

Zerstörungsfreie Prüfverfahren (ZfP). Methoden zur zerstörungsfreien Prüfung von Kunststoffbauteilen sind heute in großem Variantenreichtum verfügbar. „Das“ universelle Prüfverfahren existiert allerdings nicht: Es muss für jeden spezifischen Anwendungsfall genau geprüft werden, welches Verfahren für den jeweiligen Werkstoff, die herrschenden Umgebungsbedingungen sowie das zu detektierende Fehler- oder Bauteilmerkmal geeignet ist.

Ich sehe was, was du nicht siehst

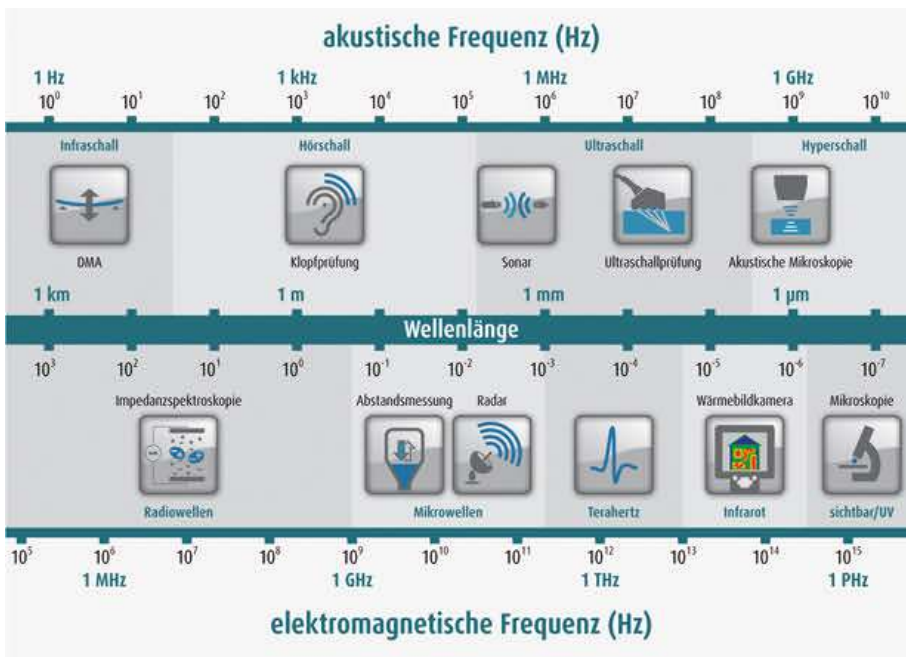


Bild 1. Vergleich des akustischen und elektromagnetischen Spektrums hinsichtlich der Wellenlänge mit einigen Beispielanwendungen der zerstörungsfreien Prüfmethoden (Bilder: SKZ)

THOMAS HOCHREIN U. A.

Kunststoffe kommen heute in immer mehr sicherheitsrelevanten Bereichen zur Anwendung, die früher vorrangig durch andere Werkstoffe wie Metalle belegt wurden. Dies betrifft vorrangig Bauteile in Endanwendungen wie z. B. der Automobil-, Raum-, Luftfahrtindustrie und Medizintechnik sowie Branchen, in denen Kunststoffprodukte als Werkzeuge dienen, wie z. B. als Form in

der Lebensmittelindustrie. In jedem Fall ist eine gleichbleibend hohe Produktqualität von großer Bedeutung, um zeit- und kostenintensive wirtschaftliche oder gar Personenschäden zu vermeiden.

Meist ist es erforderlich, die Bauteile zerstörungsfrei zu prüfen. Gegenüber zerstörenden Untersuchungen können sie nach der Prüfung weiter verwendet werden. Beispiele sind hier v. a. Artikel mit einem hohen Produktwert wie Rotorblätter von Windkraftanlagen, Hubschrauberkomponenten oder tragende Fahrwerksteile in der Automobilindustrie. ZfP-Verfahren erlauben zudem häufig die

Untersuchung von Bauteilen im verbauten Zustand, sodass eine Demontage unnötig wird. Ein zunehmendes Anwendungsszenario ist die ZfP von Nicht-Kunststoffprodukten, wie z. B. Lebensmittel, auf unerlaubte Fremdstoffe aus Kunststoff.

Mittlerweile stehen zahlreiche ZfP-Methoden zur Verfügung (Bild 1), die verfahrensbedingt charakteristische Vor- und Nachteile sowie spezifische Einsatzgebiete aufweisen. Um dem Anwender einen Überblick über die Verfahrensprinzipien und deren Einsatzgebiete zu verschaffen, wird im Folgenden auf die wichtigsten ZfP-Methoden eingegangen. Tabelle 1 liefert einen grundlegenden Überblick über die Möglichkeiten und Grenzen der einzelnen ZfP-Verfahren, wobei nach einer Vorauswahl durch die Diversität der Methoden noch eine gründliche Einzelfallprüfung erforderlich ist. Die meisten der vorgestellten Methoden werden vom Kunststoff-Zentrum SKZ stetig erprobt, weiterentwickelt und stehen für den industriellen Transfer zur Verfügung.

Röntgenverfahren

Bei der Prüfung mit Röntgenstrahlen wird deren Schwächung durch eine zwischen Strahlungsquelle und Detektor lokalisierte Probe ermittelt. Damit ist immer ein mehrseitiger Probenzugang nötig. Eine spezielle Probenvorbereitung ist für die berührungslosen Röntgenmethoden meist nicht erforderlich. Der mögliche Kontrast zwischen zwei Materialien wird durch deren Unterschied im Massenschwächungskoeffizient bestimmt. Die Abschwächung von Röntgenstrahlen ist somit von der

Elektronendichte und damit wesentlich von der Stoffdichte abhängig. Häufig weisen ungefüllte Polymere zu ähnliche Massenschwächungskoeffizienten auf, als dass sie noch sicher differenzierbar sind. Erfahrungsgemäß ist meist eine Dichtedifferenz von mindestens 0,2 g/cm³ für eine sichere Separierung notwendig. Der Kontrast von Kunststoffen zu Metallen, Keramiken oder Hohlräumen ist hingegen in der Regel sehr hoch. Bei der konventionellen Durchstrahlungsprüfung können damit in einer Aufnahme entsprechende Fehler erkannt werden.

Die industrielle Computer-Tomografie (iCT) mittels Röntgenstrahlen findet in der Bauteilanalyse immer mehr Anwendung [1]. Entgegen der konventionellen Durchstrahlungsprüfung werden bei der iCT mehrere Aufnahmen aus unterschiedlichen Projektionsrichtungen angefertigt, die im Grundsatz anschließend zu mehreren Schnittbildern rekonstruiert und zu einem 3D-Modell zusammengefügt werden [2]. Nachteilig ist die limitierte Bauteilgröße, die durch die Anlagengröße beschränkt wird. Es bietet sich hier der Einsatz der Laminografie als Son-

derverfahren an. Hierbei können auch Bauteile untersucht werden, die nicht von allen Seiten zugänglich sind. Die Laminografie eignet sich daher vor allem für die Prüfung von großflächigen Bauteilen [3]. Ein Nachteil der iCT-Verfahren ist der hohe Zeit- und Kostenaufwand gegenüber herkömmlichen Durchstrahlungsprüfungen (Tabelle 1).

Um den Kontrast von Röntgenverfahren zu verbessern, wurde vor einigen Jahren die Dual-Energy-CT (2X-CT) entwickelt [4]. Hierbei werden Röntgenaufnahmen mit zwei unterschiedlichen



Kenngröße		Messsystem										
		Röntgen		Thermografie		Ultraschall		Shearografie	Mikrowellen	Terahertz		Wirbelstrom
		Durchstrahlungsprüfung	Computer-Tomografie	aktiv	passiv	Gruppenstrahlertechnik	Luftultraschall			optisch	vollelektronisch	
Materialien	elektrische Leitfähigkeit	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+ ¹
	Schäume	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-
Fehlerart	Einschluss, Poren Lunker	+	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+
	Riss senkrecht zur Bildebene	+	+	-	-	0	-	0	-	0	0	+
	Delamination parallel zur Bildebene	-	+	+	+	+	0	+	0	+	+	0
Laterale Auflösung ²		µm - mm	µm - mm	mm - cm	mm - cm	µm - mm	mm - cm	mm - cm	mm - cm	µm - mm	µm - mm	mm - cm
Eindringtiefe ²		einige dm	einige dm	wenige mm	wenige mm	einige cm	einige cm	wenige mm	einige cm	viele cm	viele cm	einige mm
Bevorzugter Probenzugang		2	2	1 und 2	1	1	1 und 2	1 und 2	1	1 und 2	1 und 2	1
Mobilität		0	-	+	+	+	0	+	+	-	+	+
Erforderliche Schutzeinrichtung ³		-	-	+	+	+	+	0	+	0	+	+
Reifegrad bzgl. industrieller Verfügbarkeit		+	+	+	+	+	0	+	+	-	+	0
Arbeitsabstand ⁴		dm	cm	cm - m	cm - m	berührend	mm - cm	cm - m	mm - cm	cm	cm	mm
Zeitaufwand zur Prüfung eines Quadratmeters ⁴		wenige Minuten	mehrere Stunden	mehrere Minuten	einige Minuten	mehrere Minuten	mehrere Minuten	einige Minuten	mehrere Minuten	wenige Stunden	mehrere Minuten	wenige Minuten

(Legende: + = gut/unkritisch, 0 = mittel/bedingt kritisch, - = schlecht/kritisch, 1 = einseitig, 2 = zweiseitig)

1 Zur ZfP mittels Wirbelstrom ist eine elektrische Leitfähigkeit zwingend notwendig.

2 Die laterale Auflösung und Eindringtiefe sind sowohl material- als auch systemabhängig. Daher wird lediglich eine Größenordnung angegeben, die für den Einzelfall geprüft werden muss.

3 Die Schutzeinrichtung kann aufgrund ionisierender Strahlung (Röntgenverfahren) oder Laserkomponenten (Terahertz) notwendig sein.

4 Der Arbeitsabstand zwischen Messsystem und Probekörper sowie der Zeitaufwand zur Prüfung eines Quadratmeters sind von der spezifischen Anwendung abhängig. Daher wird lediglich eine Größenordnung angegeben, die für den Einzelfall geprüft werden muss.

Tabelle 1. Gegenüberstellung von etablierten ZfP-Messsystemen und Kriterien zur Beurteilung deren technischer Funktionalität

Energien bzw. Wellenlängen erstellt, die anschließend miteinander ausgewertet werden. Damit können die absoluten elementspezifischen Ordnungszahlen der Materialien bestimmt und somit auch Materialien mit geringer Dichtedifferenz besser differenziert werden.

Mit Röntgenverfahren lassen sich dreidimensionale Fehler (z.B. Einschlüsse, Lunken, Poren), aber auch Delaminationen und Risse im Bauteilinneren oder an dessen Oberfläche hinsichtlich Größe, Form und Lage charakterisieren (Tabelle 1). Durch die sehr hohe Ortsauflösung ist auch eine Geometrievermessung möglich, was einen Einsatz im Reverse Engineering eröffnet. Als besonders geeignet erweist sich das Verfahren bei der



Bild 2. Röntgen-Durchstrahlungsaufnahme einer Lautsprecherbaugruppe, bestehend aus Kunststoffgehäuse (hellgrau), Schutzgitter (dunkelgrau) und Lautsprecher mit Kabel (schwarz)

Schadens- und Funktionsanalytik ganzer Baugruppen (Bild 2). Dieser Vorteil kann z. B. auch bei der Prüfung von Klebe- und Schweißverbindungen genutzt werden, um Bindefehler oder Einschlüsse zu detektieren (Bild 3).

Thermografie

Bei der Thermografie wird die von Oberflächen abgestrahlte Infrarotstrahlung ortsaufgelöst detektiert. Die Intensität der Abstrahlung dient als Maß für die Oberflächentemperatur des Objekts, sodass deren zeitliche und örtliche Veränderung mittels einer Thermografiekamera ermittelt werden kann. Grundsätzlich wird zwischen passiver und aktiver Thermografie unterschieden.

Bei der passiven Thermografie wird die originäre Temperaturverteilung bedingt durch die Umgebung oder den Prozess gemessen. Eine klassische Anwendung ist die zerstörungsfreie Prozessüberwachung, bei der die eingetragene Prozesswärme zur ZfP genutzt wird [5]. Da sich z. B. die Oberfläche mit einer anderen Geschwindigkeit als das Bauteilinnere abkühlt, ergibt sich innerhalb des Bauteils ein Wärmestrom. Fehlstellen wirken dabei wie eine thermische Barriere, sodass innenliegende Struk-

turen sich durch eine veränderte Temperaturverteilung an der Oberfläche äußern.

Bei der aktiven Thermografie wird das Bauteil gezielt von außen thermisch angeregt. Bei der Impuls-Thermografie wird das Prüfobjekt kurzzeitig z. B. mittels leistungsstarker Blitzlampen, Heizstrahlern oder Lasern erwärmt. Fehler oder Inhomogenitäten im Bauteil beeinflussen dabei den Wärmefluss in das Bauteilinnere und führen dadurch zu detektierbaren lokalen Temperaturunterschieden an der Oberfläche. Ein Nachteil ist hierbei eine deutlich höhere thermische Oberflächenbelastung als bei anderen Thermografie-Verfahren. Als Faustformel bei Kunststoffen gilt, dass lediglich Fehler erkannt werden

können, deren Tiefenlage im Bauteil maximal ihrer projizierten Ausdehnung entspricht [6].

Bei der aktiven Lock-in-Thermografie erfolgt die Anregung intensitätsmoduliert mit unterschiedlichen Quellen. Analog zur Impuls-Thermografie kann die Anregung optisch mit Lampen (OLT) oder alternativ mit Ultraschallwellen (ULT) erfolgen. Hierbei wird die Energie akustisch in das Bauteil eingekoppelt, die vorzugsweise im Defektbereich gedämpft oder an losen Kontaktstellen durch Reibung in Wärme umgewandelt wird und folglich zu einer lokalen Erwärmung führt. Elektrisch leitfähige Materialien wie Kohlefaserwerkstoffe lassen sich auch mit induzierten Wirbelströmen (ILT) anregen. Hier verursachen z. B. Brüche in den leitfähigen Fasern eine veränderte detektierbare Wärmeerzeugung. Die Lock-in-Thermografie ist frequenzselektiv, d. h. sie spricht nur auf Temperaturänderungen bei der spezifischen Anregungsfrequenz an. Das durch Fourieranalyse erhaltene Phasenbild zeigt unabhängig von der Ausleuchtungsqualität die thermischen Strukturen unterhalb der Oberfläche an [7]. Die Eindringtiefe hängt primär von der Modulationsfrequenz ab: Je geringer die Anregungsfrequenz ist, desto höher ist die Eindringtiefe und auch die erforderliche Messzeit.

Die Thermografie eignet sich besonders zur berührungslosen Untersuchung von homogenen großflächigen und dünnwandigen Bauteilen einfacher Geometrie. Es kann sowohl in Transmission als auch Rückstrahlanordnung ge-

arbeitet werden, sodass auch ein einseitiger Probenzugang ausreichend ist. Bei Kunststoffen ist die Anwendung meist auf geringe Wandstärken im Millimeterbereich beschränkt. Thermografie kann v. a. oberflächennahe dreidimensionale Fehler darstellen (Bild 4), aber auch flächige Fehler wie Delaminationen oder das Fehlen von Faserlagen bis hin zu einzelnen Rovings in Faserverbundbauteilen wie Rotorblättern erfassen. Thermografie-Systeme sind meist sehr mobil, vergleichsweise kompakt und damit auch für den Feldeinsatz geeignet (Tabelle 1).

Ultraschall-Prüfung

Bei der Ultraschall-Prüfung werden in der Praxis mechanische Wellen im Frequenzbereich von 20 bis zu 50 MHz eingesetzt (Bild 1). Die Ausbreitung der Wellen im Prüfobjekt hängt im Wesentlichen von deren Dichte und mechanischen Modulen ab. Im Material treten unterschiedliche Effekte auf, die für die zerstörungsfreie Prüfung genutzt werden können. So führen z. B. Inhomogenitäten im Materialgefüge, Schäume oder partikelgefüllte Werkstoffe zu Streuung und damit einer verstärkten Dämpfung. An Grenzflächen kommt es hingegen zu Reflexionen und Brechung.

Bei der konventionellen Ultraschall-Prüfung ist ein Koppelmedium wie Wasser oder Glycerin erforderlich, um eine möglichst effiziente Ankopplung des Ultraschallwandlers im Messkopf an das Prüfobjekt zu erzielen. Die laterale Auflösung ist vom Material und der Frequenz abhängig. In Kunststoffen liegt dieses Auflösungsvermögen bei einer typischen Frequenz um 10 MHz in der Größenordnung von 0,05 bis 0,2 mm (Tabelle 1). In Ausbreitungsrichtung ist auf Basis von Laufzeitmessungen („time-of-flight“) eine wesentlich höhere longitu-

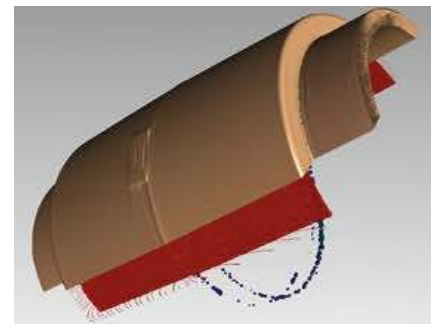


Bild 3. Industrielle Röntgen-CT-Aufnahme einer Klebeverbindung, bestehend aus zwei Rohren in Stumpfstoß und einer Muffe mit Klebeschicht (rot), sowie Luftporen (blau)

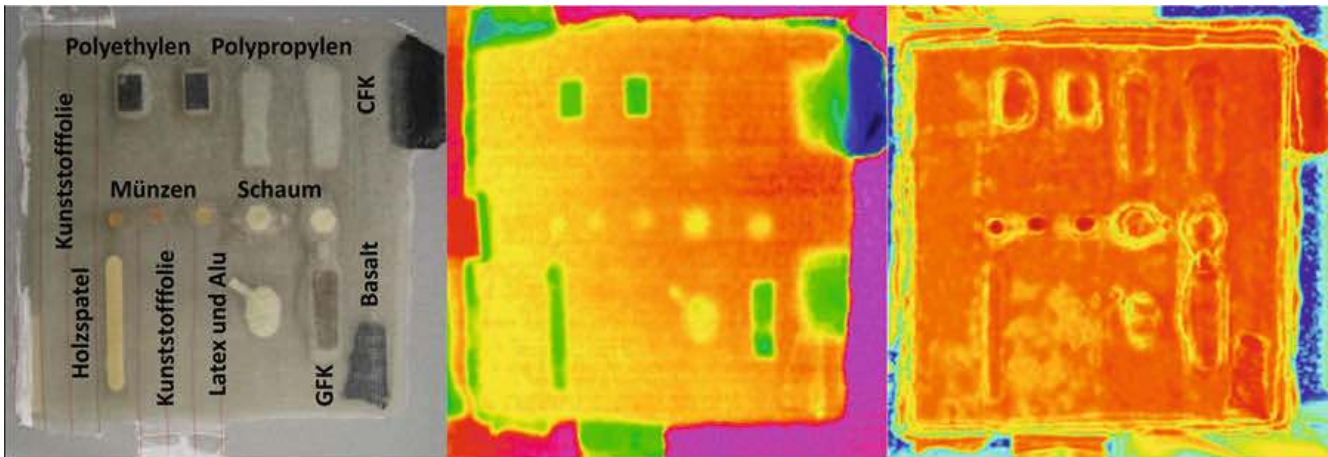


Bild 4. Mittels Lock-in-Thermografie (Mitte) und vollelektronischem Terahertz-System aufgenommene Phasenbilder (rechts) eines Probekörpers (links) aus ungesättigtem Polyesterharz mit verschiedenen eingebrachten Fehlern

dinale Auflösung erzielbar, sodass sich das Verfahren auch zur präzisen Schichtdickenmessung z. B. durch Auswertung der Reflexionen an den Grenzflächen eignet.

Üblicherweise wird in der Prüfung die Gruppenstrahlertechnik (Phased Array) eingesetzt. Dabei handelt es sich um ein Ultraschallwandler-Array, dessen Komponenten individuell mit einem Phasenshift angesteuert werden können. Hierdurch kann die Wellenfront z. B. elektronisch geschwenkt oder fokussiert werden. Der Messkopf wird hierzu meist manuell über die Probenoberfläche geführt.

In den letzten Jahren wurde die Luftultraschalltechnik stetig weiterentwickelt. Diese ermöglicht eine berührungslose Messung, die allerdings aufgrund der wesentlich niedrigeren möglichen Frequenzen und hohen Verlusten durch die Einkopplung von Luft in das Material zu Lasten der lateralen Auflösung geht [8]. Die Bildgebung erfolgt in der Regel via Rasterverfahren in Reflexion oder Transmission. Prinzipiell ist auch die Anwendung der Gruppenstrahlertechnik mit Luftultraschall möglich, jedoch in der Praxis bislang noch nicht etabliert [9].

Mit Ultraschall können nicht nur dreidimensionale Fehler wie Fremdkörper einschüsse und Poren detektiert, sondern auch flächige Fehler in großen Tiefenlagen charakterisiert werden (Bild 5). Weiterhin ist das Verfahren zur Rissdetektion geeignet. Je homogener eine Probe ist, desto besser lassen sich die Signale interpretieren und Fehlern zuordnen. Es ist meist nur ein einseitiger Probenzugang erforderlich, und die Ultraschallsysteme zeichnen sich durch eine hohe Mobilität und eine hohe Kompaktheit aus (Tabelle 1).

Shearografie

Die Shearografie beruht auf der Messung kleinster Verformungen der Objekt-oberfläche, die aus einer thermischen oder mechanischen Belastung des Prüflings resultieren. Die meist periodische Anregung führt zu einem Schwingen der Bauteiloberfläche, das abhängig von der inneren und äußeren Struktur sowie von Inhomogenitäten ist. So schwingt z. B. die Oberfläche über einem darunterliegenden Hohlraum wesentlich stärker als jene über einem massiven Untergrund.

! Wer liefert was?

Eine aktualisierte Firmenadressliste von deutschen Lieferanten zerstörungsfreier Prüfgeräte kann im Internet kostenlos abgerufen werden:
[→ www.kunststoffe.de/A088](http://www.kunststoffe.de/A088)

Die laterale und die Tiefenaufklärung sind jedoch eingeschränkt, da die Verformungsänderungen von anderen Deformationen überlagert werden können. Abhilfe schafft hier die Lock-in-Technik analog zur Thermografie. Allerdings werden hier nicht die Oberflächentemperatur, sondern oberflächliche Verformungen gemessen. Dazu wird die Probe periodisch z. B. über intensitätsmodulierte Lampen oder Ultraschallwellen angeregt. Alle unmodulierten Deformationen werden somit unterdrückt. Die orts aufgelöste Schwingungsmessung erfolgt meist mit einem sogenannten Laser-Speckle-Interferometer. Die Oberfläche des Prüfobjekts wird mit einem aufgeweiteten Laserstrahl beleuchtet, die das Laserlicht in eine Kamera reflektiert.

Durch die Schwingung der Oberfläche und damit geringfügige Abstandsänderung zwischen Prüfbjekt und Kamera wandern die resultierenden Speckle-Muster, woraus die orts aufgelöste Schwingungsamplitude abgeleitet werden kann.

Um Informationen über die Tiefenlage von bestimmten Merkmalen zu erhalten, müssen die Messungen mit verschiedenen Anregungsfrequenzen durchgeführt werden, da die Eindringtiefe hiervon abhängig ist. Die gesamte Messdauer beträgt bei diesem Verfahren meist mehrere Minuten (Tabelle 1). Diese Methode eignet sich ebenfalls zur Detektion oberflächennaher und großflächiger Fehler wie z. B. fehlerhafte Klebeverbindungen in Rotorblättern. Sie ist prädestiniert für den Einsatz im Bereich der Faserverbundkunststoffe, speziell in der Überwachung von laminierten Platten und Sandwichstrukturen in der Luft- und Raumfahrtindustrie [10]. Die Methode kann berührungslos und auch bei nur einseitigem Probenzugang erfolgen. Shearografiesysteme sind sehr mobil einsetzbar.

Mikrowellenverfahren

Elektromagnetische Wellen mit Frequenzen von etwa 300 MHz bis einigen 10 GHz werden als Mikrowellen ebenfalls zur ZfP eingesetzt. Die Wellenlänge von mehreren Millimetern bis Zentimetern bedingt auch die entsprechende laterale Auflösung (Tabelle 1). Durch Messungen im Nahfeld der Antennen kann jedoch ein Auflösungsvermögen von bis zu wenigen Millimetern erzielt werden [11].

Unterschiedliche Werkstoffe zeichnen sich durch verschiedene dielektrische Permittivitäten aus. Somit kann durch reflektierte oder transmittierte Mikrowellen- →

strahlung, die in Wechselwirkung mit dem Material getreten ist, auf die Eigenschaften der Probe geschlossen werden. Elektrisch isolierende Materialien sind für Mikrowellen weitestgehend transparent. Liegen hingegen elektrische Leiter wie kohlefaserverstärkte Kunststoffe oder Metalleinleger vor, so wird die Strahlung reflektiert. Aufgrund der vergleichsweise großen Wellenlänge treten in fasergefüllten Werkstoffen kaum Streueffekte und damit Dämpfung auf, sodass das Verfahren für diese Materialien prädestiniert ist. Mikrowellenverfahren arbeiten berührungslos, bedienen sich jedoch aufgrund der Auflösungsverbesserung im Nahfeld häufig eines sehr geringen Abstands zwischen Antenne und Probekörper.

Terahertz-Technologie

Terahertz-Wellen arbeiten mit höheren Frequenzen als Mikrowellen und grenzen an den Infrarotbereich (Bild 1). Das laterale Auflösungsvermögen ist wieder durch die Wellenlänge auf etwa 0,05 bis 1 mm begrenzt. Aufgrund der Transparenz vieler Kunststoffe können diese mit Terahertz-Wellen durchstrahlt werden [12]. Sie sind jedoch im Gegensatz zu Röntgenstrahlen nicht ionisierend, sodass auf eine Abschirmung verzichtet werden kann. Elektrisch leitfähige Materialien wie z. B. Wasser können nicht durchdrungen werden und wirken reflektierend. Dies ermöglicht eine hohe Genauigkeit bei der Ermittlung des Wassergehalts oder metallischer Einschlüsse. Fehlstellen zeichnen sich grundsätzlich durch einen vom umgebenden Material abweichenden Brechungsindex und Absorptionskoeffizienten aus, sodass diese sehr gut erkannt werden können.

Terahertz-Systeme untergliedern sich in optische und vollelektronische Systeme. Letztere erzeugen Terahertz-Wellen ohne den Einsatz optischer Komponenten wie Lasern, weshalb diese deutlich robuster und industrietauglicher sind. Diese Systeme bieten häufig eine höhere Informationsausbeute hinsichtlich der Materialeigenschaften, bessere Auflösung und Eignung zur Schichtdickenmessung. Dies geht jedoch meist zu Lasten der Messgeschwindigkeit. Typischerweise werden Rasterverfahren zur Bildgebung angewandt. Zukünftig könnte die Personenscannertechnologie auf Basis von Terahertz-Wellen auch Einzug in die Prüftechnik halten und mit sehr leistungsfähigen Systemen in der Messgeschwindigkeit, Darstellung und Informationsausbeute überzeugen [13]. Durch

Laufzeitmessungen lassen sich analog zur Ultraschallmesstechnik ebenfalls Tiefeninformationen gewinnen.

Mögliche Einsatzgebiete sind die berührungslose Detektion von Fehlern wie z. B. Bindenähten oder Einschlüssen (Bild 4), die Schichtdickenmessung oder die Inspektion von Schweißnähten [14]. In elektrisch nicht leitfähigen Faserverbundkunststoffen wie Glasfaserlaminaten können z. B. Delaminationen erkannt werden (Tabelle 1). Die Terahertz-Technologie befindet sich momentan in einer intensiven Weiterentwicklung.

Wirbelstrom-Methode

Das Wirbelstrom-Verfahren findet Anwendung bei Messungen an elektrisch leitenden Werkstoffen. Im Kunststoffsegment kommen hierfür u. a. kohlefaserverstärkte Werkstoffe infrage. Durch ein



Bild 5. Überlagerung des Fotos eines Faserverbundprobekörpers aus Epoxidharz mit Glasfasergewebe und innenliegendem SKZ-Logo aus 95 % Baumwolle und 5 % Elasthan mit einem entsprechenden Amplitudenbild einer Luftultraschallaufnahme in Falschfarbendarstellung

magnetisches Wechselfeld einer Sensorspule werden Wirbelströme in einem Bauteil induziert, deren Eigenfeld gemäß der Lenz'schen Regel dem Erregerfeld entgegengerichtet ist. Dies hat eine Änderung des Wechselstromwiderstands der Sensorspule zur Folge und ist abhängig von den Materialeigenschaften des Prüflings. Auf diese Weise können unterschiedliche Fehlstellen wie Einschlüsse oder Poren detektiert werden (Tabelle 1). Die Änderung der Leitfähigkeit des Materials durch z. B. Faserbrüche wirkt sich ebenfalls auf die Messung aus.

Ausblick

Die immer komplexeren Aufgabenstellungen für zerstörungsfreie Prüfverfahren führen zu einer stetigen Weiterentwicklung. ZfP-Verfahren, die bis vor einigen Jahren noch im Labormaßstab er-

probt wurden, wie die Terahertz- oder Mikrowellen-Messtechnik, finden zunehmend Einzug in die industrielle Nutzung. An einer ähnlichen Schwelle befinden sich zurzeit die Kernspinresonanzmethoden, die sich prinzipiell ebenfalls zur Analyse von Polymeren eignen. Weiterer Entwicklungsbedarf ist auch in der Luftultraschalltechnik zu beobachten, die bisher nur von wenigen hochspezialisierten Unternehmen eingesetzt wird. In Hinblick auf die zunehmende Bedeutung der Qualitätssicherung, Schadensanalytik und Erprobung neuer Fertigungskonzepte und Werkstoffe kann von einer fortschreitenden Systementwicklung ausgegangen werden. Welches Verfahren letztendlich für welche spezifische Anwendung geeignet ist, muss nach wie vor im Einzelfall und meist anhand praktischer Vorversuche geklärt werden. Das SKZ besitzt hier ein umfangreiches Know-how mit entsprechender Ausstattung und steht der Industrie hierbei zur Seite. ■

LITERATUR

Das ausführliche Literaturverzeichnis kann im Internet unter www.kunststoffe.de/A088 abgerufen werden.

DIE AUTOREN

THOMAS HOCHREIN, geb. 1979, ist Geschäftsfeldleiter Messtechnik in der Kunststoff-Forschung und -Entwicklung des SKZ; t.hochrein@skz.de

GIOVANNI SCHOBER, geb. 1989, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im SKZ und arbeitet in der Forschung und Entwicklung im Geschäftsfeld Messtechnik auf dem Gebiet der ZfP.

EDUARD KRAUS, geb. 1981, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im SKZ und arbeitet in der Forschung und Entwicklung im Geschäftsfeld Fügen von Kunststoffen auf dem Gebiet der ZfP und des Klebens.

PETER HEIDEMEYER, geb. 1959, ist Geschäftsführer der Kunststoff-Forschung und Entwicklung des SKZ.

MARTIN BASTIAN, geb. 1966, ist Institutsdirektor des SKZ und Professor für das Fachgebiet „Technologie der polymeren Werkstoffe“ an der Universität Würzburg.

SUMMARY

I SPY WITH MY LITTLE EYE SOMETHING THAT IS...

NONDESTRUCTIVE TEST METHODS. Many methods for nondestructive testing of plastic parts are available today. "The" universal test method does not exist, however: for every specific application, it is necessary to check which method is most appropriate for the particular material, the prevailing ambient conditions and the flaws or attributes to be detected.

Read the complete article in our magazine

Kunststoffe international and on www.kunststoffe-international.com