

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	12
1.1	Problemstellung und Leitfragen	14
1.2	Zielstellung und Lösungsansätze	15
1.3	Gliederung der Arbeit	16
2	Grundlagen	18
2.1	Elektrische Energiesysteme eines Kraftfahrzeugs	18
2.1.1	Niedervoltsysteme	18
2.1.2	Hochvoltsysteme	19
2.2	Kontaktlose Energieübertragung zum Laden von Elektrofahrzeugen	20
2.3	Elektromagnetische Umweltverträglichkeit	23
2.3.1	Direkte und indirekte Wirkung von elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern beim Menschen	23
2.3.2	Basis- und Referenzwerte bis 400 kHz	25
2.3.3	Schutz von Personen mit aktiven medizinischen Implantaten	28
2.3.4	Bewertungsmethoden der EMVU	29
2.4	EMVU Anforderungen und Prüfverfahren	33
2.4.1	Empfehlungen, Richtlinien und Gesetze	33
2.4.2	Prüfverfahren für Kraftfahrzeuge	35
2.4.3	Prüfverfahren für WPT-Systeme	36
2.5	Messtechnik für niederfrequente Magnetfelder	39
2.5.1	Isotrope Magnetfeldsonden	39
2.5.2	Erweiterte Messunsicherheit	40
3	Berechnung elektromagnetischer Felder in Gewebe	43
3.1	Elektromagnetische Felder	43
3.1.1	Maxwell-Gleichungen	43
3.1.2	Kontinuitätsgleichung und Potentiale	45
3.1.3	Momentenmethode zur Berechnung elektromagnetischer Felder	46
3.1.4	Berechnung magnetischer Felder	47
3.2	Berechnung der induzierten elektrischen Feldstärke in Gewebe	49
3.2.1	Elektrische Eigenschaften von Gewebe	49
3.2.2	Gewebe in elektromagnetischen Feldern	49

3.2.3	Erweiterung der MoM durch modifizierte Volumenintegralgleichungen	51
3.3	Verifikation der durch Magnetfelder induzierten elektrischen Feldstärke - Menschenmodell <i>TARO</i>	54
3.4	Simulationsprozess zur EMVU-Bewertung durch Basiswerte	57
4	EMVU-Analyse induktiver Ladesysteme	58
4.1	Lösungsansatz und Aufbau des Kapitels	58
4.2	Theoretische Beschreibung und elektrisches Ersatzschaltbild eines WPT- Systems	59
4.3	Simulationsmodelle für WPT-Systeme	63
4.3.1	Modellierung eines WPT-Systems	63
4.3.2	Verifikation der WPT-Modelle	65
4.4	Komponententest für WPT-Systeme	70
4.5	Einflussfaktoren auf die Streufelder induktiver Ladesysteme	75
4.6	Expositionsbewertung eines WPT-Systems durch Basiswerte	83
4.7	Virtuelle EMVU-Absicherung von Fahrzeugen mit WPT-System	87
5	Methode zur EMVU-gerechten Auslegung von Kfz-Energiesystemen	90
5.1	Lösungsansatz und Aufbau des Kapitels	90
5.2	Unsicherheiten bei Magnetfeldmessung und -simulation von Energiesystemen	92
5.3	Übertragungsfunktion zwischen Leitungen und Feldaufpunkten	98
5.3.1	Bestimmung der Übertragungsfunktion und Verifikation	98
5.3.2	Einflussfaktoren auf die Übertragungsfunktion	101
5.4	Strombasierte EMVU-Bewertung	105
5.4.1	Stromlimits	105
5.4.2	Ermittlung der Ströme einer Fahrzeugkomponente	108
5.5	Verifikation und Anwendung der strombasierten EMVU-Bewertung	109
5.5.1	Verifikation am Versuchsaufbau	109
5.5.2	EMVU-Bewertung Fahrzeugumgebung	111
5.6	Virtuelle EMVU-Absicherung von Energiesystemen im Fahrzeug	116
6	Zusammenfassung	118
	Literaturverzeichnis	121
A	Magnetfeld von Einzel- und Doppelleitungen über einer Massefläche	134
B	Zusammenhang zwischen der Störspannung aus EN 45502-2-1 und Referenzwertfunktionen	136

C WPT-Systeme: Theorie	138
C.1 Eingangsimpedanz und Leistungsfaktor des Spulensystems	138
C.2 Kompensationsstrategien	139
C.3 Wirkungsgrad eines kompensierten Spulensystems	139
C.4 Spitzenwert der Eingangsspannung unter Vorgabe einer Ausgangsleistung .	141
D WPT-Systeme: Simulationsergebnisse für Einflussfaktoren auf Streufelder	142
E WPT-Systeme: Komponententest	145
E.1 Simulation einer EMV-Prüfung von WPT-Systemen	145
E.2 Simulationsergebnisse des WPT-Komponententest	147