

Hochauflösende Mikrowellen-Defektoskopie

Thomas BELLER, Johann HINKEN, Hochschule Magdeburg-Stendal (FH), Magdeburg
Matthias VOIGT, IFC Composite, Haldensleben

Kurzfassung. Mikrowellen-Reflexionsverfahren haben sich im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung von nichtleitenden Materialien bewährt. Die laterale Auflösung solcher Messungen erscheint zunächst durch die Wellenlänge der verwendeten Frequenz begrenzt. Sie liegt bei etwa einer halben Wellenlänge. Das würde für die häufig genutzte Frequenz von 10 GHz mit einer Wellenlänge von ca. 30 mm eine Auflösung von nur 15 mm bedeuten. Dies ist für viele Anwendungen nicht ausreichend. Diese Arbeit stellt nun eine einfache Methode vor, wie durch Verwenden bestimmter Messantennen bei 10 GHz eine Auflösung von etwa 1 bis 2 mm erreicht werden kann. Mit diesem Messaufbau lässt sich dann z.B. die Faserstruktur von Glasfaserverbundwerkstoffen darstellen. Dies verbessert die Möglichkeiten der Defektoskopie hinsichtlich des Auffindens kleinerer Risse bzw. Schlingungen.

1. Einführung

Glasfaserverstärkte Kunststoffe sind häufig eingesetzte Faserverbundwerkstoffe. Sie sind u.a. durch eine hohe Bruchdehnung gekennzeichnet. Dadurch eignen sie sich gut für die Herstellung von Blattfedern. Solche Blattfedern aus GFK wurden bereits zur Marktreife gebracht (siehe Bild 1) [1].



Bild 1: Blattfeder aus GFK der IFC Composite GmbH (ca. 1400mm x 80mm x 30mm)

Sie werden mittlerweile serienmäßig in Kleintransportern verbaut. Bei der Herstellung kann es jedoch zu verschiedenen Fehlern, wie Schlingungen oder Faserfehlorientierungen durch Verschwimmen der Lagen oder Fremdeinschlüssen z.B. durch das Trägermaterial kommen. Diese Fehler sind von außen nicht sichtbar, beeinflussen jedoch die mechanischen Eigenschaften der Federn. Um die Anzahl der NIO-Teile bei der Belastungsprüfung im Endstadium der Herstellung zu verringern und solche Fehler frühzeitig zu erkennen wird eine Zerstörungsfreie Prüfmethode gewünscht, die jede Feder

in einem frühen Fertigungsstadium schnell und mit hinreichend genauer Ortsauflösung prüfen kann. Die zu erreichende Ortsauflösung sollte dabei etwa in der Größenordnung der Faserbündeldicke von ca. 1mm liegen, um Faserfehlorientierung eindeutig festzustellen.

Die Mikrowellenbasierte Zerstörungsfreie Prüfung hat ihre Leistungsfähigkeit zur Prüfung von Bauteilen aus isolierenden Materialien und somit auch an Bauteilen aus GFK in verschiedenen Arbeiten gezeigt [2].

2. Mikrowellen-Defektoskopie

Sendet man Mikrowellen, also elektromagnetische Wellen hoher Frequenz (300MHz...300GHz) auf ein Messobjekt, so werden diese entsprechend den dielektrischen Eigenschaften des Materials und der Form und Lage des Messobjektes unterschiedlich beeinflusst. Leitfähige Materialien wirken für Mikrowellen wie ein Reflektor, isolierende Materialien sind für Mikrowellen nahezu transparent, jedoch kommt es auch bei isolierenden Materialien zu Reflexionen an Grenzflächen zwischen Bereichen mit unterschiedlicher Dielektrizitätszahl. Dieser Effekt wird bei der Mikrowellen-Defektoskopie genutzt, um Fehlstellen in Materialien (Lufteinschlüsse durch Poren, Delaminationen, Schlingerungen bzw. Faserfehlorientierungen, Fremdeinschlüsse etc.) aufzufinden.

Allgemein ist die erreichbare Ortsauflösung vor allem durch die Wellenlänge des verwendeten Messsignals gegeben. Nutzt man z.B. ein 10-GHz-Signal, mit einer Freiraumwellenlänge von ca. 30mm so wäre nur eine Auflösung von ca. 15mm möglich. Um feinere Auflösungen zu erreichen, könnte man zwar zu höhere Frequenzen verwenden, jedoch würde das deutlich höhere Preise für die Mikrowellenkomponenten bedeuten. Der vereinfachte direkte Zusammenhang zwischen Ortsauflösung und Wellenlänge gilt aber nur für das Fernfeld, also für Bereiche in einer Entfernung Sonde-Bauteil von einigen Wellenlängen. Im Nahfeld ist die erreichbare Auflösung vor allem durch die Apertur der verwendeten Antenne bzw. Sonde bestimmt. Für die nachfolgend dargestellten Untersuchungen wurden deshalb Varianten von Koaxialsonden genutzt, bei denen der strahlende Bereich insbesondere durch den Innenleiter mit einer Fläche von ca. 1mm² gegeben ist (siehe Bild 2). Somit sind auch bei 10GHz Auflösungen bis herunter zu 1mm erreichbar.

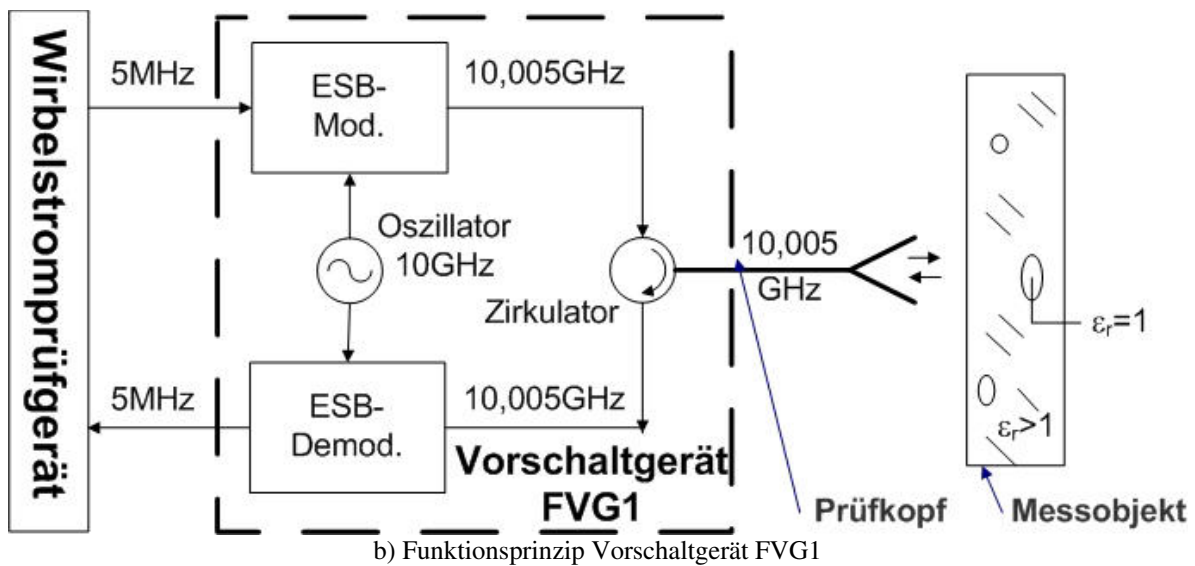


Bild 2: Koaxialsonden für Mikrowellen-Defektoskopie

Für die Untersuchungen wurde ein Mikrowellenvorschaltgerät für handelsübliche Wirbelstromgeräte genutzt (siehe Bild 3). Dieses wird an ein Wirbelstromgerät wie eine normale Wirbelstromsonde angeschlossen, so dass alle Funktionen des Wirbelstromgerätes, wie Balancierung, Verstärkung, C-Scans u.ä. weiterhin nutzbar bleiben. Zusätzlich wird so die Zerstörungsfreie Prüfung von isolierenden Materialien mit ggf. vorhandenen Wirbelstromgeräten möglich.



a) Foto Mikrowellenvorschaltgerät FVG1



b) Funktionsprinzip Vorschaltgerät FVG1

Bild 3: 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, 4].

3. Messungen

Mit der in Abschnitt 2 vorgestellten Technik wurden eine Reihe unterschiedlicher Proben untersucht. Erste Untersuchungen fanden u.a. an einem Abschnitt einer Blattfeder statt, bei der sich an der Oberfläche eine deutliche Schlingeringung befindet (siehe Bild 4). Diese Schlingeringung ist auf dem Mikrowellenscan eindeutig zuzuordnen. Weiterhin sind auch Schlingeringungen unter der Oberfläche zu erkennen, die visuell nicht erkennbar sind. Gut erkennbar ist auch der Verlauf der GFK-Faserbündel.



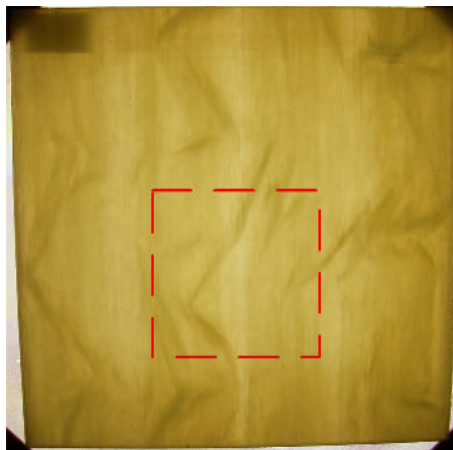
a) Foto von Blattfederabschnitt



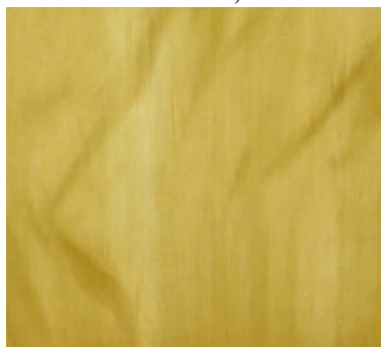
b) Mikrowellenscan von Blattfederabschnitt

Bild 4: Messung an Blattfeder aus GFK

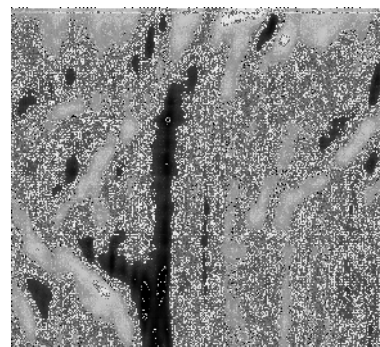
Für weitere Untersuchungen standen nun diverse Platten aus dem gleichen GFK-Verbund wie die Blattfedern, mit definiert eingebrachten Fehlern, sowie Platten mit anderen Materialzusammensetzungen zur Verfügung. Ergänzend zu der Untersuchung des Blattfederabschnittes wurde eine Platte mit einer Schlingung in ca. 1,5mm Tiefe untersucht (siehe Bild 5).



a) Foto der GFK-Platte, fotografiert mit Durchlicht



b) Foto des Scanbereiches mit Schlingung



c) Mikrowellenscan

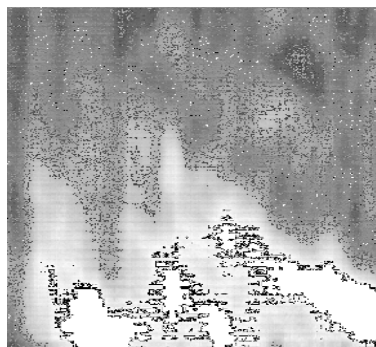
Bild 5: Messung an GFK-Platte mit Schlingung

Auch bei dieser Probe sind Schlingung und Faserbündel eindeutig im Mikrowellenscan erkennbar.

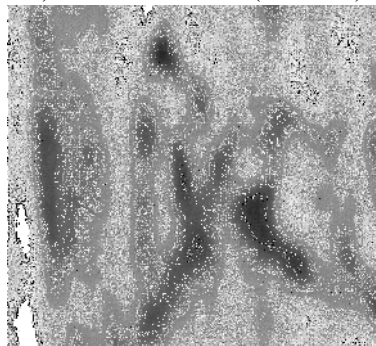
Ziel soll es jedoch sein, eine komplette Blattfeder zu untersuchen, wobei eine Beobachtungstiefe von mindestens 15mm nötig ist, wenn die Blattfeder von beiden Seiten untersucht wird. Eine einfache Möglichkeit, die Beobachtungstiefe der verwendeten Sonden zu beeinflussen liegt in der Änderung der Abmessungen von Innen- bzw. Außenleiter. Dies wird deutlich an den Untersuchungen einer GFK-Platte mit einer Schlingung in ca. 4mm Tiefe (siehe Bild 6).



a) Foto des Scanbereiches



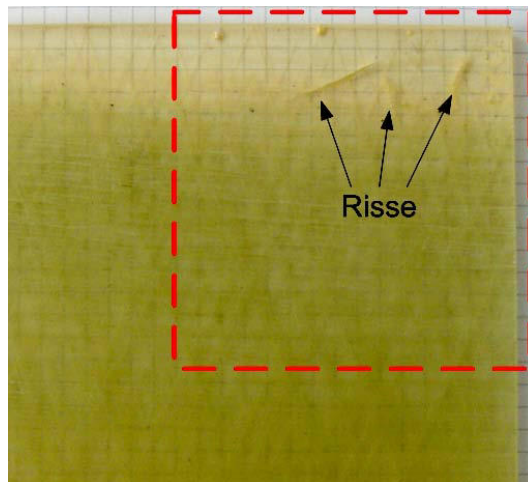
b) Scan mit Sonde 1 ($d_A \approx 4\text{mm}$)



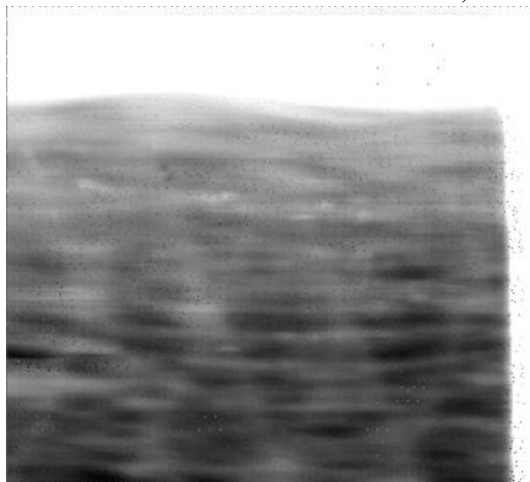
c) Scan mit Sonde 2 ($d_A \approx 8\text{mm}$)

Bild 6: Messung an GFK-Platte mit Schlingung, d_A : Innendurchmesser des Aussenleiters der Koaxialsonde. Diese ist mit der bisher verwendeten Sonde 1 nicht erkennbar (siehe Bild 6 b). Nutzt man eine entsprechend angepasste Sonde, so wird auch diese Schlingung im Mikrowellenscan deutlich (siehe Bild 6 c).

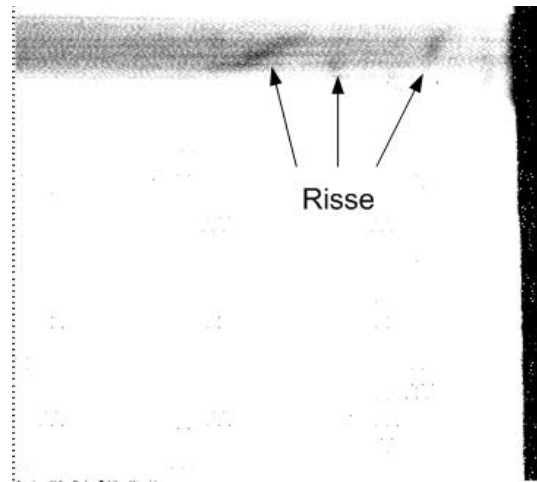
Wie oben erwähnt hängt das reflektierte Mikrowellensignal von verschiedenen Faktoren ab. Das reflektierte Signal enthält somit mehrere material- bzw. bauteilabhängige Informationen, die, je nach Signalnachbearbeitung, gesondert hervorgehoben werden können. In Bild 7 ist z.B. eine Platte aus GFK dargestellt, bei der sich im oberen Bereich einige Risse befinden (siehe Bild 7, oben rechts).



a) Foto der GFRK-Platte



b) Mikrowellenscan zur Darstellung der Struktur



c) Mikrowellenscan zur Darstellung der Risse

Bild 7: Messung an GFRK-Platte mit Rissen

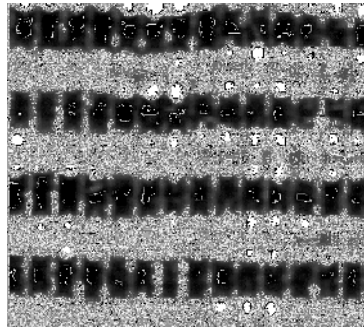
Ein vorgenommener Mikrowellenscan der Platte enthält nun sowohl Informationen zur Faserstruktur, als auch zu den Rissen. Je nach Signalnachbearbeitung lassen sich nun aus dem gleichen Scan entweder die Faserstruktur (siehe Bild 7 b) oder die Risse (siehe Bild 7 c, oben rechts) gesondert hervorheben. Bei den Rissen handelt es sich nach visuellem Eindruck jedoch um ungeöffnete Risse, d.h. Rissdicke = 0. Es ist somit kein nennenswerter Übergang zwischen verschiedenen Dielektrikas vorhanden. Deshalb kommt es an den Rissen nur zu sehr schwachen Mikrowellenreflexionen.

CFK-Materialien sind bei Mikrowellenfrequenzen leitfähig und können somit von diesen nicht durchdrungen werden. Eine Prüfung der Oberfläche ist jedoch trotzdem möglich, da dort vorhandene Strukturen (durch Faserorientierung, Brüche o.ä.) Leitfähigkeitsänderungen zur Folge haben. Dies lässt sich an der Untersuchung einer CFK-Platte zeigen (siehe Bild 8).

Deren Faserstruktur ist im Mikrowellenscan eindeutig erkennbar. Informationen aus dem Inneren von CFK-Bauteilen sind mittels Mikrowellen-Defektoskopie dagegen nicht möglich.



a) Foto des Scanbereiches einer CFK-Platte



b) Mikrowellenscan

Bild 8: Messung der Oberflächenstruktur an CFK

4. Fazit / Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass Mikrowellen leistungsfähig für die Zerstörungsfreie Prüfung von Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen sind. Dabei kann eine Ortsauflösung durch geeignete Wahl der Prüfsonden bzw. -antennen weit unterhalb der Wellenlänge der Prüffrequenz erreicht werden. Weiterhin ist es möglich, mittels eines Vorschaltgerätes (FVG1) die handelsübliche und verbreitete Wirbelstromtechnik für die Mikrowellenprüfung zu nutzen.

Das vorgestellte Mikrowellenprüfgerät ist vor allem für den Einsatz im Labor bzw. zum festen Einbau in die Produktion geeignet. Häufig ist jedoch auch eine mobile Prüfung notwendig. Dies ist mit heutiger Mikrowellentechnik auch möglich, wie sich am Beispiel eines Handgerätes zeigen lässt (siehe Bild 9).

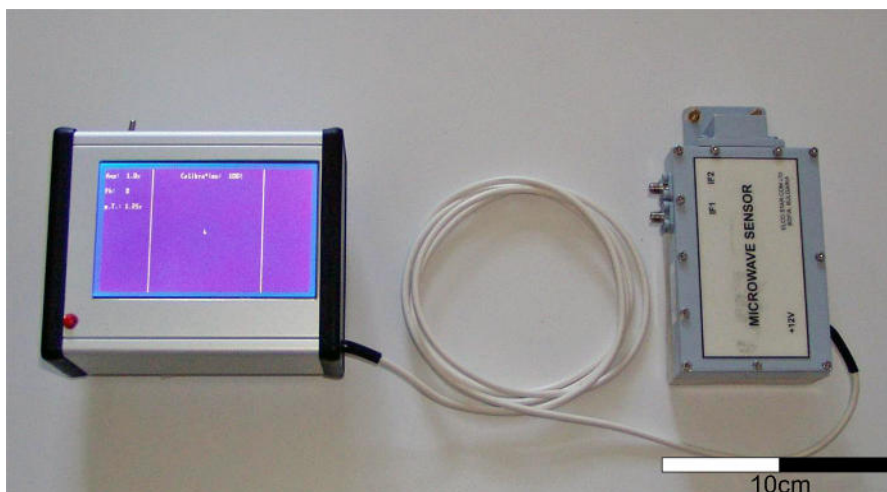


Bild 9: Prototyp eines Handgerätes für Mikrowellen-Defektoskopie

Dieses Gerät besteht aus einem Bedien- und Anzeigemodul (Bild 9 links) und einem Mikrowellenmodul (Bild 9 rechts). Die Darstellung erfolgt hierbei über wirbelstromähnliche Fehlersignaturen, das Anschließen eines Wirbelstromgerätes für C-Scans u.ä. ist jedoch auch hier möglich.

References

- [1] <http://www.ifc-composite.de/>
- [2] R. Zoughi: Microwave Non-Destructive Testing and Evaluation, A Graduate Textbook, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 2000
- [3] 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/>
- [4] Datenblatt zum Vorschaltgerät FVG1 zur mikrowellenbasierten ZfP <http://www.fitm.de/FVG1-Datenblatt.pdf>