



# ZENTRUM FÜR MATERIALCHARAK- TERISIERUNG UND -PRÜFUNG





## ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFUNG MIT MILLIMETER-, TERAHERTZ- UND OPTISCHEN WELLEN

Qualitätskontrolle im industriellen Fertigungsprozess ist nicht nur für sicherheitsrelevante Bauteile, z. B. in der Luftfahrtindustrie und der Medizintechnik wichtig, sondern fördert eine ressourcenschonende Fertigung durch Vermeidung von Fehlteilen. Die berührungslose und zerstörungsfreie Prüfung erlaubt die Weiterverwendung der Teile im Produktionsprozess.

Am Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung entwickeln wir zerstörungsfreie und berührungslose Prüfverfahren, die auf den Einsatz in der Fertigungslinie optimiert sind und eine zuverlässige Kontrolle des Produktionsprozesses ermöglichen. Unsere Terahertz-Schichtdickenmessgeräte messen Dicke und Materialparameter jeder einzelnen Schicht. Mit unseren Rohrinspektionssystemen wird die Wandstärke direkt am Extruder kontrolliert. Defekte in Verbundwerkstoffen spürt unser FMCW-Radar-basiertes Prüfsystem zuverlässig auf. Chemometrische Auswertemethoden bestimmen aus Spektraldaten die Zusammensetzung der Materialien schnell und zuverlässig.

Unsere Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, Ingenieure und Techniker greifen für maßgeschneiderte Kundenlösungen auf Technologien von der optischen Kohärenztomographie (OCT) im sichtbaren Spektralbereich über die Zeitbereichsspektroskopie im Terahertz-Frequenzbereich bis zu elektronischen Systemkonzepten im Millimeterwellenbereich zurück. Die Kompetenz unserer Mitarbeitenden umfasst ein detailliertes Prozessverständnis, sodass Anwendungs- und Auswertesoftware die wesentlichen Zielgrößen übersichtlich darstellen und die passende technologische Lösung für die jeweilige Anwendung identifiziert wird.

### Kontakt

[georg.von.frey mann@itwm.fraunhofer.de](mailto:georg.von.frey mann@itwm.fraunhofer.de)

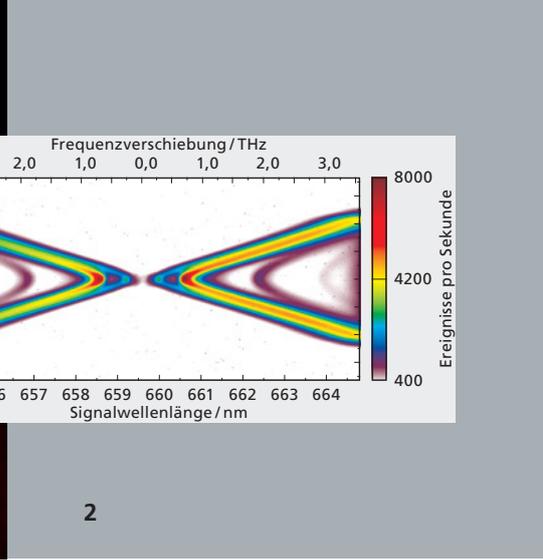
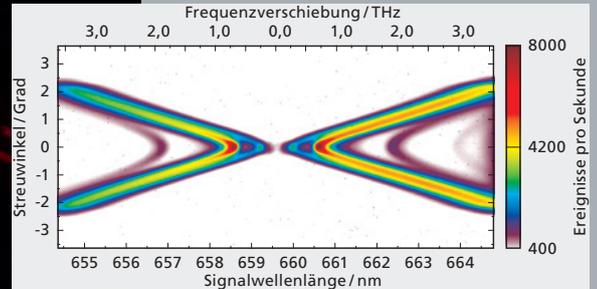
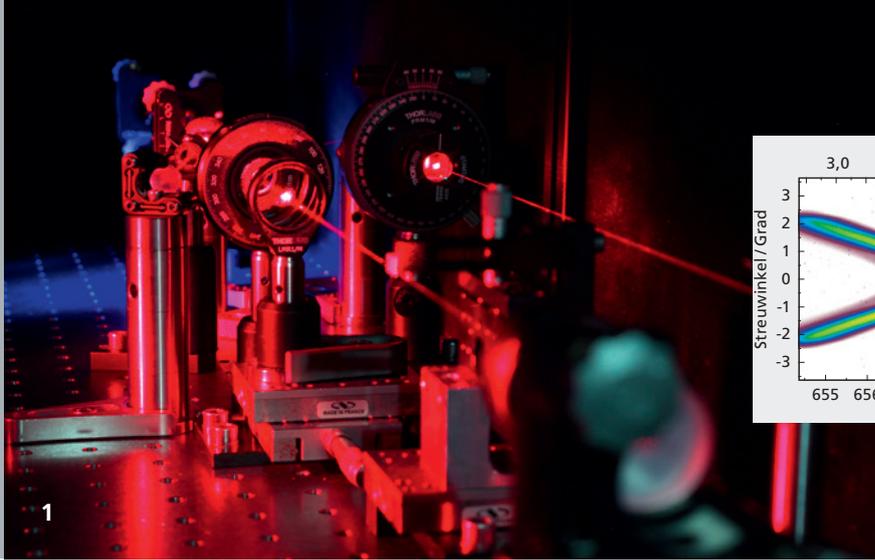
[www.itwm.fraunhofer.de/mc](http://www.itwm.fraunhofer.de/mc)



---

## SCHWERPUNKTE

- Zerstörungsfreie Prüfung
  - Schichtdickenmessung
  - Chemische Analyse
-



## QUILT – QUANTENOPTIK IM TERAHERTZ-SPEKTRALBEREICH

1 *Experimenteller Aufbau zum Nachweis der quantenoptisch erzeugten Photonen*

2 *Im Rahmen des Leitprojektes aufgezeichnetes Winkelspektrum als indirekter Nachweis der quantenoptischen Erzeugung von Terahertz-Photonen*

Im Leitprojekt QUILT forscht Fraunhofer an Bildgebungsverfahren im Terahertz-Spektralbereich auf Basis der Quantenoptik. »Schrödingers Katze« hat sich hier vom Gedankenexperiment zur aufregenden und anwendbaren Realität entwickelt. 2018 wurden erste experimentelle Erfolge erzielt. Auf dem Terahertz-Forschungsgebiet gehen wir hier ganz neue Wege.

Klassische Bildgebung im sichtbaren Spektralbereich profitiert von der breiten Verfügbarkeit guter Detektoren. Ob in Digitalkameras, PCs oder Smartphones: Die Mehrzahl der Haushalte in Deutschland besitzt mehrere optische Bildgebungssysteme mit Millionen von Detektorelementen.

### Schwierigkeiten der Bildgebung mit Terahertz-Wellen

Im Terahertz-Spektralbereich ist die Bildgebung nach wie vor eine große technische Herausforderung. Oft können nur einzelne oder wenige Detektoren betrieben werden, sodass man oft auf abrasternde Verfahren angewiesen ist. Das bedeutet, man fährt mit einem einzelnen Detektor die aufzunehmende Szene ab und setzt diese anschließend zusammen.

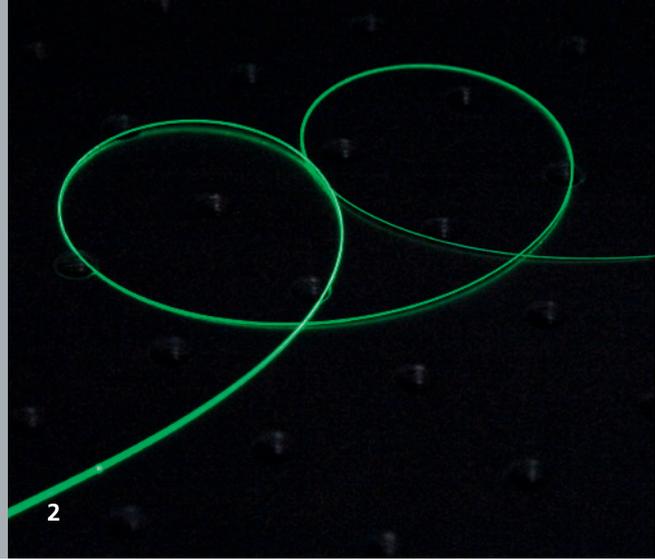
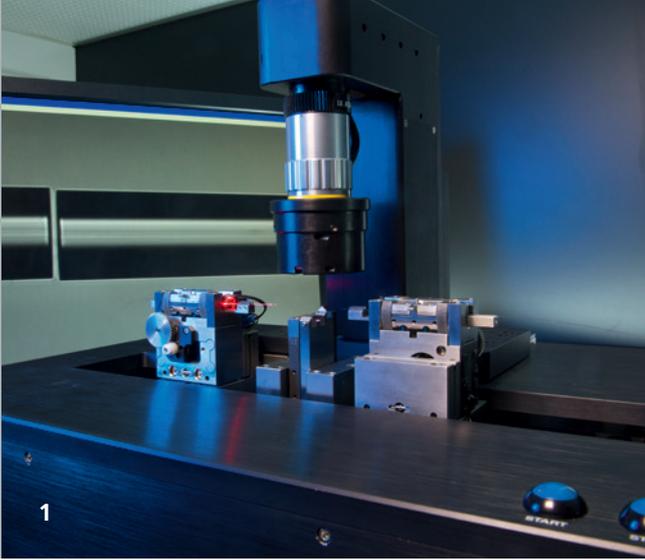
### Quantenoptik als Lösung

Mithilfe quantenoptischer Phänomene kann man Eigenschaften von Photonen (Lichtteilchen) auf andere Photonen übertragen. Schafft man es also, die Eigenschaften von schwer detektierbaren Photonen auf leicht detektierbare Photonen, z. B. denen des sichtbaren Lichtes, zu übertragen, so kann man auch diese gut identifizieren und umgeht das Problem der Detektorverfügbarkeit.

### Erster Schritt erfolgreich

Inspiriert durch herausragende Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Quantenoptik in der Grundlagenforschung werden in unserem Leitprojekt diese Konzepte auf den Terahertz-Spektralbereich transferiert. Die erste experimentelle Herausforderung ist die Erzeugung geeigneter Photonenpaare, was im vergangenen Jahr erreicht wurde.

Die nächsten Schritte sind weiteres wissenschaftliches Neuland. Es soll die Wechselwirkung der Photonen im Terahertz-Bereich mit den sichtbaren Photonen nachgewiesen werden. Hier machen wir uns die gute Detektierbarkeit der sichtbaren Photonen zunutze, um die Terahertz-Wellen indirekt nachzuweisen und nutzbar zu machen. Gelingt dieser Schritt, so ermöglicht dies einen neuartigen Zugang zum Terahertz-Spektralbereich und dessen mannigfaltigen Anwendungen.



## SLAPCOPS – EIN LASERKONZEPT FÜR DIE ZUKUNFT DER TERAHERTZ-MESSTECHNIK

Für die Terahertz-Zeitbereichsspektroskopie braucht man zwei variabel gegeneinander verzögerte Laserimpulse, um das Messsignal zeitaufgelöst abtasten zu können. Für die Zeitverzögerung sorgen entweder eine mechanische Verschiebeeinheit oder zwei Laserquellen. Wir haben jetzt ein Lasersystem entwickelt, das ohne mechanische Verfahr-einheit auskommt und trotzdem nur einen Laser verwendet: das SLAPCOPS-System.

Die Mehrheit der in der Abteilung entwickelten und eingesetzten Systeme basiert auf Ultrakurz-pulsLasern in Verbindung mit optischen Verzögerungseinheiten. Diese beiden Komponenten werden benötigt, um Vorgänge auf der Pikosekundenskala zu erfassen. Eine Sekunde besteht aus einer Billion Pikosekunden, eine Zeitskala, die derzeit mit Elektronik nicht erreicht werden kann. Elektromagnetische Impulse mit der Dauer einer Pikosekunde sind eben diese Terahertz-Impulse, die es ermöglichen, Schichtdickenanalyse von Mehrschichtsystemen wie Automobillacke berührungslos und zerstörungsfrei zu realisieren. Ein fundamentaler Vorteil gegenüber anderen Technologien.

### Niedrigere Kosten, höhere Messraten

Ultrakurz-pulsLasern und Verzögerungseinheit dominieren nach wie vor die Kosten vieler Terahertz-Messsysteme. Ein neuartiger Ansatz, der von unseren Forschern erfunden und im Rahmen einer Promotion realisiert wurde, vereint diese beiden zu einer einzigen, günstigeren Komponente.

Neben den Kostenvorteilen hat das neue Messprinzip auch praktische Gründe: Es kann viel schneller gemessen werden. Darüber hinaus bietet das Verfahren ein hohes Maß an Flexibilität, um verschiedene Messprobleme schnell und unkompliziert zu lösen. So ermöglicht die paten-tierte Erfindung die Messung auch sehr dicker Schichten oder Wände in einer einzelnen Mes-sung, was bei konventionellen Terahertz-Messsystemen nicht ohne weiteres machbar ist. Die bisher eingesetzten optischen Systeme schaffen ca. 50 Messungen pro Sekunde, während ein SLAPCOPS-System über 1000 Messungen pro Sekunde ermöglicht.

### Internationaler wissenschaftlicher Erfolg

Wissenschaftlichen Erfolg hat SLAPCOPS bereits bei Präsentationen auf internationalen Konferen-zen und mehrere Veröffentlichungen in renommierten Journalen errungen. Schutzrechtsanmel-dungen und mehrere erteilte Patente auf diesem Gebiet sichern unser aufgebautes Knowhow.

**1** *Faser-Splice-Gerät wäh- rend des Verbindungspro- zesses zweier Faser-Enden; dieser Verbindungsprozess ist Grundvoraussetzung bei der Realisierung von Faser- lasern.*

**2** *Charakteristisches grü- nes Leuchten einer aktiven Faser, die eine zentrale Kom- ponente des SLAPCOPS- Lasersystems darstellt.*



## FLEXIBLE ROHRINSPEKTION MIT TERAHERTZ-TECHNOLOGIE

**1** *Rohrinspektionssystem zur Prüfung der Wandstärke im Produktionsprozess*

**2** *Das zu prüfende Rohr wird inline an vier wählbaren Positionen auf die Wandstärke untersucht.*

**Höhere Qualität und Effizienz:** Die Inline-Prüfung der Wandstärke während der Rohrextrusion ermöglicht die Optimierung des Herstellungsprozesses. Anfang 2018 haben wir ein neu entwickeltes Rohrprüfsystem an einen Weltmarktführer übergeben und damit einen Meilenstein in der Schichtdickenmessung von Rohren realisiert.

Neben der berührungslosen Schichtdickenmessung von Mehrschichtlacken hat sich die Wandstärkenmessung in der Rohrextrusion in den letzten Jahren als vielversprechendes Anwendungsszenario erwiesen. Unser Inline-Messsystem ermöglicht dem Kunden die direkte Prüfung der Rohrwandstärke kurz nach der Extrusion des genutzten Kunststoffes und somit auch die direkte Nachregelung, um die Qualität und Effizienz der Produktion zu optimieren.

### **Simultane Messung an vier Kanälen**

In der Projektanbahnungsphase wurden hohe Anforderungen festgelegt. Das bisher nur als Einzelsensor ausgelegte System musste für die simultane Messung von vier Kanälen erweitert werden, damit an vier Positionen rund um das Rohr gleichzeitig gemessen werden kann. Daraus ergaben sich Herausforderungen an die integrierte Faseroptik sowie an die Messdatenaufnahme und -auswertung.

Das mechanische Design ist geprägt von der geforderten Flexibilität, diese vier Positionen frei wählen zu können und für eine Vielzahl an Rohrdurchmessern kompatibel zu sein. Die symmetrische Anordnung des Systems sowie der integrierte Monitorarm ermöglichen die Bedienung von beiden Seiten in der Produktionslinie.

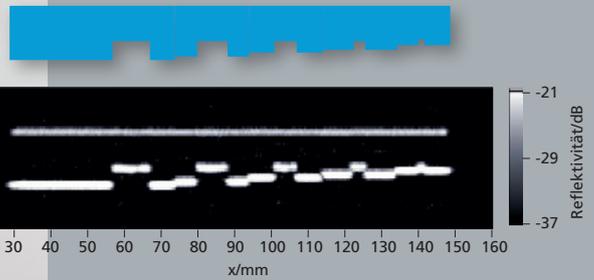
### **Ausweitung auf andere Marktsegmente möglich**

Die intuitive Bedienoberfläche wurde nach Kundenwünschen gestaltet und ermöglicht die komfortable Bedienung per Touchscreen. Die kundenspezifische Schnittstelle zur Anlagensteuerung des Rohrherstellers garantiert die optimale Integration des Messsystems.

Durch anwendungsspezifische Anpassungen können wir unser System nicht nur Rohrherstellern, sondern auch Schlauchherstellern anbieten. Diese beiden Märkte sind so mannigfaltig, dass wir gute Chancen für weitere kundenspezifische Implementierungen sehen.



1



2

## HANDGEHALTENER TERAHERTZ-SENSOR FÜR DEN MOBILEN EINSATZ

Zu den besonderen Eigenschaften von Terahertz-Wellen zählt ihr gutes Durchdringungsvermögen elektrischer Isolatoren wie z.B. Keramiken, Glas und Kunststoffe. Das gibt ihnen einen Vorteil gegenüber etablierten Verfahren auf Röntgen-, Ultraschall- oder Thermographiebasis, die besonders bei den modernen faserverstärkten Kunststoffen an ihre Grenzen stoßen. Abhilfe schafft hier der mobile Terahertz-Handscanner: Auch an schwer zugänglichen Stellen untersucht er Strukturen und erkennt Defekte in Kunststoffen.

### Die Grenzen der Ultraschall-Technik überwinden

In vielen Anwendungen sind Messmethoden gefragt, die mobil und schnell einsetzbar sind. Aus diesem Grund wird oftmals Ultraschall eingesetzt. Um die hohen Einkoppelverluste beim Übergang von Luft auf einen Werkstoff zu minimieren, werden Koppelmedien wie Wasser und Gel verwendet. Dies ist aber bei Keramiken und Schäumen nicht möglich. Hier kommt die Terahertz-Messtechnik zum Zuge, denn sie ist berührungslos, benötigt somit kein Kopplungsmedium und kann zudem Hohlstrukturen prüfen.

### Innovativer Handscanner

Der Handscanner ist ein vollständiges Terahertz-Prüfsystem für die zerstörungsfreie Vor-Ort-Prüfung. Dank seiner kompakten, leichten Bauweise ist er mühelos zu transportieren und bietet sich damit z. B. für die Untersuchung immobiler Proben sowie zum Einsatz an unterschiedlichen Prüfstellen in der Produktion an. Ein einseitiger Probenzugang ist ausreichend, da das System in Reflexion arbeitet. Das Sensorgehäuse ist staubdicht und spritzwassergeschützt und erlaubt daher auch den Einsatz in einer Fertigungsumgebung. Ein im Rechner integrierter Touchscreen dient zur einfachen Bedienung und Anzeige der Messung.

Wird der Handscanner nun über eine Probe bewegt, nimmt er kontinuierlich A-Scans (Tiefenprofile) auf und registriert zeitgleich die Position des Wegaufnehmers. Durch die Verknüpfung beider Informationen werden nun die zugehörigen B-Scans (orts aufgelöste Querschnittsaufnahmen) erstellt. Ungleichmäßige Bewegungen des Scanners korrigiert der Wegaufnehmer.

### Rohrinspektion im Produktionsprozess

Der Scanner wird bereits im Produktionsumfeld eingesetzt. Ein Beispiel ist die Rohrinspektion direkt nach dem Extruder, was die schnelle Prozessregelung ermöglicht. Ultraschall kann hier wegen der erhöhten Rohrtemperatur und der im Rohrinneeren vorhandenen plastischen Seele nicht eingesetzt werden. Ein weiteres Beispiel ist die Inspektion der Rohrisolationen nach dem Schweißprozess.

1 Terahertz-Handscanner: einsatzbereit ohne weitere Geräte, Standard-Steckdose ausreichend

2 B-Scan an einem Stufenkeil mit Flachbodenbohrungen aus PE (unten) und schematischer Querschnitt (oben). Die Durchmesser der Bohrungen betragen 2–10 mm, jeweils in 2 mm Abstufungen. Die Stufenhöhe beträgt 1 mm.



## NEWS AUS DER ABTEILUNG



### TALENTA-FÖRDERUNG FÜR NINA SCHREINER

Mit TALENTA speed up unterstützt Fraunhofer Wissenschaftlerinnen mit Motivation und Potenzial zur Übernahme von Führungs- oder Fachverantwortung. Diese Voraussetzungen erfüllt unsere Doktorandin Nina Schreiner: Sie forscht auf dem Gebiet der elektronischen Terahertz-Messtechnik und wird ihre Promotion im Sommer abschließen. Danach soll sie die Leitung des Themengebiets »Radarbasierte Dickenmessung« übernehmen. Die zweijährige Förderung verschafft ihr zielorientierte Freiräume, sodass sie in die Führungsrolle hineinwachsen kann.

### ALTERNATIVE SYSTEMKONZEPTE: INCOHERENT QUASI TIME-DOMAIN SPECTROSCOPY (IQTDS)

Auch wenn die Terahertz-Technologie mittlerweile aus den Kinderschuhen gewachsen ist, sind noch nicht alle technischen Möglichkeiten zur Umsetzung von Systemkonzepten ausgeschöpft. Getrieben durch das Ziel, die Systemkosten zu minimieren, konnten wir jüngst ein neuartiges Konzept auf dem Gebiet der optischen Terahertz-Messsysteme realisieren, welches ohne Laserquelle auskommt. Die ersten Ergebnisse sind sehr vielversprechend, sodass weitere Untersuchungen bevorstehen; auch die Integration in ein Messsystem ist bereits gelungen und ein Patent angemeldet.



### KÜRZERE AUSWERTUNG, HÖHERE STABILITÄT

Beim Einsatz von Messtechnik zur Inline-Qualitätskontrolle in der Produktion sind sehr kurze Mess- und Auswertzeiten essentiell. In der Schichtdickenmessung von Lacken erzielte die Kooperation des Zentrums für Materialcharakterisierung und -prüfung mit dem Competence Center High Performance Computing einen großen Erfolg: Die Auswertung der Terahertz-Messdaten ist jetzt im Millisekunden-Takt möglich. Die Messzeit kann dank paralleler Nutzung mehrerer Sensoren auf bis zu 200 Messungen pro Sekunde erhöht werden. Die verbesserte Auswertesoftware ermöglicht Auswertzeiten von unter 1 ms für vierlagige Beschichtungen mit handelsüblichen Notebooks. Ursprünglich lag die Auswertzeit im Sekundenbereich.

Diese zeitliche Verbesserung bei gleichzeitiger Erhöhung der Stabilität ermöglicht nun eine Echtzeitauswertung der erfassten Messsignale mit dem Potenzial, weitere Anwendungsfelder für die Terahertz-Messtechnik zu erschließen und das Zentrum für Materialcharakterisierung und -prüfung weiter auszubauen.



Von vorne, links nach rechts: Samuel Weber, Shiva Mohammadzadeh, Dr. Daniel Molter, Caroline Cappel, Nina Schreiner, Ute Rein-Rech, Dmytro Kharik, Oliver Boidol, Mirko Kutas, Michael Kocybik, Carsten Matheis, Prof. Dr. Georg von Freymann, Dr. Joachim Jonuscheit, Jens Klier, Marie-Therese Braun, Sebastian Bachtler, Stefan Weber, Andreas Keil, Ph.D., Claudia Busch-Croll, Dr. Fabian Friederich, Björn Haase, Alexander Theis, Tobias Pfeiffer, Dominik Gundacker