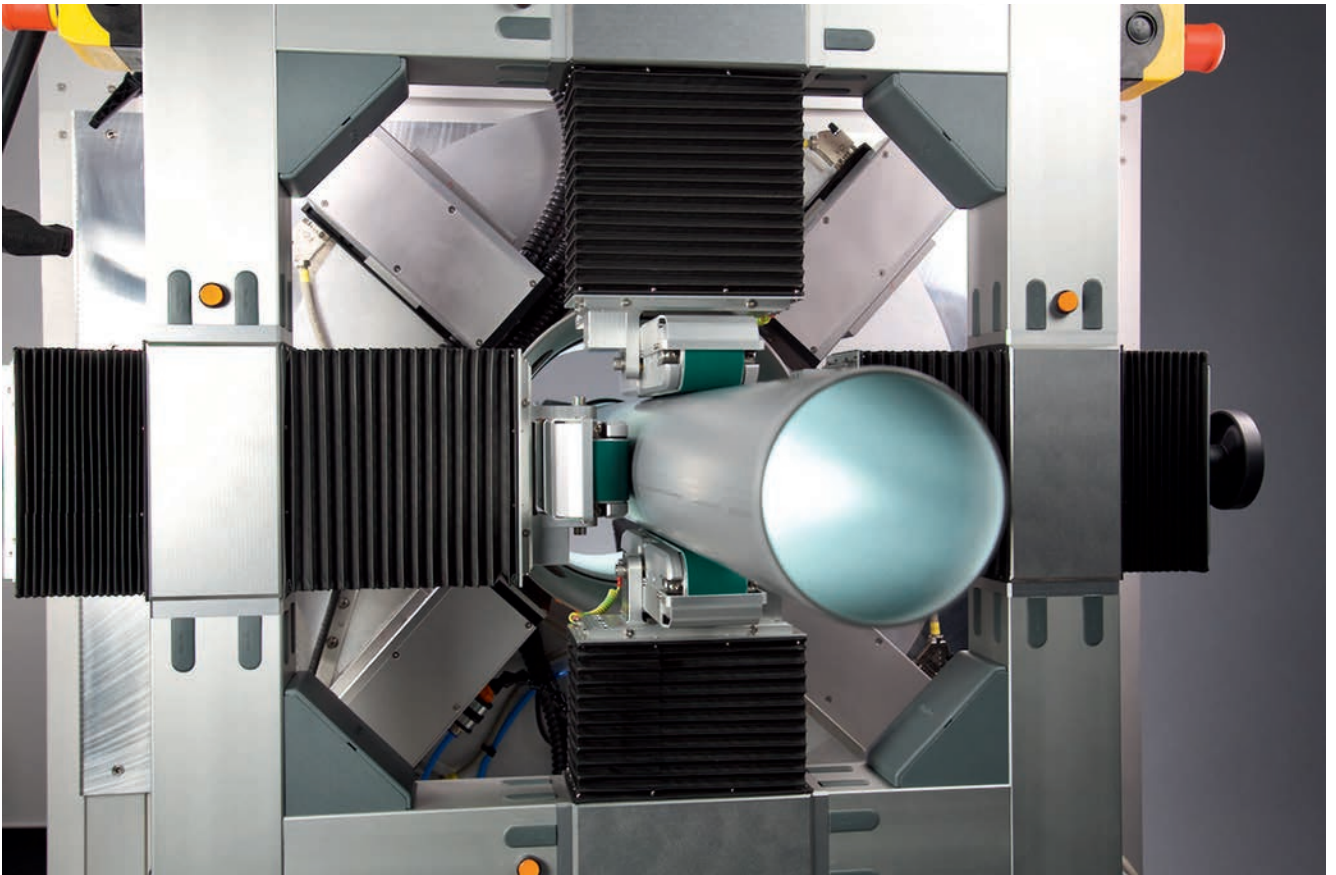


Schichtdicken inline prüfen

Berührungslose Messung mit Terahertz-Wellen im Mikrometer- bis Zentimeterbereich

Die Terahertz-Technik erlaubt berührungslose Inline-Messungen im Mikrometer- bis Zentimeterbereich. Wanddicken von Rohren, Schläuchen und anderen Extrusionsprodukten können direkt im Produktionsprozess geprüft werden. Unterschreitungen der Mindestdicke werden sofort erkannt, sodass Ausschuss vermieden wird.



Terahertz-Prüfsystem zur Inline-Messung von Rohrwanddicken. Simultan an vier Positionen wird die Wanddicke von ein- und mehrlagigen Rohren ermittelt (© Fraunhofer ITWM)

Effiziente Produktionsprozesse verlangen einen wirtschaftlichen Rohstoffeinsatz. Der Materialeinsatz muss an der unteren Grenze der definierten Anforderungen liegen, ohne sie jedoch zu unterschreiten.

Bei einem angenommenen durchschnittlichen Massendurchsatz von etwa einer Tonne pro Stunde, 8000 Produktionsstunden im Jahr und einem Materialwert von 1500 EUR pro Tonne führt schon die Einsparung von einem Prozent Material zu einer Kostenersparnis in Höhe von 120000 EUR im Jahr [1].

Material lässt sich beispielsweise durch reduzierte Wanddicken einsparen. Um Ausschuss zu vermeiden, darf dabei jedoch die Mindestdicke nicht unterschritten werden. Zur Überwachung sind Prüfsysteme erforderlich, die direkt im Produktionsprozess integriert sind. Die Qualität eines Kunststoffrohrs wird durch die Kennzahlen Durchmesser, Wanddicke, Ovalität und Sagging (Absacken der Schmelze während der Erstarrung bei zu hoher Viskosität) definiert, die ein Inline-Prüfsystem möglichst in Echtzeit und frühzeitig im Prozess ermitteln muss.

Grenzen etablierter Verfahren

Lange Zeit dominierten Ultraschallmessungen die Qualitätssicherung und Prozessüberwachung in der Kunststoffrohrproduktion. In das Extrudat werden Ultraschallwellen eingeleitet und deren Laufzeit gemessen. Mithilfe der material-spezifischen Schallgeschwindigkeit wird daraus die Wanddicke berechnet. Die Schallgeschwindigkeit ist stark temperaturabhängig, sodass die in der Extrusion üblichen Temperaturschwankungen eine exakte Wanddickenmessung erschweren.

Bild 1. Detailaufnahme eines Terahertz-Sensors mit Spüleinrichtung zur Vermeidung von Wasser- und Staubablagerungen am Sichtfenster
(© Fraunhofer ITWM)



Der apparative Aufwand ist relativ hoch, da Ultraschallverfahren ein Koppelmedium, z.B. Wasser, zwischen dem Prüfkopf und dem Extrudat erfordern. Im Wasser können sich zudem Algen bilden, die die Messung behindern [1]. Alternativ erfassen laserbasierte Sensoren den Außendurchmesser, während röntgenbasierte Sensoren zusätzlich die Wandstärke und Ovalität bestimmen. Die Kombination beider Messtechniken ermittelt alle notwendigen Qualitätskriterien.

Das Terahertz-Verfahren als optische Methode arbeitet berührungslos und zerstörungsfrei und eignet sich dadurch als In-line-Prüfung (**Bild 1**). In zahlreichen Anwendungen hat das Verfahren bereits seine industrielle Reife und Eignung bewiesen.

Geringer Aufwand für die Prozessintegration

Terahertz-Wellen sind elektromagnetische Wellen im Frequenzbereich zwischen den Millimeter- und Mikrowellen

einerseits und der Infrarotstrahlung andererseits. Erstere werden von Radios, Mikrowellenöfen und Mobiltelefonen genutzt, letztere von Wärmebildkameras und Fernbedienungen. Der Frequenzbereich von Terahertz-Wellen liegt zwischen 100 Gigahertz (GHz) und 10 Terahertz (THz). Das entspricht dem Wellenlängenbereich von 3 mm bis 30 μm .

Zu den besonderen Eigenschaften von Terahertz-Wellen zählt ihr gutes Durchdringungsvermögen elektrischer Isolatoren wie Keramik, Glas und Kunststoff. Insbesondere unpolare Kunststoffe wie Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) sind für die Wellen weitgehend transparent. Polare Kunststoffe wie Polyamide (PA) weisen hingegen eine relativ starke Absorption auf. Wasser und elektrisch leitfähige Materialien wie Metalle können von Terahertz-Wellen kaum oder nicht durchdrungen werden und wirken oftmals als Spiegel. Terahertz-Wellen sind nicht ionisierend und somit für den Menschen unbedenklich. Das Prüfsystem muss

deshalb nicht abgeschirmt werden. Insgesamt ist der apparative Aufwand sehr gering, weil Kopplungsmedien wie bei Ultraschallmessungen nicht erforderlich sind. Das erhöht die Akzeptanz in der Produktion und senkt die Integrationskosten.

Im Gegensatz zur Schallgeschwindigkeit sind die optischen Parameter wie Brechungsindex und Absorptionskoeffizient viel weniger temperaturabhängig. Für viele Materialien kann die Temperaturabhängigkeit sogar in engen Frequenzgrenzen vernachlässigt werden.

Messverfahren für unterschiedlich dicke Schichten

Prinzipiell kommen zwei unterschiedliche Terahertz-Techniken zum Ein- »

Der Autor

Dr. Joachim Jonuscheit ist seit 2006 stellvertretender Leiter der Abteilung Materialcharakterisierung und -prüfung am Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern; joachim.jonuscheit@itwm.fraunhofer.de

Service

Literatur & Digitalversion

- » Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2019-10

English Version

- » Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

Bild 2. Messaufbau mit Terahertz-FMCW-Handscanner: Messungen im Feld, z.B. an Fernwärmerohren, sind mit dem mobilen Terahertz-Sensor möglich

(© Fraunhofer ITWM)



satz. Beim TDS-Verfahren (Time-Domain Spectroscopy) werden sehr kurze Terahertz-Impulse erzeugt, über deren Laufzeit die Dicken einzelner oder mehrerer Schichten bestimmt werden. Der Messbereich reicht von 10 µm bis zu wenigen mm. Die Reproduzierbarkeit ist besser als 1 µm. Mit diesem Verfahren lassen sich bis zu 50 Dickenmessungen in einer Sekunde durchführen [2].

Das zweite Verfahren basiert auf einem FMCW-Radar (frequency modulated continuous wave) und ermöglicht Schichtdickenmessungen im Bereich von 1 mm

bis mehreren Zentimetern. Die Dickenmessung erfolgt ebenfalls über eine Laufzeitmessung. Einzelschichten und mehrlagige Schichten werden mit Messfrequenzen von bis zu 5000 Messungen pro Sekunde geprüft [3]. Beide Messverfahren lassen sich in ein Inline-Prüfsystem integrieren.

Für Prüfungen an großen ortsfesten Objekten oder im Feld, z.B. nach dem Schweißen von Kunststoffrohren oder dem Isolieren von Fernwärmerohren, steht ein mobiles System zur Verfügung. Fernwärmerohre können mit Ultraschall

nicht geprüft werden, weil die Isolierung aus aufgeschäumten Materialien besteht, die den Schall zu stark dämpft. Für diese Messaufgaben wurde ein mobiles Terahertz-System entwickelt (Bild 2).

Anwendungsbeispiele aus der Rohrproduktion

In den Beispielen soll die Wanddicke von ein- und mehrschichtigen Glattringen direkt hinter dem Extruder und noch vor der ersten Kühlstrecke gemessen werden, um die Prozessregelstrecke möglichst kurz zu halten. Übliche Ultraschall-Systeme lassen sich hier aufgrund der erhöhten Rohrtemperatur und der plastischen Seele im Rohrinneen nicht einsetzen. Der Einsatz der Terahertz-Technologie konnte hier jedoch erfolgreich demonstriert werden.

In beiden Beispielen handelt es sich um ein geschäumtes Rohr, allerdings mit unterschiedlichen Wanddicken. Im ersten Beispiel wurde ein PP-Kunststoffrohr mit geschäumtem Kern untersucht (Bild 3). Für die zuverlässige Dickenbestimmung bei geringer Wandstärke wird das Signal durch einen Vergleich von

Bild 3. Wanddickenmessung an einem geschäumten PP-Rohr. Links: Messsignal und simulierter Signalverlauf, der zur Auswertung verwendet wird. Rechts: Prüfung der einzelnen Lagen entlang des Rohrs mit 40 Messungen pro Sekunde (Quelle: Fraunhofer ITWM)

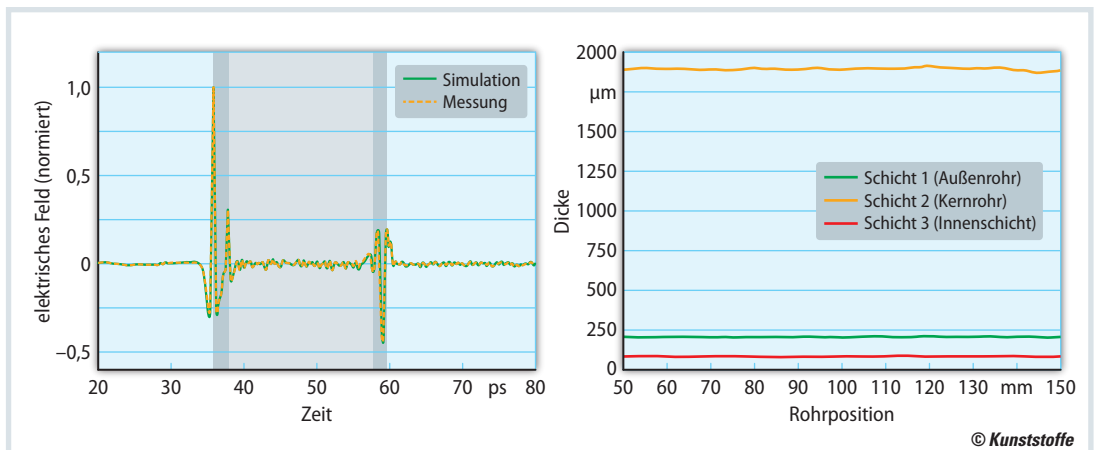
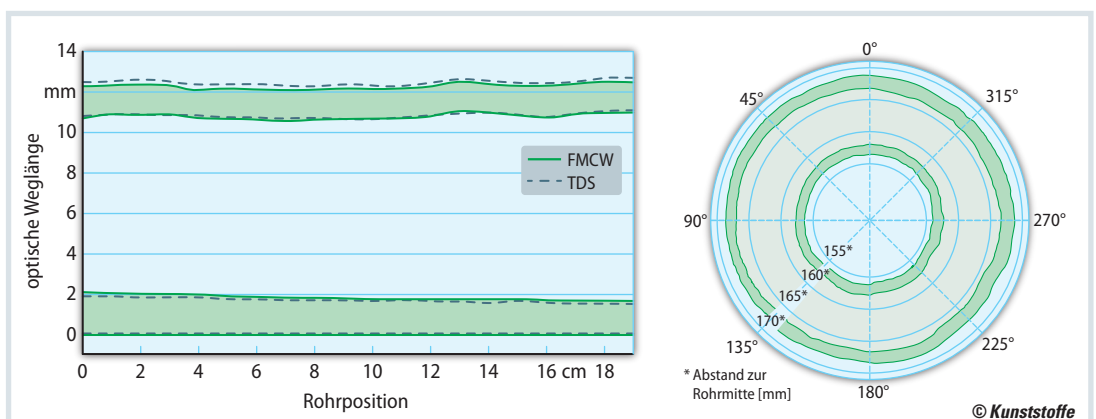


Bild 4. Links: Vergleich der Wanddicken entlang des Rohrs. Die optische Weglänge entspricht dem Produkt aus geometrischer Dicke und Brechungsindex (ca. 1,7). Rechts: Verteilung der Wanddicken entlang des Rohrumfangs (Quelle: Fraunhofer ITWM)



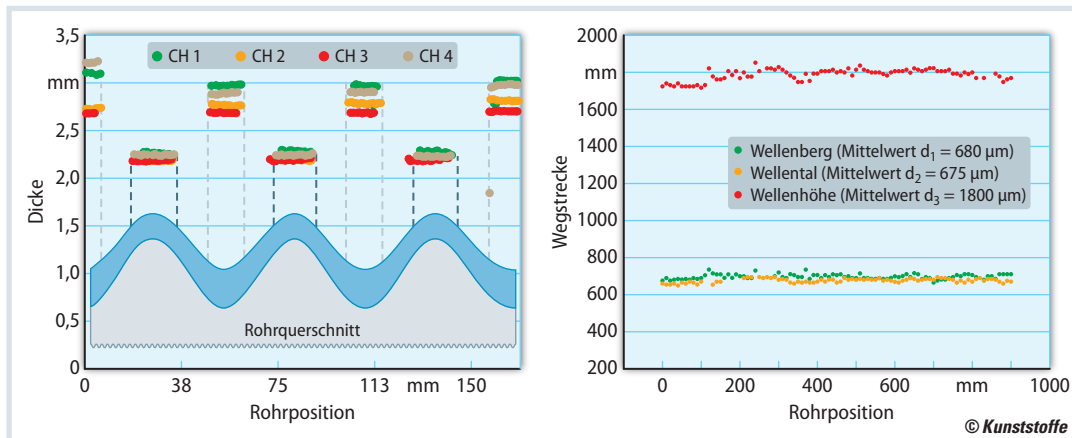


Bild 5. Links: Wellrohr-Wanddickenmessung an den Positionen CH 1–4 entlang des Umfangs (3 cm Wellenhöhe, 130 mm Durchmesser, 4 m/min Vorschub). Rechts: 2,3 mm Abstand zwischen zwei Wellenbergen und 400 mm/s Vorschub
(Quelle: Fraunhofer ITWM)

Messung und Simulation in Echtzeit ausgewertet.

Im zweiten Beispiel wurde ein geschäumtes Polyvinylchlorid-Rohr (PVC) geprüft. Hier sind die einzelnen Schichten dicker und somit für beide Terahertz-Techniken zugänglich. Die Messergebnisse beider Methoden stimmen sehr gut überein (**Bild 4**). Eine zusätzliche Messung mit dem Terahertz-FMCW-Handscanner entlang des Umfangs erfasst die Dickenvariation der einzelnen Lagen.

Wellrohre im Prozess prüfen

Mit Ultraschall können Wellrohre aufgrund ihrer Oberflächenstruktur nicht im Produktionsprozess untersucht werden.

Je kürzer die Welligkeit, das heißt, je mehr Wellen pro Strecke vorhanden sind, desto schlechter ist das Rohr zu prüfen. Terahertz-Prüfungen hingegen sind berührungslos und eignen sich zur Messung von Wellrohren. Dabei muss beachtet werden, dass nur von Rohrpositionen, die nahezu senkrecht zum einfallenden Messstrahl liegen, ausreichende Signale den Detektor erreichen. Die beiden untersuchten Wellrohre unterscheiden sich in der Zahl der Wellenberge pro Streckeneinheit und der Wellenhöhe (Höhendifferenz zwischen Wellenberg und -tal) sowie in Rohrdurchmesser und Wanddicke als auch in der Vorschubgeschwindigkeit (**Bild 5**). In beiden Fällen wurden die Wanddicken in Echtzeit ermittelt.

Ausblick

Die Terahertz-Technik ist eine vielfältig nutzbare industriereife Messtechnik, die in der kunststoffverarbeitenden Industrie von großem Nutzen ist und sich in den nächsten Jahren weiter verbreiten wird. Neben der Hardwareentwicklung der letzten Jahre liegt der Schlüssel zur Lösung vieler anwendungstechnischer Herausforderungen in der Signalmodellierung und -verarbeitung. Inzwischen stehen verschiedene Terahertz-Verfahren zur Verfügung. Neben Anwendungen in der Rohrproduktion wird diese Technik auch zur Dickenmessung an Schläuchen und von Beschichtungen auf Kunststoff eingesetzt, z.B. für Lackdickenmessungen an lackierten Stoßfängern. ■