


Ein Silberstreif am Horizont

Quelle: Alexander Ozerov - stock.adobe.com



PIGMENTTECHNOLOGIE // FORMULIERER VON AUTOLACKEN STEHEN VOR DER SCHWIERIGEN HERAUSFORDERUNG, BEGEHRTE METALLICLACKE ZU ENTWICKELN, DIE AUCH DIE FUNKTION INTEGRIERTER SENSORTECHNOLOGIE ERMÖGLICHEN. EINE NEUE TECHNOLOGIE ERWEITERT NUN DAS ANWENDUNGSSPEKTRUM VON PERLGLANZPIGMENTEN SO, DASS FORMULIERER DIE GESUCHTEN EFFEKTE IN BESCHICHTUNGEN ANBIETEN KÖNNEN, DIE SELBST IM REPARATURFALL RADARTRANSPARENT BLEIBEN.

Dr. Florian Pfeiffer, Perisens, Christoph Landmann und Clemens Günther, Merck

Radar (Radio Detection and Ranging) ist eine Technologie, die elektromagnetische Wellen (EM-Wellen) nutzt, um Informationen über Objekte in der Umgebung zu erfassen. Die EM-Wellen werden als Primärsignal mit einer bestimmten Frequenz emittiert, anhand des daraufhin detektierten Sekundärsignals (Reflexion, Echo) lassen sich Position und Geschwindigkeit relativ zum Sensor bestimmen.

In den letzten Jahren ist die Radartechnologie zu einem wichtigen Bestandteil moderner Fahrzeuge geworden. Sie wird zur Steuerung von Fahrerassistenzsystemen eingesetzt, um die Sicherheit und den Komfort während der Fahrt zu erhöhen.

Es gibt verschiedene Arten von radargestützten Assistenzsystemen in Autos, z. B. adaptive Geschwindigkeitsregelung (ACC), Blind Spot Detection (BSD) und Pre-Collision-Warning (PCW). Diese Systeme fusionieren Daten von Radargeräten mit zusätzlichen Sensorquellen (z. B. ESP). Modernes Kfz-Radar arbeitet mit einer Frequenz zwischen 76 GHz und 81 GHz, was einer Wellenlänge von etwas weniger als 4 mm entspricht. Gegenüber optischen Sensortechnologien, wie Kamera und LIDAR, hat Radar den Vorteil, dass es deutlich unempfindlicher gegenüber schwierigen Witterungsverhältnissen, wie Nebel, Schnee und Regen, ist. Zudem wird Radar auch nicht wie ein Kamerasystem durch Blendlicht (tiefstehende Sonne oder andere starke Lichtquellen) beeinflusst. Ein weiterer nicht zu unterschätzender Vorteil ist, dass der Radarsensor verdeckt und damit vielfach ohne Beeinträchtigung des Fahrzeugdesigns verbaut werden kann.

SRR-Sensoren (Short Range Radar) werden in der Regel hinter Stoßstangen in den Ecken eines Fahrzeugs angebracht, während LRR-Sensoren (Long Range Radar) hinter Emblemen oder unlackierten Kunststoffblenden montiert werden (Abb. 1). Diese Abdeckungen bezeichnet man als Radome.

Sensortechnische Grundlagen

Radarsensoren verwenden mehrere Sendeantennen, deren abgestrahlte Wellen von den Objekten in der Umgebung des Sensors reflektiert und an gleicher Stelle von mehreren Empfangsantennen wieder erfasst werden. Dabei durchdringen die Wellen zweimal das Radom. Entsprechend sorgfältig müssen dessen Geometrie und Materialeigenschaften ausgelegt werden, denn sie könnten u. a. die maximale Reichweite und Winkelgenauigkeit beeinträchtigen. Diese Einflüsse entstehen, weil die eingesetzten Materialien für Radar nicht vollständig transparent sind.

Materialeinflüsse

Die dielektrischen Eigenschaften von Kunststoffen und Lacken spielen für das Kfz-Radar eine entscheidende Rolle, da sie Teil der meisten Radome sind. Die relative Permittivität (ϵ_r ; auch Dielektrizitätskonstante genannt) ist ein Maß dafür, wie leicht ein Material elektrische Ladung im Vergleich zum Vakuum speichern kann. Im Allgemeinen haben Kunststoffe und Lacke eine höhere Permittivität als Luft oder Vakuum.

Wenn Radarsignale durch dielektrische Materialien übertragen werden, wird die Signalleistung teilweise transmittiert, reflektiert und absorbiert. Bei der Auslegung einer Radarabdeckung ist es entscheidend, dass die 2-Wege-Transmission (das Signal wird durch die Abdeckung gesendet und empfangen) ausreichend hoch ausfällt, um die Reichweitenanforderungen des Radarsensors zu erfüllen, sowie die Reflexion ausreichend niedrig ist, um den Sensor mit der ausgesendeten Signalleistung nicht zu blenden.

Die Transmission und Reflexion kann mit Kenntnis der Dicke und der Permittivität jeder einzelnen Schicht theoretisch berechnet werden. Die Messung der tatsächlichen Permittivität von Materialien erfolgt in

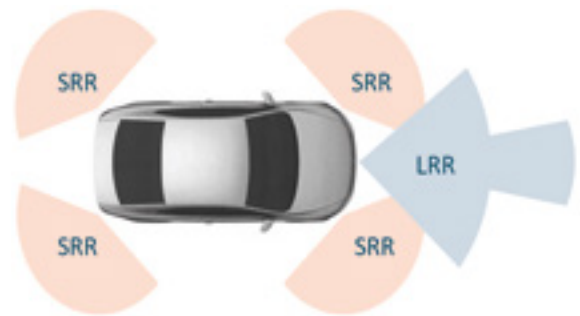


Abb. 1 // Einbaupositionen von Radargeräten an einem modernen Kfz.

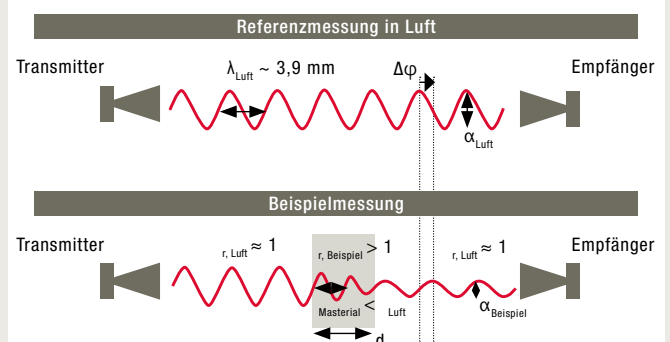


Abb. 2 // Darstellung des Messprinzips des Radom-Messsystems zur Ermittlung der Permittivität von Materialien.

spezifischen Instrumenten. Dabei wird eine ebene Probenplatte mit einer EM-Welle im Frequenzbereich der Radarsensoren durchstrahlt. Im Probenmaterial breitet sich die EM-Welle langsamer als in Luft und damit mit verringerter Periode der Welle (Wellenlänge) aus. Zudem erfährt die Welle aufgrund der Reflexions- und Absorptionseigenschaften eine Reduktion der Amplitude. Erstes kann als Phasendifferenz $\Delta\phi$, letzteres als Transmissionskoeffizient $\alpha_{\text{Probe}} / \alpha_{\text{Luft}}$ gemessen werden (Abb. 2). Mithilfe einer Ausgleichsrechnung bestimmt die Software des Geräts

Ergebnisse auf einen Blick

- Bislang war es nicht möglich, ansprechende Silbertöne ohne Metalleffektpigmente herzustellen, was für radargestützte Fahrerassistenzsysteme ein Hindernis darstellte.
- Dank neuer Produktionsmethoden können Perlglanzpigmente so hergestellt werden, dass sie auch in hellen, metallischen Farbtönen signifikant zum Deckvermögen beitragen.
- Damit enden Einschränkungen bei Farbauswahl und Reparaturfähigkeit. Helle Silberfarbtöne können nun ohne Einschränkung auch auf Bauteilen verwendet werden, die empfindliche Sensoren bedecken.

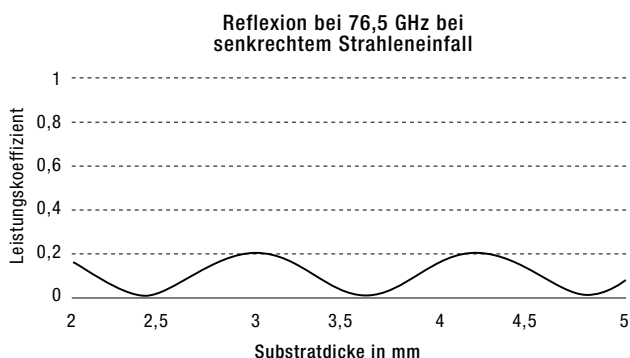
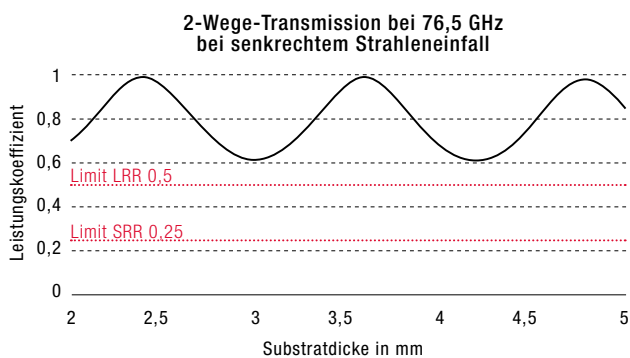
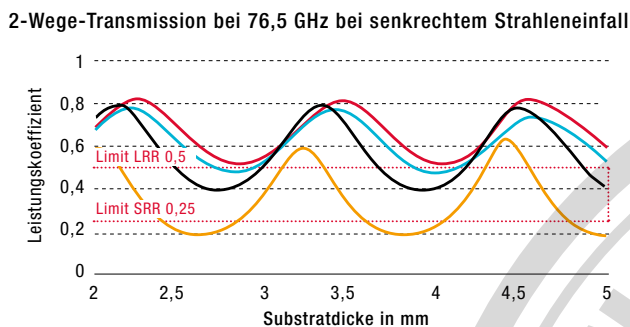


Abb. 3 // Simulierte 2-Wege-Transmission und Reflexion einer EM-Welle an unlackierten PP/E TD30 in Abhängigkeit der Schichtdicke bei 76,5 GHz und senkrechtem Einfall.



— ER(BC) = 3 — ER(BC) = 20 - - - - - Limit
— ER(BC) = 7 — ER(BC) = 50

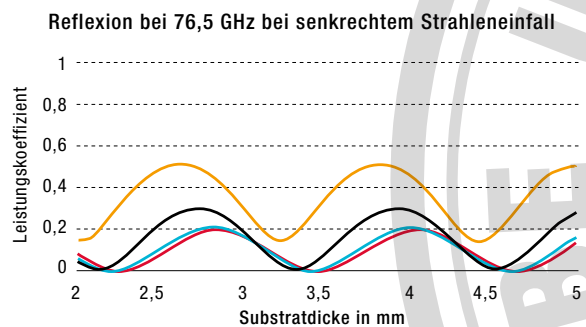


Abb. 4 // Simulierte 2-Wege-Transmission und Reflexion einer EM-Welle an lackierten PP/E TD30 in Abhängigkeit der Substratschichtdicke bei 76,5 GHz und senkrechtem Einfall.

aus den Messwerten und der eingegebenen Dicke die reellwertige Permittivität und den Verlustwinkel. Das Messprinzip kann sowohl bei einschichtigen als auch bei mehrschichtigen Proben angewendet werden. Auch Lackschichten mit Dicken im Mikrometerbereich lassen sich so charakterisieren. Bei mehrschichtigen Proben müssen alle Materialien bis auf eines bekannt, d. h. deren Permittivität, vorher bestimmt sein. Die Permittivität eines Materials hängt vom Grundmaterial, den Additiven und Füllstoffen sowie auch von herstellungsbedingten Einflüssen ab. Insbesondere leitfähige Pigmente können aufgrund der Grenzflächenpolarisation in leitfähigen Primern und metallischen Basislacken zu sehr hohen Permittivitäten führen. An jedem Materialübergang, also immer dann, wenn sich die Permittivität des Mediums ändert, finden Reflexionen der EM-Welle statt. Je größer der Unterschied zwischen den Permittivitäten der benachbarten Materialien ist, desto höher ist auch die Reflexion an deren Grenzfläche. Die Absorption hingegen nimmt linear mit der Dicke des Mediums zu.

Im einfachsten Fall besteht eine Radarabdeckung aus einem homogenen Kunststoffmaterial. Hier bilden der Eintritts- und Austrittspunkt des Signals in bzw. aus der Schicht zwei Reflexionsgrenzen (Luft-Kunststoff und Kunststoff-Luft). Die auftretenden Reflexionen überlagern sich und können sich in Abhängigkeit der Wellenlänge und der Materialdicke verstärken oder abschwächen. Dieser Interferenzeffekt wird bei der Auslegung einer Radarabdeckung ausgenutzt und die Dicke des Bauteils so eingestellt, dass sich die Reflexionen an beiden Grenzflächen gerade auslöschen und damit die Gesamtreflexion minimal und die Transmission maximal ist.

In Abb. 3 ist der berechnete 2-Wege-Transmissions- und Reflexionskoeffizient von unlackiertem PP/E TD30 in Abhängigkeit der Schichtdicke dargestellt. Es zeigt sich deutlich das Interferenzverhalten mit periodisch auftretenden Transmissionsmaxima und -minima bzw. Reflexionsminima und -maxima. Bei günstiger Wahl der Dicke wird 98,5% der Leistung transmittiert und bei ungünstiger Wahl nur 61,9%. Für heutige Nahbereichsradarsensoren (SRR) wird eine 2-Wege-Transmission von mindestens 25% und für Weitbereichsradarsensoren (LLR) mindestens 50% verlangt, was in diesem Fall unabhängig von der Dicke erreicht werden würde.

Diese Berechnung kann auch für lackierte Stoßfänger durchgeführt werden, die als geschichtetes dielektrisches Medium modelliert werden. Im Allgemeinen werden sich die Permittivitäten der Einzelmateriale unterscheiden, sodass es an jeder einzelnen Grenzschicht zu Reflexionen kommt. In Abb. 4 ist das Ergebnis der Berechnung eines Dreischichtlackaufbaus, bestehend aus einem leitfähigen Primer (10 µm), Basislack (20 µm) und Klarlack (30 µm), dargestellt. In dem Modell wurden vier verschiedene Basislacke mit Permittivitäten von 3, 7, 20 und 50 berechnet (alle anderen Parameter blieben unverändert).

Die Simulation zeigt, dass bereits Basislacke mit einer Permittivität von 20 einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf die Radareigenschaften haben. Bei noch höheren Permittivitäten von 50 können die heutigen Anforderungen im Serienlack nur noch mit entsprechender Dickenanpassung des Stoßfängers realisiert werden.

Lacktechnische Betrachtung

Eine unsichtbare Integration der Sensortechnik ist aus Designsicht höchst wünschenswert. Dies wird im besten Fall bedeuten, dass sie hinter lackierten Kunststoffelementen positioniert wird. Dafür ist allerdings eine weitgehende Radartransparenz des gesamten Bauteils – einschließlich Lackierung – unerlässlich.

Aufgrund ihrer individuellen Zusammensetzung unterscheidet sich die Permittivität verschiedener Lacke deutlich. Dabei fällt auf, dass insbesondere Metalliclacke das Signal stark stören. Ursächlich dafür ist die Verwendung von Metalleffektpigmenten, die insbesondere hellen Silberfarbtönen durch ihre starke Reflektivität zu einem ausgeprägtem Hell- bzw. Dunkel-Flop bei gleichzeitig starkem Deckvermögen ver-

helfen. Doch leider spiegeln Aluminiumflakes auch die elektromagnetischen Wellen der Sensoren, was zu Permittivitäten von 50 und mehr führen kann. Damit ist die Funktion der Sensorik nicht mehr gewährleistet, wenn ein vorgelagertes Bauteil auf diese Weise beschichtet ist. Man ist in der Formulierungsentwicklung von Automobillacken bereits mit vielen Herausforderungen fertig geworden. So gelingt es in vielen Fällen, auch dieser Schwierigkeit zu begegnen – indem man beispielsweise Perlglanzpigmente anstelle von Aluminiumpigmenten einsetzt, um den metallischen Glanz und Flop zu erreichen. Denn diese sind für das Radarsignal nahezu vollkommen transparent.

Auch für sichtbares Licht sind Perlglanzpigmente in aller Regel semitransparent. Was in den angestammten Einsatzgebieten beabsichtigt und gewünscht ist, erweist sich beim Ersatz von Aluminiumpigmenten als Bürde.

In reinen Silberfarbtönen wird es mit silberweißen Perlglanzpigmenten daher schwierig, die Trias aus Deckvermögen, Helligkeit und Flop aufrecht zu erhalten. Deckvermögen und Helligkeit könnten zwar durch die Zugabe von Titandioxid gewährleistet werden, doch dann bleibt vom Effekt nicht mehr viel. Umgekehrt erhält man durch die Zugabe von Ruß zwar Flop und Deckvermögen, wird aber dunkel.

Während sich in grauen oder chromatischen Effektlackierungen teilweise noch akzeptable Lösungen für die Radartransparenz finden lassen, scheint es im Bereich der helleren Silbertöne, ein ungelöstes Problem zu geben. Dementsprechend verschwinden sie zunehmend aus den Konfiguratoren der Autohersteller, was bei einem Marktanteil von zuletzt knapp 10 % eine nicht hinnehmbare Einschränkung darstellt.

Bei der Komposition neuer Serienlacke wird auch der Reparaturfall schon mitgedacht. Die Radartransparenz muss demnach auch bei stark erhöhten Schichtdicken gewährleistet bleiben. Es reicht daher nicht, den Anteil der Aluminiumpigmente an der Rezeptur schlicht auf



Abb. 5 // Praktische Anwendung des neuartigen Pigments in einer Automobilformulierung.

ein serientaugliches Maß zu reduzieren. Es bedarf neuer Technologien, die grundsätzlich das Problem beheben.

Geeignete Pigmenttechnologien

Wegen ihrer vorteilhaften dielektrischen Eigenschaften erscheint trotz allem ein Rückgriff auf Perlglanzpigmente naheliegend. Durch neuartige Produktionsverfahren ist es inzwischen gelungen, diese den Anforderungen – insbesondere erhöhtes Deckvermögen – entsprechend



KGM



ADV



KBM



KDV

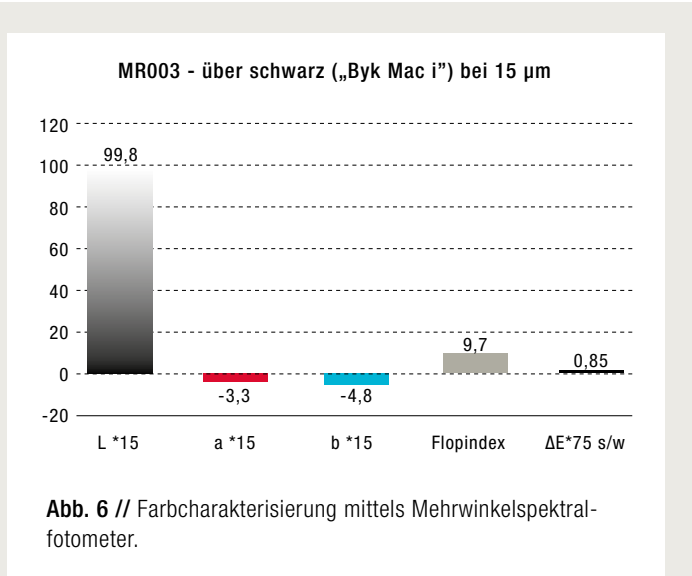


Abb. 6 // Farbcharakterisierung mittels Mehrwinkelspektrofotometer.



Abb. 7 // Permittivitätsmessung einer lackierten Folie.

Hierfür wurde der Farbton mittels pneumatischer Spritzapplikation in einer 20 µm dicken Schicht auf ein 350 µm dickes homogenes PET-Substrat appliziert (Abb. 7). Dessen dielektrische Eigenschaften wurden vorab ermittelt, sodass das Messergebnis darum korrigiert werden kann und sich die Lackschicht exakt charakterisieren lässt. Aufbauend darauf sind zuverlässige Simulationen der Radar-Performance für weitere Materialkombinationen und Schichtdickenkonstellationen kalkulierbar. Die ermittelte Permittivität des Beispiellackes von $\epsilon_r = 6,9$ entspricht in etwa der türkisen Kurve in Abb. 4. Die Radartransmission der mit 20 µm recht mächtigen Schicht hätte damit sogar das Potenzial einen LRR zu verbergen. Für ein SRR steht die Eignung soweit außer Frage, dass es sich sogar lohnt, die 2-Wege-Transmission für den Reparaturfall zu betrachten.

Reparaturfähigkeit

Zum Verkratzen von Stoßfängerabdeckungen kommt es leicht und häufig. Die Reparaturkosten schnellen in die Höhe, wenn das betroffene Bauteil nicht nachlackiert werden darf, sondern komplett getauscht werden muss – eine häufige Herstellervorgabe bei entsprechend ausgestatteten Fahrzeugen.

Als Reparaturmethode sei hier eine homogene Nachlackierung auf der bestehenden Serienlackierung angenommen. Der Originalschichtaufbau wird also um eine 50 µm starke Lage des Basislacks und eine Lage Klarlack (30 µm) ergänzt.

Im Fall der Beispielformulierung mit einer Permittivität von $\epsilon_r = 6,9$ (entspricht in etwa der türkisen Kurve in Abb. 8) reduziert sich die Transmission dabei um etwa 0,1. Damit ist die Verringerung so niedrig, dass selbst ein zweifach nachlackiertes Bauteil für das relevante SRR ausreichend transparent wäre – ohne dass die Dicke des Kunststoffsubstrats betrachtet werden bräuchte.

Fazit

Neuartige Ansätze bei der Produktion von Perlglanzpigmenten können entscheidend dazu beitragen, Designfreiheit und Hochtechnologie im Automobilbau miteinander zu „versöhnen“. Um die neuesten Komfort- und Sicherheitssysteme nutzen zu können, sind nun große Einschränkungen bei der Farbauswahl beseitigt. Auch für die Gestaltung der Fahrzeugfront entfallen unschöne Zwänge und der Reparaturfall verliert einen Teil seines Schreckens.

Kontakt // clemens.guenther@merckgroup.com

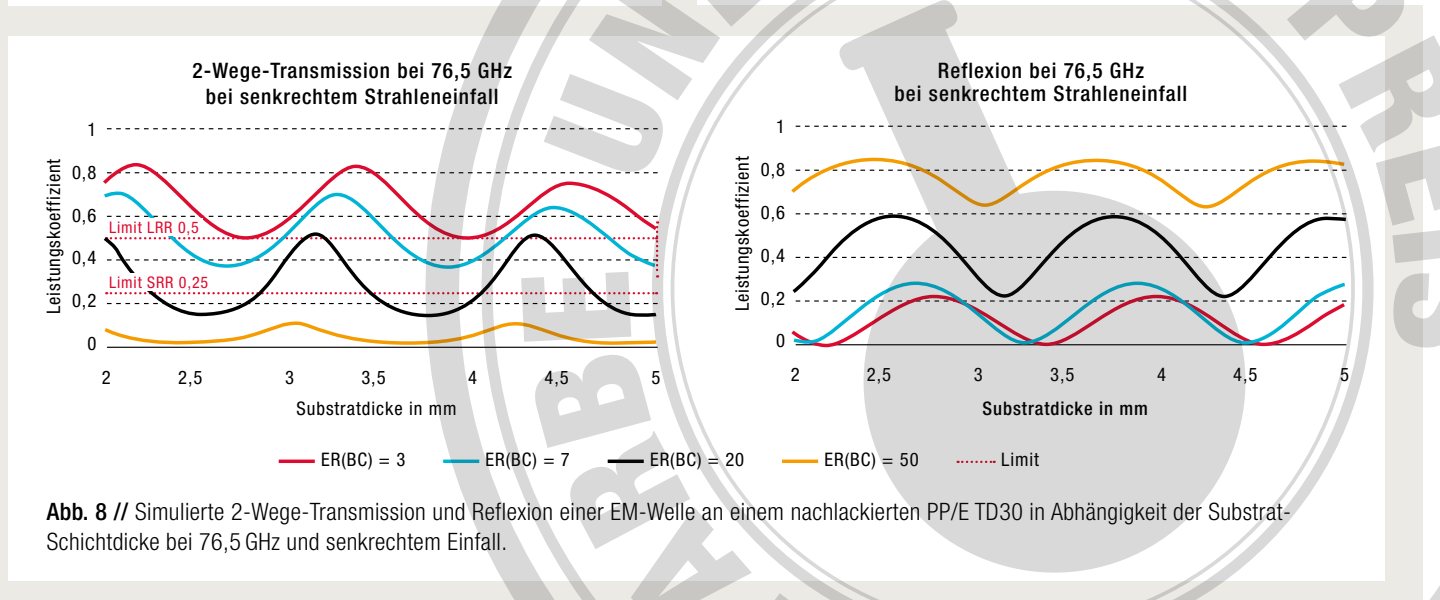


Abb. 8 // Simulierte 2-Wege-Transmission und Reflexion einer EM-Welle an einem nachlackierten PP/E TD30 in Abhängigkeit der Substrat-Schichtdicke bei 76,5 GHz und senkrechtem Einfall.

DR. FLORIAN PFEIFFER

Jahrgang 1976, ist Geschäftsführer und Inhaber der Firma perisens. Er erhielt den Titel Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) im Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen an der Fachhochschule München, den Dipl.-Ing. in Elektrotechnik an der TUM in München. Im Anschluss daran promovierte er bei Audi in Kooperation mit der TUM auf dem Gebiet der automobilen Radartechnik. 2009 gründete er zusammen mit seinem Doktorvater Perisens.



CLEMENS GÜNTHER

Jahrgang 1983, betreut als Senior Marketing Manager EMEA bei Merck das Segment Coatings im Bereich Surface Solutions – wo er im Produktmanagement, Business Development und Strategischen Marketing tätig war. Sein Diplom als Betriebswirt erwarb er berufsbegleitend an der FHNW in Basel (CH) und war neun Jahre im Pigmentgeschäft von Clariant tätig, bevor er 2014 zu Merck kam.



CHRISTOPH LANDMANN

ist seit 2018 Laborleiter in der Anwendungstechnik für Automotive Coatings im Geschäftsbereich Surface Solutions. Landmann kam 2007 als Auszubildender zum Chemielaboranten zu Merck. Danach arbeitete er in verschiedenen Bereichen der Anwendungsentwicklung, unter anderem in der Solarzellen- und Displaystrukturierung sowie in der Entwicklung von LED-Leuchtschichten.



Mehr zum Thema!



30 Ergebnisse für **Perlglanzpigmente!**
Jetzt testen: www.farbeundlack.de/360



CHT
SMART CHEMISTRY
WITH CHARACTER.

AGOCEL®
RHEOLOGIEADDITIVE

Die CHT Gruppe bietet hochleistungsfähige Polysaccharide und funktionelle Additive für die Bauindustrie an. Durch unsere langjährige Erfahrung in der Modifizierung von Polysacchariden stellen wir Produkte mit herausragendem Eigenschaftsprofil bereit. Unser **AGOCEL®** Produktportfolio garantiert eine zuverlässige Bearbeitung und umweltfreundliche Optimierung von mineralischen Baustoffsystemen und Architekturfarben.

Mehr über uns unter www.cht.com

Follow us on
LinkedIn

