

SPECIAL:

Packaging

Verpackungen kontaktlos prüfen

Vergleich der Terahertz- und Mikrowellenmesstechnik

Terahertz- und Mikrowellenverfahren bieten sich in vielen Einsatzgebieten für die Prüfung von Kunststoffverpackungen an. Zu bereits länger etablierten Wanddickenmessungen und Defektdetektionen gesellen sich mittlerweile weitere realisierbare Prüfmöglichkeiten, die für eine höhere Prozesssicherheit und Kosteneffizienz sorgen. Die beiden Messtechniken haben dabei unterschiedliche Stärken und eignen sich für verschiedene Anwendungen.

Bei der zerstörungsfreien Prüfung von Kunststoffen sind seit mehreren Jahren die Terahertz- (THZ) und Mikrowellen-Verfahren (MW) sehr gefragt. Diese berührungslos arbeitenden Messmethoden nutzen Frequenzbereiche zwischen Infrarot- und Radiowellen (Bild 1) und eignen sich aufgrund ihrer Eigenschaften für unterschiedliche Prüfaufgaben. Sehr gute Tiefenauflösungen, die Möglichkeit der Untersuchung spektraler Informationen, große Eindringtiefen in vielen Polymeren und die Möglichkeit zur Messung mit einseitigem Bauteilzugang zählen zu ihren Hauptvorteilen. Außerdem ermöglicht die

nicht-ionisierende Strahlung einen Betrieb, der ohne aufwendige Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen auskommt.

Vom Compoundieren über das Spritzgießen, die Extrusion und die additive Fertigung bis hin zum Schweißen und Kleben sowie am Endprodukt selbst existieren Einsatzbereiche für diese Techniken. Dazu gehören beispielsweise die Bestimmung von Schichtdicken im Mikro- bis Dezimetermaßstab, die Detektion von herstellungs- und anwendungsbedingten Fehlstellen, die Charakterisierung von Schäumen hinsichtlich der zellulären Struktur, die Ermittlung von Feuchtegehalten und die Beschreibung des Aufschmelz- und Erstarrungsverhaltens von Kunststoffen. Besonders im Verpackungsbereich bestehen zahlreiche Möglichkeiten der Anwendung.

Unterschiede des Terahertz- und Mikrowellen-Verfahrens

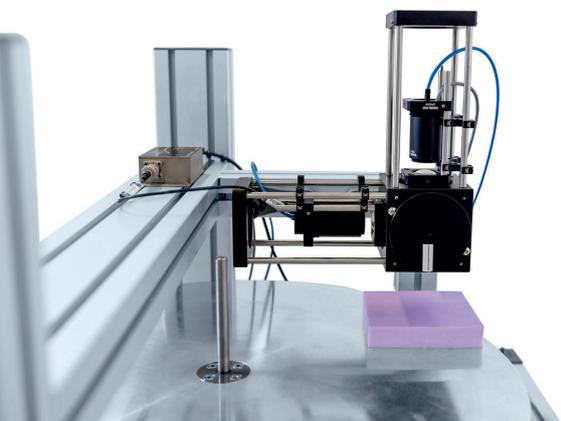
Trotz vieler gemeinsamer Vorzüge der THZ- und der MW-Technik lassen sich bei genauerer Betrachtung neben der bloßen Wellenlänge mehrere weitere Unterschiede feststellen. Die Erzeugung von THZ-Strahlung erfolgt in der Regel optisch mithilfe von Ultrakurzpulslasern und Halbleitern, wohingegen MW rein elektronisch erzeugt werden. Die optischen Systeme realisieren sehr große Frequenzbandbreiten von mehreren THz und somit sehr kurze Pulsweiten,

wodurch sich sehr hohe sogenannte longitudinale Auflösungen erzielen lassen. Diese ermöglichen es, aus mehreren Schichten aufgebaute Produkte mit Einzelschichten im μm -Bereich zu charakterisieren, was häufig bei Folienanwendungen der Verpackungsindustrie notwendig ist. Allerdings können optische THZ-Messsysteme empfindlich gegenüber Umwelteinflüssen wie Staub, Temperaturschwankungen oder Vibrationen sein.

Vollelektronische MW-Systeme sind hingegen robuster gegenüber dem industriellen Umfeld, erlauben außerdem höhere Messgeschwindigkeiten im mehrstelligen Hertzbereich und sind wesentlich kostengünstiger. Ihr hauptsächlichster Nachteil besteht in der fehlenden Möglichkeit zum Erhalt spektraler Informationen, um etwa Materialien zu identifizieren. Die sogenannte laterale Auflösung beider Systeme, die maßgeblich bestimmt, wie groß eine Struktur z. B. in Form einer zu detektierenden Fehlstelle sein muss, um noch sicher erfasst werden zu können, liegt im Millimeter- oder Submillimeter-Bereich.

Kosten und Ressourcen einsparen durch Inline-Prüfung

Sehr etabliert sind die THZ- und MW-Verfahren bei der Bestimmung von Wand- und Schichtdicken mit Messraten im mehrstelligen Hertz- und Auflösungen im Mikrometerbereich. Die Inline-Messung



Die Prüfung von geschäumten Produkten wird im Verpackungsbereich immer wichtiger. Mit der THZ-Messtechnik lässt sich sowohl die Zellgröße als auch die Zellgrößenverteilung und die lokale Rohdichte von Schäumen bestimmen © SKZ

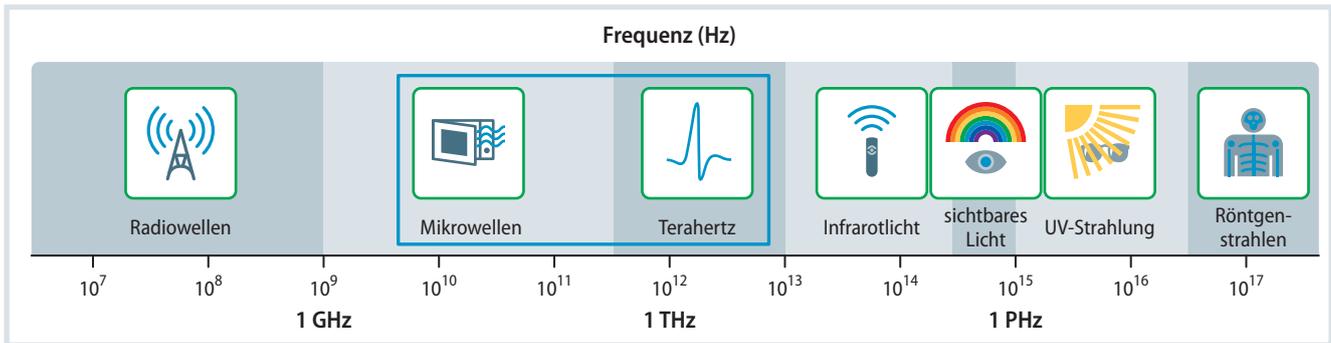


Bild 1. Der Frequenzbereich der Terahertz- und Mikrowellentechnik liegt zwischen der von auf Radiowellen und der von auf Infrarot- und UV-Licht basierenden Systemen Quelle: SK; Grafik: © Hanser

von Foliendicken beim Blasformen oder Kalandrieren ermöglicht es, auftretende Abweichungen von einem Sollwert direkt und zuverlässig während der Produktion zu erkennen. Das hilft etwa dabei, Qualitätsstandards einzuhalten und kann durch eine Verringerung von Ausschussware und einer optimierten Prozessführung zu Kosten- und Ressourceneinsparungen beitragen. Bei der Messung wird die sich ausbreitende elektromagnetische Welle an Grenzflächen unterschiedlicher Dichte reflektiert und

messtechnisch erfasst. Durch Kenntnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit und Messung des zeitlichen Reflexionsverhaltens kann auf den zurückgelegten Weg und damit die jeweilige Schichtdicke geschlossen werden (**Bild 2**).

Bis vor einigen Jahren wurden für Dickenmessungen noch nahezu ausschließlich Ultraschallverfahren angewandt, die allerdings durch ein Koppelmedium zwischen den Sensoren und dem Messobjekt berührend arbeiten. Die dazu notwendigen Peripheriegeräte unter-

liegen einem Verschleiß, was zu einem entsprechenden Wartungsaufwand führt. Außerdem ist die Ermittlung von Dicken in der Ultraschalltechnik stark temperaturabhängig, was bei THz- und MW-Systemen nicht der Fall ist. In jüngster Zeit haben sich die beiden Techniken so weiterentwickelt, dass sich neben der Messung von Wanddicken einfacher Geometrien auch komplexere Topologien, wie sie etwa bei strukturierten Folien vorliegen können, messtechnisch erfassen lassen. Dank aktueller Entwicklungsarbeiten »

Sie finden sie. Alle. Mit OCS.



Für 100 %ige Reinheit.

OCS setzt sich voll und ganz für die 100%ige Reinheit Ihrer Produkte ein.

Egal, ob Sie **Rohmaterial kontrollieren, Oberflächen überprüfen** oder **schlüssselfertige Labore einrichten** wollen: OCS entwickelt, baut und unterstützt Sie bei dem, was Sie wirklich brauchen.

OCS
Optical Control Systems GmbH
Witten, Germany
www.ocsgmbh.com

Besuchen Sie unseren virtuellen Messestand:





werden immer bessere Systeme mit hohen Wiederholgenauigkeiten im Submikrometerbereich hergestellt.

THz-Systeme bei Schäumen im Vorteil

Industriell bisher weniger verbreitet als die Dickenmessungen ist die Prüfung von geschäumten Produkten, die außer im Bausektor auch im Verpackungsbereich zunehmend an Bedeutung gewinnt (Bild 3). Gegenüber den bislang zur Zellgrößenbestimmung eingesetzten Verfahren, der Computertomographie, der digitalen Bildauswertung sowie der mikroskopischen Vermessung von Schnitten, sind mittels THz-Systemen die Parameter direkt inline während der Extrusion bestimmbar. MW-Systeme lassen sich ebenfalls dafür einsetzen, wobei die Frequenzbandbreite technisch bedingt nicht so groß wie bei THz-Systemen ist. Diese Frequenzbandbreite ist jedoch für das Auftreten von zellgrößenabhängigen sogenannten Streueffekten notwendig, die im Rahmen einer Messung zum zu interpretierenden Messergebnis führen. Deshalb können mit MW-Systemen lediglich Aussagen zur mittleren Zellgröße und nicht zu der vorhandenen Zellgrößenverteilung getroffen werden. Zusätzlich lässt sich sowohl mit THz- als auch MW-Systemen die lokale Rohdichte exakt ermitteln. Dazu wird die Laufzeit der Wellen als Maß für den materialspezifischen Brechungsindex beim Durchdringen der Schaumstruktur erfasst. Anhand eines experimentell ermittelten Zusammen-

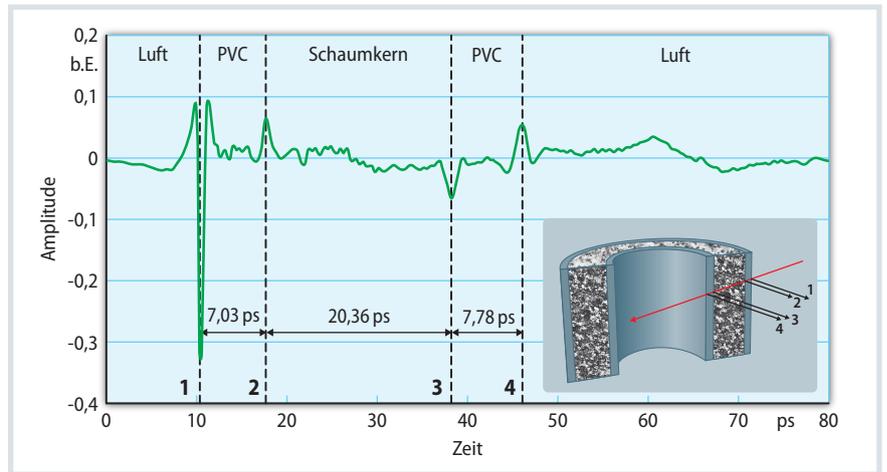
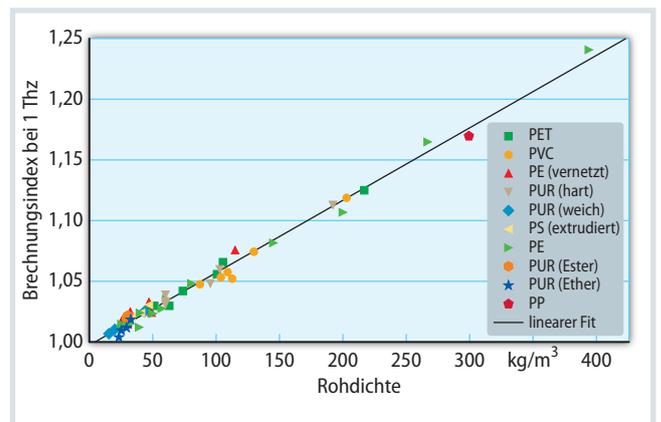


Bild 2. Prinzip der Dickenmessung: Grenzflächen unterschiedlicher Dichte führen zu Reflexion von Terahertz- und Mikrowellen. Durch Messung des zeitlichen Verhaltens und bei Kenntnis der materialspezifischen Ausbreitungsgeschwindigkeit kann auf den zurückgelegten Weg und somit die Dicke geschlossen werden. Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser

Bild 3. Zusammenhang zwischen dem in Echtzeit und inline ermittelbaren Brechungsindex und der Rohdichte für verschiedene geschäumte Polymere: THz-Systeme eignen sich sehr gut für die Prüfung von Schäumen

Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser



hangs zwischen der Rohdichte und dem Brechungsindex kann schließlich direkt im Prozess und in Echtzeit auf die örtliche Rohdichte geschlossen werden.

Fehlstellen in Verpackungen zuverlässig erkennen

Die Dichtheit von Verpackungen ist ein wesentliches Qualitätskriterium in vielen Branchen wie dem Medizin- oder Lebensmittelbereich. Neben den Permeationseigenschaften der eingesetzten Verpackungsmaterialien ist eine stoff- und häufig auch kraft- und formschlüssige Verbindung von Verpackungsteilen essenziell. Diese wird maßgeblich durch herstellungs- und betriebsbedingte Fehlstellen wie Fremdmaterialeinschlüsse, Lunker, Risse oder Delaminationen, respektive eine fehlende Haftung zwischen aneinander liegenden Grenzflächen, beeinträchtigt. Die Detektion solcher Fehlstellen ist sowohl durch THz- als auch

MW-Systeme in Form einer Produktionskontrolle oder als Stichprobenprüfung im Labor möglich. Grundsätzlich muss dabei eine Fehlstelle ein anderes Absorptionsverhalten oder einen anderen Brechungsindex als das umgebende Material aufweisen, um als solche identifiziert werden zu können. Häufig spielt die Tiefenlage des Fehlers im Bauteil eine untergeordnete Rolle, wohingegen dessen Größe maßgeblich die Auswirkung auf das Produkt bestimmt. Auf Seiten der Systemtechnik kommt daher der Prüffrequenz eine entscheidende Bedeutung zu. Je größer diese ist, desto kleiner ist die resultierende Wellenlänge der Strahlung und desto kleinere Strukturen können noch bildgebend aufgelöst werden. Aus diesem Grund eignen sich hochfrequente THz-Systeme mit Auflösungen im ein- bis zweistelligen Mikrometerbereich besser zur Fehlstellendetektion im Verpackungsbereich als niederfrequente MW-Systeme mit Auflösungen im Millimeter- und Submillimeter-

Die Autoren

Pierre Pfeffer ist als Wissenschaftler in der Gruppe für zerstörungsfreie Prüfung am SKZ tätig.

Dr. Thomas Hochrein ist Geschäftsführer der Bildung & Forschung des SKZ.

Giovanni Schober arbeitet seit 2012 in der Forschung und Entwicklung am SKZ und leitet die Gruppe Zerstörungsfreie Prüfung; g.schober@skz.de

Service

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

terbereich. Weitere Einsatzbereiche von THz- und MW-Verfahren sind vielfältig. Durch Messung der Strahlungsabsorption lässt sich beispielsweise der Feuchtigkeitsgehalt von Kunststoffen bestimmen, der insbesondere bei hydrophilen Materialien relevant ist (Bild 4). Da dafür die Messung bei einzelnen Frequenzen ausreicht und deshalb die große Frequenzbandbreite der THz-Systeme nicht notwendig ist, bieten sich bei dieser Art der Messung die günstigeren, elektronischen MW-Systeme an. Der Füllstoffgehalt von Kunststoffen ist durch Bestimmung des Brechungsindex quantitativ ermittelbar. Partikelgrößen können durch die Messung der frequenzabhängigen Extinktion in Erfahrung gebracht werden. Für beide Anwendungen und die Identifikation von Materialien (Bild 5) ist eine große Frequenzbandbreite von Vorteil. Deshalb haben sich dafür THz-Systeme als geeigneter erwiesen. Über diese Beispiele hinaus sind zudem auch Analysen von Molekülketten-, Partikel- und Faserorientierungen und die Feststellung des Aufschmelz- bzw. Erstarrungsgrads von Kunststoffen möglich, um z.B. verpackungsrelevante Schweiß- und Klebprozesse zu beschreiben.

Prüftechniken, die auf THz- und Mikrowellen setzen, bieten Anwendern viele noch ungenutzte Potenziale. Besonders durch die berührungslose und inline einsetzbare Nutzbarkeit sowie gute Auflösungen und spektroskopische Analyse-möglichkeit ergeben sich viele Möglichkeiten im Verpackungsbereich. Am SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg, wird intensiv an der Weiterentwicklung dieser Prüfverfahren gearbeitet. Der Fokus liegt

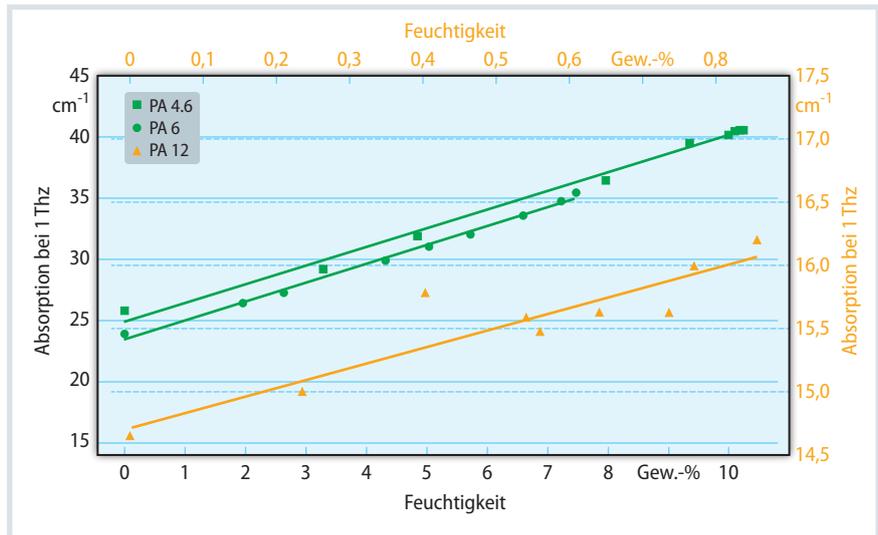


Bild 4. Mithilfe der THz- und MW-Messtechnik lässt sich der Feuchtegehalt von Polymeren bestimmen. Gerade MW-Systeme sind dafür besonders geeignet Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser

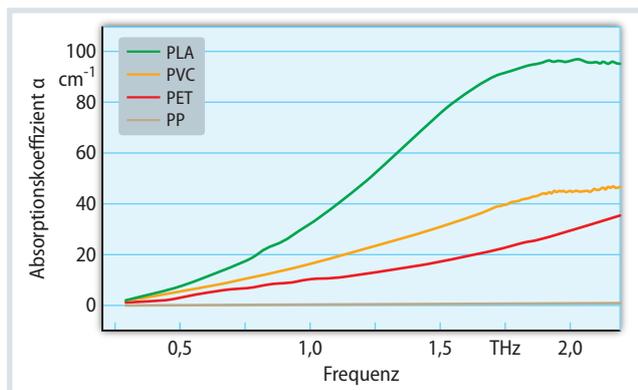


Bild 5. Auch für die Bestimmung von Materialien können die THz- und MW-Verfahren verwendet werden Quelle: SKZ; Grafik: © Hanser

dabei auf industrienahen und praxisrelevanten Forschungsarbeiten. Aktuelle Entwicklungen beschäftigen sich z.B. mit der Überführung der zunächst punktuellen Messung in eine tomografische, also dreidimensionale Bildgebung. Viele der

beschriebenen Anwendungen befinden sich an der Schwelle zur Kommerzialisierung. Eine industrielle Umsetzung in Zusammenarbeit mit Systemherstellern oder Anwendern kann somit am SKZ angeboten werden. ■



Präzision bis ins Detail. *Mikrodosierung < 1 g Schussgewicht!*

Es gibt Dosiergeräte. Und es gibt Plastrac.

Mehr als 25 Jahre Know-how-Entwicklung mit immer neuen Innovationen im Bereich Materialdosierung. Wir sind stolz auf unsere einfach einzusetzenden und zu wartenden Dosier-Lösungen. Und sorgen dafür, dass Ihre Just in Time-Fertigung nicht durch Ausfallzeiten gestört wird.

- Bei uns gehen Farbwechsel ganz schnell – auch während der Produktion
- Unsere Geräte sind einfach zu reinigen, um Ausfallzeiten zu reduzieren
- Mit unseren Geräten sind Farbschwankungen Geschichte!
- Unsere Geräte sind ethernetfähig
- Neu: Color Stream™ – Additive bodennah synchron zudosieren

