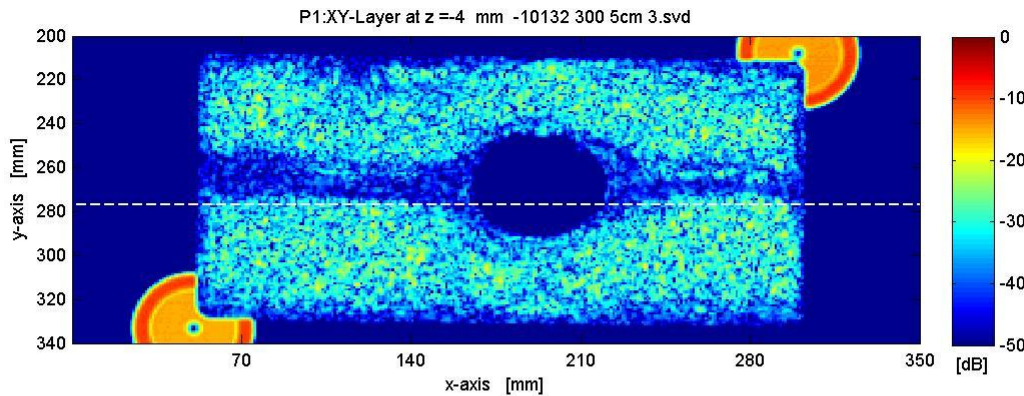


- Erhöhte Reflexion auf einer Fläche von ca. 60 mm x 80 mm
- alle anderen charakteristischen Strukturen sind geometrisch bedingt



Risse und Faserorientierungen in GFK-Bauteilen

➔ SMC-Platte



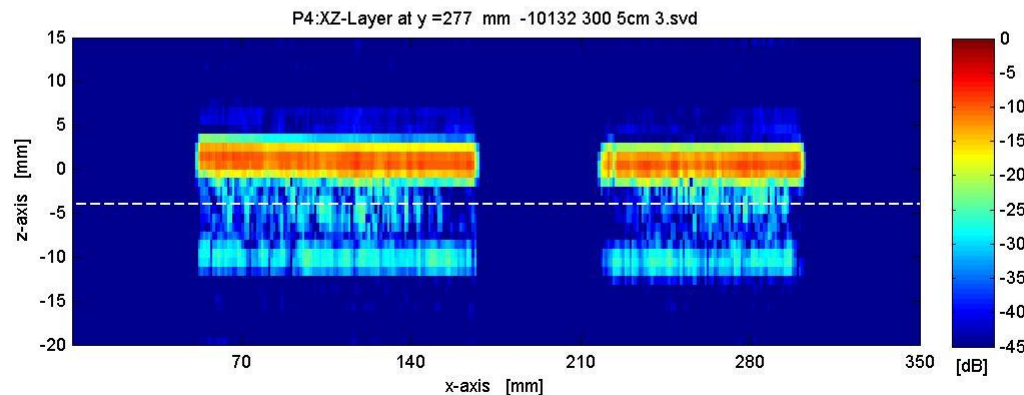
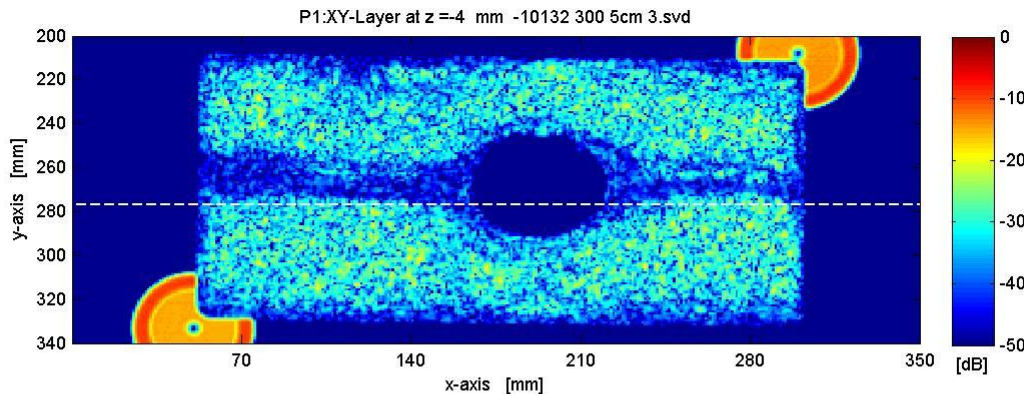
- **0.3 THz Messung**
- **350 mm x 140 mm Scan**
- **Materialdicke 6 mm**
- **Schicht ca. 3 mm unter der Oberfläche**
- **Es gibt eine Zone mit deutlich reduzierten Reflexionen**

- **Tiefenprofil**
- **Ober- und Unterseite deutlich erkennbar**



Risse und Faserorientierungen in GFK-Bauteilen

➔ SMC-Platte



- **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**

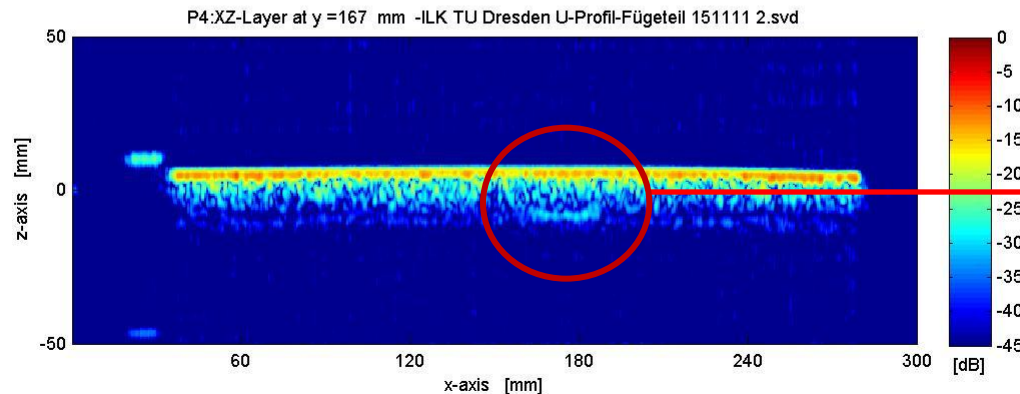
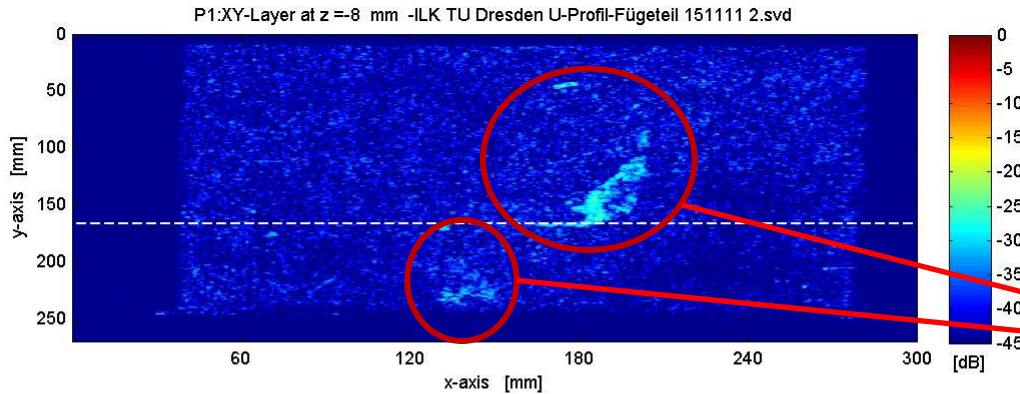
- **Abweichende Faserorientierung im Bereich der Bindenaht erklärt den Effekt!**





Fügeverbindungen von GFK-Profilen

➔ U-Profil, Verklebung rechts



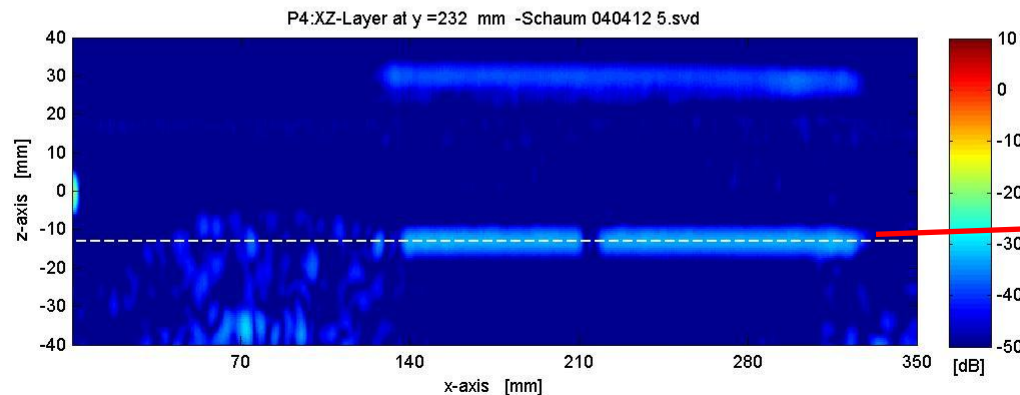
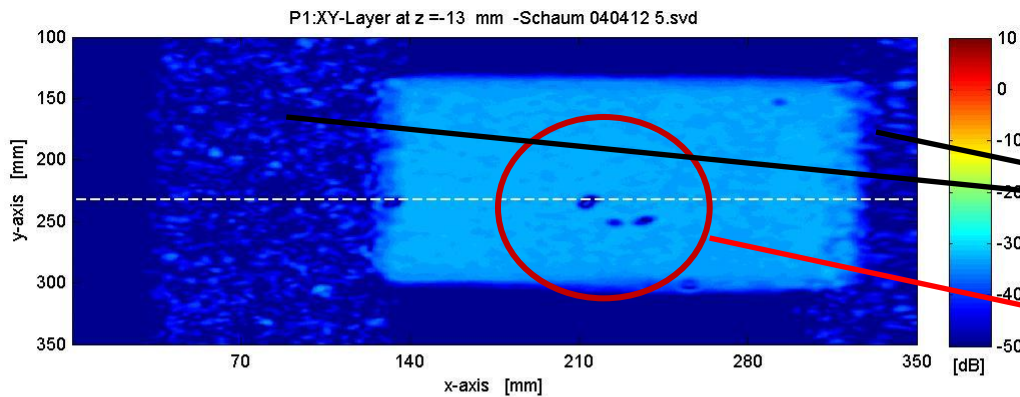
- **0.3 THz Messung**
- 300 mm x 270 mm Scan
- Gesamtdicke 12 mm
- Klebebereich ≈ 6 mm unter der Oberfläche
- **Flächige Poren deutlich erkennbar**

- **Tiefenprofil (z)**
- Profilposition siehe Bild oben



Polyurethan-Strukturschaum

➔ 40 mm starker Schaum



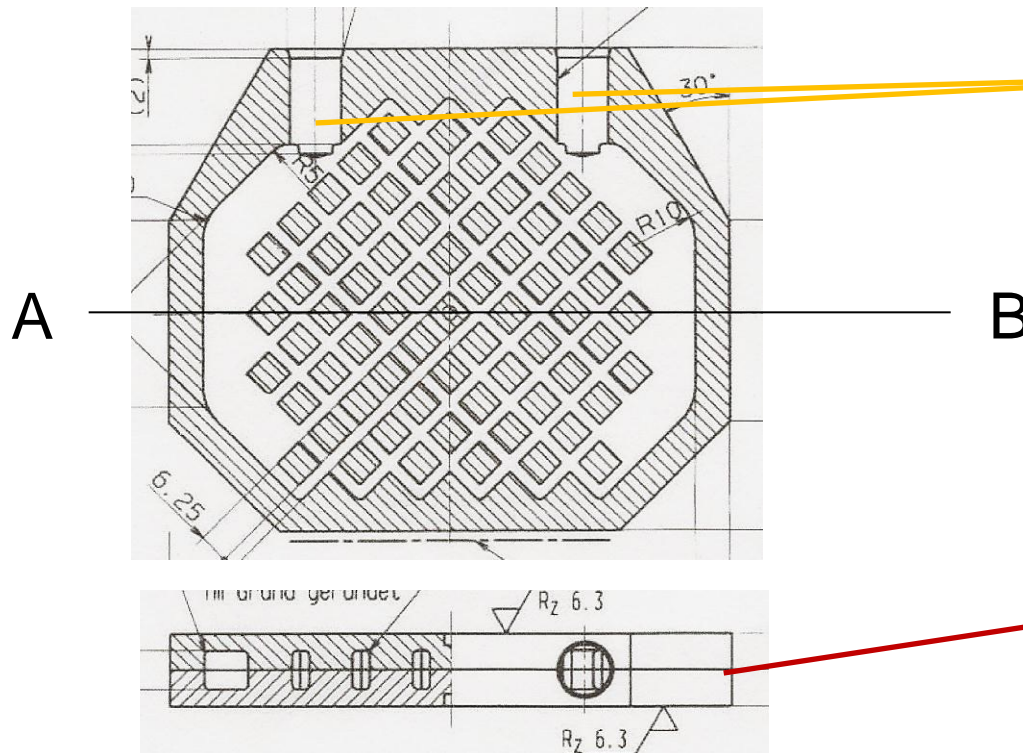
- **0.1 THz Messung**
- **350 mm x 250 mm Scan**
- **Gesamtdicke 40 mm**
- **Auflagestruktur**
- **Defekte an der rückwandigen Seite des Schaums**

- **Tiefenprofil (z)**
- **Rückwandsignal**



Untersuchung einer AlN-Kühldose (Leistungselektronik)

➤ Konstruktiver Aufbau der Kühldose



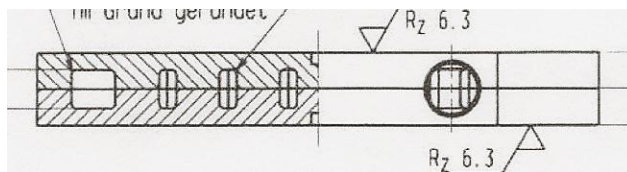
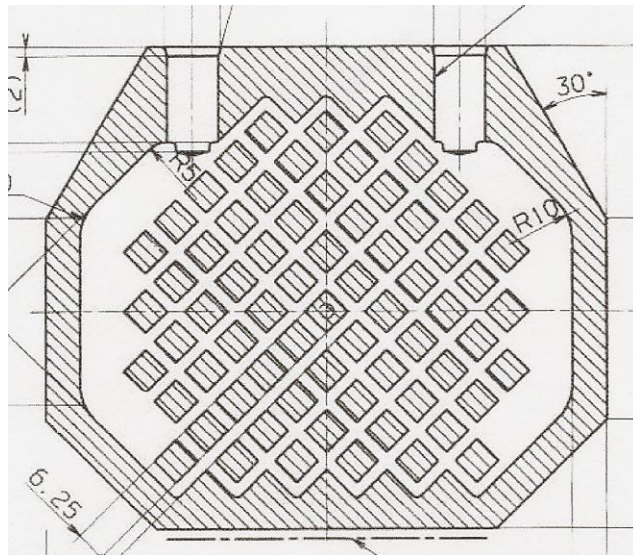
- **Aufsicht**
- 115 mm x 100 mm
- Ein- und Auslaß
- Innere Struktur zur Verbesserung der Kühlung

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



Untersuchung einer AlN-Kühldose (Leistungselektronik)

➤ Konstruktiver Aufbau der Kühldose



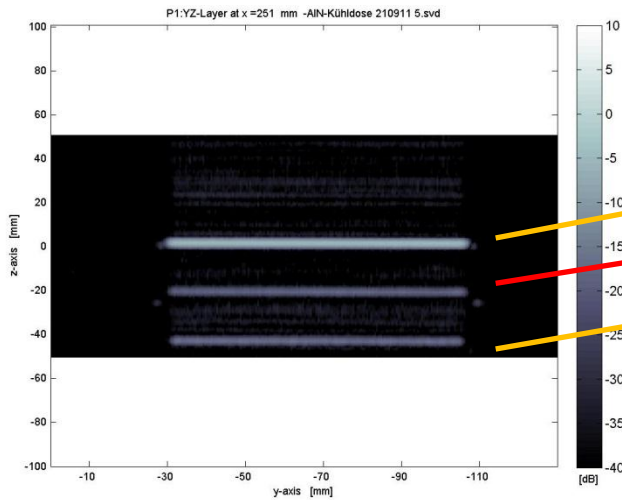
- **Material**
- AlN: Aluminiumnitrid
- Dichte: $3,26 \text{ g/cm}^3$
- Brechungsindex: 2,9
- Wärmeleitfähigkeit: $180\text{-}220 \text{ W/mK}$
- Schmelzpunkt: 2150°C



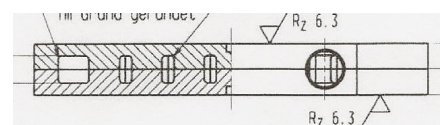
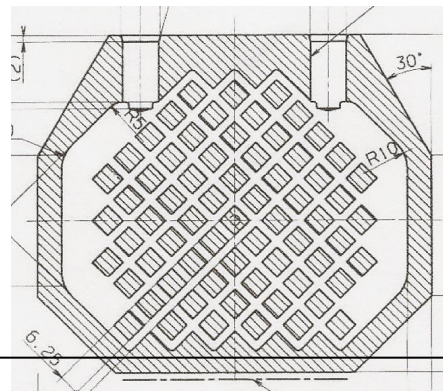


Untersuchung einer AlN-Kühl-dose (Leistungselektronik)

B-Scan entlang der Linie A-B



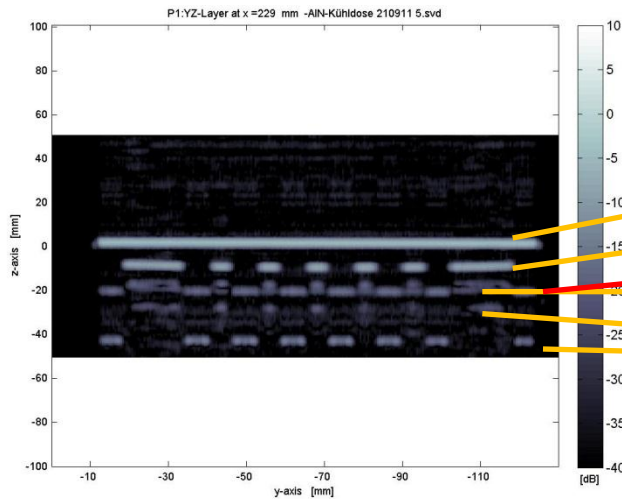
- **0.3 THz Messung**
- 3 Grenzflächen
- Oberseite (außen)
- Lotfläche
- Unterseite (außen)



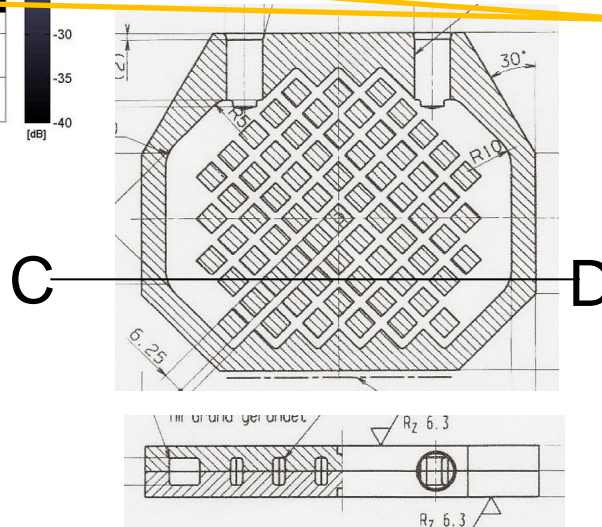


Untersuchung einer AlN-Kühl-dose (Leistungselektronik)

B-Scan entlang der Linie C-D



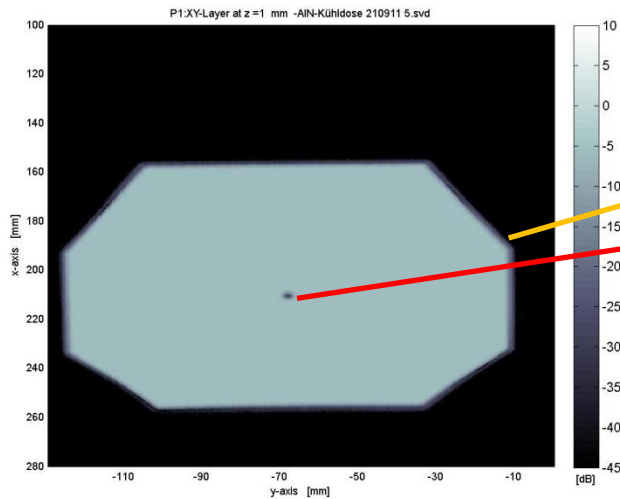
- 0.3 THz Messung
- 5 Grenzflächen
- Oberseite (außen)
- Oberseite (innen)
- Lotfläche
- Unterseite (innen)
- Unterseite (außen)



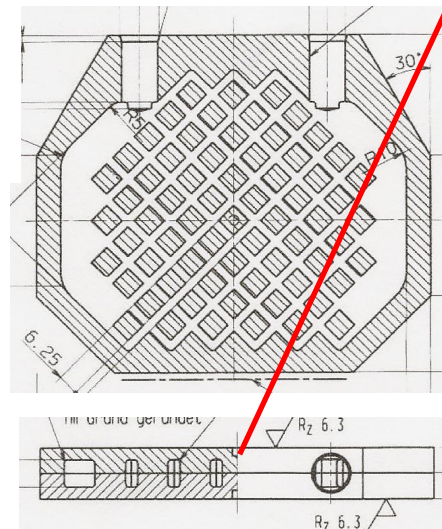


Untersuchung einer AlN-Kühl-dose (Leistungselektronik)

➔ C-Scan, Laufzeitschicht Oberseite (außen)



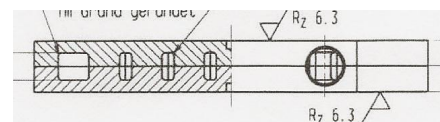
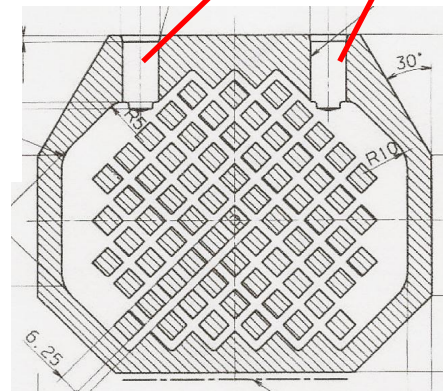
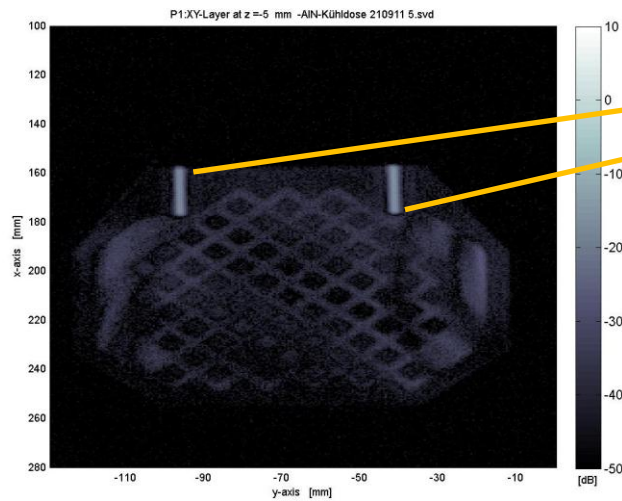
- **0.3 THz Messung**
- Laufzeitschicht Oberseite
- Zentrale Senkung, Durchmesser 3 mm





Untersuchung einer AlN-Kühl-dose (Leistungselektronik)

C-Scan, Laufzeitschicht Ein- und Auslass

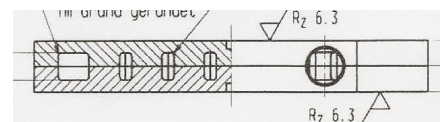
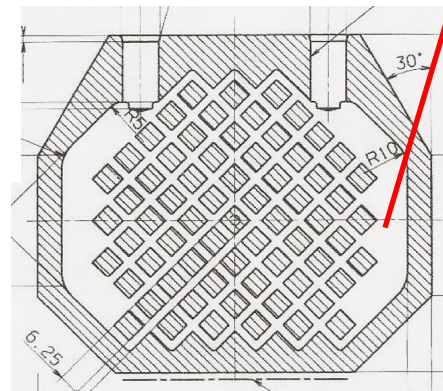
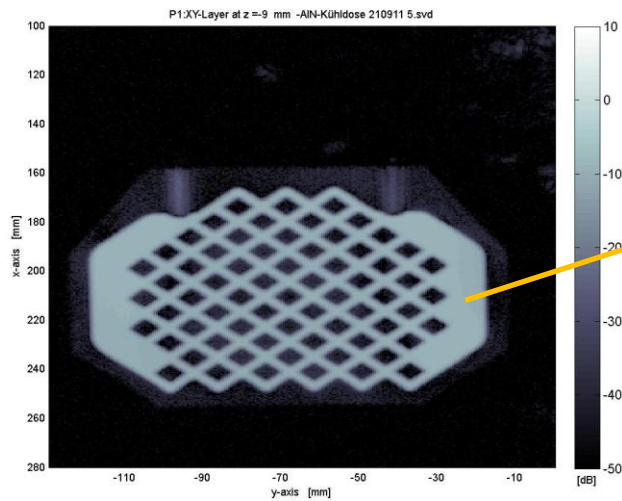


- **0.3 THz Messung**
- Ein- und Auslass
- Durchmesser wird nicht voll erfasst!



Untersuchung einer AlN-Kühldose (Leistungselektronik)

➔ C-Scan, Laufzeitschicht Oberseite (innen)

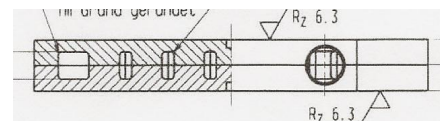
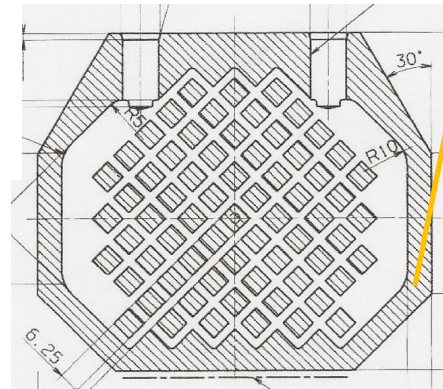
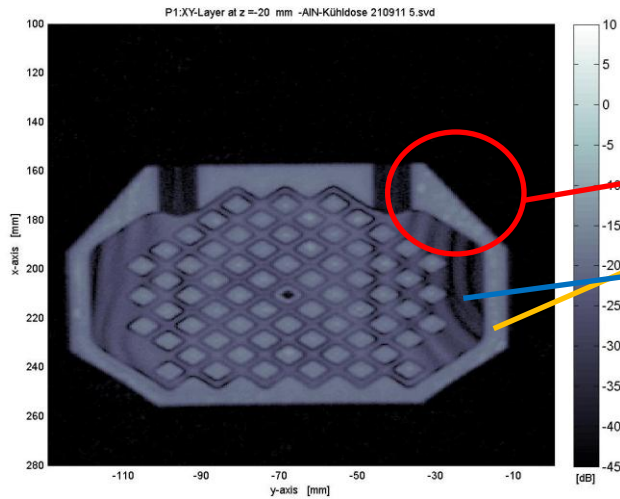


- 0.3 THz Messung
- Oberseite (innen)



Untersuchung einer AlN-Kühl-dose (Leistungselektronik)

C-Scan, Laufzeitschicht Lotebene

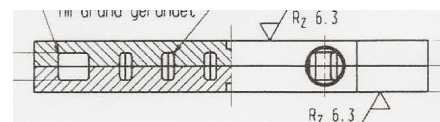
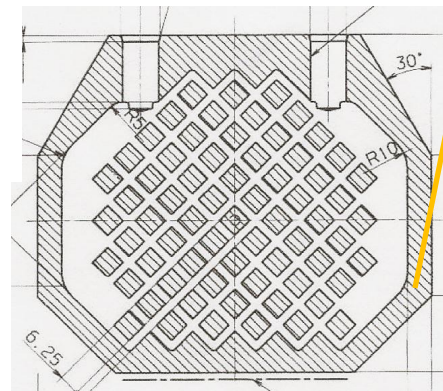
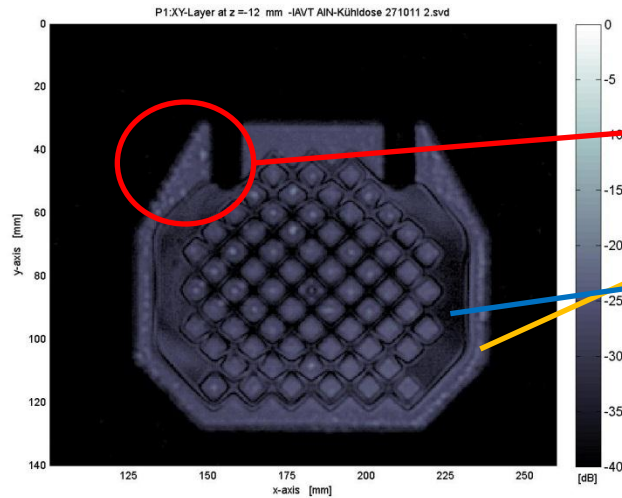


- 0.3 THz Messung
- Lotebene
- Poren in der Lotebene
- Wellenartige Struktur (Artefakt)



Untersuchung einer AlN-Kühl-dose (Leistungselektronik)

C-Scan, Laufzeitschicht Lotebene, optimiert

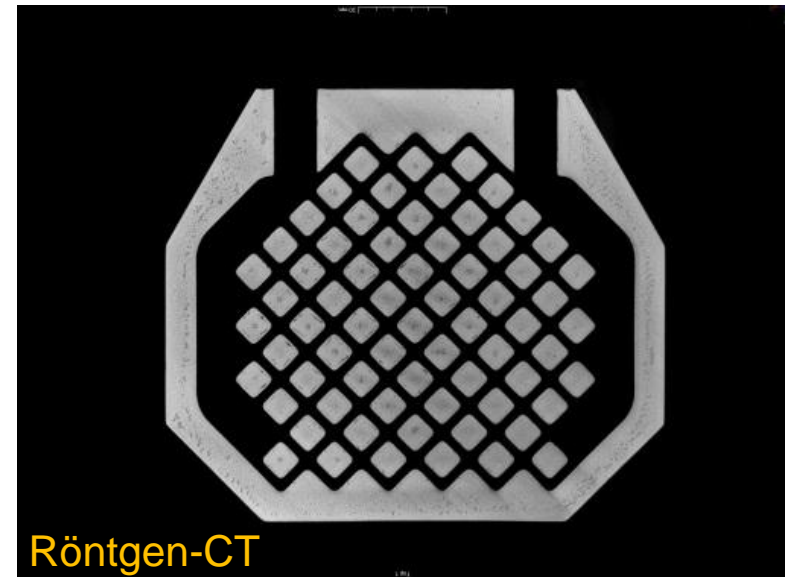
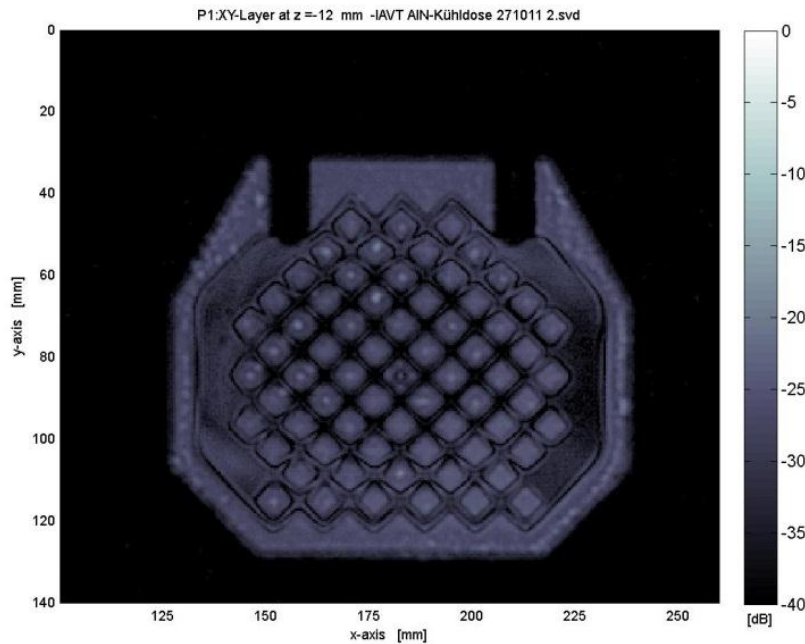


- 0.3 THz Messung
- Lotebene
- Poren in der Lotebene
- Wellenartige Struktur stark reduziert



Untersuchung einer AlN-Kühl-dose (Leistungselektronik)

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



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



Das Potential der vollelektronischen 3D-THz-Bildgebung

➔ Höhere Frequenzen (höhere Auflösung): Hohe Kosten + die Absorption von Kunststoffen steigt zwischen 0.1 THz und 1 THz i. A. sehr stark an
Potential: →

➔ THz-Computertomographie: Kombination von Brechungsindex und Absorption und Ausnutzung der Tiefenauflösung von $< 50 \mu\text{m}$
Potential: →

➔ **Erhöhung der Bandbreite** (höhere Tiefenschärfe)
Potential: ↑

➔ **Phased-Array-Systeme** bieten schnellere Inspektion mit höherer Qualität (siehe Ultraschall)
Potential: ↑

➔ **Portable 3D-THz-Bildgebungssysteme** / automatisierte Lösungen (z.B. Roboter)
Potential: ↑





• System mit 100/300GHz Simultanmessung



- „SynviewCompact“
- 100/300 GHz simultan (dual energy)
- 200 mm x 300 mm Scanbereich
- **mobil einsetzbar**
- einfache Einstellung der Fokusebene
- **WELTNEUHEIT:**
Messe CONTROL,
Halle 7, Stand 7210





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