

# Inhalt

1	Das statische elektrische Feld —	1
1.1	Die elektrische Ladung —	1
1.2	Das Coulombsche Gesetz —	2
1.2.1	Die Dielektrizitätskonstante —	3
1.2.2	Superpositionsprinzip —	3
1.3	Die elektrische Feldstärke —	4
1.3.1	Das elektrische Feld der Punktladung —	6
1.3.2	Kräfte auf einen elektrischen Dipol —	8
1.4	Das elektrische Potential —	10
1.4.1	Potentielle Energie im elektrischen Feld —	10
1.4.2	Konservatives Feld —	12
1.4.3	Elektrische Potentialfunktion und Spannung —	13
1.4.4	Elektrisches Potential und Feldstärke —	15
1.4.5	Das Potential der Punktladung —	17
1.4.6	Das Feld des elektrischen Dipols —	18
1.5	Das Feld kontinuierlicher Ladungsverteilungen —	21
1.6	Das Gaußsche Gesetz – Elektrische Flussdichte —	29
1.6.1	Vektorfluss —	29
1.6.2	Die elektrische Flussdichte —	30
1.6.3	Anwendung des Gaußschen Gesetzes —	33
1.7	Materie im elektrischen Feld —	36
1.7.1	Leiter – Influenz —	36
1.7.2	Dielektrische Materie —	40
1.7.3	Verhalten von E und D an Grenzflächen —	44
1.8	Die Kapazität —	47
1.8.1	Der Plattenkondensator —	49
1.8.2	Zusammenschaltung von Kondensatoren —	52
1.9	Die Energie im elektrischen Feld —	54
1.10	Kraft an Grenzflächen —	57
1.10.1	Leitfähige Oberflächen —	58
1.10.2	Dielektrische Grenzflächen —	62
1.11	Übungsaufgaben —	64
2	Das stationäre elektrische Strömungsfeld —	71
2.1	Stromflussmechanismen —	71
2.2	Strom und Stromdichte —	74
2.3	Das Ohmsche Gesetz —	76
2.3.1	Der elektrische Widerstand —	77
2.3.2	Direkte Berechnung des Widerstandes —	80

2.3.3	Beziehung zwischen Widerstand und Kapazität —	81
2.4	Die elektrische Leistung —	82
2.5	Ströme an Grenzflächen —	89
2.6	Gleichstromnetzwerke —	91
2.6.1	Der Kirchhoffsche Knotensatz —	91
2.6.2	Der Kirchhoffsche Maschensatz —	92
2.6.3	Berechnung komplexer Netzwerke —	95
2.7	Übungsaufgaben —	98
3	Das statische magnetische Feld —	103
3.1	Die magnetische Kraft —	103
3.2	Die magnetische Flussdichte —	104
3.3	Ampèresches Kraftgesetz —	106
3.4	Magnetisches Dipolmoment —	108
3.5	Die Lorentzkraft —	111
3.5.1	Bewegung eines geladenen Teilchens im Magnetfeld —	112
3.5.2	Der Hall-Effekt —	113
3.5.3	Die relativistische Natur des Magnetismus —	115
3.6	Das Gesetz von Biot – Savart —	118
3.7	Ampèresches Durchflutungsgesetz - Magnetische Erregung —	124
3.7.1	Die Zirkulation des magnetostatischen Feldes —	124
3.7.2	Anwendung des Ampèreschen Durchflutungsgesetzes —	127
3.8	Das Magnetfeld einfacher Leiteranordnungen —	130
3.8.1	Doppelleitung —	130
3.8.2	Kreisförmige Leiterschleife —	134
3.8.3	Zylinderspule (Solenoid) —	134
3.8.4	Ringspule (Toroid) —	136
3.9	Energie im magnetischen Feld —	137
3.9.1	Der magnetische Fluss —	140
3.9.2	Die Induktivität —	142
3.10	Materie im magnetischen Feld —	146
3.10.1	Permanentmagnete —	150
3.10.2	Verhalten von $H$ und $B$ an Grenzflächen —	151
3.10.3	Kraft auf Grenzflächen —	154
3.11	Der magnetische Kreis —	158
3.12	Anwendungen der magnetischen Kraftwirkung —	165
3.12.1	Gleichstrommotor —	165
3.12.2	Elektrodynamischer Lautsprecher —	166
3.13	Übungsaufgaben —	168

4	Zeitveränderliche elektromagnetische Felder —	175
4.1	Elektromagnetische Induktion —	175
4.1.1	Das Faradaysche Induktionsgesetz —	179
4.1.2	Ausnahmen von der Flussregel —	183
4.1.3	Die Lenzsche Regel – Energieerhaltung —	185
4.1.4	Die Wirbelstrombremse —	189
4.2	Die Selbstinduktion des elektrischen Kreises —	191
4.3	Die Gegeninduktion zwischen elektrischen Kreisen —	193
4.4	Der Übertrager —	198
4.4.1	Der ideale Übertrager —	199
4.4.2	Der reale Übertrager ohne Verluste —	202
4.4.3	Hystereseverluste im magnetischen Kreis —	205
4.4.4	Wirbelstromverluste in magnetischen Kreisen —	208
4.4.5	Der verlustbehaftete Übertrager —	212
4.5	Die Grundgleichungen des elektromagnetischen Feldes —	213
4.5.1	Der Ladungserhaltungssatz —	213
4.5.2	Der elektrische Verschiebungsstrom —	216
4.5.3	Die Maxwell-Gleichungen —	220
4.5.4	Elektromagnetische Wellen —	224
4.5.5	Elektrische Netzwerke —	230
4.6	Übungsaufgaben —	236
A.	Mathematische Grundlagen und Formeln —	243
A.1	Skalar- und Vektorfeld —	243
A.1.1	Skalarfeld —	243
A.1.2	Vektorfeld —	244
A.2	Vektoralgebra —	244
A.2.1	Skalarprodukt —	246
A.2.2	Kreuzprodukt (Vektorprodukt, äußeres Produkt) —	246
A.3	Integralrechnung im Raum —	247
A.3.1	Linienintegral —	247
A.3.2	Oberflächenintegral (Vektorfluss) —	249
A.3.3	Volumenintegral —	251
A.4	Koordinatensysteme —	253
A.4.1	Kartesisches Koordinatensystem —	253
A.4.2	Zylinderkoordinatensystem —	254
A.4.3	Kugelkoordinatensystem —	256
A.5	Übungsaufgaben —	257
B.	Lösungen zu den Aufgaben —	261
B.1	Das statische elektrische Feld —	261
B.2	Das stationäre Strömungsfeld —	263

## **XII — Inhalt**

- B.3        Das statische magnetische Feld — 266**
- B.4        Zeitabhängige elektromagnetische Felder — 268**
- B.5        Mathematische Grundlagen — 272**

**Literaturverzeichnis — 261**

**Register — 275**