

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	1
1.1 Frequenzbereiche .....	1
1.2 Elektromagnetische Grundgrößen .....	2
1.3 Antennen und Strahlungsfelder im Überblick .....	4
<b>2 Mathematische Grundlagen</b> .....	7
2.1 Vektorrechnung .....	7
2.1.1 Skalarprodukt .....	8
2.1.2 Vektorprodukt .....	9
2.1.3 Spatprodukt .....	10
2.2 Vektoranalysis .....	12
2.2.1 Differenziation von skalaren Feldern .....	12
2.2.2 Differenziation von Vektorfeldern .....	15
2.2.3 Rechnen mit dem Nabla-Operator .....	19
2.2.4 Integralsätze der Vektoranalysis .....	22
2.2.5 Helmholtzsches Theorem .....	25
2.3 Koordinatensysteme .....	26
2.4 Übungen .....	28
<b>3 Grundlagen der Elektrodynamik</b> .....	29
3.1 Energieerhaltungssatz .....	29
3.1.1 Darstellung im Zeitbereich .....	29
3.1.2 Darstellung im Frequenzbereich .....	31
3.2 Maxwellsche Gleichungen .....	32
3.2.1 Grundgleichungen .....	32
3.2.2 Einteilung der elektromagnetischen Felder .....	34
3.2.3 Prinzip von der Ladungserhaltung .....	34
3.2.4 Quellen der Vektorfelder .....	36
3.3 Wellengleichung .....	38
3.4 Helmholtz-Gleichung .....	39
3.5 Wellenausbreitung in anisotropen Medien .....	41
3.6 Rand- und Stetigkeitsbedingungen .....	42
3.7 Relativitätsprinzip .....	44
3.7.1 Lorentz-Transformation .....	45
3.7.2 Feld einer gleichförmig bewegten Ladung .....	50
3.8 Strahlung beschleunigter Elektronen .....	52
3.8.1 Strahlungsleistung .....	54
3.8.2 Linear beschleunigte Punktladung .....	55
3.8.3 Kreisförmig beschleunigte Punktladung .....	56
3.9 Übungen .....	57
<b>4 Ebene Wellen</b> .....	58
4.1 Ebene Wellen im Dielektrikum .....	58
4.1.1 Lösung der Helmholtz-Gleichung .....	58

4.1.2 Geschwindigkeitsdefinitionen .....	62
4.2 Ebene Wellen im Leiter .....	67
4.3 Ebene Wellen im Supraleiter .....	72
4.3.1 Londonsche Gleichungen .....	73
4.3.2 Telegraf- und Helmholtz-Gleichung .....	74
4.4 Leistungstransport .....	78
4.5 Übungen .....	80
<b>5 Ausbreitungseffekte</b> .....	<b>81</b>
5.1 Polarisierung .....	81
5.2 Senkrechter Einfall auf eine ebene Trennfläche .....	85
5.2.1 Reflexions- und Durchlassfaktoren .....	86
5.2.2 Stehende Wellen .....	89
5.2.3 Leistungstransport .....	92
5.2.4 Strahlungsdruck .....	93
5.3 Radarreflexion an bewegten Objekten .....	94
5.3.1 Gleichförmig bewegter ebener Metallspiegel .....	94
5.3.2 Doppler-Effekt und Aberration .....	96
5.4 Schiefer Einfall auf eine ebene Trennfläche .....	99
5.4.1 Brechungsgesetz .....	99
5.4.2 Fresnelsche Formeln .....	103
5.4.3 Totaltransmission .....	107
5.4.4 Totalreflexion .....	113
5.5 Ebenes Drei- und Vierschichtenproblem .....	116
5.6 Beugung an einer metallischen Schirmkante .....	119
5.7 Übungen .....	121
<b>6 Wellenleiter</b> .....	<b>122</b>
6.1 Schwingungsformen in Hohlleitern .....	123
6.2 Rechteckhohlleiter .....	127
6.2.1 Eigenwellen .....	127
6.2.2 Hohlleiterschaltungen und Orthogonalentwicklung .....	136
6.3 Rundhohlleiter .....	141
6.3.1 Eigenwellen .....	141
6.3.2 Feldbilder .....	146
6.4 Besondere Hohlleitertypen .....	147
6.5 Hohlraumresonatoren .....	150
6.6 Koaxialleitung .....	151
6.6.1 Grundwelle .....	151
6.6.2 Höhere Wellentypen .....	153
6.7 Übungen .....	156
<b>7 Grundbegriffe der Antennentechnik</b> .....	<b>157</b>
7.1 Isotroper Strahler .....	157
7.2 Hertzscher Dipol als elektrischer Elementarstrahler .....	157
7.3 Kenngrößen von Antennen .....	159
7.3.1 Richtdiagramm .....	159
7.3.2 Richtfaktor und Gewinn .....	164

7.3.3 Äquivalenter Raumwinkel .....	166
7.3.4 Antennenwirkfläche .....	168
7.3.5 Polarisisation .....	172
7.4 Übungen .....	174
<b>8 Grundbegriffe von Strahlungsfeldern .....</b>	<b>175</b>
8.1 Grundgleichungen .....	175
8.2 Potenziallösung der Feldgleichungen .....	177
8.2.1 Magnetisches Vektorpotenzial .....	178
8.2.2 Elektrisches Vektorpotenzial .....	184
8.2.3 Darstellung der Feldstärken .....	185
8.3 Fernfeldnäherungen .....	188
8.3.1 Fresnel-Näherung .....	190
8.3.2 Fraunhofer-Näherung .....	191
8.3.3 Fernfeldabstand und Antennengewinn .....	194
8.3.4 Fernfelder und Fourier-Transformation .....	196
8.4 Ausstrahlungsbedingung .....	199
8.5 Kantenbedingung .....	200
8.6 Huygensches Prinzip .....	202
8.6.1 Vektorielle Formulierung .....	202
8.6.2 Skalare Formulierung .....	205
8.7 Kopolarisation und Kreuzpolarisation .....	210
8.8 Übungen .....	213
<b>9 Elementardipole und Rahmenantennen .....</b>	<b>214</b>
9.1 Elektrischer Elementarstrahler .....	214
9.1.1 Strahlungsfelder .....	215
9.1.2 Wellengeschwindigkeiten und Nahfeldablösung .....	222
9.2 Magnetischer Elementarstrahler .....	226
9.3 Kreisförmige Rahmenantenne beliebigen Umfangs .....	228
9.3.1 Vektorpotenzial eines kreisförmigen Ringstroms .....	229
9.3.2 Kreisförmige Rahmenantenne mit Umfang $U = n \lambda_0$ .....	232
9.3.3 Erweiterung auf beliebigen Umfang .....	234
9.4 Übungen .....	240
<b>10 Lineare Antennen .....</b>	<b>241</b>
10.1 Zylinderantenne .....	242
10.2 Dünne Linearantenne .....	243
10.2.1 Strahlungsfelder .....	243
10.2.2 Wanderwellenantenne (Langdrahtantenne) .....	252
10.2.3 Strahlungswiderstand .....	255
10.2.4 Verkürzungsfaktor .....	262
10.2.5 Richtfaktor und Gewinn .....	265
10.3 Übungen .....	268
<b>11 Gruppenantennen .....</b>	<b>269</b>
11.1 Gruppenfaktor bei räumlicher Anordnung .....	271
11.2 Lineare Gruppen .....	272
11.2.1 Gruppencharakteristik .....	272

11.2.2	Querstrahler.....	277
11.2.3	Längsstrahler.....	279
11.2.4	Richtfaktor linearer Gruppen.....	283
11.2.5	Kreuzdipol.....	286
11.2.6	Yagi-Uda-Antenne.....	287
11.2.7	Phasengesteuerte Gruppenantennen.....	289
11.2.8	Inhomogene Amplitudenbelegung.....	291
11.2.9	Verdünnte Gruppen.....	295
11.3	Ebene Gruppen.....	298
11.4	Antennen über Erde.....	299
11.5	Strahlungskopplung in ebenen Dipolgruppen.....	306
11.6	Übungen.....	308
<b>12</b>	<b>Breitbandantennen.....</b>	<b>309</b>
12.1	Doppelkonusantenne.....	309
12.1.1	Unendlich lange symmetrische Doppelkonusleitung.....	310
12.1.2	Symmetrische Doppelkonusantenne endlicher Länge.....	311
12.1.3	Näherungslösung bei kleinem Reflexionsfaktor.....	318
12.1.4	Doppelkonusantenne mit optimiertem Gewinn.....	323
12.2	Logarithmisch-periodische Antenne.....	324
12.3	Spiral- und Fraktalantennen.....	328
12.4	Übungen.....	330
<b>13</b>	<b>Aperturstrahler I (Hohlleiterantennen).....</b>	<b>331</b>
13.1	Prinzipien der Aperturstrahler.....	331
13.2	Ebene Apertur im freien Raum (Chu-Modell).....	333
13.3	Ebene Apertur im unendlichen ebenen Schirm (E-Feld-Modell).....	339
13.3.1	Hohlleiterstrahler.....	340
13.3.2	Richtfaktor und Flächenwirkungsgrad.....	345
13.4	Übungen.....	347
<b>14</b>	<b>Aperturstrahler II (Hornantennen).....</b>	<b>348</b>
14.1	Bauformen.....	348
14.2	Sektorhorn.....	348
14.3	Pyramidenhorn.....	352
14.4	Kegelhorn und Rillenhorn.....	358
14.4.1	Phasenfehler in der ebenen Hornapertur.....	358
14.4.2	Berechnungsverfahren.....	359
14.4.3	Optimale Bauweise.....	362
14.5	Übungen.....	364
<b>15</b>	<b>Aperturstrahler III (Linsenantennen).....</b>	<b>365</b>
15.1	Konvexe Verzögerungslinse.....	365
15.2	Konkave Beschleunigungslinse.....	368
15.3	Luneburg-Linse.....	369
15.4	Übungen.....	370
<b>16</b>	<b>Aperturstrahler IV (Reflektorantennen).....</b>	<b>371</b>
16.1	Bauformen.....	371

16.2 Mehrspiegelantennen.....	374
16.3 Entwurf einer Cassegrain-Antenne .....	375
16.4 Gewinnverlust durch Aperturabschattung .....	379
16.5 Gewinnverlust durch Fehler der Oberflächenkontur .....	380
16.6 Gewinnverlust durch inhomogene Amplitudenbelegung.....	384
16.7 Übungen .....	387
<b>17 Spezielle Antennenformen .....</b>	<b>388</b>
17.1 Streifenleitungsantenne .....	388
17.1.1 Grundlegende Entwurfsrichtlinien .....	388
17.1.2 Strahlungsfelder nach dem Cavity-Modell.....	391
17.1.3 Gruppenantennen in Streifenleitungstechnik.....	395
17.2 Schlitzantenne .....	397
17.3 Wendel- oder Helixantenne.....	401
17.4 Dielektrische Oberflächenwellenantenne .....	405
17.5 Übungen .....	407
<b>Anhang .....</b>	<b>408</b>
A Mathematische Formeln .....	408
A.1 Konstanten.....	408
A.2 Trigonometrische Beziehungen.....	408
A.3 Reihenentwicklungen für kleine Argumente .....	408
A.4 Asymptotische Darstellungen für große Argumente.....	409
A.5 Beziehungen zwischen Besselfunktionen .....	409
A.6 Nützliche Integrale .....	409
A.7 Lommelsche Funktionen mit einem Index und zwei Argumenten.....	410
A.8 Krummlinige orthogonale Koordinatensysteme .....	411
B Elektrotechnische Formeln .....	412
B.1 Abkürzungen .....	412
B.2 Grundgleichungen .....	412
B.3 Vektorpotenziale .....	412
B.4 Feldgrößen.....	412
B.5 Verschiedenes.....	412
C Formeln zum Antennendesign .....	413
C.1 Schlanke Dipolantennen im Freiraum mit Mittelpunktspeisung.....	413
C.2 Gruppencharakteristik linearer Antennengruppen .....	413
C.3 Strahlung einer linearen Belegung bzw. einer Rechteckapertur .....	414
C.4 Strahlung einer Kreisapertur.....	414
C.5 Ausbreitungskonstanten von Hohlleiterwellen .....	414
C.6 Hornstrahler mit Maximalgewinn bei fester Baulänge .....	415
C.7 Beam efficiency und pattern factor elektrisch großer Antennen.....	415
<b>Englische Übersetzungen wichtiger Fachbegriffe .....</b>	<b>416</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>417</b>
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>425</b>
<b>Personenverzeichnis.....</b>	<b>432</b>