

Mikrowellen- und Terahertz-Prüfung – Grundlagen und ausgewählte Anwendungen

Johann H. HINKEN¹, Stefan BECKER²

¹ FI Test und Messtechnik GmbH

² Becker Photonik GmbH, Porta Westfalica

Kontakt E-Mail: johann.hinken@fitm.de

Kurzfassung

Elektromagnetische Wellen mit Frequenzen zwischen 300 MHz und 300 GHz werden Mikrowellen genannt, der Übergangsbereich ins Ferne Infrarot auch THz-Bereich. Sie sind nicht-ionisierend und damit im Gegensatz zur Röntgenstrahlung ungefährlich. In dielektrischen, d. h. elektrisch isolierenden Materialien weisen sie an Unregelmäßigkeiten Reflexionen auf, die die Mikrowellen- und THz (MTHz)-Prüfung zur Defekterkennung nutzt. Erkannt werden Unregelmäßigkeiten, die mit Änderungen der Permittivität (Dielektrizitätskonstante) bzw. Brechzahl einhergehen.

Mit MTHz sind sämtliche dielektrischen Materialien prüfbar, z.B. Kunststoffe, glasfaserverstärkte Kunststoffe, Schäume, Holz, WPC, naturfaserverstärkte Kunststoffe, Elastomere wie z.B. EPDM, Keramik. Auch Lamine, ggf. in Kombination mit Waben sind prüfbar. Die Geräte im unteren MTHz-Bereich ähneln in ihrer Anwendung Wirbelstromgeräten während im THz-Bereich auch lasergestützte Verfahren eingesetzt werden. Einfache Handgeräte bis hin zu ortsfesten Prüfeinrichtungen sind verfügbar.

Zur Defekterkennung werden meist lokale und scannende Reflexionsverfahren verwendet mit Ergebnisdarstellungen als D-Bild, C-Bild oder B-Bild mit Tiefenlagenerkennung. Auch scannende Transmissionsverfahren werden eingesetzt, z.T. mit Sondenarrays. In der Entwicklung befindet sich auch das röntgenähnliche, direkt bildgebende Durchstrahlungsverfahren NIDIT.

Für die MTHz-Prüfung wird kein Koppelmittel benötigt. Farb- und Gelcoatschichten sind kein Prüfhindernis. Sie ist in der Fertigung und in der Wartung einsetzbar.

MTHz-Verfahren eignen sich auch zur Schicht- und Waddickenmessung, zur Messung von Materialeigenschaften und zur Zustandsüberwachung. Insbesondere ist auch ein Nachweis von Feuchtigkeit in Schaum-Sandwichbauteilen möglich. Erste Ergebnisse zur Bewertung von Fügeverbindungen liegen ebenfalls vor.

Weil der Prüfbedarf für dielektrische Materialien gestiegen und inzwischen Mikrowellentechnik in Konsumerprodukten enthalten und damit preiswerter geworden ist, wird zunehmend ZfP auch mit Mikrowellen durchgeführt. So wurde aufgrund der zunehmenden Bedeutung 2011 der Fachausschuss Mikrowellen- und Terahertzverfahren (FA MTHz) der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) gegründet. Normungsarbeiten sind in der Anfangsphase.



Mikrowellen- und Terahertz-Prüfung – Grundlagen und ausgewählte Anwendungen

Schwerpunkt: glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK)

Johann Hinken, FI Test- und Messtechnik GmbH (FIT-M), Magdeburg

Stefan Becker, Becker Photonik GmbH, Porta Westfalica

Fachausschuss Mikrowellen- und Terahertzverfahren der DGZfP

**10. Fachtagung ZfP im Eisenbahnwesen,
13. – 15. März 2018, Wittenberge**



1. Einleitung
2. Grundlagen MTHz
3. Anwendungen μ W
4. Anwendungen THz
5. Schluss

GFK und Prüfverfahren

Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK)

- Faser-Kunststoff-Verbund aus Harz und Glasfasern
- Leichtbau, mechanisch hoch beanspruchbar, korrosionsbeständig
- 2015: > 1.000.000 t GFK in EU hergestellt, kostengünstig
- Transportindustrie, Bauindustrie, Rotorblätter von WKA, ...
- elektrisch isolierend, uneinheitliches Material

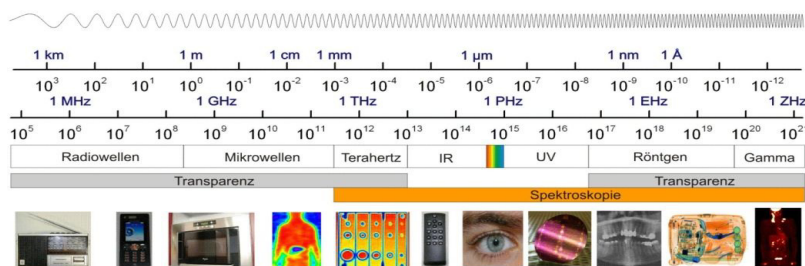
Zerstörungsfreie Prüfverfahren für GFK

- Ultraschallprüfung (UT): hohe Dämpfung, Koppelmittel
- Röntgen-Durchstrahlungsprüfung: Kontrast, Sicherheitsaufwand
- Thermographie: kleine Beobachtungstiefe
- Wirbelstromprüfung: entfällt, weil isolierend
- MTHz: kleinere Dämpfung als UT, große Beobachtungstiefe, kein Koppelmittel nötig



1. Einleitung
2. Grundlagen MTHz
3. Anwendungen μ W
4. Anwendungen THz
5. Schluss

Spektrum, physikalisches Prinzip



Quellen: Fraunhofer IPM (9), Smiths Detection (1), Forschungszentrum Rossendorf (1)

El.-Magn. Spektrum

Mikrowellen:

$$f = 300 \text{ MHz} \dots 300 \text{ GHz}$$

$$\lambda = 1 \text{ m} \dots 1 \text{ mm}$$

Terahertz (THz):

$$f \sim 100 \text{ GHz} \dots 10 \text{ THz}$$

$$\lambda \sim 3 \text{ mm} \dots 30 \mu\text{m}$$



örtlichen Unterschiede in der Dielektrizitätszahl ϵ_R
 ---> Brechung, ... wie in der Optik.
 Brechzahl => Dielektrizitätszahl (Permittivität)

$$\epsilon_R \text{ Vakuum, Luft} = 1$$

$$\epsilon_R \text{ Harz} \sim 2,7 \dots 3,9$$

$$\epsilon_R \text{ Glas} \sim 6 \dots 7$$

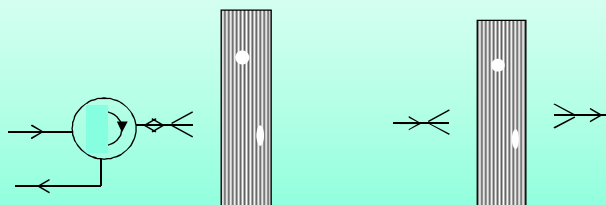
$$\epsilon_R \text{ GFK} \sim 4 \dots 5$$



1. Einleitung
2. Grundlagen MTHz
3. Anwendungen μ W
4. Anwendungen THz
5. Schluss

Spektrum, physikalisches Prinzip

Zwei Prinzipien der ZfP mit MTHz sind möglich:



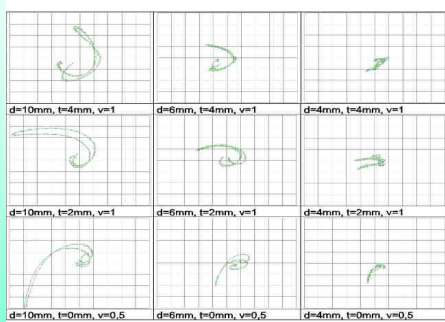
Reflexion und Transmission



1. Einleitung
2. Grundlagen
3. Anwendungen μ W
4. Anwendungen THz
5. Schluss

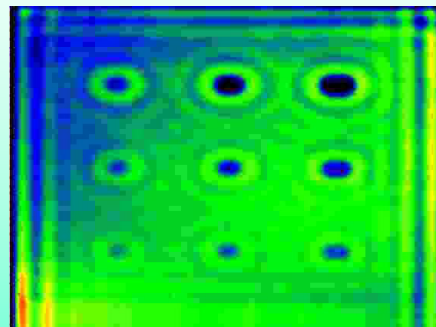
Reflexionsfaktor in kompl. Ebene, C-Scan

PP-Platte, 10mm dick, mit Flachbodenbohrungen (FBH): Durchmesser d , Restwandstärke t , Verstärkung v .



>>>

Darstellung nach Art eines C-Scans.



Darstellung des Reflexionsfaktors in komplexer Ebene, gemessen von verdeckter Seite.

Hier ist der y-Wert (Imaginärteil) des Reflexionsfaktors dargestellt.

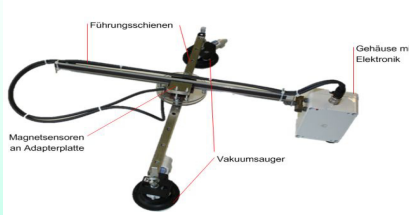


1. Einleitung
2. Grundlagen
3. Anwendungen μ W
4. Anwendungen THz
5. Schluss

Geräte für die Mikrowellenprüfung Typische Betriebsfrequenz 24 GHz



Handgerät zur Untersuchung auf Lunker, Fremdmaterial-einschlüsse und andere Defekte. Ähnlich wie Wirbelstromprüfgerät



Handscanner. Anwendungsbeispiel: GFK-Absorberturm einer Raffinerie



Prüfsystem für Laminat



Mikrowellentechnik hat Einzug in Konsumerprodukte gefunden.
↓
Mikrowellenprüftechnik ist preiswert.



1. Einleitung
2. Grundlagen
3. Anwendungen μW
4. Anwendungen THz
5. Schluss

Prüfsystem für GFK-Blattfedern



Mercedes Sprinter



Volkswagen Crafter

Mit GFK-Blattfedern an der Vorderachse



NIDIT: direkt bildgebendes Mikrowellenprüfverfahren

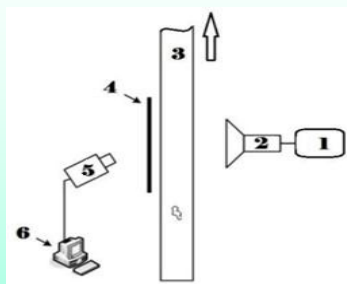
(Non-Ionizing Direct Imaging Testing)

röntgen-ähnlich, ungefährlich

1. Einleitung
2. Grundlagen
3. Anwendungen μW
4. Anwendungen THz
5. Schluss

NIDIT-Beispiel: Prüfung der

Hinterkantenverklebung eines WKA-Rotorblattes

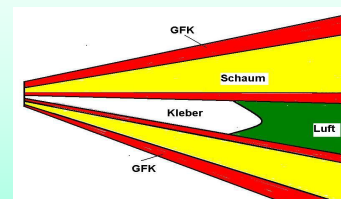


Prinzipieller NIDIT-Prüfaufbau

- 1 Mikrowellenquelle (24 GHz)
- 2 Antenne
- 3 Prüfobjekt
- 4 μW -absorbierende Folie
- 5 Wärmebildkamera
- 6 Computer mit Monitor



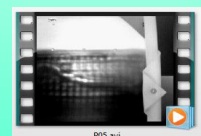
Windkraftanlagen



Hinterkante Rotorblatt



Foto Prüfaufbau im Labor

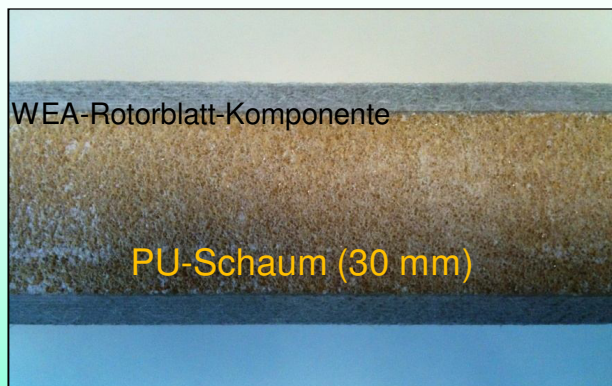
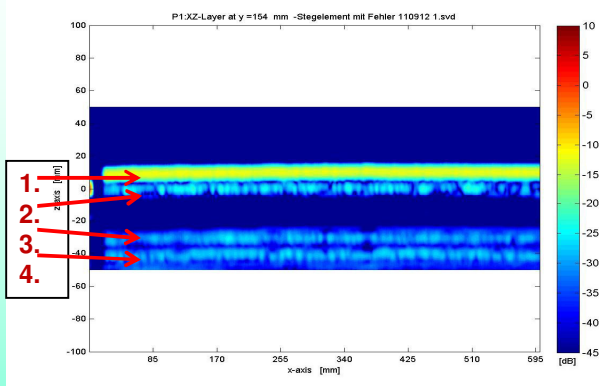


Video



1. Einleitung
2. Grundlagen
3. Anwendungen μW
4. **Anwendungen THz**
5. Schluss

GFK-Sandwichbauteil, 0.1 THz, B-Scan



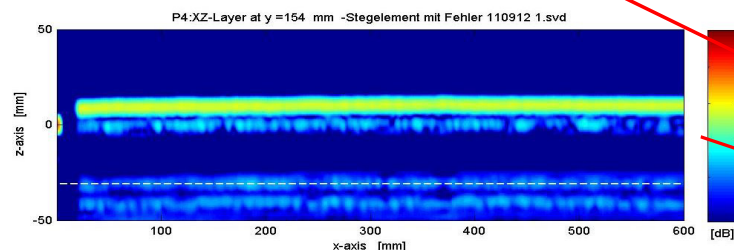
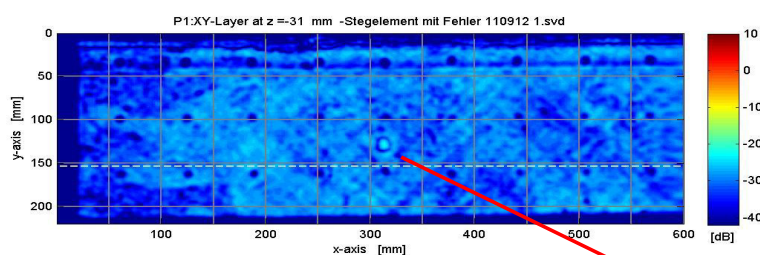
Signale von 4 Grenzflächen:

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



1. Einleitung
2. Grundlagen
3. Anwendungen μW
4. **Anwendungen THz**
5. Schluss

D-Scan (100 GHz) Messung von der Oberseite



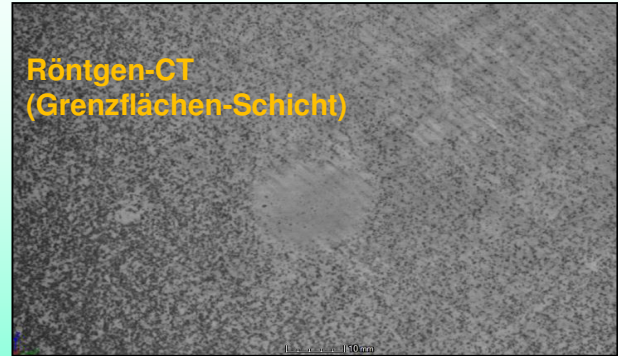
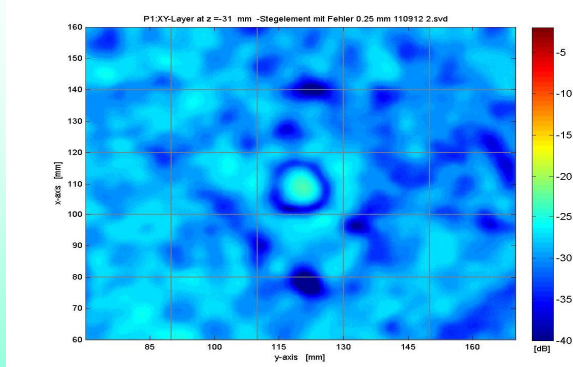
- WEA-Rotorblatt-Komponente
- 600 mm x 250 mm Scan
- Schicht ca. **35 mm** unter d. Oberfläche (Grenzfläche Schaum-GFK)
- Benetzungsfehler: \varnothing ca. 20 mm
- **B-Scan**
- Profilposition siehe Linie oben



1. Einleitung
2. Grundlagen
3. Anwendungen μ W
4. **Anwendungen THz**
5. Schluss

D-Scan (100 GHz)

Messung von der Oberseite



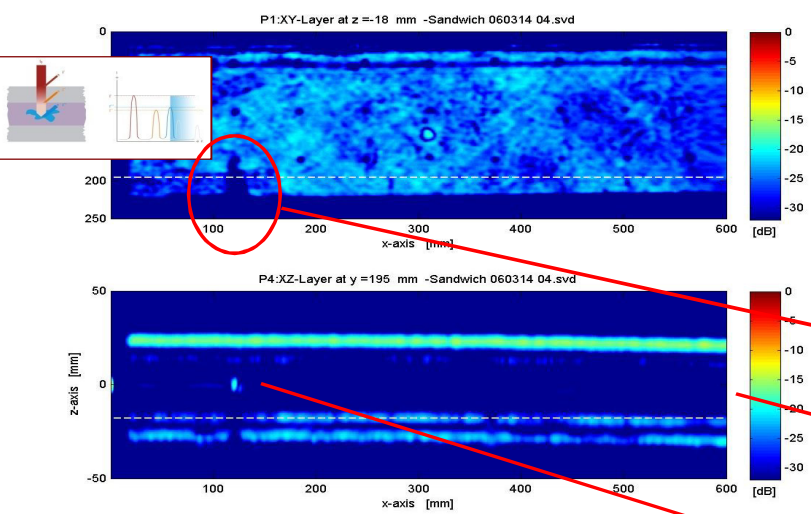
Vergrößerung des Benetzungsfehlers
 Ein Vergleich mit der entsprechenden Grenzflächenschicht einer hochauflösenden Röntgen-CT zeigt Übereinstimmung bzgl. Position und Größe des Benetzungsfehlers.



1. Einleitung
2. Grundlagen
3. Anwendungen μ W
4. **Anwendungen THz**
5. Schluss

D-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)
- "Schatten" der Feuchtigkeit

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



1. Einleitung
2. Grundlagen
3. Anwendungen μ W
4. Anwendungen THz
5. **Schluss**

Mikrowellen- und Terahertz-Prüfung

Vorteile: Im Gegensatz zu UT kein Koppelmedium nötig
Im Gegensatz zu Röntgen keine Sicherheitsmaßnahmen nötig
Berührungslos möglich, große Beobachtungstiefe
Gut automatisierbar
Bei Transmission sogar unmittelbar bildgebend möglich (NIDIT)
Bei prozesswarmen Kunststoffbauteilen einsetzbar
Bei porösen Bauteilen einsetzbar
Bei Schaum-Sandwichbauteilen einsetzbar

Nachteile: Nur bei Isolierstoffen einsetzbar
Nicht bei CFK einsetzbar

Kontakt: Johann Hinken
FI Test- und Messtechnik GmbH
Breitscheidstrasse 17
D-39114 Magdeburg, Germany

Tel.: +49 391 503894-30
Mobil.: +49 171 2053208
Email: johann.hinken@fitm.de
www.fitm.de

