

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Frequenzbereiche	1
1.2 Elektromagnetische Grundgrößen	2
1.3 Antennen und Strahlungsfelder im Überblick	4
2 Mathematische Grundlagen	8
2.1 Vektoralgebra	8
2.1.1 Skalarprodukt	9
2.1.2 Vektorprodukt	10
2.1.3 Spatprodukt	11
2.2 Vektoranalysis	13
2.2.1 Differenziation von skalaren Feldern	13
2.2.2 Differenziation von Vektorfeldern	16
2.2.3 Rechnen mit dem Nabla-Operator	20
2.2.4 Integralsätze der Vektoranalysis	23
2.2.5 Helmholtzsches Theorem	26
2.3 Koordinatensysteme	27
2.4 Übungen	29
3 Grundlagen der Elektrodynamik	30
3.1 Energieerhaltungssatz	30
3.1.1 Darstellung im Zeitbereich	30
3.1.2 Darstellung im Frequenzbereich	32
3.2 Maxwellsche Gleichungen	33
3.2.1 Grundgleichungen	33
3.2.2 Einteilung der elektromagnetischen Felder	35
3.2.3 Prinzip von der Ladungserhaltung	35
3.2.4 Quellen der Vektorfelder	37
3.3 Wellengleichung	39
3.4 Helmholtz-Gleichung	40
3.5 Wellenausbreitung in anisotropen Medien	42
3.6 Rand- und Stetigkeitsbedingungen	43
3.7 Relativitätsprinzip	45
3.7.1 Lorentz-Transformation	46
3.7.2 Feld einer gleichförmig bewegten Ladung	51
3.8 Strahlung beschleunigter Elektronen	53
3.8.1 Strahlungsleistung	55
3.8.2 Linear beschleunigte Punktladung	56
3.8.3 Kreisförmig beschleunigte Punktladung	57
3.9 Übungen	58

4 Ebene Wellen	59
4.1 Ebene Wellen im Dielektrikum	59
4.1.1 Lösung der Helmholtz-Gleichung	59
4.1.2 Geschwindigkeitsdefinitionen	63
4.2 Ebene Wellen im Leiter	68
4.3 Ebene Wellen im Supraleiter	73
4.3.1 Londonsche Gleichungen	74
4.3.2 Telegraf- und Helmholtz-Gleichung	75
4.4 Leistungstransport	79
4.5 Übungen	81
5 Ausbreitungseffekte	82
5.1 Polarisation	82
5.2 Senkrechter Einfall auf eine ebene Trennfläche	86
5.2.1 Reflexions- und Durchlassfaktoren	87
5.2.2 Stehende Wellen	90
5.2.3 Leistungstransport	93
5.2.4 Strahlungsdruck	94
5.3 Radarreflexion an bewegten Objekten	95
5.3.1 Gleichförmig bewegter ebener Metallspegel	95
5.3.2 Doppler-Effekt und Aberration	97
5.4 Schiefer Einfall auf eine ebene Trennfläche	100
5.4.1 Brechungsgesetz	100
5.4.2 Fresnelsche Formeln	104
5.4.3 Totaltransmission	108
5.4.4 Totalreflexion	114
5.5 Ebenes Drei- und Vierschichtenproblem	117
5.6 Beugung an einer metallischen Schirmkante	120
5.7 Übungen	122
6 Wellenleiter	123
6.1 Schwingungsformen in Hohlleitern	124
6.2 Rechteckhohlleiter	128
6.2.1 Eigenwellen	128
6.2.2 Hohlleiterschaltungen und Orthogonalentwicklung	137
6.3 Rundhohlleiter	142
6.3.1 Eigenwellen	142
6.3.2 Feldbilder	147
6.4 Besondere Hohlleitertypen	148
6.5 Hohlraumresonatoren	151
6.6 Koaxialleitung	152
6.6.1 Grundwelle	152
6.6.2 Höhere Wellentypen	154
6.7 Übungen	157

7 Grundbegriffe der Antennentechnik	158
7.1 Isotroper Strahler	158
7.2 Hertzscher Dipol als elektrischer Elementarstrahler	158
7.3 Kenngrößen von Antennen	160
7.3.1 Richtdiagramm	160
7.3.2 Richtfaktor und Gewinn	165
7.3.3 Äquivalenter Raumwinkel	167
7.3.4 Antennenwirkfläche	169
7.3.5 Polarisation	173
7.4 Übungen	175
8 Grundbegriffe von Strahlungsfeldern	176
8.1 Grundgleichungen	176
8.2 Potenziallösung der Feldgleichungen	178
8.2.1 Magnetisches Vektorpotenzial	179
8.2.2 Elektrisches Vektorpotenzial	185
8.2.3 Darstellung der Feldstärken	186
8.3 Fernfeldnäherungen	189
8.3.1 Fresnel-Näherung	191
8.3.2 Fraunhofer-Näherung	192
8.3.3 Fernfeldabstand und Antennengewinn	195
8.3.4 Fernfelder und Fourier-Transformation	197
8.4 Ausstrahlungsbedingung	200
8.5 Kantenbedingung	201
8.6 Huygenssches Prinzip	203
8.6.1 Vektorielle Formulierung	203
8.6.2 Skalare Formulierung	206
8.7 Kopolarisation und Kreuzpolarisation	211
8.8 Übungen	214
9 Elementardipole und Rahmenantennen	215
9.1 Elektrischer Elementarstrahler	215
9.1.1 Strahlungsfelder	216
9.1.2 Wellengeschwindigkeiten und Nahfeldablösung	223
9.2 Magnetischer Elementarstrahler	227
9.3 Kreisförmige Rahmenantenne beliebigen Umfangs	229
9.3.1 Vektorpotenzial eines kreisförmigen Ringstroms	230
9.3.2 Kreisförmige Rahmenantenne mit Umfang $U = n \lambda_0$	233
9.3.3 Erweiterung auf beliebigen Umfang	235
9.4 Übungen	241

10 Lineare Antennen	242
10.1 Zylinderantenne.....	243
10.2 Dünne Linearantenne.....	244
10.2.1 Strahlungsfelder	244
10.2.2 Wanderwellenantenne (Langdrahtantenne).....	253
10.2.3 Strahlungswiderstand	256
10.2.4 Verkürzungsfaktor.....	263
10.2.5 Richtfaktor und Gewinn	266
10.3 Übungen	269
11 Gruppenantennen	270
11.1 Gruppenfaktor bei räumlicher Anordnung.....	272
11.2 Lineare Gruppen.....	273
11.2.1 Gruppencharakteristik	273
11.2.2 Querstrahler.....	278
11.2.3 Längsstrahler	280
11.2.4 Richtfaktor linearer Gruppen.....	284
11.2.5 Kreuzdipol.....	287
11.2.6 Yagi-Uda-Antenne	288
11.2.7 Phasengesteuerte Gruppenantennen	290
11.2.8 Inhomogene Amplitudenbelegung.....	292
11.2.9 Verdünnte Gruppen.....	296
11.3 Ebene Gruppen.....	299
11.4 Antennen über Erde.....	300
11.5 Strahlungskopplung in ebenen Dipolgruppen.....	307
11.6 Übungen	309
12 Breitbandantennen	310
12.1 Doppelkonusantenne	310
12.1.1 Unendlich lange symmetrische Doppelkonusleitung.....	311
12.1.2 Symmetrische Doppelkonusantenne endlicher Länge	312
12.1.3 Näherungslösung bei kleinem Reflexionsfaktor.....	319
12.1.4 Doppelkonusantenne mit optimiertem Gewinn	324
12.2 Logarithmisch-periodische Antenne	325
12.3 Spiral- und Fraktalantennen.....	329
12.4 Übungen	331
13 Aperturstrahler I (Hohlleiterantennen)	332
13.1 Prinzipien der Aperturstrahler	332
13.2 Ebene Apertur im freien Raum (Chu-Modell)	334
13.3 Ebene Apertur im unendlichen ebenen Schirm (E-Feld-Modell)	340
13.3.1 Hohlleiterstrahler.....	341
13.3.2 Richtfaktor und Flächenwirkungsgrad.....	346
13.4 Übungen	348

14 Aperturstrahler II (Hornantennen)	349
14.1 Bauformen	349
14.2 Sektorhorn	349
14.3 Pyramidenhorn	353
14.4 Kegelhorn und Rillenhorn	359
14.4.1 Phasenfehler in der ebenen Hornapertur	359
14.4.2 Berechnungsverfahren	360
14.4.3 Optimale Bauweise	363
14.5 Übungen	365
15 Aperturstrahler III (Linsenantennen)	366
15.1 Konvexe Verzögerungslinse	366
15.2 Aperturlinse im optimalen Kegelhorn	369
15.2.1 Einfluss des Linsenmaterials	370
15.2.2 Berechnungsbeispiel	372
15.3 Konkave Beschleunigungslinse	374
15.4 Luneburg-Linse	375
15.5 Übungen	376
16 Aperturstrahler IV (Reflektorantennen)	377
16.1 Bauformen	377
16.2 Mehrspiegelantennen	380
16.3 Entwurf einer Cassegrain-Antenne	381
16.4 Gewinnverlust durch Aperturabschattung	385
16.5 Gewinnverlust durch Fehler der Oberflächenkontur	386
16.6 Gewinnverlust durch inhomogene Amplitudenbelegung	390
16.7 Übungen	393
17 Spezielle Antennenformen	394
17.1 Streifenleitungsantenne	394
17.1.1 Grundlegende Entwurfsrichtlinien	394
17.1.2 Cavity-Modell für ein Patch mit abgeschnittenem Substrat (Fall ①)	399
17.1.3 Grundplatte und Substrat mit unendlicher Ausdehnung (Fall ②+③)	401
17.1.4 Numerische Ergebnisse	403
17.1.5 Strahlungsleistung, Strahlungsleitwerte und Richtfaktor im Fall ②	404
17.1.6 Gruppenantennen in Streifenleitungstechnik	406
17.2 Schlitzantenne	408
17.3 Wendel- oder Helixantenne	412
17.4 Dielektrische Oberflächenwellenantenne	416
17.5 Übungen	418

Anhang	419
A Mathematische Formeln.....	419
A.1 Konstanten.....	419
A.2 Trigonometrische Beziehungen.....	419
A.3 Reihenentwicklungen für kleine Argumente.....	419
A.4 Asymptotische Darstellungen für große Argumente.....	420
A.5 Beziehungen zwischen Besselfunktionen.....	420
A.6 Nützliche Integrale	420
A.7 Lommelsche Funktionen mit einem Index und zwei Argumenten.....	421
A.8 Krummlinige orthogonale Koordinatensysteme	422
B Elektrotechnische Formeln	423
B.1 Abkürzungen	423
B.2 Grundgleichungen	423
B.3 Vektorpotenziale	423
B.4 Feldgrößen.....	423
B.5 Verschiedenes.....	423
C Formeln zum Antennendesign.....	424
C.1 Schlanke Dipolantennen im Freiraum mit Mittelpunktspesung	424
C.2 Gruppencharakteristik linearer Antennengruppen	424
C.3 Strahlung einer linearen Belegung bzw. einer Rechteckapertur	425
C.4 Strahlung einer Kreisapertur.....	425
C.5 Ausbreitungskonstanten von Hohlleiterwellen	425
C.6 Hornstrahler mit Maximalgewinn bei fester Baulänge	426
C.7 Beam efficiency und pattern factor elektrisch großer Antennen.....	426
D Eigenschaften ausgewählter Materialien.....	427
C.1 Relative Permittivität und Verlustfaktor (bei 300 K und 3 GHz)	427
C.2 Elektrische Leitfähigkeit von Metallen (bei 300 K)	427
Englische Übersetzungen wichtiger Fachbegriffe.....	428
Literaturverzeichnis	430
Sachwortverzeichnis	439
Personenverzeichnis.....	446