

## Namensregister

- Abraham, Max (1875-1922), 57  
Aepinus, Franz Ulrich Theodor (1724-1802), 112  
Airy, George B. (1801-1892), 109, 111  
Alhazen (ibn al Haitham) (965-1038), 110  
Ampère, André Marie (1775-1836), 114  
Arago, Dominique François Jean (1786-1853), 111, 114  
  
Bernoulli, Daniel (1700-1782), 112  
Biot, Jean Baptiste (1774-1862), 38, 111, 113  
Bose, George Matthias, 112  
Bradley, James (1692-1762), 110  
Brewster, David (1781-1868), 69, 111  
Browne, Thomas, 111  
  
Cabeo, Niccolo (1585-1650), 114  
Canton, John (1718-1772), 112  
Cavendish, Henry (1731-1810), 112  
Clausius, Rudolf Julius Emmanuel (1822-1888), 26, 115  
Coulomb, Charles Augustin de (1736-1806), 5, 112, 113, 116  
  
d'Alembert, Jean Baptiste le Rond (1717-1783), 76  
Davy, Humphrey (1778-1829), 114  
Desaguliers, Jean Théophile (1683-1744), 112  
Descartes, René (1596-1650), 109–111  
Dirac, Paul Adrien Maurice (1902-1984), ix, 117  
Doppler, Christian (1803-1853), 93  
Dufay, Charles (1698-1739), 112  
  
Einstein, Albert (1879-1955), 85, 95, 116, 117  
Euler, Leonhard (1707-1783), 111  
  
Faraday, Michael (1791-1867), 47, 114–116  
Fermat, Pierre (1601-1665), 110, 111  
Fitzgerald, George Francis (1851-1901), 84, 116  
Fizeau, Armand Hippolyte (1819-1896), 111, 115  
Foucault, Léon (1819-1868), 115  
Fourier, Jean Baptiste Joseph (1768-1830), 60, 61  
Franklin, Benjamin (1706-1790), 112  
Freiberg, Dietrich von (1250-1310), 109, 110  
Fresnel, Augustin Jean (1788-1827), 111  
  
Galilei, Galileo (1564-1642), 111  
Gassendi, Pierre (1592-1655), 111  
Gauss, Carl Friedrich (1777-1855), vii, 6  
Gilbert, William (1540-1603), 111, 113  
Giorgi, Giovanni (1871-1950), i, 6  
Gounelle, E., 115  
Gray, Stephen (1666-1736), 112  
Green, George (1793-1841), 29, 113  
  
Guericke, Otto von (1602-1686), 112  
  
Hagen, Gotthilf (1797-1884), 69  
Heaviside, Oliver (1850-1925), 115, 116  
Heisenberg, Werner (1901-1976), 117  
Heitler, Walter (1904-1981), 117  
Heron von Alexandrien (2. Jhdt. vor oder nach Chr.), 109, 110  
Hertz, Heinrich Rudolf (1857-1894), 116  
Hooke, Robert (1635-1703), 110  
Huygens, Christian (1629-1695), 110, 111  
  
Jeans, James Hopwood (1877-1946), 117  
Jordan, Pascual (1902-1980), 117  
  
Kamal, al-Din al Farisi (-1320), 109, 110  
Kelvin, William Thomson (1824-1907), 113, 115  
Kepler, Johannes (1571-1630), 110  
Kirchhoff, Gustav Robert (1824-1887), 50, 114, 115  
Kleist, Ewald Jürgen von (ca. 1700-1748), 112  
Kohlrausch, Rudolf (1801-1858), 39, 115  
Kopernikus, Nikolaus (1473-1543), 111  
Kronecker, Leopold (1823-1891), iv  
  
Lagrange, Joseph (1736-1813), 111  
Lambert, Johann Heinrich (1728-1777), 113  
Landau, Lev Davidovich (1908-1968), 57  
Laplace, Pierre-Simon Marquise de (1749-1827), 111, 113  
Larmor, Sir Joseph (1857-1942), 106, 116  
Lenard, Philipp (1862-1947), 117  
Lichtenberg, Georg Christoph (1744-1799), 112  
Liénard, Alfred-Marie (1869-1958), 104, 116  
Lifshitz, Eugenii Mikhailovich (1915-1985), 57  
Lorentz, Hendrik Antoon (1853-1928), 5, 7, 76, 84, 115, 116  
Lorenz, Ludvig Valentin (1829-1891), 76, 115  
  
Malus, Étienne Luis (1775-1812), 111  
Maupertuis, Pierre-Louis-Moreau (1698-1759), 111  
Maxwell, James Clerk (1831-1879), 4, 35, 53, 115, 116  
Mayer, Tobias (1723-1762), 113  
Michell, John (1724-1793), 113  
Michelson, Albert Abraham (1852-1931), 83, 84, 116  
Minkowski, Hermann (1864-1909), 57, 84, 117  
Mössbauer, Rudolf (1929-), 118  
Morley, Edward Williams (1838-1923), 83, 84, 116

- Mossotti, Ottaviano Fabrizio (1791-1863), 26, 113, 115  
 Musschenbroek, Pieter van (1692-1761), 112, 113  
 Neckam, Alexander (1157-1217), 113  
 Neumann, Franz Ernst (1798-1895), 115  
 Newton, Isaac (1643-1727), 110, 111, 113  
 Ørsted, Hans Christian (1777-1851), 113, 114  
 Ohm, Georg Simon (1787-1854), 50, 114  
 Pais, Abraham (1918-2000), 117  
 Pauli, Wolfgang (1900-1958), 117  
 Peregrinus, Petrus (Pierre de Maricourt) (13. Jhdt.), 113, 114  
 Planck, Max (1858-1947), 117  
 Poincaré, Henri (1854-1912), 116  
 Poisson, Siméon-Denis (1787-1840), 10, 111, 113  
 Poynting, John Henry (1852-1914), 55, 115  
 Priestley, Joseph (1733-1804), 112  
 Ptolemaios, Klaudius (2. Jhdt. n. Chr.), 110  
 Rayleigh, John William Strutt (1842-1919), 117  
 Riemann, Bernhard (1826-1866), 115  
 Robison, John (1739-1805), 112  
 Römer, Olaf (1644-1710), 110  
 Rubens, Heinrich (1865-1922), 69  
 Sanuto, Livio (etwa 1530-1580), 113  
 Savart, Félix (1791-1841), 38, 113  
 al-Schirazi, Mahmud ibn (1236-1311), 109, 110  
 Schwarzschild, Karl (1873-1916), 116  
 Snellius, Willibrord van Royen (1581-1626), 67, 110  
 Sommerfeld, Arnold Johannes Wilhelm (1868-1951), 57  
 Stokes, George Gabriel (1819-1903), vii, 111  
 Stoney, Johnstone (1826-1911), 114  
 Sturgeon, William (1783-1850), 114  
 Taylor, Brook (1685-1731), 113  
 Thales v. Milet (640-546), 109, 111  
 Thomson, Joseph John (1856-1940), 115, 116  
 Thomson, William (Lord Kelvin) (1824-1907), 113, 115, 116  
 Voigt, Woldemar (1850-1919), 116  
 Volta, Alessandro Graf (1745-1827), 113  
 Wall, 112  
 Watson, William (1715-1787), 112  
 Weber, Wilhelm (1804-1894), 39, 115  
 Wheatstone (1802-1875), 115  
 Wheeler, William, 114  
 Wideröe, Rolf (1902-), 48  
 Wiechert, Emil (1861-1928), 104, 116  
 Wien, Wilhelm (1864-1928), 117  
 Wiener, Otto Heinrich (1867-1927), 116  
 Wilcke, Johann Carl (1732-1796), 112, 114, 116  
 Wilson, Benjamin (1721-1788), 112  
 Winkler, Johann Heinrich, 112  
 Young, Thomas (1773-1829), 109–111

# Sachregister

- Aberration, 110, 111
- Abstand, 87
  - lichtartig, 88
  - raumartig, 87
  - zeitartig, 87
- Additions-Theorem
  - Geschwindigkeiten, 88
- AMPEREGESETZ, 37
- Batterie, 113
- Bernstein, 109, 111
- Betatron, 48
- Beugung, 111
- Bewegungsgleichungen, 97
- BIOT-SAVART Gesetz, 38
- Blitz, 109
- BOHRSCHEM Magneton, 41
- Brechung, 67–69
- Brechzahl, 67
- BREWSTERSCHER Winkel, 69, 111
- Brille, 110
- CLAUSIUS-MOSSOTTI-Beziehung, 26
- COULOMB-Gesetz, 112
- COULOMB-Kraft, 5, 11
- D'ALEMBERT-Operator, 76, 90
- dielektrische Verschiebung, 23
- Dielektrizitätskonstante, 24
  - CLAUSIUS, MOSSOTTI, 26
- Dipol
  - elektrischer
    - Drehmoment, 15
    - Energie, 15
    - Feld, 13
    - Kraft, 15
    - Potential, 13
  - magnetischer
    - Drehmoment, 42
    - Feld, 41
    - Kraft, 41
- Dipolmoment
  - elektrisches, 13–14, 21
  - magnetisches, 40
    - Ringstrom, 41
    - Spin, 41
- Dipolstrahlung
  - elektrische, 80
  - magnetische, 81
- DIRAC delta, ix, 3
- Divergenz, v
- Doppelbrechung, 110, 111
- DOPPLER-Effekt, 93
- DOPPLER-Verschiebung, 94
- Drehimpulserhaltung, 102
- Drehmoment
  - auf elektrischen Dipol, 16
  - auf magnetischen Dipol, 42
- Eichtransformation, 75
- Eichung
  - COULOMB, 76, 115
  - LORENZ, 76, 115
- Eigenzeit, 87
- Einheiten, i–iii, 6–7
- Elastizitätstheorie, 111
- Elektromagnet, 114
- elektromotorische Kraft, 49
- Elektron, 114
- Elektronenradius
  - klassisch, 12
- Elektrostatik, 9–35
  - Geschichte, 111–113
- Energie
  - Dipol
    - elektrischer, 16
    - magnetischer, 52
    - elektrostatische, 11, 32
  - Induktivität, 50
  - Quadrupol
    - elektrischer, 16
- Energie-, Impulserhaltung, 102
- Energie-Impuls-Tensor, 100–103
- Energiebilanz, 55–56
- Energiedichte, 100
  - ebene Welle, 60
  - elektromagnetische, 55
  - elektrostatische, 11
- Energiestrom
  - ebene Welle, 60
- Energiestromdichte, 55, 100
- Erhaltungssätze, 101–103
- Feld
  - Dipol
    - elektrischer, 13
    - magnetischer, 41
    - einer Stromverteilung, 38
  - Ladungsverteilung, 9
  - magnetisches, divergenzfrei, 114
- Felder
  - Punktladung, 93
- Feldlinien

- Sichtbarmachung, 114
- Feldstärke  
  elektrische, 9  
  magnetische, 43
- Feldtensor, 91–92  
  dualer, 92
- Flächen-Integrale, vii
- Flächenladungsdichte, 3
- Fluss  
  dielektrische Verschiebung, 23  
  elektrischer, 10  
  magnetischer, 37, 47
- FOURIER-Integral, 60–61
- FOURIER-Reihe, 60–61
- GALILEI-Invarianz, 83
- GAUSSscher Satz, vii
- Gradient, v
- GREENScher Satz, viii
- Gruppengeschwindigkeit, 72
- HAFELE-KEATING-Experiment, 118
- HAGEN und RUBENS-Gesetz, 69
- HERTZscher Dipol, 80
- Hohlleiter, 70–73
- Impuls  
  elektromagnetischer, 115
- Impuls-Bilanz, 56–58
- Impulsdichte, 100  
  Strahlungs-, 56
- Induktion  
  magnetische, 37–39
- Induktionsgesetz, 47, 114
- Induktivität, 49–52
- Influenz, 112
- Influenzladung, 29
- Integral-Sätze, vii
- Kapazitäten, 28
- KIRCHHOFFSche Regeln, 50
- Knotenpunktsgesetz, 50
- Komponenten  
  kontravariante, 84  
  kovariante, 84
- Kondensator, 28  
  Kugel-, 28  
  Platten-, 29
- Kontinuitätsgleichung, 4, 89
- Korkenzieher-Regel, 37
- Kraft  
  auf elektrischen Dipol, 16  
  auf magnetischen Dipol, 41  
  COULOMB-, 5  
  LORENTZ-, 5  
  zwischen Strömen, 114  
  zwischen Stromkreisen, 39, 51
- Kraftdichte, 5  
  Dielektrikum, 32  
  elektromagnetische, 55–58, 100
- KRONECKER delta, iv
- Kugel  
  dielektrische, 25
- Kugelflächenfunktionen, x, 18  
  Additionstheorem, 21
- Kugelkoordinaten, 17  
  Divergenz, 18  
  Gradient, 17  
  LAPLACE-Operator, 18  
  Volumenelement, 17
- Längenkontraktion, 86
- Ladung  
  Influenz-, 29
- Ladungsdichte, 3  
  freibewegliche, 23, 54  
  Polarisations-, 23, 54
- Ladungserhaltung, 4, 53, 101, 112
- LAGRANGE-Funktion, 98–99
- LAPLACE-Operator, vi, viii
- LEGENDRE-Funktionen  
  zugeordnete, x
- leitende Ebene, 30
- leitende Kugel, 31
- Leiter, 112  
  elektrische, 27  
  Kraft auf, 27
- LEVI-CIVITA-Symbol, iv
- LIÉNARD-WIECHERT-Potential, 104
- Lichtgeschwindigkeit, 5, 110, 115  
  Konstanz, 85  
  Vakuum, 60
- Linien-Integrale, vii
- Lochkamera, 110
- LORENTZ-Invarianz, 83
- LORENTZ-Kraft, 5, 114, 116
- LORENTZ-Kraftdichte, 95
- LORENTZ-Transformation, 83–86  
  eigentliche, 85
- Maßsysteme, i–iii, 6–7
- Magnetisierung, 43
- Magnetit, 109
- Magnetostatik, 9, 37–45  
  Geschichte, 113
- Maschengesetz, 50
- MAXWELL-Gleichungen, 4, 53–54, 91  
  in Materie, 54
- Mechanik  
  relativistische, 95–97

- metallische Reflexion, 69
- metrischer Tensor, 84
- MICHELSON-MORLEY-Versuch, 83
- MINKOWSKI-Kraft, 95
- MINKOWSKI-Raum, 84
- Monopol
  - elektrischer, 21
  - magnetischer, 40, 44, 113
- Multipol
  - elektrischer, 19–22
  - Potential, 20
- Nabla Operator, v
- Optik, Geschichte, 111
- Parabolspiegel, 110
- Permeabilität, 43
- Phasengeschwindigkeit, 72
- Plasma-Schwingungen, 66
- Plasmafrequenz, 65
- POISSON-Gleichung, 10
- Polarisation, 23
- Polstärke, 44
- Potential
  - avanciertes, 78
  - elektrisches, 9
  - Ladungs-, Stromverteilung, 77–78
  - Ladungsverteilung, 9
  - magnetisches, 44, 113
  - retardiertes, 78, 90, 115
  - skalares, 75
- Potentiale, 75–76
- POYNTING-Vektor, 55, 60, 100, 115
- Punktladung, 3, 10
  - Abstrahlung, 106
  - Feld, 104
- Quadrupol
  - elektrischer
    - Energie, 15
    - Potential, 13
- Quadrupolmoment
  - elektrisches, 13–15, 21
- Quadrupolstrahlung
  - elektrische, 81
- Randbedingung
  - elektrisches Feld, 24
  - magnetisches Feld, 43
- Raumwinkelement, 17
- Reflexion, 67–69
- Regenbogen, 109, 110
- Relativitätstheorie
  - allgemeine, 117
  - Geschichte, 116–117
  - spezielle, 83–103
- Ringstrom, 40
- Rotation, v
- Ruheenergie, 96
- Schwerpunktsbewegung, 102
- Skalarprodukt, iv
- SNELLIUSSches Brechungsgesetz, 67, 110
- Spannungsquelle, 49
- Spannungstensor, 100, 115
  - elektromagnetischer, 56
  - elektrostatisch, 35
- Spatprodukt, v
- Spule
  - lange, 49
  - magnetische, 38, 44
- STOKESScher Satz, vii
- Strahlungsfeld, 79
- Strahlungswiderstand, 81
- Strom
  - elektrischer, 4
- Stromdichte
  - elektrische, 4
  - freibewegliche Ladungs-, 43, 54
  - Magnetisierungs-, 43, 54
  - Polarisations-, 54
- Stromkreis, 49–50
- Suszeptibilität
  - elektrische, 24
  - magnetische, 43
- TE-Mode, 71
- TEM-Mode, 71
- TM-Mode, 71
- Totalreflexion, 69
- Transformation der Felder, 92
- Transversalwelle, 111
- Vektoralgebra, iv
- Vektoranalysis, v
- Vektorgradient, v
- vektorielles Produkt, iv
- Vektorpotential, 38–39, 75, 114, 115
- Verschiebungsstrom, 115
- Vierer-Impuls, 96
- Vierer-Potential, 89
- Viererskalar, 87–88
- Viererstromdichte, 89
- Vierertensor
  - antisymmetrischer, 91
  - symmetrischer, 100
- Vierervektor, 88–90
- Volumen-Integrale, vii

## Welle

- an Oberfläche, 69
- ebene, 59–60
- elektromagnetische, 59–63
- im Leiter, 64–66
- longitudinale, 66

## Wellen

- linear polarisiert, 62
- zirkular polarisiert, 62

Wellengleichung, 59

Wellenleiter, 70–73

Wellenpaket, 72

Weltgeschwindigkeit, 88

Widerstand, 114

- OHMScher, 50

Wirkung, 98, 111

Zeitdilatation, 86

- Gravitation, 118

Zeitmittelwerte, 62–63

# Inhalt Elektrodynamik

<b>A</b>	<b>Grundgleichungen</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Grundgleichungen der Elektrodynamik</b>	<b>3</b>
1.a	Ladungen und Ströme . . . . .	3
1.a. $\alpha$	Ladungsdichte . . . . .	3
1.a. $\beta$	Strom und Stromdichte . . . . .	4
1.a. $\gamma$	Ladungserhaltung und Kontinuitätsgleichung . . . . .	4
1.b	MAXWELL-Gleichungen . . . . .	4
1.c	COULOMB- und LORENTZ-Kraft . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Dimensionen und Einheiten</b>	<b>6</b>
2.a	GAUSSSches Maßsystem . . . . .	6
2.b	Andere Einheitensysteme . . . . .	6
2.c	Motivation für GAUSSSche Einheiten . . . . .	7
<b>B</b>	<b>Elektrostatik</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Elektrisches Feld, Potential, Energie des Feldes</b>	<b>9</b>
3.a	Statik . . . . .	9
3.b	Elektrisches Feld und Potential . . . . .	9
3.b. $\alpha$	Elektrisches Potential . . . . .	9
3.b. $\beta$	Elektrischer Fluss und Ladung . . . . .	10
3.b. $\gamma$	Potential einer Ladungsverteilung . . . . .	10
3.c	COULOMBkraft und Feldenergie . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Elektrischer Dipol und Quadrupol</b>	<b>13</b>
4.a	Das Feld für $r > R$ . . . . .	13
4.b	Transformationseigenschaften . . . . .	14
4.c	Dipol . . . . .	14
4.d	Quadrupol . . . . .	15
4.d. $\alpha$	Symmetrien . . . . .	15
4.d. $\beta$	Symmetrischer Quadrupol . . . . .	15
4.e	Energie, Kraft und Drehmoment auf einen Multipol im äußeren Feld . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Multipol-Entwicklung in Kugelkoordinaten</b>	<b>17</b>
5.a	POISSON-Gleichung in Kugelkoordinaten . . . . .	17
5.a. $\alpha$	Der Gradient . . . . .	17
5.a. $\beta$	Die Divergenz . . . . .	18
5.a. $\gamma$	Der LAPLACE-Operator . . . . .	18
5.b	Kugelflächenfunktionen . . . . .	18
5.c	Radialgleichung und Multipol-Momente . . . . .	19
5.d	Punktladung am Ort $\mathbf{r}'$ , zylindersymmetrische Ladungsverteilung . . . . .	21
<b>6</b>	<b>Elektrisches Feld in Materie</b>	<b>23</b>
6.a	Polarisation und dielektrische Verschiebung . . . . .	23
6.b	Grenzflächen zwischen Dielektrika . . . . .	24
6.c	Dielektrische Kugel im homogenen elektrischen Feld . . . . .	25
6.d	Dielektrizitätskonstante nach CLAUSIUS und MOSSOTTI . . . . .	26

<b>7</b>	<b>Elektrizität auf Leitern</b>	<b>27</b>
7.a	Elektrische Leiter . . . . .	27
7.a.α	Randbedingungen an der Leiteroberfläche . . . . .	27
7.a.β	Kraft auf Leiter (im Vakuum) . . . . .	27
7.b	Kapazitäten . . . . .	28
7.c	Influenzladungen . . . . .	29
7.c.α	Leiterfreier Raum . . . . .	30
7.c.β	Leitende Ebene . . . . .	30
7.c.γ	Leitende Kugel . . . . .	31
<b>8</b>	<b>Energie, Kräfte und Spannungen im Dielektrikum</b>	<b>32</b>
8.a	Elektrostatische Energie . . . . .	32
8.b	Kraftdichte im isotropen Dielektrikum . . . . .	32
8.c	MAXWELLScher Spannungstensor . . . . .	35
<b>C</b>	<b>Magnetostatik</b>	<b>37</b>
<b>9</b>	<b>Magnetische Induktion und Vektorpotential</b>	<b>37</b>
9.a	AMPEREGesetz . . . . .	37
9.b	Magnetischer Fluss . . . . .	37
9.c	Feld einer Stromverteilung . . . . .	38
9.d	Vektorpotential . . . . .	38
9.e	Kraft zwischen zwei Stromkreisen . . . . .	39
<b>10</b>	<b>Ringströme als magnetische Dipole</b>	<b>40</b>
10.a	Lokalisierte Stromverteilung und magnetischer Dipol . . . . .	40
10.b	Magnetisches Dipolmoment eines Ringstroms . . . . .	41
10.c	Kraft und Drehmoment auf einen Dipol im äußeren magnetischen Feld . . . . .	41
10.c.α	Kraft . . . . .	41
10.c.β	Drehmoment . . . . .	42
<b>11</b>	<b>Magnetismus in Materie. Feld einer Spule</b>	<b>43</b>
11.a	Magnetismus in Materie . . . . .	43
11.b	Feld einer Spule . . . . .	44
<b>D</b>	<b>Induktionsgesetz</b>	<b>47</b>
<b>12</b>	<b>FARADAYSches Induktionsgesetz</b>	<b>47</b>
<b>13</b>	<b>Induktivitäten und Stromkreise</b>	<b>49</b>
13.a	Induktivitäten . . . . .	49
13.b	Stromkreis-Elemente . . . . .	49
13.c	KIRCHHOFFSche Regeln . . . . .	50
13.d	Energie von Induktivitäten . . . . .	50
13.d.α	Konstante Induktivitäten . . . . .	51
13.d.β	Gegeneinander bewegte Stromkreise . . . . .	51
13.d.γ	Konstante magnetische Flüsse . . . . .	51
13.d.δ	Kraft zwischen zwei Stromkreisen . . . . .	51
13.d.ε	Energie eines magnetischen Dipols im äußeren Magnetfeld . . . . .	52
13.d.ζ	Permanente magnetische Momente . . . . .	52
<b>E</b>	<b>MAXWELL-Gleichungen</b>	<b>53</b>
<b>14</b>	<b>Vollständige MAXWELL-Gleichungen</b>	<b>53</b>
14.a	Widerspruchsfreiheit der MAXWELL-Gleichungen . . . . .	53
14.b	MAXWELL-Gleichungen für freibewegliche Ladungen und Ströme . . . . .	54



<b>15 Energie- und Impuls-Bilanz</b>	<b>55</b>
15.a Energie . . . . .	55
15.b Impuls-Bilanz . . . . .	56
<b>F Elektromagnetische Wellen</b>	<b>59</b>
<b>16 Elektromagnetische Wellen im Vakuum und in homogenen isotropen Isolatoren</b>	<b>59</b>
16.a Wellengleichung . . . . .	59
16.b Ebene Wellen . . . . .	59
16.c Überlagerung ebener periodischer Wellen . . . . .	60
16.c.α Einschub über FOURIER-Reihen und Integrale . . . . .	60
16.c.β Zurück zu den MAXWELL-Gleichungen . . . . .	61
16.c.γ Zeitmittelwerte und Zeitintegrale . . . . .	62
<b>17 Elektromagnetische Wellen in homogenen Leitern</b>	<b>64</b>
17.a Transversal-Schwingungen bei niedrigen Frequenzen . . . . .	64
17.b Transversal-Schwingungen bei hohen Frequenzen . . . . .	65
17.c Longitudinale = Plasma-Schwingungen . . . . .	66
<b>18 Reflexion und Brechung an einer ebenen Grenzfläche</b>	<b>67</b>
18.a Problemstellung und Ausbreitungsrichtung . . . . .	67
18.b Grenzbedingungen, Amplituden . . . . .	67
18.c Diskussion für $\mu_1 = \mu_2$ . . . . .	68
18.c.α Isolator, $ \sin \alpha_2  < 1$ : Brechung . . . . .	68
18.c.β Isolator, $ \sin \alpha_2  > 1$ : Totalreflexion . . . . .	69
18.c.γ Metallische Reflexion, $\alpha = 0$ . . . . .	69
18.c.δ Oberflächenwellen am Leiter . . . . .	69
<b>19 Hohlleiter</b>	<b>70</b>
19.a Hohlleiter . . . . .	70
19.b Lösung für rechteckigen Querschnitt . . . . .	72
19.c Wellenpakete . . . . .	72
<b>G Elektrodynamische Potentiale</b>	<b>75</b>
<b>20 Elektrodynamische Potentiale, Eichtransformationen</b>	<b>75</b>
20.a Potentiale . . . . .	75
20.b Eichtransformationen . . . . .	75
<b>21 Die elektromagnetischen Potentiale einer allgemeinen Ladungs- und Stromverteilung</b>	<b>77</b>
21.a Berechnung der Potentiale . . . . .	77
21.b Eichbedingung . . . . .	78
<b>22 Ausstrahlung harmonischer Schwingungen</b>	<b>79</b>
22.a Strahlungsfeld . . . . .	79
22.a.α Nahzone (Statische Zone) . . . . .	79
22.a.β Fernzone (Strahlungszone) . . . . .	79
22.b Elektrische Dipolstrahlung (HERTZscher Dipol) . . . . .	80
22.c Magnetische Dipolstrahlung und elektrische Quadrupolstrahlung . . . . .	81
22.c.α Magnetische Dipolstrahlung . . . . .	82
22.c.β Elektrische Quadrupolstrahlung . . . . .	82
<b>H LORENTZ-Invarianz der Elektrodynamik</b>	<b>83</b>

<b>23</b>	<b>LORENTZ-Transformation</b>	<b>83</b>
23.a	GALILEI- und LORENTZ-Transformation	83
23.b	LORENTZ-Transformation	84
23.b. $\alpha$	Zeitdilatation	86
23.b. $\beta$	Längenkontraktion	86
<b>24</b>	<b>Viererskalare und Vierervektoren</b>	<b>87</b>
24.a	Abstand und Eigenzeit als Viererskalare	87
24.a. $\alpha$	Raumartiger Abstand $s^2 < 0$	87
24.a. $\beta$	Zeitartiger Abstand $s^2 > 0$	87
24.a. $\gamma$	Lichtartiger Abstand $s^2 = 0$	88
24.b	Weltgeschwindigkeit als Vierervektor	88
24.c	Viererstromdichte	89
24.d	Viererpotential	89
<b>25</b>	<b>Elektromagnetischer Feldtensor</b>	<b>91</b>
25.a	Feldtensor	91
25.b	MAXWELL-Gleichungen	91
25.b. $\alpha$	Die inhomogenen Gleichungen	91
25.b. $\beta$	Die homogenen Gleichungen	92
25.c	Transformation der elektrischen und magnetischen Felder	92
25.d	Felder einer gleichförmig bewegten Punktladung	93
25.e	DOPPLER-Effekt	93
<b>26</b>	<b>Relativistische Mechanik</b>	<b>95</b>
26.a	LORENTZ-Kraftdichte	95
26.b	LORENTZ-Kraft auf eine Punktladung	95
26.c	Energie und Impuls eines Massenpunktes	95
26.d	Bewegungsgleichung	97
<b>27</b>	<b>LAGRANGE-Formulierung</b>	<b>98</b>
27.a	LAGRANGE-Funktion einer massiven Ladung im elektromagnetischen Feld	98
27.b	LAGRANGEDichte des elektromagnetischen Feldes	98
<b>28</b>	<b>Energie-Impuls-Tensor und Erhaltungsgrößen</b>	<b>100</b>
28.a	Der Tensor	100
28.b	Erhaltungssätze	101
28.b. $\alpha$	Ladung	101
28.b. $\beta$	Energie und Impuls	102
28.b. $\gamma$	Drehimpuls und Schwerpunktsbewegung	102
<b>29</b>	<b>Feld einer beliebig bewegten Punktladung</b>	<b>104</b>
29.a	LIÉNARD-WIECHERT-Potential	104
29.b	Die Felder	104
29.c	Gleichförmige Bewegung	105
29.d	Beschleunigte Ladung momentan in Ruhe	106
29.e	Abstrahlung, $\beta \neq 0$	106
<b>I</b>	<b>Rückblick und Ausblick</b>	<b>109</b>
<b>30</b>	<b>Kurze Geschichte der Elektrodynamik</b>	<b>109</b>
30.a	Theorie des Lichts bis FRESNEL	109
30.b	Elektrostatik	111
30.c	Magnetostatik	113
30.d	Aufbruch zur Elektrodynamik	113
30.e	Elektrodynamik und Wellen	114

30.f	Relativitätstheorie . . . . .	116
30.g	Von der klassischen zur Quanten-Elektrodynamik . . . . .	117
<b>31</b>	<b>Gravitations-Zeitdilatation</b>	<b>118</b>
31.a	Lichtquant im Gravitationsfeld . . . . .	118
31.b	Äquivalenz-Prinzip . . . . .	118
<b>Anhänge</b>		<b>i</b>
<b>A Umrechnung zwischen Maßsystemen der Elektrodynamik</b>		<b>i</b>
<b>B Formeln zur Vektorrechnung</b>		<b>iv</b>
B.a	Vektoralgebra . . . . .	iv
B.a. $\alpha$	Summationskonvention und orthonormale Basis . . . . .	iv
B.a. $\beta$	Skalarprodukt . . . . .	iv
B.a. $\gamma$	Vektorielltes Produkt . . . . .	iv
B.a. $\delta$	Mehrfachprodukte . . . . .	v
B.b	Vektoranalysis . . . . .	v
B.b. $\alpha$	Räumliche Differentiation, Nabla-Operator . . . . .	v
B.b. $\beta$	Zweifache Ableitung, Laplace-Operator . . . . .	vi
B.b. $\gamma$	Ableitung von Produkten . . . . .	vi
B.c	Spezielle Ausdrücke . . . . .	vi
B.d	Integral-Sätze . . . . .	vii
B.d. $\alpha$	Linien-Integrale . . . . .	vii
B.d. $\beta$	Flächen-Integrale . . . . .	vii
B.d. $\gamma$	Volumen-Integrale . . . . .	vii
B.d. $\delta$	Volumen-Integrale über Produkte . . . . .	viii
B.e	Der LAPLACE-Operator von $1/r$ und Verwandtes . . . . .	viii
B.e. $\alpha$	Der LAPLACE-Operator von $1/r$ . . . . .	viii
B.e. $\beta$	Darstellung eines Vektorfeldes als Summe eines rotationsfreien und eines divergenzfreien Feldes . . . . .	ix
<b>C Kugelflächenfunktionen</b>		<b>x</b>
C.a	Eigenwert-Problem und Separation der Variablen . . . . .	x
C.b	Zugeordnete LEGENDRE-Funktionen . . . . .	x
C.c	Orthogonalität und Normierung . . . . .	xii
C.d	Bemerkung zur Vollständigkeit . . . . .	xii
<b>Namensregister</b>		<b>xv</b>
<b>Sachregister</b>		<b>xvii</b>
<b>Inhalt</b>		<b>xxi</b>