

Radartransparenz bei lackierten Bauteilen sicherstellen

Radarsensoren hinter lackierten Kunststoffteilen stellen hohe Anforderungen an die Fahrzeugreparatur. Um die Funktion von Fahrerassistenzsystemen zu erhalten, sind präzise Verfahren und geeignete Materialien nötig. Die Messung der Signalbeeinflussung durch Abdeckungen bietet einen Ansatz zur Sicherstellung der Sensorleistung nach Instandsetzung.

Thomas Behl, Dr. Florian Pfeiffer

Fahrerassistenzsysteme (FAS) sind ein zentraler Bestandteil moderner Fahrzeuge und erhöhen sowohl Sicherheit als auch Komfort durch (teil-)automatisierte Fahrfunktionen. Radarsensoren spielen dabei eine Schlüsselrolle und werden, um ästhetische Anforderungen zu erfüllen, oft hinter lackierten Kunststoffteilen verbaut ohne die Funktionalität zu beeinträchtigen. Im Schadensfall erfordern Reparaturen spezielle Vorgehen, um sicherzustellen, dass die

Radarsensorik und damit die FAS weiterhin einwandfrei arbeiten. Dies schränkt die Reparaturmöglichkeiten ein und verlangt den Einsatz präziser Techniken sowie geeigneter Materialien, um die ursprüngliche Sensorleistung zu erhalten. Die Herausforderung liegt darin, Design, Funktionalität und Reparierbarkeit in Einklang zu bringen. Eine vielversprechende Lösung ist die Messung der Signalbeeinflussung durch die vor dem Sensor verbaute Blende, um

die optimale Funktion der Radarsensoren nach Reparaturen sicherzustellen.

Technischer Hintergrund und Herausforderung

Mit der EU-Verordnung Nr. 2019/2144 („General Safety Regulation“) wurden die Anforderungen an Fahrzeugsicherheitssysteme deutlich verschärft. [1] Ziel ist es, die Zahl der Verkehrstoten und Verletzten, durch verpflichtende FAS in neuen Fahrzeugmodellen, zu senken. Neben der Erfüllung gesetzlicher Vorgaben streben Fahrzeughersteller auch gute Bewertungen bei Verbraucherschutzorganisationen wie EuroNCAP an. Für die FAS-Funktionalität sind Sensoren wie Kameras, Ultraschall- und Radarsensoren essenziell. Während Kameras freie Sicht benötigen und Ultraschallsensoren sichtbar in Stoßfängern integriert sind, werden Radarsensoren meist unsichtbar hinter Abdeckungen verbaut. Frontradarsensoren befinden sich oft hinter definierten Abdeckungen wie Fahrzeugemblemen. Seiten- und Heckradarsensoren, die Funktionen wie Kreuzungs-, Auspark- oder Spurwechselassistenten unterstützen, sind hingegen meist hinter in Fahrzeugfarbe lackierten Kunststoffabdeckungen verborgen. Diese Abdeckungen beeinflussen das Radarsignal, das als elektromagnetische Welle physikalischen Effekten wie Brechung, Dämpfung und Reflexion unterliegt. Das Signal muss die Abdeckung zweimal durchdrin-



© AZT Automotive GmbH

Bild 1 > VW Passat Variant (B8 – BJ 2025) mit teiltransparenter Darstellung des Bereichs des beifahrerseitigen SRR-Heckradarsensors.

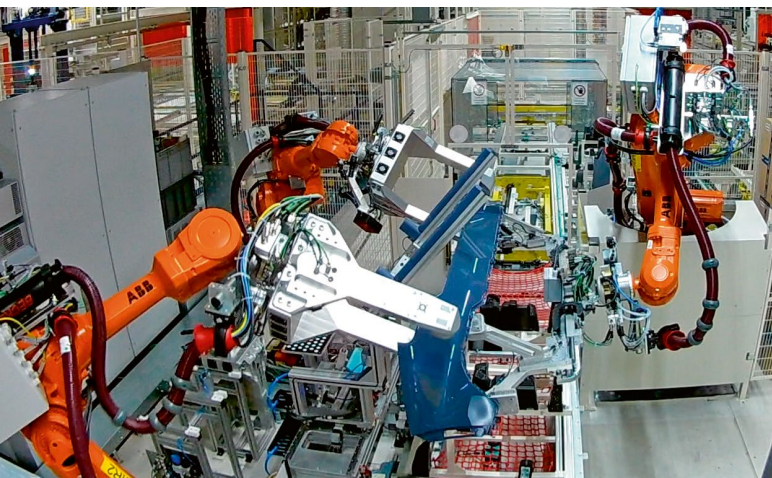


Bild 2 > Beispiel einer produktionsbegleitenden Prüfung lackierter Stoßfängerverkleidungen mit Radarmesssystemen.



Bild 3 > Abschnittsweise lackiertes Farbmusterblech sowie diverse lackierte PET-Folien für die Schichtdicken- und Radarbeeinflussungsmessung.

gen – beim Senden und Empfangen – was die Funktionalität beeinträchtigen kann. Die Lackierung der Kunststoffabdeckungen ist dabei kein homogenes Hindernis. Sie besteht aus mehreren Schichten: Grundierung, Basislack mit Farb- und Effektpigmenten sowie Klarlack. Variationen in Pigmenten, Farbstoffen und Lackdicke beeinflussen das Radarsignal. Während bei definierten Abdeckungen wie Fahrzeugemblem softwareseitige Korrekturen möglich sind, ist dies bei lackierten Abdeckungen kaum umsetzbar. Um die Funktionalität der FAS sicherzustellen, müssen Grenzwerte für die Signalbeeinflussung – insbesondere Dämpfung (dB) und Winkelabweichung (°) – eingehalten werden. Dies gilt nicht nur für die Fahrzeugproduktion, sondern insbesondere nach Schadenfällen. Die Sicherstellung der radarbasierten Assistenzfunktionalität stellt somit eine zentrale Herausforderung bei der Fahrzeugreparatur dar.

Lackschichtdickenmessung mittels Ultraschall im Automobilbereich

Für metallische Fahrzeugbauteile haben sich magnetische Induktions- und Wirbelstromverfahren als zerstörungsfreie und präzise Methoden zur Messung der Lackschichtdicke bewährt. Diese Verfahren liefern reproduzierbare Ergebnisse, sind jedoch für Kunststoffbauteile ungeeignet. Hier kommt das Ultraschallmessverfahren zum Einsatz, das sich auch im Automobilbereich etabliert hat. Ähnlich wie bei Radarsensoren nutzt es die Wellencharakteristik des Ultraschallsignals sowie dessen (Teil-)Reflexion an Grenzflächen und die Laufzeitmessung, um die Schichtdicke zu bestimmen. Da die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall in verschiedenen Mate-

rialien variiert, muss das Verfahren je nach Einsatzbereich angepasst werden.

Einsatz des Ultraschallverfahrens in der Produktion

Das Ultraschallverfahren bietet eine zerstörungsfreie Methode, die zuverlässig die Lackschichtdicke misst. Insbesondere wenn die beeinflussenden Parameter bekannt sind und das Gerät optimal eingestellt ist. Fahrzeughersteller und Zulieferer können so sicherstellen, dass lackierte Bauteile die definierten Grenzwerte einhalten und bei Abweichungen gezielt Maßnahmen ergreifen.

Daher wird das Ultraschallmessverfahren erfolgreich in der Produktion eingesetzt: Messpunkte, Messköpfe und Winkel können präzise definiert werden, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet. Automatisierte Messungen durch Roboter minimieren zusätzlich geometrische Abweichungen.

Ein weiterer Vorteil ist die Kenntnis der Materialzusammensetzung einer Stoßfängerverkleidung und die aufgetragenen Schichten (Primer, Grundierung, Basislack, Klarlack). Diese Informationen ermöglichen eine genaue Kalibrierung des Ultraschallgeräts, indem die unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten in den Schichten berücksichtigt werden. Dadurch wird die Messgenauigkeit erheblich gesteigert.

Grenzen des Ultraschallverfahrens im Handwerk

Im Gegensatz zur Produktion fehlt es Kfz-Sachverständigen, Reparaturbetrieben und Lackierereien an Möglichkeiten, Ultraschall-Schichtdickenmessgeräte präzise auf den

Einzelfall zu kalibrieren. Zudem enthalten Reparaturleitfäden der Fahrzeughersteller keine Angaben zu Messpunkten, Equipment oder Einstellungen. Dadurch ist die Varianz der Messergebnisse in der Reparatur deutlich höher als in der Produktion. Die Genauigkeit der Messung lässt sich bei Reparaturlackierungen nur begrenzt steigern. Stoßfänger werden oft bereits grundiert geliefert und bei Reparaturen ist der ursprüngliche Lackaufbau meist unbekannt. Während produktionsseitige Toleranzen mit Ultraschall gut prüfbar sind, liefert das Verfahren in der Reparatur nur eingeschränkt optimale Ergebnisse. Dies wirft die Frage auf, wie eine sichere Radarfunktionalität nach Reparaturen ökonomisch und ökologisch sinnvoll gewährleistet werden kann.

Prozesssicherheit im Kfz-Handwerk

Während in der Produktion die Prozesssicherheit gewährleistet werden kann, ist dies im Kfz-Handwerk deutlich komplexer. Lackschichtdickenmessungen sind erst nach der Lackierung möglich und liefern lediglich Hinweise, ob die Radarfunktion beeinträchtigt sein könnte. Da verschiedene Lackfarben das Radarsignal unterschiedlich beeinflussen, [2] ist nicht die Schichtdicke, sondern die tatsächliche Signalbeeinflussung entscheidend. Im Worst-Case sind bereits Lackschichtdicken deutlich unterhalb der vom Fahrzeughersteller angegebenen Grenzwerte als kritisch zu betrachten, im Idealfall können aber auch als zu hoch angesehene Lackschichtstärken hinsichtlich der Radarperformance völlig unkritisch sein. [3] Reparaturbetriebe wählen daher oft die vermeintlich sicherste Option: den Austausch

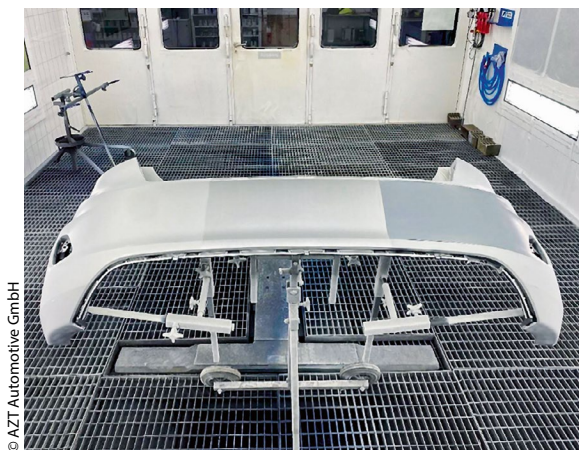


Bild 4 > Foto der für die Lackierung vorbereiteten Ford-Stoßfängerverkleidung mit für die Oberflächenlackierung angeschliffenem Bereich (links), Originallackierung (Mitte) und repariertem Bereich (rechts) vor Abkleben des Mittelbereichs.

des Bauteils und eine nacharbeitsfreie Lackierung. Dies führt jedoch zu unnötigem Ersatz reparaturfähiger Kunststoffteile, was den CO₂-Ausstoß erheblich erhöht und ökologisch nicht nachhaltig ist. [4]

Ein Fahrzeughersteller kann sowohl für die Produktion als auch für das Ersatzteilgeschäft optimale Bedingungen schaffen, indem dicken-optimierte Stoßfängerverkleidungen entworfen und angeboten werden. Da nicht der Lackaufbau, sondern das lackierte Bauteil als Ganzes das Radarsignal beeinflussen, kann mit einem passend entworfenen und präzise produzierten Kunststoffbauteil unter Berücksichtigung der anschließenden Lackierung in Summe das Ergebnis hinsichtlich der Beeinflussung des Radarsignals optimiert werden.

Zudem könnte eine datenbasierte Entscheidungsfindung im Reparaturprozess helfen. Hier bietet die zerstörungsfreie Prüfung von Radarabdeckungen eine vielversprechende Lösung.

Zerstörungsfreie Prüfung von automobilen Radarabdeckungen

Die Prüfung von Radarabdeckungen begann mit Fernbereichsradarsensoren (LRR), die für sicherheitskritische Funktionen wie ACC (Adaptive Cruise Control – Abstandsregeltempomat) und Notbremsassistenten eine Reichweite bis 300m haben. Aufgrund hoher Anforderungen an die Radartransparenz wurden deren Abdeckungen zunächst direkt, später mit spezialisierter Messtechnik wie dem Radar Measurement System (RMS) von Perisens geprüft. LRR-Sensoren werden meist hinter radaroptimierten Abdeckungen wie speziellen Emblemen verbaut.

Nahbereichsradarsensoren (SRR) mit einer ursprünglichen Reichweite bis maximal 80m übernehmen heute komplexere

Aufgaben wie automatisiertes Überholen oder Cross Traffic Alert, was Reichweiten über 100m erfordert. Diese Sensoren sitzen zumeist hinter lackierten Stoßfängern (Bild 1), was durch leitfähige Partikel im Basislack, wie Aluminiumpigmente, eine Herausforderung darstellt.

Zur Absicherung der Radartransparenz werden Lacke bereits während der Entwicklung mit Radarmesstechnik geprüft und angepasst. Automobilhersteller fordern zudem produktionsbegleitende Prüfungen der lackierten Stoßfänger mittels Abscannen der Radarbereich durch roboterbasierte Prüfzellen (Bild 2).

Für die Kfz-Reparatur entwickelt die Perisens GmbH ein entsprechendes Messgerät, um die in der industriellen Serienlackierung bewährten Vorgehen auch in der handwerklichen Reparaturlackierung anwenden zu können.

Versuchsplanung und -durchführung

Da Lackfarben Radarsignale unterschiedlich beeinflussen und Lackschichtdicken schwer messbar sind, wurde der Einfluss verschiedener Reparaturlacke untersucht. Hierzu wurden drei Lackcodes definiert:

- BMW Skyscraper Grau Metallic (Lackcode: WC4W),
- Ford Moondust Silver Metallic (ZJNCW-WA) und
- Ford White Platinum Metallic (5BVF).

Für diese drei Lackfarben wurde von sieben Reparaturlackherstellern jeweils Basislack in Standard- und – sofern verfügbar – radaroptimierter Rezeptur als Ready-Mix bestellt.

Der Fokus lag auf dem Basislack, da dieser durch Farb- und Effektpigmente die kritischste Komponente des Lackaufbaus ist. Grundierung und Klarlack wurden einheitlich verwendet, um deren Einfluss zu mi-

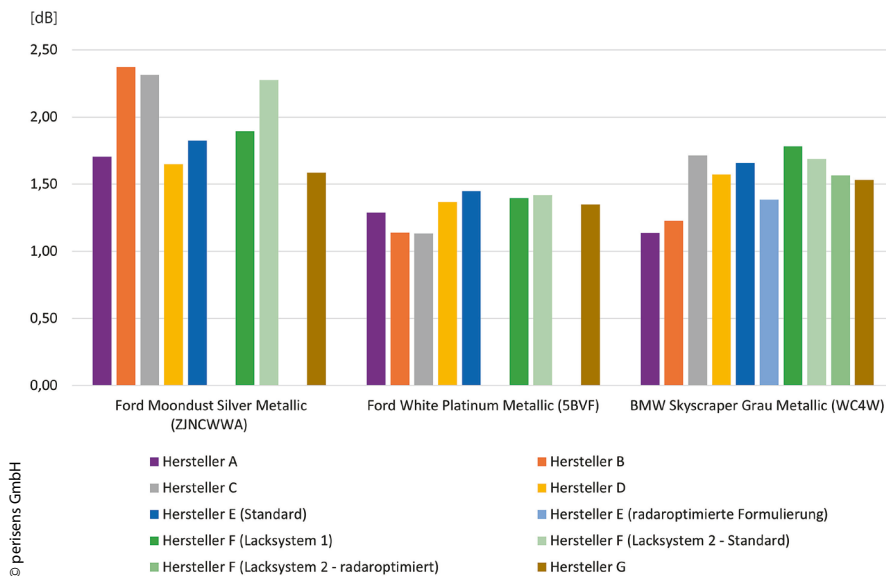
nimieren. Als Trägermaterial dienten PET-Folien, die minimalen Radareinfluss und gleichmäßige Stärke aufweisen. Musterplatten wurden in drei Schichten lackiert (nur Grundierung, Grundierung + Basislack, alle Schichten), um den Einfluss jeder Schicht zu bewerten. Ergänzend wurden Farbmusterbleche zur „klassischen“ Schichtdickenmessung erstellt (Bild 3).

Alle Lackierungen wurden zur Variationsminimierung von derselben Fachkraft gemäß Herstellerempfehlungen ausgeführt. Zusätzlich wurde eine serienlackierte Stoßfängerverkleidung in drei Zuständen getestet: Originalzustand, Oberflächenlackierung und Reparaturlackierung mit Spachtelmasse (Bild 4). Sämtliche hierfür verwendeten Lackmaterialien stammen von demselben Hersteller und sind somit untereinander voll kompatibel und abgeprüft. Ob das eingesetzte Kfz-Reparaturlacksystem vom Fahrzeughersteller freigegeben ist, wurde nicht betrachtet. Ebenso ist unbekannt, mit welchem Lacksystem und -aufbau die nicht dickenoptimierte Stoßfängerverkleidung produktionsseitig lackiert wurde.

Ergebnisse

Die lackierten PET-Folien wurden mit dem Radommesssystem RMS-D-77|79G der Perisens GmbH vermessen. Dabei treffen Radarwellen auf die Folien und die durchgelassene Leistung wird mittels Hochfrequenzempfängern gemessen. Zunächst erfolgt eine Referenzmessung ohne Bauteil, dann eine Messung mit dem lackierten Kunststoffbauteil. Der Unterschied der empfangenen Leistung ergibt die Dämpfung, die angibt, wie stark das Signal abgeschwächt wird.

Die Grafik zeigt die Ein-Wege-Dämpfung bei der für automobilen Radarsensoren typischen Betriebsfrequenz von 76,5GHz. Die unlackierte Folie dient mit 1dB als Referenz. Der Ford-Farbtönen „White Platinum Metallic“ beeinflusst das Signal mit maximal 1,45dB nur geringfügig, während „Ford Moondust Silver“ mit bis zu 2,37dB eine deutliche Abschwächung bewirkt. Die BMW-Farbe „Skyscraper Grau“ liegt mit 1,78dB dazwischen. Unterschiede zwischen Lackherstellern bei identischen Farbtönen sind auf Rezepturen und Pigmentzusammensetzungen zurückzuführen. Bei „Ford Moondust Silber“ variieren die Dämpfungswerte je nach Hersteller zwischen 1,59 und 2,37dB. Ein Zusammenhang zwischen Lackdicke und



Grafik > Gemessene Ein-Wege-Dämpfungen der 26 lackierten Probefolien bei Radarwellen mit einer Frequenz von 76,5 GHz.

Dämpfung ist nicht immer erkennbar, da auch dünnere Lacke hohe Dämpfungswerte aufweisen können. Beispielsweise hatte der kritischste Lack von Hersteller B die höchste Basislackschichtdicke von 20 µm, aber bereits der zweitkritischste Lack von Hersteller C mit ähnlichen Dämpfungswerten wies nur eine Lackdicke von 10 µm auf. Diese Ergebnisse zeigen, dass nicht allein die Schichtdicke, sondern vielmehr die spezifische Zusammensetzung und Rezeptur des jeweiligen Lacksystems entscheidend für die Beeinflussung des Radarsignals ist.

Die für BMW Skyscraper Grau Metallic verfügbaren radaroptimierten Basislackformulierungen wiesen gegenüber den Standardformulierungen desselben Herstellers 0,1 bis 0,3 dB niedrigere Dämpfungswerte auf. Gleichzeitig wurden bei einzelnen Formulierungen anderer Hersteller nochmals geringere Dämpfungen gemessen. Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse, dass die Radareigenschaften maßgeblich durch Farbton, Hersteller und Lacksystem bestimmt werden und nicht über die Lackschichtdicke beschrieben werden können.

Beim untersuchten Heckstoßfänger (*Bild 4*) wurde für die Werkslackierung eine Dämpfung von 1,3 dB gemessen, für die Oberflächenlackierung 2,63 dB und für die Reparaturlackierung 1,95 dB. Besonders die Oberflächenlackierung nähert sich mit 2,63 dB dem gängigen Grenzwert von 3 dB an, was die Funktion radarbasierter Fahrerassistenzsysteme gefährden kann.

Fazit

- Kfz-Reparaturlacksysteme enthalten im Basislack verschiedene Farb- und Effektpigmente, die stark variierende Auswirkungen auf Radarsignale haben.
- Fahrzeughersteller prüfen und geben industrielle Lackierungen in der Produktion aufwendig frei. Bei Reparaturlackierungen stößt dies jedoch an Grenzen, da es schwierig ist, alle Parameter selbst bei freigegebenen Materialien optimal einzuhalten.
- Die Versuchsreihe zeigt, dass die Lackschichtdicke keine geeignete Messgröße ist, um die Eignung eines lackierten Kunststoffbauteils als Radarabdeckung zu beurteilen.
- Eine Bewertung der Lackierung anhand von Lackschichtdickenmessungen ist problematisch, da zu viele Einflussfaktoren unerkannt bleiben.
- Der Kfz-Reparaturmarkt benötigt eine alternative Bewertungsmethodik, die bereits bei der Reparaturannahme eine Einschätzung des optimalen Reparaturwegs ermöglicht.
- Die Messung der Radarsignalbeeinflussung durch lackierte Kunststoffbauteile bietet hier großes Potenzial.
- Mit Grenzwertvorgaben der Fahrzeughersteller könnten Werkstätten dokumentieren, wie sich die Reparatur auf die Radarbeeinflussung eines Bauteils auswirkt.
- Dies würde die Prozesssicherheit in der handwerklichen Reparaturlackierung erhöhen und ökologisch wie

ökonomisch sinnvolle Entscheidungen fördern. Der aktuelle Status führt oft zu unnötigem Austausch von Stoßfängern, nur weil ein Radarsensor verbaut ist.

- Letztlich zahlen Kunden über Versicherungsprämien dafür, dass die Verkehrssicherheit zwar steigt, die Reparaturfreundlichkeit jedoch leidet. //

Literaturhinweise

- [1] Neue Fahrzeugsicherheitssysteme. Online: <https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Strassenverkehr/neue-fahrzeugsicherheitssysteme.html>, aufgerufen am 04.07.2025
- [2] Pfeiffer, F.: Analyse und Optimierung von Radomen für automobile Radarsensoren. Cuvillier Verlag, Göttingen, 2010
- [3] Behl, T. & Winterberg, J.: Zuverlässige Bestimmung der Lackschichtdicke auf Kunststoffbauteilen mit dahinter verbauter Radarsensorik. In: VKU 59 (2021), Nr. 4, S. 134-142
- [4] Repair or Replace – Investigating the relative GHG emissions of repairing or replacing damaged vehicle parts. Online: https://www.azt-automotive.com/_Resources/Persistent/2f45e03259a22b3a5390863e1ed956fd3f1b9732/AZT-Report_Repair%20or%20Replace_Final%20Version.pdf, aufgerufen am 22.08.2025

Autoren

Dipl.-Ing. Thomas Behl, Leiter Reparaturtechnik
thomas.behl@allianz.de

AZT Automotive GmbH – Allianz Zentrum für Technik, Ismaning
azt@allianz.de
www.azt-automotive.com

Dr. Florian Pfeiffer, Gründer

perisens GmbH, Feldkirchen
info@perisens.de
www.perisens.de

Springer Professional

Fahrerassistenzsysteme
Lackiereng

Helge Kiebach: Reparatur von Stoßfängerverkleidungen vor Radarsensoren.
<https://sn.pub/igjyt>