



Bild 1. Mobiles
3D-Terahertz-System

3D-TERAHERTZ-BILDGEBUNG ZUR VOLUMENPRÜFUNG VON BAUTEILEN

Aufbruch in eine neue Welt

Stefan Becker, Porta Westfalica

Die Inspektion von Bauteilen aus faserverstärktem Kunststoff oder keramischen Materialien erfordert eine berührungslose Messtechnik, die bei einseitigem Zugang der Teile einsetzbar ist. Bei Schäumen, Sandwich- und Hohlstrukturen liefert die mobile 3D-Terahertz-Bildgebung im Vergleich zu etablierten Verfahren gute Ergebnisse. Diese Technik ermöglicht zudem eine 3D-Volumenprüfung auf Poren, Lunker, Risse und Delaminationen.

Warum sollte man in eine neue Welt der Mess- und Prüftechnik aufbrechen, wo es doch etablierter Verfahren gibt, deren Vor- und Nachteile bekannt sind? Dazu gehören das Wirbelstromverfahren, die Röntgen-Durchstrahlungsprüfung, die Röntgen-Computertomografie, die Thermografie,

der Ultraschall, die Shearografie und die optischen Verfahren.

Doch diese Prüfverfahren werden den Anforderungen von dielektrischen und ggf. großen Bauteilen nicht oder nur eingeschränkt gerecht. Wirbelstrom entfällt sofort bei nicht leitenden Materialien, auch die Röntgenverfahren fallen in

vielen Fällen aus, da sie bei einseitigem Zugang zum Bauteil nicht einsetzbar sind. Ultraschall arbeitet meist nicht berührungslos, und Thermografie, Shearografie und andere optische Verfahren liefern keine direkte Volumeninformation. Bei der Untersuchung von Schäumen, Sandwichstrukturen und Hohlstrukturen

zeigen alle vier letztgenannten Verfahren erhebliche Schwächen.

Terahertz-Lücke schließt sich

Terahertz-Strahlung ist eine elektromagnetische Strahlung im Frequenzbereich von 0,1 THz (100 GHz) bis 10 THz. Dies entspricht (im Vakuum) einem Wellenlängenbereich zwischen 3 und 0,03 mm. THz-Strahlung ist nicht ionisierend und bedarf deshalb keiner aufwendigen Abschirmung des Menschen (wie bei Röntgenstrahlung).

Bisher war dieser Bereich des elektromagnetischen Spektrums nur sehr unzureichend technologisch erschlossen. Man sprach daher auch von der Terahertz-Lücke. Dies hat sich geändert und ändert sich weiter, z. B. durch die Erzeugung von THz-Strahlung mithilfe von Lasern. Allerdings ist dieses Verfahren relativ aufwendig und teuer [1].

Eine kompaktere Lösung steht jetzt mit vollelektronischen Systemen zur Verfügung. Hier wird die THz-Strahlung direkt elektronisch erzeugt. Es sind inzwischen kommerzielle Lösungen für 0,1, 0,3 und 0,85 THz verfügbar [2] (Bild 1). Viele dielektrische Materialien (Kunststoffe, Verbundwerkstoffe, Keramik, Papier, Textilien etc.) können mithilfe von THz-Strahlung durchleuchtet werden.

Abhängig vom verwendeten Messkopf und dem untersuchten Material sind Eindringtiefen von bis zu ca. 30 mm möglich (in Einzelfällen, z. B. bei Schäumen, auch deutlich mehr). Grundsätzlich kann sowohl in Transmission als auch in Reflexion gemessen werden. Für Messungen in Reflexion arbeitet der Messkopf als Frequency-Modulated-Continuous-Wave (FMCW)-Radar. Die reflektierten Signale aus unterschiedlichen Schichttiefen werden zeitlich aufgelöst, sodass quasi ein 3D-Bild des untersuchten Objekts entsteht. Dieses synthetische Bild enthält auch Informationen über mögliche Fehler in einer untersuchten Probe, z. B. Poren oder Delaminationen (Bild 2).

Die erreichbare laterale Auflösung des Systems ist abhängig von der Frequenz des verwendeten Messkopfs und der Abbildungsoptik. Bei 0,3 THz beträgt sie ca. 1 mm im Vakuum (Beugungsbegrenzung). Da die Absorption vieler Kunststoffe im Bereich zwischen 0,1 und 1 THz stark ansteigt [3], werden die 0,1- und 0,3-THz-Messköpfe zurzeit am häufigsten eingesetzt.

Untersuchung verschiedener Werkstoffe

Bild 3 zeigt das Ergebnis der Untersuchung einer Aluminiumnitrid-Kühl-dose, die in der Leistungselektronik für »

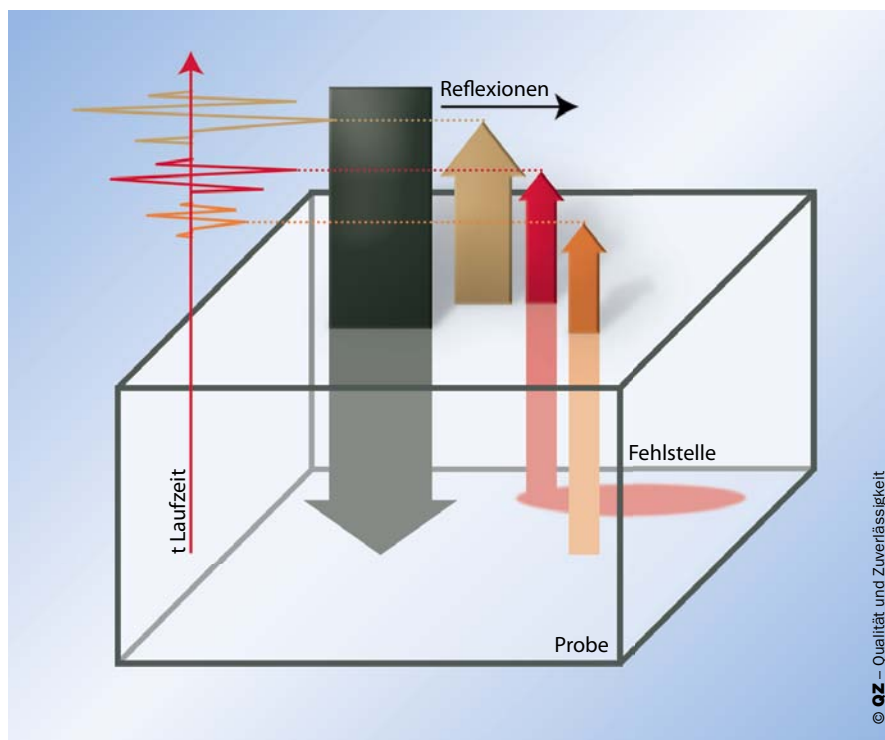


Bild 2. Prinzip des FMCW-Radars

Literatur

1. Wietzke, S.; Jördens, C.; Jansen, C.; Krumbholz, N.; Scheller, M.; Peters, O.; Baudrit, B.; Hochrein, T.; Zentgraf, T.; Bastian, M.; Koch, M.: An der Schwelle zum industriellen Einsatz. *Kunststoffe* 100 (2010) 4, S. 20–25
2. Löffler, T.; Quast, H.: 3D-Terahertz-Bildgebung für die zerstörungsfreie Materialprüfung. *tm – Technisches Messen* 77 (2010) 6, S. 349–352
3. Piesiewicz, R.; Jansen, C.; Wietzke, S.; Mittleman, D.; Koch, M.; Kürner, T.: Properties of Building and Plastic Materials in the THz Range. *Int J Infrared Milli Waves* (2007) 28, S. 363–371

Autor

Dr. rer. nat. Stefan Becker, geb. 1965, ist Geschäftsführer der Becker Photonik GmbH, Porta Westfalica, einem Dienstleistungsunternehmen für photonische Mess- und Prüftechnik. Nach dem Studium der Physik war er 15 Jahre in leitender Position im Bereich der hochauflösenden Röntgentechnologie tätig, bevor er 2011 das jetzige Unternehmen gründete.

Kontakt

Dr. rer. nat. Stefan Becker
stefan.becker@becker-photonik.de

www.qz-online.de

Diesen Beitrag finden Sie online unter der Dokumentennummer: **386111**

Schienenfahrzeuge eingesetzt wird. Die Messung wurde mit einem 0,3-THz-Messkopf im Reflexionsmodus durchgeführt.

Wegen des großen Brechungsindex von 2,9 beträgt die Ortsauflösung im Material in diesem Fall ca. 400 µm. Dargestellt ist ein Schnitt in Höhe der Lotebene (7,5 mm unterhalb der Oberfläche) der beiden Kühldosenhälften. Neben der inneren Kühlstruktur aus Aluminiumnitrid und der Einlass- und Auslassöffnung für die Kühlflüssigkeit ist die Porenverteilung in der Lotverbindung sehr gut erkennbar. Vergleichende Messungen mit der Röntgen-Computertomografie zeigen unter Berücksichtigung des Auflösungsunterschieds eine vollständige Übereinstimmung bezüglich der Porenpositionen und Porengrößen.

Bild 4 zeigt das Ergebnis der Untersuchung eines Polyurethan-Strukturschaums mit einer Dicke von 40 mm. Die Messung wurde mit einem 0,1-THz-Messkopf im Reflexionsmodus durchgeführt. Dargestellt ist die rückseitige Oberfläche des Schaumblocks, gemessen von der Vorderseite (also nach dem Durchgang durch 40 mm Schaummaterial).

Das Ergebnis zeigt, wie die Oberflächenstruktur dennoch visualisiert werden kann. Weiterhin konnten drei seitlich in unterschiedlichen Höhen eingebrachte Bohrungen mit einem Durchmesser von 2 mm und einer Länge von mehreren Zentimetern gut nachgewiesen werden. Dies ist umso erstaunlicher, da der Unterschied

des Brechungsindex zwischen Luft und Kunststoffschäum relativ klein ist.

Eine Sheet-Molding-Compound (SMC)-Platte (250 × 100 × 6 mm³) wurde mit einem 0,3-THz-Messkopf im Reflexionsmodus untersucht. Ein Schnitt etwa 3 mm unterhalb der Oberfläche der Platte zeigt ein ungleichmäßiges Reflexionssignal. Im Bereich einer Bindenaht sorgt eine bevorzugte Faserorientierung für eine deutliche Reduktion des THz-Signals. Die 3D-Terahertz-Bildgebung ist in diesem Fall offensichtlich in der Lage, die relative Orientierung der Glasfasern zu visualisieren.

Mit einem 0,1-THz-Messkopf im Reflexionsmodus wurden weitere Untersuchungen an komplexen SMC-Bauteilen aus der Hochspannungstechnik durchgeführt. Dabei gelang es in mehreren Fällen, verborgene Lunker und Risse zu detektieren. Bei Materialstärken von typisch 10 bis 20 mm konnte unter anderem ein großflächiger, verborgener Riss von ca. 60 mm × 80 mm nachgewiesen werden.

Einsatz von Phased-Array-Systemen

Wie sieht es mit dem technologischen Potenzial der neuen Prüftechnik aus? Die vorgestellten Applikationsergebnisse wurden mit jeweils einer Quelle und einem Detektor durch Scannen über die untersuchte Probe erzeugt. Da eine Messrate von bis zu 10 kHz möglich ist, werden ab-

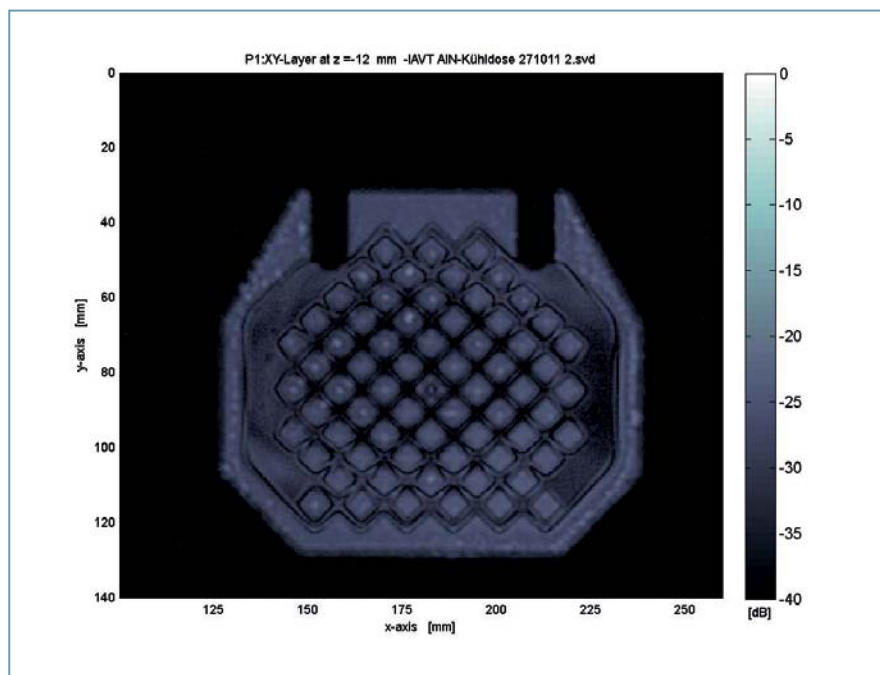


Bild 3. Porenverteilung im Lot einer Keramik-Kühldose

Nicht zur Verwendung in Intranet- und Internet-Angeboten sowie elektronischen Verteilern

© 2012 Carl Hanser Verlag, München www.qz-online.de

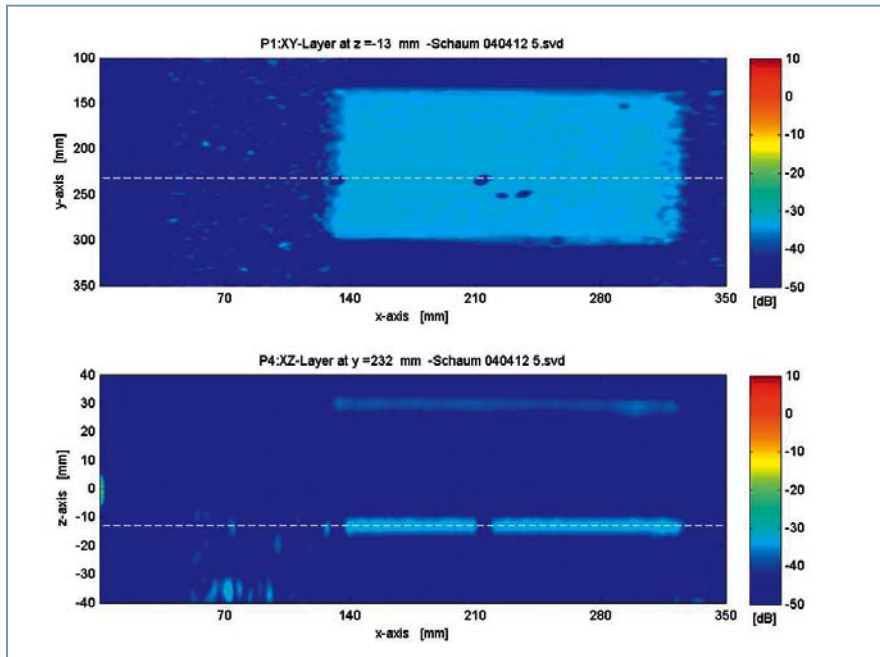


Bild 4. Oberfläche der verdeckten Rückseite eines Polyurethan-Strukturschaums

hängig von der Applikation auch damit schon praxistaugliche Messzeiten erreicht. Darüber hinaus arbeitet das mobil

einsetzbare System SynViewCompact, Synview GmbH, Bad Homburg, simultan mit zwei Messfrequenzen (0,1 und

0,3 THz), sodass nach einer Messung beide Datensätze zur Verfügung stehen. Dies ist sinnvoll, da sich die Daten hinsichtlich Ortsauflösung und Eindringtiefe ideal ergänzen.

Künftig werden auch Phased-Array-Systeme zum Einsatz kommen (wie das im Bereich der Ultraschallprüfung schon heute der Fall ist). Hierbei wird eine Vielzahl von Quellen und Detektoren einer Frequenz entweder als Zeile oder auch in der Fläche angeordnet. Die Auswertung der Signalkorrelationen zwischen den individuellen Quellen und Detektoren hat viele Vorteile. Zum einen kann auf eine Abbildungsoptik verzichtet und stattdessen eine synthetische (gerechnete) Fokussierung durchgeführt werden. Dadurch können nach nur einer Messung Ergebnisse mit beliebiger Fokussierungsebene erzeugt werden. Zum anderen sind mit solchen Systemen auch deutlich größere Messabstände realisierbar (je nach Applikation bis zu mehrere Meter). Derartige Phased-Array-Lösungen wurden vor Kurzem im Labor realisiert, die Technologie ist also bereits verfügbar. □