

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 Maxwell'sche 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 Polarisierung	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 Metallspiegel	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 Spannungs- und Stromwellen auf TEM-Leitungen	157
6.8 Übungen	160

7 Grundbegriffe der Antennentechnik.....	161
7.1 Isotroper Strahler.....	161
7.2 Hertzscher Dipol als elektrischer Elementarstrahler.....	161
7.3 Kenngrößen von Antennen.....	163
7.3.1 Richtdiagramm.....	163
7.3.2 Richtfaktor und Gewinn.....	168
7.3.3 Äquivalenter Raumwinkel.....	170
7.3.4 Antennenwirkfläche.....	172
7.3.5 Polarisierung.....	176
7.4 Übungen.....	178
8 Grundbegriffe von Strahlungsfeldern.....	179
8.1 Grundgleichungen.....	179
8.2 Potenziallösung der Feldgleichungen.....	181
8.2.1 Magnetisches Vektorpotenzial.....	182
8.2.2 Elektrisches Vektorpotenzial.....	188
8.2.3 Darstellung der Feldstärken.....	189
8.3 Fernfeldnäherungen.....	192
8.3.1 Fresnel-Näherung.....	194
8.3.2 Fraunhofer-Näherung.....	195
8.3.3 Fernfeldabstand und Antennengewinn.....	198
8.3.4 Fernfelder und Fourier-Transformation.....	200
8.4 Ausstrahlungsbedingung.....	203
8.5 Kantenbedingung.....	204
8.6 Huygenssches Prinzip.....	206
8.6.1 Vektorielle Formulierung.....	206
8.6.2 Skalare Formulierung.....	209
8.7 Kopolarisation und Kreuzpolarisation.....	215
8.8 Übungen.....	218
9 Elementardipole und Rahmenantennen.....	219
9.1 Elektrischer Elementarstrahler.....	219
9.1.1 Strahlungsfelder.....	220
9.1.2 Wellengeschwindigkeiten und Nahfeldablösung.....	227
9.2 Magnetischer Elementarstrahler.....	231
9.3 Kreisförmige Rahmenantenne beliebigen Umfangs.....	233
9.3.1 Vektorpotenzial eines kreisförmigen Ringstroms.....	234
9.3.2 Kreisförmige Rahmenantenne mit Umfang $U = n \lambda_0$	237
9.3.3 Erweiterung auf beliebigen Umfang.....	239
9.4 Übungen.....	245

10 Lineare Antennen	246
10.1 Zylinderantenne	247
10.2 Dünne Linearantenne.....	248
10.2.1 Strahlungsfelder	248
10.2.2 Wanderwellenantenne (Langdrahtantenne)	257
10.2.3 Strahlungswiderstand	260
10.2.4 Verkürzungsfaktor.....	267
10.2.5 Richtfaktor und Gewinn	270
10.3 Übungen	273
11 Gruppenantennen	274
11.1 Gruppenfaktor bei räumlicher Anordnung.....	276
11.2 Lineare Gruppen.....	277
11.2.1 Gruppencharakteristik	277
11.2.2 Querstrahler.....	282
11.2.3 Längsstrahler	284
11.2.4 Richtfaktor linearer Gruppen.....	288
11.2.5 Kreuzdipol.....	291
11.2.6 Yagi-Uda-Antenne	292
11.2.7 Phasengesteuerte Gruppenantennen	294
11.2.8 Inhomogene Amplitudenbelegung.....	296
11.2.9 Verdünnte Gruppen	300
11.3 Ebene Gruppen	303
11.4 Antennen über Erde	304
11.5 Strahlungskopplung in ebenen Dipolgruppen.....	311
11.6 Übungen	313
12 Breitbandantennen	314
12.1 Doppelkonusantenne	314
12.1.1 Unendlich lange symmetrische Doppelkonusleitung.....	315
12.1.2 Symmetrische Doppelkonusantenne endlicher Länge	316
12.1.3 Näherungslösung bei kleinem Reflexionsfaktor	323
12.1.4 Doppelkonusantenne mit optimiertem Gewinn	328
12.2 Logarithmisch-periodische Antenne.....	329
12.3 Spiral- und Fraktalantennen.....	333
12.4 Übungen	335
13 Aperturstrahler I (Hohlleiterantennen)	336
13.1 Prinzipien der Aperturstrahler	336
13.2 Ebene Apertur im freien Raum (Chu-Modell).....	338
13.3 Ebene Apertur im unendlichen ebenen Schirm (E-Feld-Modell)	345
13.3.1 Hohlleiterstrahler.....	346
13.3.2 Richtfaktor und Flächenwirkungsgrad.....	351
13.4 Übungen	353

14 Aperturstrahler II (Hornantennen)	354
14.1 Bauformen	354
14.2 Sektorhorn	354
14.3 Gültigkeitsgrenzen der quadratischen Näherung	358
14.4 Pyramidenhorn	359
14.4.1 Direktivität und Flächenwirkungsgrad	359
14.4.2 Aperturabmessungen	363
14.4.3 Breite der Hauptkeule	363
14.4.4 Berechnungsbeispiele	365
14.5 Kegelhorn und Rillenhorn	367
14.5.1 Phasenfehler in der ebenen Hornapertur	367
14.5.2 Aperturbelegung im Kegelhorn	368
14.5.3 Wandimpedanz-Modell des Rillenhorns	368
14.5.4 Aperturbelegung im Rillenhorn	370
14.5.5 Integration der Aperturfelder des Rillenhorns	370
14.5.6 Keulenbreiten des Rillenhorns	372
14.5.7 Direktivität von Rillenhorn und Kegelhorn	375
14.5.8 Optimale Bauweise	376
14.6 Skalarhorn	378
14.7 Übungen	383
15 Aperturstrahler III (Linsenantennen)	384
15.1 Konvexe Verzögerungslinse	384
15.2 Aperturlinse im optimalen Kegelhorn	387
15.2.1 Einfluss des Linsenmaterials	388
15.2.2 Berechnungsbeispiel	390
15.3 Konkave Beschleunigungslinse	392
15.4 Luneburg-Linse	393
15.5 Übungen	394
16 Aperturstrahler IV (Reflektorantennen)	395
16.1 Bauformen	395
16.2 Rotationsparaboloid mit direkter Speisung	398
16.3 Mehrspiegelantennen	399
16.4 Entwurf einer Cassegrain-Antenne	400
16.5 Gewinnverlust durch Aperturabschattung	404
16.6 Gewinnverlust durch Fehler der Oberflächenkontur	405
16.7 Gewinnverlust durch inhomogene Amplitudenbelegung	409
16.8 Übungen	412

17 Aperturstrahler V (Schwarzer Strahler)	413
17.1 Schwarzkörperstrahlung und das Plancksche Strahlungsgesetz	413
17.2 Das Wiensche Verschiebungsgesetz	417
17.3 Das Stefan-Boltzmann-Gesetz	418
17.4 Die spektrale Verteilung der Planckschen Strahlungsfunktion	419
17.4.1 Darstellung mit normiertem Argument	419
17.4.2 Quantile der Planckschen Strahlungsfunktion	420
17.4.3 Universelle Strahlungskurven	421
17.5 Radiometrische und photometrische Größen	423
17.6 Die Solarkonstante	428
17.7 Anwendungen in der Photovoltaik	429
17.8 Übungen	430
18 Streifenleitungsantennen	431
18.1 Grundlegende Entwurfsrichtlinien	431
18.1.1 Bauformen und Einspeisung	431
18.1.2 Mikrostreifenleitungen und rechteckige Patch-Elemente	432
18.2 Parasitäre Oberflächenwellen auf einlagigen Substraten	437
18.2.1 Eigenwertgleichungen und Grenzfrequenzen	437
18.2.2 Synchrone Verkopplung	441
18.2.3 Feldbilder	442
18.3 Parasitäre Oberflächenwellen auf zweilagigen Substraten	443
18.4 Leistungsbetrachtungen	444
18.4.1 Leistung der Raumwelle	444
18.4.2 Leistung der TM_0 -Oberflächenwelle	446
18.4.3 Strahlungswirkungsgrad	447
18.5 Bandbreite	448
18.6 Analyse mit Hilfe des Cavity-Modells	450
18.6.1 Patch mit abgeschnittenem Substrat (Fall ①)	450
18.6.2 Grundplatte und Substrat mit unendlicher Ausdehnung (Fälle ②+③)	453
18.6.3 Kopolare und kreuzpolare Abstrahlung in den Fällen ① und ③	454
18.6.4 Weitere numerische Ergebnisse	456
18.6.5 Strahlungsleistung, Strahlungsleitwerte und Richtfaktor im Fall ②	457
18.7 Gruppenantennen in Streifenleitungstechnik	459
18.8 Übungen	461
19 Spezielle Antennenformen	462
19.1 Schlitzantenne	462
19.2 Wendel- oder Helixantenne	466
19.3 Dielektrische Oberflächenwellenantenne	470
19.4 Übungen	473

Anhang	474
A Mathematische Formeln	474
A.1 Konstanten.....	474
A.2 Trigonometrische Beziehungen.....	474
A.3 Reihenentwicklungen für kleine Argumente	474
A.4 Asymptotische Darstellungen für große Argumente.....	475
A.5 Beziehungen zwischen Besselfunktionen	475
A.6 Nützliche Integrale	475
A.7 Lommelsche Funktionen mit einem Index und zwei Argumenten.....	476
A.8 Krummlinige orthogonale Koordinatensysteme	477
B Elektrotechnische Formeln	478
B.1 Abkürzungen	478
B.2 Grundgleichungen	478
B.3 Vektorpotenziale	478
B.4 Feldgrößen.....	478
B.5 Verschiedenes.....	478
C Formeln zum Antennendesign	479
C.1 Schlanke Dipolantennen im Freiraum mit Mittelpunktspesung.....	479
C.2 Gruppencharakteristik linearer Antennengruppen	479
C.3 Strahlung einer linearen Belegung bzw. einer Rechteckapertur	480
C.4 Strahlung einer Kreisapertur.....	480
C.5 Ausbreitungskonstanten von Hohlleiterwellen	480
C.6 Hornstrahler mit Maximalgewinn bei fester Baulänge	481
C.7 Beam efficiency und pattern factor elektrisch großer Antennen.....	481
D Eigenschaften ausgewählter Materialien	482
D.1 Relative Permittivität und Verlustfaktor (bei 300 K und 3 GHz).....	482
D.2 Elektrische Leitfähigkeit von Metallen (bei 300 K)	482
E Streuparameter	483
E.1 Streumatrix	483
E.2 Reflexion, Transmission und Welligkeit.....	484
Englische Übersetzungen wichtiger Fachbegriffe	485
Literaturverzeichnis	488
Sachwortverzeichnis	500
Personenverzeichnis	508