

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>15</b>
<b>Vorbemerkungen</b>	<b>17</b>
<b>Vorwort zur deutschen Ausgabe</b>	<b>23</b>
<b>Kapitel 1 Vektoranalysis</b>	<b>27</b>
1.1 Vektoralgebra .....	28
1.1.1 Vektoroperationen .....	28
1.1.2 Vektoralgebra in der Komponentenform .....	31
1.1.3 Dreierprodukte .....	35
1.1.4 Orts-, Verschiebungs- und Verbindungsvektoren .....	37
1.1.5 Wie sich Vektoren transformieren .....	38
1.2 Differentialrechnung .....	41
1.2.1 „Gewöhnliche“ Ableitungen.....	41
1.2.2 Gradient .....	42
1.2.3 Der Operator $\nabla$ .....	45
1.2.4 Die Divergenz .....	46
1.2.5 Die Rotation .....	48
1.2.6 Produktregeln .....	50
1.2.7 Zweite Ableitungen .....	52
1.3 Integralrechnung .....	55
1.3.1 Pfad-, Flächen- und Volumenintegrale.....	55
1.3.2 Der Fundamentalsatz der Differentialrechnung.....	61
1.3.3 Der Fundamentalsatz für den Gradienten.....	62
1.3.4 Der Fundamentalsatz für die Divergenz .....	65
1.3.5 Der Fundamentalsatz für die Rotation .....	68
1.3.6 Partielle Integration .....	71

1.4	Krummlinige Koordinaten .....	73
1.4.1	Sphärische Polarkoordinaten .....	73
1.4.2	Zylinderkoordinaten .....	79
1.5	Die Dirac'sche Deltafunktion .....	80
1.5.1	Die Divergenz von $\hat{\mathbf{r}}/r^2$ .....	80
1.5.2	Die eindimensionale Dirac'sche Deltafunktion .....	82
1.5.3	Die dreidimensionale Deltafunktion .....	86
1.6	Die Theorie der Vektorfelder .....	90
1.6.1	Das Helmholtz-Theorem .....	90
1.6.2	Potentiale .....	91
<b>Kapitel 2</b>	<b>Elektrostatik</b> .....	<b>97</b>
2.1	Das elektrische Feld .....	98
2.1.1	Einleitung .....	98
2.1.2	Das Coulomb'sche Gesetz .....	99
2.1.3	Das elektrische Feld .....	100
2.1.4	Kontinuierliche Ladungsverteilungen .....	101
2.2	Divergenz und Rotation elektrostatischer Felder .....	106
2.2.1	Feldlinien, Fluss und Gauß'sches Gesetz .....	106
2.2.2	Die Divergenz von $\mathbf{E}$ .....	111
2.2.3	Anwendungen des Gauß'schen Gesetzes .....	111
2.2.4	Die Rotation von $\mathbf{E}$ .....	119
2.3	Das elektrische Potential .....	120
2.3.1	Einführung in Potentiale .....	120
2.3.2	Anmerkungen zu Potentialen .....	122
2.3.3	Poisson-Gleichung und Laplace-Gleichung .....	127
2.3.4	Das Potential einer örtlich begrenzten Ladungsverteilung .....	128
2.3.5	Zusammenfassung; Randbedingungen der Elektrostatik .....	132
2.4	Arbeit und Energie in der Elektrostatik .....	135
2.4.1	Die zur Bewegung einer Ladung notwendige Arbeit .....	135
2.4.2	Die Energie einer Gruppe von Punktladungen .....	136

2.4.3	Die Energie einer kontinuierlichen Ladungsverteilung .....	139
2.4.4	Anmerkungen zur elektrostatischen Energie.....	141
2.5	Leiter .....	143
2.5.1	Grundlegende Eigenschaften .....	143
2.5.2	Induzierte Ladungen .....	145
2.5.3	Flächenladungen und die Kraft auf einen Leiter .....	149
2.5.4	Kondensatoren .....	151
<b>Kapitel 3</b>	<b>Spezielle Techniken</b>	<b>159</b>
3.1	Laplace-Gleichung .....	160
3.1.1	Einleitung .....	160
3.1.2	Die Laplace-Gleichung in einer Dimension .....	161
3.1.3	Die Laplace-Gleichung in zwei Dimensionen .....	162
3.1.4	Die Laplace-Gleichung in drei Dimensionen.....	164
3.1.5	Randbedingungen und Eindeutigkeitssätze .....	166
3.1.6	Leiter und der zweite Eindeutigkeitssatz .....	169
3.2	Die Methode der Spiegelladungen .....	172
3.2.1	Das klassische Problem der Spiegelladung .....	172
3.2.2	Induzierte Flächenladung .....	173
3.2.3	Kraft und Energie.....	174
3.2.4	Andere Spiegelladungsprobleme .....	175
3.3	Separation der Variablen .....	179
3.3.1	Kartesische Koordinaten.....	180
3.3.2	Sphärische Koordinaten .....	191
3.4	Multipolentwicklung .....	202
3.4.1	Näherungsweise Potentiale in großen Entfernungen .....	202
3.4.2	Monopol- und Dipol-Terme .....	206
3.4.3	Koordinatenursprung in Multipolentwicklungen .....	209
3.4.4	Das elektrische Feld eines Dipols.....	210

<b>Kapitel 4</b>	<b>Elektrische Felder in Materie</b>	<b>221</b>
4.1	Polarisation .....	222
4.1.1	Dielektrika .....	222
4.1.2	Induzierte Dipole .....	222
4.1.3	Ausrichtung polarer Moleküle .....	225
4.1.4	Polarisation .....	228
4.2	Das Feld eines polarisierten Objekts .....	229
4.2.1	Gebundene Ladungen .....	229
4.2.2	Physikalische Interpretation der Polarisationsladungen .....	233
4.2.3	Das Feld im Inneren eines Dielektrikums .....	236
4.3	Die elektrische Verschiebung .....	238
4.3.1	Das Gauß'sche Gesetz in der Anwesenheit von Dielektrika .....	238
4.3.2	Eine irreführende Parallele .....	242
4.3.3	Randbedingungen .....	243
4.4	Lineare Dielektrika .....	244
4.4.1	Suszeptibilität, Dielektrizitätskonstante, Dielektrizitätszahl .....	244
4.4.2	Randwertprobleme bei linearen Dielektrika .....	251
4.4.3	Energie in dielektrischen Systemen .....	257
4.4.4	Kräfte auf Dielektrika .....	260
<b>Kapitel 5</b>	<b>Magnetostatik</b>	<b>269</b>
5.1	Die Lorentz-Kraft .....	270
5.1.1	Magnetfelder .....	270
5.1.2	Magnetische Kräfte .....	272
5.1.3	Ströme .....	277
5.2	Das Biot-Savart'sche Gesetz .....	285
5.2.1	Stationäre Ströme .....	285
5.2.2	Das Magnetfeld eines stationären Stroms .....	286
5.3	Divergenz und Rotation von $\mathbf{B}$ .....	292
5.3.1	Geradlinige Ströme .....	292
5.3.2	Divergenz und Rotation von $\mathbf{B}$ .....	293

5.3.3	Anwendungen des Ampère'schen Gesetzes .....	296
5.3.4	Vergleich zwischen Magnetostatik und Elektrostatik .....	305
5.4	Magnetisches Vektorpotential .....	308
5.4.1	Das Vektorpotential .....	308
5.4.2	Zusammenfassung, magnetostatische Randbedingungen .....	316
5.4.3	Multipolentwicklung des Vektorpotentials .....	319
<b>Kapitel 6</b>	<b>Magnetische Felder in Materie</b>	<b>335</b>
6.1	Magnetisierung .....	336
6.1.1	Diamagnete, Paramagnete und Ferromagnete .....	336
6.1.2	Drehmomente und Kräfte auf magnetische Dipole .....	336
6.1.3	Effekt eines Magnetfelds auf die Umlaufbahnen in Atomen .....	341
6.1.4	Magnetisierung .....	343
6.2	Das Feld eines magnetisierten Objekts .....	344
6.2.1	Polarisationsströme .....	344
6.2.2	Physikalische Interpretation von Polarisationsströmen .....	348
6.2.3	Das magnetische Feld im Inneren von Materie .....	350
6.3	Das magnetische Hilfsfeld $H$ .....	350
6.3.1	Das Ampère'sche Gesetz in magnetisierten Materialien .....	350
6.3.2	Eine irreführende Parallele .....	355
6.3.3	Randbedingungen .....	356
6.4	Lineare und nichtlineare Medien .....	357
6.4.1	Magnetische Suszeptibilität und Permeabilität .....	357
6.4.2	Ferromagnetismus .....	361
<b>Kapitel 7</b>	<b>Elektrodynamik</b>	<b>371</b>
7.1	Elektromotorische Kraft .....	372
7.1.1	Ohm'sches Gesetz .....	372
7.1.2	Elektromotorische Kraft .....	380
7.1.3	Dynamische elektromotorische Kraft .....	382
7.2	Elektromagnetische Induktion .....	390

7.2.1	Das Faraday'sche Gesetz .....	390
7.2.2	Das induzierte elektrische Feld .....	395
7.2.3	Induktivität .....	402
7.2.4	Energie in Magnetfeldern .....	410
7.3	Die Maxwell'schen Gleichungen .....	415
7.3.1	Die Elektrodynamik vor Maxwell .....	415
7.3.2	Wie Maxwell das Ampère'sche Gesetz reparierte .....	417
7.3.3	Die Maxwell'schen Gleichungen .....	420
7.3.4	Magnetische Ladung .....	421
7.3.5	Maxwell'sche Gleichungen in Materie .....	423
7.3.6	Randbedingungen .....	426

## Zwischenakt

### **Kapitel 8 Erhaltungssätze 443**

8.1	Ladung und Energie .....	444
8.1.1	Die Kontinuitätsgleichung .....	444
8.1.2	Der Poynting'sche Satz .....	445
8.2	Impuls .....	449
8.2.1	Das dritte Newton'sche Gesetz in der Elektrodynamik .....	449
8.2.2	Der Maxwell'sche Spannungstensor .....	451
8.2.3	Impulserhaltung .....	456
8.2.4	Drehimpuls .....	460

### **Kapitel 9 Elektromagnetische Wellen 467**

9.1	Wellen in einer Dimension .....	468
9.1.1	Die Wellengleichung .....	468
9.1.2	Sinusförmige Wellen .....	471
9.1.3	Randbedingungen: Reflexion und Transmission .....	474
9.1.4	Polarisation .....	478
9.2	Elektromagnetische Wellen im Vakuum .....	479

9.2.1	Die Wellengleichung für $\mathbf{E}$ und $\mathbf{B}$ .....	479
9.2.2	Monochromatische ebene Wellen .....	481
9.2.3	Energie und Impuls in elektromagnetischen Wellen .....	484
9.3	Elektromagnetische Wellen in Materie .....	487
9.3.1	Ausbreitung in linearen Medien .....	487
9.3.2	Reflexion und Transmission bei senkrechtem Einfall .....	489
9.3.3	Reflexion und Transmission bei schrägem Einfall .....	491
9.4	Absorption und Dispersion .....	498
9.4.1	Elektromagnetische Wellen in Leitern .....	498
9.4.2	Reflexion an einer leitenden Oberfläche .....	502
9.4.3	Die Frequenzabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante .....	504
9.5	Geführte Wellen .....	511
9.5.1	Wellenleiter .....	511
9.5.2	TE-Wellen in rechtwinkligen Wellenleitern .....	514
9.5.3	Koaxiale Übertragungsleitungen .....	518
<b>Kapitel 10</b>	<b>Potentiale und Felder</b> .....	<b>523</b>
10.1	Der Potentialformalismus .....	524
10.1.1	Skalare und Vektorpotentiale .....	524
10.1.2	Eichtransformationen .....	527
10.1.3	Coulomb-Eichung und Lorentz-Eichung .....	529
10.2	Kontinuierliche Verteilungen .....	531
10.2.1	Retardierte Potentiale .....	531
10.2.2	Die Jefimenko-Gleichungen .....	536
10.3	Punktladungen .....	539
10.3.1	Liénard-Wiechert-Potentiale .....	539
10.3.2	Die Felder einer bewegten Punktladung .....	545
<b>Kapitel 11</b>	<b>Strahlung</b> .....	<b>553</b>
11.1	Dipolstrahlung .....	554
11.1.1	Was ist Strahlung? .....	554

11.1.2	Elektrische Dipolstrahlung .....	555
11.1.3	Magnetische Dipolstrahlung.....	562
11.1.4	Strahlung aus einer beliebigen Quelle .....	566
11.2	Punktladungen.....	572
11.2.1	Abgestrahlte Leistung einer Punktladung.....	572
11.2.2	Strahlungsreaktion .....	578
11.2.3	Die physikalische Grundlage der Strahlungsreaktion .....	583
<b>Kapitel 12</b>	<b>Elektrodynamik und Relativität</b>	<b>593</b>
12.1	Die spezielle Relativitätstheorie .....	594
12.1.1	Die Einstein'schen Postulate.....	594
12.1.2	Die Geometrie der Relativitätstheorie.....	601
12.1.3	Die Lorentz-Transformationen .....	613
12.1.4	Die Struktur der Raumzeit .....	621
12.2	Relativistische Mechanik .....	629
12.2.1	Eigenzeit und Eigengeschwindigkeit .....	629
12.2.2	Relativistische Energie und relativistischer Impuls .....	632
12.2.3	Relativistische Kinematik .....	634
12.2.4	Relativistische Dynamik .....	640
12.3	Relativistische Elektrodynamik .....	648
12.3.1	Magnetismus als relativistisches Phänomen .....	648
12.3.2	Wie sich Felder transformieren .....	651
12.3.3	Der Feldtensor .....	661
12.3.4	Elektrodynamik in Tensornotation .....	664
12.3.5	Relativistische Potentiale.....	668
<b>Anhang A</b>	<b>Vektoranalysis in krummlinigen Koordinaten</b>	<b>675</b>
A.1	Einführung.....	675
A.2	Schreibweisen .....	675
A.3	Gradient .....	676
A.4	Divergenz .....	677



A.5	Rotation.....	680
A.6	Laplace-Operator.....	682
<b>Anhang B</b>	<b>Das Helmholtz-Theorem</b>	<b>683</b>
<b>Anhang C</b>	<b>Einheiten</b>	<b>687</b>
<b>Index</b>		<b>691</b>