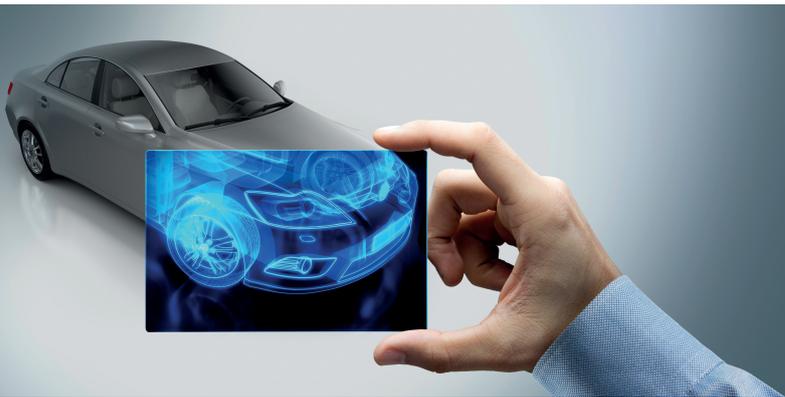


Klare Sicht für autonome Fahrzeuge

Kunststoffe für Radarsysteme einfacher analysieren und charakterisieren

Autonome und teilautonome Fahrzeuge verlassen sich auf eine komplexe Hard- und Software-Architektur, die auf die Informationen zahlreicher Sensoren zurückgreift. Um verlässliche Daten zu generieren, benötigen diese einen ungestörten Blick auf die Umgebung. Die für Radarsysteme verwendeten Kunststoffbauteile dürfen die Funktion der Sensoren nicht stören. Um die Radartauglichkeit der Bauteile zu untersuchen, sind umfangreiche Tests notwendig. Spezielle Messsysteme und -aufbauten erleichtern diese Prüfungen deutlich.



© Rohde&Schwarz

Die Radartechnologie basiert auf dem Aussenden und Empfangen elektromagnetischer Wellen im Radiofrequenzbereich und ist bereits seit Langem ein gängiges Ortungsverfahren beispielsweise in der Nautik. Durch die zunehmende Bedeutung der Umgebungssensorik für automobiler Anwendungen bis hin zum autonomen Fahren wird die Radartechnologie im Automobilssektor immer wichtiger. Dabei bieten Radarsensoren einen entscheidenden designtechnischen Vorteil, da sie sich im Gegensatz zu anderen Sensoren mittels optisch intransparenter Materialien verdecken lassen. Grund dafür ist, dass sich die Wellenlängen der Radarstrahlen signifikant von denen des sichtbaren Lichts unterscheiden.

Allerdings können die für die Schutzhülle, auch Radom genannt, verwendeten Materialien und die Einbauposition des Sensors das Ergebnis der Radarmessung beeinflussen. Um die ordnungsgemäße Funktion der Sensoren sicherzustellen, sind deshalb umfangreiche Prüfungen notwendig. Zur Untersuchung der Anbauteile und Embleme im entsprechenden Frequenzband werden komplexe

Messsysteme benötigt. Rohde&Schwarz hat ein solches vorgestellt, das vor allem bei der Entwicklung von komplexen Design-Emblemen eingesetzt wird [1]. Dieses ermöglicht die Analyse von einschichtigen Kunststoffanbauteilen und bietet potenzielle Einsparpotenziale bei deren Charakterisierung in Bezug auf die Radartransparenz.

Das Verhalten von Radarstrahlung an einem Radom lässt sich sinnbildlich mit dem Verhalten von Licht an einer Fensterscheibe vergleichen: Die Strahlung kann durch das Material transmittieren und erhellt den dahinterliegenden Raum. Wird sie an der Grenzfläche reflektiert, führt das zu störenden Effekten. Da durch ungeeignete Radome auch störende Mehrfachreflexionen entstehen können, die das Umgebungsbild beeinflussen, trägt die räumlich aufgelöste Messung der Reflexionen zur Verbesserung der Datenqualität am Radar bei. Die an einem Radom typischerweise auftretenden Effekte sind in **Bild 1** dargestellt. Zusätzlich zu einer generellen Frequenzanpassung ist auf die Homogenität des Radoms zu achten. Inhomogene Bauteile verzerren die vor-

mals ebenen Phasenfronten (**Bild 2**) und verfälschen auf diese Weise das Bild der Umgebung, das der Sensor wahrnimmt.

Für eine generelle Charakterisierung von Materialien im Radarfrequenzband bieten sich Vektornetzwerkanalysatoren an. Diese sind für unterschiedliche Frequenzbänder, sowie in verschiedenen Preis- und Qualitätsstufen erhältlich. Eine große Herausforderung bei der Materialcharakterisierung ist die Positionierung des Messobjekts im Strahlengang des Messgeräts. Generell gibt es dafür zwei Vorgehensweisen [2]. Bei der ersten wird die Probe auf ein kompaktes Format zurechtgeschnitten und direkt im Hohlleiter eingebracht. Dieses Verfahren ist zwar am präzisesten, erfordert jedoch auch den höchsten Aufwand an Vorbereitung und ist zudem nicht zerstörungsfrei. Alternativ dazu kann ein quasi-optischer Aufbau verwendet werden. Dieser muss zunächst umfassend charakterisiert und kalibriert werden, bringt dem Anwender dafür aber mehr Freiheitsgrade bei den geometrischen Abmessungen der Probe. Die präzise Positionierung der Probe ist allerdings weiterhin unerlässlich.

Mit Vektornetzwerkanalysatoren Materialien charakterisieren

Für beide Aufbauten wird außerdem geschultes Personal benötigt, da die notwendige Kalibrierung des Messgeräts sowie des Messaufbaus viel Know-how im Bereich der Hochfrequenztechnik erfordert. Es kann aber auch eine Messvorrichtung zur Überprüfung der Eigenschaften und Materialparameter verwendet werden, die weniger komplex und durch weniger erfahrenes Personal bedienbar ist.

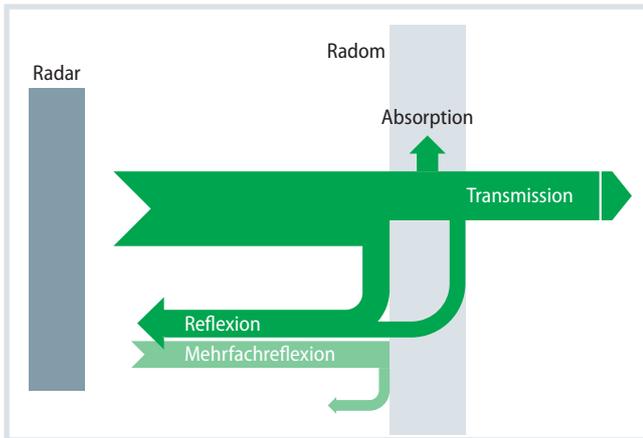


Bild 1. Reflexion, Absorption und Transmission an einem Radom: Da das Ziel das Signal reflektiert, wird bei Radomen stets eine maximal zulässige Zwei-Wege-Dämpfung definiert

Quelle: Rohde & Schwarz; Grafik: © Hanser

Auch wenn in der Fertigung eine hundertprozentige Prüfung vorgeschrieben ist, bedeutet das nicht automatisch, dass dabei mit derselben Genauigkeit wie in der Entwicklung getestet werden muss. Eine sinnvolle Reduktion der zu prüfenden Parameter senkt die Komplexität des Messgeräteaufbaus und die damit verbundenen Anschaffungskosten sowie die Messzeit in der Produktion. Auf diese Weise lassen sich die Umlaufzeiten in der Fertigung verringern.

Reduzierte Komplexität für Tests in der Produktion

Bild 4 zeigt beispielhaft dasselbe Radom wie **Bild 3**, jedoch mit reduzierter Auflösung. Dargestellt ist in diesem Beispiel nicht die Reflektivität, sondern der Phasengang der Strahlen durch das Radom. Die physikalische Korrelation der Daten legitimiert den direkten Vergleich von Homogenität in der Reflexion, sowie des Phasengangs durch das Prüfteil [3]. Da die Homogenität der Embleme bereits in der Entwicklung optimiert wurde und sie in diesem Status bereits mithilfe eines Radars vom Radarhersteller zertifiziert wurden, ist davon auszugehen, dass die Homogenität für die Anwendung prinzipiell in Ordnung ist und lediglich überwacht werden muss. Für die Fertigung ist es daher ausreichend, eine gleichbleibende

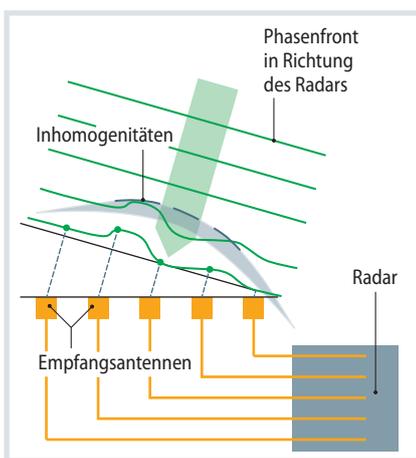


Bild 2. Die durch Inhomogenitäten im Radom verzerrte Phasenfront liefert dem Radarsensor auch ein verzerrtes Bild der Umgebung

Quelle: Rohde & Schwarz; Grafik: © Hanser

zierung von Radarsensoren geeignet. An den Übergängen zwischen Bereichen mit niedriger und hoher Reflektivität kann es zu Phasensprüngen im Material kommen. Diese lösen im Radar potenziell Fehler bei der Winkeldetektion von Zielen aus und verfälschen dadurch das Bild, das der Radarsensor von der Umgebung bekommt. Auch eine intelligente Software kann aus falschen Daten keine richtigen Rückschlüsse mehr ziehen.

Da Radaranbauteile sicherheitskritisch sind, muss in der Produktion eine hundertprozentige Prüfung erfolgen. Allerdings gelten für die produktionsbegleitenden Messungen teils andere Anforderungen als in der Entwicklung. Außerdem muss das Messsystem eine automatisierte Bewertung der Prüflinge ermöglichen. Anhand der vermessenen Parameter werden die Radome anschließend als geeignet oder ungeeignet definiert und entsprechend gekennzeichnet.

Ein solches System lässt sich beispielsweise in der produktionsbegleitenden Messtechnik für Embleme oder zur entwicklungsbegleitenden Charakterisierung von Kunststoffen einsetzen.

Für die Entwicklung komplexer Radome und Radaranbauteile steht mit dem R&S QAR Automotive Radomtester von Rohde&Schwarz ein sehr leistungsfähiges Messgerät zur Verfügung. Es stellt auf Knopfdruck fest, ob der Sensor freie Sicht auf die Umgebung hat. Die allgemeine Radartauglichkeit, z.B. die Dickenanpassung und Homogenität des Bauteils, kann mithilfe der R&S QAR-K10 Software von Rohde&Schwarz analysiert werden. Ein beispielhaftes Messergebnis ist in **Bild 3** dargestellt.

Die hellen Bereiche reflektieren die eingehende Strahlung und führen zu Störungen des Signals. Dunkle Bereiche zeichnen sich durch niedrige Reflexionen aus und sind daher prinzipiell für die Plat-

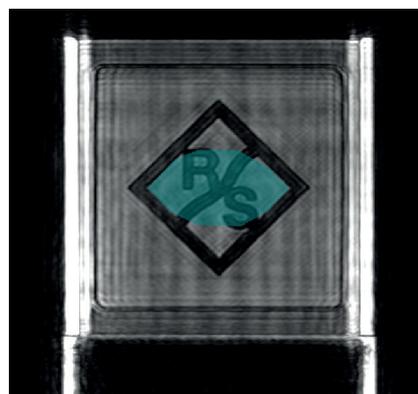


Bild 3. Ortsaufgelöstes Reflexionsbild eines Design-Emblems: Durch die Analyse lässt sich feststellen, ob der Radarsensor ein aussagekräftiges Bild der Umgebung liefert. Helle Bereiche stören das Signal, dunkle eignen sich für den Einbau von Sensoren © Rohde&Schwarz

Die Autoren

Andreas von Lösecke ist seit 2018 im Produkt Management Imaging Products bei Rohde&Schwarz tätig und zuständig für Automotive-Anwendungen.

Yannic Keßler ist seit 2019 als Business Development Manager for Future Mobility and Battery Concepts zuständig für das Themenfeld Radartransparenz bei LyondellBasell.

Service

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/onlinearchiv

English Version

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

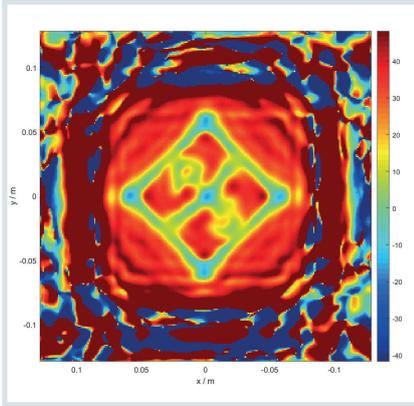


Bild 4. Bildlich verdeutlichter Phasengang durch ein Radom, analysiert mit einem R&S-QAR-System: Gut erkennbar sind die Verzerrungen der Phasenlage

© Rohde&Schwarz

de Qualität der hergestellten Materialien zu sichern. Eine niedrigere und schneller zu analysierende Auflösung des Reflexionsbilds ist daher in der Fertigungsprüfung akzeptabel.

Gleiche Qualität trotz geringerer Auflösung

Zusätzlich dazu ist es sinnvoll, die Dickenanpassung produktionsbegleitend zu überwachen. Das kann mithilfe einer frequenz aufgelösten, punktuellen Transmissions- oder Reflexionsmessung erfolgen (Bild 5). Die Optima in der Transmissionsdämpfung sowie der Reflexion sind für verlustfreie Radome ebenfalls physikalisch korreliert. Direkte Rückschlüsse sind daher zulässig. Die Amplitude der Schwankung bei der Reflexionsmessung bei Anpassung ist deutlich signifikanter als bei

der Transmissionsmessung. Eventuelle Fertigungstoleranzen können dadurch gegebenenfalls eindeutiger festgestellt werden.

Über die Analyse der Homogenität und die Überwachung des Frequenzgangs der Transmissionsdämpfung und Reflektivität des Bauteils lässt sich eine gleichbleibend hohe Qualität in der Fertigung trotz reduzierter Auflösung der Testparameter gewährleisten. Das führt aufgrund der geringeren Komplexität nicht nur zu einer Reduktion der Test- und somit der Zykluszeit, sondern auch zu direkten Investitionseinsparungen bei der Messtechnik.

Durch die Vereinheitlichung der Prüfparameter lassen sich Radome darüber hinaus radarunabhängig prüfen. Spezifische Prüfplätze für die unterschiedlichen Radarhersteller müssen nicht mehr angeschafft werden. Eine Prüfung mithilfe eines Referenz-Radarsensors in der Produktion ist somit nicht mehr erforderlich. Durch die direkte Kompatibilität der in der Entwicklung und der Fertigung durchgeführten Messungen, kann eine gleichbleibend hohe Qualität des Radoms gewährleistet werden, ohne abweichende Prüfmethoden und -parameter für die Fertigung zu definieren und berücksichtigen zu müssen. Das führt zu nachvollziehbaren, korrelierten, anpassbaren und einfach zu überwachenden Prüfparametern in der Entwicklung und Produktion und ist deshalb ein wichtiger Schritt, die Funktion der Radarsysteme zu gewährleisten.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit des Messgeräts ist die unkomplizierte Over-the-air-Charakterisierung (OTA) von

Kunststoffen und deren einfache Prüfung auf Radartauglichkeit. Dafür wurden bisher komplexe Systeme aus Vektornetzwerkanalysatoren benutzt, die ein geschulter Experte bedienen musste. Mithilfe des vorgestellten Setups ist es möglich, die Materialcharakterisierung in einem minimalistischen, einfach zu bedienenden Aufbau vorzunehmen.

Die Radartransparenz von Kunststoffen optimieren

In einem Beispiel soll die Genauigkeit der Messung an einer Kunststoffplatte von LyondellBasell dargestellt werden. Die von dem niederländischen Unternehmen hergestellten technischen Kunststoffe und Polypropylen-Compounds (PP) kommen in zahlreichen Anwendungen im Automobilsektor zum Einsatz und lassen sich auf ihre Radartransparenz hin optimieren. Bei der Probe handelt es sich um eine 2,5 mm dicke spritzgegossene Platte aus Schulablend M/MK6501 LE (Blend aus Acrylnitril-Butadien-Styrol und Polyamid; ABS+PA), deren Vermessung sich in die Qualitätskontrolle oder in die Materialentwicklung etablieren lässt.

Die relative Permittivität ist – vereinfacht gesprochen – verantwortlich für die Stauchung der Welle im Material. Ideale Wanddicken ergeben sich jeweils für ein Vielfaches der halben Wellenlänge im Material. Grund dafür ist Auslöschung der Reflexion durch destruktive Interferenz ausgelöst an den Materialübergängen zwischen Luft und Kunststoff sowie Kunststoff und Luft [3].

Die Materialeigenschaften lassen sich nach Kenntnis der Materialdicke über

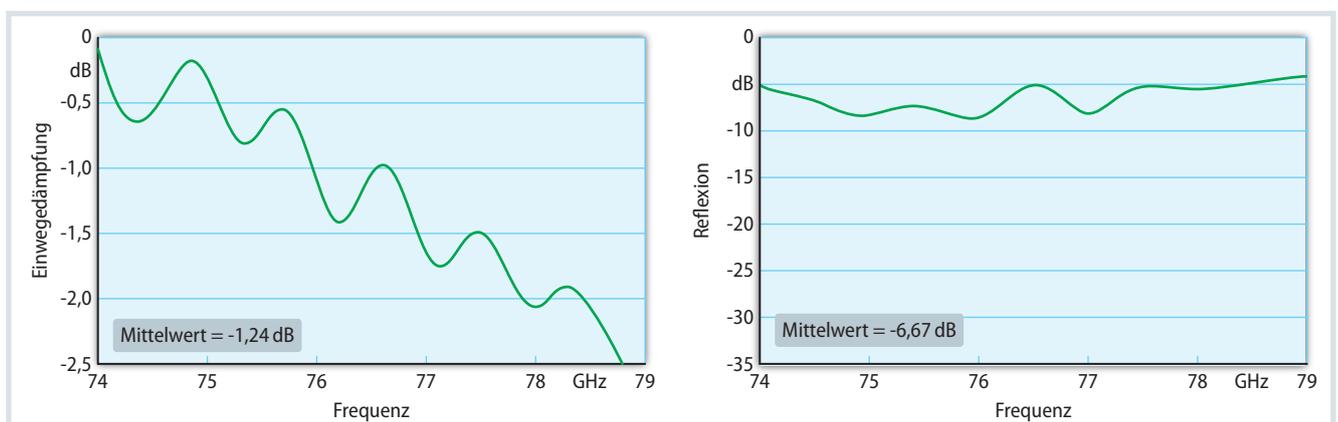


Bild 5. Frequenz aufgelöste Messung der Transmissionsverluste (links) sowie der Reflexionswerte (rechts) jeweils beider Seiten eines Radoms: Die Unterschiede bei der Reflexion erklären sich durch die verschiedenen Messverfahren, die Inhomogenität des Prüflings und die verschiedenen gewählten Messflächen Quelle: Rohde&Schwarz; Grafik: © Hanser

eine Bestimmung der Resonanzfrequenz wie folgt berechnen:

$$\epsilon_r = \left(\frac{c_0}{f_R \cdot d} \right)^2$$

Aufgrund der durch die Bildgebung verursachten verschiedenen Einfallswinkel ist beim vorgestellten Aufbau ein Korrekturterm notwendig. Die relative Permittivität wird somit bestimmt durch:

$$\epsilon_r = \left(\frac{c_0}{f_R \cdot d} \right)^2 + \sin^2 \vartheta_i$$

c_0 repräsentiert dabei die Lichtgeschwindigkeit, f_R die ermittelte Resonanzfrequenz im Material und d die Materialstärke. In den Korrekturterm geht der durchschnittliche Einfallswinkel des Aufbaus ϑ_i mit ein. **Bild 6** zeigt den Frequenzverlauf der gemessenen Reflexion. Durch die Lage des Minimums (Resonanzfrequenz f_R) ergibt sich für die Permittivität der Platte ϵ_r ein Wert von 2,83. Die anhand eines quasi-optischen Aufbaus aufwendig durchgeführte Materialcharakterisierung kommt bei gleicher Dicke des Materials zu einem ϵ_r -Wert von 2,80.

Der ϵ_r -Wert sowie die Schärfe des Minimums können durch die Materialhersteller beeinflusst werden, womit sich Materialien für den Einsatz als Radome optimieren lassen. Die Optimierung setzt eine entwicklungsbegleitende Bestimmung der Permeabilität sowie eine Bestimmung des Minimums der Reflexion und Transmission voraus. Ebenso lassen sich durch dieses standardisierte Verfahren der Einfluss von Mehrschichtsystemen wie beispielsweise durch Lackierungen direkt vergleichen und somit frühzeitig im Entwicklungsprozess negative Wechselwirkungen vermeiden.

Der vorgestellte Ansatz führt schneller und unkomplizierter zu Materialcharakterisierungen und -optimierungen. Eine standardisierte Methode zur Bestimmung der Radardurchlässigkeit kann damit in die Qualitätskontrolle eingebunden werden. Dadurch lässt sich bereits die Qualität der Ausgangsstoffe überprüfen, wodurch hohe Folgekosten in späteren Produktionsschritten vermieden werden können. ■

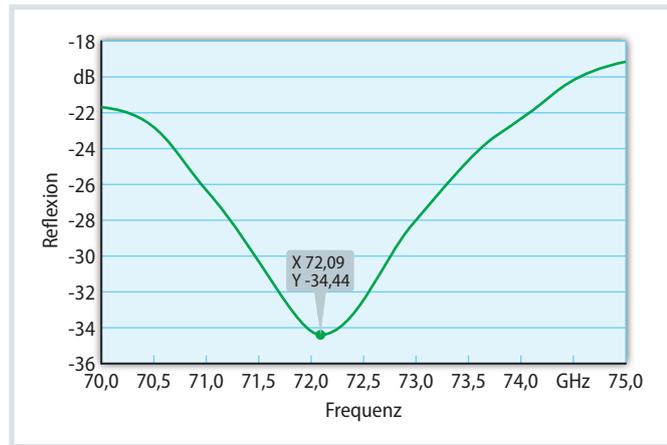


Bild 6. Frequenzgang der Reflexionsmessung an einer Platte aus Schulablend M/MK 6501 LE: Der dadurch bestimmte Permittivitätswert entspricht praktisch dem einer aufwendigen Materialprüfung

Quelle: Rohde & Schwarz;

Grafik: © Hanser

HB-THERM® THERMO-5

Kühlung – Verkalkungsarm und druckschlagfrei

Im Wasserkreislauf besteht besonders bei höheren Temperaturen immer die Gefahr von Kalkausscheidungen. Besonders bei Wassertemperaturen von über 60 °C im Kühler. Unsere Temperiergeräte sind mit einer Bypasskühlung und Proportionalventiltechnik ausgerüstet. Dem Kühler wird dabei nur so viel heißes Wasser zugeleitet, dass sich das Kaltwasser nicht auf Temperaturen über 60 °C erwärmt. Verkalkung und Druckschlag war gestern!

