

# Einführung in die Mikrowellenprüftechnik

Johann H. HINKEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FI Test und Messtechnik GmbH, Magdeburg

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

## Kurzfassung

Die Mikrowellenprüftechnik zielt primär auf die Erkennung von Defekten unter der Oberfläche von Bauteilen aus elektrisch isolierenden Materialien ab. Dazu gehören u.a. schalldämpfende Kunststoffe wie PTFE, glasfaserverstärkte Kunststoffe wie GFK sowie Schäume. Bauteile aus diesen Materialien können mit Mikrowellen zerstörungsfrei auf Porositäten, Lunker, Risse, z. T. Delaminationen, Fremdmaterialeinschlüsse, fehlerhafte Klebung und Stoßschäden untersucht werden.

Unter Mikrowellen versteht man elektromagnetische Wellen mit Frequenzen von 300 MHz bis 300 GHz. Bei der Mikrowellenprüfung werden primär Unterschiede in der Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  des Grundmaterials und der zu erkennenden Defekte erkannt. Wie in der Optik treten Erscheinungen wie Brechung, Beugung und Reflexion auf. Andererseits wird die Prüfung ganz ähnlich wie die Wirbelstromprüfung durchgeführt und ausgewertet.

Es werden die technischen Grundlagen der Mikrowellenprüfung erläutert und Anwendungsbeispiele aus dem Labor und der industriellen Praxis gegeben. Das scannende und das direkt bildgebende Verfahren NIDIT werden gezeigt.

Neben der „Defektoskopie“ wird auch die zerstörungsfreie Mikrowellenmesstechnik für Lackdicken auf CFK kurz erläutert.

Die Hauptvorteile der Mikrowellenprüftechnik sind

- gegenüber der Ultraschallprüftechnik: Es ist kein Koppelmedium nötig.
- gegenüber der Röntgentechnik: Es werden nur kleine Leistungen verwendet; deshalb sind keine besonderen Sicherheitsmaßnahmen erforderlich.

## Einführung in die Mikrowellenprüftechnik



Johann Hinken  
FI Test- und Messtechnik GmbH, Magdeburg

3. Fachseminar des FA MTHz der DGZfP  
Mikrowellen- und Terahertz-Prüftechnik in der Praxis  
5. April 2017, Fraunhofer ISC, Würzburg

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

### Mikrowellen-Prüfung zielt primär ab auf



- **die Erkennung von Defekten unter der Oberfläche von Bauteilen aus elektrisch isolierenden Materialien, dazu gehören**
- Schalldämpfende Kunststoffe wie
  - PTFE (Teflon) 
  - Glasfaserverstärkte Kunststoffe GFK, Aramidfaser... 
  - Schäume
- Auch Keramik, Glas, Holz, naturfaserverstärkte Kunststoffe, WPC
- Große Wandstärken, dicke Bauteile
- Porositäten, Lunker, Risse, z. T. Delaminationen, Fremdmaterialeinschlüsse, fehlerhafte Klebung, Stoßschäden, usw.
- Auch für Bestimmung von Materialeigenschaften: Harzmangel/-überschuss, Fasergehaltsschwankungen, Faserfehlorientierung

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss



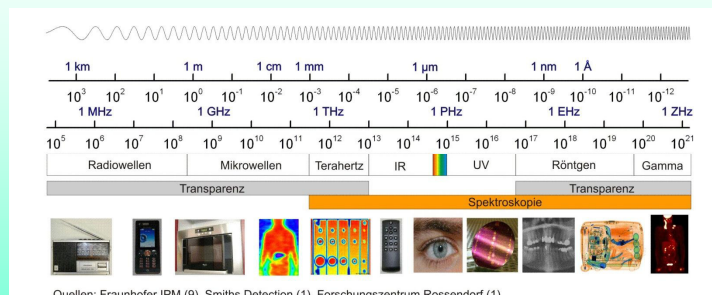
## Beispiel GFK: geeignet erscheinende herkömmliche Verfahren

- Ultraschall: Dämpfung durch Streuung an Faser-Matrix-Übergängen: „körnige“ Struktur, Rayleigh-Streuung – Koppelmittel erforderlich
- Röntgen-CT: kostspielig, Schwächungswerte zwischen Grundwerkstoff GFK und Fehlern (zumeist Luft) zu gering.
- Verbesserungspotential durch Mikrowellen:
  - Gegenüber U.S.: kleinere Streudämpfung wegen größerer Wellenlänge (Dämpfung durch Rayleigh-Streuung prop.  $1/\lambda^4$ ) > größere Beobachtungstiefe, kein Koppelmittel
  - Gegenüber Röntgen-CT: vor allem preiswerter, weil keine Sicherheitsrisiken

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss



## Grundlagen der der Mikrowellenprüfung: Spektrum der elektromagnetischen Wellen



Mikrowellen: 300 MHz ... 300 GHz.

Terahertz (THz): > 300 GHz, Teil des Infrarot(IR)-Bereichs.

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

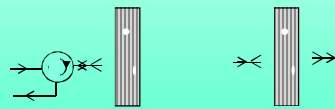
## Grundlagen der Mikrowellenprüfung:



Es werden die örtlichen Unterschiede in der Dielektrizitätszahl  $\epsilon_R$  des transparenten Materials genutzt.

---> Brechung, Beugung und Reflexion, wie in der Optik.

zwei Prinzipien sind möglich:



Reflexion und Transmission

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

## Grundlagen der Mikrowellenprüfung:



### Handgerät FMH1

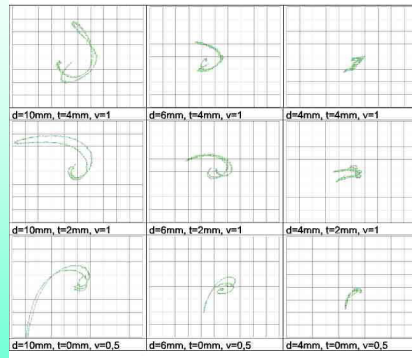


1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss



## Grundlagen der Mikrowellenprüfung:

Die Anzeigen enthalten Informationen zu Defektgröße und Tiefenlage.



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

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

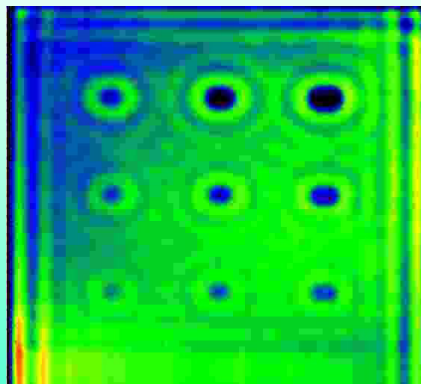
J. H. Hinken und D. Beilken: Mikrowellen-Defektoskopie mit erweitertem Wirbelstromprüfsystem. Magdeburg, 2005

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss



## Grundlagen der Mikrowellenprüfung:

Darstellung nach Art eines C-Scans. Die Farben sind entweder dem x-Wert, dem y-Wert, dem Winkel oder Weite der Auslenkung vom Nullpunkt zugeordnet.



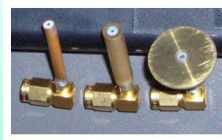
**PP-Platte, 10mm dick, mit Flachbodenbohrungen**

Von oben nach unten:  
Durchm. d=10, 6, und 4mm  
Von links nach rechts:  
Überdeckung t=4, 2, and 0 mm

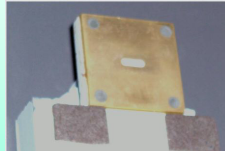
**Dargestellt ist der y-Wert (Imaginärteil) des Reflexionsfaktors.**

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

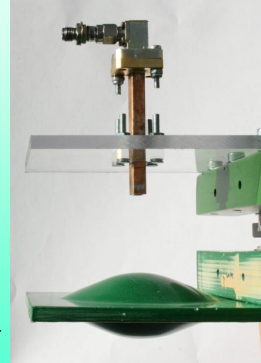
## Grundlagen der Mikrowellenprüfung: Sonden = Antennen



Koaxialsonde für höhere Ortsauflösung



Hohlleitersonde mit Blende für größere Beobachtungstiefen



Offener Hohlleiter und Linse für Beobachtungstiefen bis 60 mm

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

## Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung:



### Handgerät FMH1

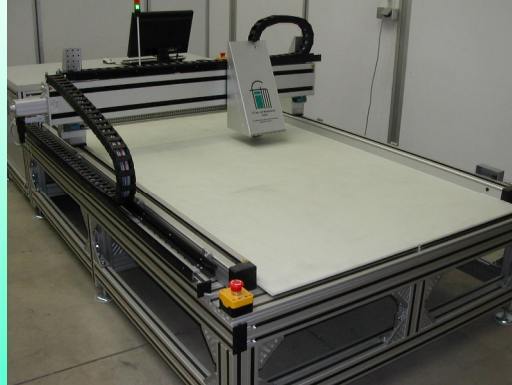


**Vorschaltgerät FVG:** spezielle Ausführungsform des FMH1 mit Anschluss an Wirbelstrompuffergerät.

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss



## Mikrowellenprüfsystem für Verbundplatten



1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss



## ZfP von FVK Beispiel: GfK-Blattfeder



Mercedes Sprinter



Volkswagen Crafter

Mit GfK-Blattfedern an der Vorderachse



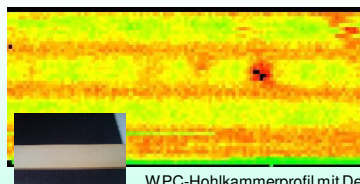


1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

## Handscanner



Aufbau des Handscanners. Drahtlose Verbindung zu Laptop als Bedienkonsole.



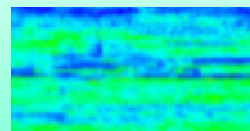
WPC-Hohlkammerprofil mit Defekten. Von außen, siehe eingesetztes Foto, sind diese Defekte visuell nicht erkennbar.



GFK-Absorberturm einer Raffinerie



Handscanner im Einsatz zur Untersuchung von Lecks



Anzeige des Handscanners: dunkelblaue Bereiche deuten auf Flüssigkeitsverteilung in der GFK-Wand hin

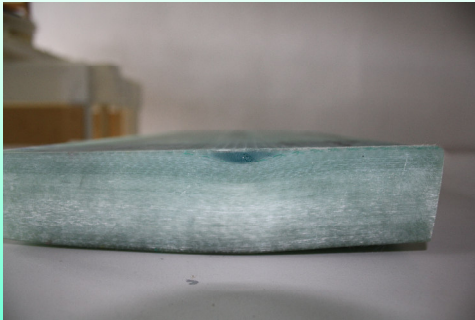


1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

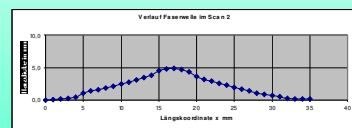


## Mikrowellenprüfung: Messung der Ortsabhängigkeit der Harzschichtdicke im Bereich einer Faserwelle

Foto eines Querschnitts



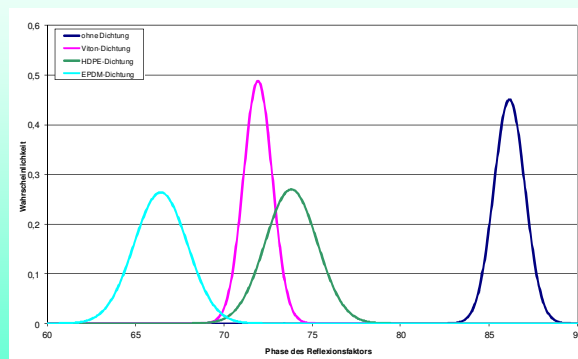
Harzdickenprofil einer verdeckten Faserwelle



1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss



## Kugelhahn-Ventil: Mikrowellenprüfung auf „Dichtung vorhanden/ nicht vorhanden“

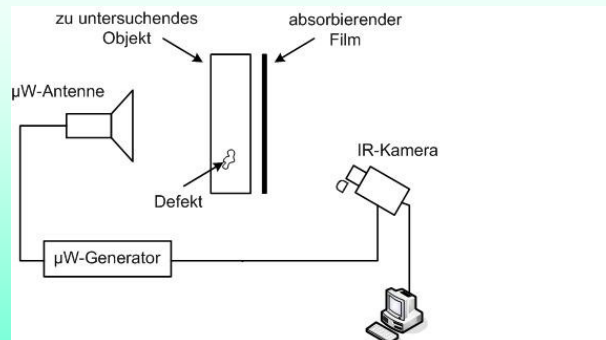


1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss



## NIDIT-Verfahren zur unmittelbar bildgebenden Mikrowellenprüfung

(NIDIT: non-ionizing direct imaging testing)

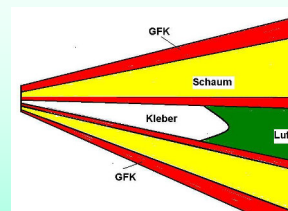
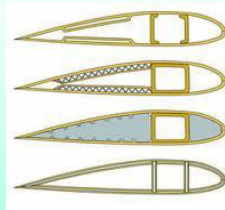


Prinzipielle Anordnung

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss



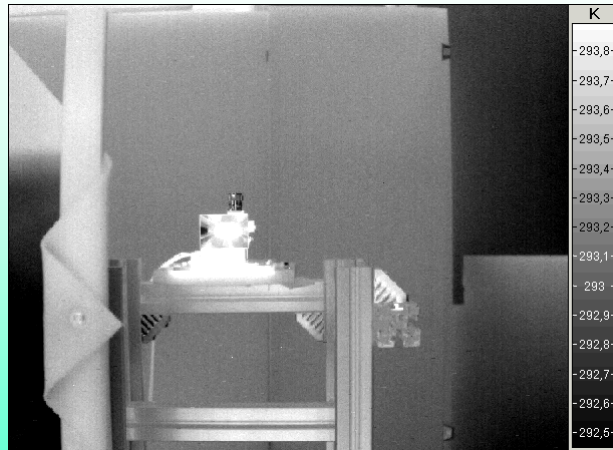
## Beispiel Rotorblatt von Windkraftanlage



Verbünde aus unterschiedlichen isolierenden Materialien,  
hier GFK, Schaum, Kleber, Luft.  
Prüfung u.a. auf Verklebungsfehler

Es folgt:  
EMIR-Aufnahme einer Kante,  
etwa 20 cm dicker Sandwich  
aus GFK, Schaum, Kleber und  
Luft

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss



Siehe auch Vortrag 7 „Direkt bildgebende Mikrowellenprüfung von WPC-Dielen“ in diesem Seminar.

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

## QPS100 Quick Personnel Security Scanner

- 70 bis 80 GHz: Mikrowellenprüftechnik
- Für Details siehe Beitrag 3 dieses Fachseminars:  
A. Karamalis, C. Evers, Rohde & Schwarz,  
München, Automatische Erkennung von  
Objekten in 3D-Millimeterwellen-Bilddaten  
für den QPS Sicherheitsscanner

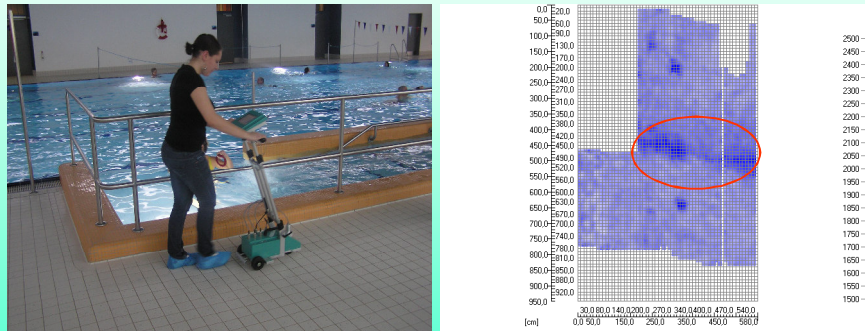


## MOIST SCAN - Applikationen



### Anwendung Schwimmhallen

Leckagen und Undichtigkeiten in Schwimmhallen und ähnlichen Bauwerken können mit der systematischen Aufnahme von **Feuchteverteilungen** schnell und einfach identifiziert und beurteilt werden. Mit MOIST SCAN ist dies auch im laufenden Betrieb möglich.



## hf sensor GmbH - Firmenpräsentation

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

## FSC1 Messgerät für Lackdicken auf Carbon-Compositen (CFK)



Flugzeuge mit vorwiegend aus CFK bestehendem Rumpf:  
leicht, treibstoffsparend, umweltfreundlich



Boeing B787: 1202 Bestellungen  
512 Auslieferungen



Airbus A350: 821 Bestellungen  
65 Auslieferungen

Die Lackdicke auf CFK ist zu messen, denn

1. wenn Lack zu dick > Flugzeug zu schwer > weniger Passagiere > weniger Einnahmen
2. wenn Lack zu dünn > Korrosionsschutz fehlt
3. wenn Lack zu dick > Tendenz zum Abbröckeln > frühzeitige Neulackierung > Kosten

**DIE LACKDICKE IST ZERSTÖRUNGSFREI ZU MESSEN !!**

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

## FSC1 zur zerstörungsfreien Messung der Lackdicke auf CFK



Handmodul



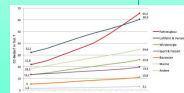
Transportkoffer mit Bedien- und Anzeigemodul, Handmodul und weiterem Zubehör

1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

## FSC1 Messgerät für Lackdicken auf Carbon-Compositen (CFK)



- **Airbus:** Anregung zu Geräteentwicklung. Qualifizierung des FSC1
- **Boeing:** FSC1:
  - in Fertigungsanweisung B787
  - in "Boeing 787 Structural Repair Manual"
  - Boeing 737: Von 1967 bis Oktober 2014 wurden 13.795 bestellt, davon 9.365 ausgeliefert. > Potential für Umlackierung und Balancierung mit FSC1
  - Zukünftig auch CFK-Flügel der neuen B777
- Bedarf von Carbon Compositen in Luftfahrt und Verteidigung:  
2014: 32,3 kt >>> 2021: 60,3 kt (Composites, Carbon (2015); Composites - Marktbericht 2015, S. 30)
- **Automobilbereich:** Einsatz steht noch bevor.



1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

## Mikrowellenprüfung: Defektoskopie



**Vorteile:** Im Gegensatz zu UT kein Koppelmittel nötig  
Im Gegensatz zu Röntgen usw. keine Sicherheitsmaßnahmen erforderlich  
Berührungslos möglich  
Große Beobachtungstiefe  
Gut automatisierbar  
Bei Transmission sogar unmittelbar bildgebend möglich (NIDIT)

**Nachteile:** Nur bei Isolierstoffen einsetzbar  
Nicht bei CFK einsetzbar

**Hauptanwendungen:**  
Bei Kunststoffen, GFK, Keramik, Glas, Holz,...  
Zur Erkennung von Fehlern wie Delaminationen, Fremdmaterialeinschlüsse, Stoßschäden usw.  
Zur Bestimmung von Schichtdicken, Faser/Matrixverhältnissen, Porigkeit usw.  
Feuchtigkeitsbestimmung  
Sicherheitsscanner

Unternehmen, Deutschland: Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG; FI Test- und Messtechnik GmbH;  
hf sensor GmbH. International: u.a. Evisive, Inc., USA. ; Satimo, Frankreich

<b>Kontakt:</b>	Johann Hinken FI Test- und Messtechnik GmbH Breitscheidstrasse 17 D-39114 Magdeburg, Germany	Tel.: +49 391 503894-30 Mobil.: +49 171 2053208 Email: <a href="mailto:johann.hinken@fitm.de">johann.hinken@fitm.de</a> <a href="http://www.fitm.de">www.fitm.de</a>
-----------------	---	---