

Anforderungsgenaueres EMV-Design von Gehäusen aus Werkstoffverbunden für Automotive-Anwendungen

Referent: Dipl.-Ing. Hermann L. Aichele, Robert Bosch GmbH, Robert-Bosch-Campus 1, 71272 Renningen, Deutschland, Hermann.Aichele@de.bosch.com

Co-Autor: Dr.-Ing. Sven Robert Raisch, Robert Bosch GmbH, Robert-Bosch-Campus 1, 71272 Renningen, Deutschland, SvenRobert.Raisch@de.bosch.com

1 Einleitung

Traditionell werden in der Automobiltechnik bis heute Gehäuse aus Vollmetallen (Aluminium-Guss, Tiefziehblechen) gefertigt. Gehäuse aus Metall tragen allerdings wesentlich zu den Kosten und zum Gewicht einer Komponente bei. Dort, wo es aus Kostengründen geboten und aus Performancegründen unkritisch erschien, ist man auf reine Kunststofflösungen (PA, PBT, ...) übergegangen. Was dringend fehlt ist die Möglichkeit, ein Kunststoffgehäuse genau auf die Anforderungen aus der EMV, der Entwärmung, der Mechanik und vor allem der Kosten zu optimieren. Statt der bisherigen Vorgehensweise mit Metallgehäusen „one fits all“ muss bei der Verwendung von EMV-ertüchtigten Kunststoffgehäuselösungen ein zielgerichteter Entwicklungsansatz beschrritten werden. Durch die fortschreitende Elektrifizierung des Antriebsstrangs wird sich dieser Druck in den kommenden Jahren verstärken.

2 Vorgehensweise

Die Funktionalisierung von Kunststoffmaterialien und kunststofftechnischen Lösungen wird seit vielen Jahren erfolgreich durchgeführt. Beispiele sind die Verstärkung von Kunststoffen zur Steigerung der Festigkeit und Steifheit, die Steigerung der Wärmeleitfähigkeit [1] oder die Modifizierung mit magnetischen/magnetisierbaren Füllstoffen [2]. Auch für das Themenfeld der schirmend modifizierten Kunststoffe wurden einige Ansätze beschrieben [3]. Eine Übersicht ist in Bild 1 dargestellt. Die Leistungsfähigkeit der kunststofftechnischen Lösungsansätze unterliegt dabei vielen verschiedenen Einflussfaktoren (Bild 2). Um der oben beschriebenen Herausforderung begegnen zu können, ist eine gezielte Auswahl, Entwicklung und Kombination der Gehäusewerkstoffe entsprechend der Anforderungen an die Komponente erforderlich, in der das Gehäuse als integraler Bestandteil des gesamten Systems betrachtet wird.

Hierzu wurde eine 2-stufige Vorgehensweise entwickelt. Im ersten Schritt wurden geeignete Werkstoffverbunde und Verbundwerkstoffe ausgewählt, Probekörper erstellt und damit die Schirmwirkung der Materialien bestimmt (Abschnitt 2.1). In einem zweiten Schritt wurden Gehäuse von realen Produkten hergestellt und damit das EMV Emissionsverhalten des gesamten Produkts im Komponentenaufbau nach CISPR25 gemessen. Dabei wurden Materialien verwendet, die im Rahmen der Vorqualifizierung (Schritt 1) vielversprechende Ergebnisse lieferten (s. Abschnitt 2.1). Auf diese Weise können Einflussfaktoren aufgezeigt werden, die aus der Kunststofftechnik (Werkstoffauswahl, Verarbeitung) stammen und die die Schirmungseigenschaften realer Bauteile (Design, Komponentenaufbau) beeinflussen. Die Vorgehensweise ist in Bild 3 dargestellt.

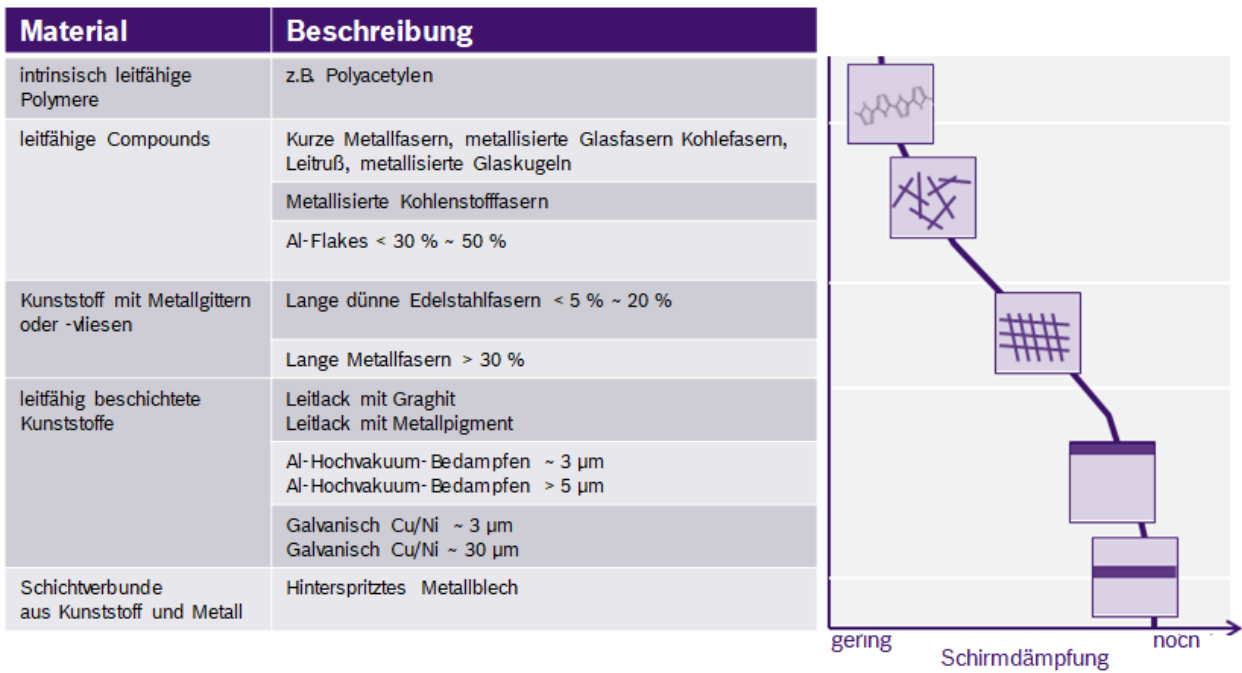


Bild 1: Übersicht über Lösungsansätze zur EMV-Modifikation von Kunststoffbauteilen in Anlehnung an [3]

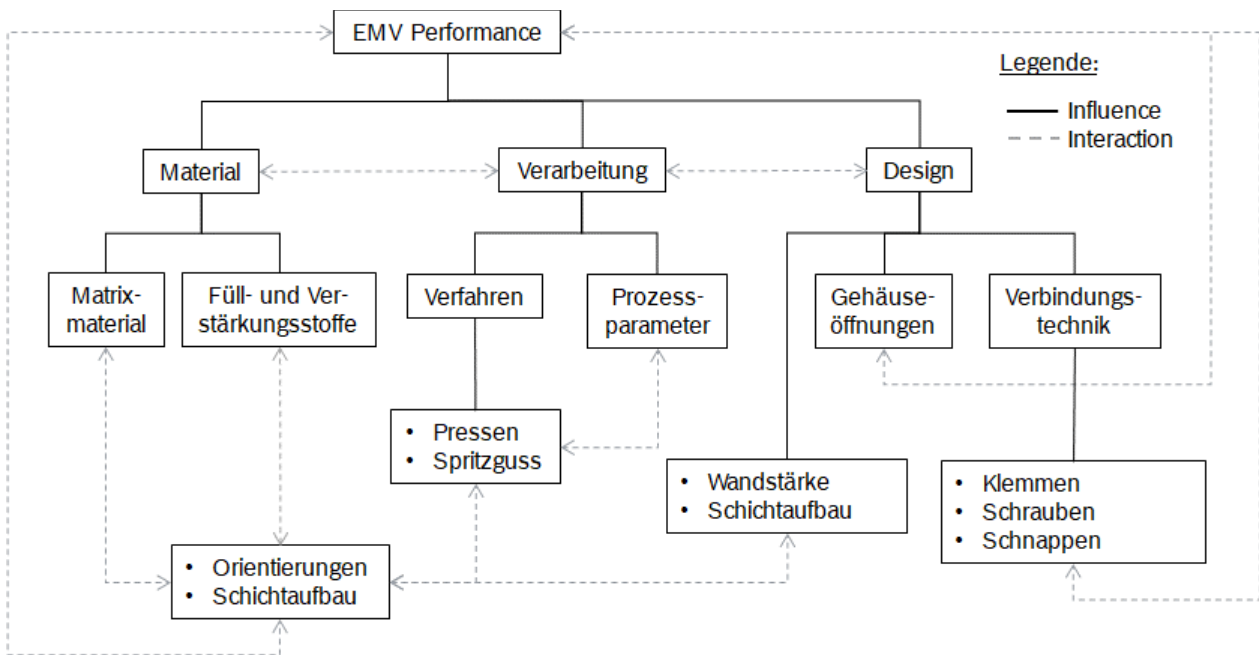


Bild 2: Einflussfaktoren auf die EMV-Performance von kunststofftechnischen Lösungsansätzen.



Bild 3: Messtechnischer Lösungsansatz und Vorgehensweise in zwei Schritten. Schritt 1: Bewertung der Materialeigenschaften mittels TEM-Zelle; Schritt 2: Übertragung der Materialeigenschaften zur EMV-Bewertung in Komponentenmessungen

2.1 Materialcharakterisierung mittels Transversal-Elektromagnetischer Messzelle (Schritt 1)

Für die Messung von Materialeigenschaften im Fernfeld haben sich koaxiale Messzellen (TEM-Zelle) bewährt, die aus zwei identischen Hohlleitern bestehen und in deren Mitte der zu messende Prüfkörper eingebracht wird. Damit ist ein hohes Maß an Reproduzierbarkeit gegeben [7]. Die Messung erfolgte in Anlehnung an den ASTM Standard 4935-99 [4]. Es wird zunächst eine Messung mit einem Referenzprobekörper durchgeführt und diese in Beziehung zur Messung mit der Materialprobe gesetzt. Für die Messung wird ein Netzwerkanalysator verwendet. Die charakteristische Schirmdämpfung $a_{dB}(f)$ der Materialien berechnet sich dann aus einer S_{21} Messung wie folgt:

$$a_{dB}(f) = -20 \cdot \log_{10} \left| \frac{S_{21Ref}}{S_{21DUT}} \right|$$

In den Bildern 5a und 5b ist die charakteristische Schirmdämpfung, oft als Shielding Effectiveness bezeichnet, als negativer Dämpfungswert über der Frequenz aufgetragen. Der gemessene Frequenzbereich liegt zwischen 1 MHz und 2 GHz. Die Messung von unterschiedlichen Materialien liefert quantitative Angaben über deren Schirmungsverhalten unter Fernfeldbedingungen. Damit sind eine erste Bewertung und der Vergleich von Materialien möglich. Es wurden ganz unterschiedliche Materialkombinationen wie z.B. Compounds, umspritzte Metallgitter, Folien, Beschichtungen, Hybridkombinationen und weitere untersucht. Bild 4 zeigt eine Auswahl der Materialien.

Einen Überblick über die Wirksamkeit der untersuchten Materialien hinsichtlich ihrer Schirmdämpfung ist in Bild 5a und 5b dargestellt. Links oben ist die Schirmdämpfung von Metallgittern unterschiedlicher Drahtstärke und Maschenweite zu sehen (Bild 5a). Es lässt sich für die Metallgitter eine typische Schirmdämpfung zwischen -40 und -60 dB über den gesamten dargestellten Frequenzbereich beobachten. Dagegen liegen leitfähige Compounds bei Werten um -40 dB (Bild 6a rechts, obere Kurvenschar). Die untersuchten leitfähigen Schäume (ebenfalls Bild 6a rechts, untere Kurvenschar) liegen dagegen zwischen

-60 und -80 dB. Bei den metallisierten Folien (Bild 6b links) zeigt sich ein sehr breites Spektrum von -20 dB bis zu -80 dB. In Bild 6b rechts sind zuletzt die metallisierten Fließe und Gewebe dargestellt. Deren Schirmdämpfungswerte liegen alle zwischen -40 und -80 dB. D.h. es ergibt sich ein sehr breites Dämpfungsspektrum der unterschiedlichen Materialien und damit die Notwendigkeit einer Vorbewertung, um für die spätere Verwendung als Gehäuse ein möglichst geeignetes Material auszuwählen. In Anlehnung an Computergehäuse und abgeschirmte Räume sowie weiteren bekannten Spezifikationen lässt sich eine grobe Bewertung der Materialien in Bezug auf die Dämpfung vornehmen. Materialien mit einem Dämpfungsbetrag von <20 dB werden sich wenig bis gar nicht für ein Gehäuse eignen und sind deshalb in den Bildern 5a und 5b als „insufficient“ klassifiziert. Schirmdämpfungswerte zwischen -20 und -40 dB klassifizieren wir als unsicher („uncertain“), können jedoch in Ausnahmefällen durchaus noch geeignet sein. Ab einem Schirmdämpfungsbetrag von >40 dB (je nach Anwendungsfall >60 dB) ist eine Eignung als „good“ oder „brauchbar“ anzunehmen.



Bild 4: Übersicht über die mittels TEM-Zelle untersuchten Materialien (Auswahl)

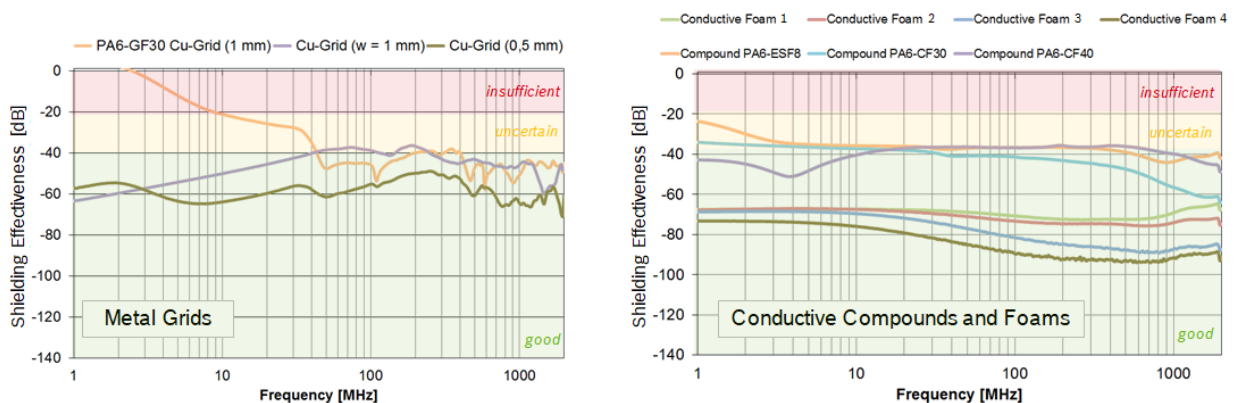


Bild 5a: Ergebnisse aus der TEM-Zellenmessung verschiedener kunststofftechnischer Materialien: Metallgitter sowie leitfähige Compounds und Schäume

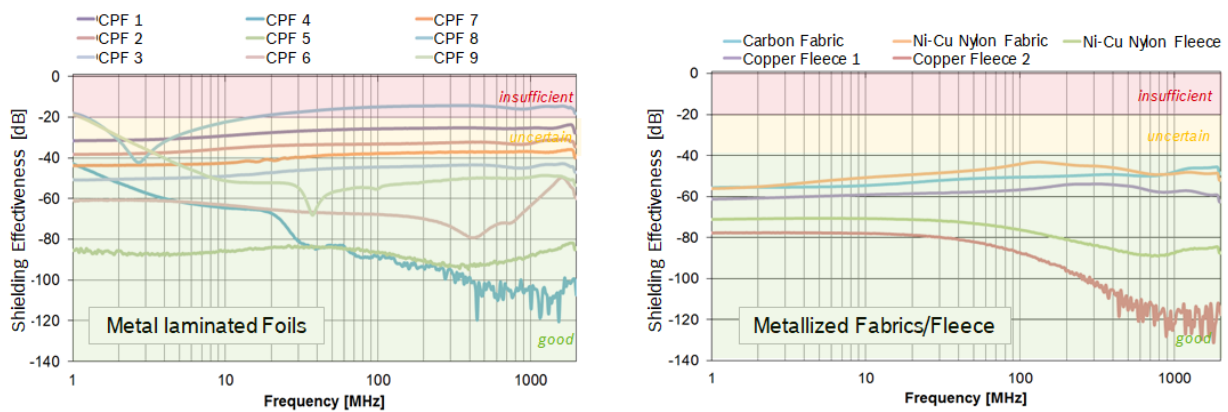


Bild 6b: Ergebnisse aus der TEM-Zellenmessung verschiedener kunststofftechnischer Materialien: Metallisierte Folien sowie metallisierte Vliese und Gewebe.

2.2 Übertragung der Materialeigenschaften auf reale Produkte (Schritt 2)

Für den Nachweis der Übertragbarkeit kunststofftechnischer Lösungsansätze aus TEM-Messungen auf das Gehäuse eines realen Produktes wurden diese nach den Standard EMV-Emissionsverfahren aus CISPR 25 gemessen. Im vorliegenden Beitrag beschränken wir uns aus Platz- und Zeitgründen auf die Auswertung der Ergebnisse aus der Monopolmessung (150 kHz - 30 MHz). Messungen mit den Breitbandantennen von 30 MHz bis 2 GHz liegen ebenfalls vor.

Zunächst wurden Beispielgehäuse aus gleichen Materialien wie bei der TEM-Zellenmessung hergestellt. Als „Best Case“ wurde ein lasergesintertes Aluminiumgehäuse und als „Worst Case“ ein reines Kunststoffgehäuse (nicht schirmend) gefertigt. Unsere Erwartungshaltung war, dass sich die in Schritt 1 untersuchten Materialkonfigurationen in der Komponentenmessung zwischen den Worst Case und Best Case Gehäusen einsortieren. Eine Auswahl der fertig hergestellten Gehäuseausgewählter Materialien und das dafür für den Spritzguss notwendige Prototypwerkzeug zeigt Bild 7.

Die Ergebnisse der Monopol Komponentenmessung von vier unterschiedlichen Gehäusematerialien sind in Bild 8 wiedergegeben. Im linken, oberen Diagramm ist der elektrische Störfeldstärkepegel des Aluminiumgehäuses (Best Case) und des reinen Kunststoffgehäuses (Worst Case) über der Frequenz aufgetragen. Deutlich sind die schmalbandigen Emissionspeaks der Grundfrequenz der Schaltung bei ca. 1,8 MHz und deren Harmonischen beim reinen Kunststoffgehäuse (blau) zu erkennen. Diese sind bei der Ausführung mit einem gesinterten Aluminiumgehäuse weitgehend unterdrückt (Bild 8 oben links, grün).

Am Beispiel des Peaks bei der Grundfrequenz der Schaltung kann die Wirksamkeit des verwendeten Gehäusematerials bezogen auf die Komponentenmessung bewertet werden. Ein kohlefasermodifiziertes Gehäuse dämpft den Grundstörpegel um ca. 33 % (Bild 8 oben rechts, rot). Im Gegenzug dazu dämpft eine hinterspritzte Aluminiumfolie den Grundstörpegel um ca. 40 % (Bild 8 unten links, gelb). Ein umspritztes Kupfergitter dämpft den Grundstörpegel um ca. 48 % (Bild 8 unten rechts, lila).



Bild 7: Darstellung der hergestellten Gehäuse mit Übersicht der getesteten Materialien (Auswahl, oben) und Detail des Prototypwerkzeugs mit Tauchkannte und eingelegtem Vorförmling.

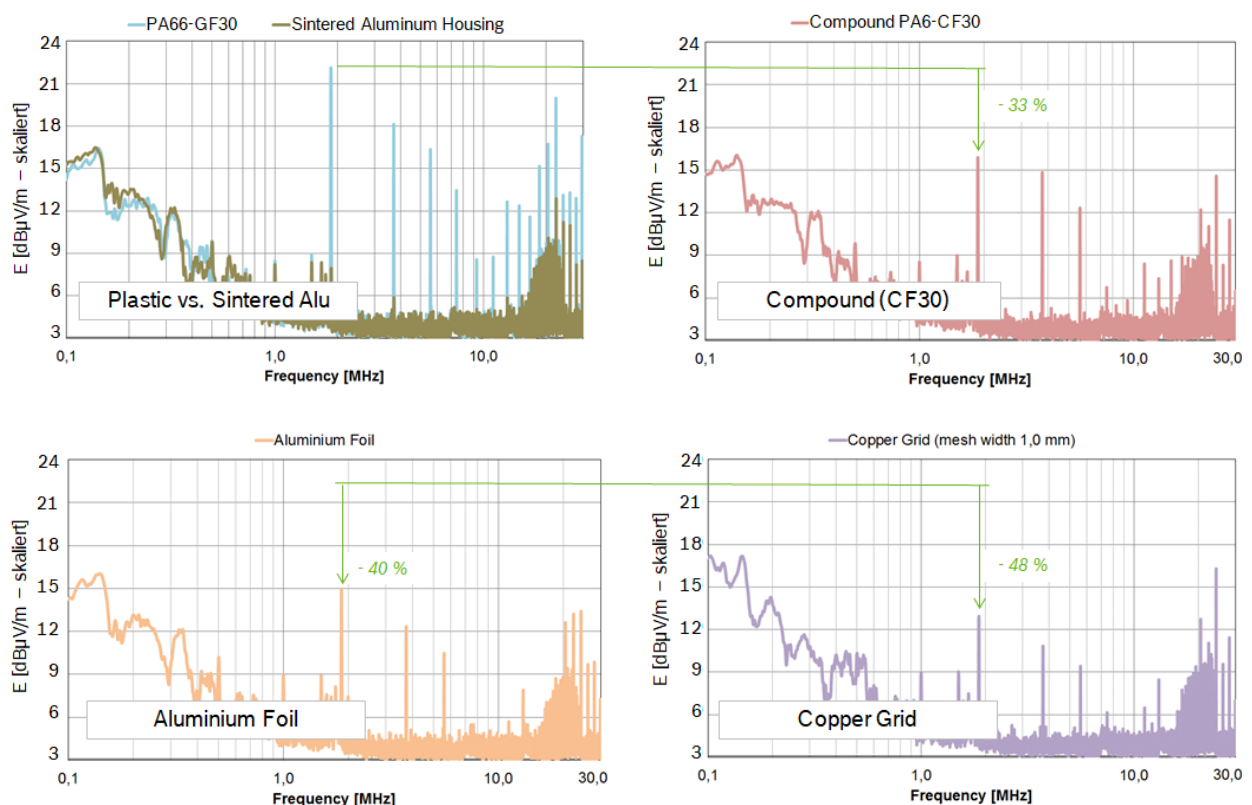


Bild 8: Ergebnisse der CISPR25 Monopolmessung. Oben links: Sinteraluminiumgehäuse im Vergleich zu unmodifiziertem Kunststoffgehäuse; Oben rechts und unten: Verschiedene kunststofftechnische Materialien und Aufbauvarianten.

Bisher wurde nur demonstriert, dass die schirmenden Materialien aus Stufe 1 auch im Emissionsverhalten beim Monopol Komponententest Wirkung zeigen. Wie kann man aber konkret von der Materialmessung auf die Wirksamkeit beim Komponententest schließen? Dazu ist es notwendig, die EMV Koppelpfade der Komponente bei der Monopolmessung zu kennen. Im Wesentlichen wirken bei der Monopolmessung kapazitive Koppelpfade. Das Gehäuse ist ein Teil dieses Koppelpfades und bildet zusammen mit dem Schaltungs- und Messaufbau eine Kapazität, die wesentlich von der elektrischen Leitfähigkeit des

Schirmmaterials abhängig. Leitfähigkeit und Kapazität sind einander proportional. Im selben Verhältnis wie sich die Leitfähigkeit der Verbundmaterialien zur Leitfähigkeit des Metallgehäuses ändert, so ändert sich auch die Kapazität und wirkt bei der Monopolmessung wie ein Bypass für die von der Leiterplatte ausgehende Störung. Eine äquivalente Leitfähigkeit für die kunststofftechnischen Verbundmaterialien lässt sich aus den komplexen S-Parametern der TEM-Messung bestimmen.

3 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorgelegten Arbeit wurde ein zweistufiges Verfahren zur Auswahl von geeigneten Gehäusewerkstoffen aus Werkstoffverbunden und Verbundwerkstoffen vorgestellt. Es wurden zwei Messverfahren aufgebaut und Messungen an schirmend modifizierten Kunststoffgehäusen mit realen Produkten durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass eine Vielzahl der untersuchten kunststofftechnischen Lösungsansätze eine akzeptable Schirmdämpfung hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften haben und sich diese positiv in den Komponentenmessungen widerspiegeln. Durch die Ergebnisse kann die Wirksamkeit vorgeschlagener Kunststoff-Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde im EMV-Bereich besser eingeschätzt werden.

Die EMV-Performance von Kunststoffgehäusen in der Komponentenmessung ist jedoch nicht nur von der reinen Materialeigenschaft abhängig, sondern auch von weiteren wichtigen Faktoren wie der Aufbau- und Verbindungstechnik (Kontaktierung, Masse), der Konstruktion (Radien, Rippen, kunststoffgerechtes Design), Verarbeitungseinflüssen und der abzuschirmenden Störquelle. Die Ermittlung dieser Einflussfaktoren ist Gegenstand zukünftiger Arbeiten.

4 Literaturverzeichnis

- [1] Raisch, S.R.; Maenz, T.; Aichele, H.; Hülder, G.: Funktionalisierung am Beispiel wärmeleitfähiger, schirmender und magnetisierbarer Kunststofflösungen, 29. Darmstaedter Kunststoff-Kolloquium, Darmstadt, 23.06.2017
- [2] Hülder, G.; Maenz, T.; Raisch, S.R.: Werkstoffliches Potential von Duroplasten als Basis für hybride Werkstoffsysteme, Technomer 2017, Chemnitz, 10.11.2017
- [3] Leute, U.: Kunststoffe und EMV – Elektromagnetische Verträglichkeit mit leitfähigen Kunststoffen. 2. Auflage, Expert-Verlag Renningen, 2009
- [4] American Society for Testing and Materials, Standard ASTM D 4935-99
- [5] Wolfsberger, H. A.: Elektromagnetische Schirmung - Theorie und Praxisbeispiele, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008
- [6] Aichele, H.; Raisch, S.R.: Plastic Based EMC Shielded Composite Materials, CR Colloquium on EMC, Renningen, 25.11.2016
- [7] Wilson Perry F., MA T. Mark, Adams W. J.: Techniques for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Materials: Part I: Far-Field Source Simulation, IEEE Transactions on EMC, Vol. 30, 3. August 1988