

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	2
Einleitung	17
1 Anwendungsbereich	18
2 Normative Verweisungen	18
3 Begriffe	19
4 Symbole und Abkürzungen	25
4.1 Physikalische Größen	25
4.2 Konstanten	26
4.3 Abkürzungen	26
5 Kurzanleitung und wie dieses Dokument zu verwenden ist.....	28
5.1 Übersicht	28
5.2 Kurzanleitung	28
5.3 Wie dieses Dokument zu verwenden ist	31
5.4 Ausgearbeitete Fallstudien.....	32
6 Evaluierungsvorgänge für die Produktkonformität, die Konformität der Produktinstallation und die Bewertung der HF-Exposition am Aufstell- und Betriebsort.....	32
6.1 Evaluierungsvorgang für die Produktkonformität	32
6.1.1 Allgemeines.....	32
6.1.2 Einrichtung von Konformitätsgrenzen	33
6.1.3 Definition der Iso-Oberflächen-Konformitätsgrenze.....	33
6.1.4 Einfache Konformitätsgrenzen.....	33
6.1.5 Verfahren für die Einrichtung der Konformitätsgrenze.....	35
6.1.6 Unsicherheit	37
6.1.7 Berichterstattung	37
6.2 Für die Konformität der Produktinstallation verwendeter Evaluierungsvorgang.....	38
6.2.1 Allgemeines.....	38
6.2.2 Allgemeines Evaluierungsverfahren für Produktinstallationen.....	38
6.2.3 Sammlung von Daten der Produktinstallation.....	40
6.2.4 Vereinfachter Evaluierungsvorgang für die Produktinstallation	41
6.2.5 Auswahl des Bewertungsbereichs	44
6.2.6 Messungen.....	46
6.2.7 Rechnergestützte Berechnungen	47
6.2.8 Unsicherheit	48
6.2.9 Berichterstattung	48
6.3 Evaluierungsvorgänge für die Bewertung der HF-Exposition am Aufstell- und Betriebsort	49
6.3.1 Allgemeine Anforderungen, Bestimmung der Quelle und Analyse des Standorts	49
6.3.2 Messverfahren	51

	Seite	
6.3.3	Unsicherheit.....	53
6.3.4	Berichterstattung	53
6.4	Mittelungsverfahren	54
6.4.1	Räumliche Mittelung (Volumenmittelung)	54
6.4.2	Zeitliche Mittelung.....	54
7	Bestimmung des Evaluierungsverfahrens.....	54
7.1	Übersicht	54
7.2	Vorgang zur Bestimmung des Evaluierungsverfahrens	54
7.2.1	Allgemeines	54
7.2.2	Einrichtung der Evaluierungspunkte bezogen auf die aus der Quelle und der Umgebung gebildeten Ebene.....	55
7.2.3	Auswahl der Evaluierungsgröße(n).....	57
8	Evaluierungsverfahren.....	58
8.1	Übersicht	58
8.2	Messverfahren.....	58
8.2.1	Allgemeines	58
8.2.2	Messungen der HF-Feldstärke.....	60
8.2.3	Messungen der spezifischen Absorptionsrate	60
8.3	Rechnergestützte Berechnungen.....	61
9	Unsicherheit.....	63
10	Berichterstattung	64
10.1	Allgemeine Anforderungen	64
10.2	Berichtsformat	64
10.3	Meinungen und Interpretationen	66
Anhang A (informativ) Aus der Quelle und der Umgebung gebildete Ebene und Anleitung für die Auswahl des Evaluierungsverfahrens		67
A.1	Leitfaden für die aus der Quelle und der Umgebung gebildete Ebene	67
A.1.1	Allgemeines	67
A.1.2	Beispiel für eine aus der Quelle und der Umgebung gebildete Ebene	67
A.1.3	Quellenregionen	68
A.1.3.1	Allgemeines	68
A.1.3.2	Quellendefinition und Antennengeometrie	69
A.1.3.3	Grenzen zwischen Quellenregionen für Antennen von Funkkommunikations-Basisstationen (FBS-Antennen) mit kleinen Elementen, z. B. Dipole/Schlitze/Schleifen	73
A.1.3.4	Quellenregionen für gleichphasige abstrahlende Aperturantennen (z. B. Parabolantennen)	75
A.2	Auswahl zwischen rechnergestützten und messtechnischen Lösungsansätzen.....	75
A.3	Auswahl eines messtechnischen Verfahrens.....	76
A.3.1	Auswahlstufen	76
A.3.2	Auswahl zwischen Ansätzen der Messung der Feldstärke oder der spezifischen Absorptionsrate (<i>SAR</i>).....	76

	Seite
A.3.3 Auswahl zwischen breitbandigen und frequenzselektiven Messungen	76
A.3.4 Auswahl von Verfahren zur Messung der HF-Feldstärke	77
A.4 Auswahl von rechnergestützten Berechnungsverfahren	78
A.5 Zusätzliche Betrachtungen.....	80
A.5.1 Einfachheit.....	80
A.5.2 Rangfolge der Evaluierungsverfahren.....	80
A.5.3 Anwendung von mehreren Verfahren für die Evaluierung der HF-Exposition.....	81
Anhang B (normativ) Evaluierungsverfahren	82
B.1 Übersicht	82
B.2 Evaluierungsparameter	82
B.2.1 Übersicht	82
B.2.2 Koordinatensysteme	82
B.2.3 Bezugspunkte.....	83
B.2.4 Variablen	83
B.3 Messverfahren.....	86
B.3.1 Messungen der HF-Feldstärke.....	86
B.3.1.1 Anwendbarkeit von Messungen der HF-Feldstärke.....	86
B.3.1.2 Messungen der HF-Exposition am Aufstell- und Betriebsort.....	86
B.3.1.3 Messungen der HF-Feldstärke im Labor	97
B.3.1.4 Räumliche Mittelung.....	110
B.3.1.5 Zeitliche Mittelung	113
B.3.1.6 Unsicherheit der Messung von HF-Feldstärken.....	115
B.3.2 Messungen der spezifischen Absorptionsrate	120
B.3.2.1 Übersicht über Messungen der spezifischen Absorptionsrate.....	120
B.3.2.2 Anforderungen an Messungen der spezifischen Absorptionsrate	120
B.3.2.3 Beschreibung der Messung der spezifischen Absorptionsrate.....	123
B.3.2.4 Unsicherheit der SAR-Messung	129
B.4 Rechenverfahren.....	132
B.4.1 Übersicht und allgemeine Anforderungen.....	132
B.4.2 Gleichungen	133
B.4.2.1 Gleichungen zur Abschätzung der Feldstärke	133
B.4.2.2 Gleichungen zur Abschätzung der Ganzkörper-SAR und des Spitzenwerts der volumengemittelten SAR.....	138
B.4.3 Basisalgorithmen.....	142
B.4.3.1 Übersicht	142
B.4.3.2 Kugelförmige (sphärische) und zylindrische Gleichungen für die Leistungsdichte.....	143
B.4.3.3 Beschreibung: Zylindrische Abschätzungsgleichungen.....	146
B.4.3.4 Beschreibung: Kugelförmige (sphärische) Abschätzungsgleichungen.....	147
B.4.3.5 Validierung von zylindrischen und kugelförmigen (sphärischen) Algorithmen	147

	Seite
B.4.4 Fortgeschrittene rechnergestützte Verfahren.....	149
B.4.4.1 Synthetische Modell- und Strahlverfolgungsalgorithmen.....	149
B.4.4.2 Berechnung der HF-Feldstärke der vollen Welle	157
B.4.4.3 Berechnung der spezifischen Absorptionsrate der vollen Welle.....	168
B.5 Extrapolation von den ermittelten Werten für die spezifische Absorptionsrate bzw. der Feldstärke auf die geforderte Bewertungsbedingung	175
B.5.1 Extrapolationsverfahren.....	175
B.5.2 Extrapolation auf die maximale Feldstärke bei breitbandigen Messungen.....	176
B.5.3 Extrapolation auf die maximale Feldstärke bei frequenz- und codeselektiven Messungen	177
B.5.4 Einfluss des Verkehrs in tatsächlich betriebenen Netzen	177
B.6 Summation von mehreren HF-Feldern.....	178
B.6.1 Anwendbarkeit.....	178
B.6.2 Unkorrelierte Felder	179
B.6.3 Korrelierte Felder	179
B.6.4 Umgebungsfelder	179
Anhang C (informativ) Begründung, die die vereinfachten Kriterien für die Produktinstallation stützt.....	180
C.1 Allgemeines	180
C.2 Klasse E2	180
C.3 Klasse E10	181
C.4 Klasse E100	182
C.5 Klasse E+	185
Anhang D (informativ) Anleitung für den Vergleich von evaluierten Kennwerten mit Grenzwerten.....	187
D.1 Übersicht	187
D.2 Informationen, die für den Vergleich eines evaluierten Werts mit einem Grenzwert erforderlich sind	187
D.3 Durchführung eines Vergleichs mit einem Grenzwert mit einem gegebenen Vertrauenspegel	187
D.4 Durchführung eines Vergleichs mit einem Grenzwert unter Verwendung eines prozessbasierten Beurteilungsschemas.....	188
Anhang E (informativ) Unsicherheit.....	190
E.1 Hintergrund.....	190
E.2 Anforderungen an die Abschätzung der Unsicherheit.....	190
E.3 Wie die Unsicherheit abgeschätzt wird	191
E.4 Leitfaden für Unsicherheits- und Beurteilungsschemata.....	191
E.4.1 Allgemeines	191
E.4.2 Übersicht über Beurteilungsschemata	191
E.4.3 Beispiele für Beurteilungsschemata	192
E.4.3.1 Beispiele für allgemeine Beurteilungsschemata	192
E.4.3.2 Beispiele für ein Beurteilungsschema für einen Zielwert der Unsicherheit.....	193
E.4.4 Beurteilungsschemata und Wahrscheinlichkeit für die Übereinstimmung (mit den Anforderungen).....	196

	Seite
E.4.4.1 Unsicherheit der Beurteilungsschemata und Übersicht über die Wahrscheinlichkeiten für die Übereinstimmung (mit den Anforderungen).....	196
E.4.4.2 Monte-Carlo-Simulation des auf einem Zielwert der Unsicherheit beruhenden Beurteilungsschemas.....	197
E.4.4.3 Wahrscheinlichkeitssimulation für den Konformitätsfehler	199
E.5 Leitfaden zur Unsicherheit	200
E.5.1 Übersicht	200
E.5.2 Messunsicherheit und Vertrauenspegel.....	200
E.6 Anwendung der Unsicherheit bei Konformitätsmessungen	202
E.7 Beispielhafte Einflussgrößen bei Feldmessungen	203
E.7.1 Allgemeines.....	203
E.7.2 Kalibrierunsicherheit der Messantenne oder Feldsonde	203
E.7.3 Frequenzantwort (Frequenzgang) der Messantenne oder Feldsonde	204
E.7.4 Isotropie der Messantenne oder Feldsonde	205
E.7.5 Frequenzantwort des Spektrumanalysators	205
E.7.6 Temperaturverhalten einer breitbandigen Feldsonde.....	205
E.7.7 Linearitätsabweichung einer breitbandigen Feldsonde.....	206
E.7.8 Unsicherheit aufgrund von Fehlanpassung	206
E.7.9 Abweichung der experimentellen Quelle von der numerischen Quelle	206
E.7.10 Unsicherheit aufgrund von Messgeräteschwankungen bei zeitveränderlichen Signalen.....	206
E.7.11 Unsicherheit aufgrund von Leistungsschwankungen der HF-Quelle.....	207
E.7.12 Unsicherheit aufgrund von Feldgradienten	207
E.7.12.1 Allgemeines.....	207
E.7.12.2 Unsicherheit aufgrund von Feldgradienten wenn Dipole verwendet werden	207
E.7.12.3 Unsicherheit aufgrund von Feldgradienten wenn Rahmenantennen verwendet werden.....	208
E.7.13 Gegenseitige Verkopplung zwischen der Messantenne oder isotropen Sonde und dem Objekt.....	209
E.7.14 Unsicherheit aufgrund der durch den Körper des Begutachteten verursachten Streuung des Felds.....	209
E.7.15 Messgeräte.....	211
E.7.16 Felder, die außerhalb des Messbereichs liegen	211
E.7.17 Rauschen	212
E.7.18 Integrationszeit.....	212
E.7.19 Leistungskette	212
E.7.20 Positionierungssystem	212
E.7.21 Anpassung zwischen Sonde und Prüfling.....	212
E.7.22 Drift bei der Ausgangsleistung des Prüflings, der Sonde, der Temperatur und der Luftfeuchte.....	212
E.7.23 Störung durch die Umgebung	212

	Seite
E.8 Beispielhafte Einflussgrößen bei rechnergestützten Berechnungen der HF-Feldstärke durch Strahlverfolgungs- oder Vollwellenverfahren	213
E.8.1 Allgemeines	213
E.8.2 System.....	213
E.8.2.1 Senderleistung.....	213
E.8.2.2 Systemverluste	213
E.8.2.3 Antenne	213
E.8.2.4 Modellierung der Antennenstrukturen und Unterstützungen	214
E.8.3 Verfahrensbedingte Unsicherheit.....	214
E.8.4 Umgebungsbedingte Unsicherheiten	215
E.9 Einflussgrößen bei Messungen der spezifischen Absorptionsrate	215
E.9.1 Allgemeines	215
E.9.2 Nachbearbeitung	215
E.9.3 Gerätehalterung.....	216
E.9.3.1 Allgemeines	216
E.9.3.2 Unsicherheit aufgrund des Störeinflusses der Gerätehalterung für ein besonderes zu prüfendes Gerät: Typ B	216
E.9.3.3 Unsicherheit aufgrund des Störeinflusses der Gerätehalterung für ein besonderes zu prüfendes Gerät: Typ A	216
E.9.4 Positionierung des Prüfloses	217
E.9.4.1 Allgemeines	217
E.9.4.2 Unsicherheit der Positionierung für ein besonderes Gerät in einer besonderen Gerätehalterung.....	217
E.9.4.3 Unsicherheit der Positionierung für besondere Arten von Prüflingen in einer besonderen Gerätehalterung.....	218
E.9.5 Unsicherheit der Schale des Messphantoms	218
E.9.6 SAR-Korrektur / Zielwerte der Permittivität und Leitfähigkeit der Flüssigkeit.....	218
E.9.7 Messungen der Permittivität und Leitfähigkeit der Flüssigkeit	218
E.9.8 Flüssigkeitstemperatur	219
E.10 Einflussgrößen bei Berechnungen der spezifischen Absorptionsrate.....	219
E.11 Volumenmittelung.....	219
E.11.1 Allgemeines	219
E.11.2 Schwankungen aufgrund von Small-Scale-Fading	220
E.11.3 Fehler bei der Abschätzung der mittleren lokalen Leistungsdichte.....	221
E.11.3.1 Definition des Fehlers bei der abgeschätzten mittleren Leistungsdichte	221
E.11.3.2 Bestimmung von signifikanten statistischen Parametern.....	221
E.11.4 Fehler bei der Abschätzung der mittleren lokalen Leistungsdichte.....	221
E.11.5 Charakterisierung der statistischen Eigenschaften der Umgebung	222
E.11.6 Charakterisierung der verschiedenen Mittelungsverfahren.....	223
E.11.6.1 Allgemeines	223

	Seite
E.11.6.2 Beispiel für eine Unsicherheitsbewertung.....	227
E.12 Einfluss des menschlichen Körpers auf Messungen der elektrischen Feldstärke mit der Sonde.....	228
E.12.1 Simulation des Einflusses des menschlichen Körpers auf Sondenmessungen mit Hilfe der Momentenmethode (Oberflächen-Äquivalenz-Prinzip).....	228
E.12.1.1 Beispiel für eine Unsicherheitsbewertung.....	228
E.12.1.2 Simulationsparameter.....	228
E.12.1.3 Ergebnisse von Simulationen unter Verwendung von elektrischen Feldsonden.....	229
E.12.2 Vergleich mit Messungen.....	229
E.12.3 Schlussfolgerungen.....	230
Anhang F (informativ) Technologiespezifischer Leitfaden.....	231
F.1 Übersicht über den Leitfaden für besondere Technologien.....	231
F.2 Zusammenfassung der technologiespezifischen Informationen.....	231
F.3 Leitfaden für die Einstellung des Spektrumanalysators.....	236
F.3.1 Übersicht über die Einstellungen von Spektrumanalysatoren.....	236
F.3.2 Detektionsalgorithmus.....	236
F.3.3 Auflösungsbandbreite und Kanalleistungs-Verarbeitung.....	237
F.3.3.1 Messung bei einer einzelnen Frequenz.....	237
F.3.3.2 Messung über eine Bandbreite und Kanalleistungsverarbeitung.....	239
F.3.4 Integration pro Dienst.....	239
F.3.4.1 Breitbandemulierung oder Integration pro Dienst.....	239
F.3.4.2 Beispiel für Einstellungen.....	239
F.4 Komponenten konstanter Leistung.....	240
F.5 WCDMA-Messung und Kalibrierung unter Verwendung eines Code-Domain-Analysators.....	241
F.5.2 Anforderungen an einen Code-Domain-Analysator.....	242
F.5.3.1 Für die Kalibrierung benutzte Signalarten.....	243
F.5.3.2 Kalibrierung der Quelle (des Generators).....	243
F.5.3.3 Kalibrierung des WCDMA-Dekoders.....	244
F.6 WiFi-Messungen.....	245
F.6.2 Integrationszeit für reproduzierbare Messungen.....	245
F.6.3 Kanalbelegung.....	246
F.6.5 Skalierbarkeit durch Kanalbelegung.....	248
F.6.6 Einfluss der Anwendungslayer.....	248
F.7 Messungen an LTE mit Frequenz-Vielfachzugriff (FDD).....	248
F.7.1 Übersicht.....	248
F.7.2 Ermittlung der maximalen Exposition durch LTE.....	251
F.7.2.1 Allgemeines.....	251
F.7.2.2 Verfahren unter Verwendung eines speziell dafür vorgesehenen Dekoders.....	251
F.7.2.3 Verfahren unter Verwendung eines Basis-Spektrumanalysators.....	252

	Seite
F.8 Messungen an LTE mit Zeit-Vielfachzugriff (TDD).....	254
F.8.1 Übersicht	254
F.8.2 Definitionen und Übertragungsarten	254
F.8.2.1 Allgemeines	254
F.8.2.2 Übertragungsart 1.....	255
F.8.2.3 Übertragungsart 2.....	255
F.8.2.4 Übertragungsart 3.....	255
F.8.2.5 Übertragungsart 4.....	255
F.8.2.6 Übertragungsart 5.....	255
F.8.2.7 Übertragungsart 6.....	256
F.8.2.8 Übertragungsart 7.....	256
F.8.2.9 Übertragungsart 8.....	256
F.8.3 TDD-Rahmenstruktur	256
F.8.4 Ermittlung der maximalen Exposition durch LTE	259
F.8.4.1 Allgemeines	259
F.8.4.2 Verfahren unter Verwendung eines Basis-Spektrumanalysators	261
F.9 Einrichtung der Konformitätsgrenzen unter Verwendung von numerischen Simulationen von MIMO-Gruppenantennen, die korrelierte Wellenformen abstrahlen	262
F.9.1 Übersicht	262
F.9.2 Feldkombination in der Nähe von Funk-Basisstationen für korrelierte Exposition für den Zweck der Einrichtung der Konformitätsgrenzen	263
F.9.3 Numerische Simulationen von MIMO-Gruppenantennen mit dicht gepackten Elementen	264
F.9.4 Numerische Simulationen von großen MIMO-Gruppenantennen	264
F.10 Smart-Antennen	265
F.10.1 Übersicht	265
F.10.2 Deterministischer konservativer Ansatz	265
F.10.3 Statistischer konservativer Ansatz	265
F.10.4 Beispiele für Ansätze.....	266
F.10.4.1 Übersicht	266
F.10.4.2 Deterministisches konservatives Leistungsdichtemodell	269
F.10.4.3 Über längere Zeiträume zeitlich gemittelttes Leistungsdichtemodell.....	269
F.10.4.4 Statistisches konservatives Leistungsdichtemodell	269
F.10.4.5 Ermittlung der Leistungsflussdichte bei TD-LTE-Systemen.....	273
F.10.4.6 Smart-Antennenbeispiel.....	275
F.10.5 Smart-Antenne (TD-LTE)	278
F.11 Ermittlung der Konformitätsgrenze bei Systemen, die Parabolantennen benutzen.....	278
F.11.1 Allgemeines	278
F.11.2 Übersicht	278
F.11.3 Konformitätsgrenze einer Parabolantenne.....	279

	Seite
Literaturhinweise	282
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	287
Bilder	
Bild 1 – Kurzanleitung für den Evaluierungsvorgang	30
Bild 2 – Beispiel einer komplexen Konformitätsgrenze	33
Bild 3 – Beispiele für kreisförmige zylindrische Konformitätsgrenzen	34
Bild 4 – Beispiel für eine kastenförmige Konformitätsgrenze	34
Bild 5 – Beispiel für eine angeschnittene kastenförmige Konformitätsgrenze	35
Bild 6 – Beispiel für eine Konformitätsgrenze für Parabolantennen (aus [11])	35
Bild 7 – Beispiel zur Verdeutlichung des linearen Skalierungsverfahrens	36
Bild 8 – Flussdiagramm, das den Evaluierungsvorgang für die Produktinstallation beschreibt	40
Bild 9 – Grenze eines quadratisch geformten Bewertungsbereichs (ADB) mit der Abmessung D_{ad}	45
Bild 10 – Flussdiagramm, das den Evaluierungsvorgang für die Produktinstallation beschreibt	51
Bild 11 – Konzept der aus der Quelle und der Umgebung gebildeten Ebene	56
Bild 12 – Flussdiagramm für die Messverfahren	60
Bild 13 – Flussdiagramm für die relevanten rechnergestützten Berechnungsverfahren	62
Bild A.1 – Beispiel für Regionen in einer aus der Quelle und der Umgebung gebildeten Ebene nahe zur Antenne einer Funk-Basisstation auf einem Mast, die eine kleine vertikale (angehobene Ebene) Strahlungskeule besitzt (nicht maßstäblich)	67
Bild A.2 – Beispiel für Regionen in einer aus der Quelle und der Umgebung gebildeten Ebene nahe einer Antenne auf einem Dach, die eine kleine vertikale (angehobene Ebene) Strahlungskeule besitzt (nicht maßstäblich)	68
Bild A.3 – Geometrie einer Antenne mit größter linearer Abmessung L_{eff} und größter Endabmessung L_{end}	69
Bild A.4 – Maximaler Wegunterschied für eine Antenne mit größter linearer Abmessung L	74
Bild B.1 – Zylindrische, kartesische und sphärische Koordinaten bezogen auf die Antenne der Funkkommunikations-Basisstation	83
Bild B.2 – Evaluierungsorte	95
Bild B.3 – Zusammenhang des Abstands zwischen entfernter Funkquelle und Evaluierungsbereich zum Abstand zwischen Evaluierungspunkten	96
Bild B.4 – Kurzdarstellung des Verfahrens der Oberflächenabtastung	98
Bild B.5 – Blockdiagramm des Nahfeldantennen-Messsystems	99
Bild B.6 – Minimale Radiusbeschränkung, wobei a den minimalen Radius einer um den Bezugspunkt zentrierten Kugel bezeichnet, die den Prüfling umfasst	100
Bild B.7 – Obergrenze für den Winkelabstand beim Sampling	101
Bild B.8 – Kurzdarstellung des Verfahrens der Volumen- bzw. Oberflächenabtastung	105
Bild B.9 – Blockdiagramm eines typischen Messsystems für Nahmessungen an einem Prüfling	106
Bild B.10 – Verfahren der räumlichen Mittelung relativ zum Niveau der Fußunterlage und in der vertikalen Ebene ausgerichtet, um eine maximalen Bereich in Richtung der zu evaluierenden Quelle anzubieten	112

	Seite
Bild B.11 – Räumliche Mittelung relativ zur Höhe des Punkts des räumlichen Spitzenwerts der Feldstärke	113
Bild B.12 – Positionierung des Prüflings gegenüber dem relevanten Messphantom.....	122
Bild B.13 – Für Messungen der Ganzkörper-SAR unter Verwendung des kastenförmigen Messphantoms benutztes Volumen der Flüssigkeit im Messphantom und benutztes Messvolumen	129
Bild B.14 – Reflexion aufgrund des Vorhandenseins einer (leitenden) Bodenfläche.....	134
Bild B.15 – Umschlossener Zylinder entlang ko-linearer Gruppenantennen, mit und ohne elektrischen Neigungswinkel	135
Bild B.16 – Geometrie eines leckenden Speisekabels	136
Bild B.17 – Richtungen, für die die Ausdrücke zur Abschätzung der spezifischen Absorptionsrate gegeben werden.....	138
Bild B.18 – Bezugsrahmen, der bei den zylindrischen Gleichungen für die rechnergestützte Darstellung der Feldstärke in einem Punkt P (links) und auf einer Linie, die senkrecht zur Hauptstrahlrichtung der Antenne ist (rechts), benutzt wird	143
Bild B.19 – Ansichten zur Verdeutlichung der drei gültigen Bereiche für rechnergestützte Berechnungen der Feldstärken um eine Antenne.....	145
Bild B.20 – Bezugsergebnisse bei zylindrischen Gleichungen.....	148
Bild B.21 – Bezugsergebnisse bei kugelförmigen (sphärischen) Gleichungen	149
Bild B.22 – Geometrie und Parameter für die synthetischen Modell- und Strahlverfolgungsalgorithmen.....	152
Bild B.23 – Fernfeldpositionen entlang der Linie 4 für das Beispiel für die Validierung der synthetischen Modell- und Strahlverfolgungsalgorithmen.....	155
Bild B.24 – Antennenparameter für das Beispiel für die Validierung der synthetischen Modell- und Strahlverfolgungsalgorithmen.....	156
Bild B.25 – Generische 900-MHz-FBS-Antenne mit neun Dipolstrahlern	164
Bild B.26 – Nahfeldpositionen entlang der Linie 1, Linie 2 und Linie 3 für die Vollwellen- und Strahlverfolgungs-Validierung	165
Bild B.27 – Generische 1 800-MHz-FBS-Antenne mit fünf Schlitzstrahlern.....	167
Bild B.28 – Vor einem aus mehreren Schichten bestehenden verlustbehafteten Zylinder angeordnete FBS-Antenne.....	174
Bild B.29 – Jeweils auf den Mittelwert normalisierte zeitliche Schwankung der von GSM 1 800 MHz (links) und FM (rechts) verursachten Exposition über einen Zeitraum von 24 h.....	178
Bild C.1 – Gemessenes <i>ER</i> in Abhängigkeit vom Abstand bei einer Basisstation mit niedriger Leistung ($G = 5$ dBi, $f = 2\,100$ MHz), die mit einem <i>EIRP</i> von 2 W (Klasse E2) und 10 W (Klasse E10) sendet	181
Bild C.2 – Minimale Installationshöhe in Abhängigkeit von der Sendeleistung korrespondierend zu Klasse E10	182
Bild C.3 – Minimale Installationshöhe in Abhängigkeit von der Sendeleistung korrespondierend zu Klasse E10	183
Bild C.4 – Minimale Installationshöhe in Abhängigkeit von der Sendeleistung korrespondierend zu Klasse E100	184
Bild C.5 – Mittlere Leistungsdichte auf Bodenniveau für verschiedene Installationskonfigurationen von Einrichtungen mit 100 W <i>EIRP</i> (Klasse E100).....	185

	Seite
Bild C.6 – Konformitätsabstände in Richtung der Hauptkeule in Abhängigkeit von der <i>EIRP</i> eingerichtet in Übereinstimmung mit den Fernfeldgleichungen korrespondierend zur Klasse E+	186
Bild C.7 – Minimale Installationshöhe in Abhängigkeit von der Sendeleistung korrespondierend zu Klasse E+	186
Bild E.1 – Beispiele für allgemeine Beurteilungsschemata	193
Bild E.2 – Übersicht über das Verfahren, ob der Zielwert der Unsicherheit erreicht wird	195
Bild E.3 – Wahrscheinlichkeit, dass der wahre Wert in Abhängigkeit vom Vertrauenspegel über (oder unter) dem evaluierten Wert liegt, wobei eine Normalverteilung der Unsicherheit angenommen wird	201
Bild E.4 – Plot der Kalibrierfaktoren für E (nicht E^2), die durch einen beispielhaften Kalibrierbericht für eine elektrische Feldsonde bereitgestellt wurden	204
Bild E.5 – Bei der Analyse der Variation durch von der Vorderseite eines Begutachters reflektierte Felder verwendetes Computermodell	210
Bild E.6 – Positionierungsgerät und unterschiedliche Positionierungsfehler	217
Bild E.7 – Physikalisches Modell der kleinen Schwankungen des „Small-Scale-Fading“ nach a) Rayleigh und b) Rice	219
Bild E.8 – Beispiel für Schwankungen der elektrischen Feldstärke in der Hauptstrahlrichtung einer Antenne, die bei 2,2 GHz betrieben wird	220
Bild E.9 – Fehler der Abschätzung der mittleren Leistungsdichte bei 95 %	222
Bild E.10 – 343 Messpositionen, die einen Würfel bilden (Zentrum), und unterschiedliche Schablonen, die aus einer unterschiedlichen Anzahl an Positionen bestehen	223
Bild E.11 – Bewegung einer Schablone (Linie 3) durch den Würfel	224
Bild E.12 – Standardabweichungen bei GSM 900, DCS 1 800 und UMTS	226
Bild E.13 – Simulationsanordnung	228
Bild E.14 – Einfluss des Körpers	229
Bild E.15 – Simulationsanordnung	230
Bild F.1 – Spektrale Belegung bei GMSK	237
Bild F.2 – Spektrale Belegung bei CDMA	238
Bild F.3 – Kanaluweisung bei einem WCDMA-Signal	242
Bild F.4 – Beispiel für WiFi-Rahmen	245
Bild F.5 – Kanalbelegung in Abhängigkeit von der Integrationszeit beim IEEE 802.11b-Standard	246
Bild F.6 – Kanalbelegung in Abhängigkeit von der Nenn-Durchsatzrate beim IEEE 802.11b- und IEEE 802.11g-Standard	247
Bild F.7 – Momentaufnahme des WiFi-Spektrums	248
Bild F.8 – Rahmenstruktur der übertragenen Signale beim LTE-Downlink	250
Bild F.9 – Beispiele für empfangene Wellen des LTE-Downlink-Signals unter Verwendung eines Spektrumanalysators mit Einstellung auf eine Spanne von null	253
Bild F.10 – Rahmenstruktur Typ 2 der (für eine Schaltpunkt-Periodizität von 5 ms)	257
Bild F.11 – Rahmenstruktur der Übertragungssignale für TDD-LTE	258
Bild F.12 – PBCH-Messbeispiel	260
Bild F.13 – Beispiel für die Messung des PBCH unter Verwendung eines Spektrumanalysators, der auf eine Spanne von null eingestellt wurde	262

	Seite
Bild F.14 – MIMO-Gruppenantenne mit dicht gepackten Elementen	263
Bild F.15 – Ebene-Ansicht-Repräsentation des statistischen konservativen Modells	267
Bild F.16 – Binomiale kumulative Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion für $N = 24$, $PR = 0,125$	277
Bild F.17 – Binomiale kumulative Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion für $N = 24$, $PR = 0,125$	277
Bild F.18 – Flussdiagramm für die Bewertung der EMF-Konformitätsgrenze in der Hauptstrahlrichtung von Parabolantennen (nach [11])	281
Tabellen	
Tabelle 1 – Kurzanleitung für die Schritte bei der Evaluierung	30
Tabelle 2 – Beispiele für Produktinstallationsklassen, bei denen ein vereinfachter Evaluierungsvorgang anwendbar ist (auf der Grundlage der ICNIRP-Grenzwerte für die Allgemeinbevölkerung [12])	41
Tabelle 3 – Gültigkeit der Expositionsgrößen für die Evaluierungspunkte in jeder Quellenregion	58
Tabelle 4 – Anforderungen an HF-Feldstärkemessungen.....	60
Tabelle 5 – Ausschluss der Ganzkörper- <i>SAR</i> auf der Grundlage der HF-Leistungspegel	61
Tabelle 6 – Anforderungen an Messungen der spezifischen Absorptionsrate (<i>SAR</i>)	61
Tabelle 7 – Anwendbarkeit von rechnergestützten Berechnungsverfahren in Regionen in der aus der Quelle und der Umgebung gebildeten Ebene in Bild 10	63
Tabelle 8 – Anforderungen an rechnergestützte Berechnungsverfahren.....	63
Tabelle A.1 – Definition von Quellenregionen	70
Tabelle A.2 – Grenzen von voreingestellten Quellenregionen	71
Tabelle A.3 – Grenzen von Quellenregionen für Antennen, deren größte Abmessung kleiner als $2,5$ λ ist	71
Tabelle A.4 – Grenzen von Quellenregionen für Linear-/Planar-Gruppenantennen, deren größte Abmessung größer als oder gleich $2,5 \lambda$ ist.....	72
Tabelle A.5 – Grenzen von Quellenregionen für gleichphasige abstrahlende Aperturantennen (z. B. Parabolantennen), wobei die größte Abmessung des Reflektors wesentlich größer als eine Wellenlänge ist	72
Tabelle A.6 – Grenzen von Quellenregionen für Schlitzkabel.....	73
Tabelle A.7 – In m gemessener Fernfeldabstand r in Abhängigkeit vom Winkel β	74
Tabelle A.8 – Anleitung für die Auswahl zwischen rechnergestützten und messtechnischen Ansätzen.....	75
Tabelle A.9 – Anleitung für die Auswahl zwischen breitbandigen und frequenzselektiven Messungen.....	76
Tabelle A.10 – Anleitung für die Auswahl von Verfahren für die Messung der HF-Feldstärke	78
Tabelle A.11 – Anleitung für die Auswahl von rechnergestützten Berechnungsverfahren	79
Tabelle B.1 – Variablen für die Abmessungen	83
Tabelle B.2 – Auf die HF-Leistung bezogene Variablen.....	84
Tabelle B.3 – Antennenvariablen.....	85
Tabelle B.4 – Variablen für die Expositionsgrößen	85
Tabelle B.5 – Anforderungen an breitbandige Messsysteme.....	88
Tabelle B.6 – Anforderungen an frequenzselektive Messsysteme	88

Tabelle B.7 – Tabellenschablone für die Abschätzung der erweiterten Unsicherheit der Messung der HF-Feldstärke am Aufstell- und Betriebsort unter Verwendung eines frequenzselektiven Messgeräts.....	115
Tabelle B.8 – Tabellenschablone für die Abschätzung der erweiterten Unsicherheit der Messung der HF-Feldstärke am Aufstell- und Betriebsort unter Verwendung eines breitbandigen Messgeräts.....	117
Tabelle B.9 – Tabellenschablone für die Abschätzung der erweiterten Unsicherheit der Messung der HF-Feldstärke im Labor unter Verwendung des Verfahrens der Oberflächenabtastung.....	118
Tabelle B.10 – Tabellenschablone für die Abschätzung der erweiterten Unsicherheit der Messung der HF-Feldstärke im Labor unter Verwendung des Verfahrens der Volumenabtastung.....	119
Tabelle B.11 – Numerische <i>SAR</i> -Bezugswerte für Bezugsdipole und flaches Messphantom – Sämtliche Werte sind auf eine Vorwärtsleistung von 1 W normalisiert.....	124
Tabelle B.12 – Für Messungen der Ganzkörper- <i>SAR</i> benutztes Volumen für die Flüssigkeit im Messphantom und benutztes Messvolumen [38].....	128
Tabelle B.13 – Korrekturfaktor zur Kompensation eines möglichen Bias bei der erhaltenen Ganzkörper- <i>SAR</i> für die Allgemeinbevölkerung, wenn die Bewertung unter Verwendung des großen kastenförmigen Messphantoms für Konfigurationen der Exposition von Kindern durchgeführt wird [35].....	128
Tabelle B.14 – Evaluierungsschablone für die Unsicherheit der Messung der Ganzkörper- <i>SAR</i> des Prüflings.....	129
Tabelle B.15 – Evaluierungsschablone für die Unsicherheit der Validierung von Systemen zur Messung der Ganzkörper- <i>SAR</i>	131
Tabelle B.16 – Anwendbarkeit der Gleichungen zur Abschätzung der spezifischen Absorptionsrate.....	138
Tabelle B.17 – Definition von $C(f)$	140
Tabelle B.18 – Eingangsparameter für die Gleichungen zur Abschätzung der <i>SAR</i>	142
Tabelle B.19 – Bezugsergebnisse der SAR_{10g} und SAR_{wb} -Abschätzungsgleichungen für die Parameter in Tabelle B.18 und eine Körpermasse von 46 kg.....	142
Tabelle B.20 – Definition der Grenzen für die Auswahl des Bereichs für die rechnergestützte Berechnung.....	145
Tabelle B.21 – Eingangsparameters für die Validierung der zylindrischen und kugelförmigen (sphärischen) Gleichungen.....	148
Tabelle B.22 – Tabellenschablone für die Abschätzung der erweiterten Unsicherheit einer rechnergestützten Berechnung der HF-Feldstärke mit Hilfe der synthetischen Modell- und Strahlverfolgungsalgorithmen.....	153
Tabelle B.23 – Leistungsdichte beim synthetisches Modell und Strahlverfolgung Bezugsergebnisse.....	156
Tabelle B.24 – Tabellenschablone für die Abschätzung der erweiterten Unsicherheit der Berechnung der HF-Feldstärke der vollen Welle.....	161
Tabelle B.25 – Vollwellen-Bezugsergebnisse für Validierungsverfahren 1.....	165
Tabelle B.26 – Vollwellen-Bezugsergebnisse für Validierungsverfahren 2.....	168
Tabelle B.27 – Tabellenschablone für die Abschätzung der erweiterten Unsicherheit der Berechnung der spezifischen Absorptionsrate der vollen Welle.....	171
Tabelle B.28 – Bezugs- <i>SAR</i> -Ergebnisse für die Validierung des Rechenverfahrens.....	175
Tabelle E.1 – Bestimmung des Zielwerts der Unsicherheit.....	196

	Seite
Tabelle E.2 – Monte-Carlo-Simulation von 10 000 Versuchen, wobei sowohl der Begutachter als auch der Auditor den besten Schätzwerts verwendet haben.....	197
Tabelle E.3 – Monte-Carlo-Simulation von 10 000 Versuchen, wobei sowohl der Begutachter als auch der Auditor einen Zielwert der Unsicherheit von 4 dB verwendet haben	198
Tabelle E.4 – Monte-Carlo-Simulation von 10 000 Versuchen, wobei der Begutachter den oberen 95%-Vertrauenspegel und der Auditor den unteren 95%-Vertrauenspegel verwendet haben.....	199
Tabelle E.5 – Richtwerte für Mindestabstände für einige Dipollängen, um sicherzustellen, dass die Unsicherheit einer Messung von E 5 % oder 10 % nicht übersteigt	208
Tabelle E.6 – Richtwerte für Mindestabstände für einige Dipollängen, um sicherzustellen, dass die Unsicherheit einer Messung von H 5 % oder 10 % nicht übersteigt.....	208
Tabelle E.7 – Beispielhafte Mindestabstands-Bedingungen für ausgewählte Dipollängen für eine Unsicherheit von 10 % bei E -Feldmessungen	209
Tabelle E.8 – Standardabschätzung der dB-Variation für die Störungen vor einem Begutachter aufgrund der von seinem Körper reflektierten Felder wie in Bild E.5 beschrieben	211
Tabelle E.9 – Abschätzung der Standardunsicherheit (u) für E und H aufgrund von Reflexionen vom Körper des Begutachters für gebräuchliche Funkdienste, abgeleitet aus den in Tabelle E.8 angegebenen Schätzwerten.....	211
Tabelle E.10 – Maximale Empfindlichkeitskoeffizienten für die Permittivität und Leitfähigkeit der Flüssigkeit über den Frequenzbereich 300 MHz bis 6 GHz.....	219
Tabelle E.11 – Unsicherheit bei 95 % für verschiedene Fading-Modelle.....	222
Tabelle E.12 – Korrelationskoeffizienten für GSM 900 und DCS 1 800.....	225
Tabelle E.13 – Schwankungen der Standardabweichungen für die GSM-900-, DCS-1 800- und UMTS-Frequenzbänder.....	227
Tabelle E.14 – Beispiel für die Berechnung der Gesamtunsicherheit.....	227
Tabelle E.15 – Maximaler simulierter Fehler aufgrund des Einflusses eines menschlichen Körpers auf die Messwerte einer omnidirektionalen Feldsonde	229
Tabelle E.16 – Gemessener Einfluss eines menschlichen Körpers auf Messungen mit einer omnidirektionalen Feldsonde	230
Tabelle F.1 – Technologiespezifische Informationen	232
Tabelle F.2 – Beispiel für die Einstellungen des Spektrumanalysators für eine Integration pro Dienst.....	240
Tabelle F.3 – Beispielhafte Komponenten mit konstanter Leistungen für besondere TDMA-/FDMA-Technologien	240
Tabelle F.4 – Anforderungen an WCDMA-Dekoder	242
Tabelle F.5 – Signalkonfigurationen	243
Tabelle F.6 – Einstellung des WCDMA-Signalgenerators für Leistungslinearität	243
Tabelle F.7 – Einstellung des WCDMA-Signalgenerators für die Kalibrierung des Dekoders.....	244
Tabelle F.8 – Einstellung des WCDMA-Signalgenerators für die Messung des Reflexionskoeffizienten.....	245
Tabelle F.9 – Theoretischer Extrapolationsfaktor, η_{RS} , basierend auf der in 3GPP TS 36.104 [10] gegebenen Rahmenstruktur	252
Tabelle F.10 – Konfiguration des besonderen Sub-Rahmens (Längen von DwPTS/GP/UpPTS).....	259
Tabelle F.11 – Uplink-Downlink-Konfigurationen	259