



Einführung in die Mikrowellenprüftechnik

Johann H. HINKEN¹

¹ FI Test und Messtechnik GmbH, Magdeburg

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 ϵ_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. 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

2. Fachseminar
Mikrowellen- und Terahertz-Prüftechnik in der Praxis
11. März 2015, Fraunhofer IPM, Kaiserslautern

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

Mikrowellenp-Prüfung zielt primär ab auf

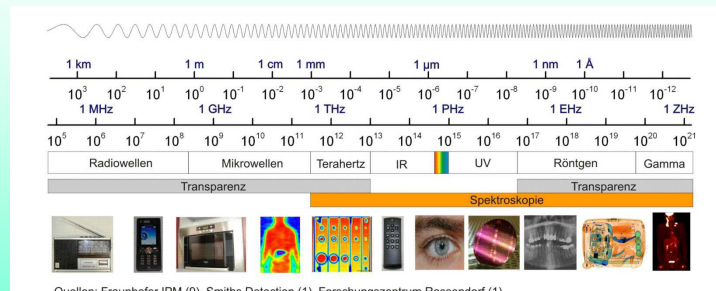


- **die Erkennung von Defekten unter der Oberfläche von Bauteilen aus elektrisch isolierenden Materialien, dazu gehören**
- Schalldämpfende Kunststoffe wie
 - PTFE (Teflon) 
 - Glasfaserverstärkte Kunststoffe GFK, Aramidfaser... 
 - Schäume
- Auch Keramik, Glas, Holz, naturfaserverstärkte Kunststoffe, 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

Beispiel GFK: geeignet erscheinende herkömmliche Verfahren

- Ultraschall: Dämpfung durch Streuung an Faser-Matrix-Übergängen: „körnige“ Struktur, Rayleigh-Streuung
- 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
 - Gegenüber Röntgen-CT: vor allem preiswerter, weil keine Sicherheitsrisiken

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

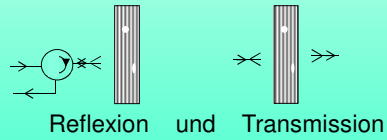
Grundlagen der Mikrowellenprüfung:



Es werden die örtlichen Unterschiede in der Dielektrizitätszahl ϵ_R des transparenten Materials genutzt.

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

zwei Prinzipien sind möglich:

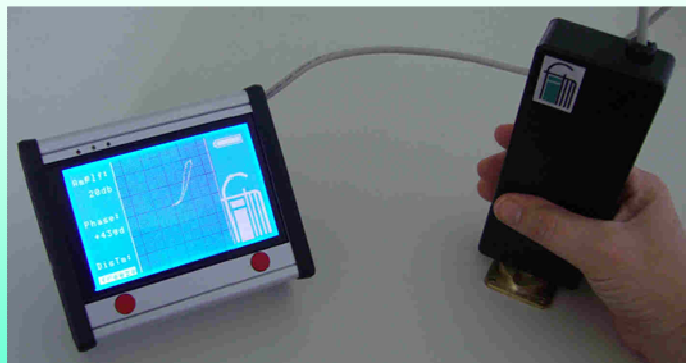


1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

Grundlagen der Mikrowellenprüfung:



Handgerät FMH1

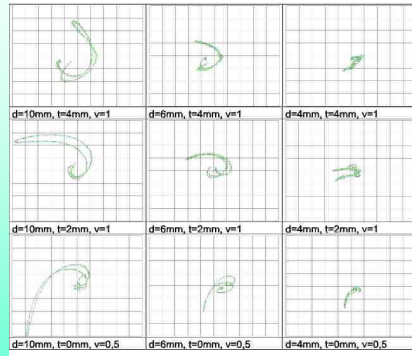


1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss



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 Wirbelstromprüfsystem¹⁾. Magdeburg, 2005

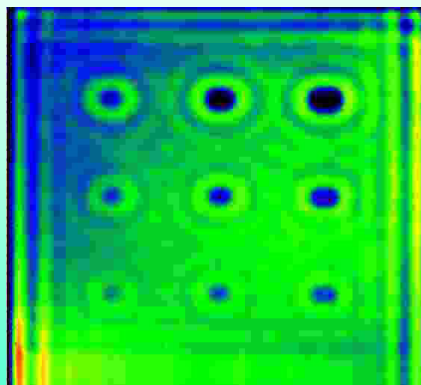
¹⁾ Vorschaltgerät zur Mikrowellenprüfung mit Wirbelstromprüfgerät. Siehe Beitrag 5 von G. Heichler in diesem Fachseminar.

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. $d=10, 6, \text{ und } 4\text{mm}$

Von links nach rechts:
Überdeckung $t=4, 2, \text{ and } 0\text{mm}$

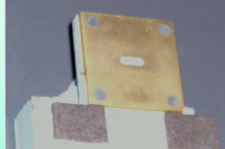
Dargestellt ist der y-Wert (Imaginärteil) des Reflexionsfaktors.

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

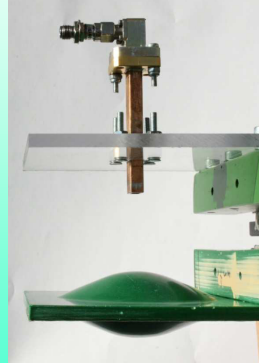
Grundlagen der Mikrowellenprüfung: Sonden = Antennen



Koaxialsonde für höhere Ortsauflösung



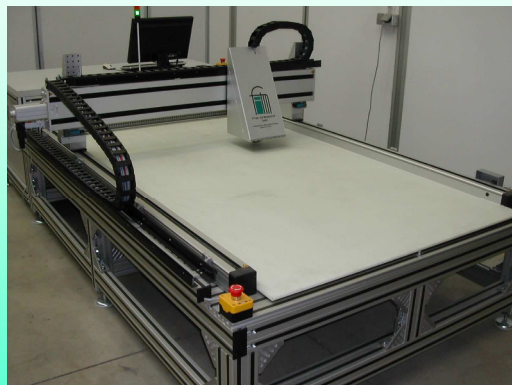
Hohlleitersonde mit Blende für größere Beobachtungstiefen



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

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

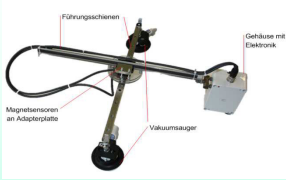
Mit GfK-Blattfedern an der Vorderachse



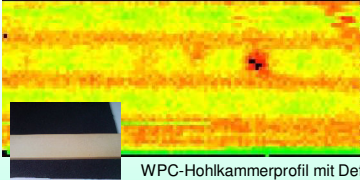
1. Einleitung
2. Grundlagen der Mikrowellenprüfung
3. Anwendungsbeispiele zur Mikrowellenprüfung
4. Lackdickenmessung mit Mikrowellen
5. Schluss

FI Test- und Messtechnik GmbH


Handscanner




Aufbau des Handscanners. Drahtlose Verbindung zu Laptop als Bedienkonsole.



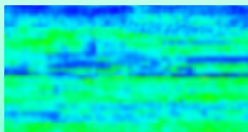
WPC-Hohlkammerprofil mit Defekten. Von außen, siehe eingesetztes Foto, sind diese Defekte visuell nicht erkennbar.



GFK-Absorberturm einer Raffinerie



Handscanner im Einsatz zur Untersuchung von Lecks



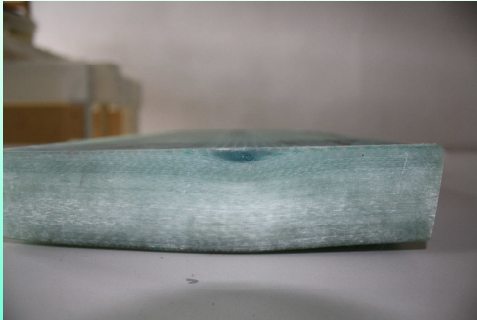
Anzeige des Handscanners: dunkelblaue Bereiche deuten auf Flüssigkeitsverteilung in der GFK-Wand hin

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

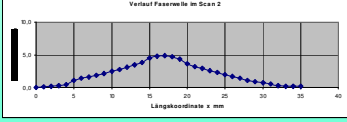
FI Test- und Messtechnik GmbH

Mikrowellenprüfung: Messung der Ortsabhängigkeit der Harzsichtdicke im Bereich einer Faserwelle

Foto eines Querschnitts



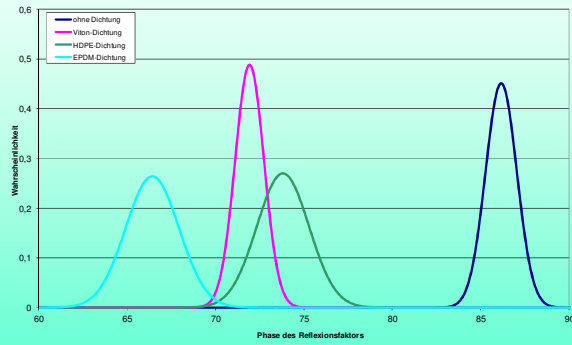
Harzdickenprofil einer verdeckten Faserwelle



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



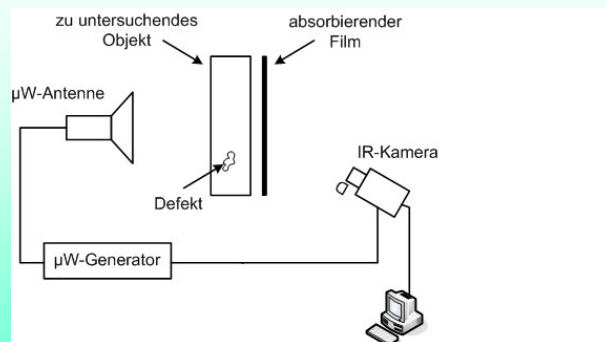
Kugelhahn-Ventil: Mikrowellenprüfung auf „Dichtung vorhanden/ nicht vorhanden“



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



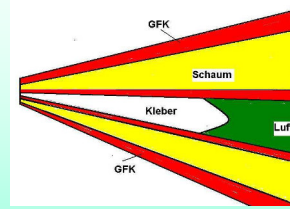
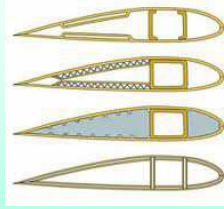
EMIR-Verfahren zur unmittelbar bildgebenden Mikrowellenprüfung



Prinzipielle Anordnung

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

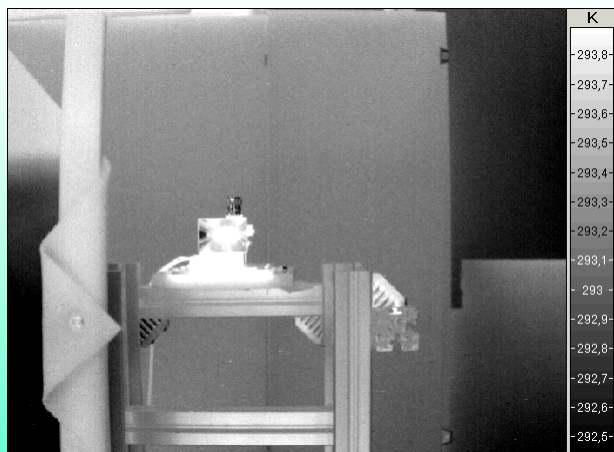
Beispiel Rotorblatt von Windkraftanlage



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



P05

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



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: 1054 (193) Bestellungen



Airbus A350: 750 Bestellungen

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

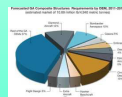
Zu Technikdetails und zur Anwendung bei der Neulackierung einer Boeing 737 siehe Beitrag 4 in diesem Fachseminar.

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: "Approved by Boeing", aufgenommen in das „Boeing 787 Structural Repair Manual“
- **Boeing 737:** Von 1967 bis Oktober 2014 wurden 12.300 bestellt, davon 8.263 ausgeliefert. > Potential für Umlackierung und Balancierung mit FSC1
- **Visiongain:** "The value of the global aerospace composites market in 2014 will reach \$10.3Bn".
- **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 (EMIR)

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,
 Unternehmen, international: u.a. Evisive, Inc., USA. ; Satimo, Frankreich

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

Schluss



Ist die Mikrowellenprüftechnik eine neue Modeerscheinung?

Wikipedia: ...Moden sind Momentaufnahmen eines Prozesses kontinuierlichen Wandels. Mit Moden werden also in der Regel eher kurzfristige Äußerungen des Zeitgeistes assoziiert. Vergleichsweise längerfristige Äußerungen des Zeitgeistes, die sich über mehrere Modewellen hinweg in positiver Bewertung halten können, gelten nicht als Mode, sondern als Klassiker....

Neu ? Im Vergleich zu einigen anderen, etablierten Prüftechniken: Ja

Mode ? Im obigen Sinne: ja. Ob daraus ein Klassiker wird, ist abzuwarten. Das Potential in der Mikrowellenprüftechnik ist vorhanden.

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