

Inhaltsübersicht

Vektoroperatoren

Zeiger

Elektrische Felder

I Das Coulombsche und das Gaußsche Gesetz

II Die Poisson- und die Laplace-Gleichung. Ladungserhaltung. Leiter

III Elektrische Multipole

IV Energie, Kapazität und Kräfte

V Stromkreise A: RC-Kreise

VI Stromkreise B: Sätze

VII Dielektrika A: Gebundene Ladungen und elektrische Flußdichte

VIII Dielektrika B: Reale Dielektrika, Stetigkeitsbedingungen an Grenzflächen, Energie

IX Bildladungen. Laplace-Gleichung in rechtwinkligen Koordinaten

X Laplace-Gleichung in Kugelkoordinaten. Poisson-Gleichung für die Feldstärke

Relativitätstheorie

I Lorentz-Transformation und Raum-Zeit

II Lorentz-Kontraktion und Zeitdilatation. Geschwindigkeitstransformation

III Masse, Impuls Kraft und Energie

IV Das Feld einer bewegten elektrischen Ladung

V Die Maxwellschen Gleichungen. Das Viererpotential

Magnetfelder

I Die magnetische Flußdichte und das Vektorpotential

II Das Vektorpotential. Das Durchflutungsgesetz

III Magnetische Substanzen A: Magnetische Flußdichte und magnetische Feldstärke

IV Magnetische Substanzen B: Ferromagnetismus und magnetische Kreise

V Magnetische Kräfte auf Ladungen und Ströme

VI Das Faradaysche Induktionsgesetz

VII Elektrische Stromkreise C: Gegen- und Selbstinduktivität

VIII

VIII Elektrische Stromkreise D: Induktive Kreise und Transformatoren

IX Magnetische Energie und makroskopische magnetische Kräfte

Die Maxwellschen Gleichungen

Elektromagnetische Wellen

I Ebene Wellen im Vakuum, in Nichtleitern und in Leitern

II Ebene Wellen in Leitern und Plasmen

III Reflexion und Brechung A: Grundgesetze und Fresnelsche Formeln

IV Reflexion und Brechung B: Inhomogene ebene Wellen und Totalreflexion

V Reflexion und Brechung C: Reflexion und Brechung an guten Leitern

Wellenleiter

I Allgemeine Grundlagen. Koaxial- und Mikrostripleiter

II Rechteckhohlleiter

III Planare optische Wellenleiter A: Die Eigenwertgleichung

IV Planare optische Wellenleiter B: Die Leiterwelle

Strahlung

I Potentiale und Felder

II Die Dipolantenne

III Halbwellenantenne, Antennensysteme und Rahmenantenne

Anhang

A Wellen

B Definitionen, Identitäten und Sätze

C Die Maxwellschen Gleichungen für stationäre Medien

D SI-Vorsätze

E Einige Konstanten der Physik

F Lösungen zu den Aufgaben

Sach- und Namenverzeichnis

Inhalt

Verwendete Formelzeichen	XXIII
1 Vektoroperatoren	1
1.1 Vektoralgebra	1
1.2 Der Gradient einer Ortsfunktion	3
1.3 Invarianz des Nabla-Operators	5
1.4 Der Fluß eines Vektors	6
1.5 Die Divergenz eines Vektors	7
1.6 Der Gaußsche Integralsatz	9
1.7 Das Linienintegral. Konservative Felder	10
1.8 Die Rotation eines Vektors	10
1.9 Der Stokessche Integralsatz	13
1.10 Der Laplace-Operator	14
1.11 Orthogonale krummlinige Koordinaten	15
1.11.1 Zylinderkoordinaten	16
1.11.2 Kugelkoordinaten	17
1.11.3 Der Gradient	19
1.11.4 Die Divergenz	19
1.11.5 Die Rotation	21
1.11.6 Der Laplace-Operator	22
1.12 Zusammenfassung	23
Aufgaben zu 1.1 bis 1.11	25
2 Zeiger	28
2.1 Komplexe Zahlen	28
2.1.1 Addition und Subtraktion von komplexen Zahlen . .	30
2.1.2 Multiplikation und Division von komplexen Zahlen .	30
2.2 Zeiger	31
2.3 Der Gebrauch von Zeigern	33
2.4 Multiplikation von Zeigern	35
2.5 Division von Zeigern	36
2.6 Rotierende Vektoren	36
2.7 Notation	37
2.8 Zusammenfassung	38
Aufgaben zu 2.1 bis 2.8	39

3	Elektrische Felder I	41
3.1	Das Coulombsche Gesetz	41
3.2	Die elektrische Feldstärke	43
3.3	Das Superpositionsprinzip	43
3.4	Das elektrische Potential. Rotation der Feldstärke	44
3.4.1	Das elektrische Potential	47
3.5	Das elektrische Feld makroskopischer Körper	47
3.6	Äquipotentialflächen und Feldlinien	48
3.7	Das Gaußsche Gesetz	49
3.8	Zusammenfassung	56
	Aufgaben zu 3.1 bis 3.8	57
4	Elektrische Felder II	64
4.1	Die Poisson- und die Laplace-Gleichung	64
4.2	Ladungserhaltung	68
4.3	Elektrische Leitung	69
4.3.1	Widerstand	70
4.3.2	Leitung in einem stationären elektrischen Feld	71
4.3.3	Die Beweglichkeit von Leitungselektronen	72
4.3.4	Leitung in einem elektrischen Wechselfeld	73
4.3.5	Raumladungsdichte in Leitern	74
4.3.6	Der Joule-Effekt	76
4.4	Isolierte Leiter in statischen Feldern	76
4.5	Zusammenfassung	77
	Aufgaben zu 4.1 bis 4.5	79
5	Elektrische Felder III	83
5.1	Der elektrische Dipol	83
5.2	Der lineare elektrische Quadrupol	86
5.3	*Elektrische Multipole	87
5.4	*Multipolentwicklung eines elektrischen Feldes außerhalb einer Ladungsverteilung	88
5.4.1	*Legendre-Polynome	89
5.4.2	*Der Monopolterm	92
5.4.3	*Der Dipolterm	92
5.4.4	*Der Quadrupolterm	92
5.5	Zusammenfassung	96
	Aufgaben zu 5.1 bis 5.5	97

6 Elektrische Felder IV	100
6.1 Die potentielle Energie einer Ladungsverteilung	100
6.1.1 Die potentielle Energie eines Systems von Punktladungen	100
6.1.2 Die potentielle Energie einer kontinuierlichen Ladungsverteilung	103
6.1.3 Punkt- und Linienladungen	103
6.2 Der Zusammenhang der potentiellen Energie einer Ladungsverteilung mit der elektrischen Feldstärke	104
6.2.1 Zusammenhang zwischen potentieller Energie und Feldstärke – allgemeine Herleitung	106
6.3 Die Kapazität eines isolierten Leiters	107
6.4 Die Kapazität von Kondensatoren	108
6.5 Elektrische Kräfte auf Leiter	110
6.5.1 Elektrische Kräfte und Feldlinien	111
6.6 Berechnung elektrischer Kräfte mittels des Prinzips der virtuellen Arbeit	113
6.7 Zusammenfassung	115
Aufgaben zu 6.1 bis 6.7	116
7 *Elektrische Felder V	119
7.1 Schaltzeichen und Definitionen	119
7.2 Die Kirchhoffschen Sätze für Gleichstrom	121
7.2.1 Die Maschenmethode	122
7.2.2 Die Knotenmethode zur Berechnung der Knotenspannungen	126
7.3 Wechselströme	127
7.3.1 Dreileiter-Einphasen-Wechselstrom	127
7.3.2 Dreiphasen-Wechselstrom	128
7.4 Wechselströme in Widerständen	130
7.5 Wechselströme in Kondensatoren	132
7.6 Impedanz und Admittanz	133
7.7 Leistung in Wechselstromkreisen	137
7.8 Die Kirchhoffschen Sätze für Wechselstrom	138
7.9 Zusammenfassung	140
Aufgaben zu 7.1 bis 7.9	141
8 *Elektrische Felder VI	149
8.1 Der Überlagerungssatz	149
8.2 Der Substitutionssatz	149
8.3 Der Helmholtz-Satz	150

8.4	Der Norton-Satz	152
8.5	Der Millman-Satz	153
8.6	Der Tellegen-Satz	154
8.6.1	Verallgemeinerung des Tellegen-Satzes	157
8.7	Die Umkehrungssätze	157
8.8	Maximale Leistungsübertragung	161
8.9	Netzumwandlungen	164
8.10	Zusammenfassung	167
	Aufgaben zu 8.1 bis 8.10	168
9	Elektrische Felder VII	173
9.1	Die drei grundlegenden Polarisationsarten	173
9.2	Elektrische Polarisation	174
9.3	Freie und gebundene Ladungen	174
9.3.1	Gebundene Flächenladungsdichte	175
9.3.2	Gebundene Raumladungsdichte	176
9.3.3	Polarisationsstromdichte	176
9.4	Elektrisches Feld eines polarisierten Dielektrikums	177
9.5	Das Gaußsche Gesetz	178
9.6	Poisson- und Laplace-Gleichung in Dielektrika	179
9.7	Elektrische Flußdichte und ihre Divergenz	179
9.8	Elektrische Suszeptibilität	182
9.9	Die Permittivitätszahl	182
9.10	Die Verschiebungsstromdichte	187
9.11	Zusammenfassung	188
	Aufgaben zu 9.1 bis 9.11	189
10	Elektrische Felder VIII	193
10.1	*Reale Dielektrika	193
10.1.1	*Dielektrische Verluste	193
10.1.2	*Frequenz- und Temperaturabhängigkeit von ϵ_r	195
10.1.3	*Anisotropie	196
10.1.4	*Ferroelektrizität	196
10.1.5	*Hysterese	197
10.2	Stetigkeitsbedingungen an Grenzflächen	198
10.2.1	Potential	198
10.2.2	Normalkomponente der elektrischen Flußdichte	198
10.2.3	Tangentialkomponente der elektrischen Feldstärke	199
10.2.4	Brechung der Feldlinien	200
10.3	Potentielle Energie einer Ladungsverteilung bei Anwesenheit eines Dielektrikums	201

10.3.1	Potentielle Energie in Abhängigkeit von Ladungsdichte und Potential	201
10.3.2	Energiedichte in Abhängigkeit von Feldstärke und Flußdichte	203
10.3.3	Energiedichte und Polarisation	204
10.4	Elektrische Kräfte und Dielektrika	204
10.5	Zusammenfassung	205
	Aufgaben zu 10.1 bis 10.5	206
11	Elektrische Felder IX	212
11.1	Der Eindeutigkeitssatz für elektrostatische Felder	212
11.2	*Bildladungen	212
11.3	*Lösung der Laplace-Gleichung	216
11.4	Zusammenfassung	222
	Aufgaben zu 11.1 bis 11.4	223
12	Elektrische Felder X	226
12.1	Laplace-Gleichung in Kugelkoordinaten. Legendresche Differentialgleichung	226
12.2	Poisson-Gleichung für die elektrische Feldstärke	234
12.3	Zusammenfassung	235
	Aufgaben zu 12.1 bis 12.3	236
13	*Relativitätstheorie I	238
13.1	Bezugssysteme und Beobachter	238
13.2	Die Galilei-Transformation	239
13.3	Das Relativitätsprinzip	240
13.4	Die Lorentz-Transformation	241
13.5	Raum-Zeit-Diagramm und Weltlinien	244
13.5.1	Das Minkowski-Diagramm	245
13.5.2	Kausalität und maximale Signalgeschwindigkeit	247
13.6	Zusammenfassung	247
	Aufgaben zu 13.1 bis 13.6	248
14	*Relativitätstheorie II	251
14.1	Transformation einer Länge. Die Lorentz-Kontraktion	251
14.1.1	Transformation eines Flächenelements	253
14.2	Transformation eines Zeitintervalls. Zeitdilatation	254
14.3	Eigenzeit bei einem beschleunigten Teilchen	258
14.4	Geschwindigkeitstransformation	259
14.5	Zusammenfassung	260

Aufgaben zu 14.1 bis 14.5	261
15 *Relativitätstheorie III	265
15.1 Der Vierervektor $\mathbf{r}$	265
15.2 Vierervektoren	267
15.2.1 Skalarprodukt von Vierervektoren	267
15.2.2 Norm des Vierervektors $\mathbf{r}$	268
15.2.3 Norm eines Vierervektors	269
15.3 Die relativistische Masse	269
15.4 Der relativistische Impuls	270
15.5 Die relativistische Kraft	270
15.6 Der Viererimpuls	271
15.7 Die relativistische Energie	273
15.8 Die kinetische Energie	275
15.9 Der Erhaltungssatz für den Viererimpuls	276
15.10 Transformation der Kraft	276
15.11 Das Photon	277
15.12 Zusammenfassung	278
Aufgaben zu 15.1 bis 15.12	280
16 *Relativitätstheorie IV	284
16.1 Ladungsinvarianz	284
16.2 Die Viererstromdichte $\mathbf{J}$	285
16.3 Der vierdimensionale Gradient	288
16.4 Ladungserhaltung	290
16.5 Das Feld einer gleichförmig bewegten Punktladung	291
16.5.1 Die Kraft $\mathbf{F}'_{Qq}$	291
16.5.2 Die Kraft $\mathbf{F}_{Qq}$	292
16.5.3 Die Lorentz-Kraft	293
16.5.4 Elektrische und magnetische Felder	294
16.5.5 Die Kraft $\mathbf{F}_{qQ}$	301
16.6 Transformation des elektromagnetischen Feldes	302
16.7 Zusammenfassung	305
Aufgaben zu 16.1 bis 16.7	306
17 *Relativitätstheorie V	308
17.1 Die Divergenz der elektrischen Feldstärke	308
17.2 Die Divergenz der magnetischen Flußdichte	309
17.3 Die Rotation der elektrischen Feldstärke	310
17.4 Die Rotation der magnetischen Flußdichte	311
17.5 Die Maxwellschen Gleichungen	313

17.6	Das Vektorpotential $\mathbf{A}$	314
17.6.1	Das Vektorpotential bei einer gleichförmig bewegten Ladung	314
17.7	Das skalare Potential V . Der Zusammenhang zwischen der elektrischen Feldstärke und den Potentialen	316
17.8	Das Viererpotential $\mathbf{A}$. Transformation der Potentiale . . .	318
17.9	Die Lorentz-Bedingung	321
17.10	Zusammenfassung	322
	Aufgaben zu 17.1 bis 17.10	323
18	Magnetfelder I	326
18.1	*Magnetische Monopole	326
18.2	Die magnetische Flußdichte. Das Biot-Savartsche Gesetz . .	327
18.3	Das Superpositionsprinzip	329
18.4	Die Divergenz der magnetischen Flußdichte	333
18.5	Das Vektorpotential $\mathbf{A}$	333
18.6	Das magnetische Dipolmoment einer Stromverteilung . . .	340
18.7	Zusammenfassung	341
	Aufgaben zu 18.1 bis 18.6	343
19	Magnetfelder II	349
19.1	Das Umlaufintegral für das Vektorpotential	349
19.2	Die Laplace-Gleichung für das Vektorpotential	351
19.3	Die Divergenz des Vektorpotentials	352
19.4	Die Rotation der magnetischen Flußdichte	353
19.5	Das Ampèresche Durchflutungsgesetz	353
19.6	Die Laplace-Gleichung für die magnetische Flußdichte . . .	358
19.7	Zusammenfassung	358
	Aufgaben zu 19.1 bis 19.7	359
20	Magnetfelder III	361
20.1	Arten magnetischer Substanzen	361
20.2	Die Magnetisierung	362
20.3	Das Magnetfeld eines magnetisierten Körpers	362
20.4	Die Divergenz der Flußdichte	365
20.5	Die magnetische Feldstärke und ihre Rotation	365
20.5.1	Vergleich von dielektrischen und magnetischen Substanzen	366
20.6	Ampèresches Gesetz und magnetische Substanzen	367
20.7	Magnetische Suszeptibilität und Permeabilitätszahl	369
20.7.1	*Die Magnetisierungskurve	369

20.7.2 *Vier Definitionen für die Permeabilitätszahl	370
20.8 Grenzbedingungen	371
20.9 Zusammenfassung	372
Aufgaben zu 20.1 bis 20.9	374
21 Magnetfelder IV	375
21.1 *Ferromagnetische Stoffe	375
21.2 *Hysterese	375
21.2.1 *Energieverlust bei einem Hysteresenumlauf	378
21.3 *Berechnung von Magnetfeldern	378
21.3.1 *Der Stabmagnet	378
21.4 Magnetische Kreise	381
21.5 Zusammenfassung	385
Aufgaben zu 21.1 bis 21.5	385
22 Magnetfelder V	388
22.1 Die Lorentz-Kraft	388
22.1.1 *Magnetische Kräfte in Ferromagnetika	393
22.2 Die Kraft auf einen stromdurchflossenen Draht	394
22.3 Die Kraft zwischen zwei Stromkreisen	397
22.3.1 Definitionen der elektrischen und magnetischen Feld- konstanten, der Strom- und der Ladungseinheit	399
22.4 Die magnetische Kraft auf eine räumliche Stromverteilung	400
22.5 Zusammenfassung	405
Aufgaben zu 22.1 bis 22.5	406
23 Magnetfelder VI	414
23.1 Die magnetische Kraft im Innern eines Nichtleiters	414
23.2 Das Faradaysche Induktionsgesetz für zeitunabhängige Magnetfelder	415
23.3 Die Lenzsche Regel	421
23.4 Das Faradaysche Induktionsgesetz für zeitabhängige Magnetfelder	422
23.5 Die elektrische Feldstärke	426
23.6 Verschiedene Inertialsysteme	429
23.7 *Zwei Formen des Induktionsgesetzes	430
23.7.1 *Transformation des magnetischen Flusses	431
23.7.2 *Transformation der Induktionsspannung	431
23.8 Sechs Grundgleichungen	432
23.9 Zusammenfassung	432
Aufgaben zu 23.1 bis 23.9	433

24 *Magnetfelder VII	439
24.1 Die Gegeninduktivität	439
24.1.1 Die Neumann-Gleichung	439
24.1.2 Das Vorzeichen von M	442
24.2 Die Selbstinduktivität	443
24.2.1 Die Impedanz einer Spule	445
24.2.2 Der Leistungsfaktor	447
24.3 Der Kopplungsfaktor	448
24.4 Zusammenfassung	450
Aufgaben zu 24.1 bis 24.4	451
25 *Magnetfelder VIII	455
25.1 Stromkreise mit Selbstinduktivität	455
25.2 Stromkreise mit Selbst- und Gegeninduktivität	459
25.3 Transformation einer Gegeninduktivität	460
25.4 Kerntransformatoren	462
25.4.1 Idealer Transformator	464
25.4.2 Die Spannungsübersetzung V_2/V_1	464
25.4.3 Das Verhältnis L_1/L_2	465
25.4.4 Die Eingangsimpedanz	465
25.4.5 Die Stromübersetzung I_2/I_1	466
25.4.6 Leistungsübertragung beim Transformator	467
25.5 Zusammenfassung	468
Aufgaben zu 25.1 bis 25.5	469
26 Magnetfelder IX	474
26.1 Energieinhalt eines induktiven Stromkreises	474
26.2 Die magnetische Energiedichte in Abhängigkeit von der Stromdichte und dem Vektorpotential	477
26.3 Die magnetische Energiedichte in Abhängigkeit von der Feldstärke und der Flußdichte	478
26.4 *Die Selbstinduktivität einer Stromverteilung	480
26.5 *Die Kraft zwischen Stromkreisen in Abhängigkeit von Gegeninduktivität und Strömen	481
26.6 *Die Kraft zwischen Stromkreisen in Abhängigkeit von der magnetischen Energie	484
26.7 *Magnetische Kräfte und Flußlinien	486
26.8 *Magnetischer Druck	486
26.9 *Magnetische Kräfte im Innern eines isolierten Stromkreises	488
26.10 *Magnetisches Drehmoment	489
26.11 Zusammenfassung	490

Aufgaben zu 26.1 bis 26.11	491
27 Die Maxwell'schen Gleichungen	496
27.1 Die Maxwell'schen Gleichungen in differentieller Form . . .	496
27.2 Die Maxwell'schen Gleichungen in Integralform	499
27.3 Bemerkungen zu den Maxwell'schen Gleichungen	501
27.4 Die Ladungserhaltung	504
27.5 Redundanz der Maxwell'schen Gleichungen	504
27.6 Dualität	505
27.7 Das Lorentz'sche Reziprozitätsgesetz	506
27.8 Wellengleichungen für $\mathbf{E}$ und $\mathbf{B}$	508
27.9 Zusammenfassung	509
Aufgaben zu 27.1 bis 27.9	511
28 Elektromagnetische Wellen I	519
28.1 Das elektromagnetische Spektrum	519
28.2 Homogene ebene Wellen in einem beliebigen Medium . . .	521
28.2.1 Beziehungen zwischen $\mathbf{E}$, $\mathbf{H}$ und $\mathbf{k}$	522
28.2.2 Der Wellenwiderstand eines Mediums	523
28.2.3 Die Wellenzahl k	524
28.2.4 Die Wellengleichungen	524
28.3 Homogene ebene Wellen im Vakuum	525
28.4 Homogene ebene Wellen in Nichtleitern	527
28.5 Homogene ebene Wellen in Leitern	529
28.5.1 Der Wellenwiderstand eines Leiters	531
28.5.2 Die Energiedichten	532
28.6 Der Poynting'sche Satz	532
28.7 Zusammenfassung	534
Aufgaben zu 28.1 bis 28.7	535
29 *Elektromagnetische Wellen II	541
29.1 Ebene Wellen in guten Leitern. Der Skin-Effekt	541
29.2 Ebene Wellen in Plasmen	547
29.2.1 Leitfähigkeit eines Plasmas	547
29.2.2 Leitungs- und Verschiebungsstromdichten. Plasmafrequenz	548
29.2.3 Wellenzahl	550
29.2.4 Ausbreitung für $f > f_p$	550
29.2.5 Das Feld für $f = f_p$	552
29.2.6 Das Feld für $f < f_p$	552
29.3 Zusammenfassung	554

Aufgaben zu 29.1 bis 29.3	555
30 Elektromagnetische Wellen III	559
30.1 Reflexion und Brechung	560
30.2 Das Snelliussche Brechungsgesetz	562
30.3 Die Fresnelschen Formeln	563
30.3.1 E -Vektor senkrecht zur Einfallsebene	564
30.3.2 E -Vektor parallel zur Einfallsebene	566
30.4 Reflexion und Brechung an der Grenze zweier nichtmagnetischer Nichtleiter	566
30.5 Der Brewster-Winkel	570
30.6 Reflexions- und Transmissionskoeffizienten	572
30.7 *Reflexion an einem ionisierten Gas	575
30.8 Zusammenfassung	577
Aufgaben zu 30.1 bis 30.8	578
31 Elektromagnetische Wellen IV	584
31.1 Inhomogene ebene Wellen	585
31.1.1 Komplexe Winkel	586
31.2 Totalreflexion	587
31.2.1 Die reflektierte Welle	589
31.2.2 Die eindringende Welle	590
31.3 Zusammenfassung	596
Aufgaben zu 31.1 bis 31.3	597
32 Elektromagnetische Wellen V	600
32.1 Reflexion und Brechung an der Oberfläche eines guten Leiters	601
32.1.1 E -Vektor senkrecht zur Einfallsebene	602
32.1.2 E -Vektor parallel zur Einfallsebene	603
32.2 *Strahlungsdruck auf einen nichtmagnetischen Leiter	605
32.2.1 * E -Vektor senkrecht zur Einfallsebene	605
32.2.2 * E -Vektor parallel zur Einfallsebene	607
32.2.3 *Impulsstromdichte und Impulsdichte bei einer elektromagnetischen Welle	608
32.2.4 *Richtungsabhängigkeit des Strahlungsdrucks	609
32.3 *Elektromagnetischer Impuls statischer Felder	609
32.4 Zusammenfassung	610
Aufgaben zu 32.1 bis 32.4	611

33 Wellenleiter I	616
33.1 Allgemeine Eigenschaften	616
33.1.1 Zusammenhang zwischen transversalen und longitudinalen Komponenten	618
33.1.2 TE- und TM-Wellen	619
33.1.3 TEM-Wellen	620
33.1.4 Randbedingungen an der Oberfläche eines geradlinigen metallischen Wellenleiters	623
33.2 Die Koaxialleitung	624
33.3 Microstrip-Leitung	627
33.4 Zusammenfassung	628
Aufgaben zu 33.1 bis 33.4	629
34 Wellenleiter II	632
34.1 Die Feldkomponenten einer TE-Welle in einem Rechteckhohlleiter	634
34.2 Die Grenzwellenlänge	636
34.3 Die TE_1 -Welle	637
34.4 Mehrfachreflexion	638
34.5 Phasen-, Signal- und Gruppengeschwindigkeit	640
34.6 Leistungsübertragung	642
34.7 Energie	643
34.8 Dämpfung	643
34.9 Zusammenfassung	647
Aufgaben zu 34.1 bis 34.9	648
35 *Wellenleiter III	652
35.1 Der planare dielektrische Leiter	653
35.2 Beziehungen zwischen den Feldkomponenten	656
35.3 Die Feldkomponenten in den drei Medien	657
35.4 Stetigkeitsbedingungen an den Grenzflächen	659
35.4.1 Stetigkeit an der Grenzfläche $x = -a$	660
35.4.2 Stetigkeit an der Grenzfläche $x = +a$	660
35.5 Die Feldkomponenten in den drei Medien	661
35.6 Die Phasenverschiebungen bei Totalreflexion	662
35.7 Die Eigenwertgleichung	662
35.8 Ein weiterer Ausdruck für die Phasenkonstante	665
35.9 Zusammenfassung	665
Aufgaben zu 35.1 bis 35.9	666

36 *Wellenleiter IV	668
36.1 Lösung der Eigenwertgleichung	668
36.2 Abhängigkeit der elektrischen Feldstärke von der vertikalen Koordinate	672
36.3 Feldlinien bei einem symmetrischen Wellenleiter	672
36.4 Die Phasengeschwindigkeit	674
36.5 Die Gruppengeschwindigkeit	676
36.6 Die Feldenergie	677
36.7 Leistungsübertragung	677
36.8 Zusammenfassung	678
Aufgaben zu 36.1 bis 36.8	679
37 Strahlung I	682
37.1 Die Lorentz-Bedingung	682
37.2 Inhomogene Wellengleichung für das skalare Potential	684
37.3 Inhomogene Wellengleichung für das Vektorpotential	685
37.4 Retardierte Potentiale	686
37.5 Ein zweites Paar von Integralausdrücken für $\mathbf{E}$ und $\mathbf{B}$	693
37.6 Ein drittes Paar von Integralausdrücken für $\mathbf{E}$ und $\mathbf{B}$	694
37.7 Zusammenfassung	695
Aufgaben zu 37.1 bis 37.7	696
38 Strahlung II	699
38.1 Strahlung einer beschleunigten Ladung	699
38.2 Strahlung eines elektrischen Dipols	704
38.2.1 Elektrische Feldstärke	705
38.2.2 Magnetische Feldstärke	706
38.2.3 Poynting-Vektor	708
38.2.4 Die ausgestrahlte Leistung	709
38.2.5 Strahlungswiderstand	711
38.2.6 *Die $\mathbf{E}$ -Linien	711
38.2.7 *Die $\mathbf{H}$ -Linien	714
38.3 Zusammenfassung	715
Aufgaben zu 38.1 bis 38.3	716
39 Strahlung III	719
39.1 Strahlung einer Halbwellenantenne	719
39.1.1 Elektrische Feldstärke	721
39.1.2 Magnetische Feldstärke	722
39.1.3 Poynting-Vektor	723
39.1.4 Ausgestrahlte Leistung und Strahlungswiderstand . .	723

39.2 Antennensysteme	724
39.3 Strahlung eines magnetischen Dipols	728
39.3.1 Elektrische Feldstärke	728
39.3.2 Magnetische Feldstärke	729
39.3.3 Poynting-Vektor	729
39.3.4 Ausgestrahlte Leistung	730
39.3.5 Strahlungswiderstand	730
39.3.6 Vergleich der elektrischen und magnetischen Dipolstrahlung	730
39.4 Elektrischer Dipol als Empfangsantenne	731
39.5 Magnetischer Dipol als Empfangsantenne	731
39.6 Zusammenfassung	732
Aufgaben zu 39.1 bis 39.6	733

Anhang

A Wellen	737
A.1 Ebene sinusförmige Wellen	737
A.2 Phasen- und Gruppengeschwindigkeit	739
A.3 Die Wellengleichung	740
A.4 Dreidimensionale Wellenausbreitung	741
A.5 Ausbreitung einer Vektorgroße	741
A.6 Die inhomogene Wellengleichung	741
B Definitionen, Identitäten und Sätze	743
C Die Maxwell'schen Gleichungen für stationäre Medien	746
D SI-Vorsätze	747
E Einige Konstanten der Physik	748
F Lösungen zu den Aufgaben	749
Sach- und Namenverzeichnis	755