

## Lackinspektion mit Terahertz-Wellen

# Zerstörungsfreie Mehrschichtanalyse

Die genaue Einhaltung der Schichtdicken ist bei modernen Autolackierungen ein sehr wichtiger Qualitätsparameter. Das Problem dabei: Heute übliche zerstörungsfreie Methoden versagen oft bei Mehrschichtsystemen. Eine industrietaugliche Lösung versprechen neuartige Lackinspektionssysteme auf Basis von Terahertz-Wellen.

Autolacke sollen seit jeher in erster Linie glänzen und gefallen. Doch moderne Autolackierungen müssen viel mehr leisten: vom Korrosionsschutz der Karosserie bis hin zum Schutz vor mechanischen und schädlichen Witterungseinflüssen. Deshalb ist der Aufbau einer Autolackierung inzwischen recht komplex. Bei der Serienlackierung kommen verschiedene Technologien zum Einsatz, die erst im Zusammenspiel eine Autolackierung perfekt machen.

### Jede Schicht entscheidet

Heute genügt es oft nicht mehr, die Gesamtdicke einer Lackierung zu erfassen. Immer häufiger wird die Dickenkontrolle der Einzelschichten innerhalb eines Mehrschichtsystems gefordert. Auf-

wendige Mehrschichtlackierungen werden nicht nur im Automobil-, sondern auch im Flugzeugbau eingesetzt. Darüber hinaus werden inzwischen viele weitere Produkte durch Beschichtungen und Lacke veredelt. Hierzu zählen so unterschiedliche Dinge wie Rotor- und Turbinenblätter, Schiffsrümpfe oder auch Tabletten.

Im Hinblick auf Ressourcenschonung und Qualitätskontrolle ist die Industrie in all diesen Fällen sehr stark an einer Messtechnik interessiert, die Einzelschichtdicken in Multischichtsystemen erfassen kann. Besonders die Mehrschichtanalyse auf Kunststoffsubstraten wird immer wichtiger, da diese zur Gewichts- und Kostenreduzierung immer stärker eingesetzt werden. Autohersteller verarbeiten zum Beispiel

zunehmend CFK, um leichtere und effizientere Autos zu bauen. Auch hier entscheidet jede einzelne Lackschicht über die Funktionalität der gesamten Lackierung.

### Stand der Technik

Für die Schichtdickenmessung im industriellen Umfeld werden derzeit verschiedene Techniken eingesetzt, wie zum Beispiel Ultraschall, Wirbelstrom, Röntgenfluoreszenz, optische Kohärenztomografie und photothermische Verfahren. Diese Techniken haben bei der Mehrschichtanalyse jedoch ihre Grenzen: Entweder können sie keine Mehrschichtbeschichtungen auflösen (wie zum Beispiel Wirbelstrom- und photothermische Verfahren), durchdringen relevante Schichtdicken nicht

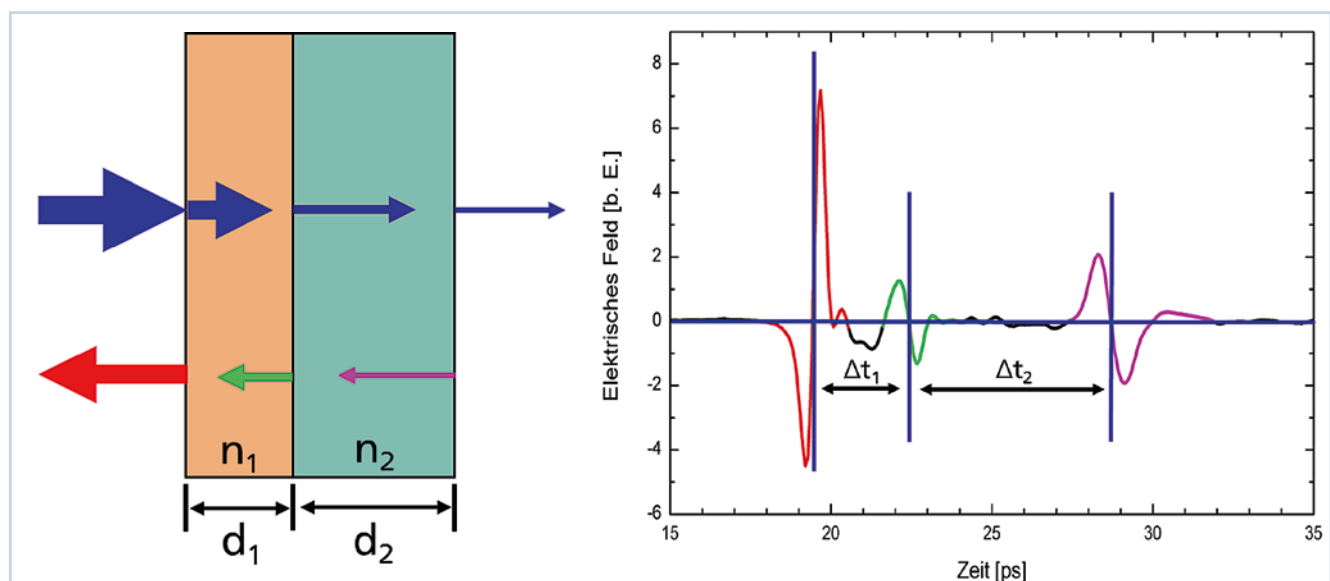


Bild 1: Messprinzip der Schichtdickenbestimmung mit Terahertz-Wellen am Beispiel eines Zweischichtsystems, das von links mit Terahertz-Wellen beleuchtet wird (blauer Pfeil). Die Wellen werden dann an den Grenzflächen aufgrund des Brechungsindexunterschieds ( $n_1 \neq n_2$ ) teilreflektiert (links). Aus den Laufzeitunterschieden  $\Delta t_1$  und  $\Delta t_2$  (rechts) lassen sich mit der Kenntnis der Brechungsindizes die Schichtdicken  $d_1$  und  $d_2$  bestimmen.

ausreichend (wie die optische Kohärenztomografie), oder arbeiten nicht berührungslos (wie die Ultraschall-Messtechnik). Einzig die Röntgenfluoreszenz könnte hier eingesetzt werden; sie scheidet jedoch oftmals wegen der Strahlenschutzproblematik aus.

Aktuell kann daher als einziges Messverfahren die Terahertz-Messtechnik im industrierelevanten Dickenbereich von 10 µm bis 500 µm Einzelschichten in Mehrschichtsystemen zerstörungsfrei und berührungslos nachweisen. Den experimentellen Nachweis hierfür hat das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Kaiserslautern, in Zusammenarbeit mit Automobilherstellern bereits erbracht. Das eingesetzte Messsystem basiert auf der Terahertz-Zeitbereichsspektroskopie.

### Das Prinzip der Terahertz-Lackinspektion

Bei der Schichtdickenmessung mit der Terahertz-Zeitbereichsspektroskopie (THz-TDS) wird ausgenutzt, dass der einfallende Terahertz-Strahl bei Materialübergängen teilreflektiert wird (Bild 1). Im einfachsten Fall erhält man zwei Reflexe: einen vom Übergang Luft-Beschichtung und einen zweiten vom Übergang Beschichtung-Substrat. Aus der Zeitdifferenz zwischen den beiden Reflexen und mit Kenntnis des Brechungsindex kann die Schichtdicke bestimmt werden. Besteht die Lackierung aus mehreren Lackschichten, erscheinen zwischen den beiden beschriebenen Reflexen weitere Reflexe, die auch die Analyse komplizierter Mehrschichtlacke erlauben.

Das äußerst kompakte fasergekoppelte Terahertz-Schichtdickenmesssystem des Fraunhofer IPM ist sehr robust und langzeitstabil. Sein fasergekoppelter Aufbau erlaubt eine einfache Integration in bestehende Produktionsprozesse; beispielsweise kann es auf einem XY-Scanner (siehe Bild 2) oder einem Roboter angebracht werden.

### Komplexe Lacksysteme – exakte Qualitätsprüfung

Bei hochkomplexen Lackierungen, die aus sehr dünnen Einzelschichten bestehen, lassen sich einzelne Reflexe zeit-



Bild 2: Fasergekoppeltes Terahertz-Messsystem, bestehend aus Basiseinheit und Messmodul. Die Basiseinheit enthält die zum Betrieb notwendige Optik und Elektronik sowie einen Rechner zur Systemsteuerung. Die Messmodule können individuell ausgelegt werden; im Bild rechts ist das Messmodul auf einem XY-Scanner montiert.

lich nicht mehr auflösen. Zur Auswertung der Spektren müssen daher geeignete mathematische Modelle herangezogen werden (Bild 3). Letztendlich vergleicht man die gemessene mit der simulierten Wellenform und berücksichtigt dabei frequenzabhängige Materialparameter der Einzelschichten (Brechungsindex und Extinktion).

Was in der Theorie recht kompliziert klingt, ist in der praktischen Anwendung denkbar einfach: Eine benutzerfreundliche Auswerte-Software erlaubt eine intuitive Benutzerführung.

Kalibriert wird das System durch definierte Referenzproben. Das Messergebnis liegt innerhalb einer Sekunde vor, da die Auswertung der Messung jeweils parallel zur darauffolgenden Messung erfolgt. So steht sowohl für die Messung als auch für die Auswertung jeweils eine Sekunde zur Verfügung. Die Genauigkeit der Schichtdickenmessung beträgt  $\pm 1 \mu\text{m}$ . Das ist schnell und genau genug für fast alle Anwendungen.

Lacke werden auf vielen unterschiedlichen Trägermaterialien (Sub-

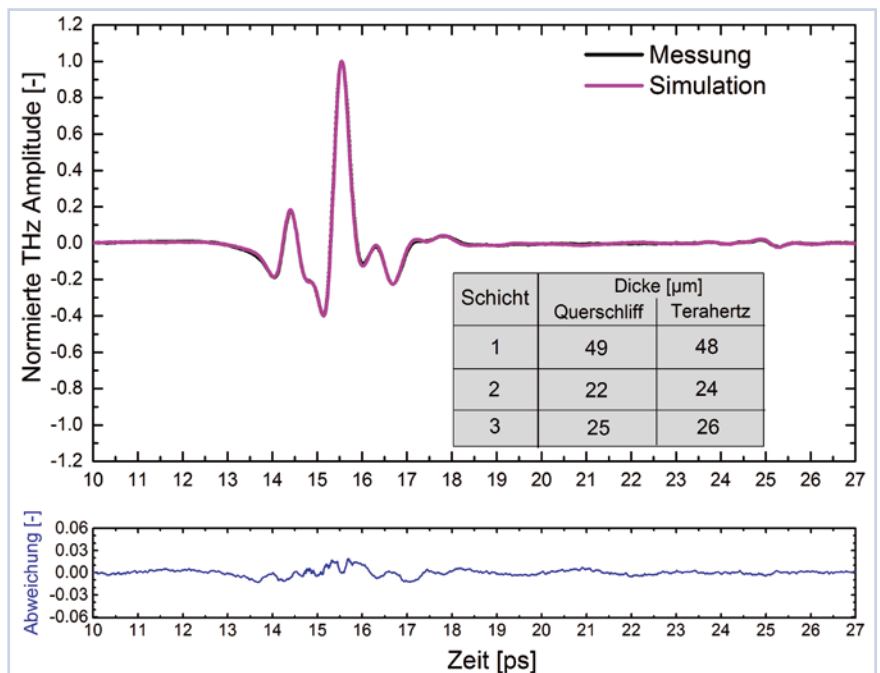


Bild 3: Vergleich zwischen Messung und Simulation eines Dreischichtsystems auf Metall. Zum Vergleich wurden die Einzelschichtdicken durch Querschliff ermittelt.

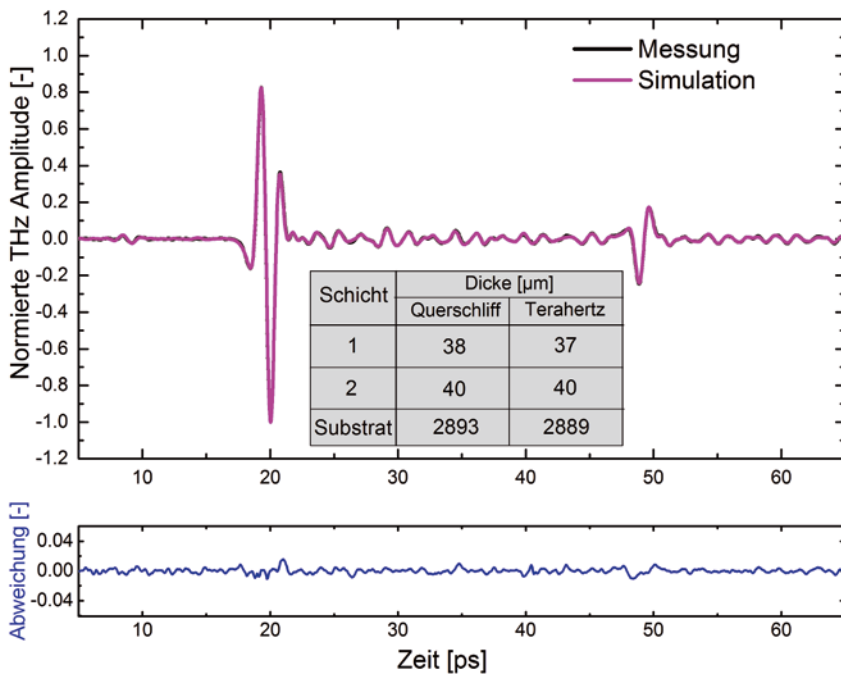


Bild 4: Vergleich zwischen Messung und Simulation eines Zweischichtsystems auf Kunststoff. Auch hier wurden zum Vergleich die Einzelschichtdicken durch Querschliff ermittelt.

straten) aufgebracht: Metalle, Kunststoffe, Gläser oder zunehmend auch Verbundwerkstoffe wie CFK oder GFK. Mithilfe der Terahertz-Messtechnik können Lacksysteme auf nahezu allen Substraten hinsichtlich Funktion und Materialeinsatz während oder nach dem Beschichtungs-

prozess kontrolliert werden. Ein großer Pluspunkt dabei: auch nicht-metallische Substrate sind kein Problem. Dies war bislang nur zerstörend möglich. Einschränkungen bei den Lackmaterialien gibt es kaum. Vergleichbar groß sind auch die Freiheiten bezüglich der Ebenheit der Schichten. Selbst

auf gekrümmten Oberflächen lassen sich mit Terahertz-Systemen die einzelnen Schichtdicken komplexer Lacke zuverlässig bestimmen.

**Fazit**

Mithilfe der Terahertz-Messtechnik lassen sich komplizierte Lacksysteme, die aus sehr vielen Schichten bestehen, zuverlässig analysieren. Sowohl Metalle als auch Kunststoffe und Verbundwerkstoffe sind als Trägersubstrat der zu untersuchenden Schichten sehr gut geeignet. Es können bis zu 40 Messungen pro Sekunde durchgeführt werden. Auf diese Weise lassen sich Schichtdicken in einem sehr breiten Bereich zwischen 10 µm und 500 µm bestimmen – und das auf ±1 µm genau. Der Einsatz des Terahertz-Lackinspektionssystems ist unkompliziert. Je nach Aufgabe kann der Arbeitsabstand zwischen 5 und 20 cm betragen. Darüber hinaus ist bei Terahertz-Wellen keine strahlenschutztechnische Abschirmung erforderlich; sie sind nicht ionisierend und daher gesundheitlich unbedenklich. ■

**Dr. Joachim Jonuscheit**

stellvertretender Abteilungsleiter Materialcharakterisierung und -prüfung am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Kaiserslautern, Tel. 0631 2057-4011, joachim.jonuscheit@ipm.fraunhofer.de

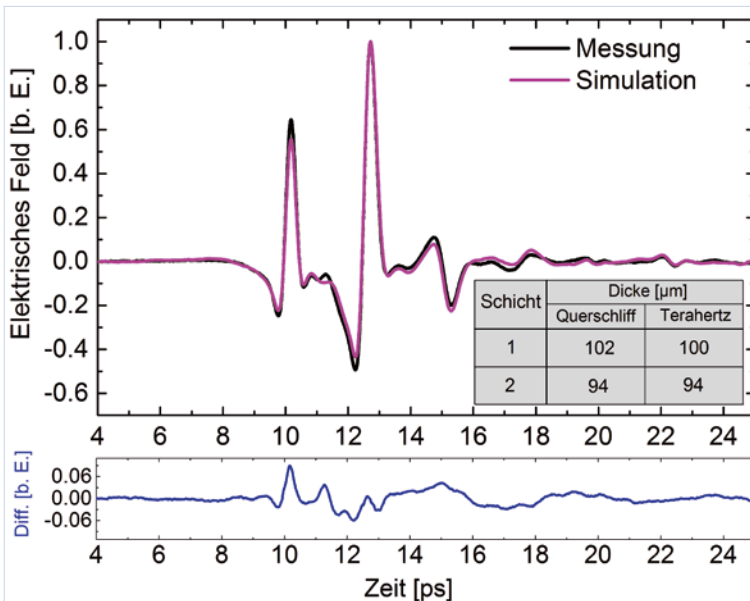


Bild 5: Diese Grafik zeigt den Vergleich zwischen Messung und Simulation eines Zweischichtsystems auf unidirektionalen CFK. Zum Vergleich wurden zusätzlich die Einzelschichtdicken durch Querschliff ermittelt. Im Schliffbild erkennt man neben den Einzelschichten auch die Lage und Orientierung der Kohlefasern.

