

Wanddickenmessung von GFK-Rohren mit Mikrowellen

Johann HINKEN¹, Stefan BECKER²

¹ fitm Hinken Consult, Magdeburg

² Becker Photonik GmbH, Porta Westfalica

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

Kurzfassung

Zum Transport aggressiver Flüssigkeiten werden in Chemie- und Kraftwerksanlagen oft unempfindliche GFK-Rohre, häufig ungleichmäßig von Hand gewickelt, verwendet. Trotzdem kann sich die Wanddicke im Laufe der Zeit durch chemische oder abrasive Angriffe vermindern. Regelmäßige, zerstörungsfreie Wanddickenmessungen sind erforderlich, trotz ihres sehr hohen Sicherheitsaufwandes oft mit Röntgenprüfung. Denn die Ultraschallprüfung erweist sich als unzuverlässig. Die mm-Wellenprüfung wäre hierfür technisch gut geeignet, siehe Beitrag S. Becker: "Millimeterwellen lösen ein Problem bei der Dickenprüfung von GFK mit Ultraschall" in dieser Konferenz. Jedoch sind dafür die Gerätekosten hoch, und ein Verfahren mit funktechnischer Allgemeinzulassung ist unerlässlich. – Eine ISM-Frequenz im cm-Wellenbereich mit preiswerter Konsumertechnik (WLAN, Bluetooth) bietet sich an. – In diesem Beitrag wird ein Verfahren zur Messung von GFK-Rohrwanddicken bei $f=5,8$ GHz (Wellenlänge = 5,2 cm) beschrieben. Die Grundlagen sind von J.H. Hinken et. al. im Poster P9 der DGZfP Jahrestagung 2018 an Beispielen mit einheitlichen Rohrmaterialien (Permittivität aus Datenblatt) beschrieben. Es wird der Reflexionsfaktor r einer auf das Rohr aufgesetzten Mikrowellensonde gemessen. In Abhängigkeit von der Wanddicke durchläuft r eine Spirale in der komplexen Ebene. Bei der Auswertung der Messungen ist die Kenntnis der Permittivität des Wandmaterials nötig. – Bei GFK kann dieser Wert sehr unterschiedlich sein, mit Schwankungen von Rohr zu Rohr oder auch von Stelle zu Stelle eines Rohres. Das hier vorgestellte Verfahren zur Wanddickenmessung von GFK-Rohren ist daher zweiteilig: Zusätzlich zur eigentlichen Wanddickenmessung wird auch die Permittivität des Rohres bei der verwendeten Mikrowellenfrequenz gemessen. Das Verfahren wurde an verschiedenen Rohrabschnitten erprobt. Vergleiche mit mechanischen Wanddickenmessungen werden vorgestellt.



Wanddickenmessung von GFK-Rohren mit Mikrowellen

Johann H. Hinken ¹⁾, Stefan Becker ²⁾

1) fitm Hinken Consult, Breitscheidstrasse 17, D-39114 Magdeburg

2) Becker Photonik GmbH, Charlottenstrasse 38, D-32429 Minden

Einleitung

Zum Transport aggressiver Flüssigkeiten werden in Chemie- und Kraftwerksanlagen oft Rohre aus glasfaserverstärkten Kunststoffen, also GFK-Rohre verwendet. Sie sind häufig ungleichmäßig von Hand gewickelt.

Obwohl relativ unempfindlich gegen Chemikalien, kann sich ihre Wanddicke im Laufe der



Bild 1: Chemanlage mit GFK-Rohren

Zeit durch abrasive Angriffe oder schließlich doch noch durch chemische Angriffe vermindern. Regelmäßige, zerstörungsfreie Wanddickenmessungen sind erforderlich, häufig durchgeführt mit der aufwendigen Röntgenprüfung. Die Ultraschallprüfung erweist sich als unzuverlässig. Die mm-Wellenprüfung wäre hierfür technisch gut geeignet, siehe [Poster 13 in dieser Konferenz, S. Becker et al.: "Millimeterwellen lösen ein Problem bei der Dickenprüfung von GFK mit Ultra-schall"](#). Jedoch sind dafür die Gerätekosten hoch, und ein Verfahren mit funktechnischer Allgemeinzulassung ist unerlässlich.

In diesem Beitrag wird ein Verfahren zur Messung von GFK-Rohrwanddicken bei $f=5,8$ GHz (Wellenlänge = 5,2 cm, als ISM-Frequenz allgemein zugelassen) beschrieben. Die Grundlagen sind in [1] an Beispielen mit einheitlichen Rohrmaterialien beschrieben. Bei GFK handelt sich um ein Zweikomponentenmaterial, Glasfaser und Matrix, bei dem das Mischungsverhältnis durchaus örtlich variieren kann.

Verbreitet sind GFK-Rohrgruppen mit Wanddicken von etwa 5 mm und von etwa 18...20 mm. Dieser Beitrag befasst sich mit der Wanddickenmessung der ersten Gruppe.

Prüfprinzip

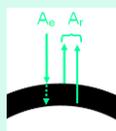


Bild 2: Mikrowellenreflexion an einer Rohrwand. a) einfallendes Signal A_e , reflektiertes Signal A_r . b) Verlauf des Reflexionsfaktors $r=A_r/A_e$ bei variierender Wanddicke

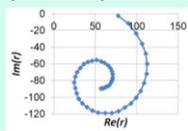


Bild 2 zeigt das Grundprinzip der Messung. Eine einfallende Mikrowelle der Amplitude A_e wird teils an der Rohroberfläche und teils an der Innenwand reflektiert. Beim berührenden Abtasten der Rohroberfläche bleibt der erste Teil gleich, der zweite ändert sich in Abhängigkeit von der Wanddicke. Der Reflexionsfaktor $r = A_r/A_e$ hat einen spiralförmigen Verlauf von der Wanddicke. Bei bekanntem Verlauf der Spirale kann dann von einem Messpunkt auf die Wanddicke geschlossen werden. – Allerdings hängt die Position auf der Spirale auch von der Permittivität ϵ_r des Wandmaterials ab. Wenn sie unbekannt ist oder lokal variieren kann wie bei GFK, muss sie gemessen werden, ggf. lokal, um die Wanddicke bestimmen zu können.

Messvorgang

Mit einem numerischen Feldberechnungsprogramm wurde der Reflexionsfaktor r für eine Vielzahl von Wanddicken und ϵ_r -Werten berechnet: Auf den Kurven in Bild 3 ist die Wanddicke konstant, ϵ_r ändert sich von 2,5 bis 4,75. Aus Messpunkten von r , eingetragen in dieses Diagramm, kann die Wanddicke und bei Bedarf auch ϵ_r abgelesen werden. – Für die Messungen wurden das Reflektometer R140 von Copper Mountains und ein Koaxial/Hohlleiteradapter mit einem dielektrisch gefüllten offenen Hohlleiter als Antenne verwendet, s. Bild 4.

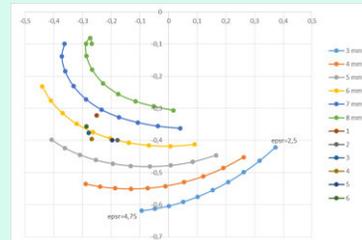


Bild 3: Komplexe Ebene. Reflexionsfaktor r an Rohroberfläche. Kurven: berechnete Werte, Wanddicke 3...8 mm, ϵ_r 2,5...4,75. Punkte: Messwerte.



Bild 4: Messtechnik. oben: Reflektometer und Adapter auf dielektrisch gefüllten Hohlleiter, rechts: Prüfobjekt GFK-Rohrabschnitt und Laptop zur aktuellen Messwertanzeige im Smith-Diagramm (komplexe Ebene)



An 6 Positionen des als Prüfobjekt verwendeten Rohrabschnittes wurden Messungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind als Punkte in Bild 3 mit eingetragen. Die gesuchten Wanddicken können hier abgelesen bzw. interpoliert werden. Sie sind in Tabelle 1, 3. Spalte, eingetragen.

Tabelle 1: Wanddickenwerte

Messpunkt	Messung mit Kluppe vom	Auswertung am
	30.11.22	11.12. der μ T-Messung vom
	In mm	8.12.2022
		In mm
1	6,5	6,7
2	6	6,0
3	6	6,0
4	6	5,8
5	6	6,0
6	6	6,1



Bild 5: Messkluppe

Am Prüfobjekt, einem in der Länge begrenzten Rohrabschnitt mit Zugriff nach innen, kann zum Vergleich die Wanddicke an den Messpositionen auch herkömmlich gemessen werden. Es wurde dafür die in Bild 5 gezeigte Messkluppe verwendet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1, 2. Spalte, eingetragen.

Schluss

Es zeigt sich, dass die auf der Mikrowellenprüfung basierenden Messwerte sehr gut mit den herkömmlichen Messwerten übereinstimmen. In der Praxis wird zumeist das Innere der Rohre nicht zugänglich sein. Dafür scheidet die herkömmliche Messung aus und es bleibt nur die Mikrowellenprüfung.

[1] J. H. Hinken et. al.: DGZfP Jahrestagung 2018, Poster P9