

Zerstörungsfreie Schichtdickenmessung an Nassfilmen

Die genaue Einhaltung der Schichtdicken ist ein wichtiger Qualitätsparameter. Im Hinblick auf Ressourcenschonung sollte die Qualitätskontrolle möglichst früh im Prozess erfolgen. Eine industrietaugliche Lösung versprechen neuartige Lackinspektionssysteme auf Basis von Terahertz-Wellen.

Jens Klier, Dr. Stefan Weber, Dr. Daniel Molter, Prof. Dr. Georg von Freymann, Dr. Joachim Jonuscheit

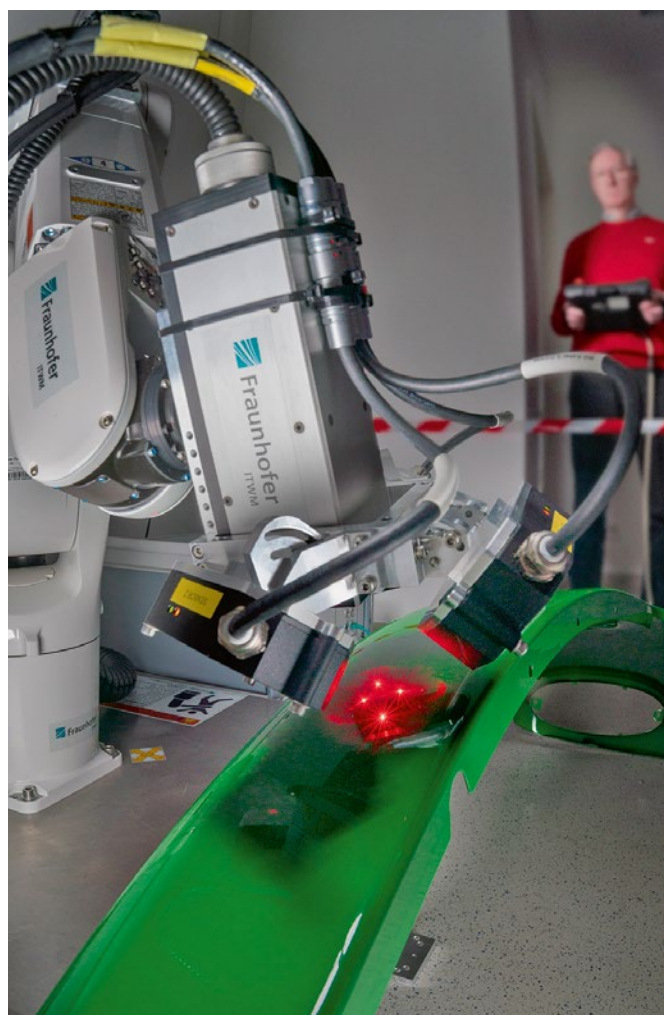


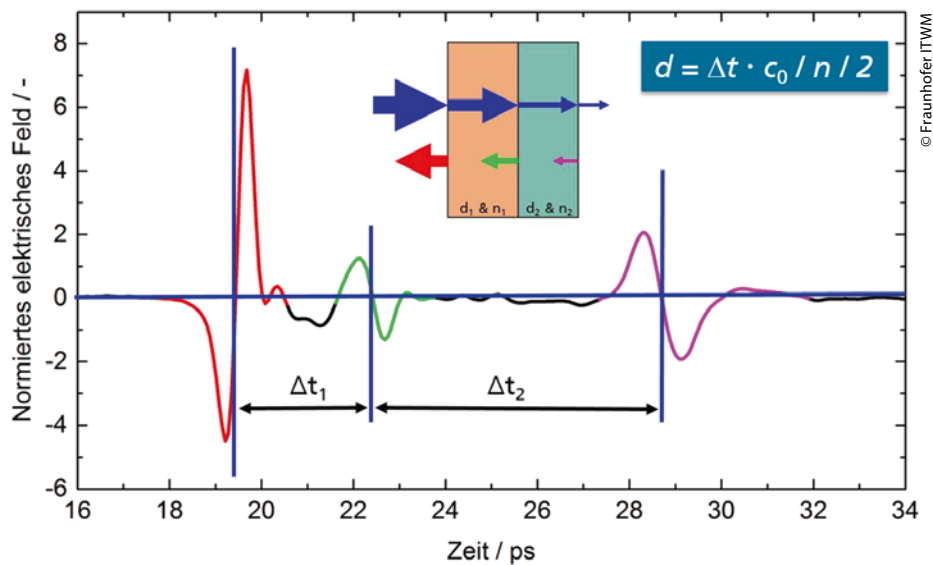
Bild 1 > Mithilfe der Terahertz-Messtechnik lassen sich Nassfilme berührungslos und zerstörungsfrei analysieren.

Moderne Lackierungen sollen nicht nur glänzen, sondern auch vor Korrosion, Kratzern und Witterungseinflüssen schützen. Deshalb ist der Aufbau einer Lackierung meist sehr komplex. Bei einer Serienlackierung kommen verschiedene Technologien zum Einsatz, die eine Lackierung erst im Zusammenspiel perfekt machen. Aufwendige Mehrschichtlackierungen werden dabei nicht nur im Automobil- oder Flugzeugbau eingesetzt, sondern veredeln auch Rotor- und Turbinenblätter, Schiffsrümpfe oder Tabletten.

Bei der Qualitätskontrolle reicht es nicht, die Gesamtdicke einer Lackierung zu erfassen. Immer häufiger wird die Dickenkontrolle der Einzelschichten innerhalb eines Mehrschichtsystems und auf unterschiedlichen Substraten wie Metallen und Kunststoffen gefordert.

Ressourcenschonung dank frühzeitiger Messung

Bei Audi am Standort Ingolstadt entfallen beispielsweise 53 Prozent des Energieverbrauchs auf die Lackierung; die Belastung der Umwelt mit Lösemitteldämpfen ist sogar zu 99 Prozent der Lackierung geschuldet. Je dicker die Schicht aufgetragen wird, desto mehr Energie wird zum Trocknen benötigt und umso mehr Lösemittel wird freigesetzt. Zur Reduzierung



© Fraunhofer ITWM

Bild 2 > Messprinzip der Schichtdickenbestimmung in Reflexion am Beispiel eines Zweischichtsystems, das von links mit Terahertz-Wellen beleuchtet wird (blauer Pfeil). Die Wellen werden an den Grenzflächen aufgrund des Brechungsindexunterschieds ($n_1 \neq n_2$) teilreflektiert. Aus den Laufzeitunterschieden Δt_1 und Δt_2 lassen sich mit der Kenntnis der Brechungsindizes die Schichtdicken d_1 und d_2 bestimmen.

der Umweltbelastung und der Ressourcen wie Lack und Energie ist man bestrebt, die Schichtdicken so früh wie möglich im Lackierprozess zu messen. Allerdings ist der Lack hier noch feucht und stellt somit spezielle Anforderungen an die einzusetzende Messtechnik.

Die besondere Herausforderung der Schichtdickenmessung an nassen Filmen: die Materialzusammensetzung des Films variiert während des Abtrocknens. In dieser Phase verdampfen Lösungsmittel oder beigemischt Wasser, weshalb sich die Materialzusammensetzung kontinuierlich verändert. Diese Variationen müssen Messverfahren mit ausreichender Genauigkeit berücksichtigen.

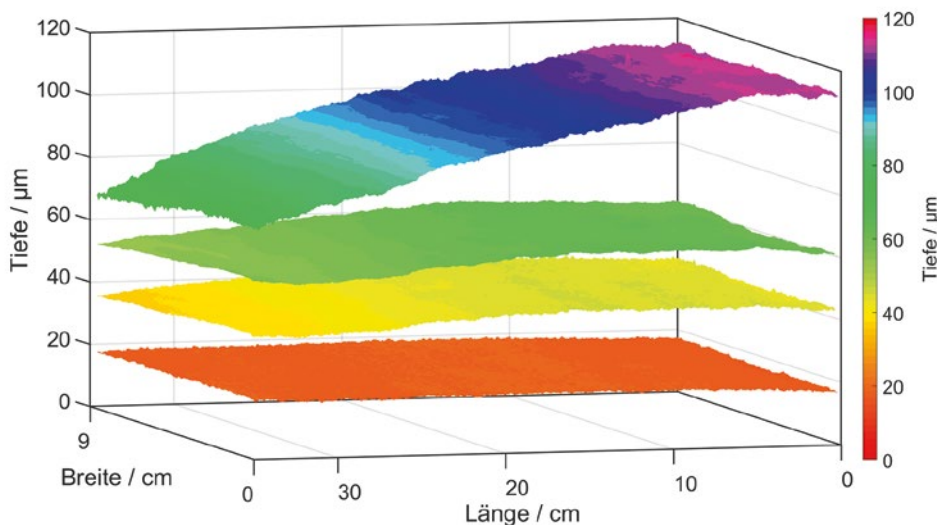
Nass-Schichtdicke entscheidet

Die erforderliche Trocken-Schichtdicke wird häufig aus der Nass-Schichtdicke und dem Feststoffanteil des Lacks ermittelt. Eine falsche Abschätzung der Schichtdicke führt zu einem unnötigen Aufwand an Zeit, Material und Geld. Wird eine Schicht zu dünn aufgetragen, sind Schutz und Deckvermögen nicht ausreichend, was eine nochmalige Beschichtung der Oberfläche erfordert. Die Folge sind höhere Kosten und eine längere Bearbeitungszeit.

Wird der Lackfilm zu dick aufgetragen, können Mängel wie Risse, Ablättern oder extrem lange Trocknungszeiten auf-

treten. Zudem ist es immer eine Kostenfrage, wenn zu viel Material und/oder Energie aufgewendet werden muss. Um den Prozess während der Applikation zu kontrollieren, ist es häufig wünschenswert, die Schichtdicke des nassen Films online zu bestimmen.

Lackdicken-Messgeräte, die zum Beispiel magnetinduktiv oder mit dem Wirbelstrom- beziehungsweise Ultraschallverfahren arbeiten, können hier wegen des zur Messung notwendigen mechanischen Kontakts nicht eingesetzt werden. Photothermische Verfahren arbeiten zwar berührungslos, ihr Einsatz führt allerdings bei feuchten Schichten oft zu fehlerhaften Resultaten.



© Fraunhofer ITWM

Bild 3 > Schichtdickenbestimmung am Beispiel eines Vierschichtsystems, bei dem die oberste Schicht in Form eines Keils appliziert wurde.

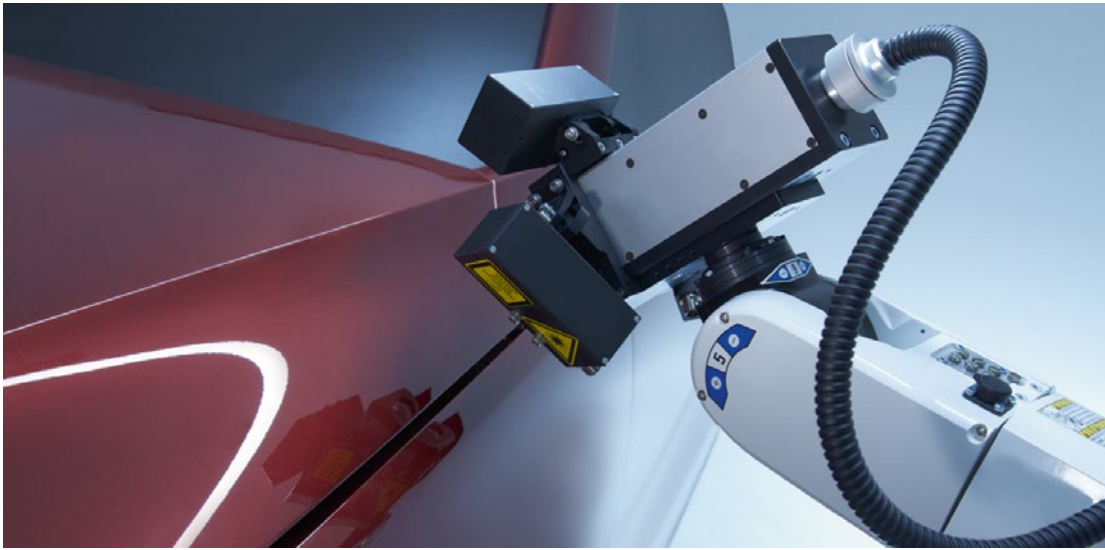


Bild 4 > Das Messmodul des fasergekoppelten Terahertz-Messsystems kann individuell an die Messaufgabe angepasst und beispielsweise für Reflexionsmessungen auf einen Roboter montiert werden.

Zur Schichtdickenmessung an Nassfilmen werden traditionell Messkämme oder Messräder verwendet. Diese werden zur Messung in den Nassfilm eingetaucht und dessen Dicke anhand der benetzten Zähne abgelesen. Eine neuere Methode basiert auf der Wirbelstromtechnik: Hier ist der Sensor mit Abstandsstiften ausgestattet, die in den Nassfilm eintauchen. Somit taucht der Sensor selbst nicht in den Nassfilm ein und ist trotzdem genau ausgerichtet. Beide Verfahren sind für eine automatisierte Online-Prozesskontrolle jedoch nicht geeignet.

Messung mit Terahertz-Wellen

Terahertz-Wellen liegen im elektromagnetischen Spektrum zwischen Infrarotlicht und Mikrowellen. Als optische Verfahren

arbeiten Terahertz-Lackspektionsysteme grundsätzlich berührungsfrei und zerstörungsfrei. Sie messen die Laufzeitunterschiede der an den Schichtgrenzen teilreflektierten Wellen und bestimmen daraus die Schichtdicke. Aktuell kann daher die Terahertz-Messtechnik als einziges Messverfahren Einzelschichten innerhalb von Mehrschichtsystemen im industrierelevanten Dickenbereich von 10 bis 500 µm oder auf unterschiedlichen Substraten wie Metall und Kunststoff erfassen (JOT 9/2015). Dies hat das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Kaiserslautern, in Zusammenarbeit mit Industriepartnern bereits gezeigt. Bei der Schichtdickenmessung mit der Terahertz-Zeitbereichsspektroskopie macht man sich die teilweise Reflexion des einfallenden Terahertz-Strahls bei Material-

übergängen zu Nutze (Bild 2). Im einfachsten Fall erhält man für eine Einzelschicht 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 (Bild 3). Das für den industriellen Einsatz entwickelte Terahertz-Schichtdickenmesssystem des Fraunhofer ITWM ist kompakt, robust und langzeitstabil. Das über Glasfasern von der Basiseinheit entkoppelte Messmodul erlaubt eine einfache Inte-

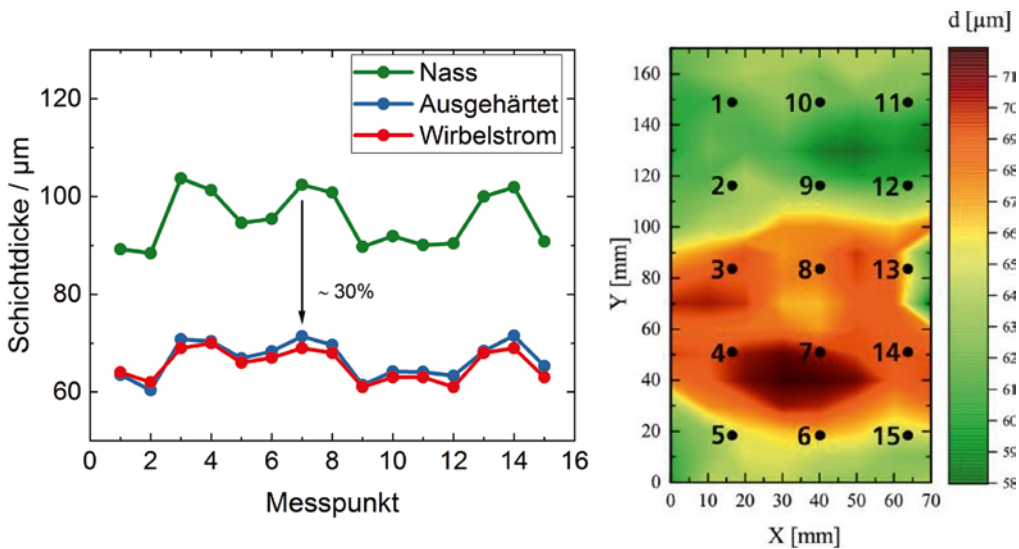


Bild 5 > Entwicklung der Schichtdicke während des Trocknungsprozesses. Die Werte wurden im nassen und ausgehärteten Zustand mittels Terahertz-Messtechnik gemessen. Farbskalierung entsprechen magnetinduktiven Messungen (rechts).

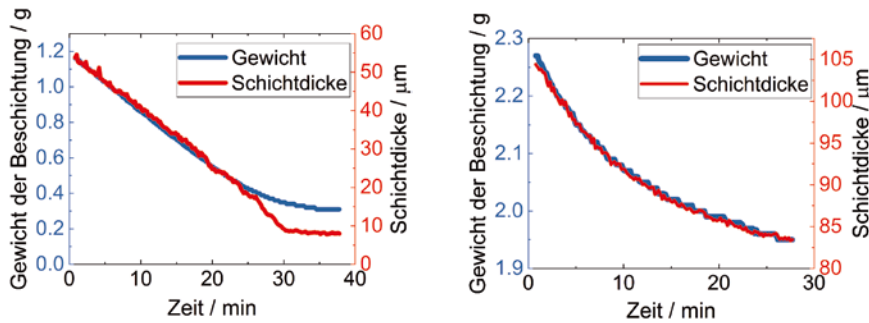


Bild 6 > Ergebnisvergleich der Gewichtsabnahme und der Terahertz-Messung während des Aushärteprozesses. Links: 1K wasserbasierter Metallic-Lack; rechts: 2K lösemittelbasierter Lack

gration in bestehende Produktionsprozesse, beispielsweise auf einem Roboter (Bild 4).

Berührungslose und exakte Qualitätsprüfung

Zum Fähigkeitsnachweis der Schichtdickenmessung an Nassfilmen wurden in einem Technikum Bleche beschichtet und zerstörungsfrei geprüft. Im Einzelnen wurden Bleche kontrolliert lackiert, anschließend zwischengetrocknet und im letzten Schritt vollständig ausgehärtet. Nach jedem Schritt wurden die Bleche mit der Terahertz-Messtechnik hinsichtlich der Schichtdicke untersucht. In der ersten Messserie wurde ein Blech mit einem Metallic-Basislack im relevanten Dickenbereich beschichtet, so dass am oberen und unteren Bereich weniger und in der Mitte mehr Lack aufgetragen wurde (Bild 5). Dabei konnte zum einen die Abnahme der Schichtdicke während des Trocknens eindeutig beobachtet werden, zum anderen war der ungleichmäßige Lackauftrag sowohl im Nassfilm als auch im ausgehärteten Zustand zu erkennen. In der nächsten Messreihe wurde die Korrelation zwischen Abnahme des Lackgewichtes und der gemessenen Schichtdicke untersucht. Hierzu wurde das Blech samt Nassfilm während des Aushärteprozesses mehrfach gewogen und im direkten Anschluss an das Wiegen wurde die Filmdicke mittels Terahertz-Wellen bestimmt (Bild 6). Es zeigte sich eine sehr gute Korrelation zwischen Gewichts- und Schichtdickenabnahme.

Fazit

Mithilfe der Terahertz-Messtechnik lassen sich Nassfilme berührungslos und

zerstörungsfrei analysieren, ob als Einzelschicht oder als Nassfilm auf einer trockenen Lackschicht – sogar während des Lackierprozesses. Als Trägermaterial eignen sich Metalle, Kunststoffe und Verbundwerkstoffe wie CFK. Die innovative Technik misst bis zu 50 Wellenformen pro Sekunde und wertet sie online aus. Auf diese Weise lassen sich Schichtdicken in einem sehr breiten Bereich zwischen 10 und 500 µm mit einer Reproduzierbarkeit von besser 1 µm bestimmen.

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. //

Danksagung

Die hier gezeigten Messungen an Nassfilmen wurden innerhalb des Fraunhofer-internen Projektes „SelfPaint“ am Fraunhofer IPA in Stuttgart durchgeführt.

Die Autoren

Jens Klier
Dr. Stefan Weber
Dr. Daniel Molter
Prof. Dr. Georg von Freymann
Dr. Joachim Jonuscheit

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM
 Kaiserslautern
 Materialcharakterisierung und -prüfung
 Tel. 0631 31600 4911
 joachim.jonuscheit@itwm.fraunhofer.de
 www.itwm.fraunhofer.de

VEREDELN SIE IHR WISSEN

MIT DER NUMMER 1 DER OBERFLÄCHENTECHNIK*



Sie wollen wissen, was unter der Oberfläche steckt. JOT ist das Magazin, mit dem Sie Ihr Wissen im Bereich Oberflächentechnik veredeln können. Praxisnah und anwenderorientiert. Lesen Sie 12 Ausgaben plus mind. fünf Specials zum Vorzugspreis. Inklusive E-Magazin, freiem Zugriff auf das Online-Fachartikel-Archiv, Newsletter und Webportal: www.jot-oberflaeche.de



* Nr. 1 bezogen auf die verkaufte Auflage: laut ITWM vom 30.06.2016: 1.469 Exemplare

Testen Sie jetzt JOT.
 Die ganze Vielfalt unter:
www.meinfachwissen.de/jot