

Mikrowellenbasierte Dickenmessung von Lack auf CFK

Thomas BELLER, Johann HINKEN, Hochschule Magdeburg-Stendal (FH), Magdeburg
Christian ZIEP, FI Test- und Messtechnik, Magdeburg
Jörg DANNEMANN, AIRBUS Deutschland, Hamburg

Kurzfassung. Kohlefaserverbundwerkstoffe werden aufgrund der erreichbaren Gewichtseinsparung und einfacher Herstellung auch komplizierter Formen industriell verstärkt eingesetzt. So bestehen zum Beispiel große Teile des Airbus A380 aus CFK. Auch in der Automobilbranche findet CFK immer stärker Verwendung, z.B. beim Dach des BMW M6. Werden solche Teile lackiert, muss die Dicke des Lackes zuverlässig und genau bestimmt werden, da zu dicke Lackschichten ein unnötiges Zusatzgewicht bedeuten und die Haltbarkeit einer Lackierung verringern. Herkömmliche Verfahren eignen sich nur eingeschränkt für eine solche Messung. So eignen sich einige Verfahren nur für bestimmte Lacksysteme, versagen aber bei anderen. Andere Verfahren setzen eine aufwändige Schulung des Personals voraus bzw. sind aufgrund der Größe der Messgeräte nur für stationäre Messungen geeignet. Mikrowellen-Reflexionsverfahren haben ihre Eignung in Bereichen der Defektoskopie, Abstands- bzw. Füllstandsmessung u.ä. gezeigt. Diese Arbeit stellt nun eine Möglichkeit zur Lackdickenmessung auf Mikrowellenbasis vor, die zuverlässig, genau und einfach die Lackdicke über ein Handgerät ermöglicht. Eine solche Messung lässt sich unabhängig vom verwendeten Farbsystem und unabhängig von der Faserrichtung des CFK-Grundmaterials durchführen.

1. Einführung

Kohlefaserverstärkte Kunststoffe werden aufgrund ihrer hohen Steifigkeit bei gleichzeitig geringem Gewicht immer häufiger eingesetzt. Insbesondere im Automobil- bzw. Flugzeugbau geht der Trend immer mehr zum Leichtbau. So besteht der neue Airbus A380 schon zu großen Teilen aus CFK. Dieser Anteil wird für den kommenden A350 auf nahezu 40% ansteigen. Es handelt sich dabei vor allem um Rumpf- bzw. Flügelemente o.ä., die lackiert werden müssen. Die Lackierung am A380 erfolgt in mehreren Schichten, die unterschiedliche Funktionen, wie z.B. Grundierung, Korrosionsschutz u.ä. erfüllen. Die Kenntnis der Gesamtdicke ist dabei von großer Bedeutung, da z.B. zu wenig Lack eine eingeschränkte Funktionalität zur Folge hat. Zu viel Lack bedeutet ein Mehrgewicht, das bei der Nutzlast eingespart werden müsste. Bedeutender ist jedoch die Tatsache, dass zu viel Lack die Haltbarkeit der Lackierung verringert, was zu kürzeren Wartungsintervallen führt.

Herkömmliche Prüfverfahren haben bei lackierten CFK-Bauteilen Schwierigkeiten. So ist z.B. bei Ultraschall die Lackzusammensetzung von Bedeutung, die von Bauteil zu Bauteil variieren kann. Weiterhin ist eine intensive und damit teure Schulung zur Bewertung der Ultraschallsignale notwendig. Auch Thermographie ist stark abhängig von der Lackzusammensetzung und erfordert eine teure hochauflösende Kamera zur Messung. Wirbelstrom, der zur Messung von Lack auf Metall üblicherweise eingesetzt wird, hat das

Problem, dass CFK bei Wirbelstromfrequenzen nicht leitfähig genug ist um als Reflektor zu dienen.

Mikrowellen, also elektromagnetische Wellen hoher Frequenz (300MHz...300GHz), haben ihre Eignung für die Zerstörungsfreie Prüfung von isolierenden Materialien gezeigt [1]. Das Prüfsignal hängt dabei insbesondere vom verwendeten Material und seiner Dicke ab. Für die Lackierung des A380 werden hauptsächlich Lacke auf PU-Basis verwendet, die für Mikrowellen allesamt ähnliche Eigenschaften haben. Unterschiedliche Lacksysteme haben somit keinen Einfluss. Der Dickenmesseffekt beruht vor allem auf dem Abstand zum CFK-Grundmaterial, das bei Mikrowellenfrequenzen als Reflektor fungiert.

Für die Untersuchung der Eignung eines Mikrowellenreflexionsverfahrens zur Lackdickenmessung wurden von der AIRBUS Deutschland GmbH einige lackierte CFK-Proben zur Verfügung gestellt, deren Lackierung sich sowohl in der Dicke, als auch in der Zusammensetzung unterscheidet. Die Lackdicken befinden sich dabei in einem Bereich von ca. 40...300 μ m (siehe **Bild 1**). Einige der Probeplatten waren unbekannter Dicke, um das Verfahren auch zu diesem frühen Zeitpunkt schon in einer Art Blindversuch bewerten zu können.

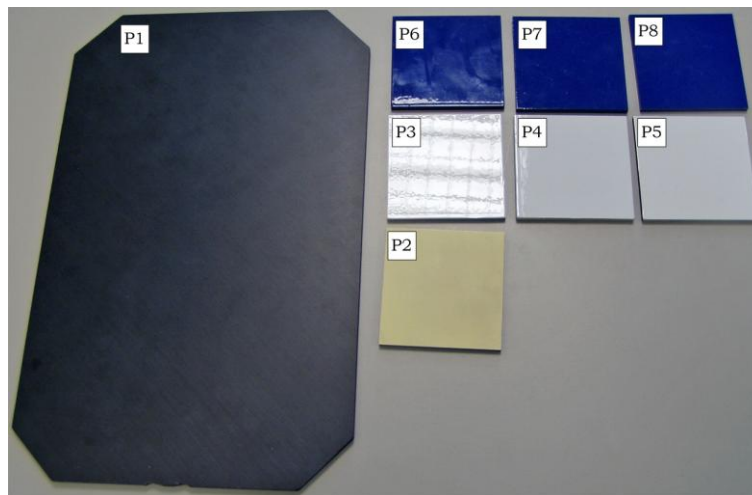


Bild 1: Lackierte CFK-Proben

2. Mikrowellen-Defektoskopie

Wie eingangs erwähnt werden bei der Mikrowellen-Defektoskopie elektromagnetische Wellen hoher Frequenz auf ein Messobjekt gesendet und dort entsprechend seinen dielektrischen Eigenschaften beeinflusst. Elektrisch leitfähige Materialien wirken wie ein Reflektor, isolierende Materialien sind für Mikrowellen nahezu transparent, jedoch kommt es auch hier zu gewissen Reflexionen an den Grenzflächen zwischen Materialien mit verschiedenen dielektrischen Eigenschaften. PU-Lacke sind somit transparent, CFK wirkt als Reflektor. Setzt man somit eine Mikrowellensonde kontaktierend auf ein lackiertes CFK-Bauteil, so erhält man, ähnlich wie bei Wirbelstrommessungen von Lack auf Metall, ein Signal in Abhängigkeit vom Abstand der Sonde zum CFK, der durch den Lack bestimmt wird. Besonders zu beachten ist dabei jedoch die Richtungsabhängigkeit bei CFK, die durch die Faserrichtung gegeben ist. So ist die Leitfähigkeit des CFK-Materials abhängig von der Richtung des einwirkenden elektrischen Feldes. In Faserrichtung ist die Leitfähigkeit größer als quer zur Faserrichtung. Diese Tatsache macht die Verwendung einer Sonde nötig, deren ausgesendetes Feld unabhängig von der Ausrichtung der Sonde bezogen auf die Faserrichtung ist (siehe **Bild 2**).

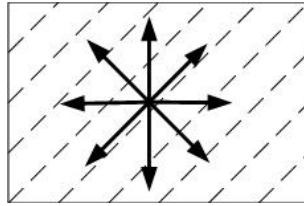


Bild 2: Richtungsabhängigkeit bei CFK

Für die nachfolgend vorgestellten Untersuchungen wurde deshalb eine angepasste Koaxialsonde verwendet (siehe **Bild 3**).

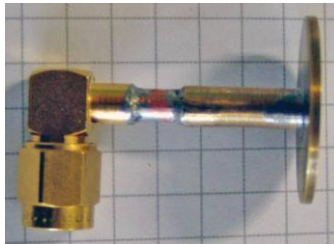


Bild 3: Koaxialsonde

Erste Untersuchungen wurden mittels eines vektoriellen Netzwerkanalysators (NWA) durchgeführt. Dieser stellt die Mikrowellenfrequenz zur Verfügung und misst die von der Sonde aufgenommene Reflexion (siehe **Bild 4**).

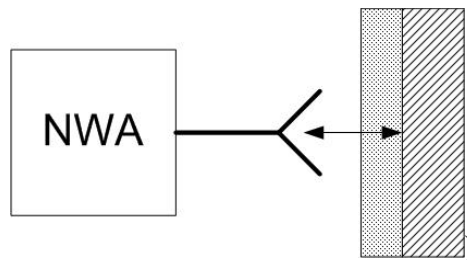
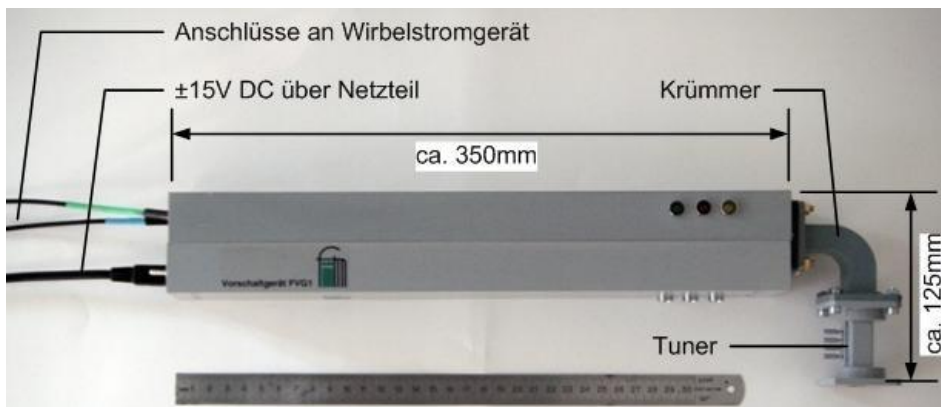


Bild 4: Messaufbau mit vektoriellm Netzwerkanalysator

Ein Netzwerkanalysator ist jedoch durch seine Kosten und durch seinen großen Funktionsumfang für den Einsatz in einer praktischen Lackdickenmessung deutlich überdimensioniert. Deshalb wurden ergänzende Grundlagenmessungen auch mit einem bestehenden Gerät zur Mikrowellenbasierten Zerstörungsfreien Prüfung durchgeführt. Dabei handelt es sich um ein Mikrowellenvorschaltgerät für handelsübliche Wirbelstromgeräte (siehe **Bild 5**) [2, 3].



a) Foto Mikrowellenvorschaltgerät FVG1

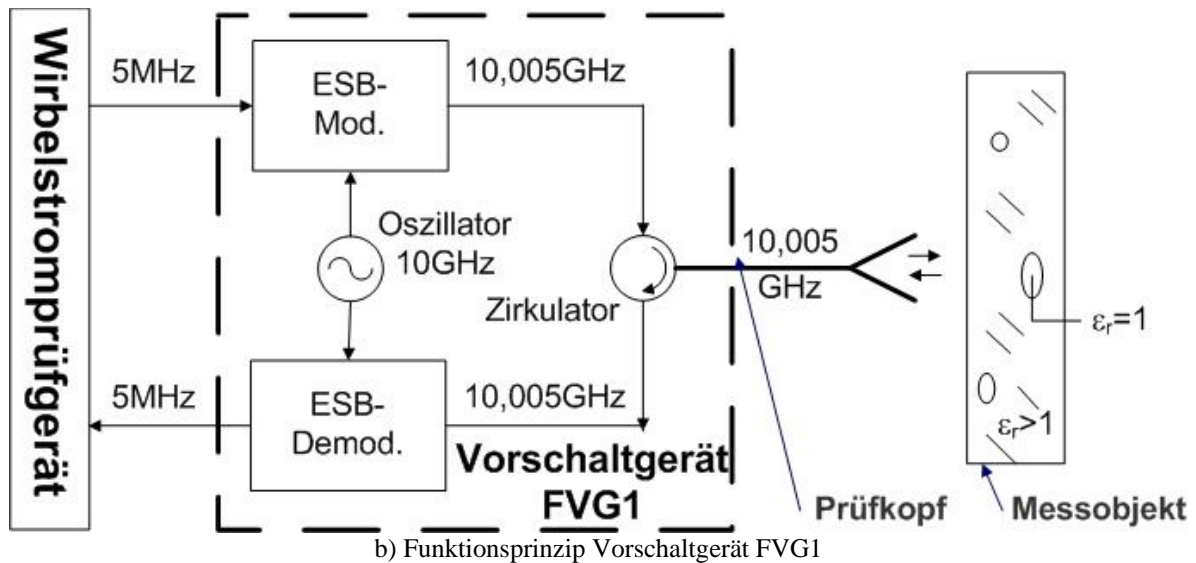


Bild 5: Mikrowellenvorschaltgerät FVG1 für Wirbelstromgeräte

Im FVG1 wird die intern erzeugte Mikrowellenfrequenz von 10GHz mit der Wirbelstromfrequenz einseitenbandmoduliert. Dieses Signal wird nun auf das Messobjekt gesendet und entsprechend dessen Eigenschaften reflektiert. Das reflektierte Signal wird anschließend im FVG1 wieder demoduliert, wonach wieder das Wirbelstromsignal zur Verfügung steht, das nun alle Informationen des Mikrowellensignals enthält.

3. Messungen

Wie erwähnt wurde in ersten Untersuchungen der komplexe Reflexionsfaktor der einzelnen Proben mittels vektoriellem Netzwerkanalysator aufgenommen. Dieser unterscheidet sich bei Platten unterschiedlicher Dicke im Wesentlichen in der Phase (siehe **Bild 6 a**). Die Unterschiedlichkeit der Lacksysteme hat dabei keinen nennenswerten Einfluss auf das Messsignal, da es sich bei allen Lacken um PU-Lacke handelt.

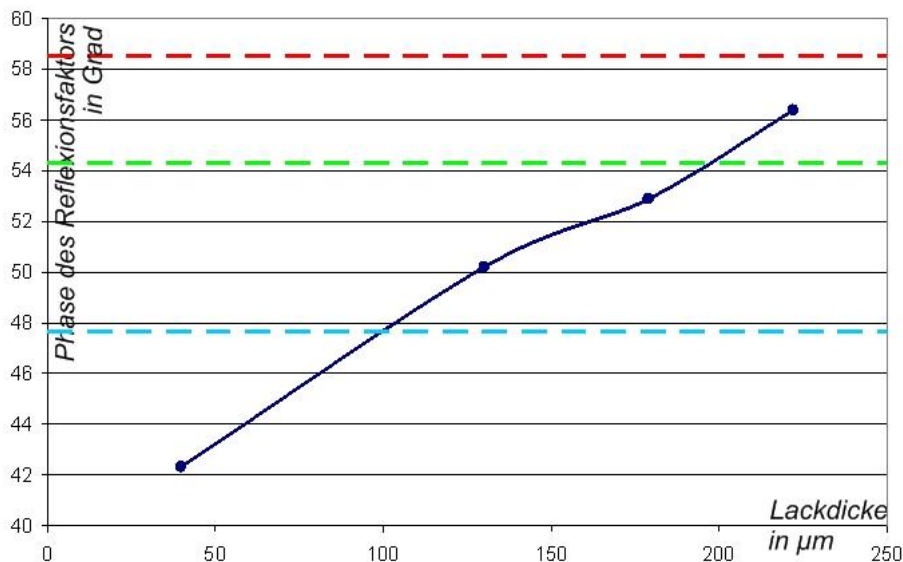
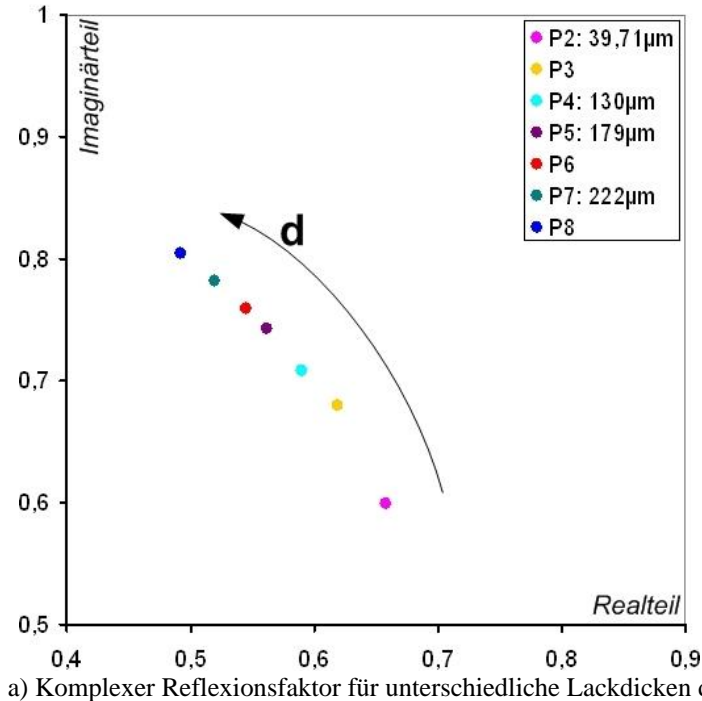


Bild 6: Mikrowellenbasierte Lackdickenmessung mit NWA

Der Zusammenhang zwischen Lackdicke und Phase des Reflexionsfaktors ist dabei nahezu linear, so dass aus den Messungen an bekannten Lackdicken eine Kalibrierkurve erstellt werden kann, über die die Lackdicken der unbekannt Platten ermittelt werden kann (siehe **Bild 6** b). Dies konnte schon zum gegenwärtigen frühen Stadium der Entwicklung mit einer Unsicherheit von etwa $\pm 15\mu\text{m}$ geschehen.

Der Netzwerkanalysator ist jedoch ein allgemeines Labormessgerät, das für Grundlagenuntersuchungen geeignet, für den Einsatz als industrielles Messgerät jedoch zu kostenspielig und überdimensioniert in seinen Funktionen ist. Ergänzende Untersuchungen wurden deshalb mit dem Mikrowellenvorschaltgerät FVG1 durchgeführt. Dieses wurde zwar für Mikrowellenbasierte Defektoskopie entwickelt, kann aufgrund seiner Funktionalität jedoch auch als Basis für ein Dickenmessgerät genutzt werden. Auch bei

diesen Messungen ergab sich der direkte Zusammenhang zwischen Phase des Reflexionsfaktors und Lackdicke (siehe **Bild 7**).

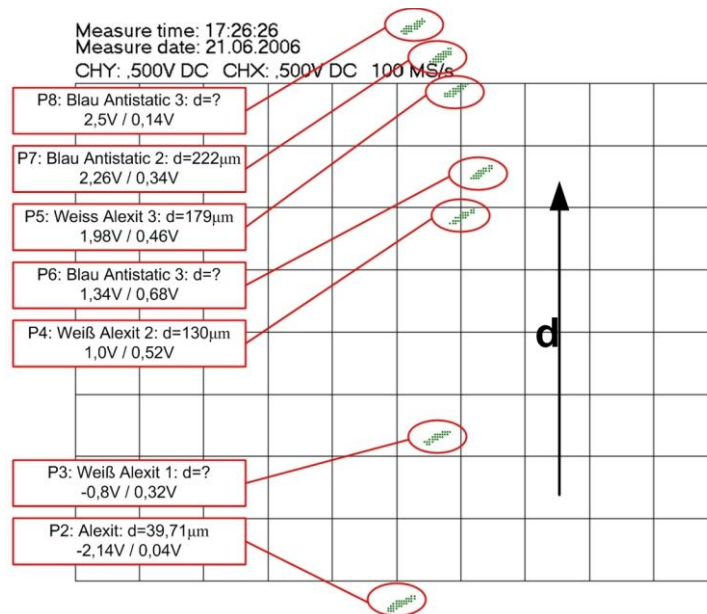


Bild 7: Mikrowellenbasierte Lackdickenmessung mit FVG1, Darstellung in der komplexen Ebene nach Nullpunktverschiebung

4. Weitere Anwendungen

Für Mikrowellenbasierte Dickenmessung gibt es noch weitere praxisrelevante Anwendungen, bei denen herkömmliche Messverfahren Probleme haben. Im Folgenden sind einige von uns untersuchte Fragestellungen angesprochen.

Eine Anwendung ist z.B. die Messung der Lackdicke auf Kunststoffdichtungen für PKW-Türen. Auch hier ist eine Lackdickenmessung über die Phase des Reflexionsfaktors möglich (siehe **Bild 8**).

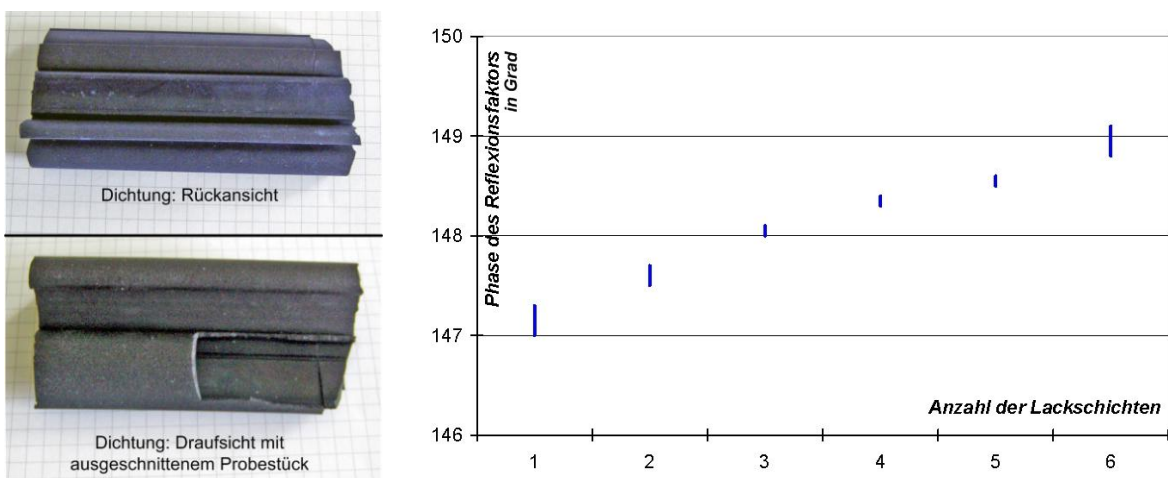


Bild 8: Mikrowellenbasierte Messung von Lack auf EPDM (Kautschuk)

Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist die Messung der Lackdicke auf Polypropylen. Eine solche Messung ist eigentlich mittels Mikrowellen nur mit großem Aufwand möglich, da PP ein isolierendes Material ist, und somit nur ein sehr schwaches Reflektorsignal abgibt. In einigen Anwendungen wird jedoch eine leitfähige Grundierung aufgebracht, um weitere

Lackschichten elektrostatisch effektiver aufbringen zu können. Diese Grundierung kann als Reflektor wirken, dann ist auch hier eine Lackdickenmessung möglich (siehe **Bild 9**).

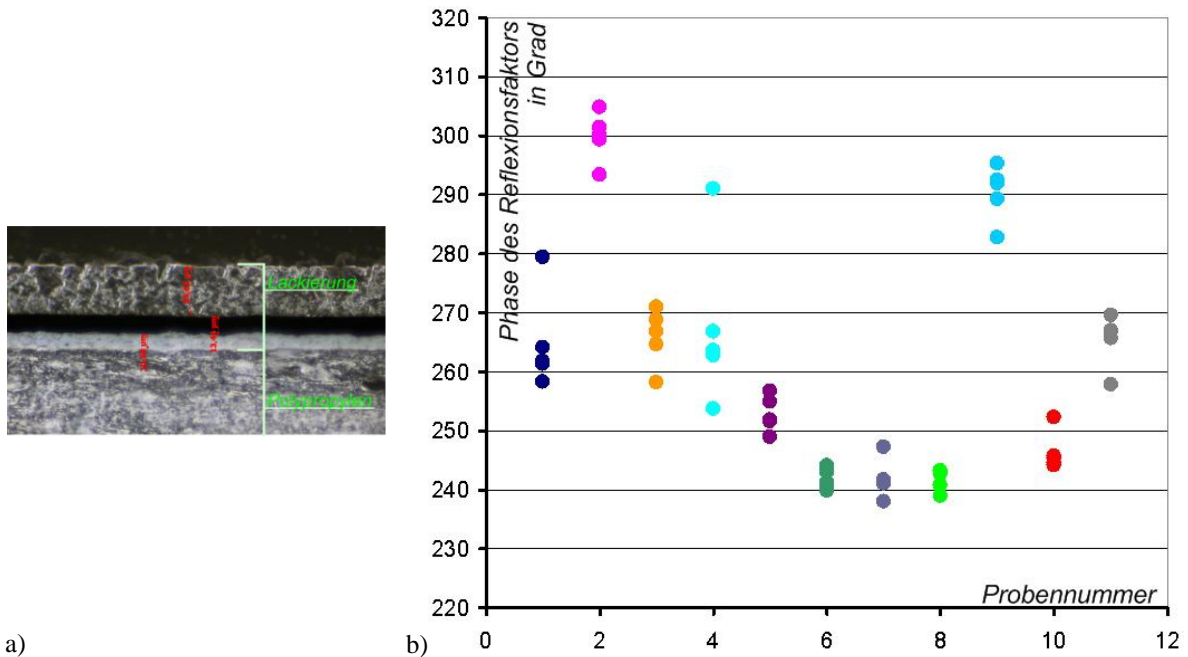


Bild 9: Mikrowellenbasierte Messung von Lack auf Kunststoff. A) Mikroskopische Aufnahme vom Querschnitt. b) Phasen mit ihren Streubereichen diverser Proben

Eine etwas andere Anwendung ist die Wandstärkenmessung von Glas oder Bauteilen aus anderen isolierenden Materialien. In diesem Fall kann keine kontaktierende Messung vorgenommen werden, da, wenn z.B. über dem Umfang gemessen wird, dann die Gefahr besteht, dass das Glas zerkratzt wird. Es muss somit eine berührungslose Messung stattfinden. Hierbei ist jedoch der mechanisch nur schwer zu vermeidende schwankende Abstand zwischen Messsonde und Glas problematisch, da solche Liftoffschwankungen auch eine Änderung des Reflexionsfaktors zur Folge haben. Mittels geeigneter Messtechnik und entsprechenden Kalibrierkurven lässt sich die Wandstärke mittels Mikrowellen jedoch trotzdem messen (siehe **Bild 10**) [4].

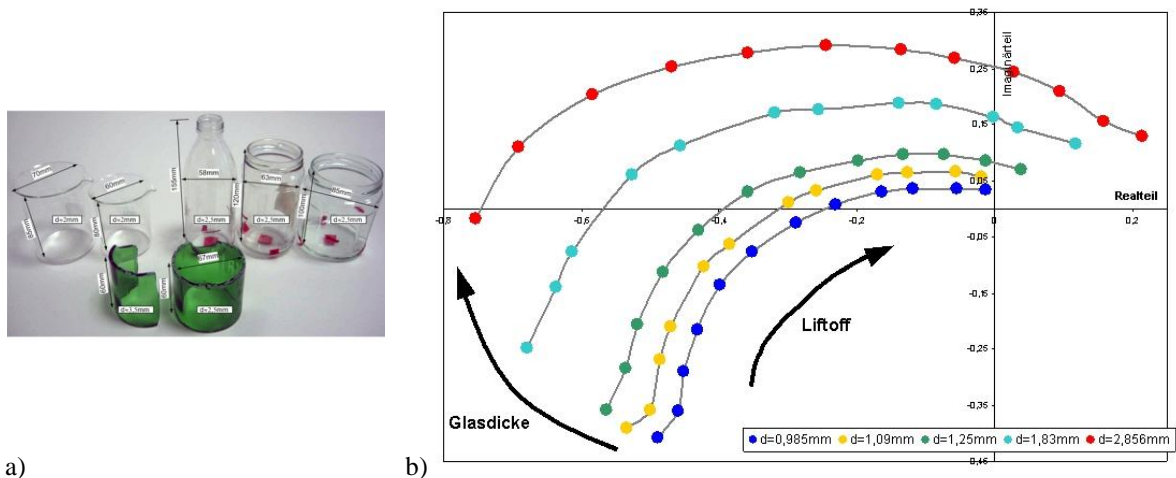


Bild 10: Mikrowellenbasierte Dickenmessung von Glas. A) Foto von Proben. B) Komplexe Ebene des Reflexionsfaktors mit Kalibrierpunkten

5. Fazit / Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass Mikrowellen für die Lackdickenmessung auf CFK und viele weitere Anwendungen geeignet sind. Dies wurde gezeigt anhand von Messungen mit einem Mikrowellen-Netzwerkanalysator und mit dem Vorschaltgerät FVG1. Für zukünftige, nicht im Labor sondern in der Produktion und im Feld durchzuführende Messungen ist es auch möglich die verwendete Technik als zu Handgerät realisieren, wie sich am Beispiel eines bei uns entwickelten Handgerätes zur Mikrowellenbasierten Defektoskopie zeigen lässt.

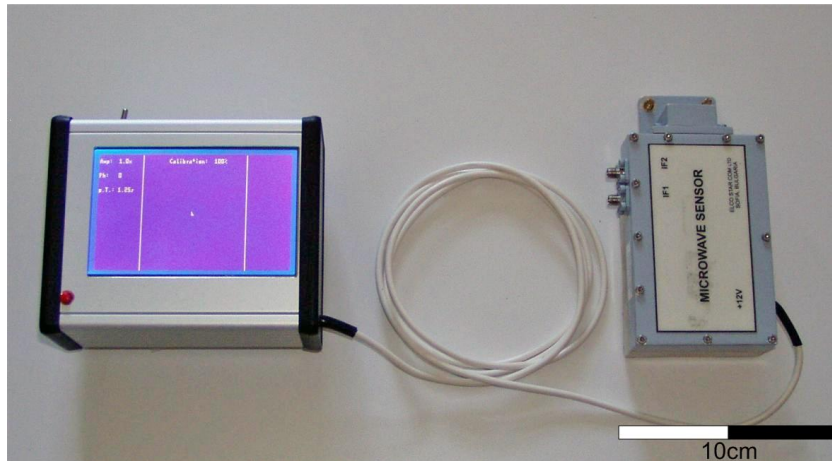


Bild 11: Prototyp eines Handgerätes für Mikrowellen-Defektoskopie

Dieses lässt sich mit entsprechender Sondentechnik und Auswertung auch für Dickenmessungen anpassen. Dann sind die Technik für die mikrowellenbasierte Lackdickenmessung auf CFK und ihre Auswertung auch im industriellen Einsatz möglich und einem ungeübtem Anwender leicht zugänglich.

References

- [1] R. Zoughi: Microwave Non-Destructive Testing and Evaluation, A Graduate Textbook, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 2000
- [2] J. H. Hinken und D. Beilken: Mikrowellen-Defektoskopie mit erweitertem Wirbelstromprüfsystem <http://www.hs-magdeburg.de/fachbereiche/f-iwid/ET/Personen/Hinken/forschung/N16d.pdf/>
- [3] Datenblatt zum Vorschaltgerät FVG1 zur mikrowellenbasierten ZfP <http://www.fitm.de/FVG1-Datenblatt.pdf>
- [4] J.H. Hinken, Th. Beller: Contactless Thickness Measurement of Glass Walls by Using Microwave Reflections, European Conference of Non-Destructive Testing, Berlin, 25. - 29.09.2006