

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	vii
Kurzfassung	ix
Abstract	xi
1. Einleitung	1
1.1. Definition der Elektromagnetischen Verträglichkeit	1
1.2. Herausforderungen durch die Elektromobilität	2
1.3. Anforderungen an Schirmgehäuse im Automobilbereich	4
1.4. Auftretende Störgrößen im Fahrzeug	6
1.5. Zielsetzung	8
1.6. Inhaltsübersicht	9
2. Grundlagen	11
2.1. Die Maxwell'schen Gleichungen	11
2.1.1. Ladungen als Ursache des elektrischen Feldes	11
2.1.2. Quellenfreiheit des magnetischen Feldes	12
2.1.3. Induktionsgesetz	12
2.1.4. Durchflutungsgesetz	13
2.2. Definition Nahfeld/Fernfeld	14
2.2.1. Fernfeld	15
2.2.2. Nahfeld	15
2.3. Die Materialgleichungen	16
2.4. Verhalten von elektrischen und magnetischen Feldern an Grenzflächen . .	17
2.5. Skin-Effekt (Eindringtiefe)	19
2.6. Schirmdämpfung	19
2.6.1. Definition Schirmfaktor und Schirmdämpfung	20
2.6.2. Schirmung von statischen elektrischen Feldern	21
2.6.3. Schirmung von statischen magnetischen Feldern	22
2.6.4. Schirmdämpfung von quasistationären Feldern	23
2.6.5. Schirmdämpfung von elektromagnetischen Wellen	25
2.7. Analytische Modelle zur Prädiktion der Schirmdämpfung	25
2.7.1. Parallelplattenschirm nach Kaden	25
2.7.2. Schirmdämpfung inhomogener Metallgehäuse beliebiger Kontur .	28
2.7.3. Modell nach Moser für niederfrequente Magnetfelder	29

2.7.4.	Impedanzkonzept von Schelkunoff	30
2.7.5.	Erweitertes Impedanzkonzept	32
3.	Klassifikation und Messverfahren auf Materialebene	37
3.1.	Klassifikation der Materialien	37
3.1.1.	Aluminium	37
3.1.2.	Polyamid 6	38
3.1.3.	Polyamid 6.6	39
3.1.4.	Carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK)	39
3.1.5.	CFK-Tapes	41
3.1.6.	Carbon Nano Tube (CNT) verstärkte Kunststoffe	41
3.2.	Messverfahren für die elektrische Leitfähigkeit	43
3.3.	Dielektrische Spektroskopie	45
3.3.1.	Kapazitive Messungen	45
3.3.2.	Koaxiale TLM	46
3.3.3.	Koaxiale Reflektometrie	46
3.4.	Messverfahren für die Schirmdämpfung von Materialien	47
3.4.1.	Transmission Line Holder-Messverfahren	47
3.4.2.	Spulenmethode in Anlehnung an IEEE-299	62
4.	Analyse und Auswertung auf Materialebene	65
4.1.	Messung der elektrischen Leitfähigkeit	65
4.2.	Messung der Permittivität	67
4.3.	Messergebnisse Schirmdämpfung mit dem TLH-Verfahren	69
4.3.1.	TLH nach ASTM D4935-10	69
4.3.2.	TEM-2000	70
4.4.	Messergebnisse der magnetischen Schirmdämpfung (Spulenmethode)	72
4.5.	Analytische Berechnung der magnetischen Schirmdämpfung	74
4.5.1.	Isotrope Materialien	74
4.5.2.	Anisotrope Materialien	76
4.6.	Diskussion der Ergebnisse	80
5.	Vorbereitungen auf Gehäuseebene	83
5.1.	Schirmdämpfungsmessverfahren	83
5.1.1.	Messverfahren nach DIN EN 61000-5-7	83
5.1.2.	Diskussion der Schirmdämpfungsanforderung	86
5.2.	Einflussfaktoren auf die Schirmdämpfung	87
5.2.1.	Kontaktierung der Gehäuseteile	87
5.2.2.	Resonanzstelle durch Kontaktierung	88
5.2.3.	Messverfahren für Gehäusewiderstand und -impedanz	91
5.3.	Impedanz- und Schirmdämpfungsmessvorbereitung	93
5.3.1.	Aufbau Demonstratorgehäuse	93
5.3.2.	Elektrische Feldquelle für Gehäusemessungen	94

5.3.3.	Anpassung des Schirmdämpfungsmessverfahrens	97
5.3.4.	Übersicht der Gehäusemessungen	98
5.4.	Abschätzung der Gehäuseimpedanz und -schirmdämpfung	99
5.4.1.	Analytische Berechnung der Gehäuseimpedanz	99
5.4.2.	Simulationsmodell zur Bestimmung der Gehäuseimpedanz	102
5.4.3.	Numerische Berechnung der Gehäuseimpedanz	105
5.4.4.	Simulationsmodell zur Bestimmung der Schirmdämpfung	106
6.	Analyse und Diskussion auf Gehäuseebene	107
6.1.	Widerstands- und Impedanzmessungen an den Demonstratorgehäusen . . .	107
6.1.1.	Induktivitätsbestimmung	107
6.1.2.	Messung des Gehäusewiderstands	109
6.1.3.	Messung der Gehäuseimpedanz	110
6.1.4.	Vergleich mit den analytischen und numerischen Berechnungen . . .	115
6.2.	Auswertung der Schirmdämpfungsmessungen	118
6.2.1.	Aluminiumgehäuse	118
6.2.2.	CFK-Gehäuse	121
6.3.	Einfluss der Parameter	122
6.3.1.	Variation des Abstands	122
6.3.2.	Anzahl der Kontaktierungspunkte	123
6.3.3.	Korrelation Impedanz- und Schirmdämpfungsmessung	124
6.4.	Diskussion der Ergebnisse	128
7.	Zusammenfassung und Ausblick	131
7.1.	Zusammenfassung	131
7.2.	Ausblick	134
A.	Spulenmethode	135
B.	Messergebnisse elektrische Leitfähigkeit und Permittivität	137
C.	Messergebnisse TEM-2000	141
D.	Technische Zeichnungen Demonstratorgehäuse	145
E.	Mess- und Simulationsergebnisse monokonische Antenne	149
F.	Mess- und Simulationsergebnisse Gehäuseimpedanz	153
G.	Mess- und Simulationsergebnisse Schirmdämpfung	163
	Literaturverzeichnis	173
	Abkürzungsverzeichnis	179

Abbildungsverzeichnis	181
Tabellenverzeichnis	187