

---

# Inhaltsverzeichnis

Einleitung .....	XV
<b>1 Die Maxwellschen Feldgleichungen .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ladungen, Ströme und Ladungserhaltung .....	1
1.2 Lorentz-Kraft .....	9
1.3 Maxwell-Gleichungen .....	11
1.3.1 Gaußsches Gesetz .....	12
1.3.2 Faradaysches Induktionsgesetz .....	13
1.3.3 Ampère-Maxwell-Gesetz .....	16
1.3.4 Divergenzfreiheit der magnetischen Flussdichte .....	18
1.3.5 Maxwell-Gleichungen in integraler Form .....	19
1.3.6 Die Maxwell-Gleichungen in differentieller Form .....	20
1.3.7 Superpositionsprinzip .....	21
1.3.8 Anmerkungen zu den Einheiten .....	21
Aufgaben zu Kapitel 1 .....	25
<b>2 Ruhende elektrische Ladungen und die Verteilung der Elektrizität auf Leitern .....</b>	<b>27</b>
2.1 Elektrostatistisches Potential und Poisson-Gleichung .....	27
2.2 Potential und Feld für vorgegebene Ladungsverteilungen .....	29
2.2.1 Feldlinien .....	36
2.2.2 Randbedingung des elektrischen Feldes an einer Oberfläche .....	39
2.2.3 Dipolschicht und Kondensator .....	41
2.3 Felder von ruhenden Ladungen in Gegenwart von Leitern .....	45
2.3.1 Methode der Bildladungen .....	47
2.3.2 Maxwellscher Spannungstensor .....	50
2.3.3 Felder in der Nähe von Spitzen .....	53
2.4 Energie des elektrischen Feldes .....	55
2.4.1 Theorem von Thomson .....	61
2.5 Multipolentwicklung .....	63

2.5.1	Entwicklung nach Momenten der Ladungsverteilung ...	64
2.5.2	Energie einer Ladungsverteilung im äußeren Feld .....	67
	Aufgaben zu Kapitel 2 .....	72
<b>3</b>	<b>Randwertprobleme in der Elektrostatik .....</b>	<b>75</b>
3.1	Lösung der Poisson-Gleichung mit Randbedingung .....	75
3.1.1	Eindeutigkeit der Lösung der Poisson-Gleichung mit Randbedingung .....	75
3.1.2	Lösung des Randwertproblems durch Greensche Funktion .....	77
3.2	Laplace-Gleichung in Kugelkoordinaten .....	85
3.2.1	Radialteil .....	86
3.2.2	Azimutaler Teil .....	87
3.2.3	Polarer Teil .....	88
3.2.4	Lösungsfunktion der Laplace-Gleichung .....	94
3.3	Kugelsymmetrische Probleme .....	95
3.3.1	Eigenschaften der Kugelflächenfunktionen .....	95
3.3.2	Entwicklung von $ \mathbf{x} - \mathbf{x}' ^{-1}$ nach Kugelflächenfunktionen	97
3.3.3	Multipolentwicklung nach Kugelflächenfunktionen .....	98
3.3.4	Leitende Kugel im homogenen Feld .....	100
3.4	Zylindersymmetrische Probleme .....	102
3.4.1	Laplace-Gleichung in Zylinderkoordinaten .....	102
3.4.2	Fourier-Bessel-Entwicklung .....	104
3.4.3	Entwicklung der Greenschen Funktion nach Zylinderfunktionen .....	106
3.5	Probleme in zwei Dimensionen .....	110
3.5.1	Potentialtheorie .....	110
3.5.2	Funktionentheoretische Methoden .....	113
	Aufgaben zu Kapitel 3 .....	118
<b>4</b>	<b>Magnetostatik im Vakuum .....</b>	<b>121</b>
4.1	Grundgleichungen der Magnetostatik .....	121
4.1.1	Maxwell-Gleichungen .....	121
4.1.2	Ampèresches Gesetz .....	122
4.1.3	Biot-Savart-Gesetz .....	123
4.1.4	Magnetfeld eines unendlich langen Drahtes .....	124
4.2	Magnetischer Dipol .....	126
4.2.1	Berechnung von Momenten einer Stromverteilung .....	126
4.2.2	Magnetisches Dipolfeld .....	128
4.2.3	Dipolmoment einer Stromschleife .....	129
4.2.4	Potential und Feld einer kreisförmigen Schleife .....	130
4.2.5	Potentiale und Felder von Spulen .....	136
4.3	Drehimpuls, Kraft und Drehmoment .....	141
4.3.1	Drehimpuls und magnetisches Moment .....	141
4.3.2	Kraft und Drehmoment auf eine Stromschleife .....	142

4.3.3	Ampèresches Kraftgesetz .....	145
4.4	Magnetische Multipolentwicklung .....	147
4.4.1	Momente des skalaren Potentials .....	147
4.4.2	Vektorielle Kugelflächenfunktionen .....	149
	Aufgaben zu Kapitel 4 .....	151
<b>5</b>	<b>Elektromagnetische Vorgänge in Materie .....</b>	<b>155</b>
5.1	Die mikroskopischen Gleichungen .....	156
5.2	Die Mittelung der mikroskopischen Größen .....	159
5.2.1	Die mittlere Ladungsverteilung .....	159
5.2.2	Die mittlere Stromdichte .....	160
5.2.3	Die makroskopischen Maxwell-Gleichungen .....	161
5.2.4	Randbedingungen an den Grenzflächen zweier Medien ..	165
5.3	Ohmsches Gesetz .....	168
5.3.1	Drude-Modell der elektrischen Leitung .....	168
5.3.2	Hall-Effekt .....	171
5.4	Das Elektron im elektromagnetischen Feld .....	173
5.4.1	Lagrange- und Hamilton-Funktion des Elektrons .....	174
5.4.2	Bewegung eines Teilchens im äußeren Feld .....	176
5.4.3	London-Gleichungen .....	180
5.5	Dielektrische Eigenschaften .....	183
5.5.1	Atomare Polarisierbarkeit .....	183
5.5.2	Dielektrische Funktion .....	186
5.6	Energie- und Impuls-Bilanz .....	190
	Aufgaben zu Kapitel 5 .....	193
<b>6</b>	<b>Elektrostatik in Materie .....</b>	<b>197</b>
6.1	Grundgleichungen und Stetigkeitsbedingungen .....	197
6.1.1	Stetigkeitsbedingungen .....	197
6.2	Anwendung der Stetigkeitsbedingungen .....	199
6.2.1	Die Clausius-Mossotti-Formel .....	208
6.3	Energie im Dielektrikum .....	210
	Aufgaben zu Kapitel 6 .....	214
<b>7</b>	<b>Magnetostatik in Materie .....</b>	<b>217</b>
7.1	Grundgleichungen der Magnetostatik .....	217
7.1.1	Übergangsbedingungen an Materialoberflächen .....	218
7.1.2	Hauptsatz der Vektoranalysis .....	218
7.1.3	Potentiale und Felder in Ferromagneten .....	223
7.1.4	Anwendungen .....	225
7.2	Induktion .....	232
7.2.1	Energie des Magnetfeldes .....	232
7.2.2	Induktionskoeffizienten .....	239
7.2.3	Magnetischer Fluss und Induktivität .....	240
7.2.4	Die Selbstinduktivitäten ausgewählter Konfigurationen ..	241

7.3	Formen des Magnetismus .....	247
7.3.1	Diamagnetismus .....	251
7.3.2	Paramagnetismus .....	254
7.3.3	Ferromagnetismus .....	256
	Aufgaben zu Kapitel 7 .....	263
8	Felder von bewegten Ladungen .....	265
8.1	Vektorpotential und skalares Potential für die Maxwell-Gleichungen im Vakuum .....	265
8.2	Retardierte Potentiale .....	267
8.2.1	Die inhomogene Wellengleichung .....	267
8.2.2	Retardierte Potentiale und Felder einer Punktladung .....	272
8.2.3	Coulomb-Eichung .....	281
8.3	Strahlung einer bewegten Ladungsverteilung .....	286
8.3.1	Maxwell-Gleichungen für die Fourierkomponenten .....	286
8.3.2	Periodische Bewegung .....	287
8.3.3	Nahzone .....	291
8.3.4	Fernzone .....	291
8.4	Die Strahlungsanteile der Multipole .....	293
8.4.1	Elektrische Dipolstrahlung .....	293
8.4.2	Dipolstrahlung einer Antenne .....	299
8.4.3	Magnetische Dipol- und elektrische Quadrupol-Strahlung .....	303
8.4.4	Polarisationspotentiale .....	308
8.5	Strahlungsrückwirkung .....	310
	Aufgaben zu Kapitel 8 .....	315
9	Quasistationäre Ströme .....	319
9.1	Die quasistationäre Näherung .....	319
9.1.1	Maxwell-Gleichungen .....	321
9.2	Schwingungsgleichung .....	324
9.2.1	Freie Schwingungen .....	326
9.2.2	Erzwungene Schwingungen .....	327
9.2.3	Energetische Verhältnisse .....	329
9.2.4	Gekoppelte Stromkreise .....	331
9.2.5	Telegrafengleichung .....	333
9.3	Magnetohydrodynamik .....	336
9.3.1	Die Grundgleichungen .....	336
9.3.2	Magnetische Diffusion .....	338
9.3.3	Magnetohydrodynamische Wellen .....	339
	Aufgaben zu Kapitel 9 .....	340
10	Elektromagnetische Wellen .....	341
10.1	Ebene Wellen in einem homogenen Medium .....	341
10.2	Lineare und zirkuläre Polarisation .....	342
10.3	Reflexions- und Brechungsgesetz für Isolatoren .....	347

10.3.1	Fresnelsche Formeln	349
10.3.2	Brewster-Winkel	354
10.3.3	Totalreflexion	354
10.3.4	Geometrische Optik	355
10.4	Wellen in Leitern	358
10.4.1	Zylinderförmiger Draht (Skinneffekt)	361
10.5	Wellen in Hohlraumresonatoren und Hohlleitern	363
10.5.1	Stehende Wellen in einem Hohlraumresonator	363
10.5.2	Elektromagnetische Wellen in Hohlleitern mit Zylindersymmetrie	366
	Aufgaben zu Kapitel 10	373
11	<b>Röntgen-Streuung</b>	375
11.1	Streuung von Licht an Elektronen	377
11.1.1	Streuung an freien Elektronen	377
11.1.2	Streuung an einer Ladungsverteilung	383
11.1.3	Streuung am Gitter	387
11.2	Dynamische Theorie der Röntgen-Beugung	391
11.2.1	Elektromagnetische Wellen im Kristall	391
11.2.2	Verfahren zur Lösung der fundamentalen Gleichungen	395
11.2.3	Brechung im Einstrahl-Fall	397
11.2.4	Der Zweistrahlf-Fall	398
11.3	Laue- und Bragg-Fall	403
11.3.1	Beugung in einer Dimension	404
11.3.2	Laue-Geometrie	408
11.3.3	Die Bragg-Geometrie	411
11.4	Dynamische Beugung sphärischer Wellen	414
11.4.1	Laue-Fall	416
11.4.2	Die Intensitätsprofile im Bragg-Fall	420
11.4.3	Auswertung des Integrals $R_m$	421
11.4.4	Die gesamte Wellenfunktion	423
	Aufgaben zu Kapitel 11	427
12	<b>Spezielle Relativitätstheorie</b>	429
12.1	Invarianzeigenschaften und das Relativitätsprinzip	430
12.1.1	Konstruktion einer Transformation	432
12.1.2	Ergänzungen zur Lorentz-Transformation	434
12.1.3	Zur Äthertheorie	436
12.1.4	Michelson-Morley Experiment	439
12.2	Die Lorentz-Transformation	443
12.2.1	Klassifikation der Lorentz-Gruppe	448
12.2.2	Die eigentliche orthochrone Lorentz-Gruppe	449
12.3	Raum-Zeit-Begriff	451
12.3.1	Synchronisation von Uhren	451
12.3.2	Raum-Zeit-Diagramm	452

12.3.3	Beobachtung schnell bewegter Körper .....	460
12.4	Zusammensetzung von Lorentz-Transformationen .....	463
12.4.1	Lorentz-Transformation für beliebige Orientierung der Relativgeschwindigkeit .....	463
12.4.2	Addition von Geschwindigkeiten .....	466
12.4.3	Doppler-Effekt .....	472
12.5	Maxwell-Gleichungen in kovarianter Form .....	475
12.5.1	Tensoreigenschaften .....	476
12.5.2	Kovariante Tensoren der Elektrodynamik .....	478
12.5.3	Feldstärketensor .....	481
12.5.4	Maxwell-Gleichungen .....	483
12.5.5	Transformation des elektrischen und magnetischen Feldes .....	484
12.5.6	Ladungstransport in bewegten Leitern .....	488
	Aufgaben zu Kapitel 12 .....	491
13	<b>Relativistische Mechanik</b> .....	495
13.1	Newtons Lex Secunda .....	495
13.1.1	Lorentz-Kraft .....	502
13.1.2	Energie-Impulstensor .....	504
13.2	Lagrange-Formalismus .....	505
13.2.1	Relativistische Lagrange-Funktion .....	505
13.2.2	Kovariante Formulierung des Hamilton-Prinzips .....	508
13.2.3	Elektromagnetische Feldgleichungen .....	511
13.3	Kinematische Effekte .....	512
13.3.1	Energie-Impuls-Erhaltungssatz .....	512
13.3.2	Compton-Streuung .....	513
13.3.3	Die Bewegung des Elektrons um den Kern .....	515
	Aufgaben zu Kapitel 13 .....	518
A	<b>Vektoren, Vektoranalysis und Integralsätze</b> .....	521
A.1	Vektorrechnung im euklidischen Raum .....	521
A.1.1	Vektoren .....	521
A.1.2	Dimension und Basis .....	523
A.1.3	Wechsel der Basis .....	529
A.1.4	Levi-Civita-Symbol .....	531
A.1.5	Determinanten .....	533
A.1.6	Dreidimensionale Vektoren .....	535
A.2	Vektoranalysis und lokale Koordinaten .....	538
A.2.1	Krummlinige Koordinaten .....	538
A.2.2	Differentialoperationen .....	540
A.3	Orthogonale krummlinige Koordinatensysteme .....	545
A.3.1	Zylinderkoordinaten .....	546
A.3.2	Kugelkoordinaten .....	549
A.3.3	Elliptische Koordinaten .....	553

A.4	Vektorfelder und Integralsätze .....	555
A.4.1	Gaußscher Satz und Divergenz .....	555
A.4.2	Rotation und Stokesscher Satz .....	559
A.4.3	Die Greenschen Sätze .....	563
A.4.4	Green-Funktion des Laplace-Operators .....	563
A.4.5	Mittelwertsatz .....	564
A.4.6	Lösung der Poisson-Gleichung mit Green-Funktionen ..	565
	Aufgaben zum Anhang A .....	566
<b>B</b>	<b>Mathematische Hilfsmittel .....</b>	<b>569</b>
B.1	Elemente der Funktionentheorie .....	569
B.1.1	Analytische Funktionen .....	569
B.1.2	Eigenschaften analytischer Funktionen .....	570
B.2	Legendre-Polynome .....	574
B.2.1	Rodrigues-Formel .....	575
B.2.2	Die erzeugende Funktion der Legendre-Polynome .....	576
B.2.3	Eigenschaften der Legendre-Polynome .....	578
B.2.4	Zugeordnete Legendre-Polynome .....	580
B.3	Kugelflächenfunktionen .....	581
B.4	Bessel-Funktionen .....	584
B.5	Integrale .....	588
B.5.1	Elliptische Integrale .....	588
B.5.2	Integrale zur Potentialtheorie .....	589
B.5.3	Faltung .....	590
B.6	Distributionen .....	591
B.6.1	Die Diracsche Delta-Funktion .....	591
B.6.2	Stufenfunktion .....	596
	Aufgaben zum Anhang B .....	597
<b>C</b>	<b>Maßeinheiten in der Elektrodynamik .....</b>	<b>599</b>
C.1	Maßsysteme .....	599
C.2	Wechsel der Einheiten .....	602
C.2.1	Rationale Einheitensysteme .....	603
C.2.2	Physikalische Konstanten .....	606
	<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>609</b>