

## Inhalt

	Seite
Vorwort .....	2
Europäisches Vorwort zur Änderung A1 .....	3
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen .....	4
1 Anwendungsbereich.....	16
2 Normative Verweisungen .....	16
3 Begriffe und Abkürzungen.....	16
3.1 Begriffe .....	16
3.1.1 Antennenbegriffe.....	16
3.1.2 Auf den Antennenfaktor bezogene Begriffe .....	20
3.1.3 Auf den Messplatz bezogene Begriffe .....	22
3.1.4 Andere Begriffe .....	23
3.2 Abkürzungen .....	24
4 Grundlegende Konzepte .....	25
4.1 Allgemeines .....	25
4.2 Das Konzept des Antennenfaktors .....	25
4.3 Kalibrierverfahren für 30 MHz und darüber.....	26
4.3.1 Allgemeines.....	26
4.3.2 Mindestabstände von Antennen .....	26
4.3.3 Allgemeine Betrachtungen zum Drei-Antennen-Verfahren.....	27
4.3.4 Allgemeine Betrachtungen zum Norm-Messplatz-Verfahren.....	27
4.3.5 Allgemeine Betrachtungen zum Standardantennen-Verfahren .....	27
4.4 Messunsicherheiten bei Antennenkalibriermessungen .....	28
4.5 Zusammenfassung der Messverfahren zur Gewinnung des Antennenfaktors.....	28
5 Kalibrierverfahren für den Frequenzbereich 9 kHz bis 30 MHz .....	32
5.1 Kalibrierung von Monopolantennen .....	32
5.1.1 Allgemeines.....	32
5.1.2 Kalibrierung mit Hilfe des ECSM-Verfahrens.....	34
5.2 Kalibrierung von Rahmenantennen.....	40
5.2.1 Allgemeines.....	40
5.2.2 TEM-(Crawford-)Zellen-Verfahren .....	41
6 Frequenzen, Geräte und Funktionsprüfungen für Kalibrierungen bei oder oberhalb 30 MHz.....	44
6.1 Kalibrierfrequenzen .....	44
6.1.1 Kalibrierfrequenzbereiche und Schrittweiten der Frequenzerhöhungen .....	44
6.1.2 Übergangsfrequenz bei Hybridantennen .....	45
6.2 Anforderungen an die Messausrüstung für Antennenkalibrierungen.....	46
6.2.1 Arten von Messgeräten .....	46
6.2.2 Fehlanpassung.....	48

	Seite
6.2.3	Dynamikbereich und Wiederholpräzision von Messungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes..... 49
6.2.4	Signal-/Rauschabstand ..... 50
6.2.5	Antennenmaste und -kabel ..... 50
6.3	Funktionsprüfungen an zu kalibrierenden Antennen..... 51
6.3.1	Allgemeines ..... 51
6.3.2	Symmetrie einer Antenne ..... 51
6.3.3	Kreuzpolarisationsverhalten einer Antenne ..... 51
6.3.4	Richtdiagramm einer Antenne ..... 52
7	Grundlegende Kennwerte und Gleichungen, die den Verfahren zur Antennenkalibrierung oberhalb 30 MHz gemeinsam sind ..... 53
7.1	Zusammenfassung der Verfahren für Messungen des Antennenfaktors ..... 53
7.2	Messungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes ..... 53
7.2.1	Allgemeines ..... 53
7.2.2	Verfahren zur Messung der Einfügungsdämpfung des Messplatzes und der Messplatzdämpfung ..... 53
7.2.3	Gemeinsame Beiträge zur Unsicherheit der Messung der Einfügungsdämpfung des Messplatzes ..... 55
7.3	Grundlegende Gleichungen für die Berechnung des Antennenfaktors aus Messungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes oder der Messplatzdämpfung ..... 57
7.3.1	Aus Messungen der Einfügungsdämpfung des Messplatzes erhaltener Antennenfaktor ..... 57
7.3.2	Zusammenhang zwischen dem Antennenfaktor und der Einfügungsdämpfung des Messplatzes bei Freiraum-Kalibrierplätzen ..... 57
7.3.3	Zusammenhang zwischen dem Antennenfaktor und der Einfügungsdämpfung des Messplatzes bei Kalibrierplätzen mit metallischer Bodenfläche ..... 58
7.4	Gleichungen für den Antennenfaktor und die Messunsicherheiten bei Nutzung des Drei-Antennen-, des Norm-Messplatz- und des Standardantennen-Verfahrens ..... 59
7.4.1	Drei-Antennen-Verfahren ..... 59
7.4.2	Norm-Messplatz-Verfahren ..... 64
7.4.3	Standardantennen-Verfahren ..... 67
7.5	Kennwerte für die Festlegung des Phasenzentrums einer Antenne und dessen Lage ..... 69
7.5.1	Allgemeines ..... 69
7.5.2	Bezugsposition und Phasenzentren bei LPDA- und Hybridantennen ..... 70
7.5.3	Phasenzentren bei Hybridantennen ..... 73
8	Einzelheiten des Drei-Antennen-, Standardantennen- und Norm-Messplatz-Kalibrierverfahrens für Frequenzen von 30 MHz und darüber ..... 75
8.1	Allgemeines ..... 75
8.2	Betrachtungen zu Kalibrierungen des Antennenfaktors mit Hilfe des Drei-Antennen-Verfahrens ..... 75
8.2.1	Allgemeine Betrachtungen ..... 75
8.2.2	Betrachtungen zum Kalibrierplatz und zum Antennenaufbau zur Nutzung mit dem Drei-Antennen-Verfahren ..... 75

	Seite
8.2.3	Kennwerte der Antennen in einer Freiraumumgebung oder auf einem Messplatz mit metallischer Bodenfläche ..... 77
8.2.4	Validierung des Kalibrierverfahrens ..... 78
8.3	Betrachtungen zur Kalibrierung des Antennenfaktors mit Hilfe des Standardantennen-Verfahrens ..... 79
8.3.1	Allgemeine Betrachtungen und für Kalibrierungen mit Hilfe des Standardantennen-Verfahrens genutzte Messplätze ..... 79
8.3.2	Kalibrierverfahren und Antennenanordnungen für die Ermittlung des Freiraum-Antennenfaktors mit Hilfe des Standardantennen-Verfahrens ..... 80
8.3.3	Kennwerte von Standardantennen ..... 81
8.4	Kalibrierung mit Hilfe des Norm-Messplatz-Verfahrens auf einem Messplatz mit elektrisch leitender Bodenfläche im Bereich von 30 MHz bis 1 GHz ..... 82
8.4.1	Allgemeine Betrachtungen und für Kalibrierungen mit Hilfe des Norm-Messplatz-Verfahrens genutzte Messplätze ..... 82
8.4.2	Durchführung der Kalibrierung mit Hilfe des Norm-Messplatz-Verfahrens ..... 83
8.4.3	Berechnung des Freiraum-Antennenfaktors ..... 83
8.4.4	Unsicherheiten des mit Hilfe des Norm-Messplatz-Verfahrens bestimmten Freiraum-Antennenfaktors ..... 84
9	Kalibrierverfahren für besondere Antennenarten für Frequenzen von 30 MHz und darüber ..... 85
9.1	Allgemeines ..... 85
9.2	Kalibrierung von bikonischen und Hybridantennen in einer Freiraumumgebung im Frequenzbereich von 30 MHz bis 300 MHz und von abgestimmten Dipolen im Frequenzbereich von 60 MHz bis 1 000 MHz ..... 86
9.2.1	Allgemeine Betrachtungen und Anforderungen an den Kalibrierplatz ..... 86
9.2.2	Durchführung der Kalibrierung mit dem und Antennenaufbau beim Standardantennen-Verfahren ..... 86
9.2.3	Unsicherheiten des mit Hilfe des Standardantennen-Verfahrens bestimmten Freiraum-Antennenfaktors ..... 87
9.2.4	Antennenaufbau zur Verwendung beim Drei-Antennen-Verfahren (Alternative) ..... 90
9.3	Kalibrierung von bikonischen Antennen (30 MHz bis 300 MHz) und von Hybridantennen unter Verwendung des Standardantennen-Verfahrens und vertikaler Polarisation auf einem Messplatz mit leitender Bodenfläche ..... 90
9.3.1	Allgemeine Betrachtungen und Anforderungen an den Kalibrierplatz ..... 90
9.3.2	Durchführung der Kalibrierung und Antennenaufbau ..... 91
9.3.3	Unsicherheiten des mit Hilfe des Standardantennen-Verfahrens bestimmten Freiraum-Antennenfaktors ..... 92
9.4	Kalibrierung von LPDA-Antennen, Hybridantennen und Hornantennen in einer Freiraumumgebung, 200 MHz bis 18 GHz ..... 93
9.4.1	Allgemeine Betrachtungen und Kalibriermessplatz für eine Freiraumumgebung ..... 93
9.4.2	Kalibrierung unter Verwendung des Drei-Antennen-Verfahrens ..... 95
9.4.3	Antennenaufbau zur Nutzung mit dem Standardantennen-Verfahren ..... 97
9.4.4	Alternativer Antennenaufbau zur Nutzung auf Messplätzen, deren Bodenfläche mit Absorbieren ausgekleidet ist ..... 97
9.5	Kalibrierung von Horn- und LPDA-Antennen in einem Vollabsorberraum, 1 GHz bis 18 GHz ..... 98

	Seite
9.5.1 Kalibrierung unter Verwendung des Drei-Antennen-Verfahrens.....	98
9.5.2 Kalibrierung und Antennenaufbau für das Drei-Antennen-Verfahren .....	102
Anhang A (informativ) Hintergrundinformationen und Begründung für die Verfahren der Antennenkalibrierung.....	103
A.1 Begründung für die Notwendigkeit mehrerer Kalibrierverfahren und die Verwendung eines Messplatzes mit leitender Bodenfläche.....	103
A.2 Besondere Maßnahmen für die Kalibrierung von rundstrahlenden Antennen .....	105
A.2.1 Allgemeines .....	105
A.2.2 Schwierigkeiten bei der Kalibrierung von rundstrahlenden Antennen .....	105
A.2.3 Minimierung der Reflexionen von Antennenvorrichtungen und der Abstrahlung von Leitungen .....	105
A.2.4 Feldüberhöhung und Aufbau der Monokonus-Antenne bei der Kalibrierung von bikonischen Antennen für die vertikale Polarisierung.....	107
A.2.5 Verwendung von horizontaler oder vertikaler Polarisierung in einem Vollabsorberraum .....	108
A.2.6 Substitution in dem Fall, dass die Standardantenne vom gleichen Modell wie die zu kalibrierende Antenne ist.....	108
A.3 Kalibrierungen unter Verwendung von berechenbaren Breitband-Dipolantennen .....	108
A.3.1 Nachteile von abgestimmten Dipolantennen.....	108
A.3.2 Vorteile von berechenbaren Breitband-Dipolantennen .....	109
A.3.3 Nachteile von berechenbaren Breitband-Dipolantennen .....	109
A.4 Begründung für den Freiraum-Antennenfaktor und für die Übergangsfrequenz von bikonischen zu LPDA-Antennen.....	109
A.4.1 Begründung für den Freiraum-Antennenfaktor .....	109
A.4.2 Übergangsfrequenz von bikonischen zu LPDA-Antennen .....	110
A.4.3 Bauformen von bikonischen Strahlungselementen.....	111
A.5 Quellen erhöhter Unsicherheit bei der Messung des Freiraum-Antennenfaktors mit Hilfe des Norm-Messplatz-Verfahrens .....	111
A.6 Kalibrierung von LPDA-Antennen unter Verwendung von kleineren Abständen .....	114
A.6.1 Kalibrierung von LPDA-Antennen unter Verwendung von kleineren Abständen .....	114
A.6.2 Korrektur der elektrischen Feldstärke, um die Lage des Phasenzentrums der LPDA-Antenne zu berücksichtigen.....	115
A.7 Kreuzpolarisationsunterdrückung bei LPDA-Antennen.....	116
A.8 Hinweise zur Messausrüstung .....	117
A.8.1 Signal-/Rauschabstand .....	117
A.8.2 Eintauchtiefe des Stifts des Steckverbinders .....	119
A.8.3 Wirkung von zusätzlichen Anpassungsgliedern bei einer „Kabeldurchgangs“Messung.....	119
A.8.4 Kompressionspegel .....	120
A.8.5 Funktion der Erhöhung der Sendeleistung oberhalb 6 GHz .....	120
A.8.6 Frequenzerhöhung zur Erkennung von Resonanzen .....	120
A.8.7 Rückflussdämpfung oder Spannungs-Stehwellenverhältnis.....	121
A.9 Unsicherheitsbetrachtungen.....	121
A.9.1 Allgemeines .....	121

	Seite
A.9.2	Für den Freiraum-Antennenfaktor erreichbare Unsicherheiten ..... 121
A.9.3	Unsicherheiten von Dipolen über Bodenfläche ..... 122
A.9.4	Verifizierung der Unsicherheit durch Vergleich von Verfahren ..... 122
Anhang B (normativ) Kalibrierung von bikonischen Antennen und abgestimmten Dipolantennen über einer Bodenfläche unter Verwendung des Drei-Antennen- und des Norm-Messplatz-Verfahrens ..... 124	
B.1	Allgemeines ..... 124
B.2	Eigenschaften von bikonischen Antennen und Dipolantennen ..... 124
B.3	Frequenzen ..... 125
B.4	Messung des höhen- und polarisationsabhängigen Antennenfaktors $F_a(h,p)$ von bikonischen Antennen und abgestimmten Dipolantennen und Ableitung des Freiraum-Antennenfaktors $F_a$ durch Mittelung von $F_a(h,p)$ im Bereich von 30 MHz bis 300 MHz ..... 125
B.4.1	Allgemeines ..... 125
B.4.2	Messung von $F_a(h,H)$ mit Hilfe des Norm-Messplatz-Verfahrens und Ableitung von $F_a$ ..... 125
B.4.3	Messung von $F_a(h,H)$ mit Hilfe des Drei-Antennen-Verfahrens und Ableitung von $F_a$ ..... 129
B.5	Messung des Freiraum-Antennenfaktors $F_a$ von hoch über einer leitenden Bodenfläche angeordneten abgestimmten Dipolantennen im Frequenzbereich von 30 MHz bis 1 000 MHz ..... 131
B.5.1	Allgemeines ..... 131
B.5.2	Messung von $F_a$ unter Verwendung des Standardantennen-Verfahrens ..... 132
B.5.3	Messung von $F_a$ unter Verwendung des Drei-Antennen-Verfahrens ..... 135
Anhang C (informativ) Begründung für die bei der Antennenkalibrierung benutzten Gleichungen und relevante Informationen zu Antenneneigenschaften für Unsicherheitsanalysen im Frequenzbereich von 30 MHz bis 1 GHz ..... 137	
C.1	Allgemeines ..... 137
C.2	Antennenfaktor und Antennengewinn ..... 137
C.2.1	Zusammenhang zwischen dem Antennenfaktor und -gewinn von Antennen in einer Freiraum-Umgebung ..... 137
C.2.2	Zusammenhang zwischen dem Antennenfaktor und -gewinn von Monopolantennen über einer großen Bodenfläche ..... 139
C.3	Gleichungen für die Einfügungsdämpfung zwischen Antennen ..... 139
C.3.1	Auf einem Freiraum-Kalibrierplatz gemessene Einfügungsdämpfung des Messplatzes ..... 139
C.3.2	Auf einem Messplatz mit metallischer Bodenfläche gemessene Einfügungsdämpfung des Messplatzes ..... 142
C.3.3	Auf einem Messplatz mit metallischer Bodenfläche gemessene Messplatzdämpfung ..... 143
C.4	Durch Nahfeldeinflüsse verursachter Unsicherheitsbeitrag ..... 145
C.5	Unsicherheitsbeitrag aufgrund von Nahfeldkopplung der Antennen ..... 146
C.6	Unsicherheitsbeitrag aufgrund der Reflexion von der Bodenfläche ..... 147
C.6.1	Verkopplung mit dem Spiegelbild in der Bodenfläche ..... 147
C.6.2	Korrekturfaktoren $\Delta F_{a,SSM}$ für den Antennenfaktor $F_a$ von bikonischen Antennen ..... 153
C.7	Unsicherheitsbeitrag aufgrund der Strahlungscharakteristik der Antenne ..... 155

	Seite
C.7.1 Allgemeines .....	155
C.7.2 Bikonische Antennen .....	155
C.7.3 LPDA-Antennen .....	156
C.7.4 Hybridantennen .....	157
C.7.5 Hornantennen und LPDA-Antennen im Bereich von 1 GHz bis 18 GHz .....	158
Anhang D (informativ) Hintergrundinformationen und Begründung für die Antennenkalibrierung bei Frequenzen oberhalb 1 GHz .....	161
D.1 Fehler aufgrund von Fehlanpassung .....	161
D.2 Gegenseitige Verkopplung zwischen Antennen und Reflexionen in Messräumen .....	161
D.3 Antennenabstand und Phasenzentrum .....	162
D.4 Beispiel für den Gewinn einer Doppelsteg-Hornantenne in 1 m Abstand .....	163
Anhang E (informativ) Anmerkungen bei den Unsicherheitsbilanzen .....	165
E.1 Allgemeines .....	165
E.2 Anmerkungen bei den Messunsicherheitsbilanzen .....	165
Anhang F (informativ) Unsicherheiten aus der Fehlanpassung eines zwischen einem Sende- und einem Empfangsanschluss angeschlossenen Zweitor-Geräts .....	175
Anhang G (informativ) Verifikationsverfahren für die Kalibrierung von Monopolantennen und Unsicherheitsanalyse für das Äquivalente-Kapazitäts-Substitutionsverfahren .....	177
G.1 Verifikationsverfahren für die Kalibrierung von Monopolantennen mit Hilfe des Verfahrens der ebenen Welle von 5 MHz bis 30 MHz .....	177
G.1.1 Kalibrierverfahren .....	177
G.1.2 Ermittlung der Unsicherheit der Kalibrierung von Monopolantennen mit Hilfe des Verfahrens der ebenen Welle .....	178
G.2 Unsicherheitsanalyse des ECSM-Verfahrens .....	179
G.2.1 Wirkung einer Stablänge, die länger als $\lambda/8$ ist .....	179
G.2.2 Einfluss auf den Antennenfaktor durch eine auf ein Stativ montierte Monopolantenne .....	181
G.2.3 Monopolantenne, die ein elektrisches Feld empfängt .....	182
G.2.4 Äquivalente-Kapazitäts-Substitutionsverfahren (ECSM-Verfahren) .....	182
G.2.5 Unsicherheiten, die mit dem Äquivalente-Kapazitäts-Substitutionsverfahren (ECSM- Verfahren) verbunden sind .....	184
G.2.6 Eine Alternative zur künstlichen Antenne, für die $F_{ac} = U_D - U_L$ ist .....	186
Anhang H (informativ) Helmholtzspulen-Verfahren für die Kalibrierung von Rahmenantennen bis 150 kHz .....	187
H.1 Messverfahren .....	187
H.2 Unsicherheiten .....	189
Anhang I (normativ) Verfahren für die Messung der Strahlungsdiagramme von Antennen im Frequenzbereich oberhalb 1 GHz einschließlich einer Abschätzung der Messunsicherheit .....	191
I.1 Allgemeines .....	191
I.2 Messaufbau .....	192
I.3 Messverfahren .....	193
I.4 Prüfbericht .....	197

	Seite
I.5 Unsicherheitsbilanz .....	197
Literaturhinweise .....	199
<b>Bilder</b>	
Bild 1 – Aufbau zur Bestimmung des Antennenfaktors unter Verwendung eines Netzwerkanalysators .....	36
Bild 2 – Aufbau zur Bestimmung des Antennenfaktors unter Verwendung eines Messempfängers und eines Signalgenerators .....	37
Bild 3 – Beispiel für die Montage einer Kapazität in der künstlichen Antenne .....	38
Bild 4 – Blockschaltbild des Messaufbaus in einer TEM-Zelle für passive Rahmenantennen .....	42
Bild 5 – Blockschaltbild des Messaufbaus in einer TEM-Zelle für aktive Rahmenantennen .....	43
Bild 6 – Beispiel für Resonanzspitzen aufgrund von schlechten Verbindungen zwischen den Elementen einer bikonischen Antenne bei Verwendung von schrittweisen Erhöhungen um 2 MHz .....	45
Bild 7 – Aufbau der Antenne für die Messung der Einfügungsdämpfung des Messplatzes auf einem Freiraum-Kalibrierplatz .....	54
Bild 8 – Aufbau der Antenne für die Messung der Einfügungsdämpfung des Messplatzes und der Messplatzdämpfung auf einem Kalibrierplatz mit Bodenfläche .....	55
Bild 9 – Aufbau der Antenne für das Drei-Antennen-Verfahren auf einem Freiraum-Kalibrierplatz .....	60
Bild 10 – Aufbau der Antenne für das Drei-Antennen-Verfahren auf einem Kalibrierplatz mit metallischer Bodenfläche .....	63
Bild 11 – Aufbau der Antenne für das Norm-Messplatz-Verfahren .....	65
Bild 12 – Aufbau der Antenne für das Standardantennen-Verfahren auf einem Kalibrierplatz mit metallischer Bodenfläche .....	68
Bild 13 – Abstand bezogen auf das Phasenzentrum einer LPDA-Antenne .....	71
Bild 14 – LPDA-Antenne mit kurvenförmig sich verjüngender Geometrie .....	73
Bild 15 – Abstand bezogen auf das Phasenzentrum von Hornantennen (für Einzelheiten siehe [49]) .....	74
Bild 16 – Schematische Darstellung einer Doppelsteg-Hornantenne, die die relativen Positionen des Feldpunkts und des Phasenzentrums der Doppelsteg-Hornantenne zeigt .....	75
Bild 17 – Aufbau der bikonischen Antenne in vertikaler Polarisierung für das Standardantennen-Verfahren, wobei die zum Paar gehörende Monokonus-Antenne und ein Beispiel für eine zu kalibrierende bikonische Antenne mit zusammenfaltbaren Elementen gezeigt wird .....	92
Bild 18 – Aufbau für die Kalibrierung von in großer Höhe angeordneter LPDA- und Hybridantennen .....	95
Bild 19 – Anordnung von LPDA-Antennen oberhalb Absorbern .....	98
Bild 20 – Anordnung zur Messung der Übertragung unter Verwendung eines Netzwerkanalysators .....	100
Bild A.1 – Darstellung der Winkel der entgegengesetzten elektromagnetischen Strahlen von der bei der Höhenvariation verwendeten LPDA-Antenne zu der in fester Höhe verwendeten LPDA-Antenne und zur Bodenfläche .....	113
Bild A.2 – Antennenfaktor einer bikonischen Antenne mit 200-Ω-Symmetrierglied (Balun), gemessen mit dem Verfahren mit vertikaler Polarisierung nach 9.3 und mit dem Norm-Messplatz-Verfahren nach 8.4 ohne Korrektur .....	114
Bild A.3 – Antennenfaktor einer bikonischen Antenne mit 200-Ω-Symmetrierglied (Balun), gemessen mit dem Verfahren mit vertikaler Polarisierung nach 9.3 und mit dem Norm-Messplatz-Verfahren nach 8.4 mit Korrektur .....	114
Bild A.4 – Abstand bezogen auf das Phasenzentrum einer LPDA-Antenne .....	116

	Seite
Bild A.5 – Statistische Eigenschaften von mehrfachen Messungen von $S_{21}$ (Minimal-, Maximal- und Mittelwert) .....	118
Bild A.6 – Standardabweichung von $S_{21}$ .....	118
Bild A.7 – Normalisierte Standardabweichung von $S_{21}$ .....	119
Bild C.1 – Vereinfachtes Modell einer Empfangsantenne .....	138
Bild C.2 – Messung der Einfügungsdämpfung für die Antennenkalibrierung auf einem Freiraum-Kalibrierplatz.....	140
Bild C.3 – Messung der Einfügungsdämpfung für die Antennenkalibrierung auf einem Kalibrierplatz mit metallischer Bodenfläche .....	142
Bild C.4 – Vergleich der durch Gleichung (C.17) gegebenen Feldstärke mit der durch Gleichung (C.31) gegebenen Feldstärke im Nahfeldbereich .....	145
Bild C.5 – Theoretische Berechnungen der Einflüsse auf den durch das Drei-Antennen-Verfahren gegebenen Antennenfaktor aufgrund von Nahfeldkopplung.....	147
Bild C.6 – Abweichung des Antennenfaktors vom Freiraumwert $F_a$ , verursacht durch die gegenseitige Verkopplung mit dem Spiegelbild in einer metallischen Bodenfläche (theoretische Ergebnisse).....	149
Bild C.7 – Variation des höhenabhängigen Antennenfaktors $F_a(h,H)$ von bikonischen Antennen mit 50- $\Omega$ -Symmetrierglied (Balun) mit der Höhe im Bereich von 30 MHz bis 320 MHz mit einer Änderung der Höhe über einer metallischen Bodenfläche von 1 m bis 4 m in Schritten von 0,5 m.....	150
Bild C.8 – Auf den Freiraum-Antennenfaktor normalisierter Antennenfaktor aus Bild C.7.....	150
Bild C.9 – Variation des höhenabhängigen Antennenfaktors $F_a(h,H)$ von bikonischen Antennen mit 200- $\Omega$ -Symmetrierglied (Balun) mit der Höhe im Bereich von 30 MHz bis 320 MHz mit einer Änderung der Höhe über einer metallischen Bodenfläche von 1 m bis 4 m in Schritten von 0,5 m.....	151
Bild C.10 – Diagramm eines dreieckförmigen Abschnitts eines bikonischen Antennenelements .....	154
Bild C.11 – Beispiele für die Strahlungscharakteristiken (relativer realisierter Gewinn) von zwei Beispielen von bikonischen Antennen, verglichen mit der idealen abgestimmten Halbwellen-Dipolantenne .....	156
Bild C.12 – Beispiele für die Strahlungscharakteristiken (relativer realisierter Gewinn) von drei Beispielen von LPDA-Antennen, verglichen mit der idealen abgestimmten Halbwellen-Dipolantenne .....	157
Bild C.13 – Beispiele für die Strahlungscharakteristiken (relativer realisierter Gewinn) eines Beispiels einer Hybridantenne, verglichen mit der idealen abgestimmten Halbwellen-Dipolantenne .....	158
Bild C.14 – Beispiel für die Strahlungscharakteristik einer klassischen Doppelsteg-Hornantenne.....	159
Bild C.15 – Beispiel für die Strahlungscharakteristik einer neuartigen Doppelsteg-Hornantenne .....	159
Bild C.16 – Beispiel für die Strahlungscharakteristik einer klassischen LPDA-Antenne .....	160
Bild C.17 – Beispiel für die Strahlungscharakteristik einer LPDA-Antenne vom V-Typ .....	160
Bild D.1 – Relative Positionen der Phasenzentren einer Doppelsteg-Hornantenne und einer LPDA-Antenne .....	162
Bild D.2 – Ein Übertragungssystem zwischen einer Hornantenne und einer LPDA-Antenne.....	163
Bild D.3 – Bei 4,5 GHz gemessene Antennenfaktoren einer Doppelsteg-Hornantenne .....	163
Bild D.4 – Graphische Darstellung des realisierten Gewinns einer Doppelsteg-Hornantenne in 1 m Abstand .....	164



	Seite
Bild E.1 – Vergleich der gemessenen und der vorhergesagten Einfügungsdämpfung des Messplatzes für eine berechenbare Dipolantenne – 60-MHz-Element .....	168
Bild E.2 – Vergleich der gemessenen und der vorhergesagten Einfügungsdämpfung des Messplatzes für eine berechenbare Dipolantenne – 180-MHz-Element .....	169
Bild E.3 – Reflexionsgrad von Absorbermaterial für Messkammern.....	173
Bild E.4 – Laser-Ausrichtungssystem.....	174
Bild F.1 – Signalfluss über ein Zweitor-Gerät zwischen einem Sende- und einem Empfangsanschluss .....	175
Bild F.2 – Signalflossreduktion .....	175
Bild G.1 – Konstruktionszeichnung, die zeigt, wie die Verbindung des Messingstabs mit dem N-Steckverbinder-Anschluss hergestellt wird .....	178
Bild G.2 – Graphische Darstellung des Betrags des Verhältnisterms $\tan()$ in Gleichung (4) in 5.1.2.2.....	180
Bild G.3 – Graphische Darstellung von Gleichung (4) in 5.1.2.2 – Eigenkapazität $C_a$ einer Monopolantenne mit einer Stablänge von 1 m .....	180
Bild G.4 – Graphische Darstellung von Gleichung (5) in 5.1.2.2 – Höhenkorrekturfaktor $L_h$ .....	181
Bild G.5 – Kalibrieraufbau, bestehend aus einer bikonischen und einer Rahmenantenne sowie einer angehobenen Monopolantenne mit vertikaler Speiseleitung .....	182
Bild G.6 – Darstellung einer Ersatzschaltung für eine Monopolantennensystem .....	182
Bild G.7 – Kalibrierung einer Monopolantenne unter Verwendung des ECSM-Verfahrens.....	183
Bild G.8 – Ersatzschaltung für das ECSM-Verfahren .....	183
Bild G.9 – Darstellung der vereinfachten Ersatzschaltung für Bild G.8.....	183
Bild G.10 – Schaltung für eine künstliche Antenne, die die Wirkungen der effektiven Antennenhöhe $h_e$ nachbildet.....	186
Bild H.1 – Zeichnung des Aufbaus beim Helmholtzspulen-Verfahren .....	187
Bild H.2 – Variation des $H/I$ über die zentrale Ebene zwischen den Spulen .....	189
Bild I.1 – Typischer Aufbau für die Messung des Strahlungsdiagramms einer Antenne .....	192
Bild I.2 – Definition von $d_1$ .....	193
Bild I.3 – Definition von $d_2$ .....	193
Bild I.4 – Während $d_1$ konstant gehalten wird, wird $d_2$ in Schritten von $x$ cm erhöht.....	194
Bild I.5 – Während $d_2$ konstant gehalten wird, wird $d_1$ in Schritten von $x$ cm erhöht.....	195
Bild I.6 – Abstands- und Winkelkorrektur .....	196
<b>Tabellen</b>	
Tabelle 1 – Zusammenfassung der Kalibrierverfahren für den Antennenfaktor $F_a$ oberhalb 30 MHz .....	30
Tabelle 2 – Kalibrierverfahren für den Bereich oberhalb 30 MHz nach Abschnittsnummern sortiert .....	32
Tabelle 3 – Schrittweiten für die Frequenzerhöhung bei der Kalibrierung von Monopolantennen .....	33
Tabelle 4 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für den Antennenfaktor einer Monopolantenne, die mit Hilfe des ECSM-Verfahrens unter Verwendung von Gleichung (9) kalibriert wurde .....	40
Tabelle 5 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für den Antennenfaktor einer Rahmenantenne, die in einer TEM-Zelle gemessen wurde .....	43
Tabelle 6 – Schrittweiten für die Frequenzerhöhung bei der Kalibrierung von Breitbandantennen.....	44

	Seite
Tabelle 7 – Beispiel für eine Unsicherheitsbilanz für die gemeinsamen Unsicherheitskomponenten einer Messung der Einfügungsdämpfung des Messplatzes, abgeleitet aus Gleichung (20) .....	56
Tabelle 8 – Zur Bestimmung der Phasenzentren der Abschnitte A und B benutzte Kennwerte.....	73
Tabelle 9 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für den Freiraum-Antennenfaktor einer mit Hilfe des Norm-Messplatz-Verfahrens gemessenen horizontal polarisierten bikonischen Antenne .....	84
Tabelle 10 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für den mit Hilfe des Standardantennen-Verfahrens in einem Vollabsorberraum gemessenen Antennenfaktor einer bikonischen Antenne im Frequenzbereich von 30 MHz bis 300 MHz .....	88
Tabelle 11 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für den mit Hilfe des Standardantennen-Verfahrens in einem Vollabsorberraum unter Freiraumbedingungen gemessenen Antennenfaktor einer abgestimmten Dipolantenne im Frequenzbereich oberhalb 60 MHz, wobei ein berechenbarer abgestimmter Dipol als Standardantenne benutzt wurde .....	89
Tabelle 12 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für den mit Hilfe des Standardantennen-Verfahrens für die vertikale Polarisation gemessenen Antennenfaktor einer bikonischen Antenne im Frequenzbereich 30 MHz bis 300 MHz .....	92
Tabelle 13 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für den mit Hilfe des Drei-Antennen-Verfahrens in einer Höhe von 4 m gemessenen Freiraum-Antennenfaktor von LPDA- und Hybridantennen für den Frequenzbereich von 200 MHz bis 3 GHz .....	96
Tabelle 14 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für den mit Hilfe des Drei-Antennen-Verfahrens für einen Abstand von 3 m im freien Raum gemessenen Freiraum-Antennenfaktor für den Frequenzbereich oberhalb 1 GHz .....	101
Tabelle A.1 – Beispiele für die Eintauchtiefen von „männlichen“ Steckverbinderstiften und „weiblichen“ Buchsen und zugehörige Grenzabweichungen unter Verwendung einer Lehre für Eintauchtiefen von Steckverbinderstiften vom Typ N .....	119
Tabelle A.2 – Eigenschaften eines typischen Adapters vom Typ N.....	120
Tabelle B.1 – Antennenaufbau für die Messung von abgestimmten Dipolantennen mit Hilfe des Norm-Messplatz-Verfahrens und Mittelung von $F_a(h,H)$ .....	126
Tabelle B.2 – Antennenaufbau für die Messung von bikonischen Antennen mit Hilfe des Norm-Messplatz-Verfahrens und Mittelung von $F_a(h,H)$ .....	126
Tabelle B.3 – Beispiel für eine Unsicherheitsbilanz für den mit Hilfe des Norm-Messplatz-Verfahrens gemessenen höhenabhängigen Antennenfaktor $F_a(h,H)$ einer bikonischen Antenne für den Frequenzbereich 30 MHz bis 300 MHz .....	127
Tabelle B.4 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für den mit Hilfe des Norm-Messplatz-Verfahrens und Mittelung von $F_a(h,H)$ erhaltenen Freiraum-Antennenfaktor $F_a$ einer bikonischen Antenne für den Frequenzbereich unterhalb 300 MHz .....	129
Tabelle B.5 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für den mit Hilfe des Drei-Antennen-Verfahrens unter Verwendung des in Tabelle B.2 festgelegten Antennenaufbaus erhaltenen höhenabhängigen Antennenfaktor $F_a(h,H)$ einer bikonischen Antenne .....	130
Tabelle B.6 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für den mit Hilfe des Drei-Antennen-Verfahrens und Mittelung von $F_a(h,H)$ erhaltenen Freiraum-Antennenfaktor $F_a$ einer bikonischen Antenne für den Frequenzbereich unterhalb 300 MHz .....	131
Tabelle B.7 – Antennenaufbau für das Standardantennen-Verfahren zur Bestimmung des Freiraum-Antennenfaktors $F_a$ von abgestimmten Dipolantennen bei spezifischen Frequenzen im Bereich von 30 MHz bis 1 000 MHz .....	132
Tabelle B.8 – Beispiel für eine Unsicherheitsbilanz für den mit Hilfe des Standardantennen-Verfahrens unter Verwendung der Antennenaufbauten nach Tabelle B.7 erhaltenen Freiraum-Antennenfaktor $F_a$ einer abgestimmten Dipolantenne .....	134

Tabelle B.9 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für den mit Hilfe des Drei-Antennen-Verfahrens unter Verwendung der Antennenaufbauten nach Tabelle B.7 erhaltenen Freiraum-Antennenfaktor $F_a$ einer abgestimmten Dipolantenne .....	135
Tabelle C.1 – Beispiele für den Höhenbereich $h$ der Antenne für horizontale Polarisation, bei dem der Fehler $\leq 0,3$ dB ist.....	152
Tabelle C.2 – Korrekturfaktoren $\Delta F_{a,SSM}$ zur Konvertierung des mit dem Norm-Messplatz-Verfahren gemessenen Antennenfaktors in den Freiraumantennenfaktor $F_a$ .....	153
Tabelle C.3 – Mechanische Abmessungen für die bikonische Antenne [52].....	154
Table G.1 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für den mit Hilfe des Standardantennen-Verfahrens gemessenen $F_a$ von Monopolantennen .....	179
Tabelle H.1 – Beispiel für eine Messunsicherheitsbilanz für den mit Hilfe des Helmholtzspulen-Verfahrens gemessenen Antennenfaktor $F_{aH}$ einer Rahmenantenne im Frequenzbereich 50 kHz bis 150 kHz .....	190
Tabelle I.1 – Korrektur des Winkels $\alpha$ für einen Abstand von $d_1 = 3$ m (Bezugnahme auf Bild I.6) .....	196
Tabelle I.2 – Beispielhafte Messunsicherheitsbilanz für die Messung des Antennendiagramms oberhalb 1 GHz .....	197